

Advies over de optimalisatie van het fort van Duffel als vleermuizenverblijfplaats

Adviesnummer:	<u>INBO.A.3666</u>
Auteur(s):	Ralf Gyselings & Luc De Bruyn
Contact:	Lieve Vriens (lieve.vriens@inbo.be)
Kenmerk aanvraag:	ANB-INBO-2018-3
Geadresseerden:	Agentschap voor Natuur en Bos Regio Antwerpen t.a.v. Hans De Schryver Lange Kievitstraat 111-113 bus 63 2018 Antwerpen hans.deschryver@vlaanderen.be
Cc:	Agentschap voor Natuur en Bos joris.janssens@vlaanderen.be

Dr. Maurice Hoffmann
Administrateur-generaal wnd.

Aanleiding

Het fort van Duffel maakt deel uit van de speciale beschermingszone (SBZ) "Historische fortengordels van Antwerpen als vleermuizenhabitat". Er zijn doelstellingen geformuleerd voor ingekorven vleermuis, watervleermuis, franjestaart, Brandt- en baardvleermuis.

Uit de wintertellingen van het fort blijkt dat de tot doel gestelde soorten momenteel niet of slechts occasioneel en in lage aantallen voorkomen en dat de trend voor een aantal soorten eerder negatief is. Daarnaast wordt vastgesteld dat de soorten die er wel komen overwinteren eerder "koude tolerante" soorten zijn. M.a.w. de typische soorten die overwinteren in forten zijn onvoldoende aanwezig in het fort van Duffel.

Een deel van het fort is ingericht voor horeca en als belevingscentrum. Deze inrichting verliep niet conform de in de passende beoordeling vastgelegde afspraken. Ook de vleermuizentunnel die als mitigatie dient voor de inrichting functioneert momenteel niet zoals gewenst. Om de impact bijkomend te milderen en verdere achteruitgang van de vleermuizenpopulaties tegen te gaan is actief ingrijpen noodzakelijk. Dit dient echter met voldoende kennis en objectiviteit te gebeuren.

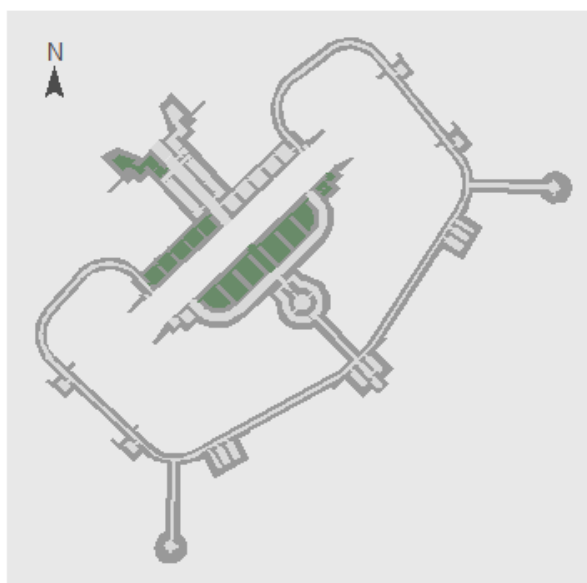
Vraag

1. Welke maatregelen dienen genomen te worden om de vleermuizentunnel te optimaliseren als vleermuizenverblijfplaats voor de tot doel gestelde vleermuizen zoals vastgesteld in de natuurdoelen voor de SBZ "Historische fortengordels van Antwerpen als vleermuizenhabitat"?
2. Welke maatregelen dienen genomen te worden om het fort van Duffel te optimaliseren als vleermuizenverblijfplaats voor de tot doel gestelde vleermuizen?
3. Welke methodiek dient gevolgd te worden om het microklimaat van het fort en de vleermuizentunnel verder op te volgen zodat het effect van maatregelen geëvalueerd, en indien nodig bijgestuurd, kan worden?

Toelichting

1 Situatie Fort van Duffel

Het fort van Duffel behoort tot de buitengordel van de forten rond Antwerpen. Het werd gebouwd tussen 1886 en 1888. Na de eerste wereldoorlog bleef het fort beschadigd achter. Tot 1972 werd het fort bewoond door een conciërge. In 1972 werd het verkocht aan een aannemer die het begon te slopen. Na diens overlijden in 1973 werden de sloopwerken gestopt. Het fort werd daarna niet meer gebruikt. Het volledige fort werd door vleermuizen als winterverblijfplaats gebruikt en werd ook opgenomen in het habitatrictlijngebied BE2100045 "Historische fortengordels van Antwerpen als vleermuizenhabitat". In 2009 werd het gekocht door vzw Kempens Landschap. Zij richtten een deel van het fort in als tentoonstellingsruimte en brasserie. Sinds 2014 is het open voor het publiek als belevingsmonument (<https://www.fortduffel.be/>). Daarbij werden een aantal lokalen in gebruik genomen, die daarbij hun functie als vleermuishabitat verloren. Deze lokalen zijn op kaart aangegeven in figuur 1. In andere delen van het fort werden kunstmatige hangplaatsen in de lokalen aangebracht om in die lokalen meer vleermuizen aan te trekken en op het terrein van het fort werd een vleermuistunnel gebouwd. Tot en met de winter van 2016-2017 werd die echter nooit door vleermuizen gebruikt.



Figuur 1: Grondplan van het fort van Duffel (donkergroen: lokalen die in gebruik werden genomen en hun functie als vleermuishabitat verloren).

2 S-IHD

Het S-IHD-rapport voor het habitatrichtlijngebied BE2100045 "Historische fortengordels van Antwerpen als vleermuizenhabitat" bevat doelstellingen en te nemen instandhoudingsmaatregelen voor het fort (ANB 2011). De doelstellingen worden kwalitatief geformuleerd. In hoofdstuk 8 "De instandhoudingsdoelstellingen en prioritaire inspanningen" van het S-IHD rapport worden de doelsoorten voor het fort van Duffel opgesomd. Het betreft ingekorven vleermuis, watervleermuis, franjestaart en baard/Brandt's vleermuis. Voor ingekorven vleermuis is de doelstelling behoud of toename van de overwinteringspopulatie in de volgende fortengroep: fort Steendorp, fort 3 (Borsbeek), fort Schoten, fort Kessel, fort Lier, fort Liezele, fort Broechem, fort Koningshooikt, fort Bornem, fort Kapellen en fort Duffel. Voor de realisatie ervan wordt aangegeven dat het nodig is het geschikt microklimaat in vermelde forten te behouden, verbeteren en te bufferen zodat aan volgende kwaliteitseisen voldaan is:

- geen verstoring
- stabiele hoge temperatuur tussen 7 en 11°C
- zeer hoge relatieve luchtvochtigheid (> 90%)
- maximaal tochtvrij
- geen lichtpollutie van winterverblijfplaatsen, zwermplaatsen, fortgrachten en aanvliegeroutes
- behouden of creëren van geschikte spleten of nissen om in weg te kruipen.

Voor watervleermuis, franjestaart en baard/Brandt's wordt voor een uitgebreidere lijst van forten behoud of toename van de overwinteringspopulatie gevraagd. Voor de realisatie hiervan wordt aangegeven dat het nodig is om te voldoen aan dezelfde voorwaarden, met uitzondering van de temperatuursvoorwaarde die voor deze drie soorten vervangen wordt door:

- een stabiele vorstvrije temperatuur

Als prioritaire maatregelen wordt vermeld dat inrichtingswerkzaamheden nodig zijn om de kwaliteit van de fort en als vleermuizenverblijfplaats tijdens de winter- of zwermperiode te behouden of te verbeteren. Deze maatregelen kunnen betrekking hebben op de ondergrondse en bovengrondse delen en beperken zich niet noodzakelijk tot de zones die als vleermuizenreservaat aangeduid worden. Prioritair zijn maatregelen die tot een verbetering van het microklimaat leiden en gericht zijn op het vermijden van verstoring. Verder moet ook gedacht worden aan het verbeteren van de toegankelijkheid voor vleermuizen, de ecologische kwaliteit en connectiviteit van het fort domein door het behouden en versterken van aanwezige bosclementen, kleine landschapselementen en habitattypes zoals HT 3150, 9120, 9190 en 91E0.

In dit advies ligt de nadruk op de aanwezigheid van het geschikt microklimaat, en welke concrete inrichtingsmaatregelen nodig zijn in het fort van Duffel om dit te realiseren. Lichtpollutie, vermijden van verstoring en de geschiktheid van het omliggend landschap zijn uiteraard ook belangrijke factoren. Wat verstoring betreft zijn de lokalen waar vleermuizen overwinteren afgesloten. Van het effect van lichtpollutie op het zwermen is nog maar zeer weinig bekend. Dit wordt momenteel verder bekeken door de stuurgroep van het fort van Duffel. De kwaliteit van het omliggend landschap moet met behulp van een landschapsmodellering worden onderzocht. Het INBO heeft een uitgebreide ervaring met dergelijke landschapsmodellering voor vleermuizen, maar het uitvoeren van een dergelijke studie is binnen de tijdsopgave van een advies niet mogelijk.

3 Soorten en aantallen

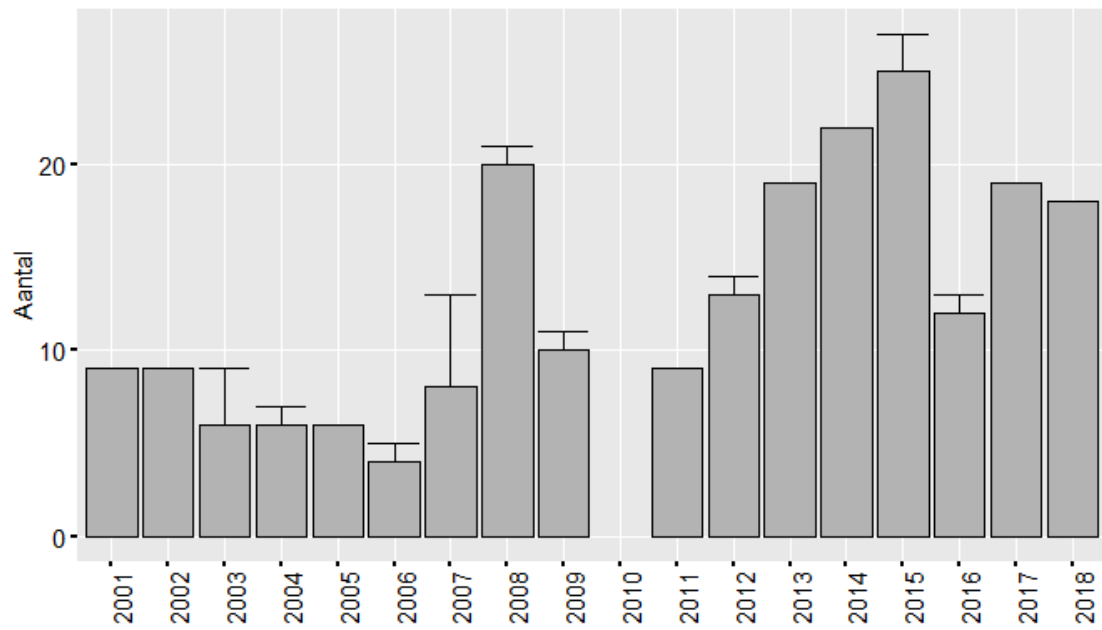
3.1 Gegevens

De vrijwilligers van de vleermuizenwerkgroep Natuurpunt tellen jaarlijks tijdens de winter het aantal vleermuizen in het fort. In 2001 en 2002 gebeurde de telling eind februari (24e,25e), alle jaren erna gebeurde de telling begin februari (tussen 1e en 9e). Van 2010 hebben we geen gegevens. De soorten die overwinterend in het fort van Duffel werden aangetroffen sinds 2001 zijn baard/Brandt's vleermuis, watervleermuis, franjestaart, ingekorven vleermuis, grootoorvleermuis en dwergvleermuis. Baardvleermuis en Brandt's vleermuis worden samengenomen, omdat het onderscheid dikwijls moeilijk te maken is bij overwinterende dieren. Beide soorten werden in het fort aangetroffen, een grotere meerderheid van de met zekerheid gedetermineerde individuen zijn baardvleermuis. Ook de dwergvleermuizen worden samengenomen. Zowel gewone als ruige dwergvleermuis werden in het fort overwinterend aangetroffen, maar meestal gaat het om gewone dwergvleermuis. Ook tussen gewone en grijze grootoorvleermuis werd geen onderscheid gemaakt. De individuen die met zekerheid gedetermineerd werden, waren alle gewone grootoorvleermuis.

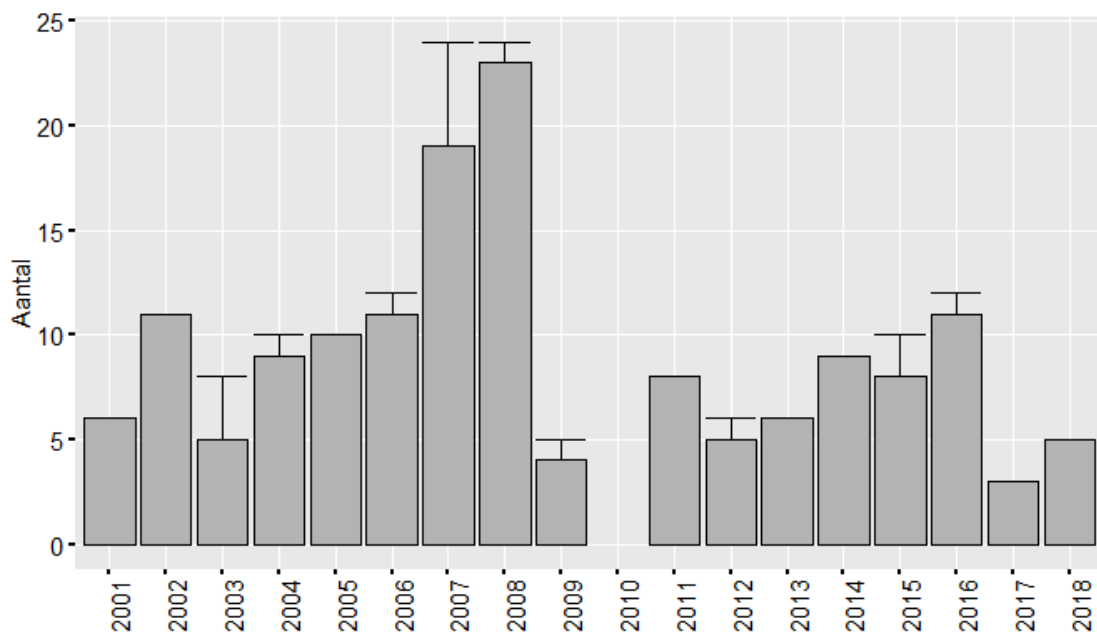
3.2 Aantalsevolutie

De evolutie van de aantallen van de voornaamste soorten wordt weergegeven in figuur 2 tot figuur 7. Foutenvlaggen geven de onzekerheid aan doordat niet alle vleermuizen tot op soort konden worden gedetermineerd. Om het effect van de inrichting nader te bekijken worden de jaarlijks getelde aantallen in de periode voor 2010 vergeleken met de jaarlijks getelde aantallen in de periode erna. Deze vergelijking deden we enkel voor de meest voorkomende soorten (zie figuur 8).

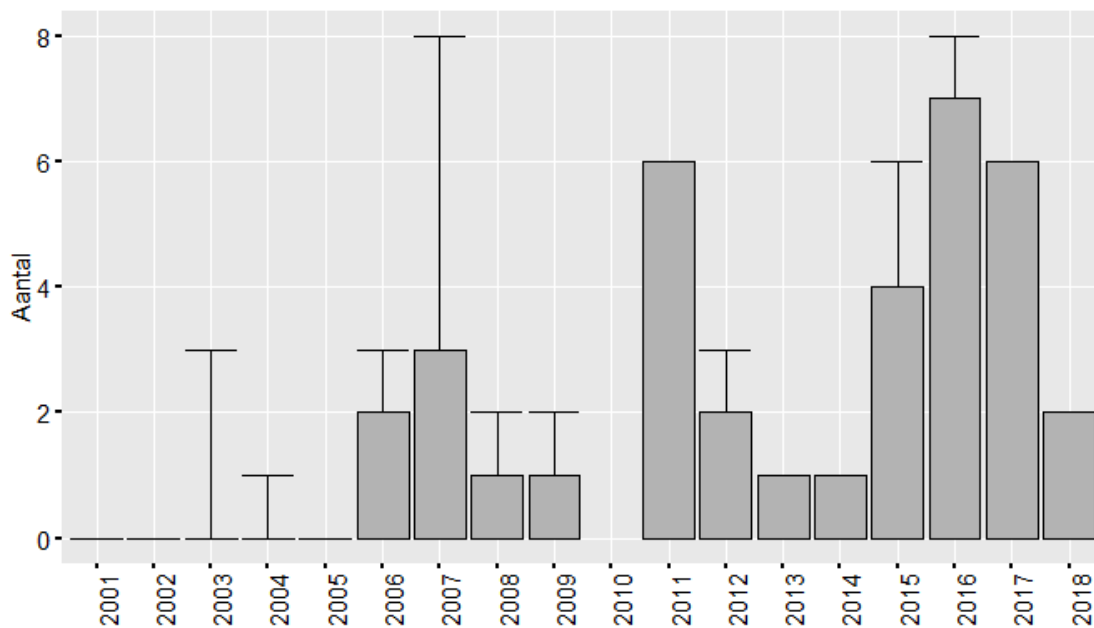
De aantallen baard/Brandt's vleermuis, franjestaart en dwergvleermuis zijn significant hoger na 2010 dan ervoor. Ook grootoorvleermuis is zeker niet afgenomen na 2010. Ingekorven vleermuis werd enkel na 2010 waargenomen. Het ging echter steeds om een enkel individu, en de soort werd niet jaarlijks waargenomen. Watervleermuis lijkt iets lagere aantallen te kennen na 2010, maar het verschil is niet significant. Als we figuur 3 bekijken, zien we dat de populatie groeide tot 2008, en daarna een abrupte val kende. Dit is voor de aankoop van het fort door vzw Kempens Landschap. Het lijkt erop dat een kolonie die het fort als overwinteringsplaats gebruikte door externe factoren verdwenen is.



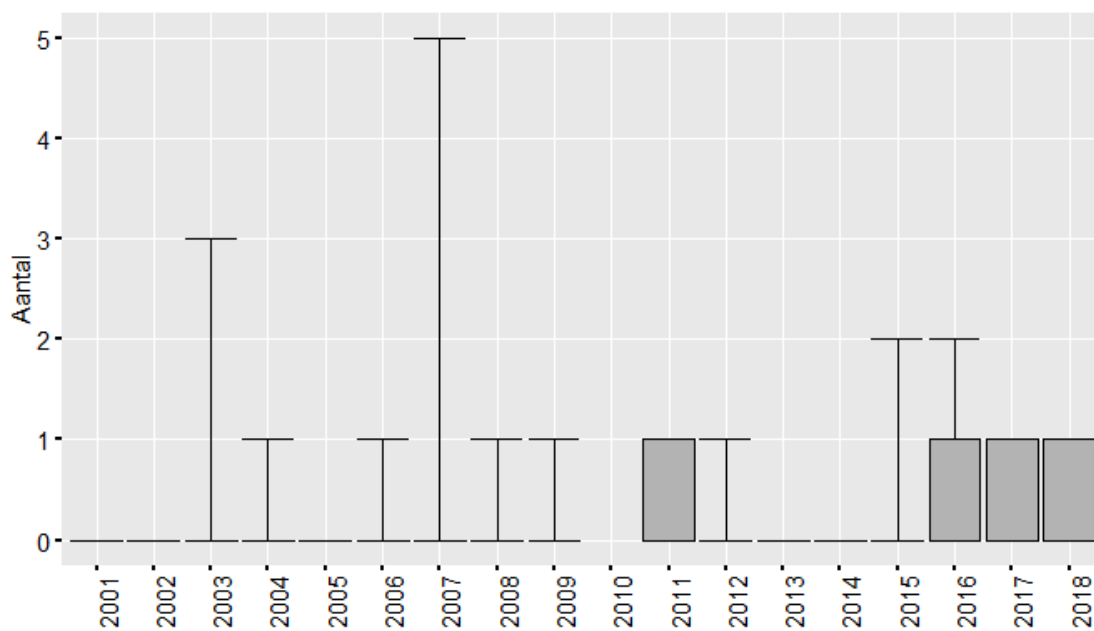
Figuur 2: Aantalsverloop van baard/Brandt's vleermuis in het fort van Duffel. Foutenvlaggen geven de individuen aan die niet tot op soort konden worden gedetermineerd.



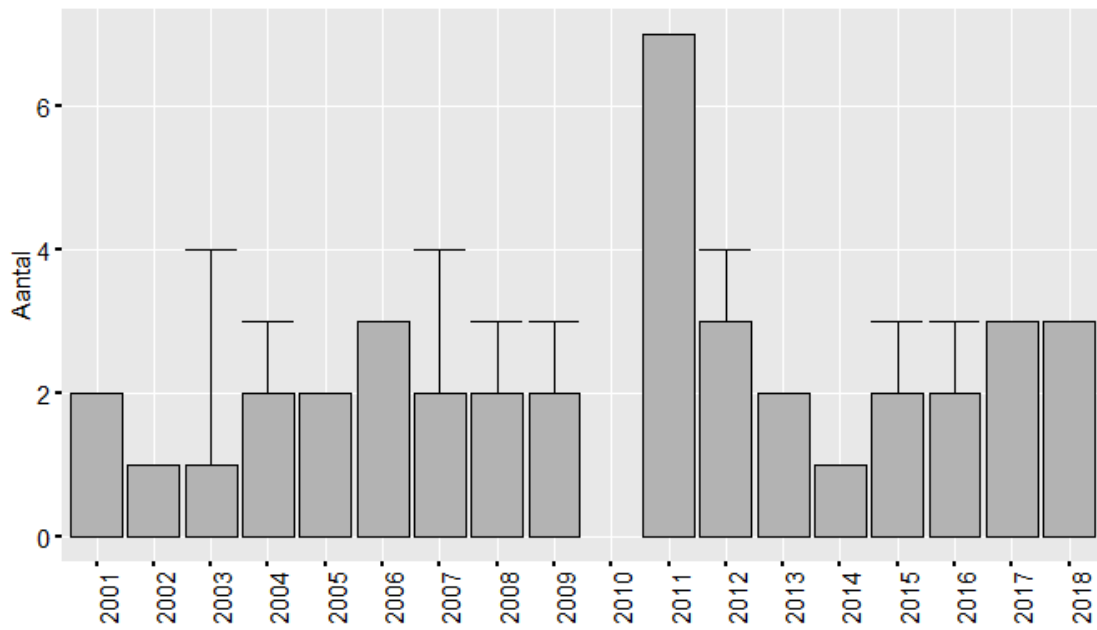
Figuur 3: Aantalsverloop van watervleermuis in het fort van Duffel. Foutenvlaggen geven de individuen aan die niet tot op soort konden worden gedetermineerd.



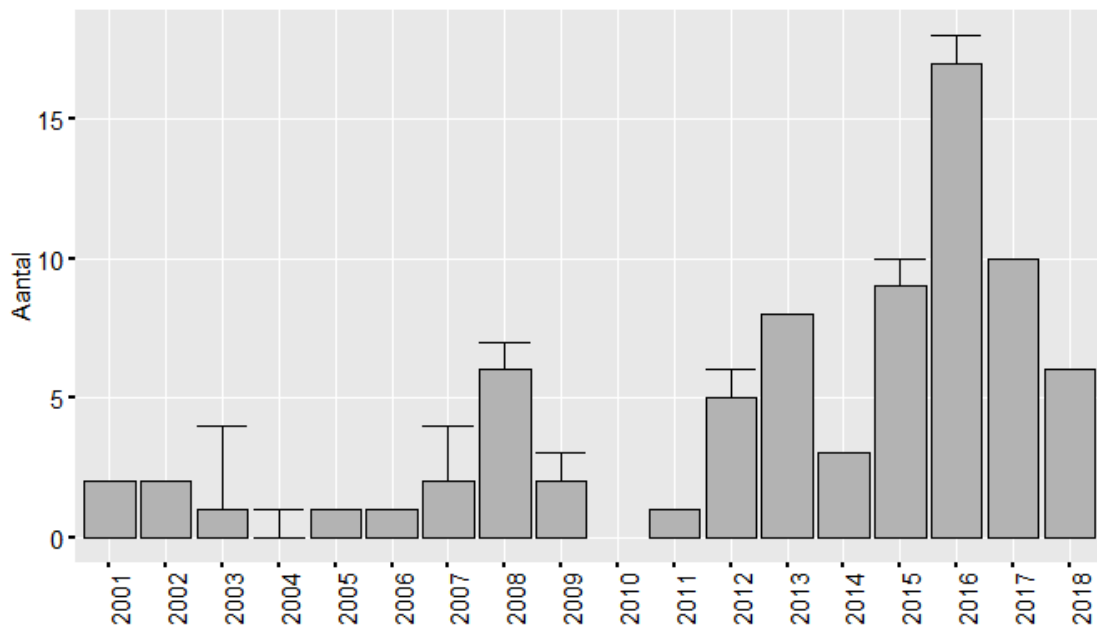
Figuur 4: Aantalsverloop van franjestart in het fort van Duffel. Foutenvlaggen geven de individuen aan die niet tot op soort konden worden gedetermineerd.



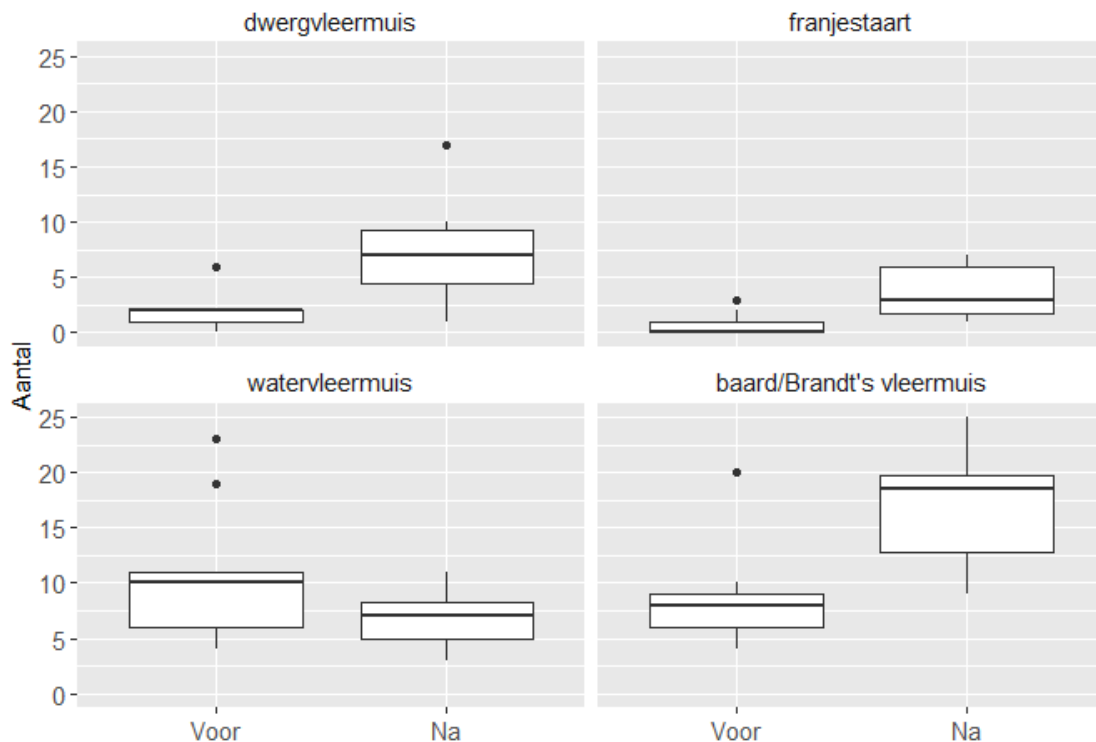
Figuur 5: Aantalsverloop van ingekorven vleermuis in het fort van Duffel. Foutenvlaggen geven de individuen aan die niet tot op soort konden worden gedetermineerd.



Figuur 6: Aantalsverloop van grootoorvleermuis in het fort van Duffel. Foutenvlaggen geven de individuen aan die niet tot op soort konden worden gedetermineerd.



Figuur 7: Aantalsverloop van dwergvleermuis in het fort van Duffel. Foutenvlaggen geven de individuen aan die niet tot op soort konden worden gedetermineerd.



Figuur 8: Vergelijking van de jaarlijks getelde aantallen in de periode voor 2010 met de jaarlijks getelde aantallen in de periode na 2010, voor de vier meest voorkomende soorten.

3.3 Soortensamenstelling

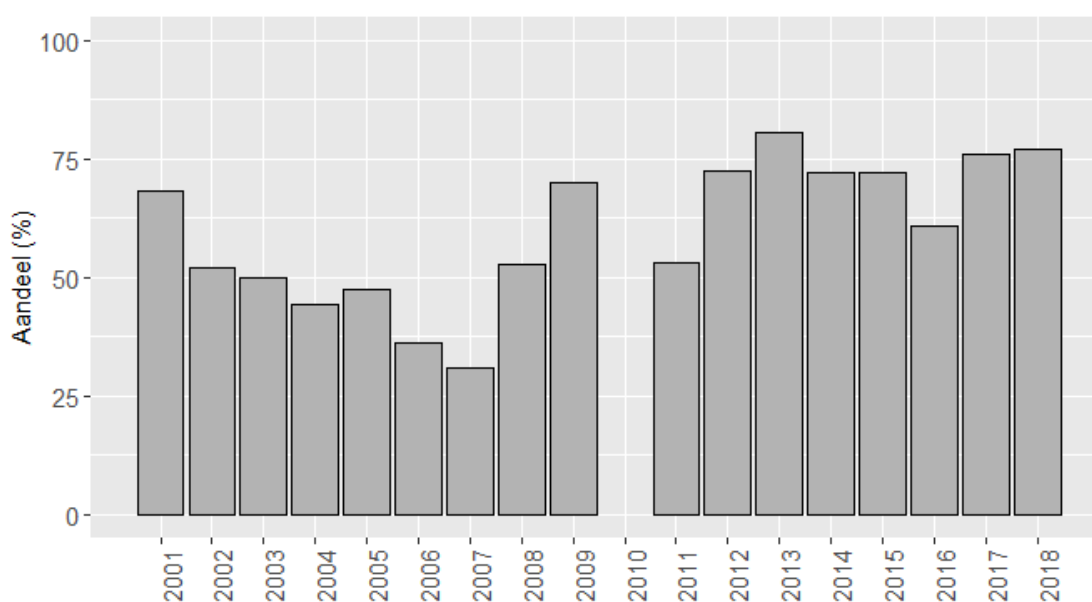
De vraagsteller geeft aan dat de soorten die in het fort van Duffel komen overwinteren vooral koude tolerante soorten zijn, die niet noodzakelijk in forten overwinteren. De typische soorten die overwinteren in forten zijn volgens de vraagsteller onvoldoende aanwezig. Om deze stelling na te gaan moeten we eerst definiëren wat koude tolerante soorten zijn. Vleermuizen overwinteren door hun lichaamstemperatuur te laten zakken tot bijna de omgevingstemperatuur, om zo hun energieverbruik te verminderen (Geiser, 2004). Hoe lager ze hun lichaamstemperatuur kunnen laten zakken, hoe meer energie ze kunnen besparen. Er is echter een ondergrens waar ze niet beneden kunnen. Deze ondergrens verschilt van soort tot soort (Arlettaz et al., 2000). Soorten met een lage ondergrens zijn zogenaamde koude tolerante soorten. Zij kiezen daarom doorgaans voor koudere plaatsen. Koude tolerantie verschilt van soort tot soort en is dus eerder een continuüm dan een classificatie. Dwergvleermuizen en grootoorvleermuizen zijn zeer koude tolerante soorten. De *Myotis* soorten, die typisch in forten overwinteren, zijn minder koude tolerant, maar vertonen ook een duidelijke differentiatie. Baard/Brandt's vleermuis is minder koude tolerant dan dwergvleermuizen en grootoorvleermuizen, maar wordt dikwijls toch nog tot de koude tolerante soorten gerekend. Ingekorven vleermuis is absoluut niet koude tolerant en heeft dus warme plaatsen nodig. Watervleermuis en franjestaart zijn intermediair. Zij kunnen op koudere plaatsen overwinteren dan ingekorven vleermuis, maar zijn niet als koude tolerant te beschouwen.

Een verblijfplaats is tijdens een koude periode kouder als ze minder gebufferd is ten opzichte van de buitentemperatuur. Op deze plaatsen zal de temperatuur dus ook meer schommelen dan op meer gebufferde plaatsen. Forten bevatten doorgaans een variatie aan weinig tot sterk gebufferde plaatsen. De aanwezigheid van sterk gebufferde plaatsen onderscheidt forten van andere overwinteringsobjecten zoals bunkers, spouwen, boomholten, enz. Daardoor worden niet zo koude tolerante soorten eerder in forten aangetroffen.

Uit de soortensamenstelling van het fort van Duffel blijkt dat de soorten die het sterkst zijn toegenomen en het grootste aandeel van de vleermuispopulatie omvatten, de koude

tolerante dwergvleermuis en de meest koude tolerante van de *Myotis* soorten (baard/Brandt's vleermuis) zijn. Watervleermuis en franjestaart komen jaarlijks voor, maar in kleinere aantallen. Ingekorven vleermuis komt niet jaarlijks voor, en als ze voorkomt is het slechts een enkel individu. Als we baard/Brandt's vleermuis ook bij de koude tolerantere soorten rekenen, hebben zij nu een aandeel van ongeveer 75%. Het aandeel per jaar van de koude tolerante soorten is weergegeven in figuur 9. Dit aandeel lijkt in de tweede helft van de weergegeven periode gemiddeld hoger te liggen dan voordien, maar dit aandeel werd vóór 2010 reeds bereikt.

Om deze verhouding te interpreteren is het belangrijk ook naar andere forten in dezelfde zone van de fortengordel te kijken. In 2013 bedroeg dit aandeel in het fort van Walem om en bij de 65%, in het fort van Koningshooikt om en bij de 70% en in het fort van Sint-Katelijne-Waver meer dan 90% (Boers et al. 2013). Ook dit zijn hoge waarden. Het is dus niet onmogelijk dat de soortensamenstelling bepaald wordt door landschappelijke context van de grotere regio.



Figuur 9: Aandeel van koude tolerante soorten in het fort van Duffel (dwergvleermuizen, grootoorvleermuizen en baard/Brandt's vleermuis).

3.4 Evaluatie van de aantallen in het kader van de S-IHD

De doelstelling volgens de S-IHD is het behoud of de groei van de populaties ingekorven vleermuis, watervleermuis, franjestaart en baard/Brandt's vleermuis. Ingekorven vleermuis wordt niet jaarlijks waargenomen, en telkens met slechts een enkel individu. Het fort van Duffel draagt dus nauwelijks bij aan de S-IHD doelstellingen voor ingekorven vleermuis. Voor franjestaart en baard/Brandt's vleermuis zien we een toename van de aantallen. Voor watervleermuis liggen de aantallen iets lager na 2010, maar de aantallen verschillen niet significant. Een achteruitgang is dus zeker niet aangetoond. De grootste achteruitgang situeert zich tussen 2008 en 2009 en staat dus los van de inrichting. De soortensamenstelling van de doelsoorten wordt gedomineerd door baard/Brandt's vleermuis, maar dat is in andere forten in dezelfde regio ook zo. De stelling dat wordt vastgesteld dat de soorten die er komen overwinteren eerder koude tolerante soorten zijn en dat de typische soorten die overwinteren in forten onvoldoende aanwezig zijn, moet dus worden genuanceerd. Watervleermuis, franjestaart en baard/Brandt's vleermuis voldoen in wezen aan de doelstellingen van de S-IHD. Of de klimatologische omstandigheden in het fort ook

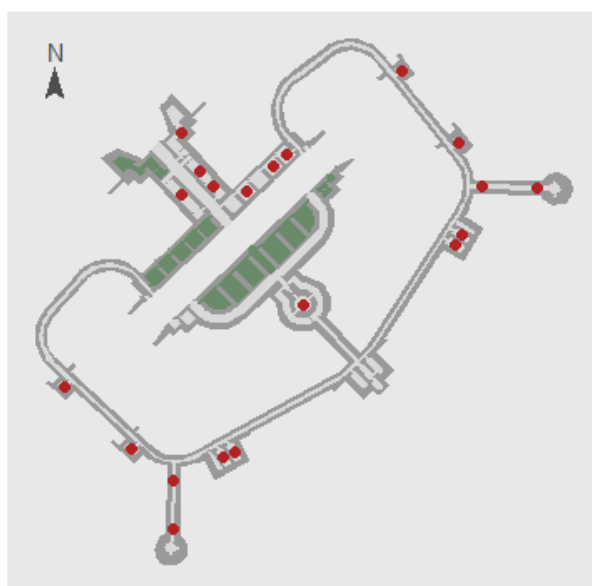
gunstig zijn om ze op lange termijn duurzaam te behouden is daarmee nog niet zeker. Dat wordt verderop in het advies nagegaan.

4 Microklimaat

4.1 Temperatuur

4.1.1 Model

Volgens het S-IHD-rapport heeft ingekorven vleermuis een temperatuur van 7-11°C nodig in het overwinteringsverblijf. Voor de andere doelsoorten is dat een vorstvrije omgeving. Sinds de publicatie van het S-IHD rapport werd door INBO en UA verder onderzoek gevoerd naar de temperatuursomstandigheden van overwinterende vleermuizen, onder andere in het fort van Duffel. In het fort van Duffel werden in het kader van een masterthesis een reeks temperatuursloggers geplaatst in de winter 2014-2015. Deze loggers registreerden de temperatuur elke twee uur. De locatie van deze loggers is met rode bollen weergegeven in figuur 10.



Figuur 10: Overzicht van de temperatuurloggers (rode bollen) in het fort van Duffel tijdens de winter van 2014-2015.

Uit het tot nog toe gevoerde onderzoek blijkt dat voor watervleermuis, franjestaart en baard/Brandt's vleermuis het criterium vorstvrij waarschijnlijk te ruim is, en dat zij toch iets hogere temperaturen nodig hebben dan louter vorstvrij. De temperaturen die in het fort heersen zijn afhankelijk van de buitentemperatuur en verschillen dus van jaar tot jaar. Het binnenklimaat is afhankelijk van zowel isolatie door de wanden als van de grootte van de tochtstroom die door de gangen en kamers van het fort waait. Welk van beide eventueel moet aangepakt worden om het microklimaat te verbeteren vraagt een modelmatige analyse van de binnentemperatuur. Het INBO ontwikkelde een model om de invloed van isolatie en tocht afzonderlijk uit de temperatuursreeksen te kunnen afleiden (Gyselings et al. 2017). Het model gaat na in hoeverre schommelingen in de buitentemperatuur nog voelbaar zijn binnen. Algemeen worden schommelingen op korte termijn, zoals dagdagelijkse schommelingen, sterker gedempt dan schommelingen op lange termijn, zoals bijvoorbeeld wekelijkse of maandelijkse schommelingen. Het model gaat met behulp van een Fourier transformatie na welke perioden van schommelingen voorkomen in de buitentemperatuur en in de binnentemperatuur, en berekent per schommelingsperiode in hoeverre deze schommelingen binnen nog voelbaar zijn uit de verhouding tussen beide. Dit levert een curve op die de mate van demping geeft per schommelingsperiode, de zogenaamde dempingscurve. Deze dempingscurve geeft voor een bepaalde schommelingsperiode de

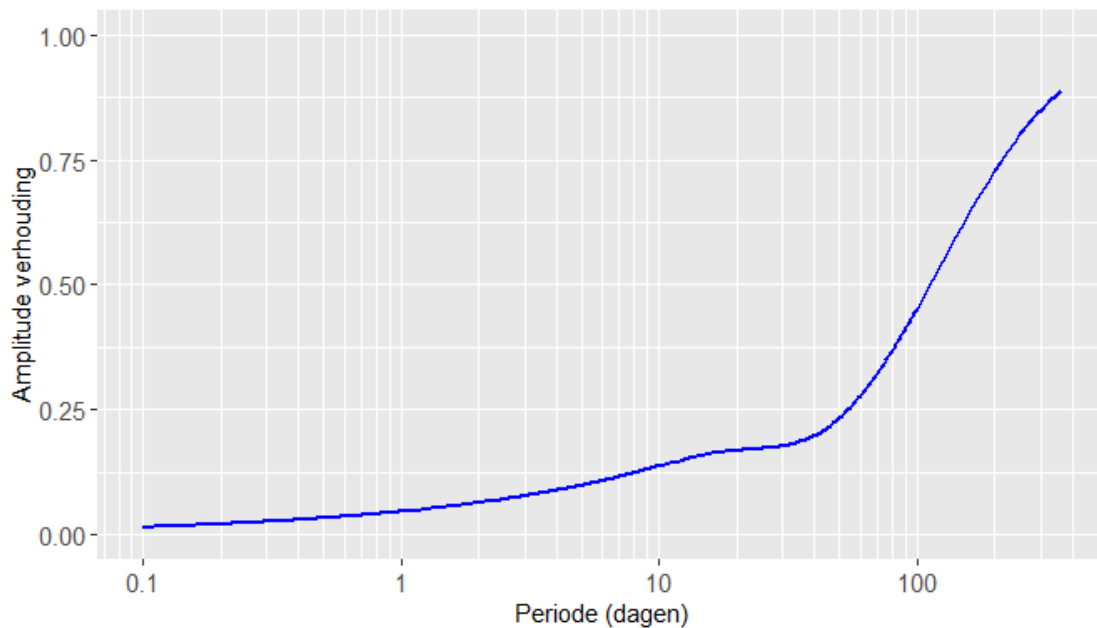
verhouding tussen de amplitude van de temperatuurschommeling binnen en de amplitude van de temperatuurschommeling buiten. Figuur 11 geeft een voorbeeld van een dergelijke curve voor kamer III 3 van het fort van Duffel. Het verloop van deze curve kan gerelateerd worden aan de mate van isolatie door wanddikte en gronddek, en in welke mate tocht het binnenklimaat beïnvloedt. Een betere isolatie doet de curve naar rechts opschuiven, tocht kromt de curve naar boven.

$$Dempingscurve = \left| \frac{FT(\text{Binnentemperatuur})}{FT(\text{Buitentemperatuur})} \right| = f(\text{isolatie, tocht, periode})$$

De isolatiecoëfficiënt wordt gegeven door:

$$IC = L \sqrt{\frac{k}{\rho c_p}}$$

Hierin is L de wanddikte, k de thermische geleidbaarheid, ρ de dichtheid en c_p de soortelijke warmtecapaciteit. De isolatiecoëfficiënt neemt dus lineair toe met de wanddikte. Voor de tochtcoëfficiënt kan geen dergelijke eenduidige formule worden afgeleid, de interpretatie ervan moet gebeuren door vergelijking met referentiesituaties.



Figuur 11: Dempingscurve voor kamer III 3 in het fort van Duffel.

De curve geeft voor elke schommelingsperiode aan in welke mate een temperatuursvariatie in de buitentemperatuur binnen nog voelbaar is. De mate waarin de meetplaats gebufferd is tegen temperatuurschommelingen met een periode p wordt dus weergegeven door:

$$Buffering(p) = 1 - dempingscurve(p)$$

Om een algemeen beeld te krijgen van de buffering van een locatie kan een gemiddelde buffering berekend worden tussen twee schommelingsperioden p_1 en p_2 :

$$Buffering_{p_1}^{p_2} = 1 - \frac{1}{p_2 - p_1} \int_{p_1}^{p_2} dempingscurve(p) dp$$

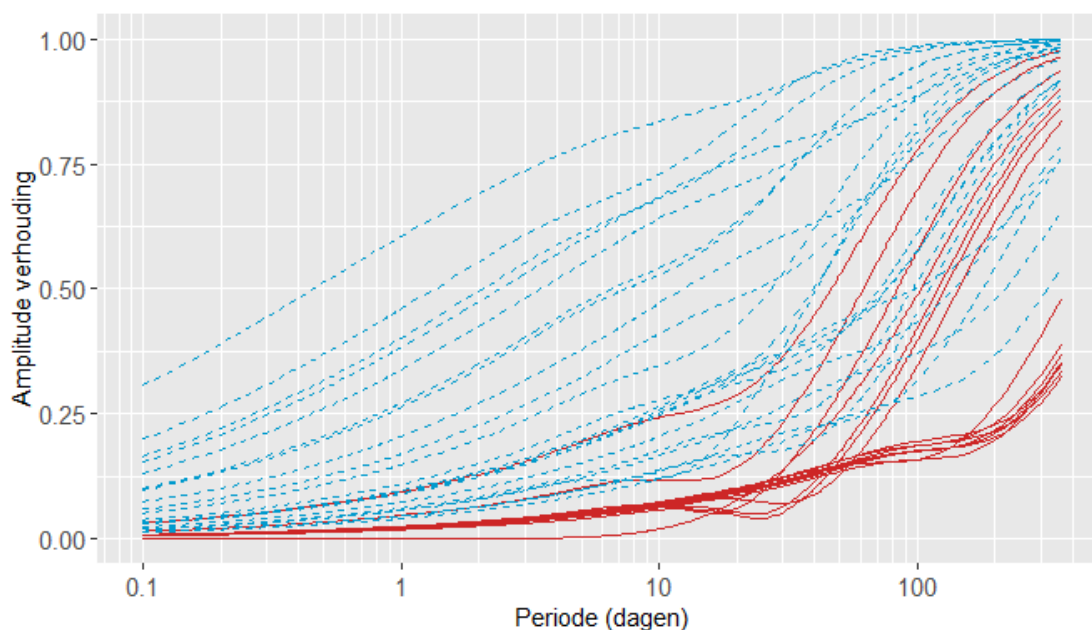
Hoe hoger de buffering van een plaats in het fort is, hoe minder de temperatuur zal fluctueren ten gevolge van variaties in de buitentemperatuur. Bij een buffering van 100% voor alle schommelingsperioden zal de temperatuur binnen jaarrond constant de langjarig gemiddelde jaartemperatuur bedragen. Bij een lagere buffering zal de binnentemperatuur fluctueren ten gevolge van de buitentemperatuur. Hoe lager de buffering, hoe lager de temperaturen kunnen zakken in de winter. We verwachten dus dat minder koude tolerante soorten plaatsen zullen verkiezen met een hoge gemiddelde buffering.

4.1.2 Evaluatie van het fort van Duffel

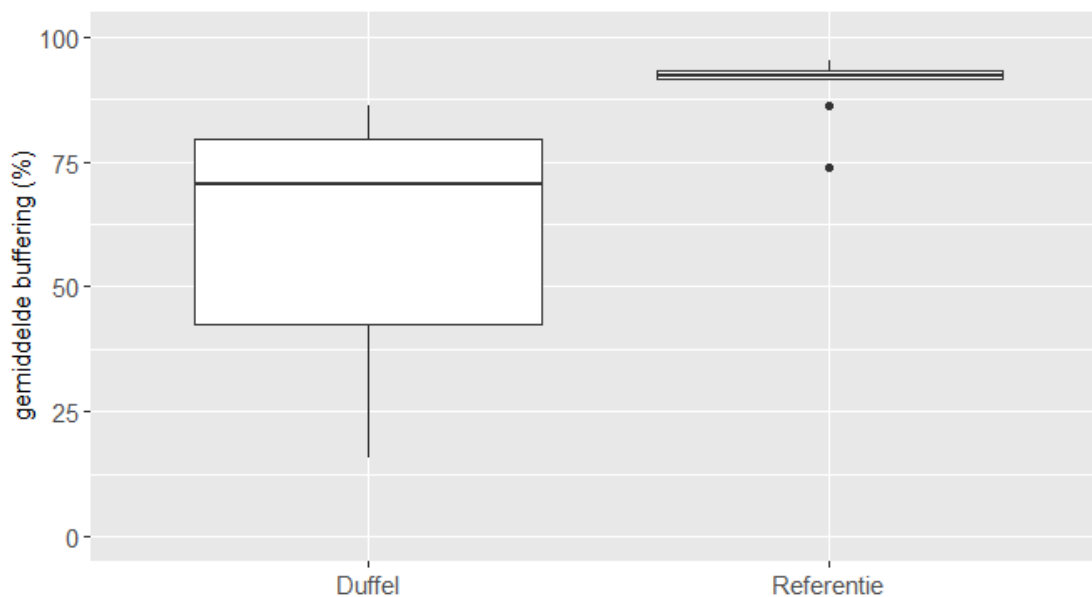
Om de situatie in het fort van Duffel te evalueren worden de dempingscurves die werden berekend voor de verschillende loggerlocaties vergeleken met de dempingscurves van locaties in referentieforten. We gebruiken de forten van Oelegem en Schoten als referentieforten, vermits beide forten een grote populatie ingekorven vleermuis herbergen en een goede afsluiting tegen verstoring hebben.

4.1.2.1 Ingekorven vleermuis

Vermits Schoten en Oelegem grote populaties hebben (>100 individuen) en ingekorven vleermuis de neiging heeft om te clusteren, worden enkel plaatsen in rekening gebracht waar minstens twee individuen hingen. De verschillende dempingscurves zijn weergegeven in Figuur 12. We zien dat de dempingscurves voor het fort van Duffel hoger liggen dan de meeste referentiecures voor ingekorven vleermuis, met uitzondering van 1 locatie in het fort van Schoten. De gemiddelde buffering voor schommelingen tussen 1 en 30 dagen is in het fort van Duffel beduidend lager dan de gemiddelde buffering van de referentielocaties voor ingekorven vleermuis (zie figuur 13). Hieruit volgt duidelijk dat de temperatuur op de meetlocaties in het fort van Duffel onvoldoende gebufferd zijn om een populatie ingekorven vleermuis duurzaam te herbergen.



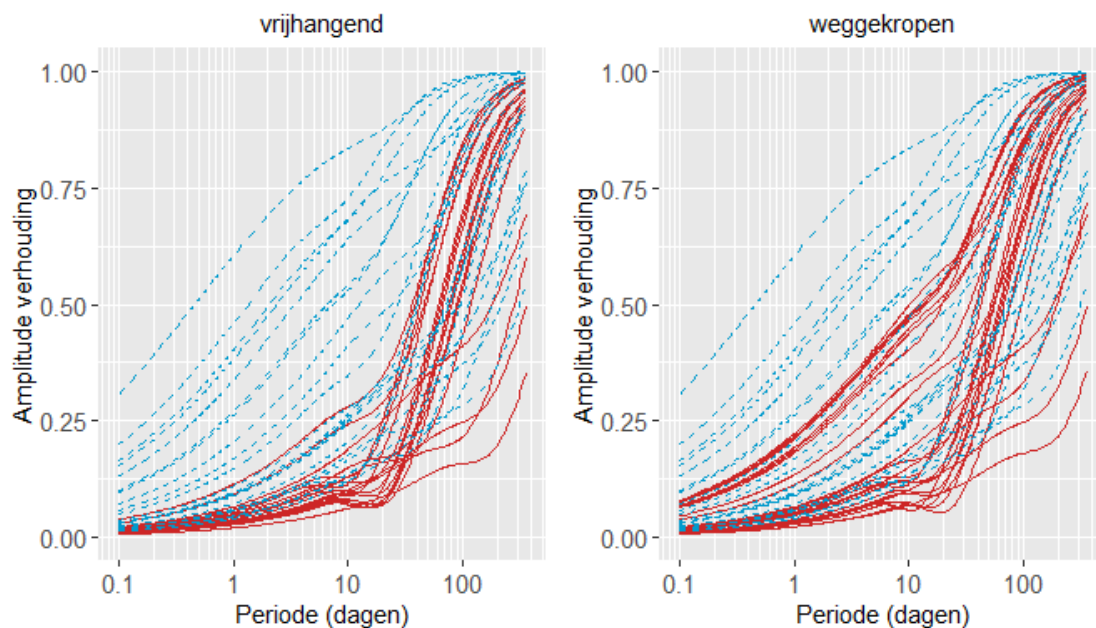
Figuur 12: Rode volle lijn: Referentie dempingscurves voor ingekorven vleermuis van de forten van Oelegem en Schoten. Blauwe stippellijn: Dempingscurves van het fort van Duffel.



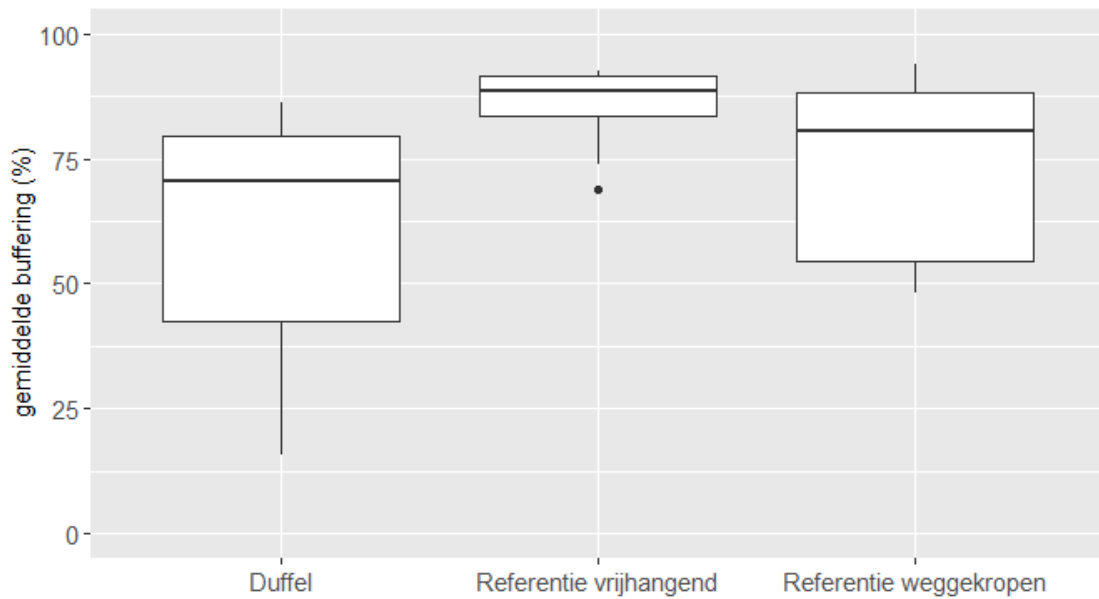
Figuur 13: Vergelijking van de gemiddelde buffering van 1 tot 30 dagen schommelingsperiode tussen de locaties in het fort van Duffel en de locaties waar ingekorven vleermuis voorkomt in de forten van Schoten en Oelegem.

4.1.2.2 Watervleermuis

In tegenstelling tot ingekorven vleermuis heeft watervleermuis de neiging dikwijls weg te kruipen in spleten waar de temperatuur meer gebufferd is dan in de kamer. Daarom worden afzonderlijke referentiecurves gebruikt voor vrijhangende watervleermuizen en weggekropen watervleermuizen. Voor watervleermuis is er meer overlap tussen de referentiecurves en het aanbod in het fort van Duffel (zie figuur 14) dan bij ingekorven vleermuis. De overlap met de referentie voor vrijhangende watervleermuizen is echter nog steeds klein. Watervleermuis heeft in Duffel zeker nood aan een goed aanbod aan weggroipmogelijkheden (zie figuur 15).



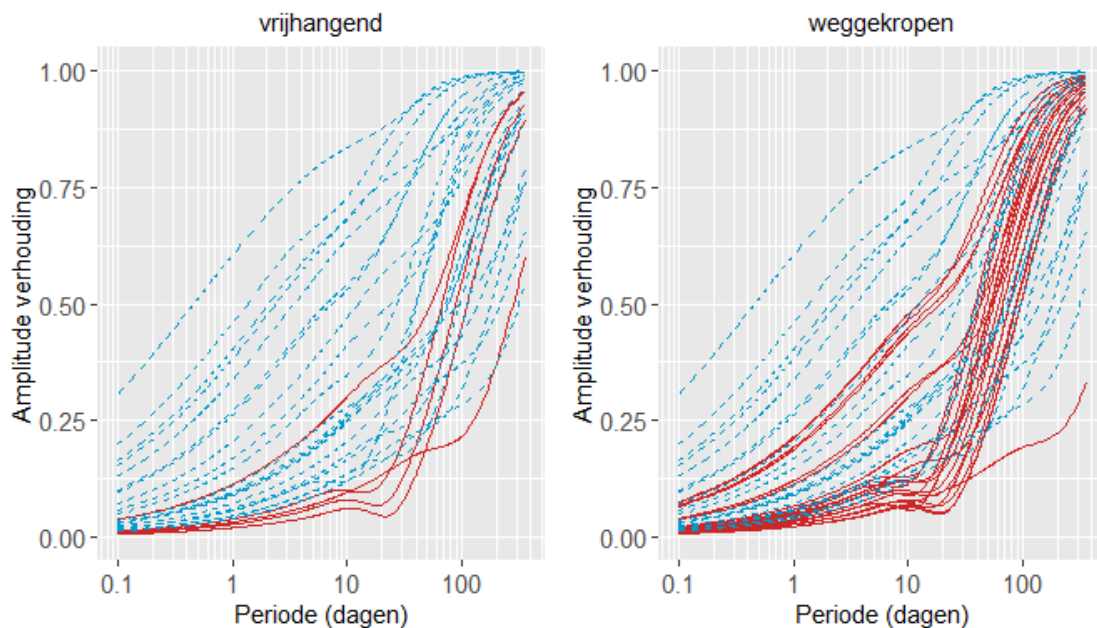
Figuur 14: Rode volle lijn: Referentie dempingscurves voor watervleermuis van de forten van Oelegem en Schoten. Blauwe stippellijn: Dempingscurves van het fort van Duffel.



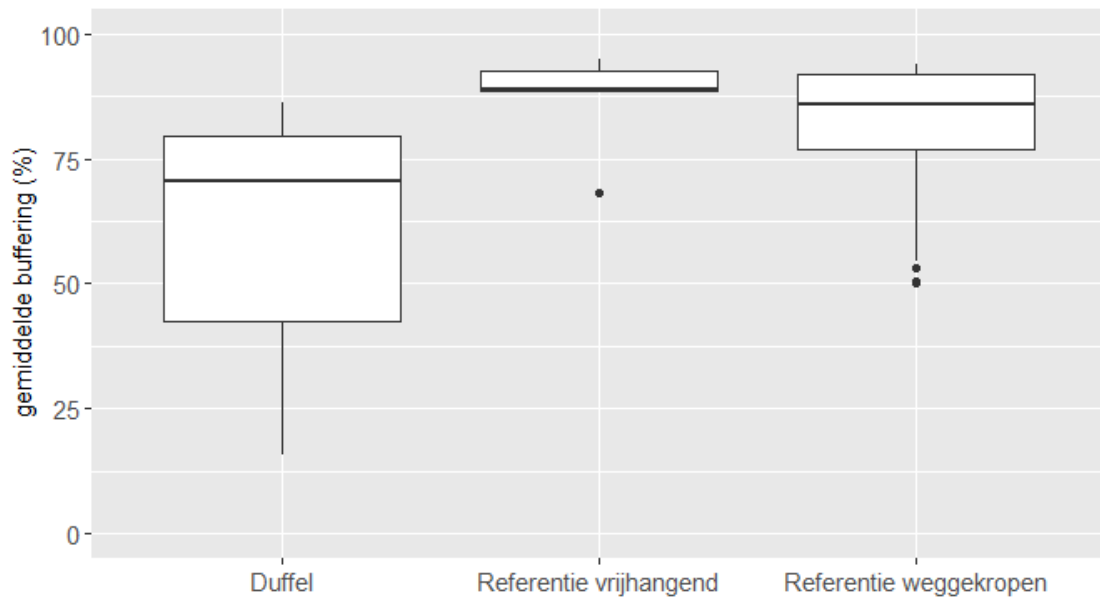
Figuur 15: Vergelijk van de gemiddelde buffering van 1 tot 30 dagen schommelingsperiode tussen de locaties in het fort van Duffel en de locaties waar watervleermuis voorkomt in de forten van Schoten en Oelegem.

4.1.2.3 Franjestaart

Ook franjestaart is een soort die wegkruipt in spleten, in die mate zelfs dat franjestaart meestal weggekropen wordt aangetroffen. Ook hier worden afzonderlijke referentiecures gebruikt voor vrijhangende franjestaarten en weggekropen franjestaarten. Voor franjestaart is de overlap met de vrijhangende referentiecures zeer klein (zie figuren 16 en 17), vergelijkbaar met de situatie voor ingekorven vleermuis. Maar omdat franjestaart maar zelden vrijhangend wordt waargenomen is het aantal referentiecures beperkt. Voor weggekropen franjestaarten is de overlap groter maar toch nog beperkt. Voor franjestaart is een goed aanbod aan wegkruipmogelijkheden in het fort van Duffel essentieel.



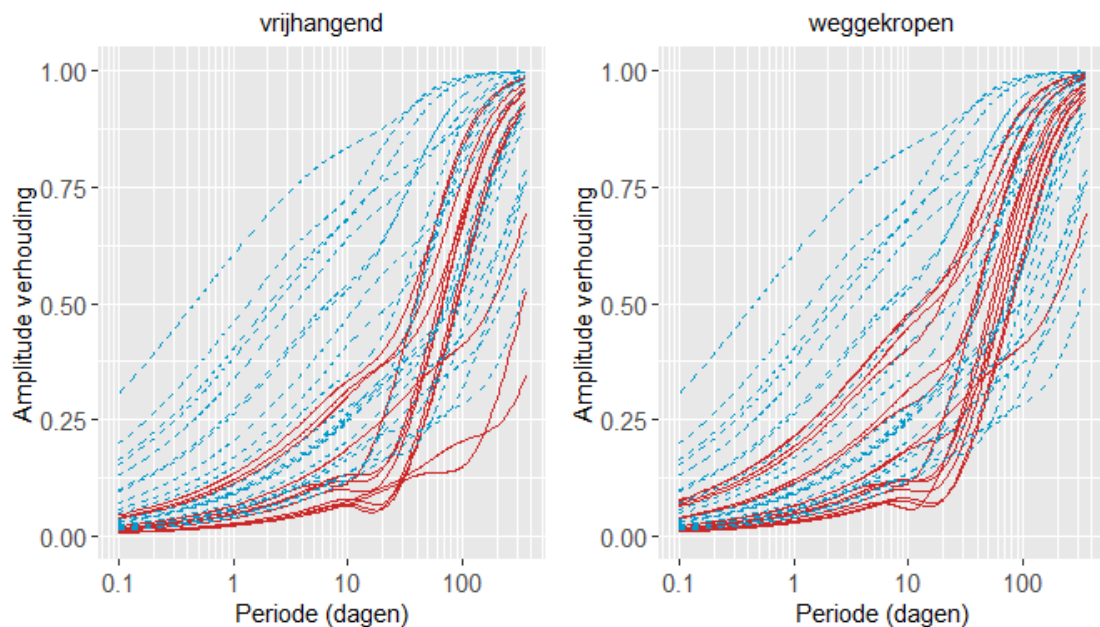
Figuur 16: Rode volle lijn: Referentie dempingscurves voor franjestaart van de forten van Oelegem en Schoten. Blauwe stippellijn: Dempingscurves van het fort van Duffel.



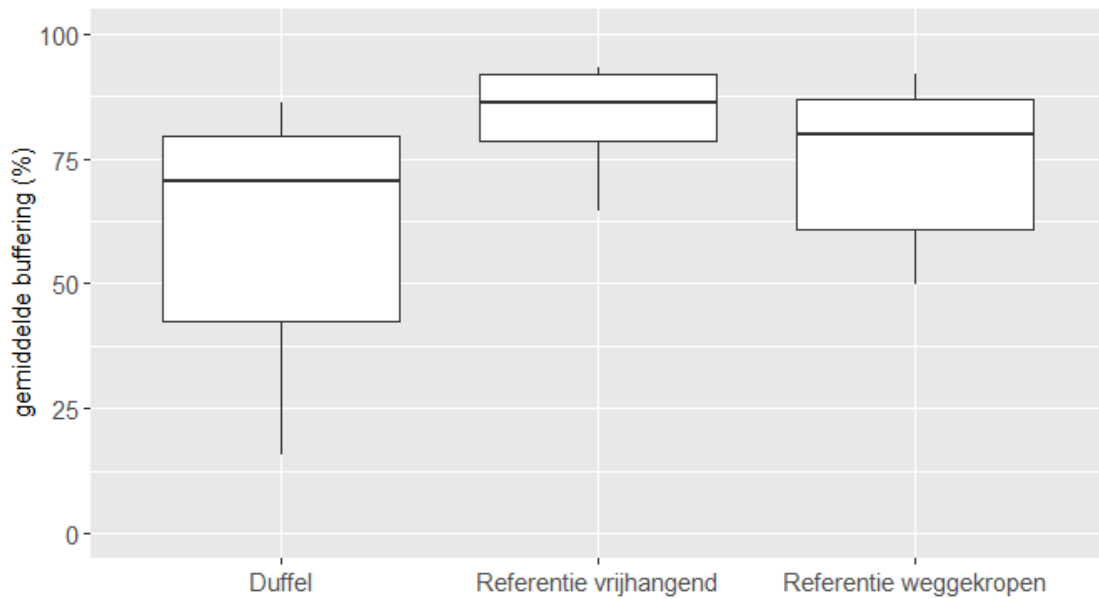
Figuur 17: Vergelijking van de gemiddelde buffering van 1 tot 30 dagen schommelingsperiode tussen de locaties in het fort van Duffel en de locaties waar franjestaart voorkomt in de forten van Schoten en Oelegem.

4.1.2.4 *Baard/Brandt's vleermuis*

Baard/Brandt's vleermuis wordt net als watervleermuis zowel vrijhangend als weggekropen waargenomen. Ook hier worden afzonderlijke referentiecurves gebruikt voor vrijhangende vleermuizen en weggekropen vleermuizen. Voor baard/Brandt's vleermuis is er meer overlap tussen de referentiecurves en het aanbod in het fort van Duffel (zie figuren 18 en 19).



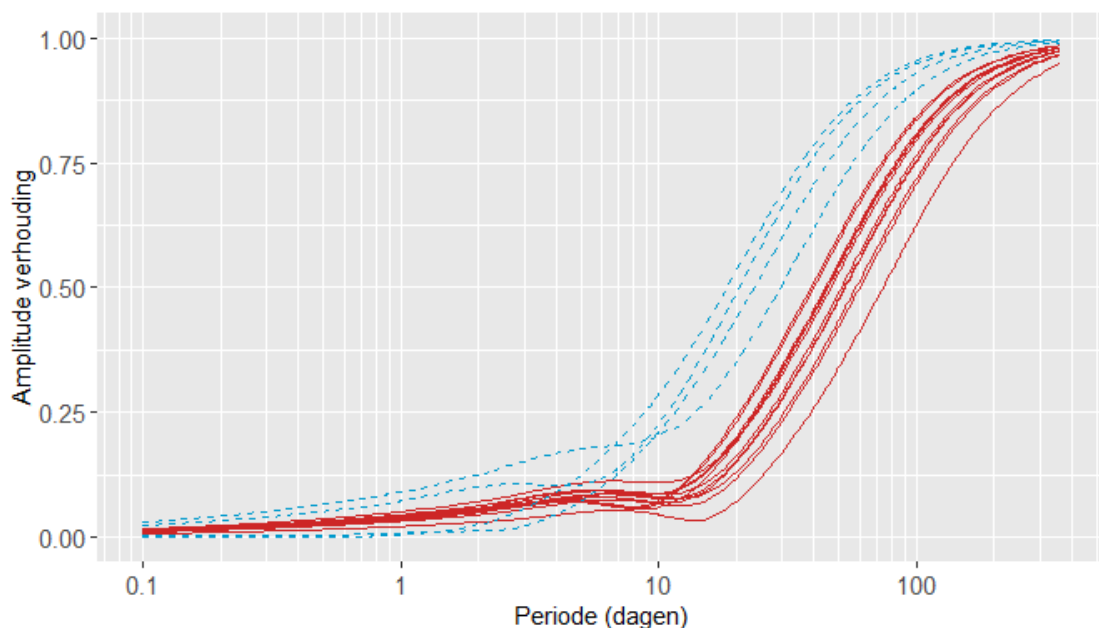
Figuur 18: Rode volle lijn: Referentie dempingscurves voor baard/Brandt's vleermuis van de forten van Oelegem en Schoten. Blauwe stippellijn: Dempingscurves van het fort van Duffel.



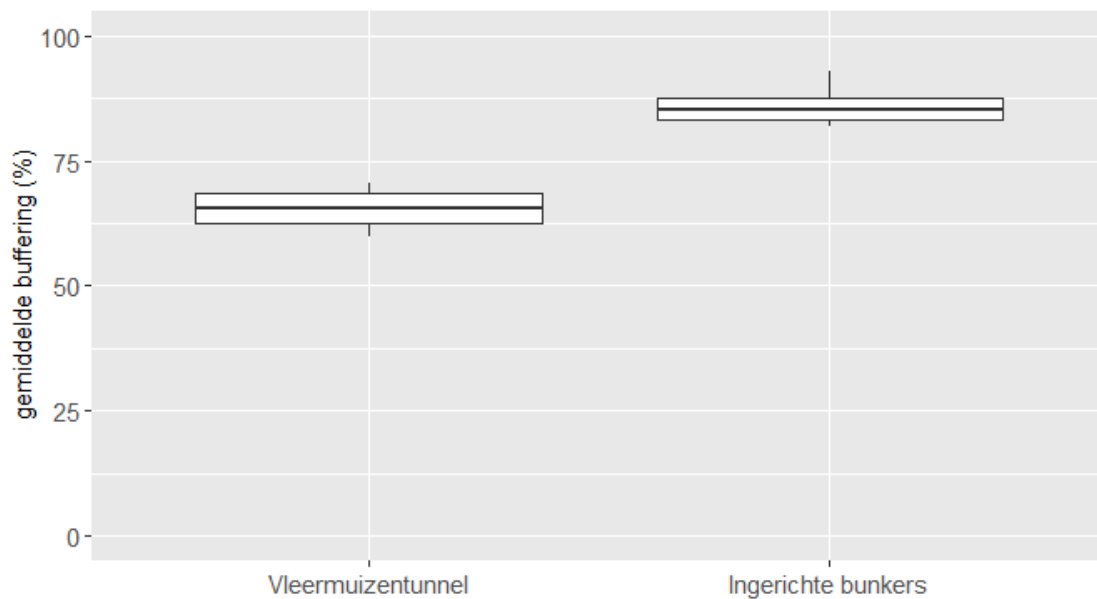
Figuur 19: Vergelijking van de gemiddelde buffering van 1 tot 30 dagen schommelingsperiode tussen de locaties in het fort van Duffel en de locaties waar baard/Brandt's vleermuis voorkomt in de forten van Schoten en Oelegem.

4.1.3 Evaluatie van de vleermuistunnel

De vleermuistunnel is een kleinschaliger object dat artificeel werd gebouwd op het domein van het fort van Duffel. Hierin werden op vier plaatsen loggers gehangen. Vermits dit object constructief gezien meer weg heeft van een ingerichte bunker dan van een fort, worden de dempingscurves van de vleermuistunnel vergeleken met die van de bunkers van het Mastenbos in Kapellen, die werden ingericht voor vleermuizen. Watervleermuis en franjestaart worden in het Mastenbos veelvuldig in de ingerichte bunkers aangetroffen. (Gyselings et al. 2014, Gyselings 2018). De dempingscurves zijn weergegeven in figuur 20. Figuur 21 vergelijkt de gemiddelde buffering tussen 1 en 30 dagen schommelingsperiode. De vleermuistunnel is duidelijk minder gebufferd dan de referentiebunkers.



Figuur 20: Rode volle lijn: Referentie dempingscurves voor ingerichte bunkers van het Mastenbos. Blauwe stippellijn: Dempingscurves van de vleermuistunnel op het domein van het fort van Duffel.



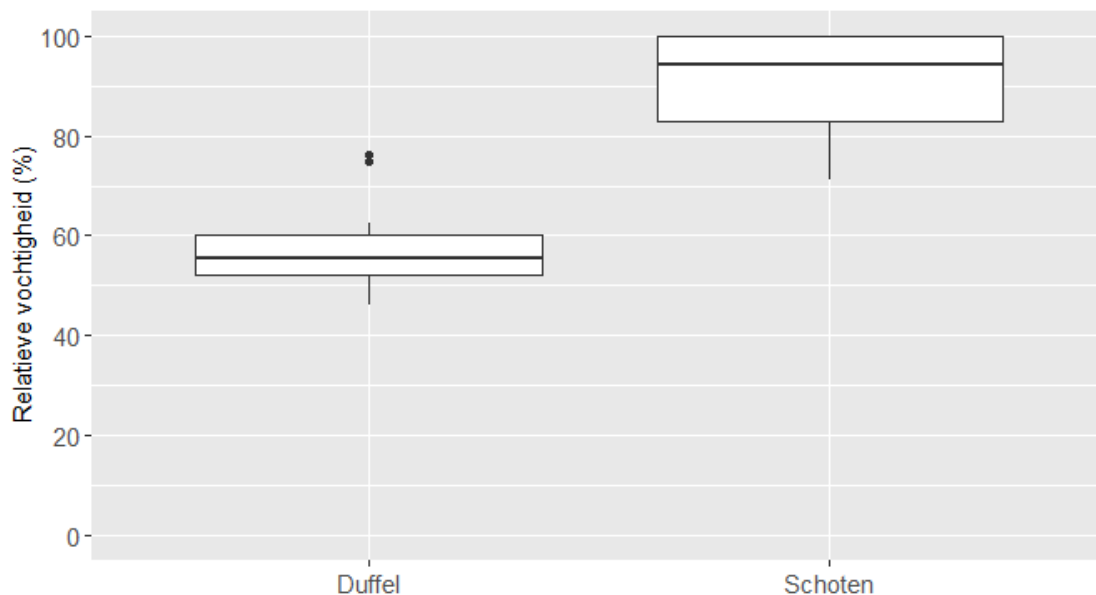
Figuur 21: Vergelijking van de gemiddelde buffering van 1 tot 30 dagen schimmelingsperiode tussen de vleermuistunnel op het domein van het fort van Duffel en de ingerichte bunkers van het Mastenbos.

4.2 Luchtvochtigheid

De gegevens van de monitoring van de luchtvochtigheid ontvingen we van het Kempens Landschap. Het gaat om gegevens van het winterseizoen 2017-2018. Van hetzelfde winterseizoen heeft INBO zelf gegevens van het fort van Schoten. Om de twee tijdsreeksen te vergelijken namen we de relatieve luchtvochtigheid die 95% van de tijd overschreden is. Deze waarden zijn in figuur 22 uitgezet voor de forten van Duffel en Schoten.

Volgens het S-IHD-rapport (ANB, 2011) zou de luchtvochtigheid steeds boven de 90% moeten zijn. De LSVI geven voor de doelsoorten een voldoende beoordeling vanaf 80% (Adriaens et al. 2008). In het fort van Schoten bedraagt de relatieve luchtvochtigheid op de meerderheid van de locaties > 90%. In het fort van Duffel is deze op geen enkele meetlocatie > 80%. Het fort van Duffel is dus te droog. Lokaal kunnen vleermuizen wel een eigen, vochtiger, microklimaat creëren door weg te kruipen in spleten. Dit benadrukt het belang van wegkruipmogelijkheden in het fort van Duffel. Zelfs met wegkruipmogelijkheden is de algemene luchtvochtigheid echter echt laag voor een goed vleermuizenhabitat. Voor een soort als ingekorven vleermuis, die zelden wegkruipgedrag vertoont, is de luchtvochtigheid zeker problematisch.

In de vleermuistunnel werd het vochtgehalte tijdens het winterseizoen 2017-2018 gemonitord op twee punten. De luchtvochtigheid was hier steeds hoger dan 90%. In de vleermuistunnel is de luchtvochtigheid dus wel goed.



Figuur 22: Vergelijking van de relatieve vochtigheid tijdens de winterperiode in het fort van Duffel en het fort van Schoten.

5 Maatregelen

5.1 Fort

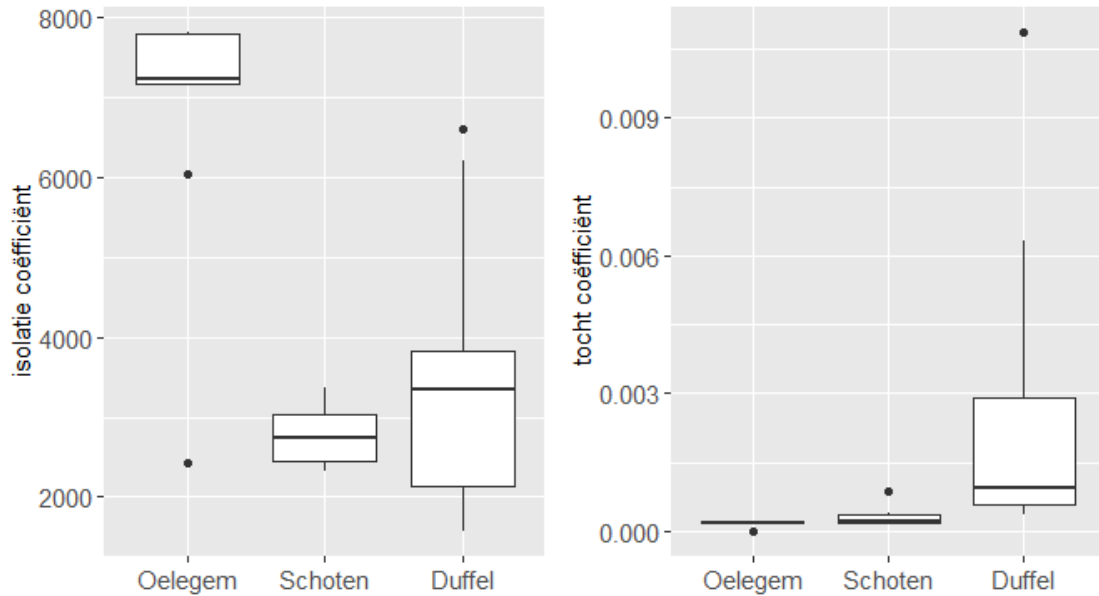
Om na te gaan hoe de situatie in het fort van Duffel kan verbeterd worden voor de minst tolerante aanwezige soort, vergelijken we de isolatiecoëfficiënt en de tochtcoëfficiënt van de dempingscurves in het fort van Duffel met die van de locaties in Oelegem en Schoten waar ingekorven vleermuis wordt waargenomen. De isolatiecoëfficiënt van de meetlocaties in Duffel is lager dan die van de locaties met ingekorven vleermuis in Oelegem, maar van dezelfde grootteorde als die van de locaties met ingekorven vleermuis in Schoten (zie figuur 23). De tochtcoëfficiënt ligt in Duffel echter veel hoger. Het probleem is dus teveel tocht. Het plaatsen van tochtwerende deuren kan hieraan verhelpen. In het fort van Schoten zijn de locaties waar de meeste ingekorven vleermuizen voorkomen ook afgesloten met tochtwerende deuren. We stellen voor de tochtwering te plaatsen waar momenteel reeds de beste buffering voorhanden is, vermits daar een verbetering het meeste kans op succes heeft. Hoe de buffering momenteel gespreid is over het fort is weergegeven in figuur 24. Momenteel is de noordzijde van de omgang het best gebufferd.

We stellen voor om in eerste instantie de noordelijke omgang te voorzien van twee tochtdeuren, zodat de aanpalende kamers III2 en III3 erin ingesloten zitten. Daarnaast wordt de toegang tot deze kamers best bijkomend afgesloten. Alle afsluitingen moeten worden uitgevoerd als een betonplex deur met invliegopening. De locatie van de afsluitingen is weergegeven in figuur 25. Als dit na opvolging succesvol blijkt, kan het principe eventueel worden uitgebreid naar andere delen van het fort.

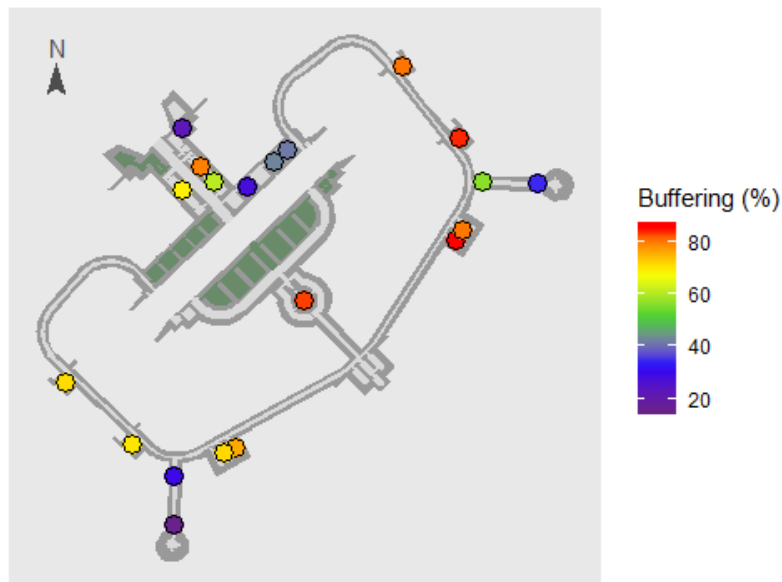
Als we voor kamers III2 en III3 de tochtcoëfficiënt vervangen door de gemiddelde tochtcoëfficiënt van de locaties in het fort van Schoten die met dergelijke tochtdeuren werden afgesloten (14 meetlocaties), dan kunnen we de dempingscurve berekenen die we verwachten na afsluiting. Dit is voorgesteld in figuur 26. De dempingscurve valt nu veel meer samen met de referentiecures, wat aangeeft dat op deze manier de thermische omstandigheden nodig voor ingekorven vleermuis in principe kunnen bereikt worden.

Naast de thermische omstandigheden moet ook de luchtvochtigheid worden verbeterd. Bij vermindering van de tochtstroom verwachten we een stijging van de luchtvochtigheid, omdat de aanwezige vochtigheid van grond en muren minder wordt afgevoerd. In sommige omstandigheden kan dit voldoende zijn om de luchtvochtigheid tot de gewenste waarden op

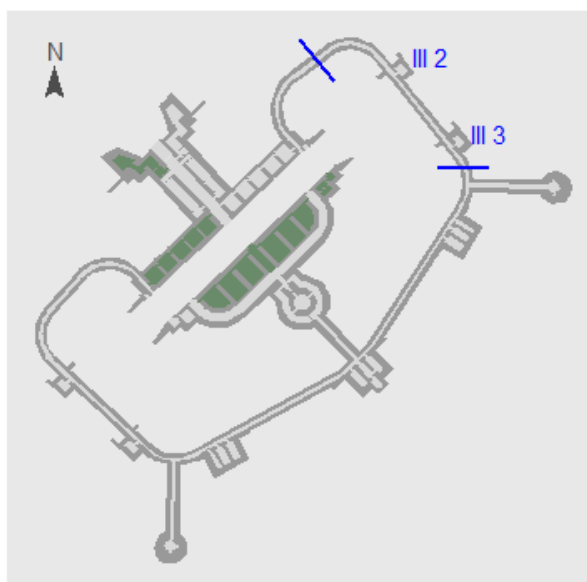
te voeren. Of dit hier in Duffel het geval zal zijn, kan niet op voorhand worden voorspeld, omdat de vloer en muren erg droog zijn. Om de luchtvochtigheid op te voeren kunnen dan waterbassins geplaatst worden in het afgesloten deel. We stellen echter voor eerst de afsluiting te plaatsen, vervolgens de toename van de luchtvochtigheid te monitoren gedurende een winterseizoen, en daarna te evalueren of plaatsen van watervoorraden nodig is.



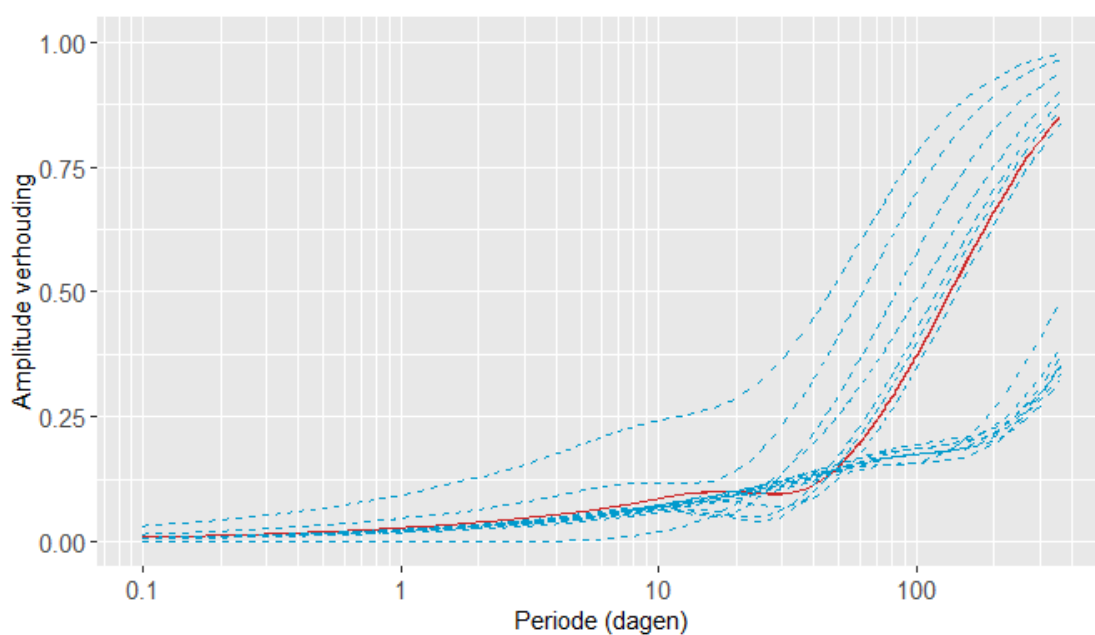
Figuur 23: Vergelijking van de isolatiecoëfficiënt en de tochtcoëfficiënt voor de meetlocaties in het fort van Duffel en voor de locaties met ingekorven vleermuis in de forten van Oelegem en Schoten.



Figuur 24: Bufferwaarden op verschillende meetpunten in het fort van Duffel.



Figuur 25: Blauwe lijnen: te plaatsen afsluitingen in het fort van Duffel. Aangeduide kamers III2 en III3 dienen bijkomend te worden afgesloten.



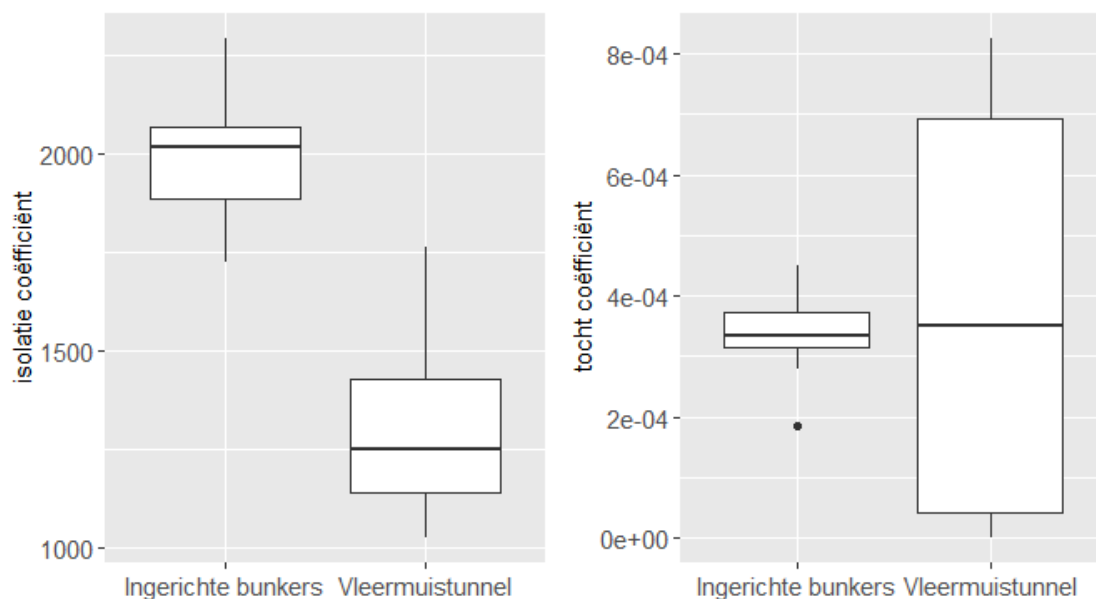
Figuur 26: Rode volle lijn: Gesimuleerde dempingscurve voor kamers III2 en III3 van het fort van Duffel na afsluiting. Blauwe stippellijn: Referentie dempingscurves voor ingekorven vlemuis van de forten van Oelegem en Schoten.

5.2 Vleermuistunnel

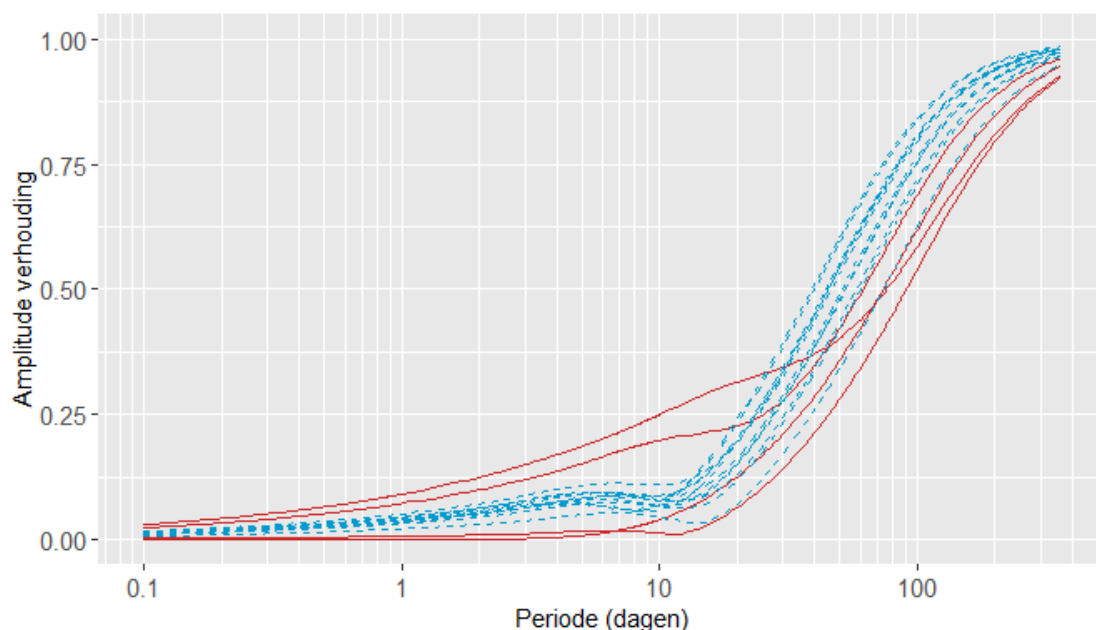
in figuur 27 vergelijken we de isolatiecoëfficiënt en de tochtcoëfficiënt in de vleermuistunnel op het domein van het fort van Duffel met die van de ingerichte bunkers van het Mastenbos. Hieruit blijkt duidelijk dat de vleermuistunnel onvoldoende geïsoleerd is. De isolatiecoëfficiënt van de bunkers in het Mastenbos is gemiddeld genomen bijna dubbel zo groot als die van de vleermuistunnel. Vermits de isolatiecoëfficiënt evenredig is met de wanddikte, dient de isolatie verdubbeld te worden.

Het minst geïsoleerde deel van de vleermuistunnel is het dak. Er wordt aangeraden een gronddek toe te voegen, zodat de dikte van de daklaag verdubbelt. Dit komt neer op het

toevoegen van 30 cm grond bovenop de bestaande afdeklaag. Het verwachte resultaat ervan op de dempingscurves van de vier plaatsen waar in de vleermuistunnel loggers hebben gehangen, is weergegeven in figuur 28. We zien dat dit voor een deel van de tunnel een oplossing biedt. In een deel van de tunnel is de tocht echter nog te groot. Dit is het deel het dichtst bij de ingang. In figuur 27 zien we ook dat de tochtcoëfficiënt in de tunnel zeer variabel is. Daarom wordt bijkomend aangeraden tochtspleten af te stoppen. Of de configuratie van de ingang moet worden gewijzigd om de tochtstroom verder te verminderen moet worden geëvalueerd op basis van monitoring na de uitvoering van hierboven voorgestelde maatregelen.



Figuur 27: Vergelijking van de isolatiecoëfficiënt en de tochtcoëfficiënt voor de meetlocaties in de vleermuistunnel op het domein van het fort van Duffel en voor de ingerichte bunkers van het Mastenbos te Kapellen.



Figuur 28: Rode volle lijn: Gesimuleerde dempingscurves voor de vleermuistunnel van het fort van Duffel na verdubbeling van het gronddek. Blauwe stippellijn: Referentie dempingscurves voor de ingerichte bunkers van het Mastenbos.

5.3 Verdere opvolging

Om na te gaan of de voorgestelde maatregelen ook effectief het gewenste doel bereiken is verdere opvolging nodig. Daartoe moet de temperatuur en de luchtvochtigheid verder gemonitord worden in de vleermuistunnel, in kamers III2 en III3 van het fort, en in het afgesloten deel van de omloop. Daarnaast wordt ter vergelijking best ook in het niet afgesloten zuidelijke deel van de omloop gemonitord. De monitoring gebeurt best met loggers die om de twee uur temperatuur en luchtvochtigheid registreren. Daarnaast dient als referentie ook de buitentemperatuur op dezelfde manier te worden opgevolgd.

Conclusie

1. Welke maatregelen dienen genomen te worden om de vleermuizentunnel te optimaliseren als vleermuizenverblijfplaats voor de tot doel gestelde vleermuizen zoals vastgesteld in de natuurdoelen voor de SBZ "Historische fortengordels van Antwerpen als vleermuizenhabitat"?

Er wordt aangeraden een gronddek toe te voegen, zodat de dikte van de daklaag verdubbelt. Dit komt neer op het toevoegen van 30 cm grond bovenop de bestaande afdeklaag. Er wordt bijkomend aangeraden tochtspleten af te stoppen. Monitoring van luchtvochtigheid en tocht na de uitvoering van deze maatregelen moet uitsluitend geven of de tochtstroom nog verder moet afnemen. Dit kan door ook de configuratie van de ingang te wijzigen..

2. Welke maatregelen dienen genomen te worden om het fort van Duffel te optimaliseren als vleermuizenverblijfplaats voor de tot doel gestelde vleermuizen?

We stellen voor om de noordelijke omgang te voorzien van twee tochtdeuren, zodat de aanpalende kamers III2 en III3 erin ingesloten zitten. Daarnaast wordt de toegang tot deze kamers best bijkomend afgesloten. Alle afsluitingen moeten worden uitgevoerd als een betonplex deur met invliegopening. Mogelijk moeten ook waterbassins worden geplaatst in het afgesloten deel om de luchtvochtigheid op te voeren. We stellen echter voor eerst de afsluiting te plaatsen, vervolgens de toename van de luchtvochtigheid te monitoren gedurende een winterseizoen, en daarna te evalueren of plaatsen van watervoorraden nodig is.

3. Welke methodiek dient gevolgd te worden om het microklimaat van het fort en de vleermuizentunnel verder op te volgen zodat het effect van maatregelen geëvalueerd, en indien nodig bijgestuurd, kan worden?

Om na te gaan of de voorgestelde maatregelen ook effectief het gewenste microklimaat realiseren is verdere monitoring van de temperatuur en de luchtvochtigheid nodig. De monitoring gebeurt best met loggers die om de twee uur temperatuur en luchtvochtigheid registreren in de vleermuistunnel, in kamers III2 en III3 van het fort en in het afgesloten deel van de omloop. Ter vergelijking wordt best ook in het niet afgesloten zuidelijke deel van de omloop gemonitord. Daarnaast dient als referentie ook de buitentemperatuur te worden opgevolgd.

Referenties

Adriaens, D., T. Adriaens, and G. Ameeuw. 2008. Ontwikkeling van criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de habitatrichtlijnsoorten. INBO.R.2008.35, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Agentschap voor Natuur en Bos (2011). Instandhoudingsdoelstellingen voor speciale beschermingszones BE2100045: Historische fortengordels van Antwerpen als vleermuizenhabitat. Brussel.

Arlettaz, R., C. Ruchet, J. Aeschmann, E. Brun, M. Genoud, and P. Vogel. (2000). Physiological traits affecting the distribution and wintering strategy of the bat *Tadarida teniotis*. *Ecology* 81:1004-1014.

Boers, K., S. Verkem, and W. Willems. (2013). Verslag fortentelweekend 1-2-3 februari 2013. Natuurpunt Studie, Mechelen.

Geiser, F. (2004). Metabolic rate and body temperature reduction during hibernation and daily torpor. *Annual Review of Physiology* 66:239-274.

Gyselings, R., F. Borms, B. Van der Wijden, and L. De Bruyn. (2014). Thermal Conditions in bunkers used by hibernating bats. XIIIth European Bat Research Symposium, Sibenik, Croatia.

Gyselings, R., F. Borms, B. Van der Wijden, and L. De Bruyn. (2017). A novel approach for analysing temperature time series in bat hibernacula. XIVth European Bat Research Symposium, Donostia-San Sebastian, Spain.

Gyselings, R. 2018. Advies over inrichting van de bunkers in het domein Wolvenbos (Kapellen). INBO.A.3704, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.