

Stappen vooruit in het donker

**Onderzoek naar het klimaat in het
Zonnebergstelsel voor biotoopverbetering voor
vleermuizen met behoud van cultuurhistorische
waarden**



R. Haemers, E.A. Jansen, J. Orbons, H.G.J.A. Limpens

Februari 2016

Souterrains

Partner of ArcheoPro



Stappen vooruit in het donker

Onderzoek naar het klimaat in het Zonnebergstelsel voor biotoopverbetering voor vleermuizen met behoud van cultuurhistorische waarden

Colofon:

Rapport:	VZZ rapport nr: 2015.19 Souterrains Project nr: S-0209
Status:	Definitieve versie, 15 februari 2016
Datum uitgave:	9 februari 2016
Auteurs:	R. Haemers, E. Jansen, J. Orbons, H.G.J.A. Limpens
Souterrains, Partner van ArcheoPro.	Steunstichting VZZ, in rapport vermeld als Bureau van de Zoogdiervereniging
St Jozefstraat 45 6245 LL Eijsden Tel: 043-3672586 www.souterrains.nl	Bezoekadres: Toernooiveld 1 6525 ED Nijmegen Postadres: Postbus 6531 6503 GA Nijmegen Tel.: 024 7410500 secretariaat@zoogdiervereniging.nl www.zoogdiervereniging.nl
Opdrachtgever:	Natuurmonumenten, beheereenheid Zuid-Limburg Schaapskooiweg 99 6414 EL Heerlen
Contactpersoon opdrachtgever	L. Wortel
Oplage	Digitaal PDF
Foto voorpagina	3D Anaglyph foto van onderzoekers in deel achter A en B muren. Gebruik een rood-blauw bril voor 3D effect.

Dit rapport kan geciteerd worden als:

Haemers, R., E.A. Jansen, J. Orbons, H.G.J.A Limpens, 2015. Stappen vooruit in het donker - Onderzoek naar het klimaat in het Zonnebergstelsel voor biotoopverbetering voor vleermuizen met behoud van cultuurhistorische waarden. Rapport 2015.19. Bureau van de Zoogdiervereniging, Nijmegen en Souterrains, Eijsden.

De Stichting VZZ, onderdeel van de Zoogdiervereniging, en Souterrains zijn niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van de Zoogdiervereniging en Souterrains; opdrachtgever vrijwaart de Stichting VZZ en Souterrains voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing. Niets uit dit rapport mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en de Zoogdiervereniging en Souterrains, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord onderzoek Zonneberg	4
SAMENVATTING	5
1 INLEIDING	8
1.1 De aanleiding	8
1.2 Probleemstelling	8
1.3 Het onderzoeksteam	10
1.4 Belang van Zonnebergstelsel voor vleermuizen	12
1.5 Belang van Zonnebergstelsel voor de cultuurhistorie.....	12
2 MATERIAAL & METHODEN	14
2.1 Verzamelen basisgegevens t.a.v. groeve klimaat	14
2.2 Verzamelen basisgegevens t.a.v. aanwezige vleermuisfuncties	19
2.3 Verzamelen basisgegevens t.a.v. huidige gebruiksvormen	26
2.4 Verzamelen basisgegevens t.a.v. (ver)storingsonderzoek	28
2.5 Verzamelen basisgegevens t.a.v. historische waarde.....	30
3 RESULTATEN	32
3.1 Het in de groeve aanwezige ondergronds klimaat.....	32
3.1.1 Klimaatzones.....	32
3.1.2 Werking klimaatmodel	35
3.1.3 Indicatie ondergronds klimaat 'achter de muren'	38
3.2 De in de Zonneberg groeve aanwezige vleermuisfuncties in relatie tot groeveklimaat	40
3.2.1 Zomerverblijffunctie	40
3.2.2 Nazomerzwermen	40
3.2.3 Winterverblijfplaatsfunctie: verdeling van soorten over de klimaatzones.....	43
3.2.4 Interne migratie.....	49
3.3 Populatie ontwikkelingen in het Zonnebergstelsel	53
3.4 Gebruiksvormen en frequentie van gebruik	57
3.5 Verstoringsonderzoek	61
3.5.1 (Ver)Storingen tijdens nazomerzwermen	62
3.5.2 (Ver)Storingen tijdens winterperiode	63
3.6 De in de groeve aanwezige cultuurhistorische waarde.....	72

4 OPTIMALISATIE	75
4.1 Beheer vroeger en nu (Natuurhistorie en Cultuurhistorie)	75
4.2 Huidig Juridisch kader N2000, Flora & Fauna wet	75
4.4 Optimalisatie van de groeve inrichting voor de meervleermuis, ingekorven vleermuis en vale vleermuis	78
4.5 Optimalisatie tot behoud cultuurhistorie	79
4.7 Oplossingen voor conflicten tussen exploitatie en natuurhistorie	80
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	85
5.1 Conclusies: welke aanpassing klimaat zijn nodig	85
5.2 Zijn er beheermaatregelen nodig voor medegebruik?	85
5.3 Vervolg onderzoek ter beantwoording van nieuwe vragen	85
5.4 Aanbevelingen	86
6 LITERATUUR	87
BIJLAGEN	90
Bijlage 1: Resultaten vleermuistellingen	91
Bijlage 2: Anabats resultaten	108
Bijlage 3: Cultuurhistorische inventarisatie achter A en B muren	114

Bijlagen digitaal:

- Bijlage A: Resultaten vleermuistellingen per jaar (Kaart A1-A4)
- Bijlage B: Resultaten vleermuistellingen per vleermuissoort (Kaart B1-B12)
- Bijlage C: Dichtheidskaarten wintertellingen per vleermuissoort (Kaart C1-C12)
- Bijlage D: Dichtheidskaarten winterverplaatsingen per soort (Kaart D1-D10)
- Bijlage E: Dichtheidskaarten per soort in relatie tot klimaatzone (Kaart E1-E12)
- Bijlage F: Dichtheidskaarten per soort in relatie tot VVV per soort (Kaart F1-F12)
- Bijlage G: Dichtheidskaarten per soort in relatie tot RRB per soort (Kaart G1-G12)

Voorwoord onderzoek Zonneberg

Voor u ligt het resultaat van een half jaar onderzoek naar klimaat, klimaatinvloed en verstoringsinvloeden op vleermuizen en opschriften in de Zonneberggroeve. Een uniek onderzoek met geavanceerde technieken uitgevoerd door een team van diverse specialisten met hulp van tientallen vrijwilligers van het SOK en de VZZ die al jarenlang de vleermuiswaarnemingen doen.

Onze dank en waardering voor hun inzet!

Natuurmonumenten beheert sinds 1995 de Sint Pietersberg waaronder de ondergrondse mergelgroeven Stelsel Noord, de Zonneberg, Slavante. Samen met fort Sint Pieter zijn dit fascinerende eeuwenoude cultuurhistorisch zeer waardevolle objecten die veel bezoekers trekken. Van oktober tot eind april overwinteren in deze groeven en het fort naar schatting 2000 vleermuizen waarvan alleen de goedgekeurde delen geteld worden. In de nazomer hebben delen van de groeve een belangrijke "zwermfunctie" (paarvorming en verkenning) voor diverse vleermuissoorten. Daarmee is de Sint Pietersberg de belangrijkste overwinteringsplaats voor vleermuizen van ons land. Een stabiel en gevarieerd microklimaat, vrij van verstoring zijn van levensbelang om veilig de winter te doorstaan voor vleermuizen.

De groeven en het fort zijn aangewezen als N2000 habitats voor duurzame instandhouding van Meervleermuis, Vale vleermuis en Ingekorven vleermuis. De overige soorten: Franjestaart, Laatvlieger, Baard-, Brandt's-, Bechtstein's-, Grootoor- en Dwergvleermuis genieten als "bijlage IV"-soorten echter ook een strikte Europese en Nationale bescherming.

Als beheerder heeft Natuurmonumenten de taak om belangen zorgvuldig af te wegen en de duurzame staat van instandhouding van flora, fauna, landschap en cultuurhistorie te waarborgen en natuurbeleving en recreatie optimaal mogelijk te maken. Inzicht in factoren zoals klimaatinvloed, verspreiding en aantallen van zowel vleermuizen als bezoekers is daarbij belangrijke informatie.

De conclusies en aanbevelingen van het onderzoek zullen dan ook gebruikt worden om in goed overleg het huidige gebruik, klimaat en beheer te optimaliseren zodat opschriften en vleermuizen duurzaam kunnen voortbestaan, terwijl ook de volwaardige beleving van de groeve op verantwoorde wijze mogelijk blijft.

Eduard Habets

Datum: januari 2016

Beheerder Beheereenheid Zuid-Limburg

Natuurmonumenten.

SAMENVATTING

Vereniging Natuurmonumenten heeft aan Souterrains en het Bureau van de Zoogdierverseniging opdracht verleend om het klimaat in het Zonnebergstelsel in kaart te brengen en adviezen te geven voor biotoopverbetering ten behoeve van de aanwezige vleermuizen met behoud van de cultuurhistorische waarden. Dit onderzoek dient mede om aan te tonen in hoeverre het huidige medegebruik van invloed is op de overwinteringsfunctie van het stelsel voor vleermuizen en om te adviseren op welke punten en locaties verbeteringen gewenst of zelfs noodzakelijk zijn. Tevens vormt de klimatologische basisinformatie een belangrijk hulpmiddel om in te schatten of, waar en welke invloed eventuele ingrepen op het klimaat voor de vleermuizen, maar ook opschriften zouden kunnen hebben.

Dit onderzoek is voor Natuurmonumenten noodzakelijk in het kader van de aanwijzing van het stelsel als onderdeel van het Natura2000 gebied Sint Pietersberg & Jekerdal. In het beheerplan voor dit gebied staat het behoud van de omvang en de kwaliteit van het leefgebied voor drie habitatrichtlijnsoorten centraal: de meervleermuis (*Myotis dasycneme*), de ingekorven vleermuis (*Myotis emarginatus*) en de vale vleermuis (*Myotis myotis*).

Naast vleermuizen worden het grovestelsel ook regelmatig door mensen bezocht (georganiseerd en illegaal). Voor het reguleren van de stroom van bezoekers zijn beheermaatregelen nodig, met mogelijke effecten op het interne klimaat van het stelsel. Deze effecten kunnen weer gevolgen hebben voor de cultuurhistorische en ecologische kwaliteiten in het gangenstelsel.

Het onderzoek is zowel binnen de muren als deels buiten de muren uitgevoerd om een goed beeld te hebben van de vleermuisverdeling in de diverse klimaatzones.

De brede oorspronkelijke onderzoeksvraag is ten behoeve van een adequate uitvoering van het onderzoek opgesplitst in deel-onderzoeksvragen:

- onderzoek naar het klimaat in de gangen;
- onderzoek naar vleermuisfuncties, zowel het zwermen bij de diverse ingangen van de groeve, het overwinteren van soorten en aantallen in de gangen en de mogelijke verstoring van vleermuizen door menselijke bezoekers;
- onderzoek naar het effect van het klimaat op de cultuurhistorische waarden. Hierbij moet gedacht worden aan flaking als gevolg van vorst, algengroei en zonlicht;
- onderzoek naar het huidige gebruik door diverse groepen mensen in de groeve, kwalitatief en kwantitatief;

Door het verzamelen en interpreteren (koppelen) van al deze data, is het mogelijk om voorstellen te doen voor klimaatverbetering van het gangenstelsel. Hierbij waren een aantal uitgangspunten van belang:

- de vleermuizen dienen voordeel te hebben van de klimaatverbetering;

- de cultuurhistorische waarden dienen geen nadelige effecten te hebben van de voorstellen, liefst zelf voordeel;
- het gebruik door reguliere bezoekers moet in de huidige vorm doorgang kunnen vinden.

Behalve de natuurlijke waarden, bevat het stelsel ook geologische en cultuurhistorische waarden. De gangen hebben al vanaf de middeleeuwen een primair gebruik als steengroeve gehad en ook een secundair gebruikt als opslagplaats, schuilplaats en toerisme. Bijzonder is dat deze groeves nooit verlaten zijn maar altijd bij de lokale bevolking in gebruik zijn gebleven. Zowel de ontginning als het secundaire gebruik hebben vele sporen zoals opschriften, inkrassingen en objecten achter gelaten die voor historisch onderzoek van groot belang zijn. De gangen zijn al vanaf de middeleeuwen in gebruik door bewoners en bezoekers van Maastricht en omgeving. De gangenstelsels zijn een onderdeel van de ruimtelijke en sociale omgeving van de bewoners uit de regio.

In dit rapport worden een aantal mogelijke aanpassingen genoemd en uitgewerkt die een verbetering vormen voor het klimaat in de Zonneberg en het daaraangrenzende open gangenstelsel. De voorgestelde aanpassingen betreffen het opstarten van een pilot om binnen de Zonneberg enkele gangen af te sluiten om dynamische en statische delen beter te scheiden, het weghalen van de H-muur en dichtmaken van de open ingang bij het museum om het klimaat in het Museum te verbeteren ten behoeve van de cultuurhistorie. Verder wordt voorgesteld om de ENCI openingen middels lichtsluizen lichtdicht te maken voor vorstbescherming, licht- en algenreductie, klimaatverbetering voor vleermuizen, cultuurhistorie en gesteente-mechanische stabiliteit. Dit kan uitgevoerd worden door een kleinschalige pilot te starten en bij positief resultaat dit voor het gehele Zonneberg en Slavante deel door te voeren (mits technisch en financieel haalbaar).

Uit het onderzoek blijkt dat aanpassingen aan de bestaande ingangen en doorvliegopeningen voor vleermuizen niet wenselijk zijn, er wordt geadviseerd deze te laten zoals ze zijn.

Verder is uitgewerkt welke beheermaatregelen genomen kunnen worden om het co-gebruik van het Zonnebergstelsel door de bezoekers en de vleermuizen zo optimaal mogelijk te laten verlopen. Samenvattend betreft het enerzijds het in de winterperiode scheiden van het intensief gebruik van de groeve door gebruikers, waarbij voor de overwinterende vleermuizen voldoende rust en ruimte wordt gelaten in de diverse klimaatzones. Anderzijds wordt geadviseerd om de stand van de vleermuizen en het gebruik door de mens te monitoren met meetinstrumenten en vleermuistellingen.

Ook wordt aanbevolen om de monitoring door middel van de jaarlijkse wintertellingen te blijven uitvoeren, waarbij de gegevens jaarlijks worden gedigitaliseerd voor een ruimtelijk-statistische analyse. Het is zeer waardevol als

ook de aanwezige oudere vleermuis-tellingen gedigitaliseerd worden en beschikbaar komen voor analyse en onderzoek..

Verder wordt geadviseerd om bij uitbreiding of verandering van het bestaande gebruik van de groeve, de impact op de vleermuizen te analyseren en vooraf een inschatting te maken van de mogelijke effecten. Uitbreiding en/of veranderingen en van het groeve-gebruik kunnen daarna het beste als een pilot worden doorgevoerd, gekoppeld aan een goede monitoring. Bij aanwijsbare negatieve gevolgen voor de vleermuizen en/of cultuurhistorie en/of gesteente mechanische stabiliteit, dient de uitbreiding/verandering terug gedraaid te worden.

1 INLEIDING

1.1 De aanleiding

Vereniging Natuurmonumenten heeft aan Souterrains en het Bureau van de Zoogdierverseniging opdracht verleend om het klimaat in het Zonnebergstelsel in kaart te brengen en adviezen te geven voor biotoopverbetering ten behoeve van de aanwezige vleermuizen met behoud van de cultuurhistorische waarden. Dit onderzoek dient mede om aan te tonen in hoeverre het huidige medegebruik van invloed is op de overwinteringsfunctie van het stelsel voor vleermuizen en om te adviseren op welke punten en locaties verbeteringen gewenst of zelfs noodzakelijk zijn. Tevens vormt de klimatologische basisinformatie een belangrijk hulpmiddel om in te schatten of, waar en welke invloed eventuele ingrepen op het klimaat voor de vleermuizen, maar ook opschriften zouden kunnen hebben.

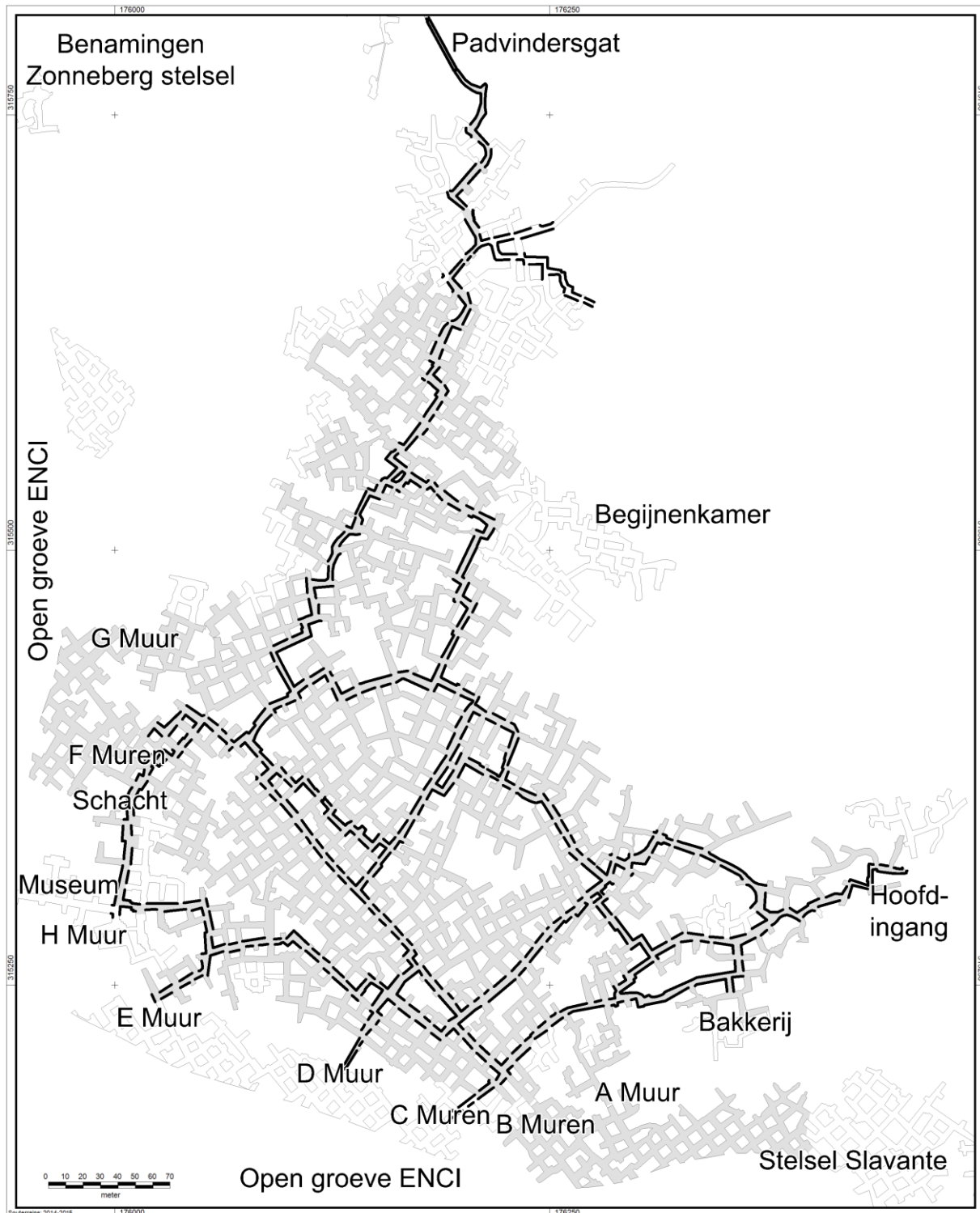
Dit onderzoek is voor Natuurmonumenten noodzakelijk in het kader van de aanwijzing van het stelsel als onderdeel van het Natura2000 gebied Sint Pietersberg & Jekerdal. In het beheerplan voor dit gebied staat het behoud van de omvang en de kwaliteit van het leefgebied voor drie habitatrichtlijnsoorten van bijlage II centraal: de meervleermuis (*Myotis dasycneme*), de ingekorven vleermuis (*Myotis emarginatus*) en de vale vleermuis (*Myotis myotis*).

Naast vleermuizen wordt het groevestelsel ook regelmatig door mensen bezocht (georganiseerd en illegaal). Voor het reguleren van de stroom van bezoekers zijn beheermaatregelen nodig, met mogelijke effecten op het interne klimaat van het stelsel. Deze effecten kunnen weer gevolgen hebben voor de cultuurhistorische en ecologische kwaliteiten in het gangenstelsel.

1.2 Probleemstelling

Het doel van het onderzoek was om de relatie inzichtelijk te maken tussen het interne groeveklimaat van het gangenstelsel, de vleermuizen, de cultuurhistorische waarden en de effecten van menselijke activiteiten op de vleermuizen. Door deze relatie inzichtelijk te maken kan worden bepaald welke maatregelen genomen kunnen worden om het overwinteringsbiotoop van de overwinterende vleermuissoorten te verbeteren.

In de opdracht voor het onderzoek wordt gesproken over de vleermuizen in de Zonneberg. Dit wordt over het algemeen opgevat als de groeve-gangen 'binnen de muren', het deel van het stelsel dat door toeristen en onderzoekers kan worden bezocht. Van deze gangen is 13.8 kilometer gang onderzocht. De muren zijn geplaatst in gangen aan de rand van het stelsel om een afscheiding te vormen met de ENCI-groeve. De gangen 'achter de muren' zijn niet opengesteld en staan in open verbinding staan met de uitgegraven ENCI-groeve (dagbouw).



Figuur 1: Zonneberg stelsel met benamingen. In licht-grijs de gangen waar het onderzoek plaatsgevonden heeft.

De Zonneberg kent meerdere delen die van belang zijn voor het klimaat en voor de historie van de gangen 'binnen de muren'. Zo zijn er de instortingsgebieden aan de noordkant met de verbinding via het 'Padvindersgat' naar het Noordelijk

stelsel. Deze verbinding is niet geheel afgesloten, waardoor enige klimaatuitwisseling mogelijk is. Ook de gangen 'achter de muren' zijn van belang. Ten eerste hebben de gangen 'achter de muren' historisch gezien een directe relatie met de gangen 'binnen de muren': de muren zijn in de jaren '80 in de gangen gemaakt, waardoor een fysieke afscheiding tussen 'achter' en 'binnen' tot stand is gekomen. De muren hebben dan ook geen historische relatie met de ontginning. In de muren bevinden zich gaten om de vleermuizen doorgang te verlenen tot het achterliggende gangenstelsel. Het klimaat 'binnen de muren' en het klimaat 'achter de muren' zijn dus met elkaar verbonden. Om het onderzoek goed uit te kunnen voeren was het noodzakelijk ook de delen 'achter de muren' in het onderzoek mee te nemen. Het betreft het deel achter de A en B muren (1.1 kilometer) en het deel achter de F en G muren (0.7 kilometer). Deze gangen 'achter de muren' zijn gedurende het onderzoek enkele malen bezocht. Een volledig onderzoek van de gangen 'achter de muren' was niet mogelijk, omdat deze delen niet voor onderzoek goedgekeurd zijn. De bezoeken en metingen vonden enkel plaats gedurende reguliere inspecties van Natuurmonumenten.

De brede oorspronkelijke onderzoeksvraag is ten behoeve van een adequate uitvoering van het onderzoek opgesplitst in deel-onderzoeksvragen:

- onderzoek naar het klimaat in de gangen;
- onderzoek naar vleermuisfuncties, zowel het zwermen bij de diverse ingangen van de groeve, het overwinteren van soorten en aantallen in de gangen en de mogelijke verstoring van vleermuizen door menselijke bezoekers;
- onderzoek naar het effect van het klimaat op de cultuurhistorische waarden. Hierbij moet gedacht worden aan flaking als gevolg van vorst, algengroei en zonlicht;
- onderzoek naar het huidige gebruik door diverse groepen mensen in de groeve, kwalitatief en kwantitatief;

Door het verzamelen en interpreteren (koppelen) van al deze data, is het mogelijk om voorstellen te doen voor klimaatverbetering. Hierbij waren een aantal uitgangspunten van belang:

- de vleermuizen dienen voordeel te hebben van de klimaatverbetering;
- de cultuurhistorische waarden dienen geen nadelige effecten te hebben van de voorstellen, liefst zelf voordeel;
- het gebruik door reguliere bezoekers moet in de huidige vorm doorgang kunnen vinden.

1.3 Het onderzoeksteam

Het onderzoek is een groot samenwerkingsverband tussen vleermuisspecialisten van de Zoogdierenvereniging, groeveonderzoekers van onderzoeksbureau Souterrains en leden van de werkgroepen SOK, vleermuistelgroep Jos Cobben en Hans Weinreich van het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg. Verder hebben de medewerkers van Natuurmonumenten vele hand en span diensten geleverd bij het onderzoek.

Van de Zoogdierenvereniging hebben de volgende personen medewerking verleend:

- Eric Jansen: vleermuisspecialist. Eric heeft zijn vleermuiskennis ingebracht in de discussies en analyses maar is ook actief geweest met het plaatsen van de Anabats en de wintertellingen.
- Maurice La Haye: projectleider. Maurice heeft goede bijdragen geleverd in de discussies en in het procedureel volgen van het onderzoek.
- Herman Limpens: wetenschappelijke begeleiding. Herman heeft vooral in de discussie en de rapportage zijn kennis en zijn kritische blik laten gelden.

Van onderzoeksbureau Souterrains hebben de volgende personen medewerking vericht:

- Rene Haemers: natuurkundige. Rene heeft het klimaatonderzoek verricht en de daaraan verbonden metingen uitgevoerd en geanalyseerd.
- Joep Orbons: natuurkundige en GIS specialist. Joep heeft de ruimtelijk statistische analyses verricht en heeft het projectmanagement van het onderzoek voor zijn rekening genomen.
- Speciaal woord van dank aan de Technische Universiteit Eindhoven voor het ter beschikking stellen van de warmtecamera.

Van de Studiegroep onderaardse Kalksteengroeven van het Limburgs Natuurhistorisch Genootschap hebben de volgende leden een bijdrage geleverd:

- Hans Ogg: Hans heeft de gegevens van Jan Spee en de gegevens van Dielis aangeleverd en in de groeve deze gegevens mee geanalyseerd.
- Wilfred Schoenmakers: Wilfred heeft aan de cultuurhistorische onderzoek meegewerkt.
- Wil Kneepkens: Wim heeft aan de cultuurhistorische onderzoek meegewerkt.
- Hans Weinreich voor het kritisch meekijken en discussiëren over vleermuizen en de verstoring van de vleermuizen.

Van de telgroep Jos Cobben hebben de volgende personen actief meegedaan met de discussies:

- Jos Cobben, Ger Beckers, Walther van der Coelen, John Hageman, Martha Kuijpers, Jan van de Ven, Rob van der Laak, Wilma van der Laak
- Een grote groep vleermuistellers die de wintertelling van januari en de telling van maart hebben uitgevoerd.

Van de Vereniging Natuurmonumenten hebben de volgende personen meegewerkt:

- Harm Hovens: beheerder van de Sint Pietersberg, heeft bij de beheerbezoeken "achter de muren" meegewerkt.
- Tim Koumans: beheerder van de Sint Pietersberg, heeft bij de beheerbezoeken "achter de muren" meegewerkt.
- Linda Wortel voor de begeleiding
- Gaby Bollen voor de discussie
- Peter Voorn voor de discussie en het kritisch nalezen van het rapport.

Aan al deze personen een groot woord van dank, zonder hen zou dit onderzoek niet tot deze goede resultaten hebben geleid. Uit deze groep mensen is, in

wisselende samenstelling, een begeleidingsgroep gevormd die het onderzoek kritisch gevolgd heeft.

1.4 Belang van Zonnebergstelsel voor vleermuizen

Het Zonnebergstelsel is één van de belangrijkste overwinteringslocaties voor vleermuizen, met jaarlijks meer dan 1000 getelde individuen. De vleermuizen die in het stelsel komen overwinteren komen uit een groot gebied, waarbij afstanden worden afgelegd van tientallen tot soms honderden kilometers tussen zomer- en winterverblijf (meervleermuis). Vleermuizen zijn plaatstrouw en kunnen 15-25 jaar oud worden en jaarlijks terugkeren naar hetzelfde winterverblijf. De conditie waarin de dieren de winter doorkomen is van grote invloed op de voortplanting. Is de conditie na de winter te slecht, dan slaan de dieren de voortplanting over. Voor langzaam reproducerende dieren als vleermuizen met jaarlijks maximaal 1 of 2 jongen is dat een forse tegenvaller. Het veilig en rustig overwinteren in het Zonnebergstelsel is dan ook van belang voor vleermuispopulaties in heel Nederland en aangrenzende vleermuispopulaties in België en Duitsland. Het gebied heeft dan ook een beschermde status in het kader van Natura2000.

1.5 Belang van Zonnebergstelsel voor de cultuurhistorie

Vanaf de Romeinse tijd tot heden wordt mergel (kalksteen) als bouwsteen en grondstof gebruikt. Mergel is de lokale naam voor een poreus kalksteen dat ongeveer 100 miljoen jaar geleden in een subtropische zee is afgezet. Het totale pakket van de kalksteen is tientallen meters dik maar slechts enkele lagen van de mergel zijn zeer homogeen en bruikbaar als bouwsteen en grondstof voor diverse processen. Deze mergel werd soms in open groeves ontgonnen, maar ook zeer veel in ondergrondse gangenstelsel. In de regio zijn ruim 400 ondergrondse mergelsteengroeven bekend die allen door mensenhanden zijn uitgekapt en gezaagd, voornamelijk voor bouwsteen. Deze groeven hebben samen bijna 900 ingangen, beslaan een totaal oppervlak van bijna 600 hectare en hebben gezamenlijk bijna 600 kilometer aan gangen (Orbons 2005, 2008). Het Zonnebergstelsel is één van deze gangenstelsels en bestrijkt het grootste deel van de Sint Pietersberg. Het gehele stelsel van de Sint Pietersberg besloeg ooit ruim 150 kilometer ganglengte en was daarmee het grootste ondergrondse stelsel in de regio. Door instortingen en afgravingen is veel van dit gangenstelsel verdwenen, waardoor nu nog ongeveer 60 kilometer resteert.

Dit gangenstelsel van de Sint Pietersberg is vanaf de (late) middeleeuwen ontgonnen voor bouwsteen en losse mergel. De gangen hebben al vanaf de middeleeuwen een secundair gebruikt gehad als opslagplaats, schuilplaats en toerisme. Bijzonder is dat deze groeven nooit verlaten zijn, maar altijd bij de lokale bevolking in gebruik zijn gebleven. Zowel de ontginning als het secundaire gebruik hebben vele sporen zoals opschriften, inkrassingen en objecten achter gelaten die voor historisch onderzoek van groot belang zijn. Juist de hoge vochtigheid en de afwezigheid van licht zorgen voor goede conserverings-

omstandigheden. De vele publicaties van onder andere de leden van de Studiegroep Onderaardse kalksteengroeven (SOK) zijn bewijs van de enorme geologische, historische en flora/fauna waarde van deze gangenstelsels. De gangen zijn al vanaf de middeleeuwen in gebruik door bewoners en bezoekers van Maastricht en omgeving. De gangenstelsels zijn een onderdeel van de ruimtelijke en sociale omgeving van de bewoners uit de regio.

Het deel van de Sint Pietersberg waar het onderzoek plaats heeft plaatsgevonden is het Zonnebergstelsel, een samenvoeging van twee laatmiddeleeuwse ontginningen en een 19^e-eeuwse ontginning. Dit gangenstelsel heeft 13.8 kilometer aan begaanbare en veilige gangen.

2 MATERIAAL & METHODEN

2.1 Verzamelen basisgegevens t.a.v. groeve klimaat

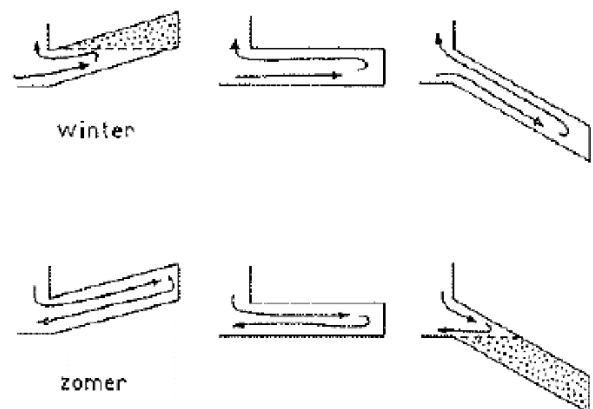
Het ondergronds groeve klimaat is een verzamelnaam voor de luchttemperatuur, luchtvochtigheid en luchtstromingen in een onderaardse kalksteengroeve. Dit is per groeve uniek. Als duidelijk is hoe een groeve klimaat technisch werkt, dan is er sprake van een klimaatmodel van die groeve. Om tot een verbeterplan ten aanzien van het ondergronds klimaat in de Zonneberg te komen is het van belang een klimaatmodel te maken van het Zonnebergstelsel. Zowel hoe het klimaat in het algemeen is, als hoe het klimaat in detail functioneert.

In het verleden is vaker onderzoek gedaan naar het ondergrondse klimaat in de onderaardse kalksteengroeven van het mergelland rondom Maastricht (Haarsma 2011). Het meest recente en uitgebreidste onderzoek naar het klimaat in mergelgroeven is van Haemers (2014). In dat rapport staat uitgelegd hoe het ondergronds klimaat werkt:

- hoe lucht zich verplaatst door een groeve;
- het verschil tussen een zomer- en wintercyclus;
- de wisselwerking tussen gesteente- en luchttemperatuur;
- dat een mergelgroeve een goed geïsoleerde omgeving is waarbij alle warmtetransport plaatsvindt door middel van convectie (horizontale stromingen) door de ingang(en);
- het effect van stijgende en dalende gangen, en hoe dit resulteert in warmere of koudere groeves;
- het effect van meerdere ingangen en/of schachten (trek door een groeve);
- het effect van een zak in een groeve (flessenhals effect);
- de vochthuishouding; verdamping uit het gesteente en vochttransport door de ingang(en), en hoe nevel/mist ontstaat nabij de ingangen.

Deze bovenstaande zaken vinden ook allemaal plaats in het Zonnebergstelsel, maar iedere groeve is uniek. Specifiek onderzoek en metingen zijn nodig om een goed klimaatmodel te maken van een groeve. De Zonneberg is, vergeleken met andere groeves in het Mergelland, een geval apart:

- de vele gang-aansnijdingen vanuit de ENCI-groeve hebben veel extra ingangen gecreëerd;
- het is een zeer grote groeve (veel wandoppervlak waarin warmte opgeslagen wordt);



Figuur 2: Klimaat effect in dalende en stijgende groeves (Uit A. van Wijngaarden)

- uitzonderlijk hoge gangen zorgen ervoor dat er veel volume debiet mogelijk is binnenin de groeve (grote luchtverplaatsingen);
- verder is de groeve zeer horizontaal met weinig hoogteverschillen (weinig stijgende en dalende gangen).

Om tot een verbetering van het ondergronds klimaat te kunnen komen moet eerst duidelijk worden hoe het klimaat op dit moment functioneert (de nul-situatie). Hiervoor zijn metingen nodig aan de al bovengenoemde grootheden: luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtstromingen. Metingen aan de gesteentetemperatuur kunnen ook nuttig zijn om meer inzicht te krijgen in het klimaat van een groeve, maar die zijn in het kader van dit onderzoek niet uitgevoerd.

Als duidelijk is hoe de groeve klimaat technisch werkt, wordt dit beschreven en is het klimaatmodel af. De beschrijving van het klimaatmodel gebeurt op een aantal manieren, waarbij enkel de metingen geen duidelijkheid verschaffen. In woorden wordt beschreven hoe het ondergronds klimaat werkt, hoe de luchtstromingen lopen en welke effecten dit heeft voor het interne klimaat.

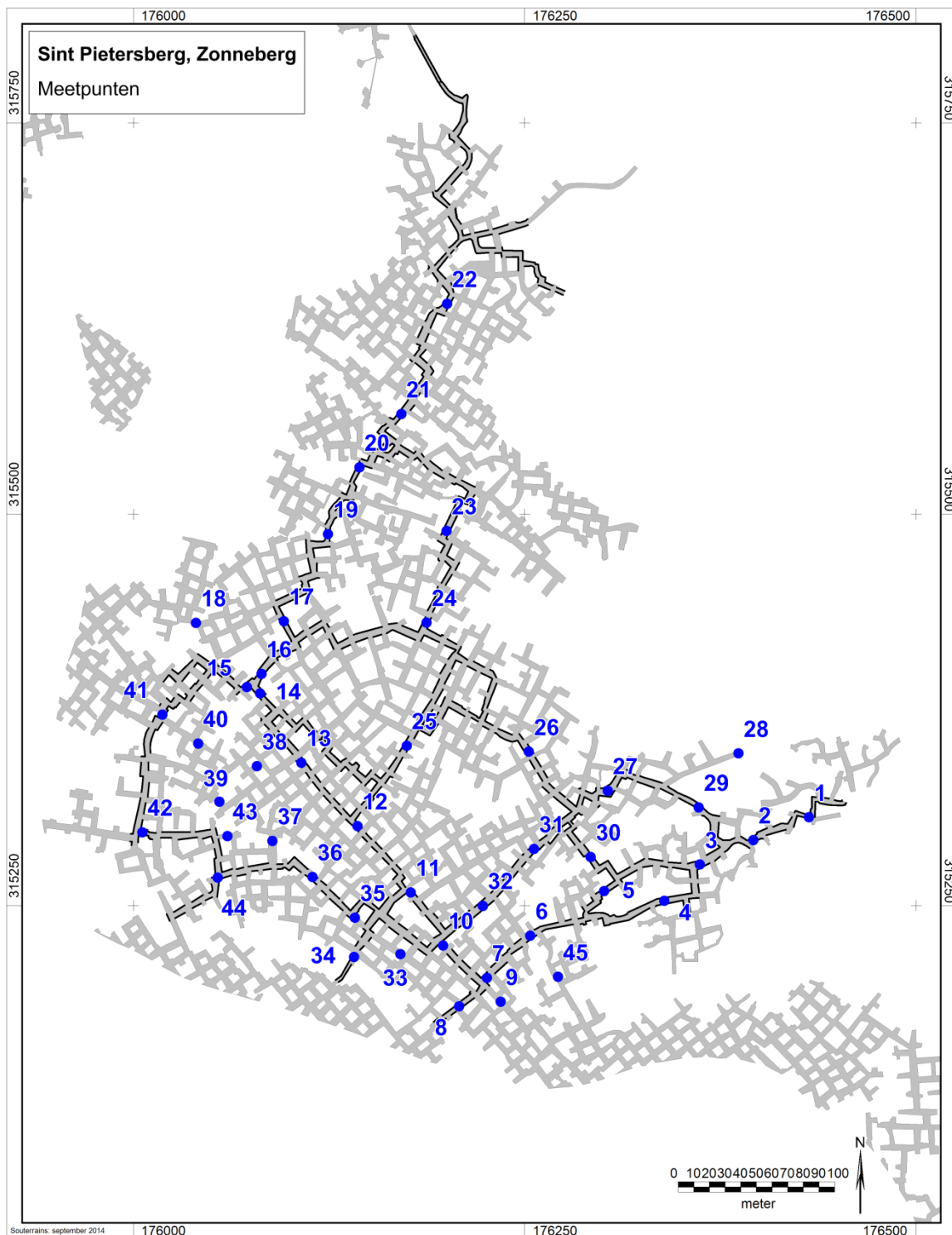
Een groeve kan worden opgedeeld in klimaatzones, waarbij in iedere klimaatzone de temperatuur en luchtvochtigheid (en in mindere mate de luchtstromingen) binnen hetzelfde bereik liggen. Het opdelen in klimaatzones kan op meerdere manieren en is afhankelijk van de gewenste resolutie en het onderzoeksdoel. In dit onderzoek is het doel om een link te leggen met de overwinteringslocaties van de vleermuizen. Het onderzoek heeft zich daarom geconcentreerd op het klimaat in de winter. Daarnaast is het onderzoek vooral gericht op de hogere delen van de gangen, omdat daar verreweg de meeste overwinterende vleermuizen worden aangetroffen. Tot slot is gekeken of de klimaatzones gekoppeld konden worden aan de klimaateisen van de verschillende vleermuissoorten.

Voorafgaande aan de metingen is een hypothese opgesteld over de te verwachte klimaatzones, zie figuur 1. Dit is gedaan om vooraf al een keuze te maken waar en hoe vaak er gemeten zou moeten gaan worden. Op basis van de verwachte klimaatzones zijn er in totaal 44 meetpunten gekozen (figuur 2). Op deze meetpunten is gedurende de winter van 2014/2015 meerdere malen gemeten. De metingen vonden zowel plaats op vloer-niveau als bovenin de gang.

De gemeten grootheden zijn de luchttemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid, de luchtstroming en de 1-dimensionale richting van de luchtstroom. De meetapparatuur is speciaal ontwikkeld om dit type onderzoek mogelijk te maken. De luchtstromingen kunnen namelijk zo laag zijn dat standaard sensoren niet voldoen. Een complicerende factor was de hoogte tot 8 meter waarvoor een demontabele constructie is ontworpen om toch op hoogte te kunnen meten. Een tweede complicerende factor is de beïnvloeding van de metingen als de operator zelf kort bij de sensoren aanwezig is. Hiervoor is een draadloze connectie gemaakt tussen de meetapparatuur en een app op een zendontvanger. Hierdoor is bediening op afstand mogelijk zonder de metingen te beïnvloeden. Op figuren 3 en 4 is de meetapparatuur te zien.



Figuur 3: Vooraf ingeschatte klimaatzones. Grenzen zijn bepaald aan de hand van flessenhalzen (smalle doorgangen tussen delen van het stelsel).



Figuur 4: Ligging van de meetpunten voor de klimaatbepaling.



Figuur 5: Meetopstelling in gang



Figuur 6: Datalogger

2.2 Verzamelen basisgegevens t.a.v. aanwezige vleermuisfuncties

Voor het onderzoek naar gebruik van het Zonnebergstelsel als winterverblijfplaats zijn de wintertelgegevens gebruikt van de vleermuizen-telgroep Zonneberg (met telleider Jos Cobben). De wintertellingen worden jaarlijks herhaald, zodat een aantalsontwikkeling voor de zichtbare en getelde overwinterende vleermuissoorten is te bepalen. De tellingen zijn gericht op een vergelijkbare inspanning en detectie kans in de verschillende opeenvolgende jaren, en niet op het vaststellen van de 'werkelijke aantallen aanwezige dieren'. Er is geen zoekfout bepaald.

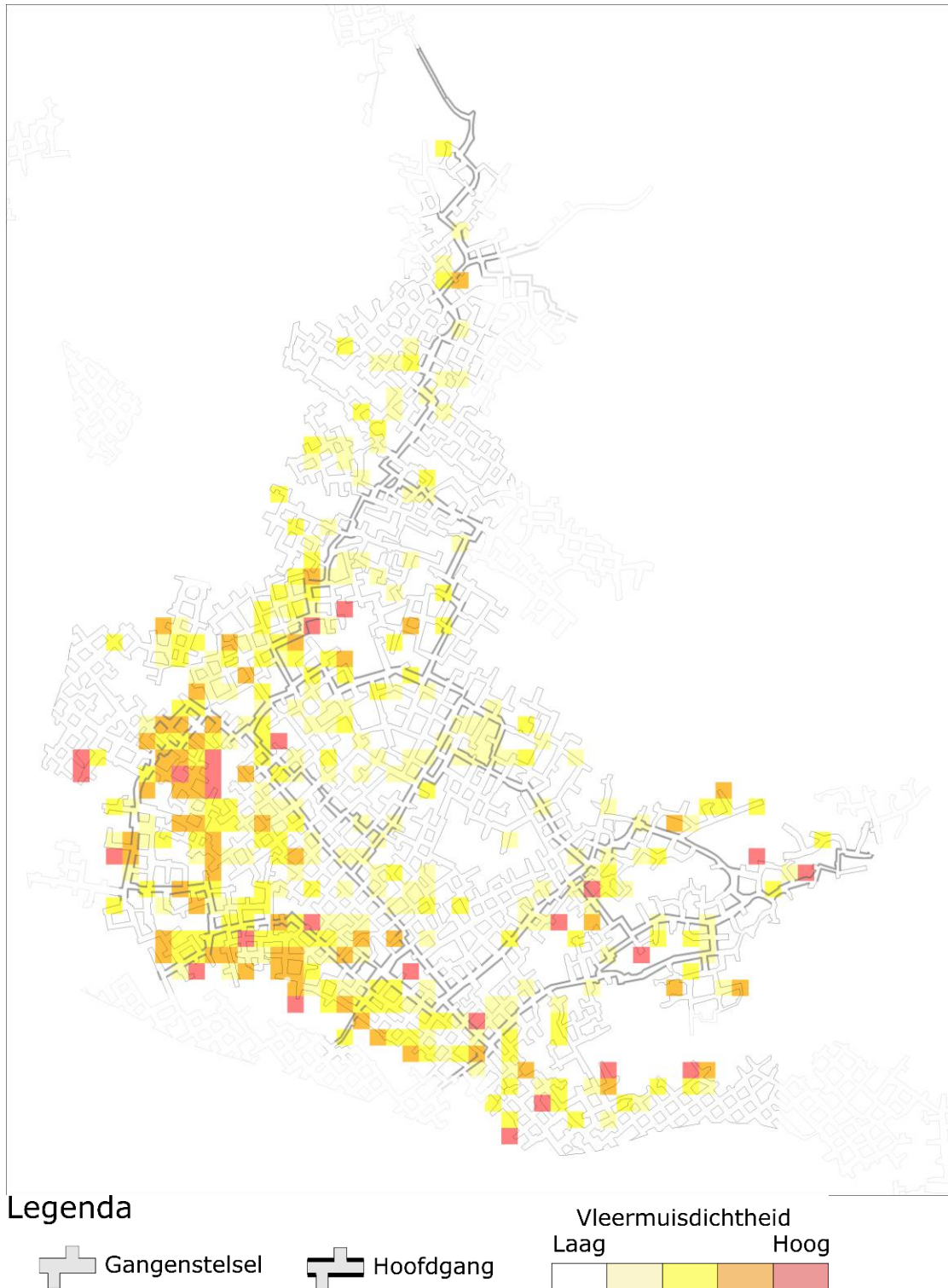
Alleen de telgegevens van de winters 2012-2013, 2013-2014 en 2014-2015 zijn gebruikt. In 2015 is een 2^e extra telling uitgevoerd op 7 maart om de interne migratie vast te leggen. De afgelopen jaren zijn de vleermuizen per soort en per telronde op hun exacte hanglocatie vastgelegd op deelkaarten. De aantekeningen van de vindlocaties van alle getelde vleermuizen zijn gedigitaliseerd en met behulp van GIS bewerkt. De resultaten van deze vier tellingen zijn in bijlage 1 te vinden.

Omdat het onderzoek zich niet beperkte tot de gangen 'binnen de muren' maar ook de delen 'achter de muren' zijn tijdens reguliere inspecties van Natuurmonumenten 2 vleermuistellingen 'achter de muren' verricht. Op 8 februari 2015 is het deel van de gangen achter de A en B muren geteld en ook het geheel achter de G muur. Op 6 maart 2015 is het geheel achter de A en B muren geteld, maar in verband met de broedende oehoe (*Bubo bubo*), niet het deel achter de G muur.

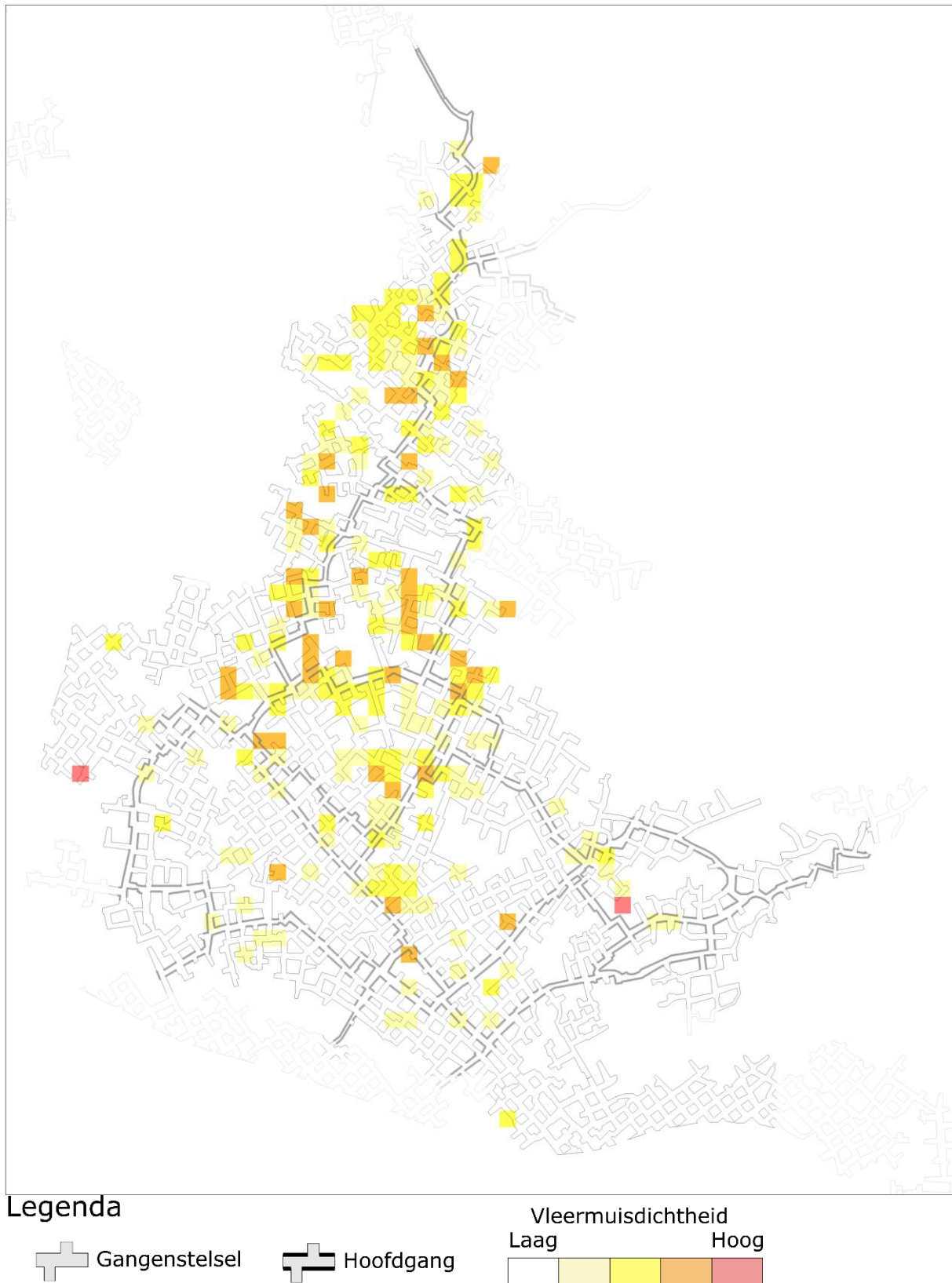
Geografisch-statistische analyse

Om inzicht te krijgen in de ruimtelijke verspreiding van de vleermuizen zijn enkele geografische-statistische analyses uitgevoerd op de telgegevens. Deze methode is gekozen om onafhankelijk van gangen en zones een beeld te kunnen krijgen van de aanwezige vleermuissoorten en aantallen. Het gangenstelsel is daarvoor ingedeeld in blokken van 10 bij 10 meter. Van ieder 10 bij 10 meter blok is berekend hoeveel oppervlakte gang er is en hoe vaak dat deel geteld is (de delen binnen de muren zijn 3 maal in een winter geteld, achter de A en B muur is 2 maal geteld en achter de G muur is 1 maal geteld). Ook is per blok uitgerekend hoe vaak per telling iedere vleermuissoort voor komt. Per blok van 10 bij 10 meter is vervolgens uitgerekend wat de dichtheid aan vleermuizen is (aantal vleermuis per soort / gangoppervlakte / aantal tellingen). Deze getallen worden vervolgens ingekleurd, waarbij de vakjes zonder vleermuizen wit blijven. Een zeer lage vleermuisdichtheid krijgt een lichtgele kleur. Bij oplopende vleermuisdichtheid neemt de kleur toe naar geel, oranje en rood. De aantalsverdeling in klassen (kleuren) is volgens de statistische methode van "Natural Break", waarbij per kaart de verdeling wordt geoptimaliseerd. In figuur 7 is als voorbeeld de vleermuisdichtheid van de baardvleermuizen (*Myotis mystacinus/brandtii*), de ingekorven vleermuis (*Myotis emarginatus*) en de de meervleermuis (*Myotis dasycneme*) 'binnen de muren' weergegeven voor de drie wintertellingen gezamenlijk.

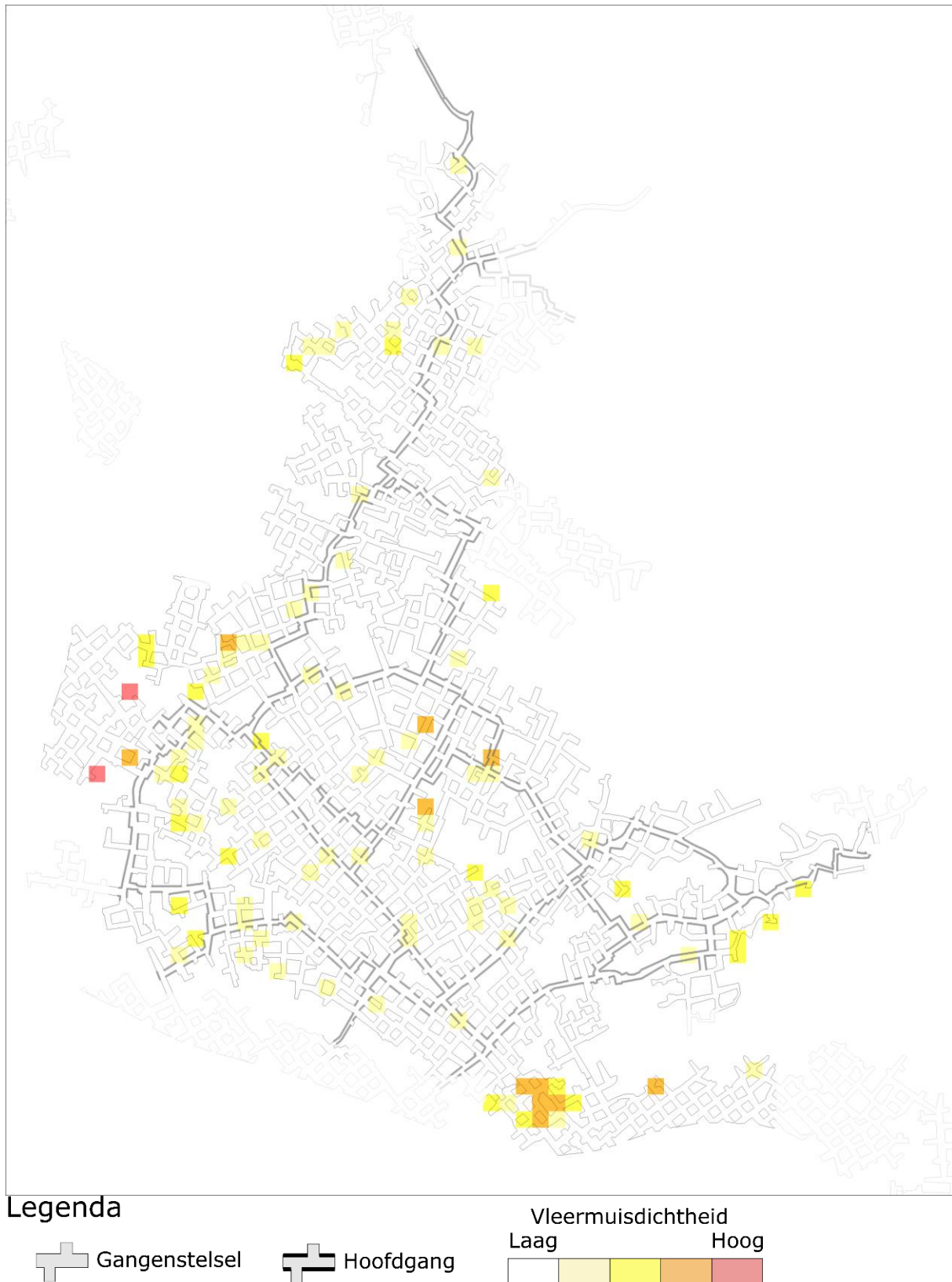
Op de CD die bij dit rapport is geleverd staan voor alle vleermuissoorten deze dichtheidskaarten in bijlage C.



Figuur 7a: Gemiddelde vleermuisdichtheid baardvleermuis in het Zonnebergstelsel in de winters 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015.



Figuur 7b: Gemiddelde vleermuisdichtheid ingekorven vleermuis in het Zonnebergstelsel in de winters 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015.



Figuur 7c: Gemiddelde vleermuisdichtheid meervleermuis in het Zonnebergstelsel in de winters 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015.

Informatie over de (theoretische) klimaateisen van de verschillende soorten is verzameld aan de hand van een literatuurstudie. De voorkeurszones van de vleermuissoorten in het Zonnebergstelsel, zoals de overwinterende vleermuizen die lieten zien, zijn bepaald door het aantal getelde individuen (per soort) te berekenen voor de op basis van de klimaatmetingen onderscheiden klimaatzones.

De aan- of afwezigheid van interne migratie door vleermuizen in het gangenstelsel is op twee manieren inzichtelijk gemaakt: door een vergelijking van de verspreiding van vleermuissoorten over de verschillende klimaatzones tijdens de telling in januari 2015 en maart 2015 (bijlage E) en door een vergelijking van de resultaten van wintertellingen van januari 2013, januari 2014 en januari 2015 (bijlage D). De soorten laten per telperiode een zekere bandbreedte zien in dichtheid en een voorkeur voor een specifieke klimaatzone (waar de hoogste dichtheden aanwezig zijn). Indien er tussen twee telperioden een verschuiving plaatsvindt in de maximum dichtheid, van de ene naar een andere klimaatzone, of als dieren over minder klimaatzones verspreid hangen, is er waarschijnlijk sprake van interne migratie. Indien de dieren binnen een specifieke zone op andere plaatsen gaan hangen is er alleen sprake van verandering in verspreiding (en dus geen interne migratie).

Nazomerzwermlocatie

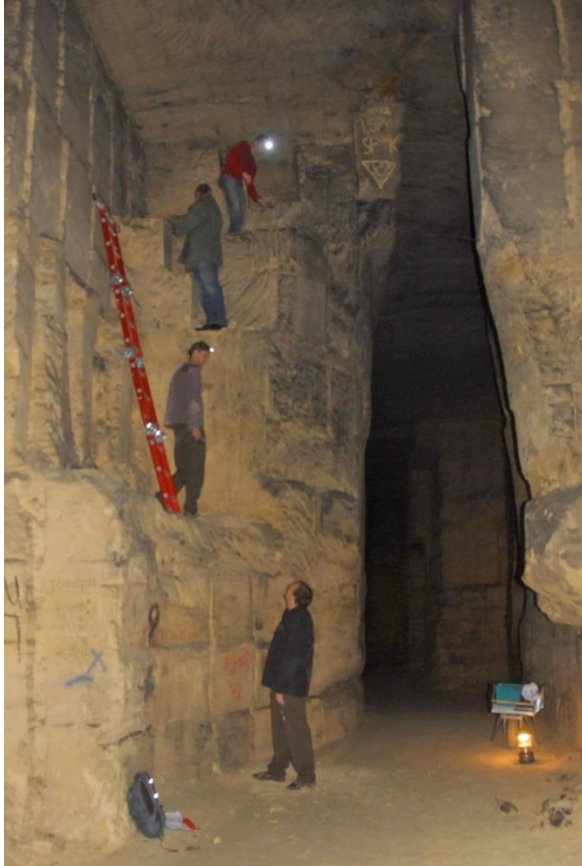
In augustus 2014 is op basis van 'expert judgement' ingeschat welke groeven-ingenagen waarschijnlijk het meest geschikt waren voor het nazomerzwermen, rekening houdend met de beschutting, windrichting en ligging in het landschap. Het vaststellen van de nazomer-zwerm-activiteit werd bepaald tijdens twee nachtelijke bezoeken aan het stelsel.

Met behulp van twee warmtebeeldcamera's werd gedurende 10 minuten geschat hoe groot de groepen vleermuizen ter plaatste waren. Iedere ingang werd 2-3 keer per nacht bezocht. De geluidsweergaves van de batlogger zijn gebruikt voor het vaststellen van zwermende vleermuizen en de geluidsoptnamen van de batlogger ter bevestiging van de soorten. Deze bezoeken hebben plaats gevonden op 17-18 september 2014 en 27-28 oktober 2014.

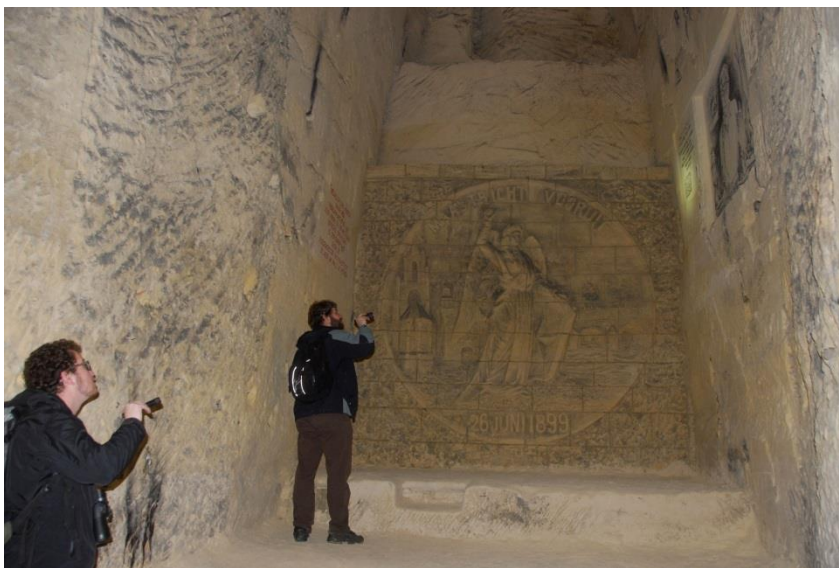
In de tweede helft van de nazomerzwermperiode zijn vier Anabat-recorders geplaatst (figuur 8, figuur 10). Omdat de zwermzones voor het onderzoek nog niet bekend waren, zijn twee Anabats zo geplaatst dat de vleermuis-activiteit bij tenminste 2 doorgangen kon worden geregistreerd. Drie van de vier recorders hebben gewerkt van 7 september 2014 tot 27 oktober 2014. De vierde stopte op 4 oktober met opnemen.

Per soort is het verloop van het nazomerzwermen bepaald aan het aantal opnamen per 24 uur, binnen de periode van 12 uur 's middags tot 12 's middags de volgende dag. De akoestische vleermuis-activiteit van de verschillende soorten nam na 10 oktober sterk af. Daarom zijn de data in twee perioden opgeknipt in een periode van 7 september tot 10 oktober en een periode 10 oktober tot 27 oktober 2014. Nota bene, bij Anabat-recorders is, in tegenstelling

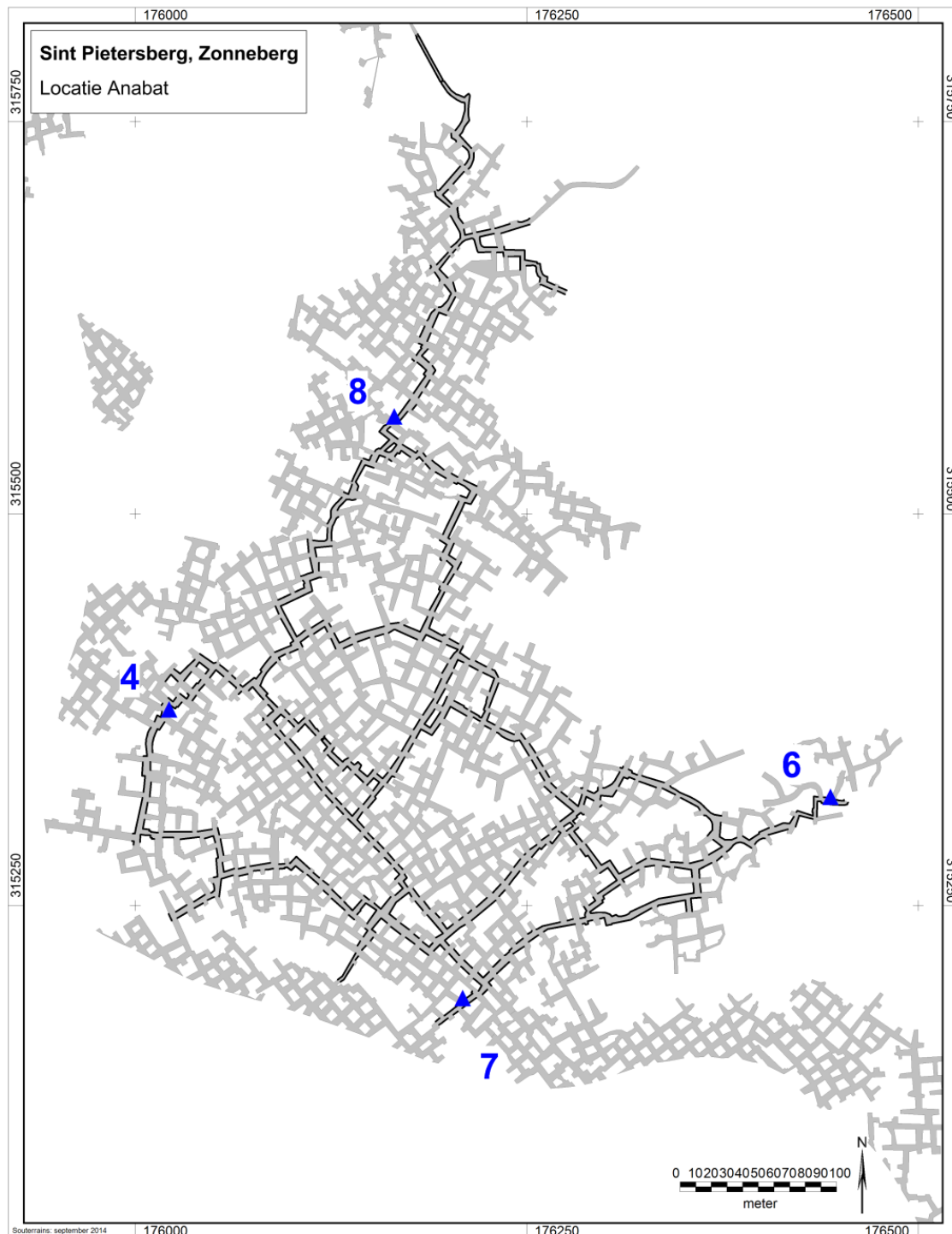
tot de batlogger, het vaststellen van de exacte soort veel moeilijker of onmogelijk.



Figuur 8: Plaatsing van Anabats in het Zonnebergstelsel.



Figuur 9: Overwinterende vleermuizen tellen in het Zonnebergstelsel.



Figuur 10: Locaties van de Anabat-detectoren ten behoeve van het zwerm-onderzoek, september-oktober 2014

In dit project heeft geen onderzoek plaats gevonden naar de aanwezigheid van zomerverblijfplaatsen van vleermuizen. Wel is tijdens de bezoeken aan het stelsel in de winter gelet op aanwijzingen die op zomergebruik door vleermuizen wijzen.

2.3 Verzamelen basisgegevens t.a.v. huidige gebruiksvormen

In het Zonneberg stelsel zijn meerdere gebruikers actief. In onderstaand overzicht is aangegeven welke gebruikers en welke activiteiten zij verrichten. Het VVV heeft geen exacte getallen doorgegeven van aantallen bezoekers, groepen en/of bezoekfrequenties. De hieronder beschreven getallen zijn daarom inschattingen:

- Rondleidingen: dit betreft rondleidingen door het VVV Maastricht. Deze rondleidingen gaan al eeuwen terug (de hertog van Alva zou zelfs een rondleiding hebben gehad) en hebben naast een belangrijke cultuurhistorische waarde ook een economische waarde en een waarde voor de maatschappelijke verantwoording van het behoud van de groeven voor de groevenwaarden. De VVV-rondleidingen vinden in de winter (van oktober tot april) alleen in het weekend plaats. Het betreft dan een of twee groepen die met een gids en twee gasverbrandingslampen de groeve bezoeken. In de periode van april tot en met oktober vinden rondleidingen met een hogere frequentie plaats, oplopend al naar gelang de vraag vanuit bezoekers. Dit kan oplopen tot vele groepen per dag op piek momenten in het hoogseizoen in de zomer. Behalve de reguliere rondleidingen, zijn er ook rondleidingen op verzoek, waarbij op momenten los van de geplande rondleidingen met grotere of kleinere groepen met een gids en twee gaslampen de groeve bezocht worden. Dit kan het gehele jaar door, in zomer en winter.
- Sinds 2014 worden er ook step-tochten gehouden, waarbij de bezoekers met een gids voorop met een step door de gangen stappen. Tijdens deze tochten wordt weinig aandacht aan de cultuurhistorie besteed maar gaat het vooral om de belevenis van ondergronds te stappen. Er wordt een groter deel van de gangen bezocht, maar er wordt uitsluitend met elektrische lampen op de steps en zaklampen in de groeve gewerkt en zonder gaslampen. Ook blijven de groepen niet stilstaan op locaties voor een verhaal, maar is de groep continu in beweging. De gidsen hebben een specifiek gebied waar men mag komen, dit zijn gangen die vanuit gesteente-mechanische veiligheid goedgekeurd zijn voor intensief bezoek met toeristen. Sommige gangen worden bij iedere rondleiding bezocht, zodat de bezoekfrequentie hier zeer hoog ligt. Andere gangen worden slechts zelden bezocht, alleen als er veel groepen in de groeve zijn worden deze gangen als uitwijkingsgangen gebruikt.
- Berglopersregeling. In 1995 is een berglopersregeling in het leven geroepen, om de druk vanuit illegaal bezoek aan het stelsel (en andere groeves) te verminderen. Vanuit het verleden is er een sterke gewoonte, interesse en daarmee ook behoefte, bij de plaatselijke bevolking om het gangenstelsel van de Sint Pietersberg te bezoeken. Dit historisch bezoek door de lokale bevolking zorgt voor maatschappelijk draagvlak voor het behoud van de groeve en heeft een sociale functie; de Sint Pietersberg leeft bij de mensen. In 1995 is dit berglopers-bezoek gereguleerd in het RRB (Regeling Recreatief Berglopen). Een deel van de groeve is vanuit gesteente-mechanische veiligheid goedgekeurd en in deze delen mag men

op vrijdagavond tussen 20 uur en middernacht vrij rondlopen. Toch is te zien dat niet alle gangen even geliefd zijn bij de bezoekers. Er zijn gangen die veelvuldig belopen worden, er zijn bepaalde verzamellocaties en er zijn gangen en groevedelen die zelden bezocht worden. Al deze activiteiten vinden 'binnen de muren' plaats.

- Andere activiteiten in de groeve. Zeer sporadisch worden kerkdiensten of andere activiteiten (bv. opname muziekvideo) georganiseerd. Hier is geen overzicht van. Al deze activiteiten vinden 'binnen de muren' plaats en kunnen het hele jaar door, zomer en winter, plaats vinden.
- De toezichthouders van Natuurmonumenten bezoeken het gangenstelsel regelmatig. Tijdens deze bezoeken wordt bekeken of illegale bezoeken plaats gevonden hebben, of de gebruikers binnen de afspraken blijven en wordt de staat van het gangenstelsel in de gaten gehouden. Het betreft twee toezichthouders (Harm Hovens en Tim Koumans) die zeer regelmatig de groeve bezoeken. Zij gebruiken elektrische zaklampen en lopen alleen door de groeve. Zij bezoeken zowel de delen 'binnen de muren' als de delen 'achter de muren'.
- Ongereguleerde activiteiten. Er wordt met een zekere regelmaat ingebroken in het Zonneberg gangenstelsel. Alleen de illegale activiteiten in het deel 'binnen de muren' worden genoteerd. De delen 'achter de muren' staan open en worden kennelijk zeer frequent illegaal bezocht, gezien de verse voetstappen die bij inspecties iedere keer aangetroffen werden.



Figuur 11: Steppers in de groeve 'botsen' op een groep vleermuistellers.

2.4 Verzamelen basisgegevens t.a.v. (ver)storingsonderzoek

Onderdeel van dit onderzoek was het analyseren van informatie over verstoring van vleermuizen. Op basis van een literatuurstudie zijn de mechanismen achter verstoring van vleermuizen op een rij gezet. Hieruit is een simpel schema opgesteld van het werkingsmechanisme (zie paragraaf 3.5). Met behulp van dit schema is afgeleid op welke wijze rondleidingen of andere activiteiten in het gangenstelsel tot verstoring kunnen leiden voor vleermuizen die in de winterperiode gebruik maken van het stelsel.

De mogelijke verstoring van vleermuizen is op 2 manieren bepaald; vermijdingsgedrag door vleermuizen van intensief door mensen gebruikte zones en verhoogde akoestische vleermuis-activiteit van vleermuizen (geregistreerd als een toename van de opnames van vleermuisgeluiden door de Anabat-detectoren) op dagen met bezoekers. De intensiteit van gebruik voor rondleidingen is ingedeeld in vijf klassen. Deze indeling in vijf klassen is door het VVV-Maastricht aangereikt. De laagste klasse betreft gangen waar de gidsen zelden of nooit met hun toeristengroepen komen. Deze gangen worden alleen bij extreme drukte in de gangen gebruikt om uit te wijken als groepen bij elkaar in de buurt komen. De hoogste klasse betreft gangen die bij ieder bezoek van een toeristengroep gebruikt wordt.

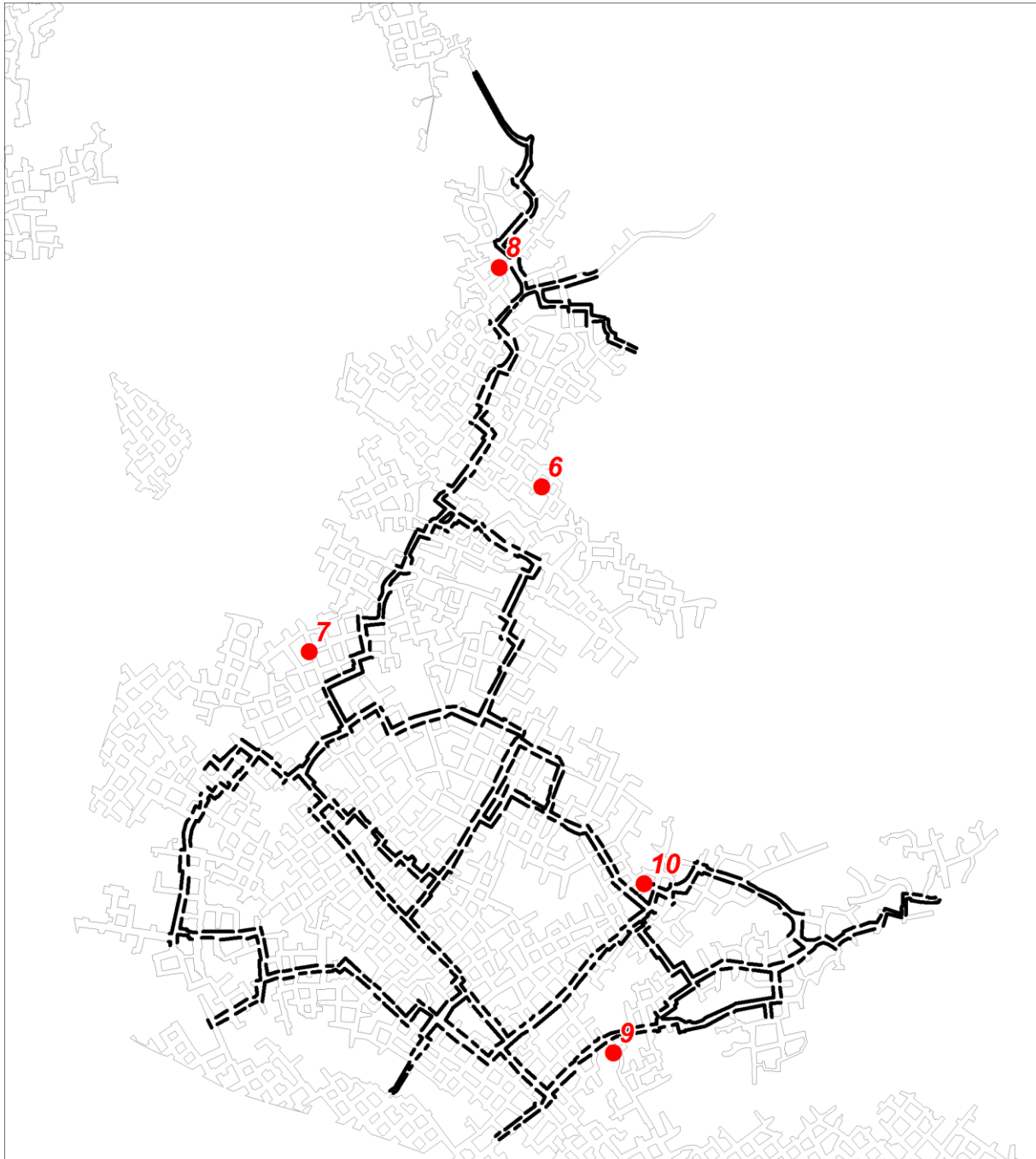
De intensiteit door gebruik van berglopers is ingedeeld in vier klassen. De laagste klasse betreft gangen waar de berglopers mogen komen maar die zelden of nooit bezocht worden. De twee middelste klassen zijn gangen waar de berglopers regelmatig lopen respectievelijk veel lopen. De vierde en hoogste klasse zijn de verzamelplaatsen waar de berglopers in groepen langere tijd bij elkaar verblijven.

Verschillen in dichtheid van overwinterende vleermuizen zijn bepaald per intensiteitsklasse van een gebruiksvorm en per klimaatzone. Aangezien vleermuizen in het Zonnebergstelsel bijna uitsluitend het plafond en de overgang van plafond naar de wand gebruiken is de dichtheid aan vleermuizen niet per gangvolume maar per vierkante meter gang berekend (zie ook paragraaf 2.2).

Naast de fysieke/specifiek gekozen hangplek van vleermuizen en de verschillen tussen intensief en extensief gebruikte gangen, is de vleermuisactiviteit gemeten met Anabat-recorders. In de tweede helft van de winter zijn vijf anabats geplaatst. De recorders 9 en 10 zijn geplaatst langs de rondleidingsroute. De recorders 6,7 en 8 zijn geplaatst in de stille zone. Recorder 6 werd vlakbij een ontmoetingsplek van berglopers geplaatst.

Om de akoestische vleermuis-activiteit onderling te kunnen vergelijken (tussen locaties met veel of weinig vleermuizen) is het aantal geluidsopnamen gedeeld door de lokale dichtheid aan vleermuizen op 7 maart 2015 (2^e extra telronde). Door te corrigeren voor de lokale dichtheid aan vleermuizen kunnen de uitkomsten beter met elkaar vergeleken worden.

Voor iedere weekdag is per 24 uur de gemiddelde (gewogen) activiteit bepaald.



Figuur 12: Kaart met de locaties van de Anabats-recorders in de winterperiode ten behoeve van het verstoringsonderzoek.

2.5 Verzamelen basisgegevens t.a.v. historische waarde

Het gangenstelsel van de Sint Pietersberg, waar de Zonneberg een deel van uitmaakt, is een onderzoeksgebied waar gedurende meerdere eeuwen vele verschillende onderzoekers allerhande observaties hebben gedaan. Tijdens deze onderzoeken werden, vaak in een beperkt gedeelte van de grote groeve, voornamelijk opschriften, vleermuizen en geologische fenomenen geregistreerd. Pas bij het beschikbaar komen van de kaart van de gehele groeve direct na de Tweede Wereldoorlog, zijn de eerste onderzoeken in de gehele Sint Pietersberg opgestart. Een belangrijke inventarisatie is die van Dielis, die vele historische opschriften nagetekend heeft. De inventarisatie van Dielis is opgenomen in de inventarisatie van Spee (zie verderop).

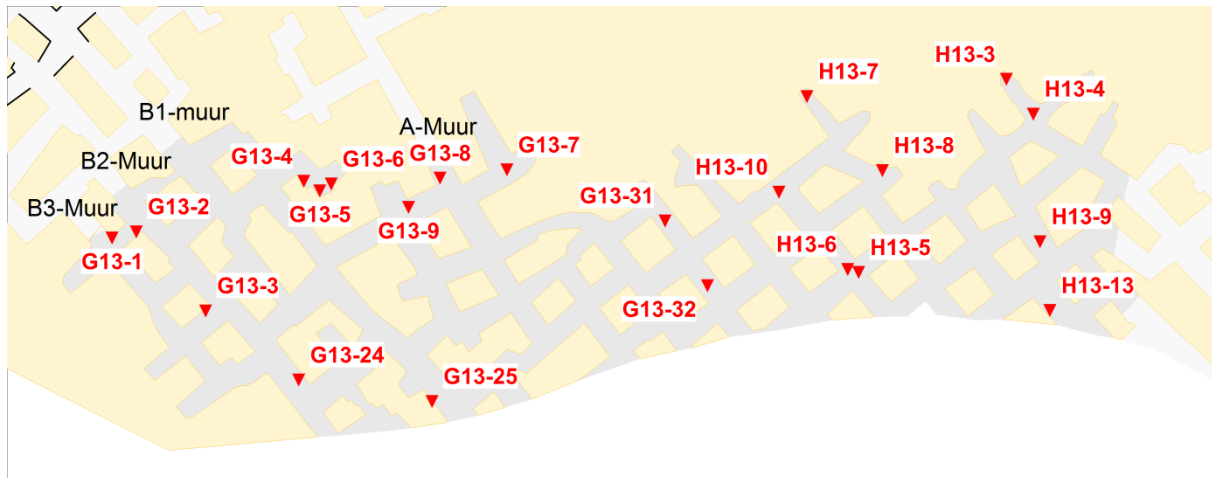
Eind jaren 70, van de vorige eeuw, is Jan Spee begonnen met een groot project waarbij hij grotendeels systematisch vele opschriften in de gangen fotografeerde en op grote kaart-panelen aangaf waar dat opschrift zich bevond en welke foto daarbij behoorde. Jan Spee heeft ook voor de tekeningen van Dielis hun plaats in de groeven op de panelen aangegeven. Jan Spee heeft voor zijn inventarisatie de groeve ingedeeld in gecodeerde blokken en per blok de opschriften een volgnummer gegeven. In klappers is per blok ieder nummer beschreven met de informatie die daarover te vinden was.

De historische waarden 'binnen de muren' zijn in het onderhavige onderzoek niet meegenomen, omdat deze gedurende vele tientallen jaren stabiel zijn. De enige veranderingen zijn moedwillig aangebrachte veranderingen of vandalisme, maar het vastleggen daarvan was geen doel van dit onderzoek. Omdat het klimaat 'achter de muren' het meest dynamisch is, heeft het onderzoek naar de cultuurhistorische waarden geheel 'achter de muren' plaats gevonden. Daarbij zijn vooral de gangen achter de A en B muren bezocht. De gang achter de G muur is niet bezocht, omdat de Oehoe broedde op het moment dat deze inventarisatie uitgevoerd zou worden.

Als eerste zijn uit de inventarisatie van Jan Spee, met daarin opgenomen de inventarisatie van Dielis, alle beschrijvingen gehaald die op het deel achter de A en B muren betrekking hebben. Het betreft de vakken G13 en H13 in de systematiek van de inventarisatie van Jan Spee. In de inventarisatie van Jan Spee bevinden zich de volgende zaken in het deel achter de A en B muren:

- 13 opschriften;
- 3 inkrassingen;
- 7 foto's van gangen met beschrijvingen.

Deze 23 zaken zijn op de kaart weergegeven. In drie onderzoeks-sessies (8 februari 2015, 23 mei 2015 en 22 juni 2015) zijn deze locaties bezocht en gefotografeerd en is beschreven van hetgeen aangetroffen is.



Figuur 13: Locatie uit inventarisatie Jan Spee achter de A en B muren.

Ook is tijdens deze bezoeken een inventarisatie gemaakt van de gangen 'achter de muren' (figuur 13). Hierbij zijn de volgende zaken genoteerd:

- vorstschade. De muren en plafonds zijn visueel nagekeken op vorstschade. Daar waar schilfering zichtbaar was is de wand aangeduid als aangetast door vorstschade. In de plafonds is vooral gekeken naar afvallende plafonddelen. De oorzaak van het afvallen van deze plafonddelen is niet onderzocht, dit kan door vorstwerking of door andere oorzaken (trilling, kruip, etc.) of door een combinatie daarvan plaats vinden.
- algengroei. Omdat deze gangdelen aan daglicht bloot staan, is er algengroei aanwezig. Algengroei is niet overal opgetreden.
- Lichtinval. De lichtinval is in delen waar de zon volledig de wand verlicht zeer direct. Andere delen hebben een indirecte lichtinval. Weer andere delen zijn donker.

3 RESULTATEN

3.1 Het in de groeve aanwezige ondergronds klimaat

De temperatuur in de Zonneberg is niet constant door het jaar heen. De temperatuur ligt wel altijd rond de 10 graden Celsius. De luchtstromingen ondergronds zijn variabel door het jaar heen en zelfs variabel van dag tot dag op sommige momenten van het jaar. We spreken in het geval van de Zonneberg dan ook van een dynamisch klimaatsysteem, zoals bijna alle mergelgroeves overigens. Zelfs in de meest diepe delen van de groeve is de temperatuur niet constant en zijn er luchtstromingen waarneembaar.

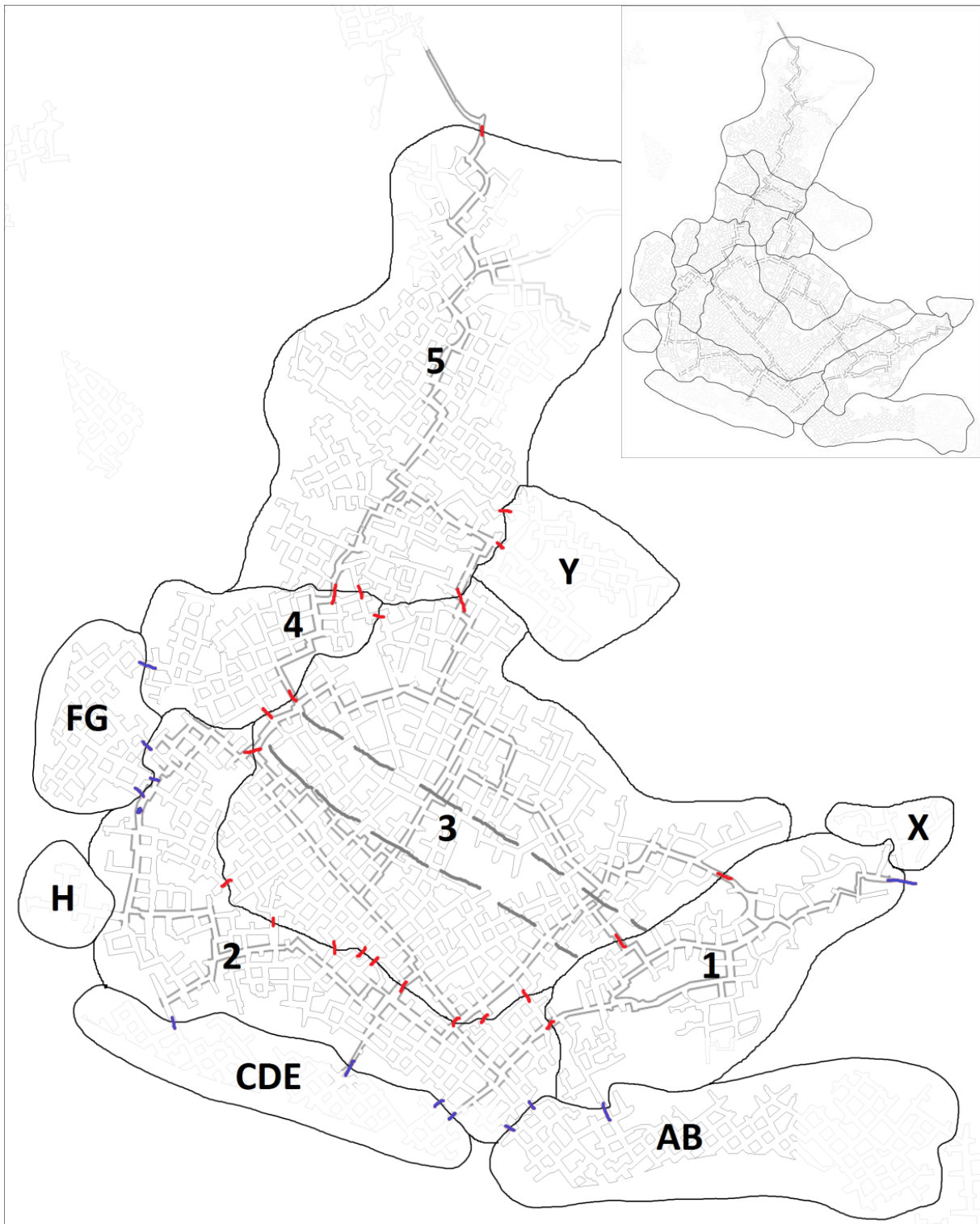
3.1.1 Klimaatzones

Om de link te leggen tussen het ondergronds klimaat en de overwinteringslocaties van de vleermuizen is het van belang te weten welke keuzemogelijkheden de vleermuizen hebben qua klimaat. In sommige delen van de groeve heerst namelijk een ander klimaat dan in andere delen (figuur 14). In het stelsel kan onderscheid gemaakt worden tussen statische (warme) zones en dynamische (koude) zones. De termen warm/koud zijn echter minder geschikt omdat deze termen seizoensafhankelijk zijn en van toepassing zijn in de winter. Dynamische delen liggen altijd dicht bij ingangen en statische delen dieper in het stelsel.

De zones binnen de muren die onderzocht konden worden zijn 1 tot en met 5 benoemd. De zone achter de A- en B-muren heet zone AB, achter de C-, D- en E-muren heet zone CDE, enzovoorts. Deze delen achter de muren zijn niet onderzocht vanwege instortingsgevaar. Met uitzondering van zone AB waar eenmalig een gedeeltelijke meting heeft plaatsgevonden die enkel ter indicatie gebruikt kan worden (zie paragraaf 2.1). De inschatting is echter dat de zones AB, CDE en FG een enigszins vergelijkbaar ondergronds klimaat hebben. Het klimaat in deze zones wordt voornamelijk bepaald door de vele gangaansnijdingen door de ENCI-groeve, waardoor die gangen waarschijnlijk een zeer dynamisch karakter hebben.

De klimaatzones binnen de muren zijn uiteindelijk bepaald aan de hand van vele metingen en door vervolgens vergelijkbare meetpunten samen te voegen. Door een hele reeks aan metingen ontstaat een beeld van hoe een zone zich klimaattechnisch gedraagt en welke grenswaarden daarbij horen. Dit komt verderop in dit hoofdstuk aan bod.

Wanneer de uiteindelijke zoneverdeling wordt vergeleken met de hypothese van uit hoofdstuk 2.1 (figuur 3), dan valt direct op dat ze goed overeenkomen, maar dat in het uiteindelijke klimaatoverzicht veel zones zijn samengevoegd. De temperatuurverschillen tussen de zones vooral achterin bleken kleiner te zijn. De zonegrenzen waren vooraf (bijna) allemaal correct ingeschat.



Figuur 14: De vijf onderscheiden klimaatzones (1 t/m 5) met in paars en rood de verbindingen (openingen) tussen de zones. AB, CDE, FG en H zijn de delen achter de desbetreffende muren.

De zones X en Y zijn niet onderzocht, maar deze zones staan beide niet in (open) verbinding met de ENCI-groef. Over zone X is niks bekend en is geen ondergrondse verbinding (meer) met de rest van het stelsel. Zone Y (de zogenaamde Begijnenkamer) is afgekeurd wegens instortingsgevaar, maar deze zone heeft naar inschatting waarschijnlijk een statisch ondergronds klimaat.

Er moet opgemerkt worden dat de zones enkel zijn gekozen op luchttemperatuur en luchtvochtigheid. Luchtstromingen zijn binnen een zone absoluut niet constant. Gemiddeld gezien kan er wel geconstateerd worden dat een zone hogere luchtstromingen heeft dan een andere zone, maar binnen een zone zijn er grote verschillen. Een doorgaande gang vanaf een ingang heeft veel meer luchtstroming dan een doodlopende gang (al staat daar de lucht ook nooit volledig stil).

Daarnaast zijn er ook zeer grote verschillen in luchtstromingen op één enkel punt. Vanwege de hoge gangen in de Zonneberg hebben de luchtstromingen bovenaan en onderaan de gang weinig invloed op elkaar. Deze luchtstromingen zijn meestal tegengesteld gericht en halverwege de gang ontstaat dus een overgangsgebied waar de lucht redelijk stilstaat. Er zijn wel altijd wervelingen in dit gebied, maar geen duidelijke stroming.

In de tabel hieronder (tabel 1) zijn de grenswaarden aangegeven van de aanwezige klimaatzones (in de winter). De temperaturen in de eerste drie kolommen zijn de wintertemperaturen (in de zomer is er niet gemeten). De minimale temperatuur onderaan de gang (eerste kolom) is erbij gezet als indicatie hoe groot de verschillen zijn binnen een zone. In de winter zijn de temperaturen bovenaan de gang veel stabiel, wat interessant is in relatie tot de vleermuizen.

De luchtstroming geeft een indicatie van de snelheid (met grote lokale verschillen). Het luchtdebiet is het aantal kubieke meter lucht dat zich door de zone per tijdeenheid verplaatst, dit geeft een indicatie hoe dynamische of statistisch een zone is (en hoeveel warmtetransport er is). Tot slot staat RV voor relatieve luchtvochtigheid.

Tabel 1

Zone	Dynamiek	Min temp onderaan	Min temp bovenaan	Max temp bovenaan	Luchtstroming	Luchtdebiet	RV onderaan	RV bovenaan
1	Dynamisch droog	9.5 °C	10.0 °C	10.5 °C	Hoog >30cm/s	Middel	>=96%	~100%
2	Dynamisch	9.6 °C	9.8 °C	10.2 °C	Middel 10-30cm/s	Veel	>=95%	~100%
3	Dynamisch-Statisch	9.7 °C	9.8 °C	10.4 °C	Middel 10-30cm/s	Middel	>=96%	~100%
4	Statisch-Dynamisch	9.7 °C	10.1 °C	10.5 °C	Middel 10-30cm/s	Middel	>=97%	~100%
5	Statisch	10.1 °C	10.3 °C	10.6 °C	Laag 5-10cm/s	Laag	>=97%	~100%

De relatieve luchtvochtigheid is bovenaan de gang nagenoeg altijd en overal 100%, enkel nabij ingangen en schachten kan dit afwijken. Onderaan de gang komen lagere percentages voor, maar altijd boven de 95% en meestal op de meeste meetpunten ook 'gewoon' 100%. Vooral bij de hoofdingang is dit gemeten omdat dit de grootste ingang is, en (dus) de meeste droge lucht hier naar binnen komt. Omdat vochtige lucht een lagere dichtheid heeft stijgt deze op. Zodoende zal de 'droge' lucht altijd aan de onderkant van de gangen te vinden zijn.

Zone 3 is een zeer grote zone, zo groot dat er een zeer geleidelijk temperatuurverschil aanwezig is tussen beide zijden. De kant die aan zone 2 grenst, is iets dynamische (kouder) dan de andere kant van de zone (aangeduid met de twee grijze lijnen). Deze overgang is echter zeer geleidelijk, waardoor niet gesproken kan worden van twee zones.

Vlak nabij de publieksingang (de eerste 20 meter) wijken de waardes heel erg af en kon ook niet goed gemeten worden. Dit deel is vanwege het lage aantal vleermuizen bovendien niet erg belangrijk. Het is een gebied waar zeer veel verstoring is, de gangen zeer laag zijn en betonnen constructies staan, waardoor de gang in feite uit twee verdiepingen bestaat en waar sporadisch nevel in de gangen hangt. Een echte uitzonderingslocatie die verder niet in het onderzoek is meegenomen.

3.1.2 Werking klimaatmodel

Om te begrijpen hoe het klimaatmodel werkt moet er gekeken worden naar de luchtstromingen (en niet naar de temperatuur bijvoorbeeld), de warmte verplaatst zich immers door middel van de lucht, en wordt opgeslagen in de wanden, vloeren en plafonds (in het gesteente). De luchtstromingen hebben

geen vrij spel, ze worden gestuurd door de morfologie van het stelsel, door hoe het ondergronds landschap eruitziet. Waar de ingangen en schachten zitten, waar muren en richels zijn, stijgende of dalende gangen en vernauwingen en verruimingen.

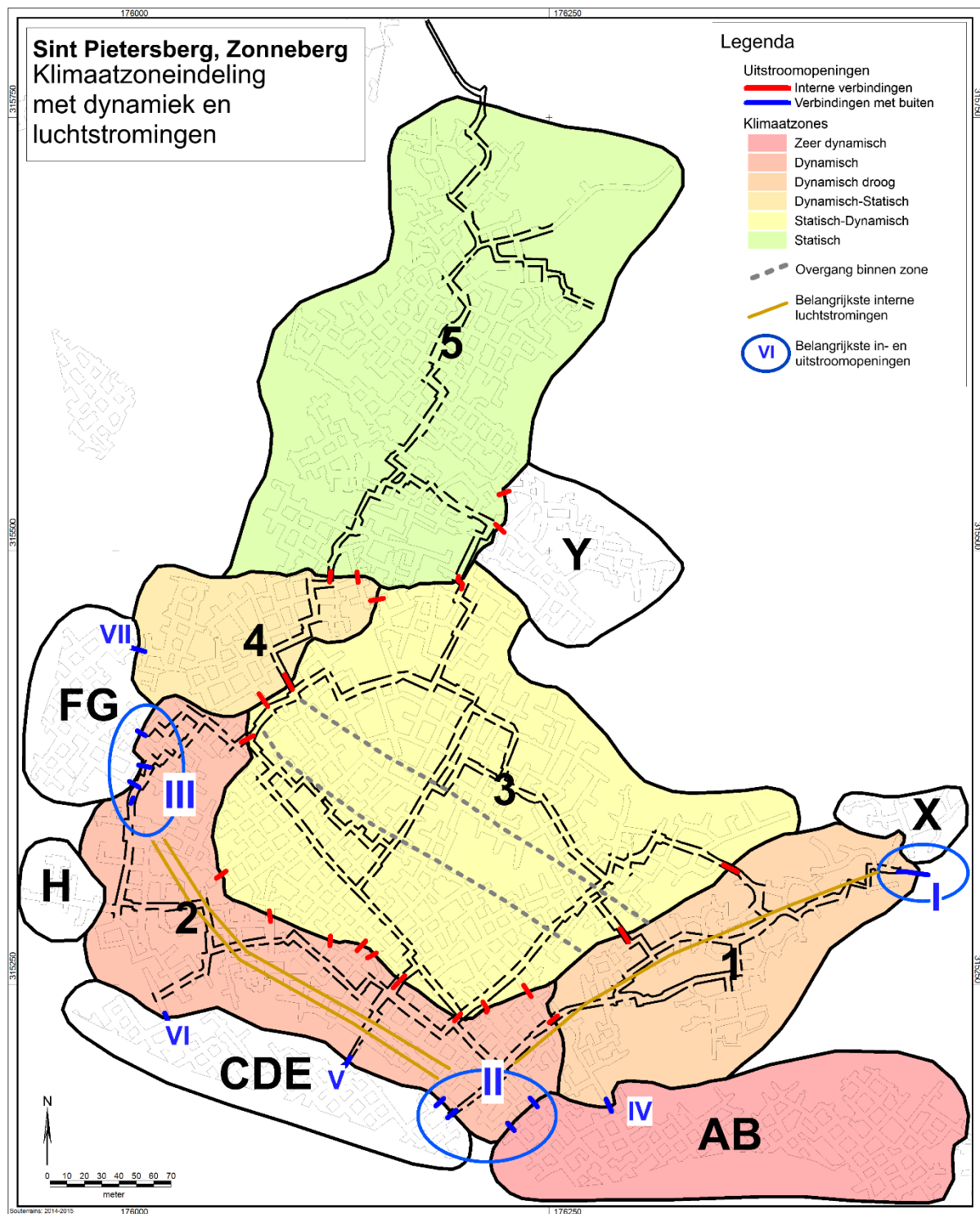
De grenzen van de klimaatzones worden veroorzaakt doordat er op deze grenzen minder doorgangen zijn waardoor de warmte (de lucht) zich kan verplaatsten. Deze doorgangen zijn aangegeven in figuur 15. Op de locaties van deze rode strepen (de flessenhalzen) zijn hoge luchtstromingen waargenomen en deze doorgangen zijn dan ook van groot effect op het ondergronds klimaat, hoe lager het luchtdebiet naar een achterliggende zone, hoe statischer die zone wordt.

Op deze kaart zijn tevens alle ingangen naar de buitenlucht aangegeven in het groen. De locaties I, II en III zijn verreweg het belangrijkste voor het ondergronds klimaat van de Zonneberg. De ingangen IV, V, VI en VII zijn kleine vleermuisdoorgangen van 30 cm bij 50 cm. Deze doorgangen zijn zeker niet verwaarloosbaar, maar in vergelijking met I, II en III is hun effect zeer klein te noemen.

Door de vele ingangen in de Zonneberggroeve treedt er een verrassend effect op dat zelfs zonder meetapparatuur te constateren is. Er is namelijk (bijna) altijd een trek door de groeve aanwezig, dat wil zeggen lucht die bij een andere ingang de groeve inkomt dan uitgaat. Dit is zeer uniek te noemen in het mergelland. Dit is de reden dat de Zonneberg toch dynamisch genoemd kan worden ondanks haar grote omvang (veel gesteente waar de warmte in opgeslagen wordt). Deze trek treedt in twee verschillende stromingen op zoals aangegeven in figuur 15 met de oranje/bruine lijnen.

De richting en omvang van de trek verschilt van dag tot dag en wordt beïnvloed door de windrichting en windsnelheid buiten de groeve. Wanneer er zuiderwind staat, dan blaast de wind vol op de inganglocatie II, waardoor er een trek plaatsvindt van II naar I en III.

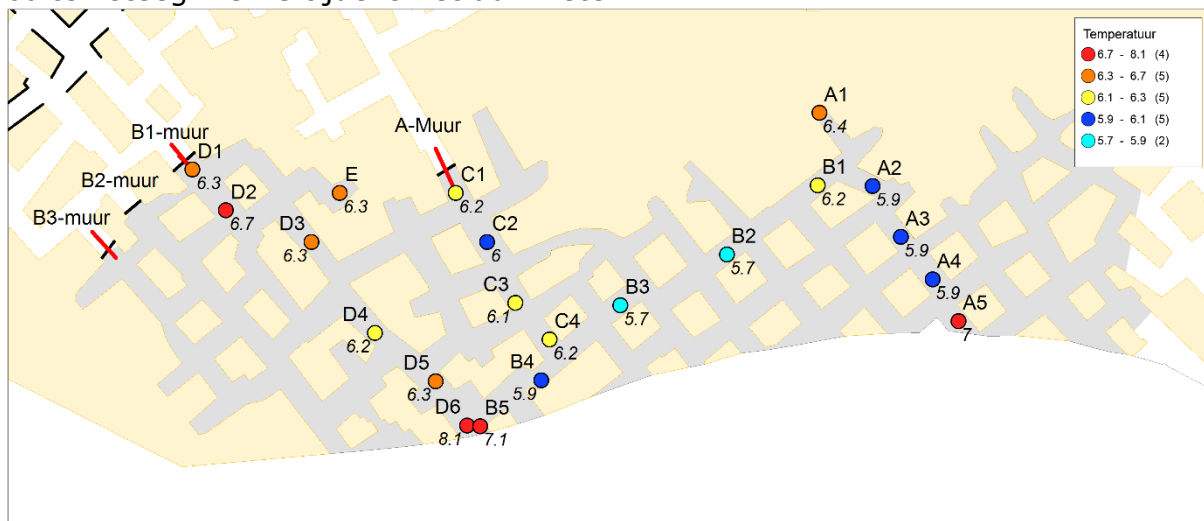
Deze trek heeft grote invloed op het ondergronds klimaat, dit maakt de Zonneberggroeve dynamischer, maar ook onvoorspelbaarder (niks is zo dynamisch als het weer buiten). Meestal is het ondergronds klimaat in een mergelgroeve veel voorspelbaarder en varieert het klimaat nauwelijks van dag tot dag (en zeker niet in de winter). Om deze reden is de term 'dynamisch' niet op zijn plaats en kan er beter de term chaotisch dynamisch op het stelsel worden geplakt. Deze trek speelt zich enkel af in de zones 1 en 2. En dan vooral zone 2 waar deze trek groter is dan in zone 1 (in luchtdebiet, niet in luchtstroming).



Figuur 15: Ligging van de vijf klimaatzones (1 t/m 5) en de belangrijkste luchtstromingen in oranje/bruine lijnen. In blauw de belangrijkste in- en uitstroomopeningen.

3.1.3 Indicatie ondergronds klimaat 'achter de muren'

Zoals eerder aangegeven in dit hoofdstuk was het enkel mogelijk om klimaat metingen te doen in de qua veiligheid goedgekeurde delen van het Zonneberg stelsel. Omdat de verwachting was dat het gebied achter de muren heel belangrijk zou zijn als overwinteringslocatie voor de vleermuizen, zijn klimaat-metingen in deze delen wel zeer wenselijk. Uiteindelijk zijn op 6 maart 2015 kort wat metingen verricht in zone AB. Er is alleen onderaan in de gang gemeten op een handvol locaties en eigenlijk op een verkeerd moment: de temperatuur buiten steeg 1.5 °C tijdens het uur meten.



Figuur 16: Meetpunten achter A en B muren

Om deze redenen kunnen er geen conclusies getrokken worden over de grenswaarden in deze klimaatzone. Toch worden kort de verzamelde gegevens besproken (met alle beperkingen die daarbij horen). In figuur 16 is aangegeven op welke meetpunten is gemeten. De gemeten temperaturen staan in onderstaand tabel.

Tabel 2

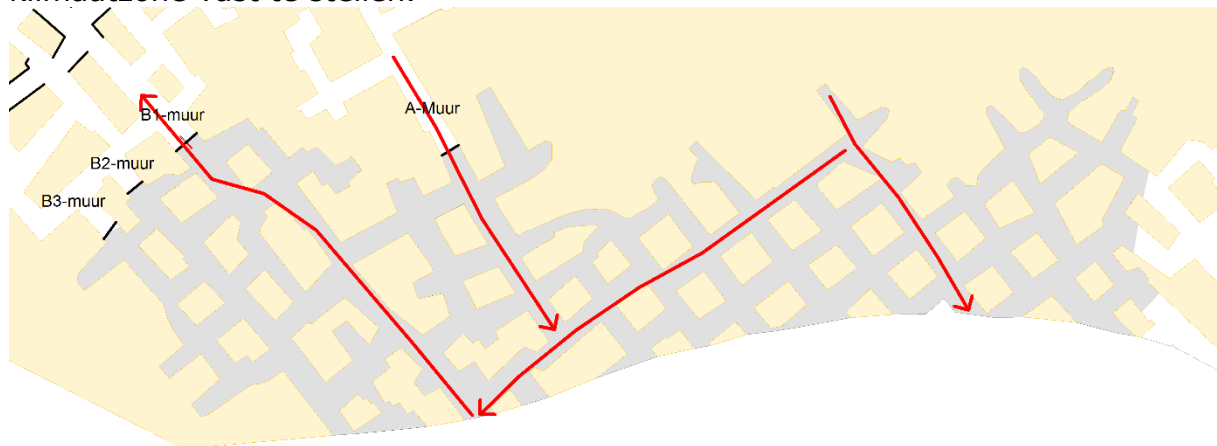
Meetpunt	Temperatuur (°C)	Meetpunt	Temperatuur (°C)
A1	6,4	C1	6,2
A2	5,9	C2	6,0
A3	5,9	C3	6,1
A4	5,9	C4	6,2
A5	7,0	D1	6,3
B1	6,2	D2	6,7
B2	5,7	D3	6,3
B3	5,7	D4	6,2
B4	5,9	D5	6,3
B5	7,1	D6	8,1
		E	6,3

De temperatuur op meetpunt B5/D6 is 3 keer gemeten gedurende een uur, waarbij de temperatuur steeg van 6,8 °C naar 7,1 °C tot 8,1 °C. De meetpunten daarachter reageren, vanwege de ligging, niet zo sterk op het dag tot dag ritme. Hoe deze punten zich gedragen is onbekend. Wel is te constateren dat deze zone een zéér dynamische zone is. Het is zeker mogelijk dat temperaturen tot beneden het vriespunt gemeten kunnen worden als het buiten de groeve vriest.

Ook de luchtstromingen zijn gemeten; op het moment van meten (6 maart 2015) stond er een zuidwestenwind van 3 tot 4 m/s. De wind waaide vrij krachtig recht op de gangaansnijdingen naar binnen. De luchtstromingen onderaan de gang zijn met pijlen aangegeven in figuur 17. Zoals te zien stroomt de wind in drie van de vier pijlen naar binnen (tegen de wind in). Dit is normaal en zoals verwacht, omdat de buitentemperatuur hoger lag dan het kenterpunt van deze zone (de gemiddelde temperatuur van het gesteente) stroomt de wind bovenaan de gang naar binnen en duwt de afgekoelde groeve lucht via de onderkant van de gangen weer naar buiten.

Een uitzondering is de pijl naar de B1 muur. Hier is bovenaan én onderaan de gang een luchtstroming naar binnen gericht. Dit komt door de trek door de groeve zoals beschreven in vorig hoofdstuk. Er stroomt hier netto meer lucht de groeve in dan de groeve uit, aan de andere kant van het Zonneberg stelsel (uitgangslocatie III) stroomt er vervolgens meer lucht de groeve uit dan in. Eenzelfde pijl wordt verwacht bij de B3 muur ernaast, maar daar is niet gemeten.

Meer metingen zijn nodig en zeer gewenst om de grenswaarden voor deze klimaatzone vast te stellen.



Figuur 17: Luchtstromen achter A en B muren

3.2 De in de Zonneberg groeve aanwezige vleermuisfuncties in relatie tot groeveklimaat

3.2.1 Zomerverblijffunctie

Tijdens dit onderzoek werden in de onderzochte delen geen sporen gevonden die wijzen op zomerverblijfplaatsen. De vleermuizentelgroep kent wel een locatie waar zomers laatvliegers (*Eptesicus serotinus*) aanwezig zijn. Dit is bij de G muur. Voor de afwezigheid van zomerverblijfplaatsen is geen duidelijke reden.

3.2.2 Nazomerzwermen

Het *verloop* van het nazomerzwermen is vastgesteld middels 4 Anabat-recorders (figuur 10). De daadwerkelijke locaties van het nazomerzwermen zijn vastgesteld met twee nachtelijke bezoeken met warmtebeeldcamera's en vleermuisdetectors op 17-18 september 2014 en 27-28 oktober 2014.

In de nazomerzwermp periode werden per Anabat-recorder tussen de 50-1600 opnamen per 24 uur vastgelegd (zie figuur 18). De hoogste activiteit werd gemeten vanaf middernacht tot 2 uur na middernacht. Uitgaande van een (arbitraire) grens van tenminste 10 opnamen per uur start het nazomerzwermen om 22:00 's avonds en eindigt de zwermactiviteit om 9:00 's ochtends. De recorder die achter de hoofdingang (voor menselijke bezoekers) geplaatst was nam in de meeste nachten alleen rond 20:00 enkele vleermuizen op. De recorders hebben ook veel sociale geluiden van *Myotis* vleermuizen (paringen?) vastgelegd die niet tot op soortniveau te analyseren waren. De akoestische vleermuis-activiteit nam sterk af na 10 oktober 2015, wat kennelijk het moment was waarop de winterslaap-periode is gestart.

In de ochtend of namiddag werden door de recorders (4, 7 en 8) onregelmatig veel geluidsoptnamen vastgelegd van vleermuizen. Dit geeft aan dat in de nazomerperiode ook overdag vleermuizen in het stelsel aanwezig zijn en actief rondvliegen. De aanwezigheid overdag van vleermuizen in het stelsel werd 's avonds bevestigd door de warmtebeeldcamera beelden. Hierop was duidelijk te zien dat de verschillende zwermdende vleermuizen nog donkere vleugels hadden. Dit betekent dat de vleugels nog relatief koud waren, en de dieren nog maar kort vliegen en dus uit het stelsel zelf kwamen.

Het verloop van het nazomerzwermen verschilt tussen de ingangen. Bij de G muur vond het zwermden voornamelijk plaats tussen 23:00 en 1:00 's nachts (piek 0:00) en bij de A muur tussen 1:00 en 4:00 's nachts (piek 2:00-3:00). De meetlocatie achter de G muur nam relatief vaak franjestaarten (*Myotis nattereri*) op. De recorders achter A en G namen de meeste gewone dwergvleermuizen (*Pipistrellus pipistrellus*) op. De visuele observaties op 17-18 september en 27-28 oktober bevestigden de resultaten van de Anabat-recorders. Bij de toeristeningang werd op de twee genoemde avonden slechts beperkt gezwermd en zwermdende dwergvleermuizen waren vooral bij A, B, C en G aanwezig. Bij vergelijking van de geluidsdata onderling valt ook op dat ondanks gunstig weer, de nacht van 18 op 19 september geen drukke "zwernacht" was.

Iedere soort heeft zijn eigen periode voor het nazomer zwermen (tabel 3) en (kennelijk) ook een favoriete locatie (ingang). Vaak zijn er per soort drie pieken te herkennen die zo'n week verschoven zijn; eerst zwermen de volwassen mannetjes, dan de volwassen vrouwtjes en tenslotte de jonge dieren). Per soort (vanaf 7 september) zijn over de hele meetperiode tenminste twee en soms drie activiteitspieken te onderscheiden (zie tabel 3), deze zijn opgesomd in tabel 4. Door de late start van het onderzoek kon voor alle soorten de eerste piek van zwermen niet vastgesteld worden.

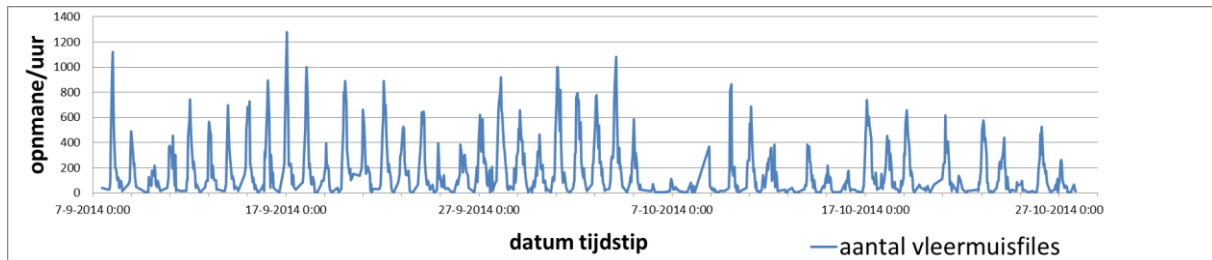
Van laatvliegers, franjestaarten en ingekorven vleermuizen kon de start en het einde van de 2^e en 3^e piek bepaald worden. Van de gewone dwergvleermuizen kon het einde van de 2^e piek en de start en einde van de 3^e piek vastgesteld worden.

Het zwermen, waarbij de locatie ook weer verlaten wordt, gaat geleidelijk over in zwermen waarbij het zwermen tegelijk de influx van overwinteraars in de groeve is. Er van uitgaande dat deze influx veel minder akoestische vleermuis-activiteit oplevert, kon voor veel soorten/soortgroepen de start van de winterperiode globaal vastgelegd worden.

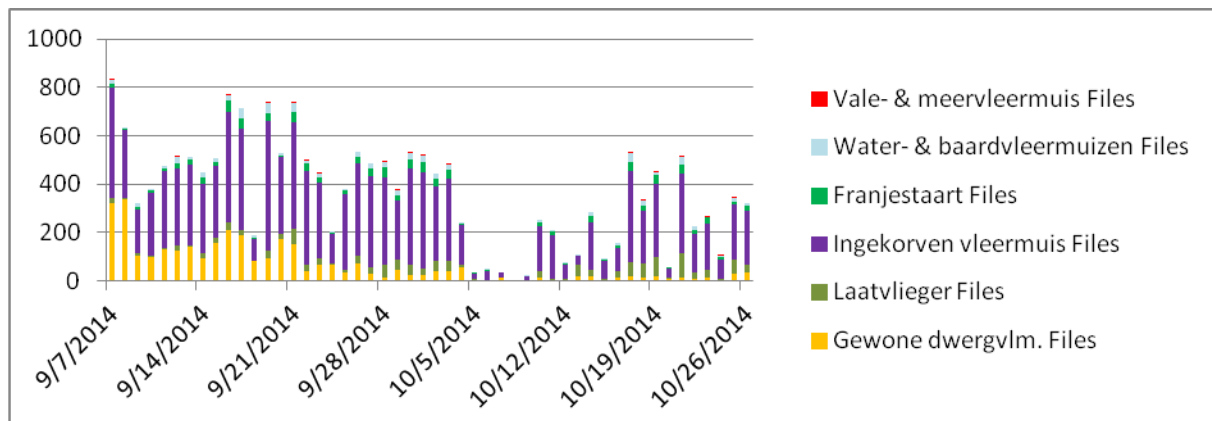
In de 1^e onderzoeksnacht met warmtebeeldcamera's werden hoofdzakelijk gewone dwergvleermuizen en ingekorven vleermuizen vastgesteld en slechts een enkele watervleermuis (*Myotis daubentonii*), baardvleermuis, grootoorvleermuis (*Plecotus spec.*) en een mogelijke Bechsteins vleermuis (*Myotis bechsteinii*). Op de tweede onderzoeksnacht werden hoofdzakelijk franjestaart-vleermuizen en enkele ingekorven- en watervleermuizen vastgesteld. Dit beeld komt redelijk overeen met de analyse resultaten van de Anabat-opnamen.

De recorders die kort achter de ingangen bij de G en A muur stonden hebben de meeste vleermuisgeluiden opgenomen. De recorder die in de gang vlak achter de toeristeningang stond de nam de minste vleermuizen op. Het overgrote deel van de geluidsopnamen was van ingekorven vleermuizen gevolgd door laatvliegers en gewone dwergvleermuizen. Dit resultaat komt redelijk overeen met het nachtelijke onderzoek naar het zwermen op 27-28 oktober.

De belangrijkste zwermlocaties zijn de zones *voor en achter* de doorgangen in de A, B, C en G muur. De meeste dieren verzamelen zich in de ruimte direct voor de ingang bij de muren, en niet zoals verwacht bij de overgang van de binnen-buitenkant van de groeve (de steilwand). Dieren vliegen na enige tijd in 2-tallen of kleine groepjes door de kleine doorgangen het stelsel in, maar keren na korte tijd weer terug. Enkele dieren gaan binnendoor meerdere ingangen af.



Figuur 18: Vleermuis zwerm-activiteit (uitgedrukt in aantal opnames per uur) bij Anabat-recorder 9, voor de periode 7-9-2015 t/m 27-10-2015.



Figuur 19: Aantal geluidsoptnames per 24 uur per soort vlakbij de doorgang in de A muur.

Tabel 3: Seizoenverloop van het nazomerzwermen in het Zonnebergstelsel in het najaar van 2014, bepaald aan de hand van de akoestische data. n.v.= niet vastgesteld, activiteit piek valt waarschijnlijk voor de start van het onderzoek, zie ook Kugelshafter (2014) en van Schaik et al. (2014).

Soort	2 ^e piek		3 ^e piek		Influx?
	Start	Einde	Start	Einde	
Baard/watervleermuis	n.v.	n.v.	n.v.	11-9	7-9
Gewone dwergvleermuis	n.v.	11-9?	11-9	27-9	10-10?
Ingekorven vleermuis	9-9?	23-9	26-9	8-10	9-10
Laatvlieger	11-9	25-9	25-9	5-10	13-10
Franjestaart	9-9	13-10	15-10	27-10	
Vale/Meervleermuis					17-10

Tabel 4: Nazomer zwermen bij de vleermuistoegangen; groepsgrootte en soortensamenstelling op twee onderzoeknachten (met behulp van thermische camera's en batlogger).

Locatie	17/18 september 2014			27/28 oktober 2014		
	Zwerm activiteit	Aantal	Soorten	Zwerm activiteit	Aantal	Soorten
Hoofdingang	Beperkt	1-3	grootoorvleermuis, gewone dwergvleermuis, ingekorven vleermuis	laag	0-1	Myotis spec.
Schacht bakkerij	Geen	0	-	Geen	0	-
Doorgang museum	Laag	2-3	ingekorven vleermuis	Geen	0	-
Schacht achterin	Beperkt	1-3	ingekorven vleermuis grootoorvleermuis	Laag	1-2	franjestaat
Muur A	Matig druk	5-8	ingekorven vleermuis, gewone dwergvleermuis,	Beperkt	1-2	franjestaat
Muur B1	Matig druk	3-10	ingekorven vleermuis, gewone dwergvleermuis, watervleermuis?	Beperkt	1-2	franjestaat
Muur B2 (dicht)	Geen	0		geen	0	
Muur B3	Matig druk	3-5	ingekorven vleermuis, gewone dwergvleermuis,	Beperkt	1-3	Franjestaart, Bechsteins vleermuis?
Muur C1	Matig druk	Ca. 5	gewone dwergvleermuis, ingekorven vleermuis	Beperkt	1-2	franjestaart, ingekorven vleermuis
Muur C2	Beperkt	1-3	ingekorven vleermuis	Beperkt	1-2	grootoorvleermuis
Muur D	Beperkt	1-3	ingekorven vleermuis	Beperkt	1-2	
Muur E	Matig druk	Ca. 5	ingekorven vleermuis baardvleermuis Bechsteins vleermuis?	Beperkt	1-2	franjestaart
Muur F1/F2/F3	Beperkt	1 – 3	ingekorven vleermuis	Beperkt	1-2	-
Muur G	Druk	6-12	ingekorven vleermuis, gewone dwergvleermuis, watervleermuis e.a.?	Matig druk	3-5	franjestaart, grootoorvleermuis, ingekorven vleermuis

3.2.3 Winterverblijfplaatsfunctie: verdeling van soorten over de klimaatzones

Gedurende de wintermaanden gaan vleermuizen 2 tot soms wel 8 maanden in 'winterslaap'. Deze periode van lethargie is een belangrijke strategie van vleermuizen, waarmee de ongunstige wintermaanden (geen voedsel en lage temperaturen) worden overbrugd. Door in lethargie te gaan kan het energieverbruik met 95% teruggebracht worden. Het fysiologisch optimum ligt rond de 3-5° Celsius.

Vleermuissoorten verschillen in overwinteringsgedrag en de lengte van de winterslaapproiode. Zo zijn er stabiele- en instabiele slapers en kort- en langslapers. Instabiele slapers, zoals gewone dwergvleermuizen, testen het

buitenklimaat en gaan indien mogelijk ook 's winters jagen. Stabiele slapers, zoals baardvleermuizen en watervleermuizen, wachten totdat het voorjaar voldoende insecten biedt en verlaten dan pas hun overwinteringsplek. Franjestaarten zijn typisch kortslapers, individuen komen pas laat in de winter binnen en gaan ook weer vroeg weg. Typische langslapers, zoals ingekorven vleermuis en vale vleermuis komen relatief vroeg en blijven lang overwinteren. Binnen één soort verschillen individuen in hun overwinteringsstrategie afhankelijk van hun vetreserves, waardoor individuen binnen één overwinteringsverblijf andere keuzes maken door op warmere of juist koudere plekken te gaan overwinteren.

Het Zonnebergstelsel is uiteindelijk in 10 verschillende zones onderverdeeld. Vijf delen liggen achter de 'achter de muren' van het Zonnebergstelsel en deze delen staan in directe verbinding met de open mijnbouwgroeve van de ENCI. Slechts twee delen die buiten de muren lagen, konden op overwinterende vleermuizen werden gecontroleerd; Zone G 1x en Zone A-B: 2x. Zone C en F zijn alleen via de ENCI zijde toegankelijk en alleen met veel moeite en de nodige veiligheidsapparatuur te bereiken. Deze zones zijn niet bezocht.

De verschillende vleermuissoorten zitten sterk verspreid over een groot deel van de groeve. De soorten verdelen zich, zoals verwacht, verschillend over de in het Zonnebergstelsel aanwezige klimaatzones. *Binnen* een specifieke zone hebben veel soorten een zeer uniforme verspreiding. Opvallend is dat meer dan 90% van de dieren tegen de wand bij het plafond hangt. Daarnaast hangen vaak dieren op plekken waar in het plafond reliëf aanwezig is. Slechts sporadisch zijn op lagere hoogte dieren aanwezig.

De relatie tussen vleermuissoorten en het klimaat is uitgewerkt zonder rekening te houden met 'verstoring' in de gangen waar bijvoorbeeld rondleidingen in worden gegeven. De rondleidingen vinden slechts in een beperkt deel van de gangen plaats, zodat er vanuit gegaan is dat het klimaat van een specifieke zone bepalend is voor de keuze die vleermuizen maken bij het kiezen van de overwinteringslocatie. Bij het verstoringsonderzoek is wel rekening gehouden met het klimaat (zie paragraaf 3.5).

Doelsoorten

De meervleermuis wordt in de winter aangetroffen in alle klimaatzones, maar hoofdzakelijk in de minder dynamische delen (zones 4, zie figuur 20). Opvallend is dat in 2015 ook relatief veel dieren in de zeer dynamische zone (buiten de muren) werden gevonden. Als de winters kouder zijn hangen dieren meer in het stabielere deel (zone 3). Vaak hangen de dieren in groepjes diep weggekropen in plafondscheuren. In normale winters lijken meervleermuizen tijdens de tellingen wat meer in de statisch dynamische delen te hangen (zone 3), maar de zeer dynamische zones worden bij de reguliere tellingen niet onderzocht. Individuele van de vale vleermuis worden in de winter aangetroffen in alle klimaatzones, maar vooral in het statisch dynamische deel (zone 3, zie figuur

21). Er worden ook relatief veel dieren gevonden in het zeer dynamische deel (buiten de muren).

De ingekorven vleermuizen worden in de winter aangetroffen in de dynamisch-statische (zone 4) tot statische klimaatzones (zone 5) en in zeer geringe mate in de dynamische delen (zie figuur 22). Als de winters kouder zijn hangen dieren meer in de statische delen (zones 3 en 5).

Overige soorten

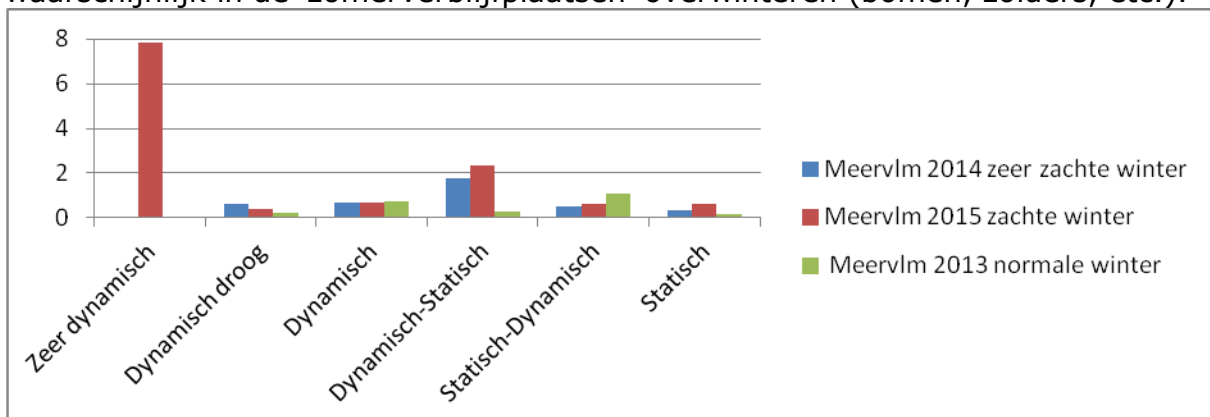
Baardvleermuizen overwinteren vooral in het dynamische deel (met uitzondering van de droge delen), zie figuur 23. In koudere winters hangen de dieren in meer statische delen.

Franjestaarten hangen in alle klimaat zones van het Zonnebergstelsel, maar met een duidelijke voorkeur voor het dynamische deel, figuur 24. Ook hangen er dieren in de droge dynamische zones.

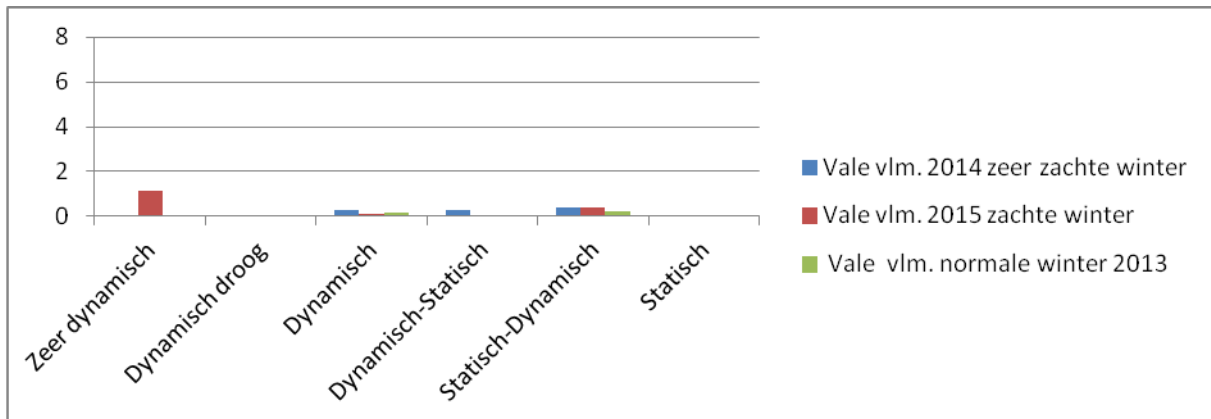
Ook watervleermuizen hangen in alle zones, maar met een duidelijke voorkeur voor het dynamische deel, en ook met enkele dieren in het droge dynamische deel, zie figuur 25. In koudere winters hangen watervleermuizen meer in de statische delen.

Gewone dwergvleermuizen en laatvliegers overwinteren in de dynamische en zeer dynamische klimaatzones, figuur 26 en 27. De dieren zijn vooral geteld in de zachtere winters. Mogelijk zitten zij dieper weggekropen in 'normale' winters. De bechsteins vleermuis wordt niet jaarlijks aangetroffen. Als de soort aanwezig is hangt deze in het statische deel.

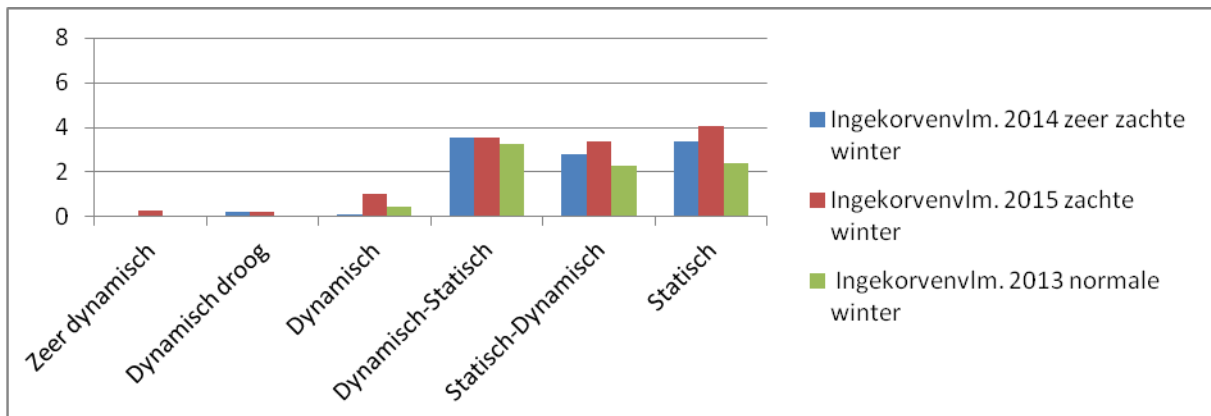
Grootoorvleermuizen (zonder onderscheid tussen gewone en grijze grootoorvleermuizen) worden hoofdzakelijk gevonden in het zeer dynamische deel. In zeer zachte winters worden nauwelijks grootoren aangetroffen in het Zonnebergstelsel en andere winterverblijven en blijven grootoorvleermuizen waarschijnlijk in de 'zomerverblijfplaatsen' overwinteren (bomen, zolders, etc.).



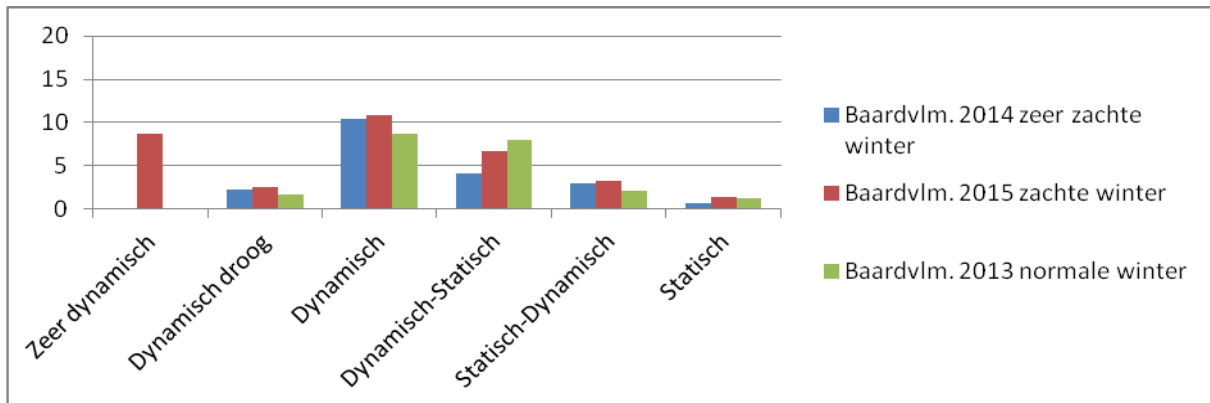
Figuur 20: De dichtheid aan meervleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



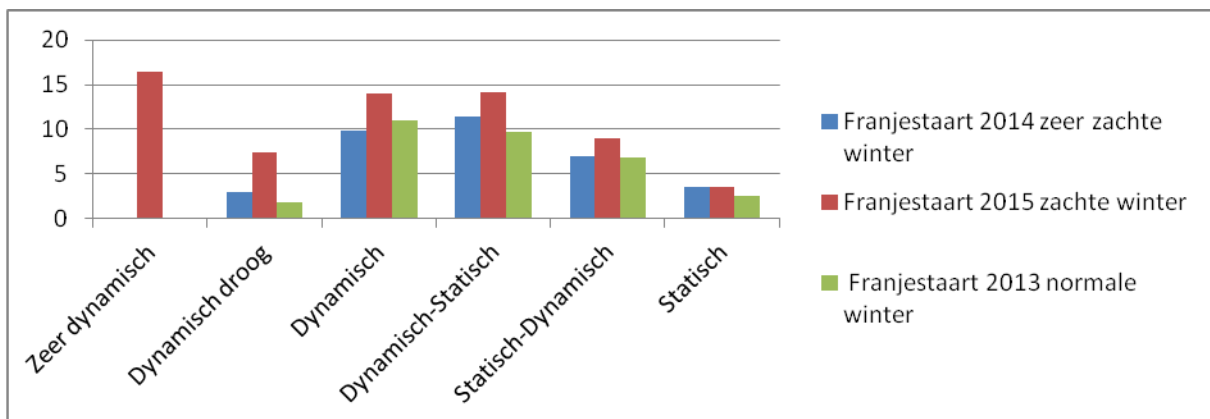
Figuur 21: De dichtheid aan vale vleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



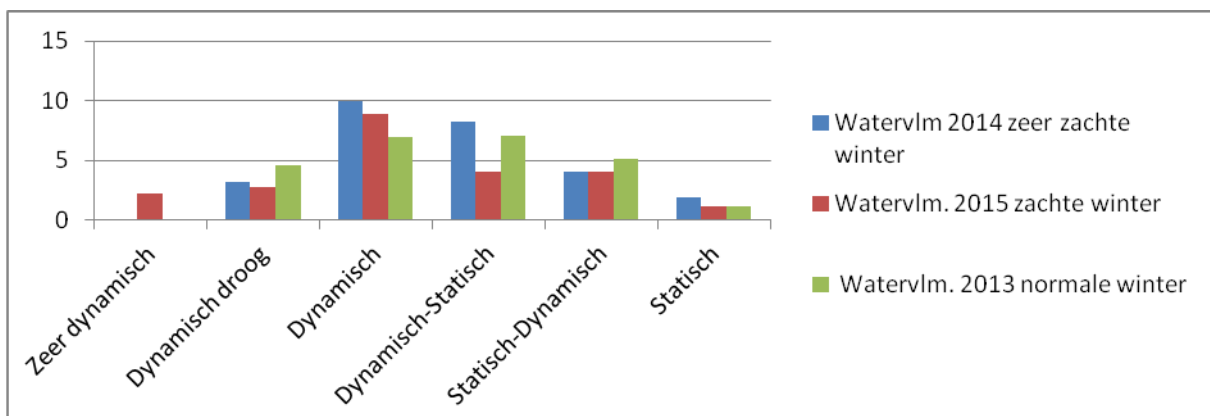
Figuur 22: De dichtheid aan ingekorven vleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



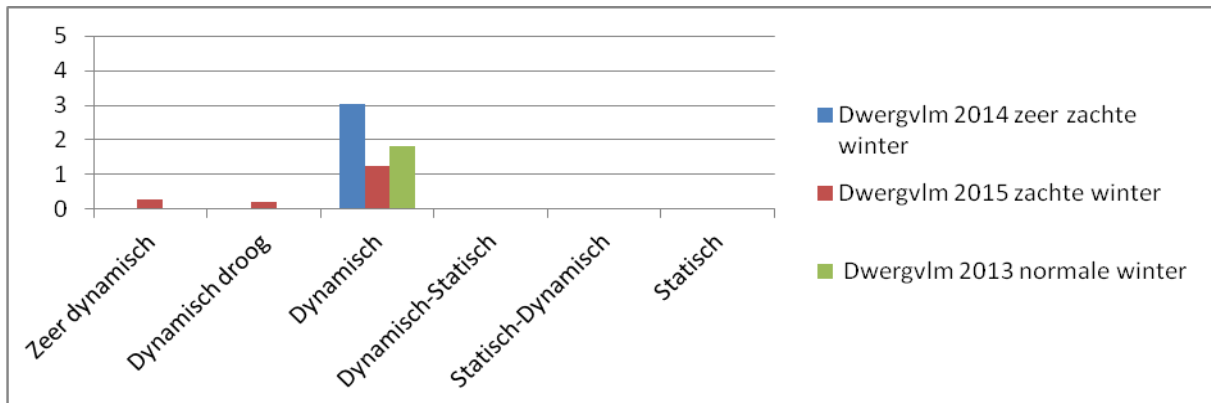
Figuur 23: Dichtheid aan baardvleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



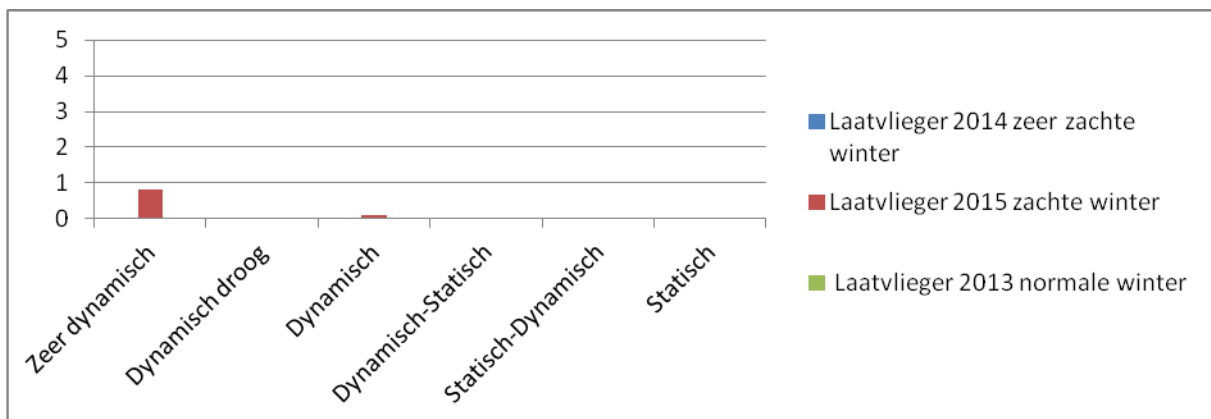
Figuur 24: Dichtheid aan franjestaarten per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



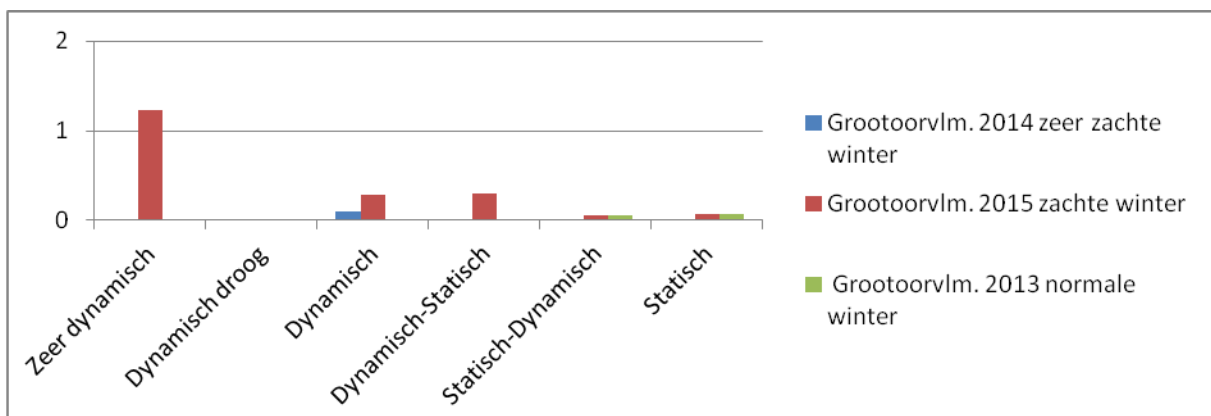
Figuur 25: De dichtheid aan watervleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



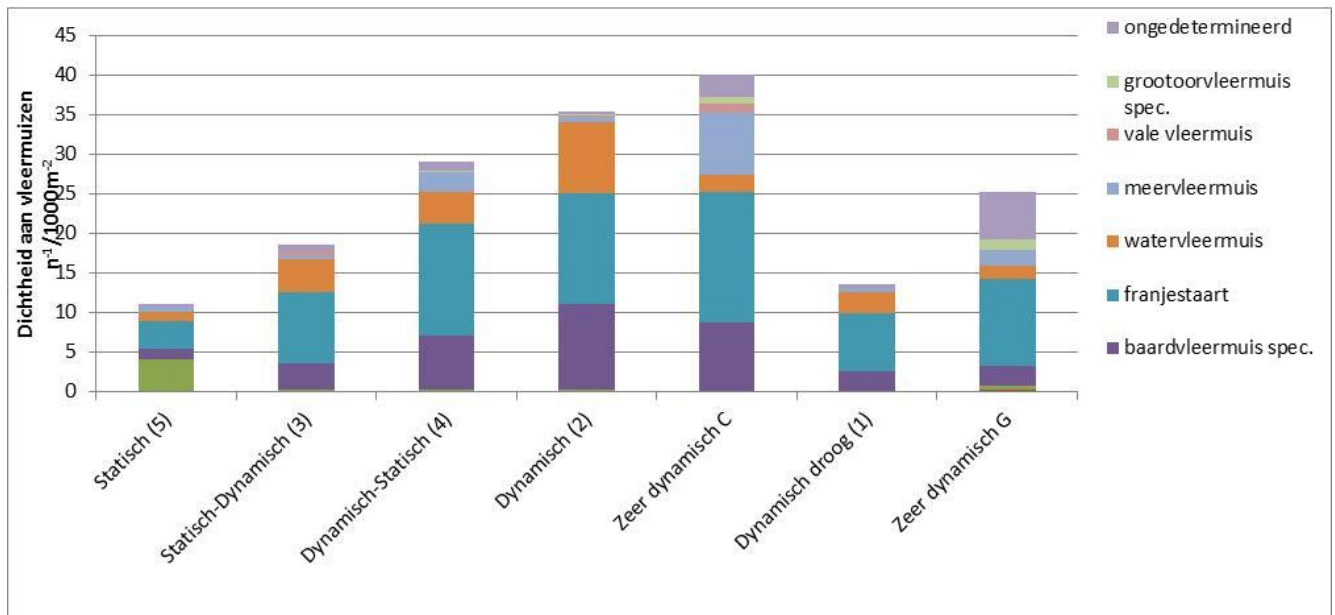
Figuur 26: De dichtheid aan dwergvleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



Figuur 27: De dichtheid aan laatvliegers per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



Figuur 28: De dichtheid aan grootoorvleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in drie verschillende winters. Het zeer dynamische deel is alleen in 2015 onderzocht.



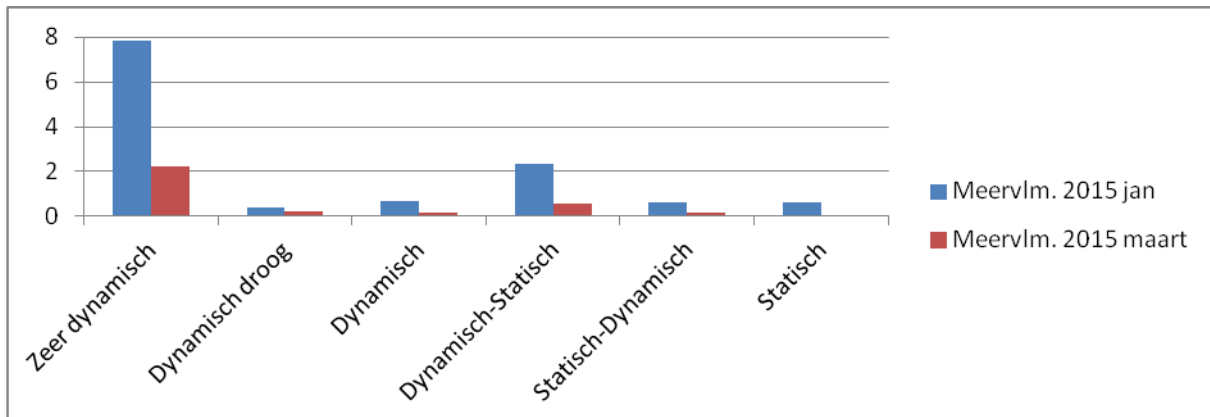
Figuur 29: Dichtheid aan overwinterende vleermuizen per klimaatzone, zoals vastgesteld in januari 2015. Let op, de dynamische zone is onderverdeeld in 2 delen.

3.2.4 Interne migratie

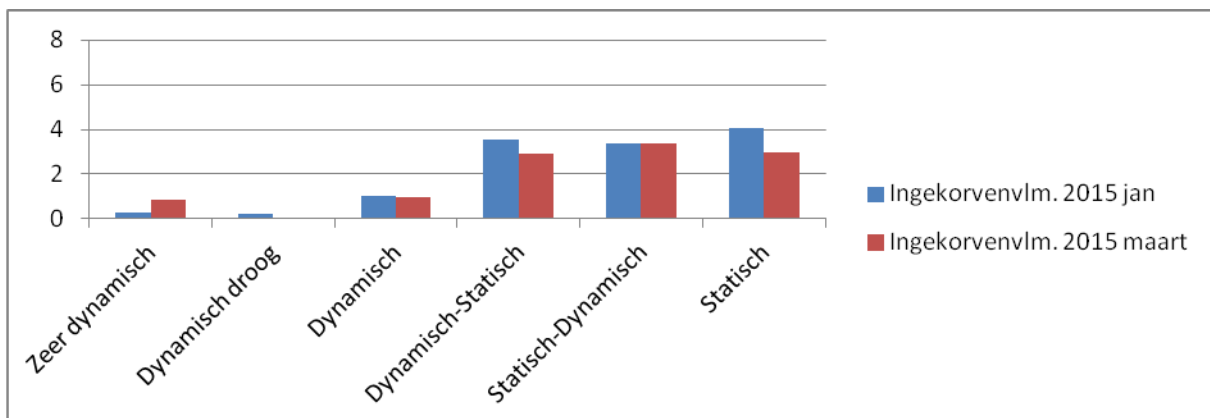
Verschillende individuen van de diverse vleermuissoorten gebruiken vaak meerdere hangplekken in één winter. Gedurende de winter worden vleermuizen dan ook regelmatig wakker. Het regelmatig wakker worden is noodzakelijk voor de REM slaap en het kwijtraken van afvalstoffen uit het lichaam. Tijdens deze "fase van tijdelijk wakker worden" kan ook verhuisd worden naar een zone die op dat moment gunstiger (kouder/warmer) is qua temperatuur. Als meerdere individuen van een soort dit doen is er sprake van interne migratie.

Interne migratie bij de doelsoorten

Begin maart werden in alle klimaatzones veel minder meervleermuizen gevonden dan midden in de winter, zie figuur 30. Er is bij deze soort in het Zonnebergstelsel geen duidelijke verschuiving tussen de zones te zien en vermoedelijk was een deel van de dieren al weer uit het stelsel verdwenen. Door de kleine aantallen vale vleermuizen is er geen goede uitspraak te doen over mogelijke interne migratie. Ingekorven vleermuizen laten nauwelijks een intern migratie patroon zien. Er is wel een toename aan ingekorven vleermuizen in het zeer dynamische deel. Deze zones hebben aan het einde van de winter een lagere temperatuur dan het statische deel en kunnen daardoor vanwege een afgenomen lichaamsgewicht (afgenomen vetreserves) aantrekkelijker zijn om te gaan hangen (kouder hangen kost minder energie).



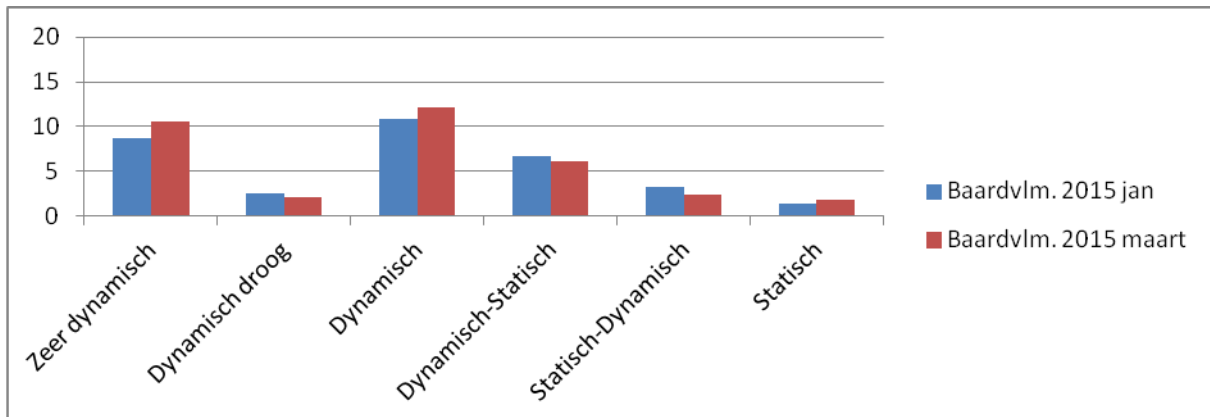
Figuur 30: De dichtheid aan meervleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in januari en maart 2015.



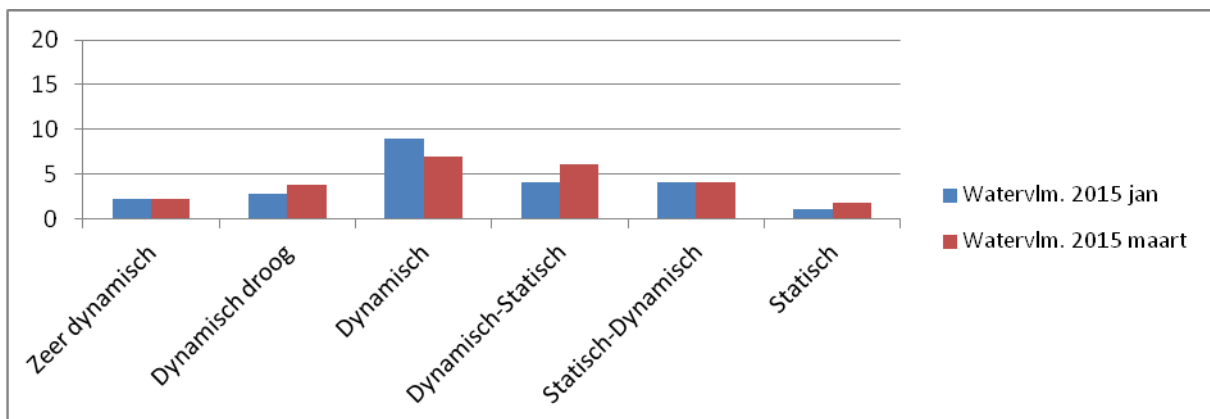
Figuur 31: De dichtheid aan ingekorven vleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in januari en maart 2015.

Interne migratie van de overige vleermuissoorten:

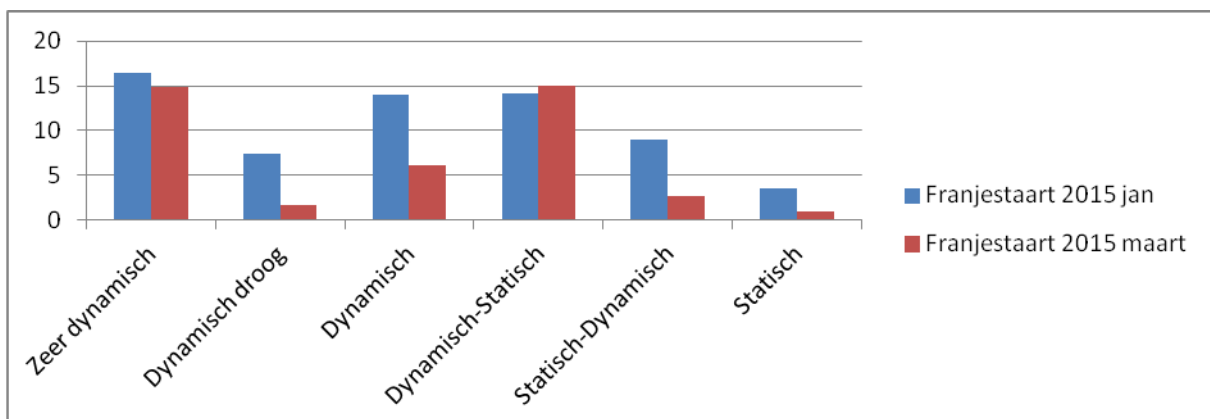
Baardvleermuizen en watervleermuizen laten in januari 2015, zowel als in maart 2015, ongeveer dezelfde verdeling over de klimaatzones zien. Bij het vergelijken van de verdeling van de individuen in een zeer zachte winter ten opzichte van normale winter, zitten baardvleermuizen en watervleermuizen meer in het dynamisch-statische deel, in plaats van in het dynamische deel. Franjestaarten lijken in januari 2015 meer in de dynamische delen te zitten dan in maart 2015 (figuur 34), maar dit kan ook het gevolg zijn van vertrekken (naar buiten het stelsel) van een groot aantal dieren uit het dynamische deel. De dichtheidskaarten uit de ruimtelijk-statistische analyse geven ook de verplaatsingen van de verschillende soorten weer (zie figuur 35). Bij het vergelijken van de verdeling van de individuen in een zeer zachte winter ten opzichte van normale winters zijn er geen verschillen in het Zonnebergstelsel zichtbaar.



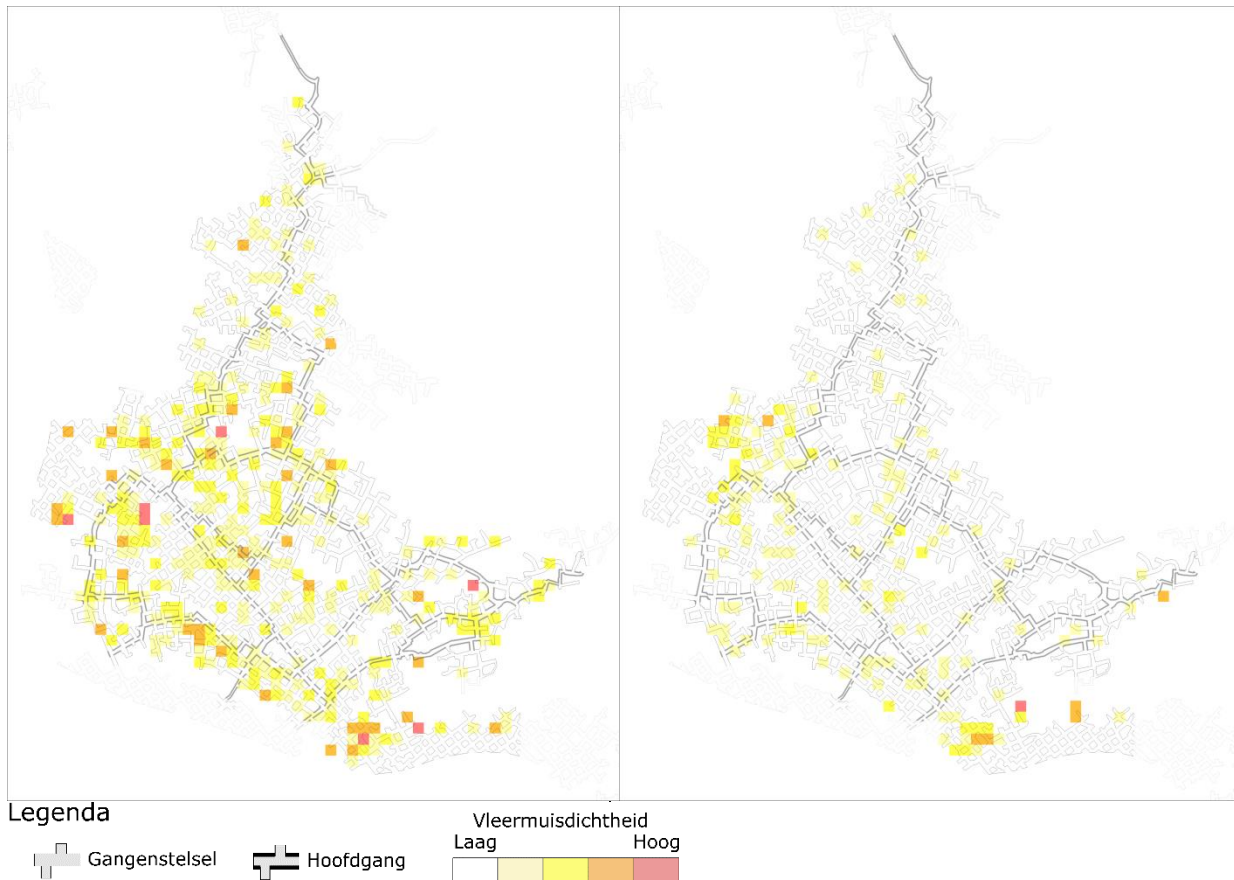
Figuur 32: De dichtheid aan baardvleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in januari en maart 2015.



Figuur 33: De dichtheid aan watervleermuizen per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in januari en maart 2015.



Figuur 34: De dichtheid aan fanjestaarten per klimaatzone per 1000m² gangoppervlakte in januari en maart 2015.



Figuur 35: Franjestaart dichtheidskaart wintertellingen januari 2015 (links) en maart 2015 (rechts)



Figuur 36: Deels weggekropen vleermuizen in een wandscheur 'achter de muren'. Van links naar rechts een watervleermuis, een meervleermuis en vier franjestaarten.

3.3 Populatie ontwikkelingen in het Zonnebergstelsel

Vanaf 1989 worden in het kader van het NEM (Netwerk Ecologische Monitoring) landelijke indexen berekend voor vleermuissoorten aan de hand van tellingen in vleermuiswinterverblijven. Ook Natuurmonumenten verleent hieraan medewerking en het Zonnebergstelsel is één van de belangrijkste vleermuiswinterverblijven van Nederland.

De index van de overwinterende vleermuissoorten in het Zonnebergstelsel is vergeleken met de landelijke index (van alle objecten in Nederland, dus ook bunkers, ijskelders en forten), waarin de tellingen van het Zonnebergstelsel niet zijn meegenomen (om beïnvloeding van de landelijke trend door het Zonnebergstelsel te voorkomen). Voor de weergave van de index is een logschaal gebruikt. Dit dempt de jaarlijkse fluctuaties en laat visueel duidelijker zien of er trendbreuken zijn en of ontwikkelingen in groepen objecten op lange termijn uit de pas gaat lopen met de landelijke trend. De ontwikkeling van de doelsoorten is als volgt:

Meervleermuis.

De aantallen overwinterende meervleermuizen nemen landelijk langzaam toe, maar er zijn jaren waarin deze toename afwezig is of mogelijk zelfs sprake is van afname. Het aantal overwinterende meervleermuizen in het Zonnebergstelsel is matig stijgend in de periode 1989-2014. De trend komt sterk overeen met de landelijke trend (figuur 37).

Vale vleermuis.

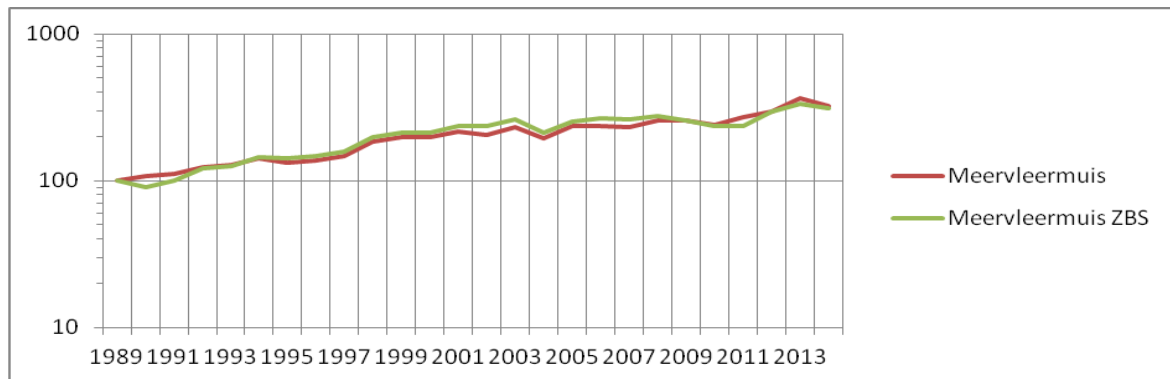
De landelijke trend voor vale vleermuizen laat tot 1995 een daling zien met -10%. Hierna neemt het aantal overwinterende dieren jaarlijks toe met 8% tot 2009. Hierna is er weer een trendbreuk met een sterke daling tot 2011. Het aantal overwinterende vale vleermuizen in het Zonnebergstelsel laat een grillig verloop zien (figuur 38). De aantallen daalden ook tot 1995. Hierna leek sterk herstel op te treden tot 2005 (bijna +10%). Na 2005 nam het aantal weer snel af. Vanaf 2011 lijkt er weer herstel op te treden. De trend en trendbreuken zijn vergelijkbaar met landelijke trend. De landelijke trend is alleen meer gedempt, omdat de landelijke trend over meer dieren en meer locaties wordt berekend.

Ingekorven vleermuis.

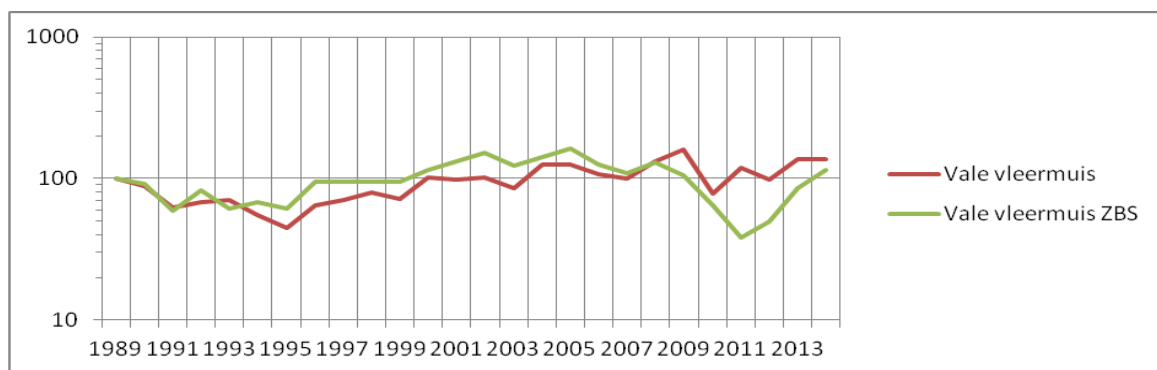
Het aantal overwinterende ingekorven vleermuizen steeg landelijk jaarlijks sterk tot 2008 met +11%. Na 2008 is de landelijke stijging geringer. De trend in het Zonnebergstelsel was tot 2008 nagenoeg gelijk met de landelijke trend. Tussen 2008 en 2011 daalde het aantal overwinterende ingekorven vleermuizen in het Zonnebergstelsel sterk, vanaf de winter 2011/2012 lijkt er weer een stijging te zijn (zie figuur 39).

Voor de ingekorven vleermuis is het ook mogelijk de wintertellingen index te vergelijken met de zomer-index (afkomstig uit het NEM Zoldertellingen). Vanaf 2008 is er een groot verschil tussen de landelijke index in de zomerverblijfplaatsen en landelijke index wintertellingen van de ingekorven vleermuis. De aantalsontwikkeling in het Zonnebergstelsel lijkt tussen 2008-2011 sterk op de aantalsontwikkeling in de zomerverblijfplaatsen bij Echt. In het

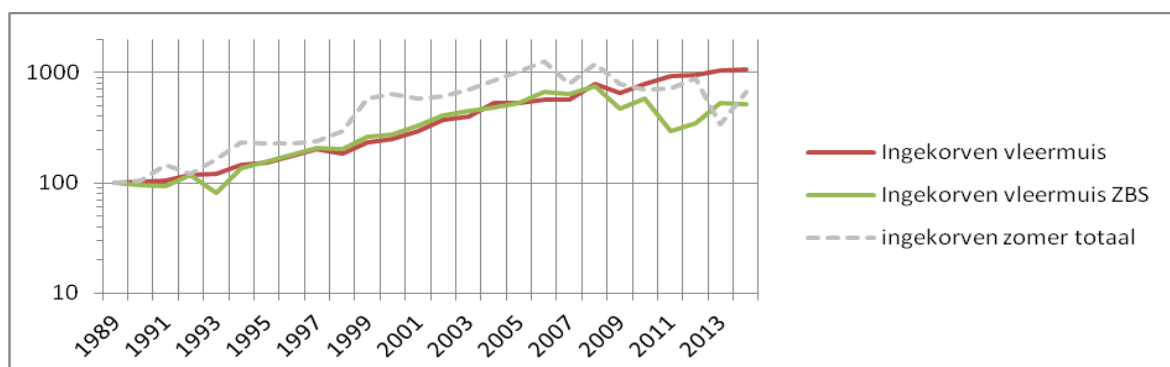
winterseizoenen voorafgaand aan de trendbreuk in de zomerverblijfplaats op de zolders rond Echt is er al sprake van een achteruitgang van de aantallen in het Zonnebergstelsel.



Figuur 37: Index van aantalsontwikkeling van overwinterende meervleermuizen in geheel Nederland (zonder Zonnebergstelsel) en het Zonnebergstelsel (ZBS).



Figuur 38: Index van aantalsontwikkeling van overwinterende vale vleermuizen in geheel Nederland (zonder Zonnebergstelsel) en het Zonnebergstelsel ZBS).



Figuur 39: Index van aantalsontwikkeling overwinterende ingekorven vleermuizen in geheel Nederland (zonder Zonnebergstelsel) en het Zonnebergstelsel (ZBS). Ter vergelijking is ook de aantalsontwikkeling in de zomerverblijfplaatsen in de omgeving van Echt weergegeven (stippellijn).

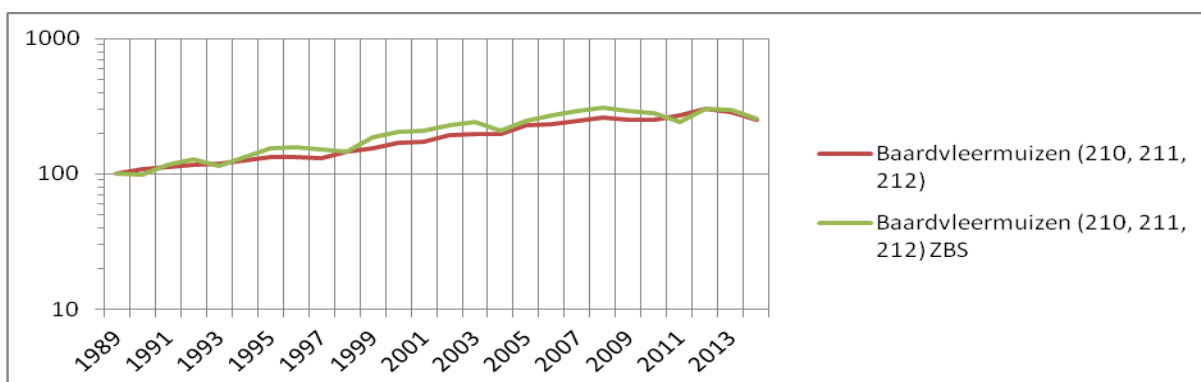
De ontwikkeling van de overige vleermuissoorten:

Bechsteins vleermuis.

Door de geringe aantallen van deze soort zijn er geen landelijke trendberekeningen mogelijk. Regelmatig wordt er 1 overwinterende bechsteins vleermuis in het Zonnebergstelsel en/of in het aangelegen Noordelijke stelsel geteld.

Baardvleermuizen.

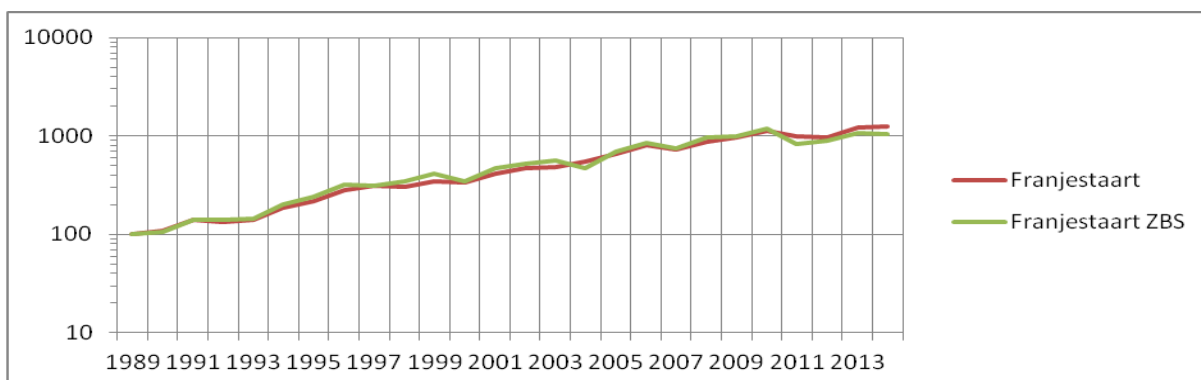
De landelijke trend tussen 1989-2011 is een langzame maar geleidelijke toename van 3-5%. Onduidelijk is het of zich landelijk de laatste drie jaren een afname heeft ingezet. Het aantal overwinterende baardvleermuizen in het Zonnebergstelsel laat over de gehele periode 1989-2012 een geleidelijke toename zien, met eens in de 7-10 jaar een lichte dip (figuur 40).



Figuur 40: Index van aantalsontwikkeling overwinterende baardvleermuizen (beide soorten samen) in geheel Nederland (zonder Zonnebergstelsel) en het Zonnebergstelsel (ZBS).

Franjestaart.

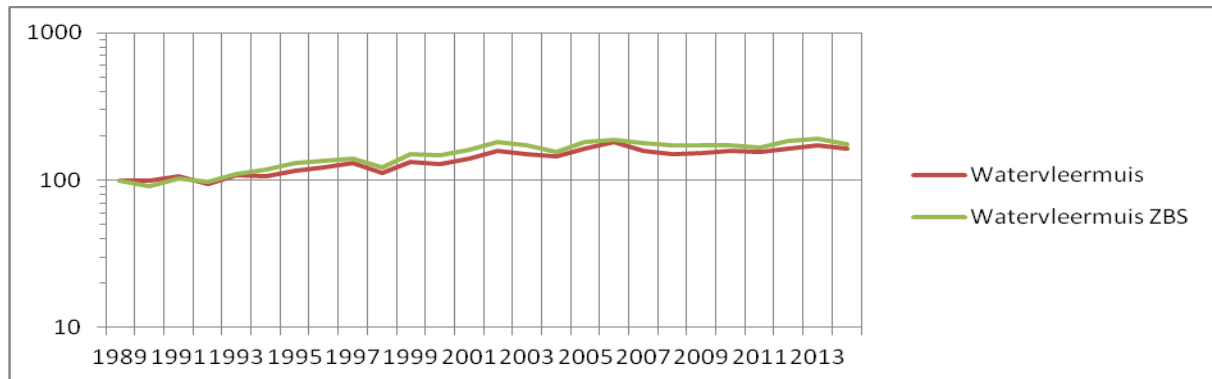
Het aantal overwinterende franjestaarten in het Zonneberg stelsel laat over de periode 1989-2014 een sterke toename zien (figuur 41). De laatste jaren is deze ontwikkeling afgezwakt. De toename ligt tussen de 8 en 12% per jaar. De trend in het Zonnebergstelsel is nagenoeg gelijk aan de trend in Nederland.



Figuur 41: Index van aantalsontwikkeling overwinterende franjestaarten in geheel Nederland (zonder Zonnebergstelsel) en het Zonnebergstelsel (ZBS).

Watervleermuis.

Het aantal overwinterende watervleermuizen was landelijk tot 2006 matig toenemend, zie figuur 42. Vanaf 2006 is het aantal stabiel tot licht afnemend. De trend in het Zonnebergstelsel is nagenoeg gelijk aan deze landelijke trend.

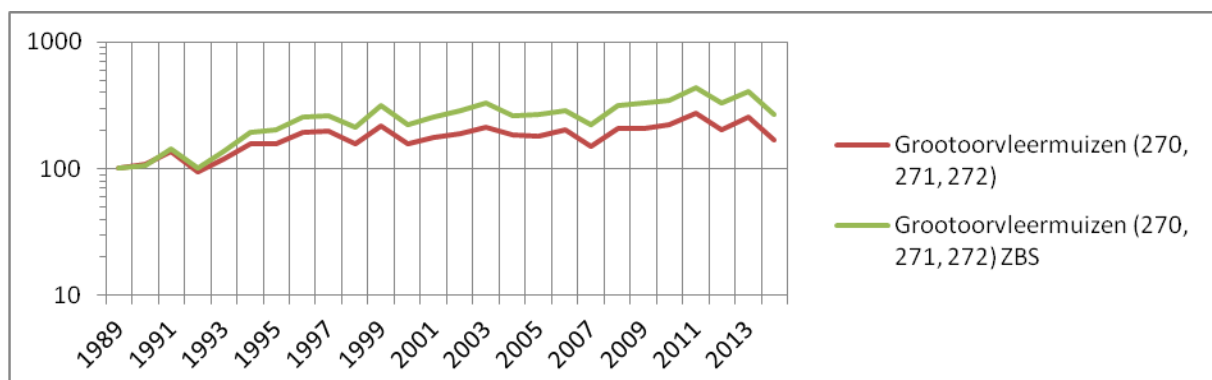


Figuur 42: Index van aantalsontwikkeling overwinterende watervleermuizen in geheel Nederland (zonder Zonnebergstelsel) en het Zonnebergstelsel (ZBS).

Grootoorvleermuizen.

Gewone grootoorvleermuizen nemen landelijk maar langzaam toe. De index fluctueert sterk door sterk wisselende aantallen afhankelijk van het weer tijdens de wintertellingen (zie figuur 43).

In het Zonnebergstelsel overwinterende twee soorten grootoorvleermuizen: de grijze grootoorvleermuis (*Plecotus austriacus*) en gewone grootoorvleermuis (*Plecotus auritus*). Voor de index zijn beide soorten samen genomen, inclusief ongedetermineerd gebleven individuen. De grijze grootoorvleermuis wordt slechts sporadisch aangetroffen als overwinteraar in mergelgroeven. De index geeft daarom vrijwel zeker de trend van de gewone grootoorvleermuis weer. De stijging in het Zonnebergstelsel is iets groter dan landelijk, de fluctuaties tussen jaren zijn ongeveer gelijk aan landelijke fluctuaties.



Figuur 43: Index van aantalsontwikkeling overwinterende grootoorvleermuizen (beide soorten samen) in geheel Nederland (zonder Zonnebergstelsel) en het Zonnebergstelsel.

Gewone dwergvleermuis en laatvlieger.

Deze soorten worden bijna jaarlijks waargenomen (geteld) in het Zonnebergstelsel. Landelijk wordt voor deze soorten aan de hand van wintertelgegevens geen index berekend. Er zijn twee redenen; het percentage overwinterende dieren ten opzichte van de landelijke populatie is te gering en de aantallen waargenomen dieren per winterobject fluctueren te sterk.

3.4 Gebruiksvormen en frequentie van gebruik

Het Zonnebergstelsel kent drie groepen regelmatige gebruikers: de VVV, de berglopers en Natuurmonumenten. Helaas was er geen data beschikbaar over wanneer tijdens de periode van het onderzoek rondleidingen of andere activiteiten hebben plaatsgevonden. De intensiteit van het gebruik van het stelsel op de vrijdagavond is ca. 20-25 berglopers die elkaar tegenkomen op 'vaste sociale' ontmoetingslocaties. Naast deze twee gebruiksgroepen worden er door de eigenaar natuurmonumenten lokaal ook onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd en zijn er regelmatig inspecties door toezichthouders.

Van het gebruik door de VVV en de Berglopers is een inschatting gemaakt van intensiteit van gebruik per gang (zie figuur 44). Het menselijk gebruik van het stelsel is hoofdzakelijk overdag, maar er worden ook avondrondleidingen gegeven. Geluidsdata die met de Anabat-recorders zijn vastgelegd geven een indicatie dat er door de week vaak tot aan het begin van de avond rondgelopen wordt. Alleen op vrijdagavonden zijn bovendien/ook berglopers in het stelsel aanwezig.

De Regeling Recreatief Berglopen is in 1995 ingevoerd om groevenliefhebbers de mogelijkheid te bieden hun hobby berglopen uit te oefenen. Deze regeling werkt met een grote sociale controle en een stichting die volgens een goede werkmethodek er voor zorgt dat de druk van illegaal bezoek sinds 1995 afgenomen is, omdat er een legale bezoekmogelijkheid is. Deze RRB bezoekregeling geeft mensen die bewezen hebben de weg te kennen en zich netjes gedragen in de groeve, de gelegenheid om iedere vrijdagavond tussen 20 uur en middernacht de groeve te bezoeken. De bezoekers van het RRB bewandelen een groot deel van de gangen. In figuur 45 is ingeschat welke delen intensief en extensief bezocht worden. De lichtgroene delen worden slechts zeer sporadisch bezocht. De groene gangen worden intensief belopen. De donkergroene delen zijn verzamelplaatsen waar kleine en grotere groepen mensen op vrijdagavond verzamelen en lange tijd verblijven. Deze verzamelplaatsen zijn in figuur 45 benoemd.

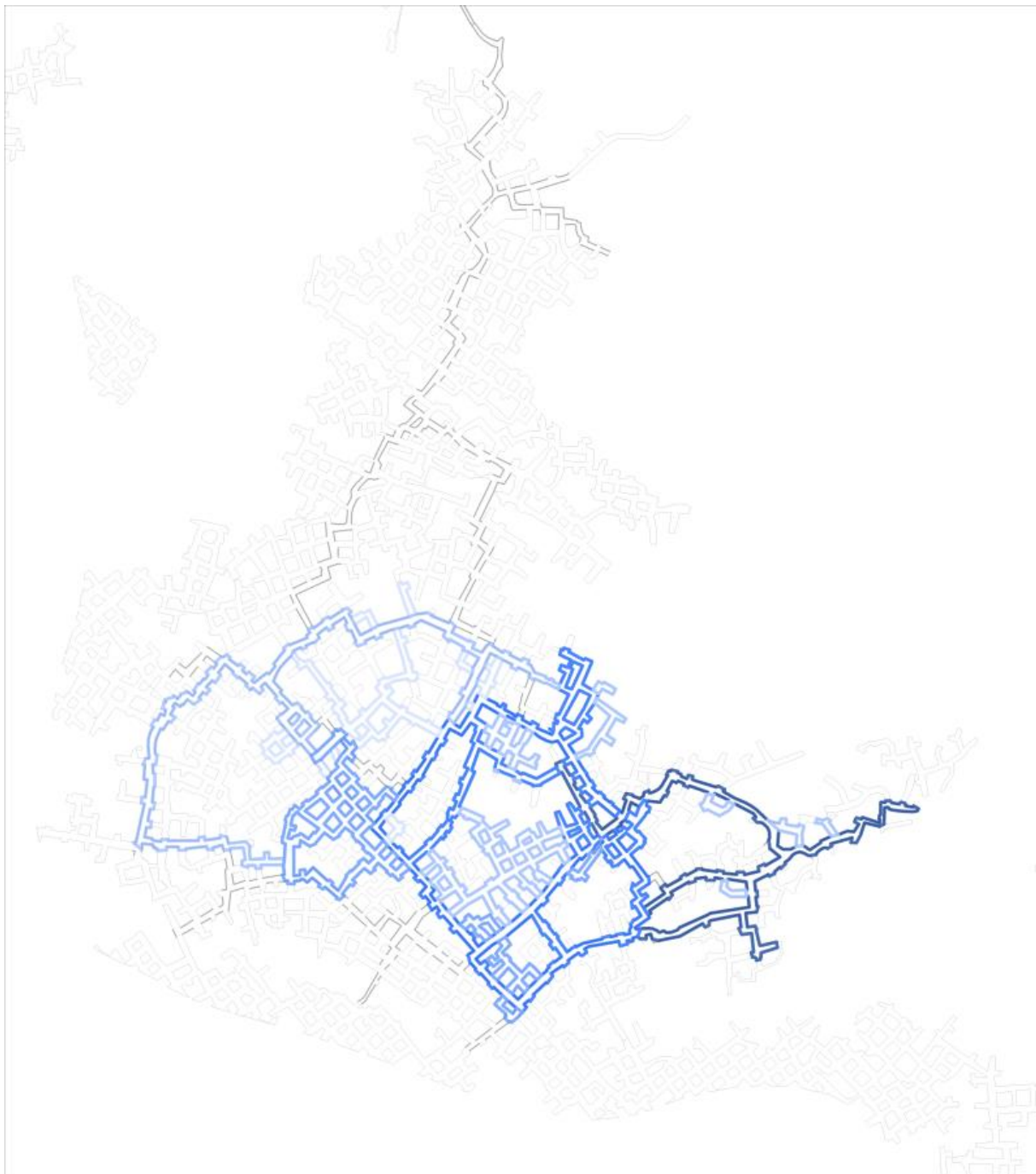
De Zonneberg beslaat 6.6 hectare vloeroppervlakte van de gangen. In onderstaande tabellen zijn de gangoppervlaktes per bezoekersintensiteit gegeven.

Tabel 5 Bezoekersintensiteit VVV

Bezoekersintensiteit	Oppervlakte in hectare	procenten van het geheel
0	5.0 ha	75.6 %
1	0.17 ha	2.6 %
2	0.53 ha	8.0 %
3	0.25 ha	3.8 %
4	0.45 ha	6.8 %
5	0.21 ha	3.2 %

Tabel 6 Bezoekersintensiteit RRB

Bezoekersintensiteit	Oppervlakte in hectare	procenten van het geheel
0	4.43 ha	66.6 %
1	0.41 ha	6.2 %
2	1.76 ha	26.5 %
3	0.05 ha	0.8 %



Legenda

 Gangenstelsel

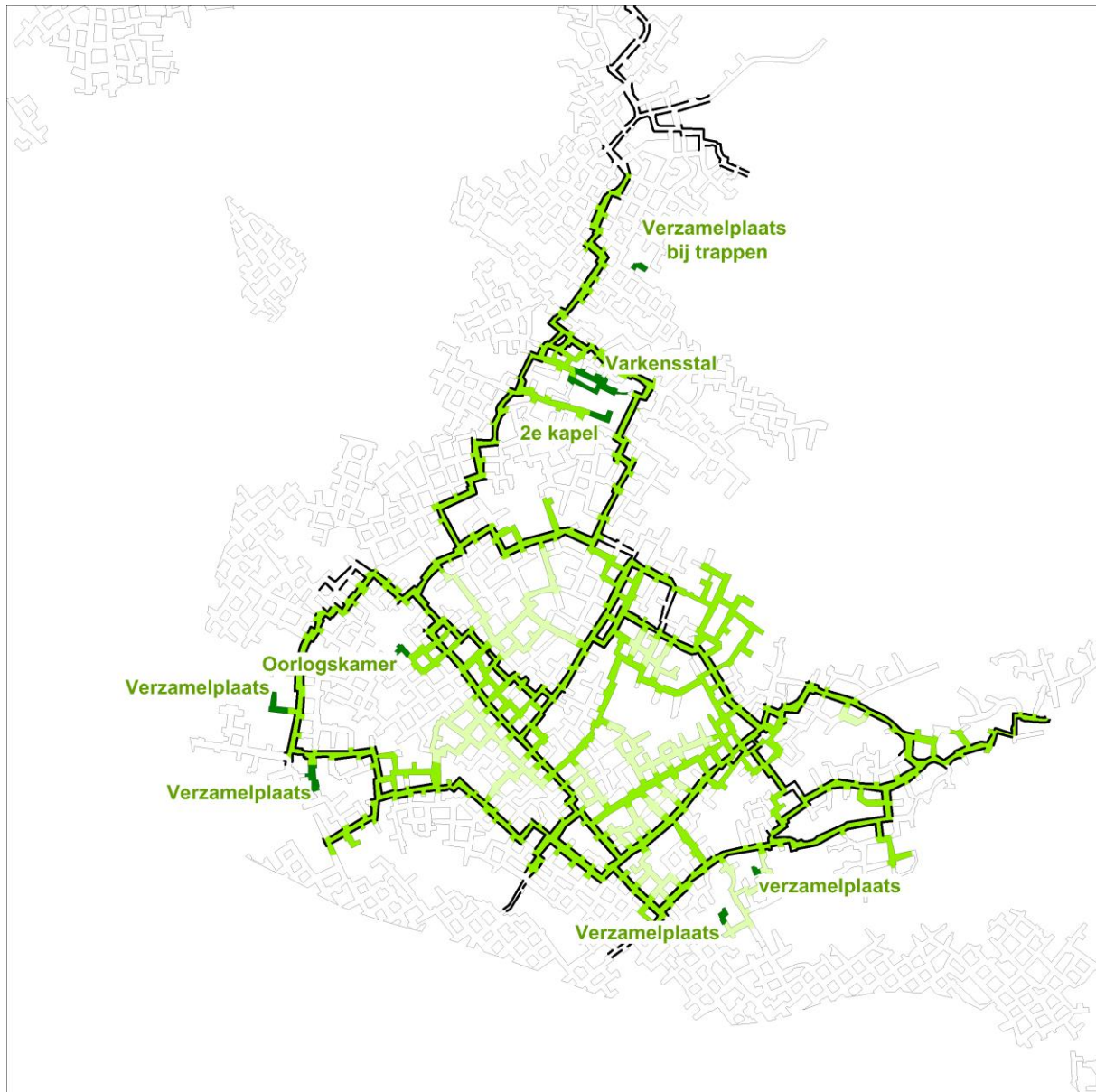
 Hoofdgang

Intensiteit VVV

Laag Hoog



Figuur 44: Frequentie van gebruik van VVV routes in het Zonnebergstelsel. De lichtblauwe gangen worden zeer weinig gebruikt door het VVV. De VVV-gebruiksintensiteit loopt op tot in donkerblauw de meest frequent gebruikte routes. De andere gangen worden door het VVV niet gebruikt.



Legenda



Gangenstelsel



Hoofdgang



Figuur 45: Frequentie van gebruik door berglopers in het Zonnebergstelsel. Tevens zijn de verzamelplekken aangegeven.

Tabel 7: globaal (onvolledig) rondleidingsschema van de VVV activiteiten in het Zonnebergstelsel:

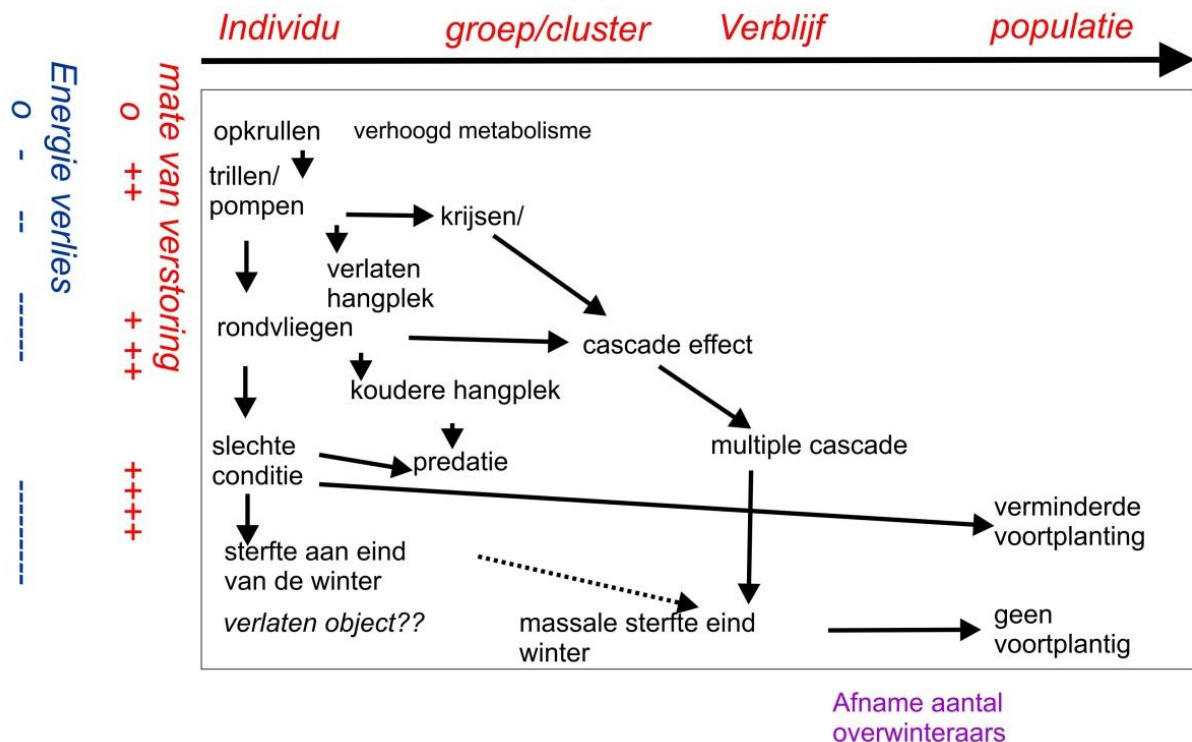
	Winter schema Periode	Zomer schema
	17 oktober - 17 april	17 april - 17 oktober
Za	8:30 11:00 12:30 + steppen	5x + 2x kinderrondleiding + steppen
Zo	8:30 11:00 12:30	5x
Ma	-	3x + op aanvraag
Di	-	3x
Wo	-	3x + kinderrondleiding
Do	-	3x
Vr	20:00-23:00 berglopersavond	20:00-23:00 berglopersavond
Kerstdagen	3 gehele dagen open?	

3.5 Verstoringsonderzoek

Storing en verstoring zijn twee begrippen die voor een groot aantal verschijnselen worden gebruikt. Storing wordt meestal gebruikt voor stimuli (afkomstig van menselijk gedrag) die een (tijdelijke) reactie op of verandering van gedrag veroorzaken. De term verstoring wordt meestal gebruikt voor de meest extreme vorm van storing, namelijk die situatie waarin vleermuizen niet meer hun natuurlijke gedrag kunnen vertonen (al dan niet tijdelijk). In het ergste geval kan dat dan het leiden tot verlies van functionaliteit van een locatie.

De effecten van storing in de winterslaaperperiode lopen via de energiebalans van een individu, maar effecten kunnen doorwerken tot delen van de winterpopulatie en zelfs tot effecten in de voorplanting van kraamgroepen. Een sterke afname van het aantal overwinteraars is vaak het laatste signaal in deze verstoring-cascade.

Individuele vleermuizen kunnen hun energiebalans beïnvloeden door kouder of warmer te gaan hangen of uiteindelijk proberen te gaan jagen om hun energiebalans te herstellen. De balans is aan het begin van de winter verschillend tussen niet alleen seksen en leeftijdsklassen, maar ook tussen individuen. Individuen hebben enige flexibiliteit en kunnen keuzes maken. Vleermuizen reageren ook in winterslaap op externe prikkels. Zij reageren op verschillende prikkels (stimuli), waarbij duur, herhalingen binnen korte tijd en onregelmatigheid belangrijk zijn. Vooral op ultrasone geluiden (ritselen/klassen) en geluiden van soortgenoten en op temperatuurswisselingen wordt sterk gereageerd. Dit kan leiden tot cascade effecten (opeenvolgende effecten). Verstoring kan leiden tot nauwelijks meetbare effecten of sub-lethale effecten, maar leidt meestal niet direct tot lethale effecten.



Figuur 46: Verschillende stadia van verstoring

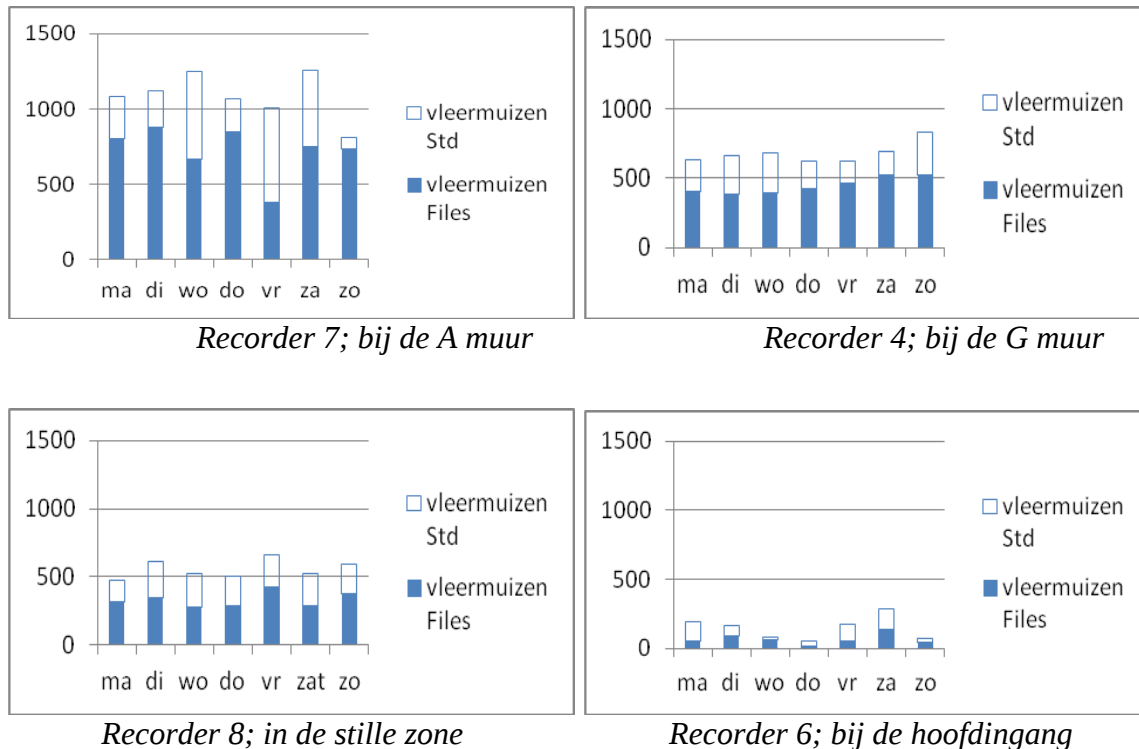
3.5.1 (Ver)Storingen tijdens nazomerzwermen

In de nazomer zijn er dezelfde drie groepen gebruikers. Tabel 8 geeft een overzicht van de globale bezoek frequenties. Alle bovengenoemde gebruikers kunnen tot verstoring leiden van de aanwezige vleermuizen.

Er is weinig verschil in de stimuli die de verschillende gebruiksgroepen afgeven; dit zijn laagfrequent geluid, kortdurende verlichting en lichte verhoging van omgevingstemperatuur. Al deze stimuli kunnen leiden tot ontwaken/verplaatsen van vleermuizen. Met uitzondering van het meest intensieve gebruik zijn tussen de gebruikersgroepen alleen de tijden waarop deze stimuli aanwezig zijn en de frequentie verschillend. Het effect van kortdurend intens gebruik (rondleidingen) is vergelijkbaar met minder intens maar langdurig gebruik (berglopers).

Vleermuizen zijn tijdens het nazomerzwermen zeer storingsgevoelig. Kort verlichten van de ruimte leidt bijvoorbeeld tot het verdwijnen van alle zwermende dieren uit de verlichte ruimte.

Er zijn geen significante verschillen in verstoring tussen de weekdays bij middeling van geluidsdata per dag van de week. En er is ook geen verband tussen het aantal overdag opgenomen vleermuis-geluidfiles en de locatie ten opzichte van de rondleidings-routes. De akoestische vleermuis-activiteit bij de G muur laat op vrijdagen wel een grotere variatie zien.



Figuur 47: Gemeten gemiddelde en de variatie (STD) in akoestische vleermuis-activiteit per 24 uur voor de periode 7 september- 1 oktober (zwerm-periode).

Op het tijdstip waarop het nazomerzwermen begint zijn er nog rondleidingen, maar deze komen weinig door de zone waar nazomerzwermen plaatsvindt (alleen bij E en G). Berglopers komen regelmatig in de zone waar nazomerzwermen plaatsvindt en zijn daar dan ook op de tijdstippen waarop dit het zwermen intensief plaatsvindt. Er zijn meer metingen nodig om te bepalen of de geconstateerde lagere vleermuis-activiteit (lagere gemiddelde activiteit met een grotere variatie) op vrijdagen veroorzaakt wordt door activiteiten van berglopers of dat de daling het gevolg is van andere factoren zoals heersende windrichtingen.

3.5.2 (Ver)Storingen tijdens winterperiode

Er zijn in de winter verschillende groepen gebruikers, waarvan de VVV rondleidingen en de berglopers naar verwachting het grootste effect zullen hebben op de vleermuisen. De vleermuiswintertellingen en de inspecties-rondes zijn 1-malig of naar verwachting weinig verstorend vanwege de kleine groepsgrootte en lage frequentie van de activiteit. In de regel vindt er in de winter geen onderhoud aan het stelsel plaats.

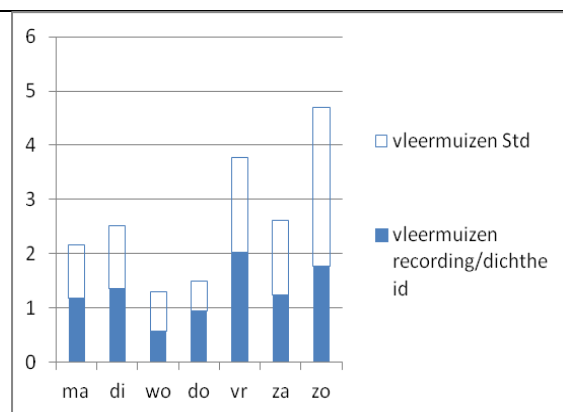
Verstoring gemeten aan de hand van akoestische vleermuis-activiteit

De verstoring van de vleermuizen in het stelsel is gemeten aan de hand van de akoestische vleermuis-activiteit van vleermuizen zoals vastgesteld door in het stelsel geplaatste Anabat-recorders.

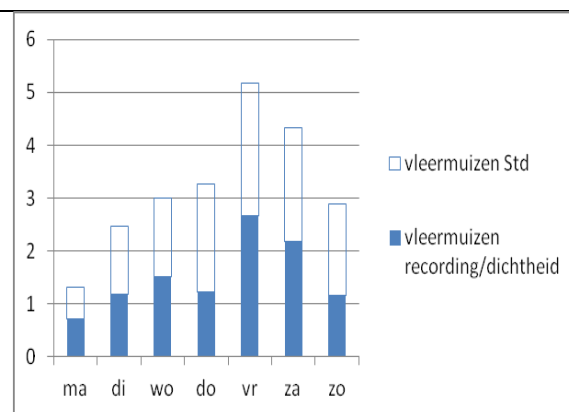
Voor de Anabat-recorders 9 en 10, die vlakbij intensief belopen routes stonden, is er duidelijke verhoging van vleermuisactiviteit op vrijdag en zaterdag (+100%) en een lagere activiteit op maandag. In de zone die weinig bezocht wordt door mensen, waar recorder 6 stond, lijkt er een geringe verhoging van activiteit te zijn op vrijdag. Er is in deze 'stille' zone ook een grote variatie in de vleermuisactiviteit op zondagen.

In de periode na 1 april zijn er nog steeds overwinterende vleermuizen in het stelsel aanwezig. De meeste opnamen werden geregistreerd op vrijdag, zowel in de toeristische zone als in de stille zone. Ook is de variatie in deze periode van 24 uur het grootst. Mogelijk wordt deze grotere variatie veroorzaakt door de wisselende aantallen rondleidingen en/of de tijdstippen waarop deze plaatsvinden. De recorders langs de toeristische route laten na 1 april ook een hoge akoestische vleermuis-activiteit zien op woensdag (wat mogelijk verband houdt met de kinderrondleidingen).

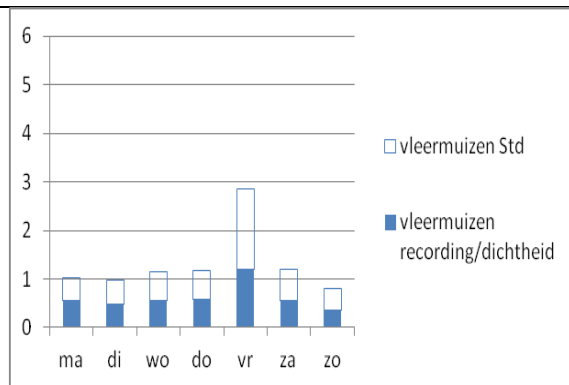
Aangezien consequent meer vleermuisactiviteit wordt gevonden op vrijdag lijken de activiteiten (VVV rondleidingen en/of Berglopers) op deze dagen in de winterslaaperperiode tot 30-100% extra vleermuisactiviteit te zorgen vergeleken met de dagen zonder activiteiten van de VVV en/of de Berglopers (figuur 48 t/m 51).



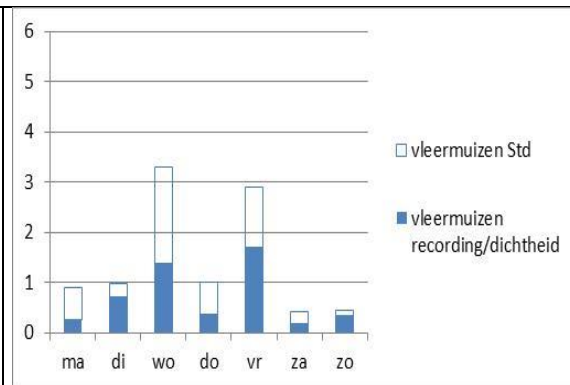
Figuur 48: akoestische vleermuis activiteit in de "stille" zone (gewogen gemiddelden van 3 recorders) voor de periode 6-3-2015 tot 1-4-2015.



Figuur 49: akoestische vleermuis-activiteit in de toeristische zone (gewogen gemiddelde van 2 recorders) voor de periode 6-3-2015 tot 1-4-2015.



Figuur 50: akoestische vleermuis-activiteit in de "stille" zone (gewogen gemiddelde van 3 recorders) voor de periode van 1-4-2015 tot 7-5-2015.



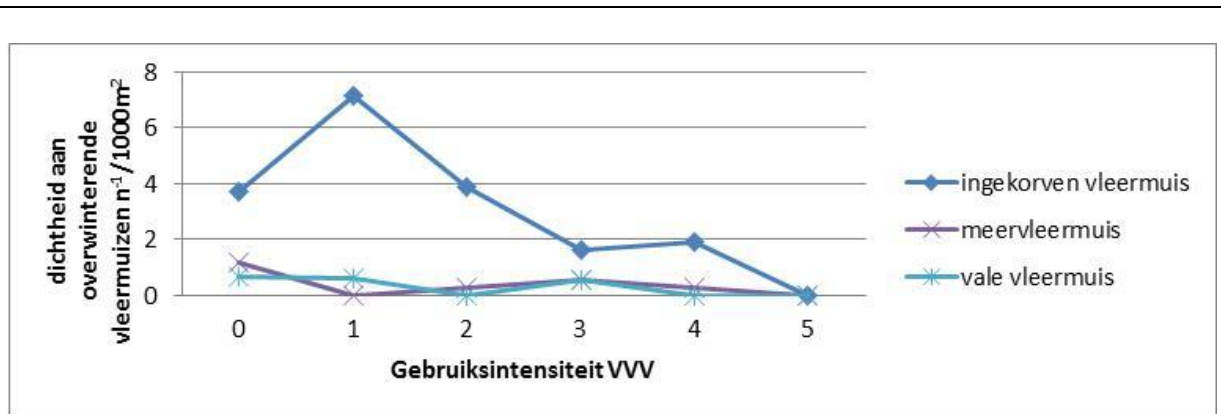
Figuur 51: akoestische vleermuis-activiteit in de toeristische zone (gewogen gemiddelde van 2 recorders) voor de periode van 1-4-2015 tot 7-5-2015.

Dichtheid van de meervleermuis, ingekorven vleermuis en vale vleermuis in relatie tot verstoring

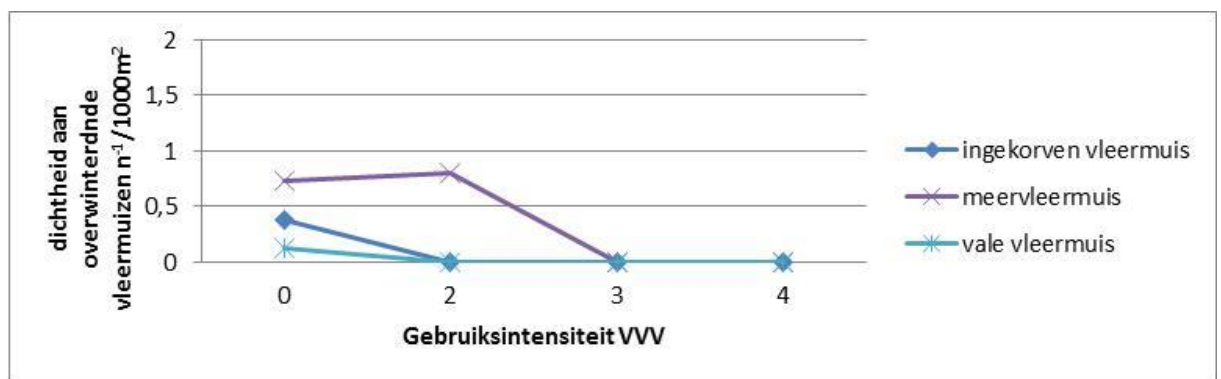
Figuur 52 t/m 55 geeft de dichtheid aan overwinterende doelsoorten in zones (gangen) met een bepaalde mate van gebruiksintensiteit, voor de "stille zone" is de gebruiksintensiteit 0, voor de rondleidings-routes is de gebruiksintensiteit een schaal van 1 t/m 5. Deze schaal van 1 tot 5 is bepaald op basis van de gegevens zoals die door het VVV beschikbaar zijn gesteld.

De overwinterende vleermuizen laten een duidelijk effect zien in relatie tot de rondleidingen en onafhankelijk van het klimaat, waarbij de laagste aantallen en dichtheden zijn te vinden in de drukst bezochte delen. Deze afname in dichtheid is het grootste in de statisch-dynamische delen (zone 3). De afname is bijna even groot in de meer intensief gebruikte delen door toeristen (intensiteit 3-4) als in de minder intensief gebruikte delen door berglopers (intensiteit 2).

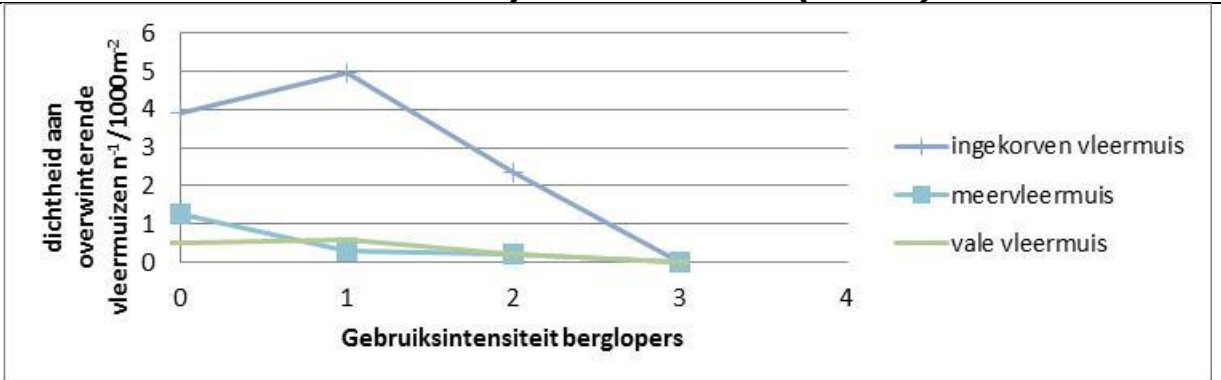
Ingekorven vleermuizen overwinteren duidelijk minder in de intensief belopen delen van de groeve: -40% in soms belopen delen tot -95% in de zeer intensief belopen delen. Vale vleermuizen zijn geheel afwezig in de sterkst belopen delen. Ook de dichtheid aan overwinterende meervleermuizen is zo'n 30-50% lager in intensief belopen gangen.



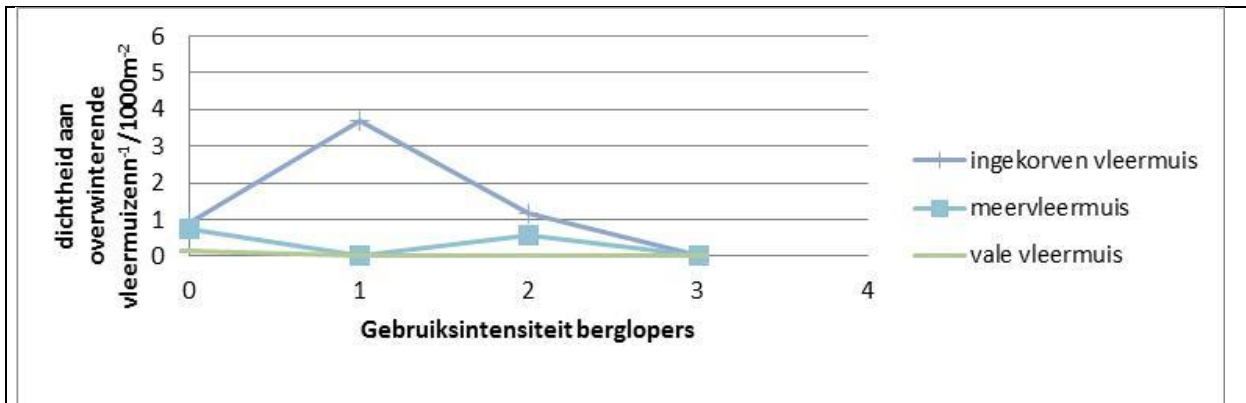
Figuur 52: Dichtheid aan vleermuizen met toenemende gebruiksintensiteit door de VVV in de statisch-dynamische delen (zone 3).



Figuur 53: Dichtheid aan vleermuizen met toenemende gebruiksintensiteit door de VVV in de dynamische delen (zone 2).



Figuur 54: Dichtheid aan vleermuizen met toenemende gebruiksintensiteit door berglopers in de statisch-dynamische delen (zone 3).



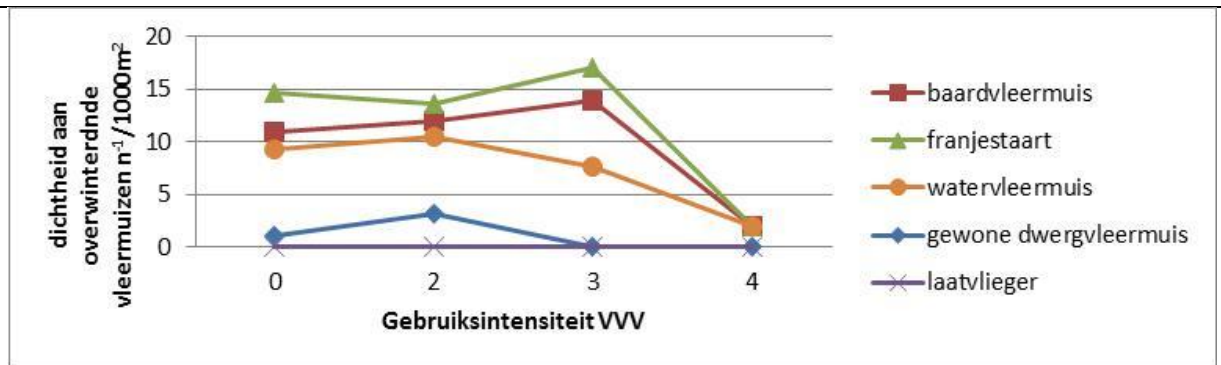
Figuur 55: Dichtheid aan vleermuizen met toenemende gebruiksintensiteit door berglopers in de dynamische delen (zone 2).

Reactie in dichtheid van de andere vleermuissoorten op de mate van verstoring

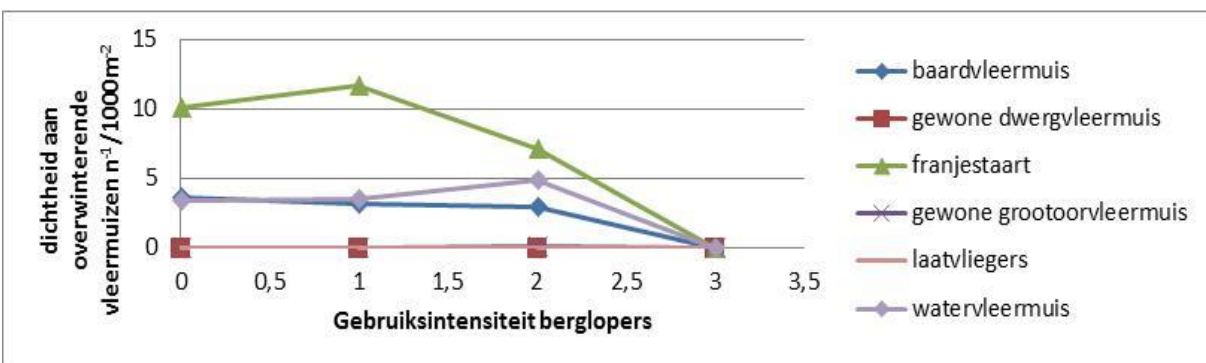
De verschillende vormen en intensiteiten van verstoring zijn niet in alle klimaatzones aanwezig. De effecten van verstoring zijn hieronder voor twee van de zones in grafieken weergegeven, het betreft de *statisch-dynamische zone* en de *dynamische zone*.

Er is een lagere dichtheid aan overwinterende baardvleermuizen langs de intensief belopen routes (categorie 4 en 5) ten opzichte van de minder intensief belopen routes, de dichtheid is 50% lager (figuur 56 t/m 59). Er is ook een lagere dichtheid aan franjestaarten en watervleermuizen langs de intensief gebruikte routes. De dichtheid langs de zeer intensief en intensief belopen routes (intensiteit 4 en 5) is zo'n 35 % lager dan in de zeer beperkt belopen delen (intensiteit 1, 2 en 3).

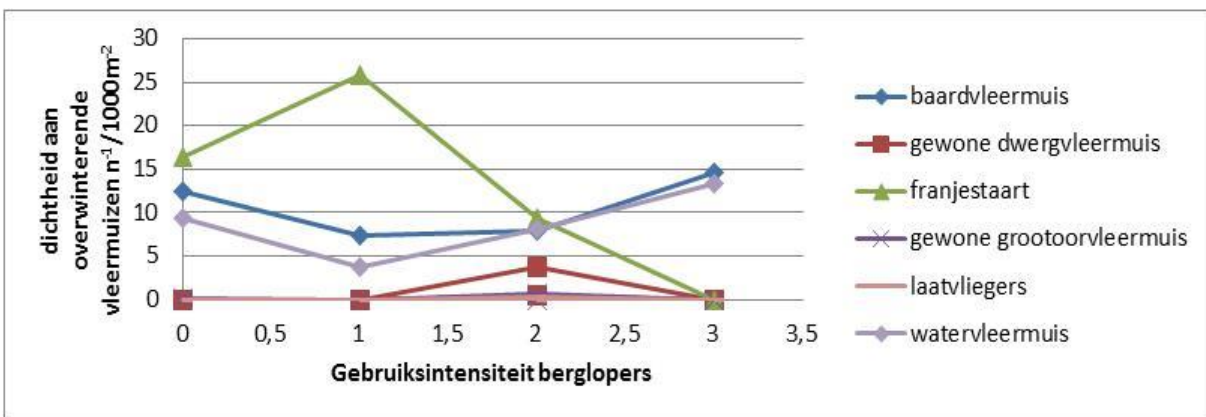
Het totaal aantal getelde overwinterende grootoorvleermuizen, gewone dwergvleermuizen en laatvliegers is laag. Grootoorvleermuizen zijn nagenoeg afwezig in de sterkst belopen delen (intensiteit 4 en 5), maar ook afwezig in gangen met een intensiteit van 1. Laatvliegers en gewone dwergvleermuizen werden maar op een klein aantal locaties gevonden, waardoor uitspraken over effect van rondleidingen niet mogelijk zijn. Het toenemen van de dichtheid van watervleermuizen en baardvleermuizen in dynamische deel met berglopers gebruiksintensiteit 3 is mogelijk het gevolg van de kleine omvang van deze zone.



Figuur 57: Dichtheid aan vleermuizen met toenemende gebruiksintensiteit door de VVV in de dynamische delen.



Figuur 58: Dichtheid aan vleermuizen met toenemende gebruiksintensiteit door berglopers in de statisch dynamische delen.



Figuur 59: Dichtheid aan vleermuizen met toenemende gebruiksintensiteit door berglopers in de dynamische delen.

Tabel 8: Het gemiddelde effect van verstoring van de VVV en de Berglopers activiteiten over alle klimaat-zones. Let op, de afname in dichtheid van soorten is niet in alle klimaat-zones even groot (in figuur 57 t/m 59 staan slechts 2 klimaat-zones). Lage intensiteit = 1, hoogste intensiteit = 5.

Soorten:	VVV activiteiten		Berglopers activiteiten	
	Intensiteit	Min-max. afname in dichtheid	Intensiteit	Min-max. afname in dichtheid
meervleermuis*, baardvleermuis*, watervleermuis*,	1-2	-25 tot -60%	1	-25% tot -75%
meervleermuis ingek. vleermuis vale vleermuis baardvleermuis watervleermuis franjestaart	3-4	-40 tot -80%	2	-50% tot -75%
Alle soorten	5	-100%	3	Vrijwel altijd -100% (geen afname van baard/watervleermuis in dynamische zone, wel in de andere zones)

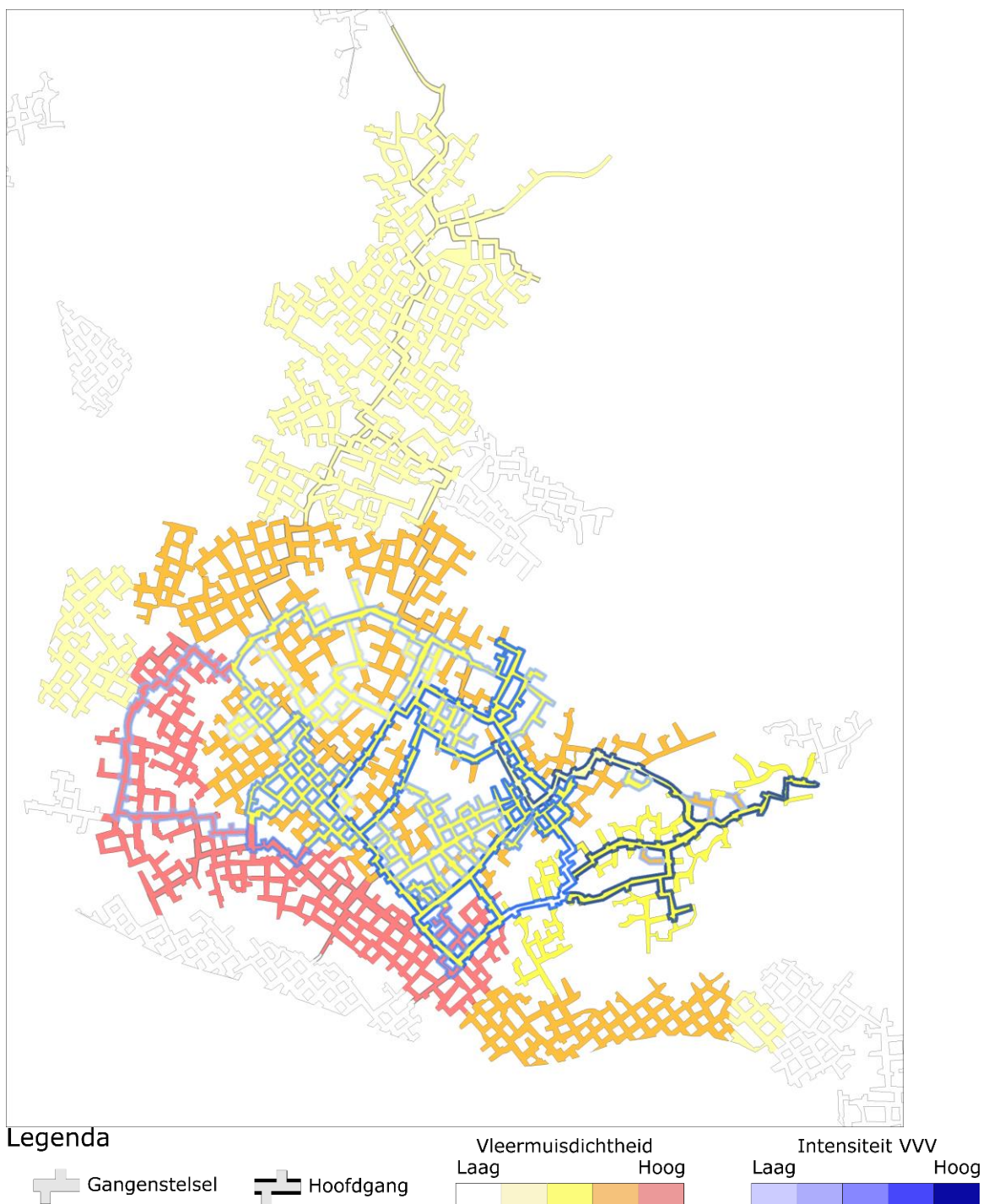
*=Geen afname waargenomen in het dynamische droge deel (zone 1)

De dichtheid aan overwinterende vleermuizen laat een duidelijk effect zien van de rondleidingen: de hoogste aantallen en dichtheden zijn te vinden in de minst bezochte delen.

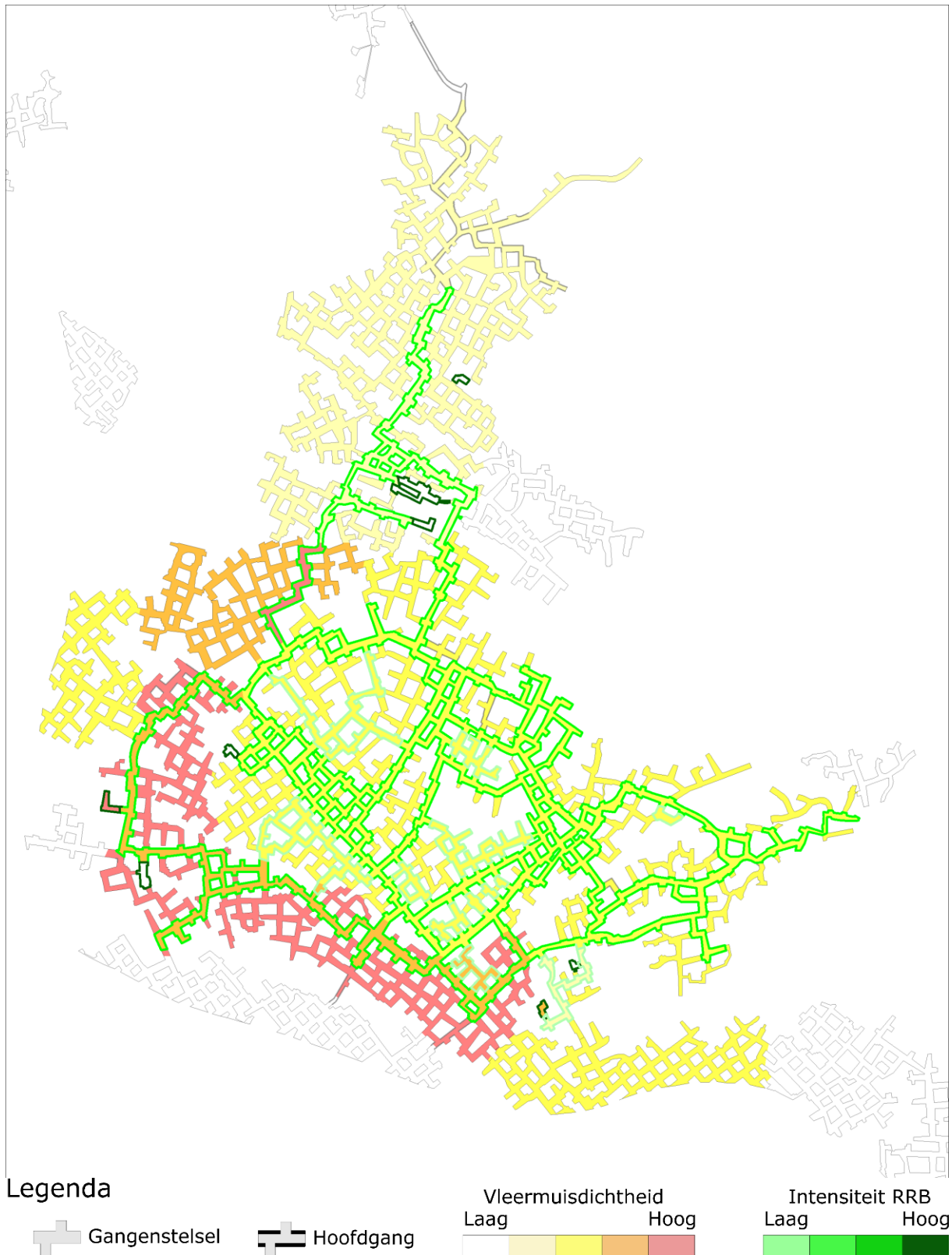
In figuur 60 en figuur 61 is dit gevisualiseerd in een kaart, waarop de dichtheid aan overwinterende baardvleermuizen is aangegeven per gang met een specifieke gebruiksintensiteit en rekening houdend met de klimaatzone. Deze ruimtelijk-statistische analyse maakt de relatie tussen de vleermuisdichtheid en de gebruikers zichtbaar. In figuur 60 is de vleermuisdichtheid berekend voor de baardvleermuis in de gangen die door het VVV gebruikt worden en in figuur 61 de baardvleermuis dichtheid voor de gangen die door de Berglopers worden gebruikt. In deze twee figuren is te zien dat in enkele klimaatzones door de bezoekers van VVV en Berglopers een lagere vleermuisdichtheid te zien is in vergelijking tot de omliggende gangen waar geen bezoekers komen. Vooral de Berglopers verzamelplaatsen springen er uit, omdat de vleermuisdichtheid daar zeer laag is, wat erop duidt dat vleermuizen deze locaties vrijwel geheel mijden.

De vleermuisdichtheidskaarten geven alleen een reëel beeld voor de vleermuissoorten waarvan vele exemplaren in het stelsel overwinteren. Een Bechsteins vleermuis of (grijze) grootoorvleermuis, gewone dwergvleermuis en laatvlieger die maar met één of enkele exemplaar in het stelsel overwinteren,

geven in deze statistische visualisatie geen reëel beeld. De kaarten van de baardvleermuis (*spec.*), franjestaart, ingekorven vleermuis, meervleermuis, vale Vleermuis en de watervleermuis geven wel een betrouwbaar beeld. De kaarten van alle vleermuissoorten in relatie tot klimaatzones, gebruik door de VVV en gebruik door de Berglopers zijn op de CD als bijlage gegeven.



Figuur 60: Dichtheid aan baardvleermuizen (*Myotis mystacinus/brandtii*) tijdens de wintertellingen in relatie tot klimaatzones en het gebruik van de gangen door de VVV.

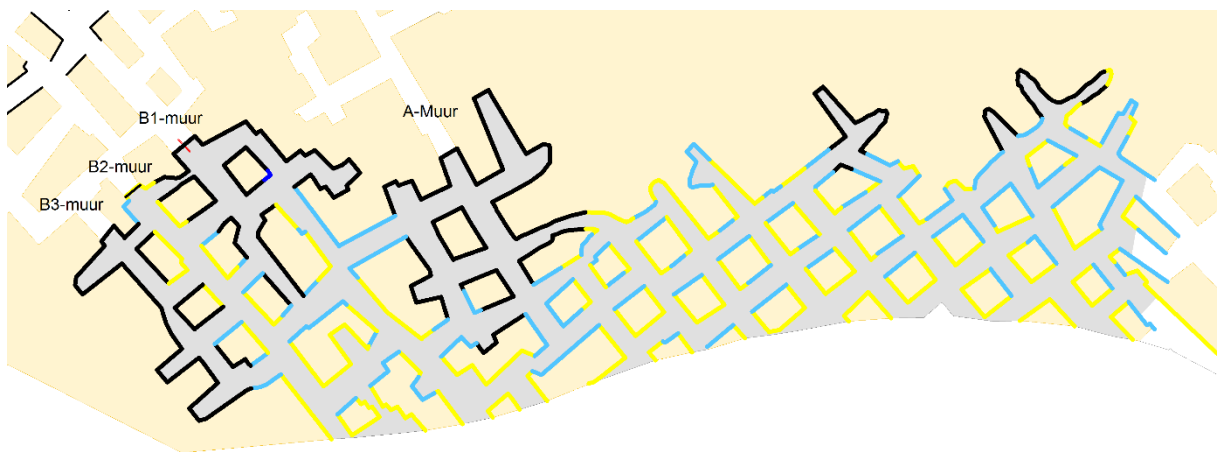


Figuur 61: Dichtheid aan baardvleermuizen (*Myotis mystacinus/brandtii*) tijdens de wintertellingen in relatie tot klimaatzones en het gebruik van de gangen door de Berglopers.

3.6 De in de groeve aanwezige cultuurhistorische waarde

Het cultuurhistorisch onderzoek heeft zich beperkt tot het deel aan de buitenkant van de A en B muren. Voor de delen 'binnen de muren' zijn de cultuurhistorische waarden in vele publicaties ruim beschreven. Door de stabiele situatie in het deel 'binnen de muren' is de achteruitgang door klimaatverandering in dit deel te verwaarlozen. In onderstaande drie kaarten is te zien hoe de gangen 'buiten de muren' onder invloed staan van de openingen.

Daglicht: het daglicht dringt tot diep in de groeve door in de rechte gangen. Direct aansluitend (voorste deel 1e aftakking) zijn gangen indirect verlicht, om daarna snel donker te worden. Zodra een deel gangen is afgeschermd van een opening door een pilaar, zijn die delen direct ook donker.



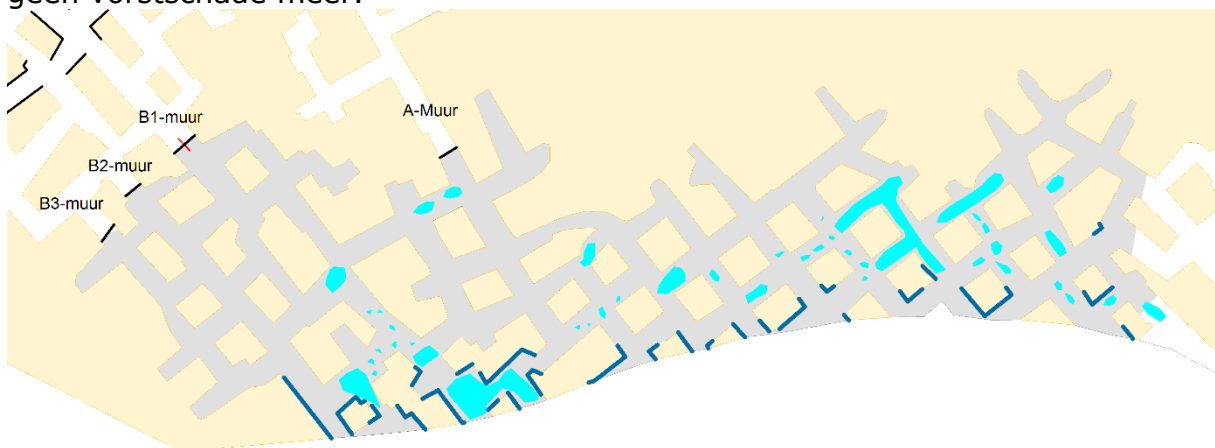
Figuur 62: Lichtniveaus in een de zone AB; met daglicht: geel, direct zonlicht, blauw: indirect zonlicht, zwart: donker

Algengroei: De algengroei beperkt zich voornamelijk tot de delen die indirect verlicht zijn. Direct zonlicht is te sterk voor de algen (verdroging). Plafonds in de delen met direct zonlicht hebben weer wel algengroei omdat de zon niet tegen het plafond komt, die plafonds zijn dus indirect verlicht. Donkere gangen hebben geen algengroei.



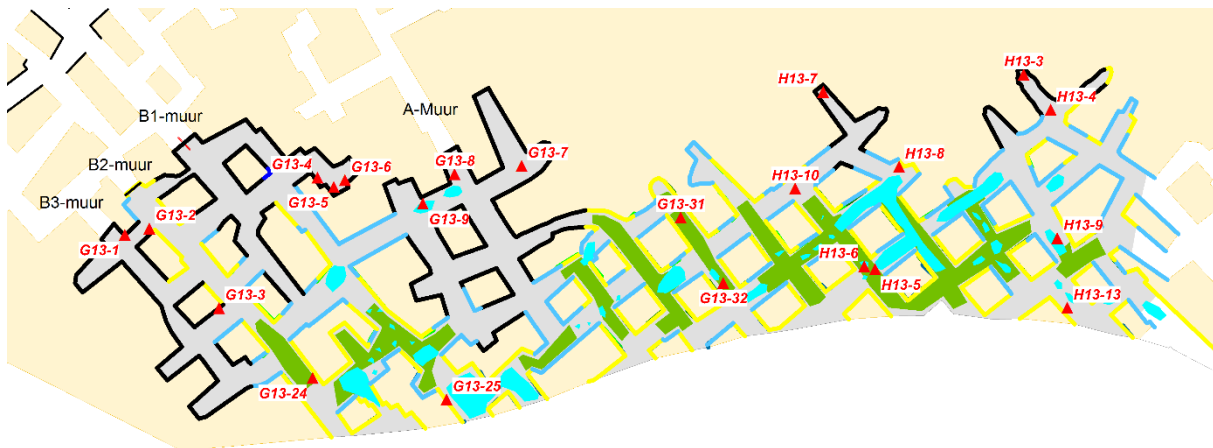
Figuur 63: De mate van algengroei in zone AB; lichtgroene lijn: wand geheel begroeid met algen. Donkergroene lijn: alleen bovenaan de wand begroeid met algen. Groene vlak: plafond begroeid met algen.

Vorstschade: Vorstschade treedt voornamelijk op direct bij de ingangen, maar op enkele plaatsen kan de vorst toch dieper de groeve in dringen. Het zijn vooral de wanden die vol op de wind, in het open deel liggen, die sterke vorstschade hebben. Ook enkele plafonds hebben vorstschade. Dieper in de gangen is er geen vorstschade meer.



Figuur 64: Aanwezigheid van vorstschade; Blauwe lijnen: vorstschade aan de wand. blauwe vlakken: vorstschade aan plafond.

De vergelijking van de opschriften, inkrassingen en gangen is in bijlage 1 aangegeven. In figuur 65 zijn de geanalyseerde afbeeldingen weergegeven als rode punten in relatie tot vorstschade, algengroei en lichtintensiteit.



Figuur 65: Resultaat inventarisatie achter A en B muren

Samenvatting:

- de opschriften en inkrassingen in de donkere delen van dit openliggend gangenstelsel (zie G13-01, G13-02, G13-03, G13-04, G13-05, G13-06, G13-08, G13-09) hebben nauwelijks schade gehad van het al ruim 30 jaar open liggen van het gangenstelsel. Zelfs bij opschriften die heel dicht bij het indirecte licht komen, is geen achteruitgang in kwaliteit herkenbaar. Er heeft wel wat vergrijzing van de opschriften plaatsgevonden, waarbij door klimaat en luchtverplaatsing stof op de wanden is geblazen. Deze vergrijzing is echter zeer gering. Ook is duidelijk dat vandalen sommige opschriften doorkrassen.
- het algemene beeld van gangen (zie G13-07, H13-03, H13-04, H13-07, H13-08) is in de 30 jaar dat ze open liggen ook niet veranderd zolang ze in een donker, vorst en algenvrij deel liggen. Historische opschriften in delen (zie H13-05) die wel aan algengroei blootstaan, maar niet aan vorstschade, lijken niet te verslechteren.
- opschriften en inkrassingen in het deel waar direct zonlicht aanwezig is en/of waar algengroei aanwezig is en/of waar vorstschade is, zijn zwaar aangetast. (zie G13-24, G13-25, H13-09, H13-10). De algengroei maakt de mergellaag kapot. De vorstwerking zorgt voor 'flaking' en door het directe zonlicht vervagen opschriften.
- in de delen waar het zonlicht minder direct is, en de algengroei minder is, zijn sommige opschriften nog wel herkenbaar maar zwaar aangetast (zie G13-31)
- diepe inkrassingen die vrij zijn van vorst, overleven het directe zonlicht (zie H13-13)

resultaten:

- algengroei en vorst tasten de opschriften en inkrassingen aan
- direct zonlicht tast de tekeningen aan, niet de inkrassingen.
- direct zonlicht zorgt dat algengroei achterwege blijft.
- in donkere delen gelden de beste omstandigheden voor duurzaamheid van de opschriften en inkrassingen.
- de gangen worden door zonlicht, vorst en algen nauwelijks qua beeld aangetast.

4 OPTIMALISATIE

4.1 Beheer vroeger en nu (Natuurhistorie en Cultuurhistorie)

De geschiedenis van het beheer van de Zonneberg is op te delen in twee periodes. In de periode voor 1995 was het gangenstelsel in eigendom bij de provincie. De provincie voerde geen actief beheer en liet het beheer aan het VVV over. Het gangenstelsel stond voor illegale bezoekers, de berglopers, vrijwel open. Dit heeft geleid tot vele bezoekers die vooral genoten van het gangenstelsel zonder vernielingen aan te richten. Desondanks waren er in die periode ook vernielingen door vandalisme. Een deel van de serieuze berglopers heeft zich verzameld in de Studiegroep Onderaardse Kalksteengroeven (SOK) en heeft destijds, meestal op persoonlijke titel, een vergunning verkregen voor onderzoek.

In 1995 is de Sint Pietersberg aangekocht door Natuurmonumenten. Natuurmonumenten heeft een intensief beheersysteem voor het gangenstelsel opgezet waarbij ook de SOK betrokken is. In dat kader zijn onderzoeksvergunningen bij Natuurmonumenten aan te vragen en is het RRB opgezet waarbij berglopers op vrijdagavond vrij de groeve kunnen bezoeken. De groeve is ook gekeurd om te bepalen welke delen vanuit de gesteente mechanische veiligheid geschikt zijn voor bezoek. De delen die afgekeurd zijn voor bezoek, zijn met stenenrijtjes gemarkeerd. Het is een afscheiding die door de meeste bezoekers (h)erkend wordt.

4.2 Huidig Juridisch kader N2000, Flora & Fauna wet

Het aantal overwinterende vleermuizen in het Zonnebergstelsel is over de periode 1989-2015 sterk in aantal toegenomen. De aantalsontwikkelingen van de meeste soorten die in het Zonnebergstelsel overwinteren volgen de landelijke trend, maar twee van de drie doelsoorten lieten over de periode 2008-2011 een sterke afname zien in het Zonnebergstelsel. Onduidelijk is of dit het gevolg is van slecht beheer van de *zomerverblijfplaatsen* en het *zomerleefgebied* of dat de oorzaken in het Zonnebergstelsel, de *winterverblijfplaats*, liggen. De consequenties is dat bij afnemende populaties van doelsoorten extra maatregelen genomen moeten worden om in de N2000 gebieden de gunstige staat van instandhouding van de populaties van de doelsoorten te handhaven of te herstellen.

Tevens is er een sterk effect van de intensiteit en tijdstippen van menselijke activiteiten op alle soorten vleermuizen, maar vooral op vleermuizen die in meer statische delen overwinteren (zone 3 en zone 5). Dit betreft o.a. de vale vleermuis, maar vooral de ingekorven vleermuis en vleermuizen die bekend zijn als instabiele winterslapers zoals de gewone dwergvleermuis. Deze effecten door menselijke verstoring zijn waarneembaar als minimaal een verdubbeling van de vleermuis-activiteit in de wintermaanden (paragraaf 3.5.2). De toename in vleermuis-activiteit (door verstoring) is ook merkbaar in de stille delen van het stelsel.

4.3 Mogelijke aanpassingen aan het ondergronds klimaat

Om tot een optimalisatie voor het ondergronds klimaat te komen zijn een aantal mogelijkheden. De aanpassingen en verbeteringen hebben, naar verwachting als resultaat een optimalisatie voor de vleermuisstand en voor de cultuurhistorie. De werking van deze optimalisatie wordt in de volgende hoofdstukken behandeld.

Aanpassen van de gaten in de ENCI-muren

Het vergroten van de gaten in de muren die de groeve afsluiten van de ENCI-groeve kan leiden tot een koudere zone in de winter, maar het klimaat wordt wel onvoorspelbaarder met als resultaat een meer chaotisch dynamisch klimaat in een deel van het Zonnebergstelsel. Dat is echter ongewenst omdat de vleermuizen een voorspelbaar ondergronds klimaat vereisen.

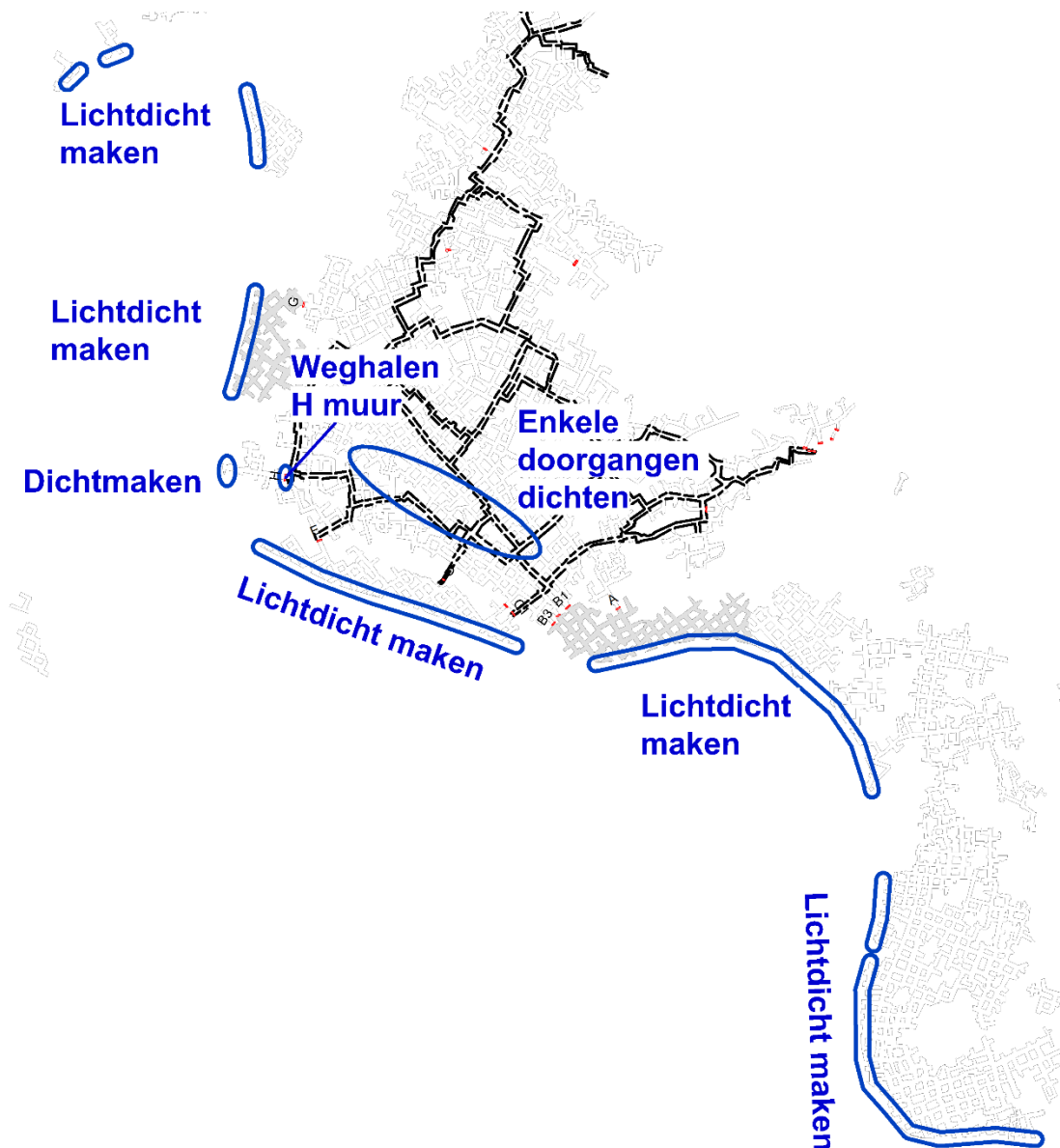
Wanneer de gaten in de ENCI-muren gedicht zouden worden (bijvoorbeeld locatie II) om het chaotische karakter van zones 1 en 2 te verkleinen, dan zal dit zorgen voor een gigantische afname van het dynamische karakter van zone 2. Dit zal qua klimaat vergelijkbaar worden met de statische-dynamische zone 3. Dit is zeer ongewenst, maar zou gecompenseerd kunnen worden door het vergroten van de ingangen van de overige locaties (bijvoorbeeld locatie III). Echter, deze doorgangen moet dan (naar verwachting) zo ver open dat dit nadelige effecten heeft op de cultuurhistorie en stabiliteit van dat gebied.

Veranderingen aan de indeling van de klimaatzones binnen de ENCI-muren worden dan ook niet geadviseerd. De huidige indeling is, ondanks de relatief hoge temperaturen in de winter, goed voor de overwinterende vleermuizen.

Het enige wat wél zou kunnen is het sluiten/verkleinen van een aantal doorgangen tussen zones 2 en 3 *in de zuidoost hoek van het stelsel* (zie rode strepen in figuur 15). Er zijn op dit moment relatief veel doorgangen tussen deze twee zones. Het sluiten van een gedeelte hiervan zal zorgen voor enerzijds een dynamischere zone 2, en anderzijds een statischere zone 3. Beide zijn goed voor de overwinterende vleermuizen aldaar. Deze maatregel kan simpel en goedkoop als pilot worden uitgevoerd.

Een ander advies is het weghalen van de H-muur, en het volledig dichtmaken van de muur nabij de gangaansnijding in zone H. Dit deel wordt het museum genoemd en is van grote cultuurhistorische waarde. Wanneer de H-muur verdwijnt, zal deze zone statischer worden wat beter is voor het behoud van deze waarden.

Verder is de grootste winst klimaat technisch te halen in de delen achter de muren, deze delen zijn op het moment iets té dynamisch voor de vleermuizen, daarnaast komt er te veel zonlicht naar binnen, waardoor er in het overgrote gebied geen vleermuizen overwinteren (vleermuizen vermijden licht). Daarnaast zorgt dit zonlicht voor algengroei op de muren die de cultuurhistorische waarden schaadt. Tot slot zorgt het zeer dynamische karakter voor vorstschade in deze gebieden, dit is wederom nadelig voor de cultuurhistorie evenals de veiligheid.



Figuur 66: Advieskaart.

Al deze nadelen kunnen opgelost worden door het gedeeltelijk afsluiten van de gangdoorsneden, niet volledig want de luchtstromingen moeten in stand blijven om het achterliggende Zonnebergstelsel haar dynamische karakter te laten houden. Achter deze nu open delen ligt ruim 11.5 kilometer extra gang met een potentie voor honderden, mogelijk duizenden overwinterende vleermuizen. Hier zijn verschillende oplossingen voor te bedenken maar aanvullend onderzoek in de vorm van een pilot-afsluiting met monitoring, is gewenst. Zoals eerder beschreven zijn er nagenoeg geen klimaatmetingen mogelijk geweest in deze zones. Het is gewenst om meer metingen te verrichten, voordat zo'n ingreep wordt gedaan.

4.4 Optimalisatie van de groeve inrichting voor de meervleermuis, ingekorven vleermuis en vale vleermuis

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat meervleermuizen vooral overwinteren in het zeer dynamische deel 'achter de muren' en het dynamisch-statische deel van het stelsel (zone 4). Ingekorven vleermuizen overwinteren vooral in het statisch-dynamische (zone 3) en het statische deel (zone 5). Vale vleermuizen overwinteren over een brede range van klimaatzones, met zowel dieren in het statische-dynamische (zone 3) deel als in het zeer dynamische deel 'achter de muren'.

Deze gevonden voorkeuren komen redelijk overeen met de in literatuur genoemde voorkeuren van de soorten (zie kader). De interne migratie is minder duidelijk aanwezig dan in enkele andere groeven (bijvoorbeeld in de Schenk- en Apostelgroeve) en de interne migratie is voor franjestaarten mogelijk zelfs geheel afwezig. Mogelijk is dit het gevolg van het onvoorspelbare chaotisch-dynamische klimaat. Voor veel soorten in het Zonnebergstelsel is hierdoor met interne migratie geen energetisch voordeel te halen. De heersende windrichting bepaalt in sterke mate in welke richting de luchtstroming loopt en waar dan de koudere zones liggen.

Kenmerken overwinteringslocaties 3 habitatrictlijnsoorten:

Meervleermuizen overwinteren weggekropen in meer instabiele zones, met een temperatuursfluctuatie van 3-10°C en met op korte afstand sterkere luchtstromingen, interne migratie (naar voren en naar achteren) is afhankelijk van het lokale temperatuursverloop.

Vale vleermuizen hebben een brede temperatuursrange, zij hangen aan het begin van de winter vaker in de warmere delen 7-9°C, maar verhuizen later in het seizoen naar veel koudere delen.

Ingekorven vleermuizen overwinteren vrij hangend in de stabiele zone met temperatuurrange van 8-11°C, met geen of zeer geringe luchtbewegingen, interne migratie naar koudere delen is in meerdere groeven vastgesteld.

Een groot deel van de deelzones heeft een dynamisch klimaat en de dagelijkse/jaarlijkse afkoeling hangt sterk af van heersende windrichtingen en daarmee de richting van de luchtstromingen in het Zonnebergstelsel. Het terugdringen van de dynamiek door het gedeeltelijk afsluiten van ingangen (ter voorkoming van vorstschade) zou kunnen leiden tot habitat verlies voor meervleermuizen en veel van de andere soorten die overwinteren in dynamische zones. Vergroting van de dynamiek leidt echter tot verlies aan habitat voor ingekorven vleermuizen. Als een van de zones geheel ontbreekt dan is dit waarschijnlijk ook ongunstig voor overwintering van vale vleermuizen.

De buitenzones

Een deel van buitenzones 'achter de muren' kon onder begeleiding van Natuurmonumenten geïnspecteerd worden. Hier werden verrassend veel vleermuizen gevonden, waaronder veel meervleermuizen en vale vleermuizen. Dit schept hoge verwachtingen voor de niet onderzochte delen, zoals achter de F muur en in de restanten van de Slavante. Hier zijn door veel aardpijpen en scheuren in wanden en plafond voor vleermuizen veel wegkruiplekken aanwezig, maar 40-70% van de gangoppervlakten is te licht en te dynamisch voor vleermuizen. Door gerichte aanpassingen kunnen grotere delen van de Slavante geschikt gemaakt worden voor vale vleermuizen en meervleermuizen. Voor deze delen bestaan nog geen N2000-beheerplan, wat wel zeer gewenst is. Nota bene, in deze delen kunnen op plekken met een nachttemperatuur van 15°C ook zomer-verblijfplaatsen aanwezig zijn.

4.5 Optimalisatie tot behoud cultuurhistorie

Voor de cultuurhistorische waarden is het van belang de gangen vrij van vorst, direct licht en indirect licht te brengen. Vorst tast door bevriezend water en inwerking door oppervlakte-flaking de wand aan. Vanaf de eerste flaking zijn de opschriften en ondiepe inkrassingen verdwenen. De flaking gaat verder als de eerste flaking afgevallen is. Door de verdergaande flaking worden ook de diepere inkrassingen aangetast en verdwijnen ook de ontginningssporen. Hierdoor verandert het visuele karakter van de groeve aanzienlijk. Nog verder gaande flaking tast ook de stabiliteit van pilaren aan. Het is daarmee van groot belang om de gangen vorstvrij te maken/houden.

Direct daglicht vervaagt de opschriften die uit houtskool of vetkrijt gemaakt zijn. Direct zonlicht dient dus vermeden te worden. Indirect licht tast heel langzaam de opschriften aan maar veel destructiever is de algengroei die in indirect licht ontstaat. Deze algengroei tasten de opschriften aan en zorgt ook weer voor flaking. Algengroei dient voorkomen te worden.

Voor een goed behoud van de cultuurhistorische waarden is het daarom van belang om de gangen vorstvrij en donker te houden. Dit is mogelijk door de eerder genoemde gedeeltelijke afsluiting van de gangen naar de open groeve.

Omdat we geen onderzoek hebben kunnen doen naar het klimaat in het deel achter de A en B muren, is niet bekend wat het effect van verdroging is op de opschriften en andere cultuurhistorische structuren. Uit andere groeven (NATOBerg) is bekend dat een klimaatinstallatie vocht aan de pilaren onttrekt, voor verdroging van de pilaren zorgt waardoor (eveneens) flaking ontstaat. Onderzoek en monitoring naar deze processen is noodzakelijk.

4.6 Oplossingen voor conflicten tussen Cultuurhistorie en Natuurhistorie

Voor de conservering van de cultuurhistorische waarden zou een volledige afsluiting van alle ingangen het beste zijn. Dit is in verband met de klimaatdiversiteit die noodzakelijk is voor de vleermuizen, niet mogelijk. Een

mogelijke oplossing is een muur van onder tot boven die de linker helft van de gang afsluit en even verderop een zelfde muur van onder tot boven die de rechter helft afsluit. Zo ontstaat een lichtsluis. De dynamiek wordt iets terug gebracht (minder vorstschade) terwijl de luchtuitwisseling geheel door kan gaan. In de delen waar deze sluis aangebracht kan worden, is het advies de opschriften niet verder aan te tasten. De vorstschade wordt eveneens beperkt zonder verdere ingrepen. Alvast vooruitlopend op een advies zou het aanbrengen van lichtsluizen kunnen worden uitgetest. Het is onduidelijk of dit type afsluitingen het nazomer zwermen negatief beïnvloeden.

De statische delen (zone 3, 4 en 5) zouden het beste geen veranderingen ondergaan om de huidige situatie te behouden.

Aangezien de dynamische delen nu al ruim 30 jaar open zijn voor het klimaat en de cultuurhistorische waarden hier al grote schade hebben opgelopen, is voor deze delen iedere ingreep een verbetering.

Het aanbrengen van muurafsluitingen met veel ventilatie voor de huidige muren bij de ingangen die gebruikt worden voor het publiek, leidt tot behoud van cultuurhistorie met winst voor de natuur.

Zones bij de ingangen waar veel vorstschade optreedt, dienen vanuit het veiligheidsprincipe verbeterd te worden. Een mogelijkheid is ze in te pakken met beton, zoals al in de jaren 90 gebeurt bij de publieksingang. Het oppervlakte waar de vorstschade kan optreden is dan niet het kalksteen maar het veel hardere beton. Voor toekomstige werkzaamheden zouden extra voorzieningen voor vleermuizen opgenomen moeten worden. Er zijn meer en minder gevoelige perioden om deze typen werkzaamheden uit te voeren. Wel moet de meest optimale uitvoering gekozen worden die het minste effect heeft op het interne klimaat.

4.7 Oplossingen voor conflicten tussen exploitatie en natuurhistorie

De huidige ontwikkeling van de vleermuispopulaties in het Zonnebergstelsel is gunstig. Vrijwel alle soorten laten een toename zien die gelijk is aan de landelijke trend (minus de Zonneberg). Het niet beheerde deel 'achter de muren' herbergt een relatief groot deel van de winterpopulatie van het Zonnebergstelsel.

Twee soorten laten tussen 2008-2011 een sterke achteruitgang in het Zonnebergstelsel zien; de ingekorven vleermuis en de vale vleermuis. De oorzaak daarvan is onduidelijk en kan ook buiten het Zonnebergstelsel zijn gelegen.

Het huidige onderzoek geeft aan dat er duidelijke reacties zijn van vleermuizen op de rondleidingen die de in de winter worden gegeven. Verschillende soorten mijden niet alleen de (in de winter) drukst bezochte delen, maar zijn op de

rondleidingsdagen actiever, ook buiten de toeristische zone (wat duidt op een reactie op de rondleidingen). Er is geen directe aanwijzing gevonden voor het optreden van het cascade effect, waarbij eerst enkele vleermuizen wakker worden en daarmee ook andere vleermuizen waardoor het een langere tijd (12 - 24 uur) onrustig is het stelsel. Wel is de activiteit op dagen met bezoekers in het stelsel 50%-100% hoger en deze onrust verspreidt zich ook naar de stille delen. Uit de ruimtelijke analyse van de vleermuisdichtheid in relatie tot de bezoekers-intensiteit en de observaties van de bewegingen van de vleermuizen kan geconcludeerd worden dat de vleermuizen mijdingsgedrag vertonen. Bij te intensief bezoek verplaatsen de vleermuizen zich naar de delen waar niet-intensief bezoek plaats vindt. Uiteindelijk zouden de verstoringen kunnen leiden tot effecten als geringere overleving en verminderde voorplanting, vooral in jaren waarin het najaar slecht is of de winters weinig streng zijn, gecombineerd met een voorjaar dat lang op zich laat wachten. Daar zijn op dit moment echter geen aanwijzingen voor, maar het is aan te bevelen de monitoring van de vleermuizen te intensiveren.

Effect verstoring samengevat

- Op de meer intensief gebruikte gebieden is de dichtheid aan overwinterende vleermuizen 30-95% lager.
- Vooral de vaak vrij-hangende soorten, zoals ingekorven vleermuis, vale vleermuis en baardvleermuizen, laten een zeer sterke reactie zien.
- Grotere *Myotis*-soorten (vale -, meer- en ingekorven vleermuis) zijn ook in de minder belopen delen met lagere dichtheden aanwezig dan in geheel "stille" zones.
- Kleinere *Myotis*-soorten laten alleen verschillen zien in dichtheid bij de intensiever gebruikte delen.
- Het effect op kleine *Myotis*-soorten is vooral groot in de statische delen, en is minder in de meer dynamische delen.

Van vale vleermuizen, meervleermuizen en grootoorvleermuizen worden relatief veel dieren in het zeer dynamische deel van de groeve gevonden. Dit zou het gevolg kunnen zijn van een slechtere lichaamsconditie, waarbij individuen van deze soorten risicovoller en kouder gaan hangen. Slechte lichaamsconditie bij vleermuizen midden in de winter wordt veroorzaakt door ofwel een slechte startconditie (te weinig opgeslagen vet aan het begin van de winter) of door te vaak ontwaken (als gevolg van verstoring).

De effecten van de rondleidingen in de wintermaanden leiden tot twee, mogelijk drie, reacties onder individuele vleermuizen. Vooral de namiddag en avondrondleidingen lijken tot meer activiteit onder vleermuizen te leiden. Als dit in het ritme gebeurt van natuurlijk ontwaken (1x in de 8-10 dagen) en vleermuizen kunnen leren wat drukke zones zijn (voorspelbaar), dan lijkt dit niet te leiden tot meetbare effecten op de conditie van individuen. Als dit vaker gebeurt en/of verstoringen voor vleermuizen onvoorspelbaar zijn, leidt dit tot extra ontwaken, ook van de dieren in stille zones.

Individueen zullen door slechtere lichaamsconditie verhuizen naar koudere meer dynamische delen. In deze zone is kans op bevrozing groter. Deze zones hebben geen rondleidingen, maar zijn van buitenaf toegankelijk en worden met enige regelmaat illegaal betreden.

De vraag is of het huidige mijdingsgedrag van de intensief gebruikte gangen problematisch is. Veel soorten ontwikkelen zich qua aantal gunstig, maar er zijn wel signalen die aangeven dat er grenzen zijn aan het huidige gebruik van het stelsel. Vleermuizen worden vaker wakker, en een aanzienlijk deel van de dieren hangt aan het eind van de winter in zeer dynamische (koudere, niet vorstvrije) delen. Een grootscheeps cascade effect is niet gevonden, maar dat dieren in de stille zones ook vaker wakker worden op vrijdag en zaterdag/zondag is een zorgelijk signaal. De meest instabiele winterslapers zijn de gewone dwergvleermuizen. Waarschijnlijk worden deze dieren het snelste wakker bij externe stimuli. Deze soort overwintert vaak in kleine tot grotere clusters aan dieren. Als een enkel dier reageert, wordt in korte tijd het totale cluster wakker doordat verschillende individuen gaan krijsen. Bij een tweede of een langere stimulus zullen enkele dieren ook gaan rondvliegen, vooral als deze prikkels plaatsvinden in de namiddag/avond (vanaf 1,5 uur voor zonsondergang). Gewone dwergvleermuizen hebben relatief de kleinste vetreserves van alle vleermuissoorten die in het stelsel overwinteren. Een slecht najaar en/of een slecht voorjaar gecombineerd met een aantal keren geforceerd wakker worden wordt voor dit type overwinteraar gauw fataal.

Het (intensieve) gebruik van een deel van de gangen heeft een negatief effect op de aanwezigheid van vleermuizen, maar daar staat tegenover dat de vleermuizen veel ruimte hebben voor het mijdingsgedrag naar rustigere delen in het stelsel. In Tabel 5 en 6 staan de percentages gegeven van de verschillende intensiteitszones. Als uit deze tabel de VVV-intensiteiten 4 en 5 samen genomen worden als intensief bezoek, dan is dat ca. 10% van het gangenstelsel. Het intensieve deel van de RRB bezoek is ca. 1% van het gangenstelsel. In het worst-case scenario is dus ca. 11% van de gangen intensief in gebruik. Dat betekent dat 89% van het gangenstelsel beschikbaar is voor de vleermuizen om naar uit te kijken. Van deze 89% wordt 66% ook niet door de Berglopers intensief belopen. In het gehele Zonnebergstelsel is in principe voldoende ruimte voor de vleermuizen die in de intensievere delen verstoord worden, mits de dieren in deze extensief gebruikte delen niet worden verstoord.

De verzamelde en gedigitaliseerde data bevat zeker nog meer statistische gegevens voor mogelijke analyses van de relatie tussen vleermuizen, klimaatzones en gebruiksintensiteit. Het gaat echter buiten het bereik van dit onderzoek om hier dieper op in te gaan.

Het is aan te bevelen om deze statistische berekeningen nog uit te voeren en om voor de toekomst de vleermuizen te blijven monitoren en de ruimtelijke statistiek bij te houden om zo goed inzicht in de relatie klimaat-vleermuizen-gebruikers helder te houden.

Aanbevolen aanpassingen voor het beheer van het groevestelsel zijn:

1. Zorg in alle klimaatzones voor grote ongestoorde delen
2. Monitor het overwinteringsgedrag akoestisch op 12 plekken om drempelwaarden vast te stellen voor het aantal rondleidingen per weekend zonder dat er verstoring optreedt
3. Houdt tijdstippen, gelopen routes, bezoekfrequentie en bezoekersaantallen bij
4. Maak één vaste 'winterroute' waarbij de vleermuizen in de winterperiode voldoende uitwijkmogelijkheden hebben in alle klimaatzones
5. Treed in overleg met het VVV, de VVV-gidsen, het RRB-bestuur en de leden van de RRB om begrip te creëren voor stille zones in de winterperiode en de openstelling voor vleermuizen te optimaliseren
6. Voor de winterperiode wordt geadviseerd het gebruik van warmte producerende lampen te beperken door koude LED-lampen te gebruiken. Bij voorkeur in de kleur amber.
7. Houd met de rondleidingkalender rekening met de vleermuiskalender (qua tijd, ingekorven vleermuizen verblijven tot laat in april in het stelsel)
8. Reduceer het aantal wekprikkels (zie tabel 9), door de gidsen te trainen in het vermijden van deze prikkels en voor te lichten welke prikkels van belang zijn.

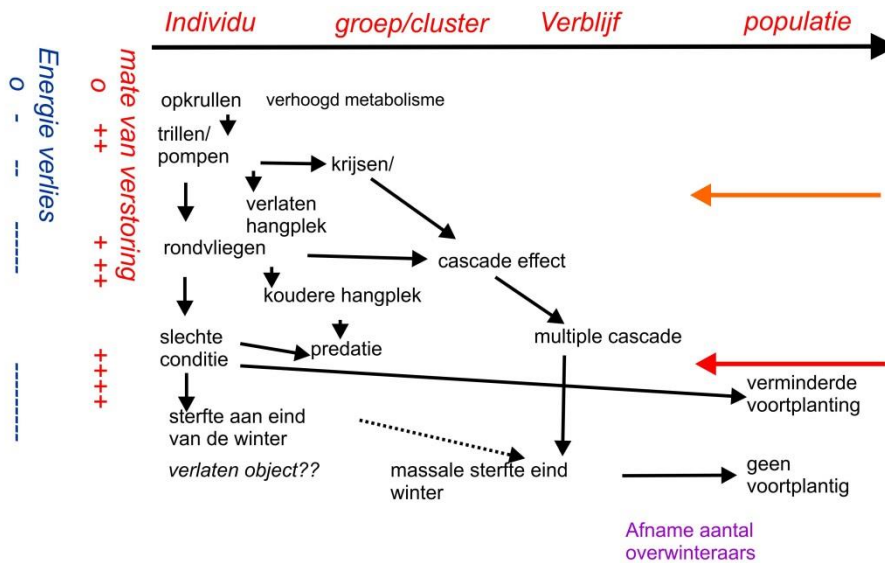
Tabel 9: Prikkels die leiden tot het uit lethargie wakker worden van individuele vleermuizen (op basis van Speakman et al. 1991 en Luo et al. 2014)

Verstoringstype:	duur	Reactie percentage	Reactie duur		Energie kosten negatieve uren
			min	max	
Aanraken	<15 sec	100%	0,75	15	-104
Vegetatie/ geritsel*	<5 min	90%	>1		
Wakkere soortgenoten	<5 min	85%	>1		
Temperatuur +0.5 °C **		16%	1	2	-4,5
Ultrasoon stoorgeluid	5 sec	2,60%		8	-4,5
Temperatuur+0,5 °C ***	>30 min	?	?	?	?
Zaklamp	90 sec	13%	0,25	1,5	-4,5
3x Flitsen		7%		0,75	-4,5
Spreken	7-10 min	2,50%		1	-4,5

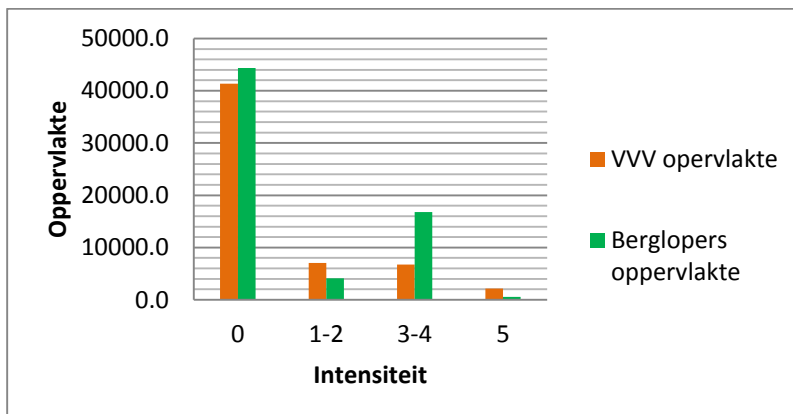
* Windjacks produceren vergelijkbaar ultrasoon geluid

** Dit is gelijk aan het langere tijd verblijven in een lage gang/kleine ruimte

*** Dit is gelijk aan het stilstaan in een hogere gang



Figuur 67: Observaties in het Zonnebergstelsel, de oranje pijl geeft het huidige niveau aan in het verstoringsschema. Massale sterfte in gewone dwergvleermuispopulaties en sterke fluctuaties van populaties ingekorven vleermuizen en vale vleermuizen kunnen ook sterker effect indiceren, aangegeven met de rode pijl.



Figuur 68: Intensiteit van gangengebruik tijdens VVV rondleidingen en berglopers avonden (herschaald op effect).

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies: welke aanpassing klimaat zijn nodig

In hoofdstuk 4.3, 4.4 en 4.5 worden een aantal mogelijke aanpassingen genoemd en uitgewerkt die een verbetering vormen voor het klimaat in de Zonneberg en het daar aangrenzende open gangenstelsel. De voorgestelde aanpassingen betreffen het opstarten van een pilot om binnen de Zonneberg enkele gangen af te sluiten om dynamische en statische delen beter te scheiden, het weghalen van de H-muur en dichtmaken van de open ingang bij het museum om het klimaat in het Museum te verbeteren voor de cultuurhistorie. Verder wordt voorgesteld om de ENCI openingen middels lichtsluizen lichtdicht te maken voor vorstbescherming, licht en algenreductie, klimaatverbetering voor vleermuizen, cultuurhistorie en gesteente mechanische stabiliteit. Dit middels een kleinschalige pilot opstarten en bij positief resultaat dit voor het gehele Zonneberg en Slavante deel doorvoeren (mits technisch en financieel haalbaar).

Uit het onderzoek blijkt dat aanpassingen aan de bestaande ingangen en doorvliegopeningen niet wenselijk zijn, er wordt geadviseerd deze te laten zoals ze zijn.

5.2 Zijn er beheermaatregelen nodig voor medegebruik?

In hoofdstuk 4.7 is uitgewerkt welke beheermaatregelen genomen kunnen worden om de het medegebruik van het Zonnebergstelsel door de bezoekers en de vleermuizen zo optimaal mogelijk te laten verlopen. Samenvattend betreft het enerzijds het in de winterperiode scheiden van het intensief gebruik van de groeve door gebruikers waarbij voor de overwinterende vleermuizen voldoende ruimte wordt gelaten in de diverse klimaatzones. Anderzijds wordt geadviseerd om de stand van de vleermuizen en het gebruik door de mens te monitoren met meetinstrumenten en vleermuistellingen.

5.3 Vervolg onderzoek ter beantwoording van nieuwe vragen.

Het onderzoek geeft sterke aanwijzingen dat de grootste winst te behalen valt bij verbetering en uitbreiding van de open gangen van het Zonnebergstelsel en Slavante. Dit kan gedaan worden door de volgende onderzoeks-stappen:

- Deze gangen laten keuren op gesteente mechanische stabiliteit zodat onderzoek en monitoring mogelijk is.
- Een pilot opstarten om de open ENCI ingangen te verbeteren middels lichtsluizen die licht en algengroei tegen houden, vorstschade verminderen maar wel een dynamische klimaatuitwisseling mogelijk maken zonder het landschap aan te tasten. Bijvoorbeeld dubbele verticale overlappende panelen enkele meters terug van de openingen. Dit kan in het deel direct achter de A en B muren omdat dit al in de winter gemonitord is. Als deze constructies gebouwd zijn, dan de vleermuizen en klimaat monitoren. Bij positief resultaat, deze

sluizen op de meest effectieve locaties van Zonneberg en Slavante invoeren (20% ingrepen, 80% resultaat).

5.4 Aanbevelingen

- Klimaatverbeteringen (Zie 5.1) doorvoeren
- Bij uitbreiding of verandering van groevengebruik, de vleermuisimpact analyseren en inschatten.
- Bij het uitbreiden en/of veranderen van het groevengebruik, dit als een pilot doorvoeren gekoppeld aan een monitoring. Bij aanwijsbare negatieve gevolgen voor de vleermuizen en/of cultuurhistorie en/of gesteente mechanische stabiliteit, de uitbreiding/verandering terug draaien.
- De jaarlijkse vleermuistellingen digitaliseren en aan de database toevoegen voor monitoringsdoeleinden.
- Oude vleermuistellingen digitaliseren en aan de database toevoegen voor monitoringsdoeleinden.
- Registratiesysteem van aantallen, frequentie en periode van bezoek door alle bezoekers (VVV, RRB, VNM)
- Installeren van permanente vleermuis-activiteits-meters om drempelwaarden te achterhalen, zodat in de toekomst cascade effecten door rondleidingen in de wintermaanden voorkomen kunnen worden.

6 LITERATUUR

Boer, W.F. de, S. van de Koppel, H.J. de Knecht, J.J.A. Dekker, 2013. Hibernation site requirements of bats in man-made hibernacula in a spatial context. *Ecological Applications* 23:502–514. <http://dx.doi.org/10.1890/12-0539.1>

Boyles, J.G., MB Dunbar, JJ Storm, V. Brack, 2007. Energy availability influences microclimate selection of hibernating bats. *Journal of Experimental Biology*

Boyles, J.G. & V Brack Jr, 2009. Modeling survival rates of hibernating mammals with individual-based models of energy expenditure. *Journal of Mammalogy*.

Brack Jr, V, 2007. Temperatures and locations used by hibernating bats, including *Myotis sodalis* (Indiana bat), in a limestone mine: implications for conservation and management. *Environmental Management*.

Cory R. Olson, David P. Hobson, and Margo J., 2011. Changes In Population Size of Bats At A Hibernaculum In Alberta, Canada, In Relation to Cave Disturbance And Access Restrictions. *Northwestern Naturalist*, 92(3):224-230.

Czenze, Z.J., AD Park & CKR Willis, 2013. Staying cold through dinner: cold-climate bats rewarm with conspecifics but not sunset during hibernation. *Journal of Comparative Physiology B*.

Crimmins S.M., P.C. McKann, J.A. Szymanski & W. E. Thogmartin, 2014. Effects of Cave Gating On Population Trends at Individual Hibernacula of the Indiana Bat (*Myotis sodalis*). *Acta Chiropterologica* 16(1):129-137.

Glover, A.M. & JD Altringham, 2008. Cave selection and use by swarming bat species. *Biological Conservation*.

Haarsma, A.-J. (2011). Vleermuizen in mergelgroeven, verschillende aspecten met betrekking tot de in het kader van Natura2000 aangewezen mergelgroeven als belangrijk leefgebied voor meer-, vale en ingekorven vleermuis. Rapport Batweter, 2011.03

Haarsma, A.-J. and de Hullu, E. (2012). Keeping bats cool in the winter: 18 hibernating bats and their exposure to 'hot' incandescent lamplight. *Wildl. Biol.* 18, 19 14-23.

Haemers, R., 2014. Verschillende natuurkundige onderzoeken over onderaardse kalksteengroeven. Stageverslag technische natuurkunde Universiteit Eindhoven

Jeukens, E., et al, 2010, Op zoek naar de Gewone dwergvleermuis in de Zonneberg,

Johnson, S.A., V Brack Jr & RE Rolley. 1998 Overwinter weight loss of Indiana bats (*Myotis sodalis*) from hibernacula subject to human visitation. *The American midland naturalist*.

Kokurewicz, T., 2004. Sex and age related habitat selection and mass dynamics of Daubenton's bats *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817) hibernating in natural conditions. *Acta Chiropterologica*.

Kliys, G, G. Bronislaw & W. Woloszyn, 2010. Ecological aspects of bat hibernacula in

temperate climate zone of central Europe. Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle Vol. LIII pp. 489–497

Ingersoll, T.E., K. W. Navob, & P. de Valpine, 2010. Microclimate preferences during swarming and hibernation in the Townsend's big-eared bat, *Corynorhinus townsendii*. Journal of Mammalogy 91(5):1242-1250. 2010

Kugelschafter, K. 1994. Untersuchungen zur bedeutung und optimierung der Segeberger Kalkberghöhle und angrenzender Nahrungsbiotope für Fledermäuse. Arbeitskreis Wildbiologie an der Justus Liebig Universität Giessen.

Lesiński, G., G., 2009. Bats at small subterranean winter roosts : effect of forest cover in the surrounding landscape. Polish Journal of Ecology Polish Journal of Ecology Vol. 57, nr 4:761-767

Luo J., B-M. Clarin, I. M. Borissov & B. M. Siemers, 2013
Are torpid bats immune to anthropogenic noise? The Journal of Experimental Biology 10.1242

Mann, S.L, R.J Steidl & V.M Dalton, 2002. Effects of cave tours on breeding *Myotis velifer*. The Journal of wildlife management.

Masing, M & L. Lutsar, 2007. Hibernation temperatures in seven species of sedentary bats (Chiroptera) in northeastern Europe. Acta Zoologica Lituanica 17: 47-55.

McCracken, G.F. 1989. Cave Conservation: Special Problems of Bats
Gary F. McCracken NSS Bulletin 51: 49-51. (June 1989).

Nieuwenhoven, P.J., 1956. Ecological observations in a hibernation-quarter of cave dwelling bats in South Limburg. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.

Orbons, P.J., 2005, Inventarisatie van de ingangen van onderaardse kalksteengroeven in Nederland 2002-2004, Uitgave SOK-NHGL-IKL-Van Schaikstichting

Orbons, P.J., 2008, 74390 164 9476 402 72398 72349 732, SOK Mededelingen 50

Parma, 1962. Waarnemingen in enige Zuidlimburgse mergelgroeven in het bijzonder de Kloostergroeve en de Musschenput. Rapport Universiteit van Amsterdam.

Reu, J. & S. Daan. XX De activiteit van overwinterende vleermuizen in de ijskelder te Middenduin. De levende natuur XX 265- 273.

Richardz, K., D Krull & A. Schumm, 1989. Quartiersansprüche und Quartierverhalten einer mitteleuropäischen wochenstubekolonie von *Myotis emarginatus* (Geoffrey, 1806) im Rosenheim Becken Oberbayern, mit hinweisen zur derzeit bekannten Wochenstubenquartiere dieser Art in der BRD. Myotis 27: 111-130

Ruczyński, I, I Ruczyńska, K Kasprzyk, 2005- Winter mortality rates of bats inhabiting man-made shelters (northern Poland) Acta theriologica

Sichmeller, T-J, 2010. Determining energy conservation during torpor for three myotis species and response of myotis species to human disturbance while dayroosting. PHD thesis Ball State University, Muncie Indiana.

Speakman, J.R., Webb, P.I. & Racey, P.A. (1991). Effects of disturbance on the energy expenditure of hibernating bats. *J. Appl. Ecology* 28: 1087 - 1104.

The importance of temporal heterothermy in bats

C. Stawski^{1,2}, C. K. R. Willis³ & F. Geiser²

¹ Institute of Environmental Sciences, Jagiellonian University,

Thomas, D.W. (1995). Hibernating bats are sensitive to non-tactile human disturbance. *J. Mammal.* 76: 940 - 946.

Torrent Alsina L. 2014. Bat assemblages in the Nietoperek bat reserve (Western Poland) and their conservation strategies. *Proceedings of the 13th Europa bat research symposium.*

Trappman, C. Die Fransenfledermaus in der Westfallischen Bucht. Hfst. 6. Phänologie im Winterquartier 52- 73. Laurenti Verlag.

Tuttle, M.D., 1977. Gating as a means of protecting cavedwelling bats. Pp. 77-82 in *National Cave Management Sympos. Proc.*, 1976 (T. Aley and D. Rhodes, eds.), Speleobooks, Albuquerque, N.M.

Tuttle, M.D & J. Kennedy, 1977. Thermal Requirements During Hibernation. 77-82 in *Natl. Cave Management Sympos. Proc.*, 1976 (T. Aley and D. Rhodes, eds.), Speleobooks, Albuquerque, N.M.

Tuttle, M.D. & D. E. Stevenson, 1977. Variation in the Cave Environment and its Biological Implications

National Cave Management Symposium Proceedings, 1977 (R. Zuber, J. Chester, S. Gilbert and D. Rhodes, eds.), pp.108-121. Adobe Press, Albuquerque, NM.

Višňovská, Z, Zelinka J & Strug, K 2006. Spatial distribution of hibernating bats (Chiroptera) in relation to climatic conditions in the Demänovska ice cave (Slovakia). *Proceedings of the 2nd international workshop on ice caves, Demanovska Dolina.*

Webb, P.I., Speakman, J.R. & Racey, P.A. (1996). How hot is a hibernaculum? A review of the temperatures at which bats hibernate. *Can. J. Zool.* 74: 761 - 765.

Wermundsen, T. & Y. Siivonen, 2010. A comparison of the hibernation patterns of seven bat species in Estonia. *Lutra* 53: 51-62.

Wijngaarden, A. van, De natuurlijke luchtcirculatie in ondergrondse kalksteengroeven in Zuid-Limburg, RIVON-mededeling no. 258, 1962

Wojciechowski, M. S., Jefimow M, Tęgowska, E. 2006. Environmental conditions, rather than season, determine torpor use and temperature selection in large mouse-eared bats (*Myotis myotis*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*

Nota's:

Provinciale Waterstaat, 1966. Nota betreffende de betekenis van het Zonneberggangenstelsel in de St. Pietersberg

Hanekamp, G. ,1983. Nota betreffende de betekenis van het Zonneberggangenstelsel in de St. Pietersberg te Maastricht voor overwinterende vleermuizen. RIN

BIJLAGEN

Bijlage 1: Resultaten vleermuistellingen

Bijlage 2: Anabats resultaten

Bijlage 3: Cultuurhistorische inventarisatie achter A en B muren

Bijlage digitaal:

Bijlage A: Resultaten vleermuistellingen per jaar (Kaart A1-A4)

Bijlage B: Resultaten vleermuistellingen per vleermuissoort (Kaart B1-B12)

Bijlage C: Dichtheidskaarten wintertellingen per vleermuissoort (Kaart C1-C12)

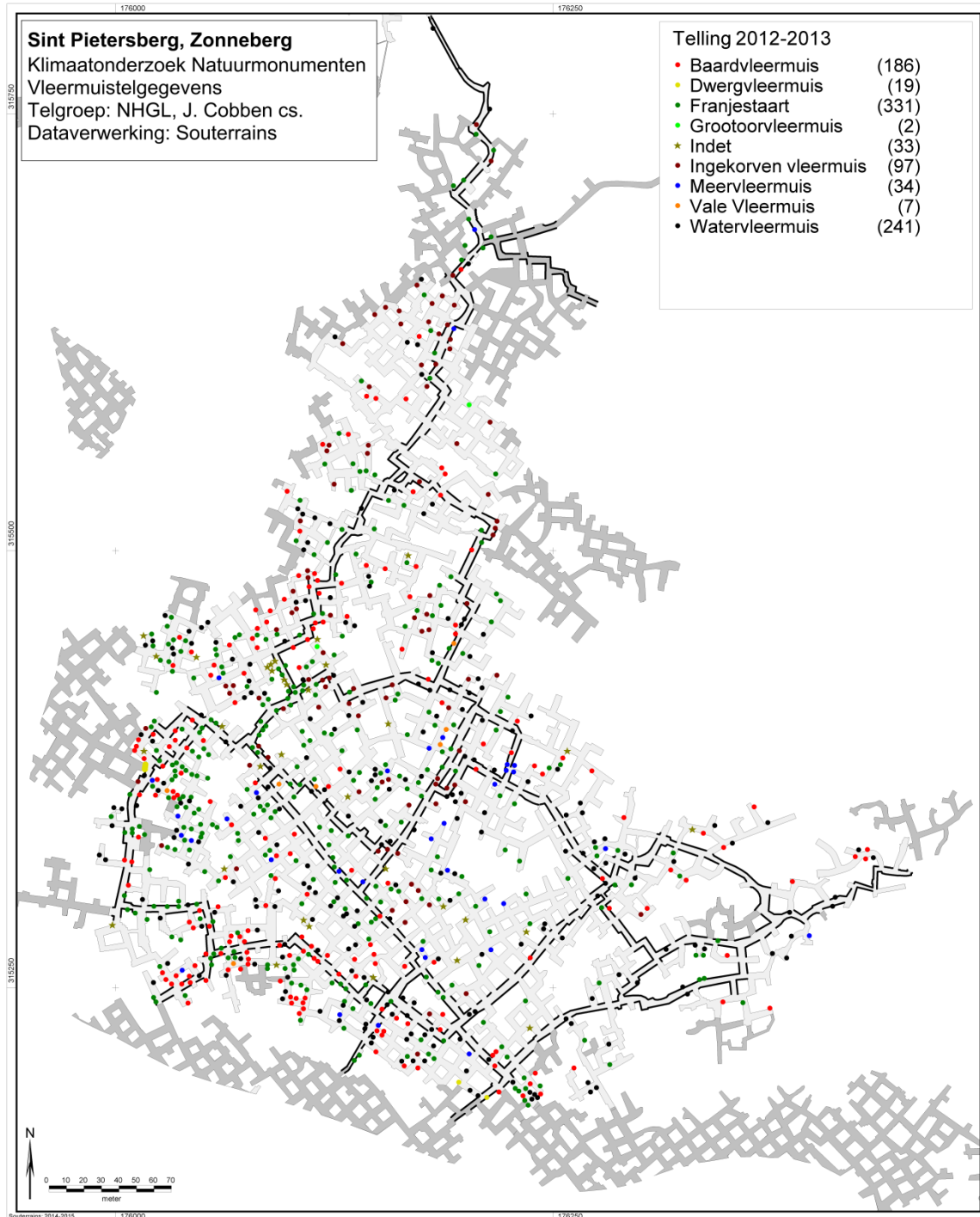
Bijlage D: Dichtheidskaarten winterverplaatsingen per soort (Kaart D1-D10)

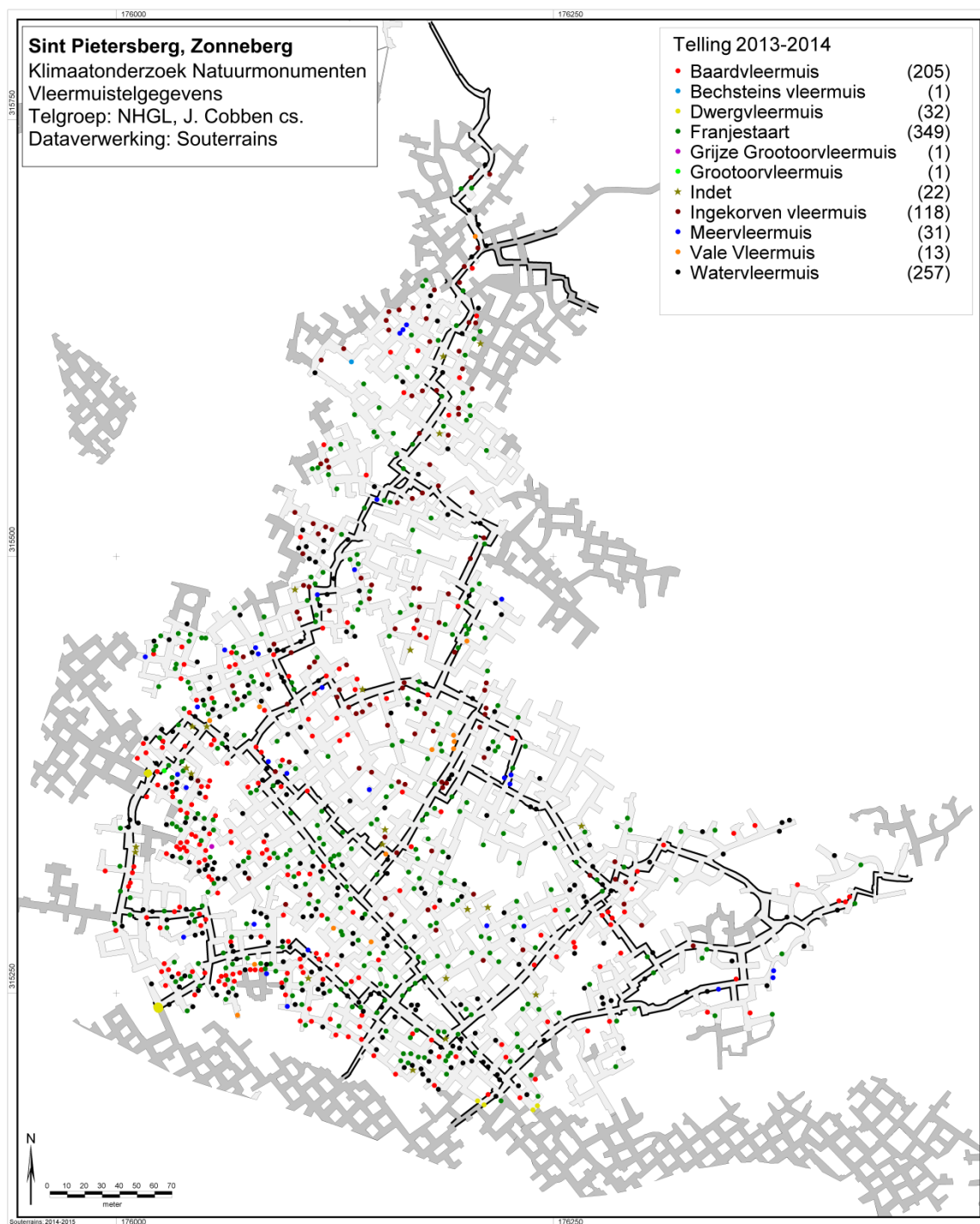
Bijlage E: Dichtheidskaarten per soort in relatie tot klimaatzone (Kaart E1-E12)

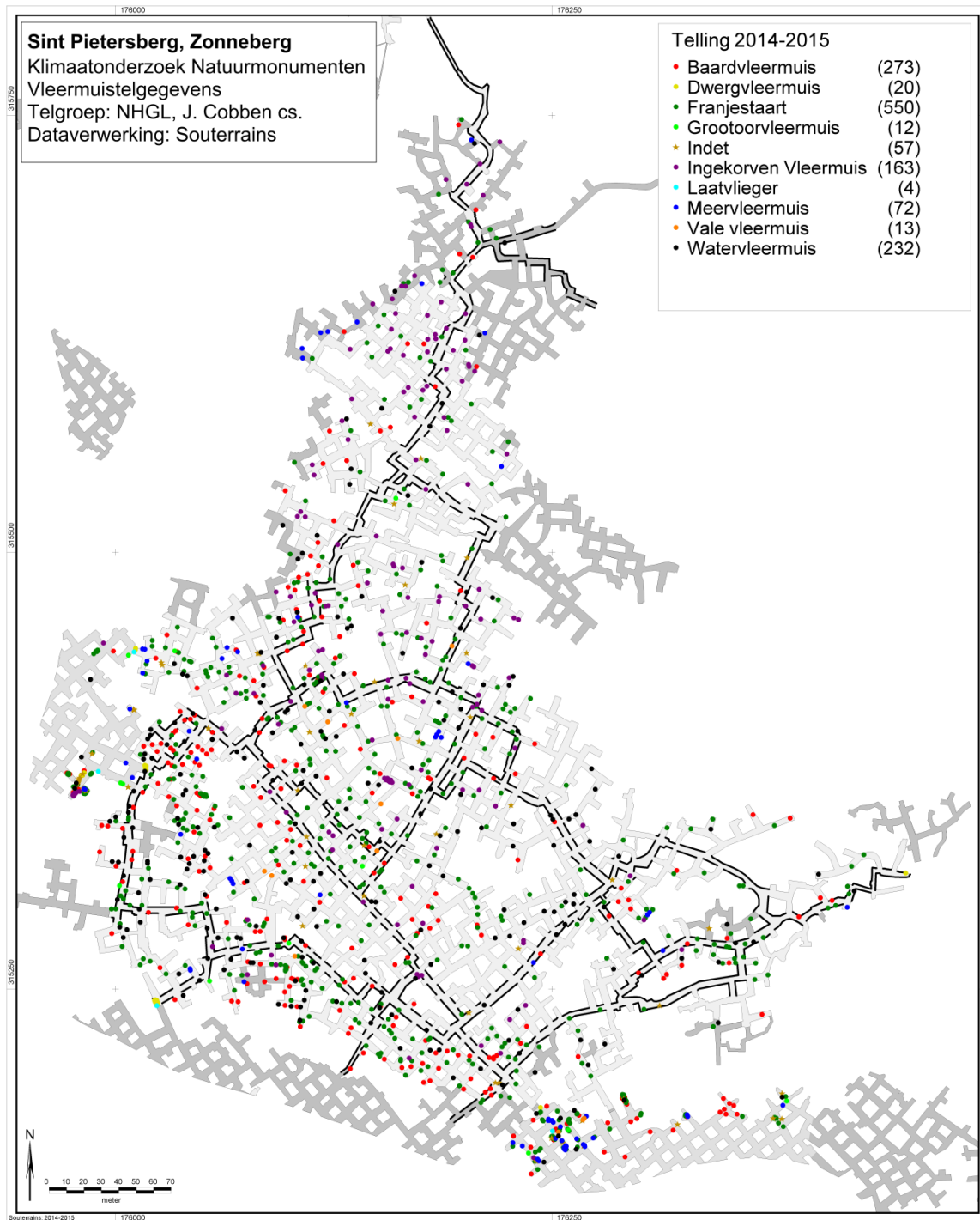
Bijlage F: Dichtheidskaarten per soort in relatie tot VVV per soort (Kaart F1-F12)

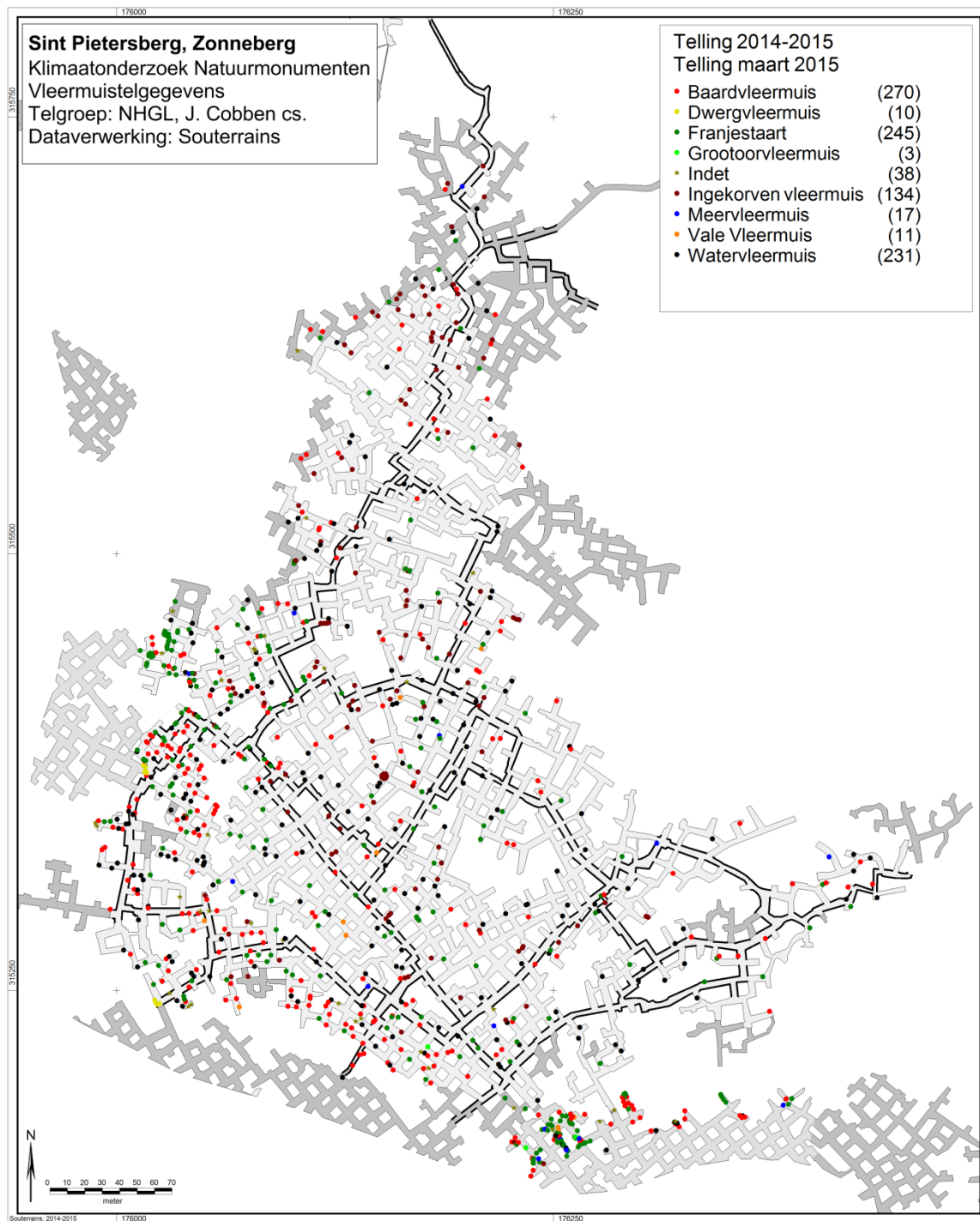
Bijlage G: Dichtheidskaarten per soort in relatie tot RRB per soort (Kaart G1-G12)

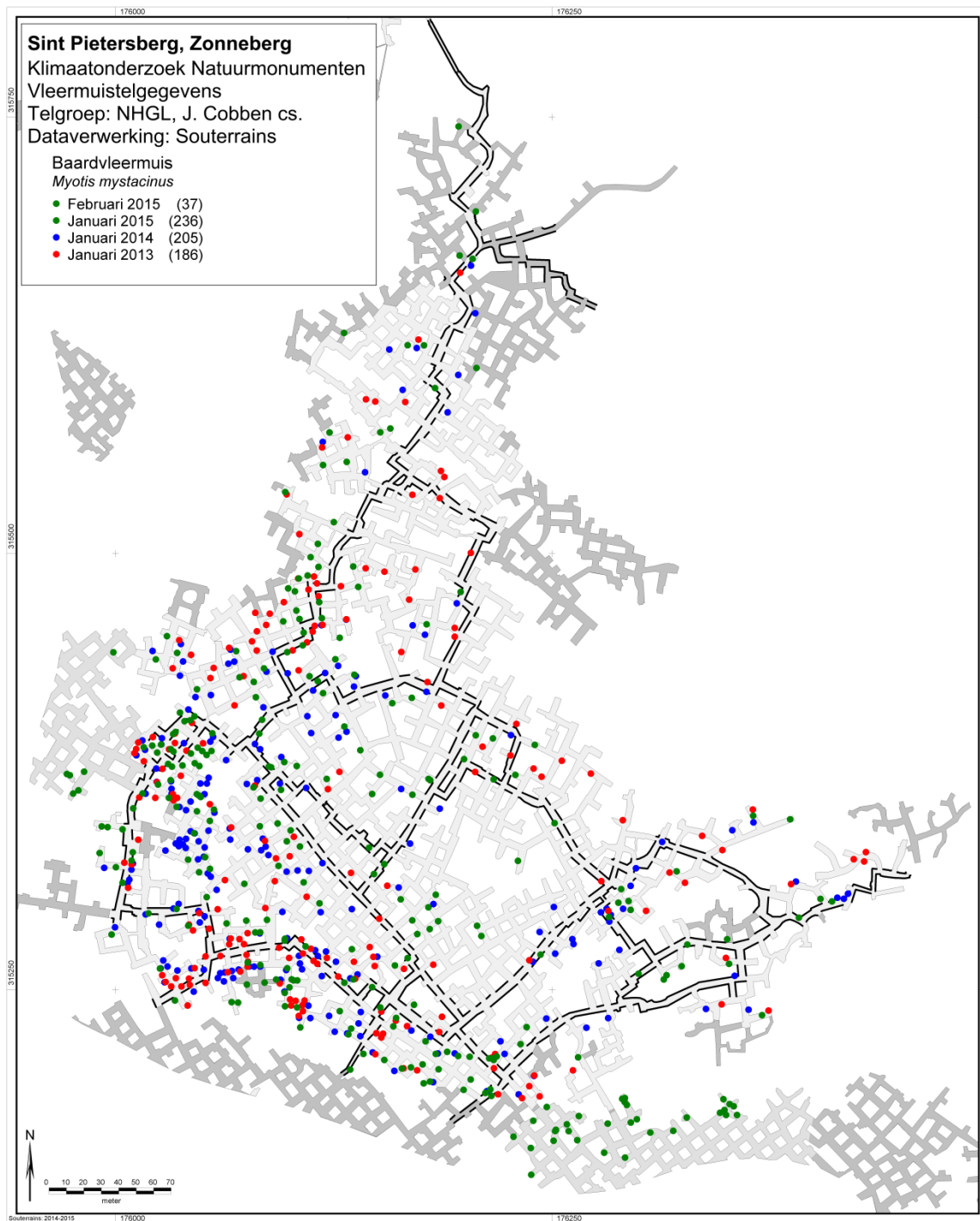
Bijlage 1: Resultaten vleermuistellingen

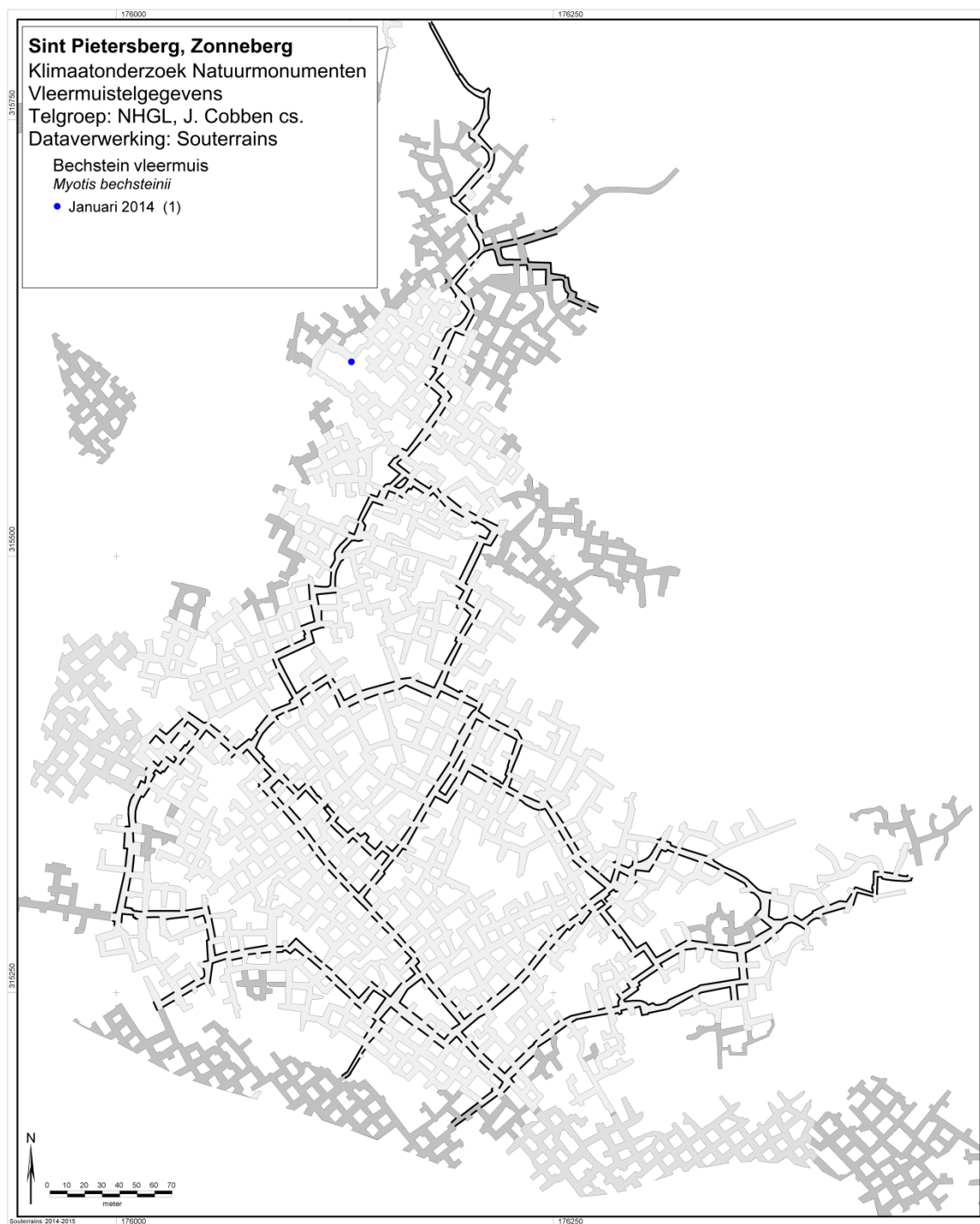


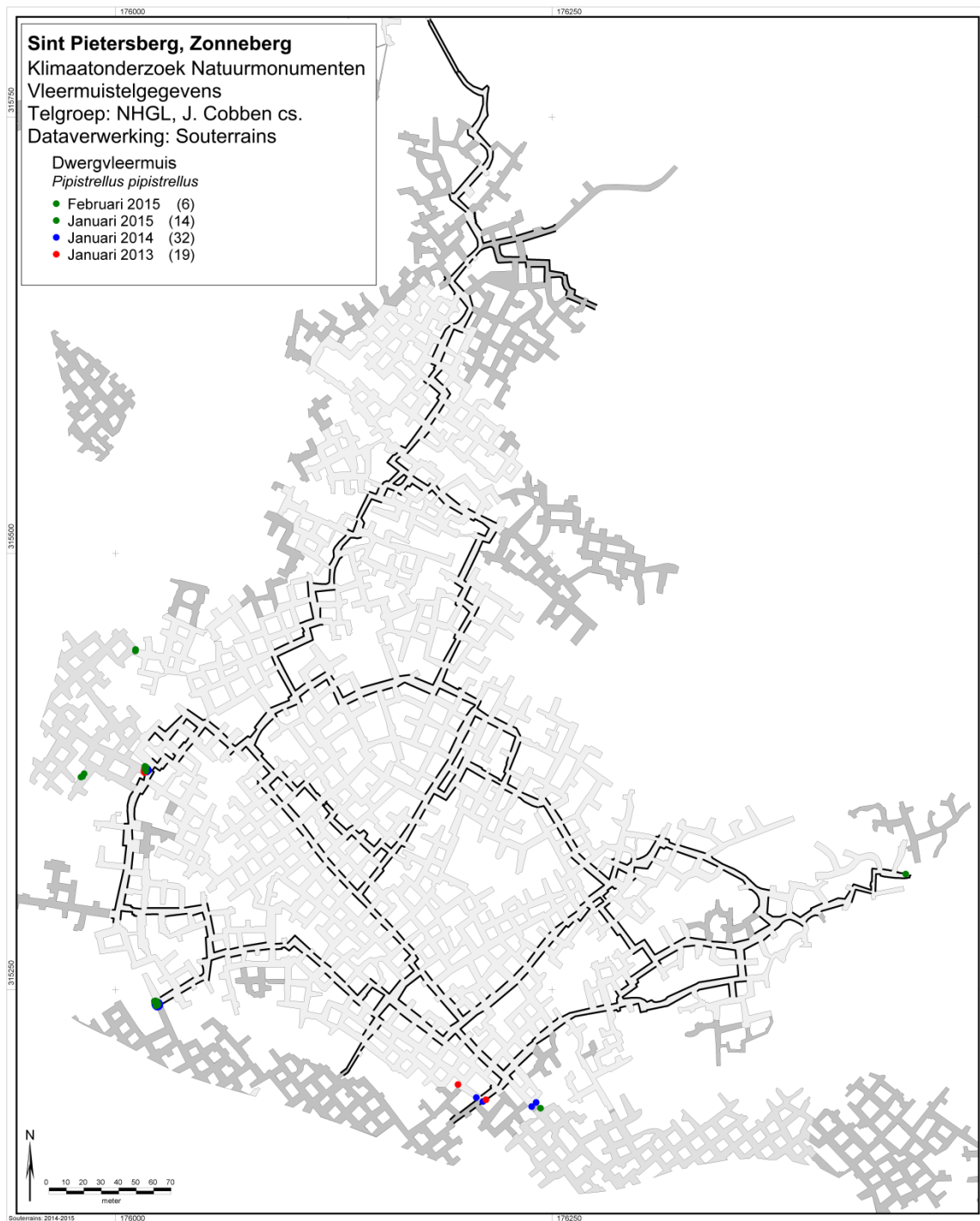


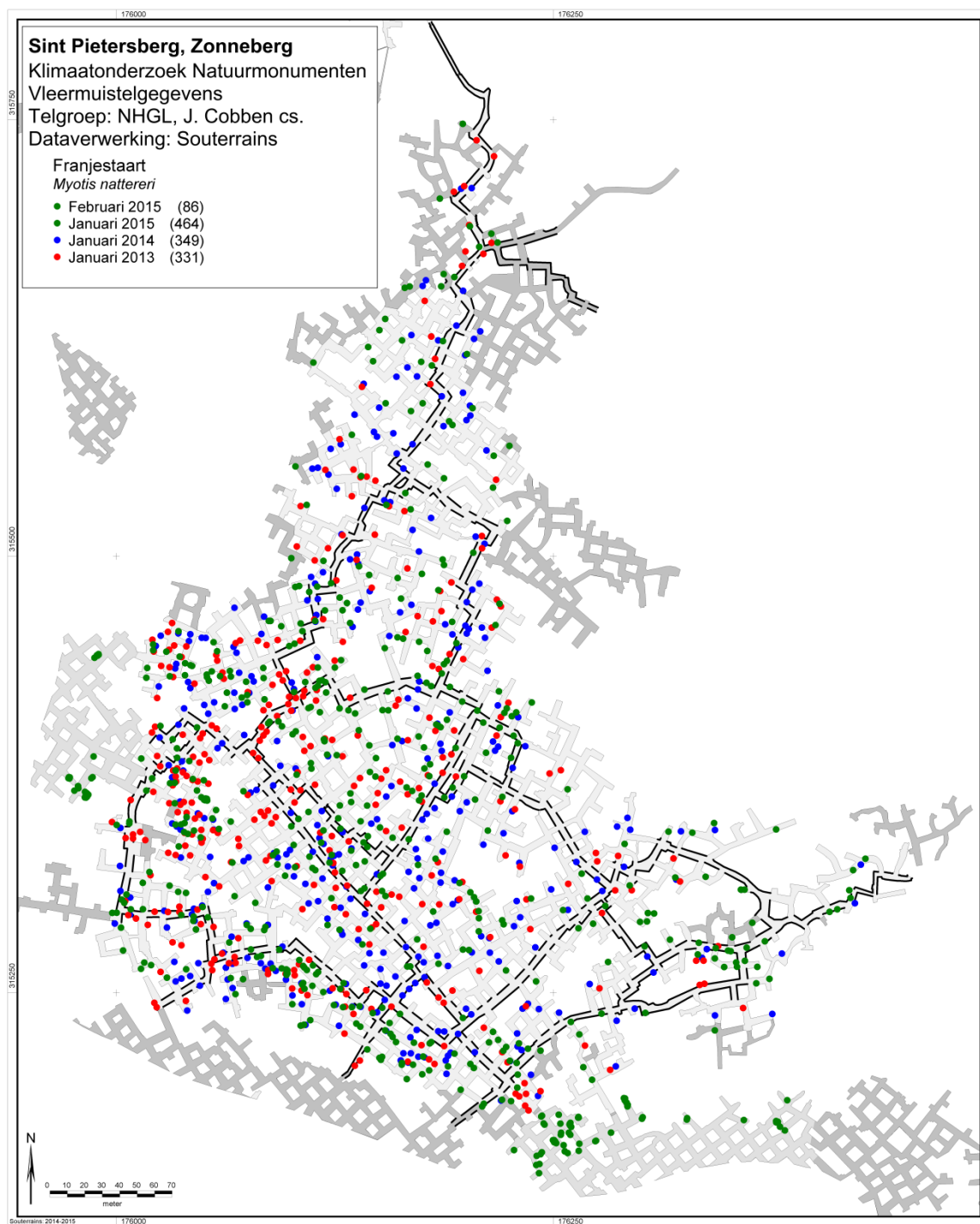


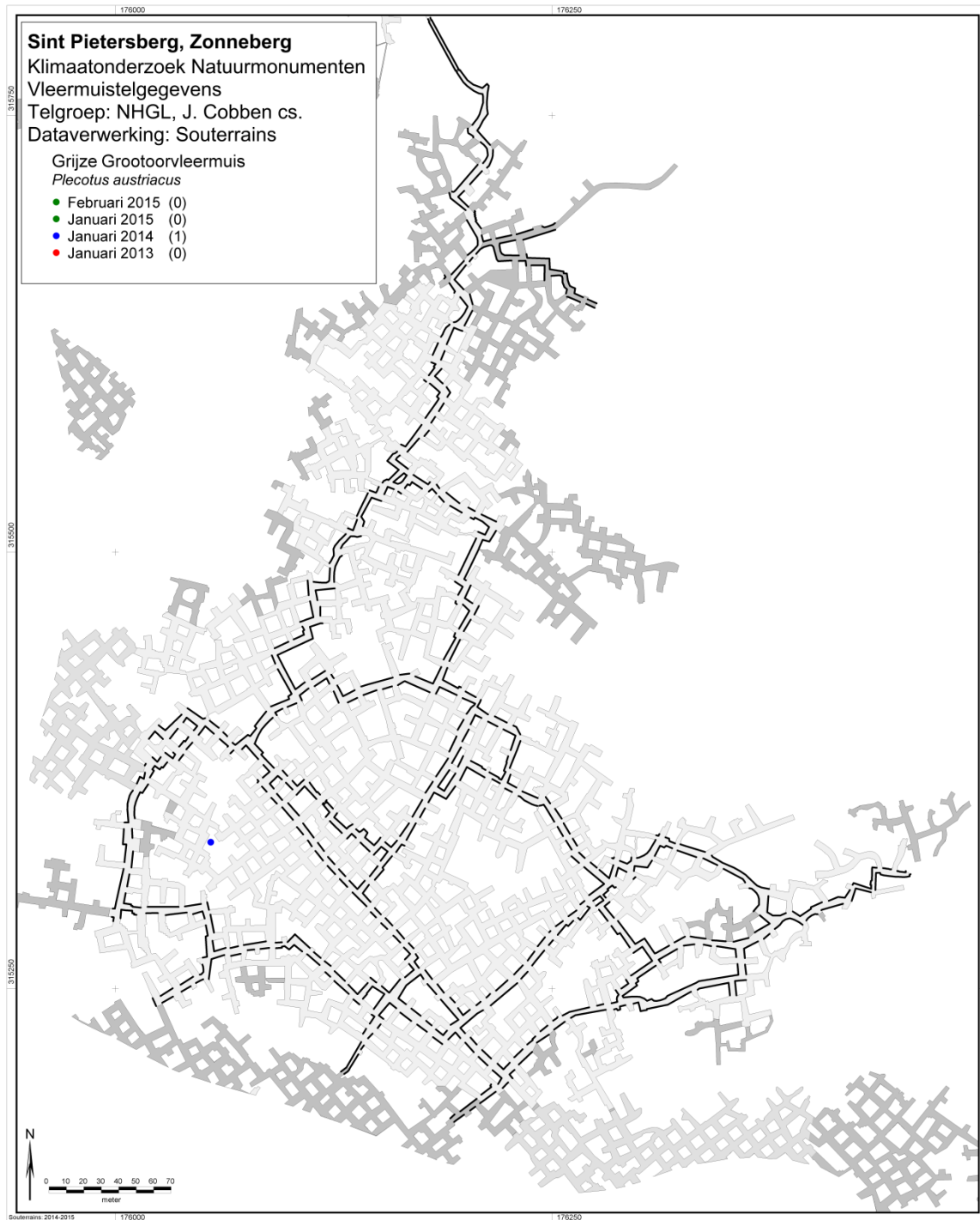


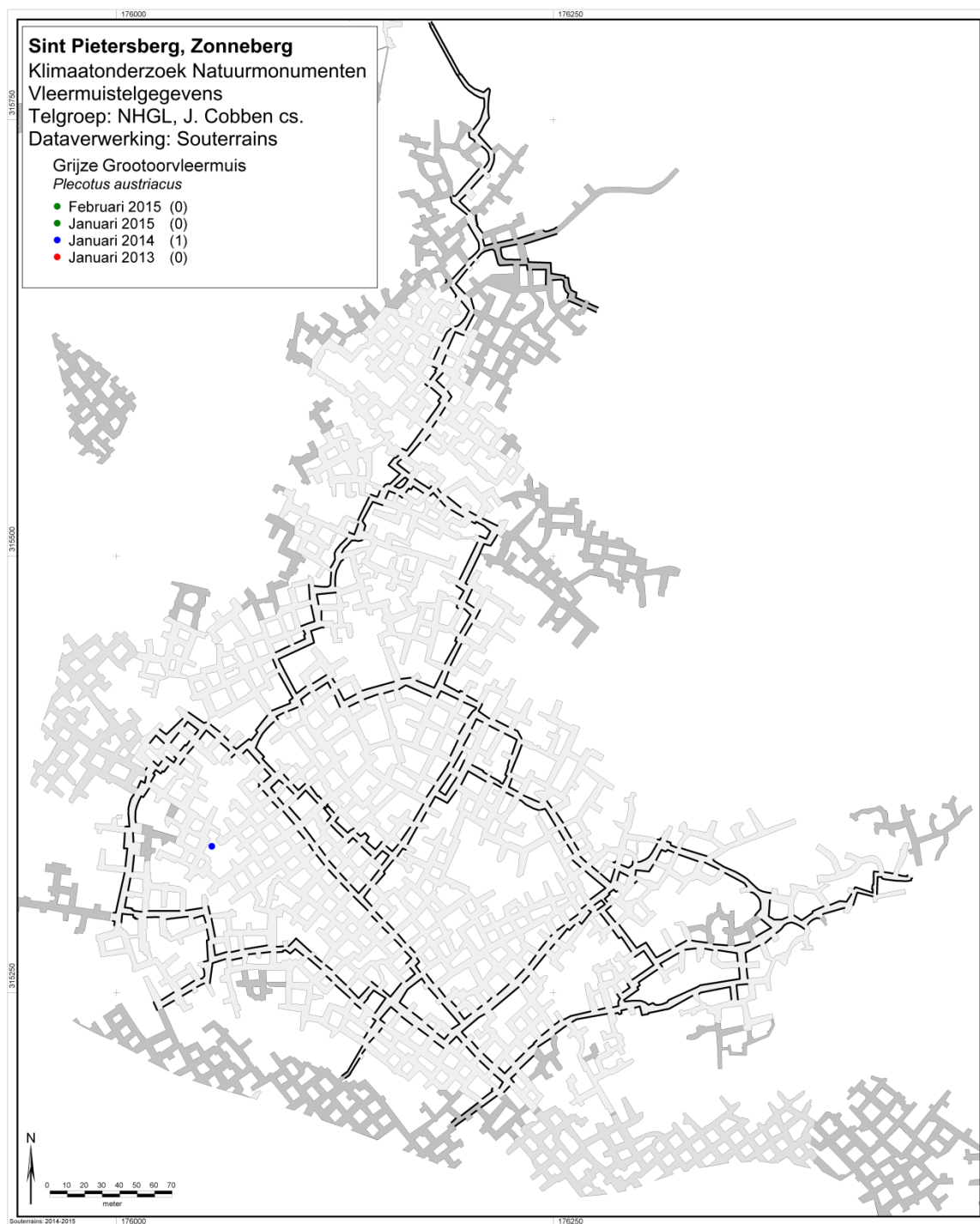


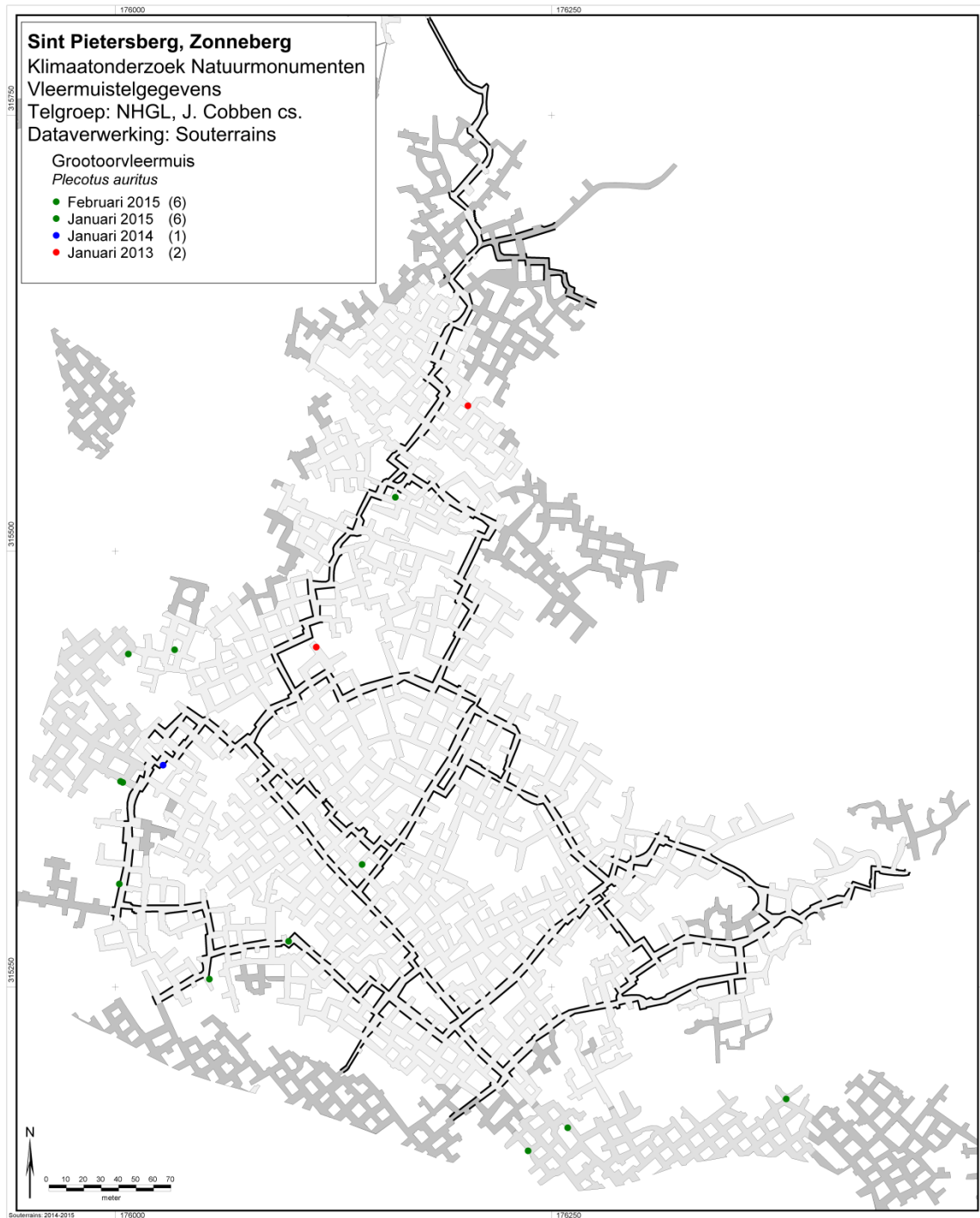


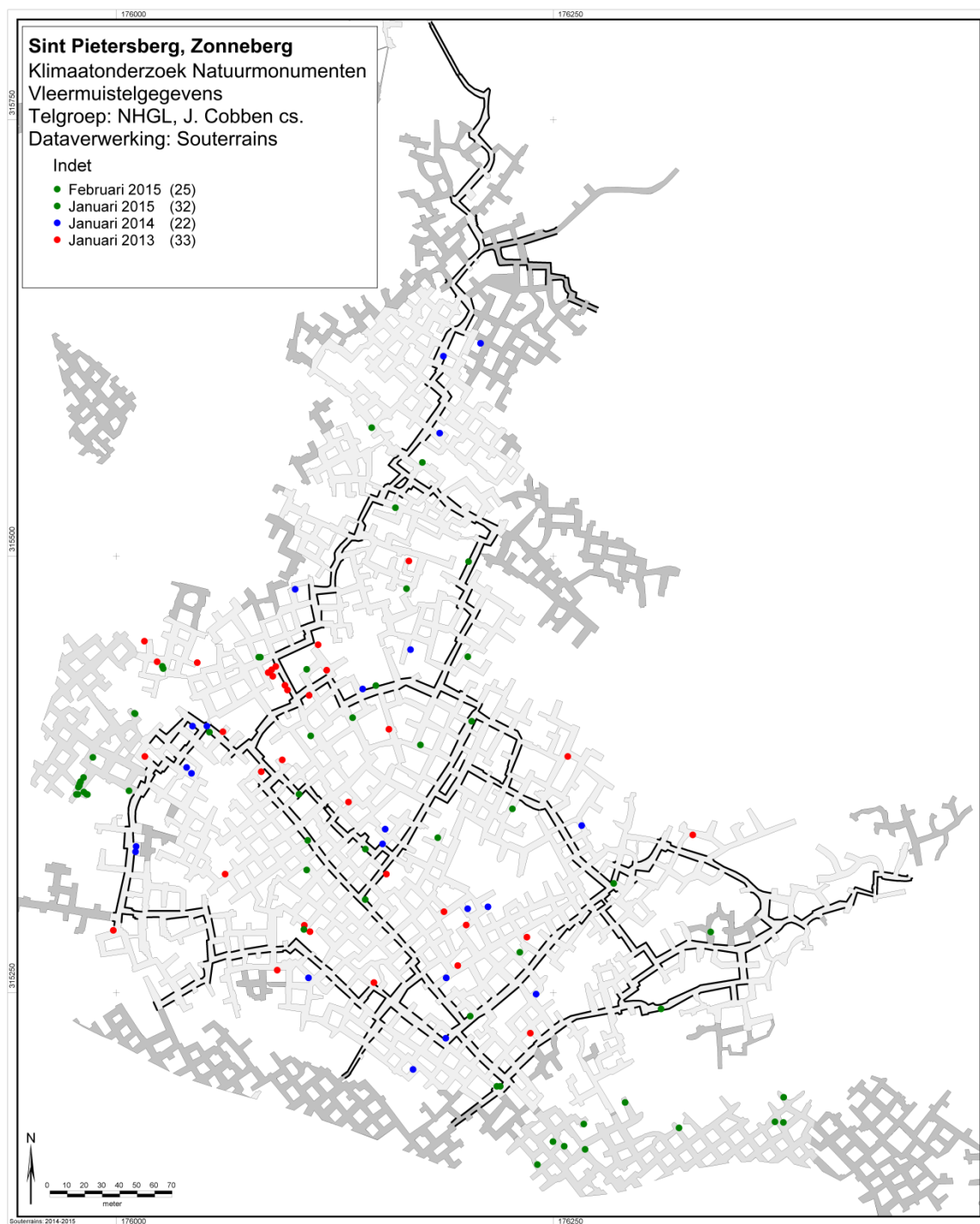


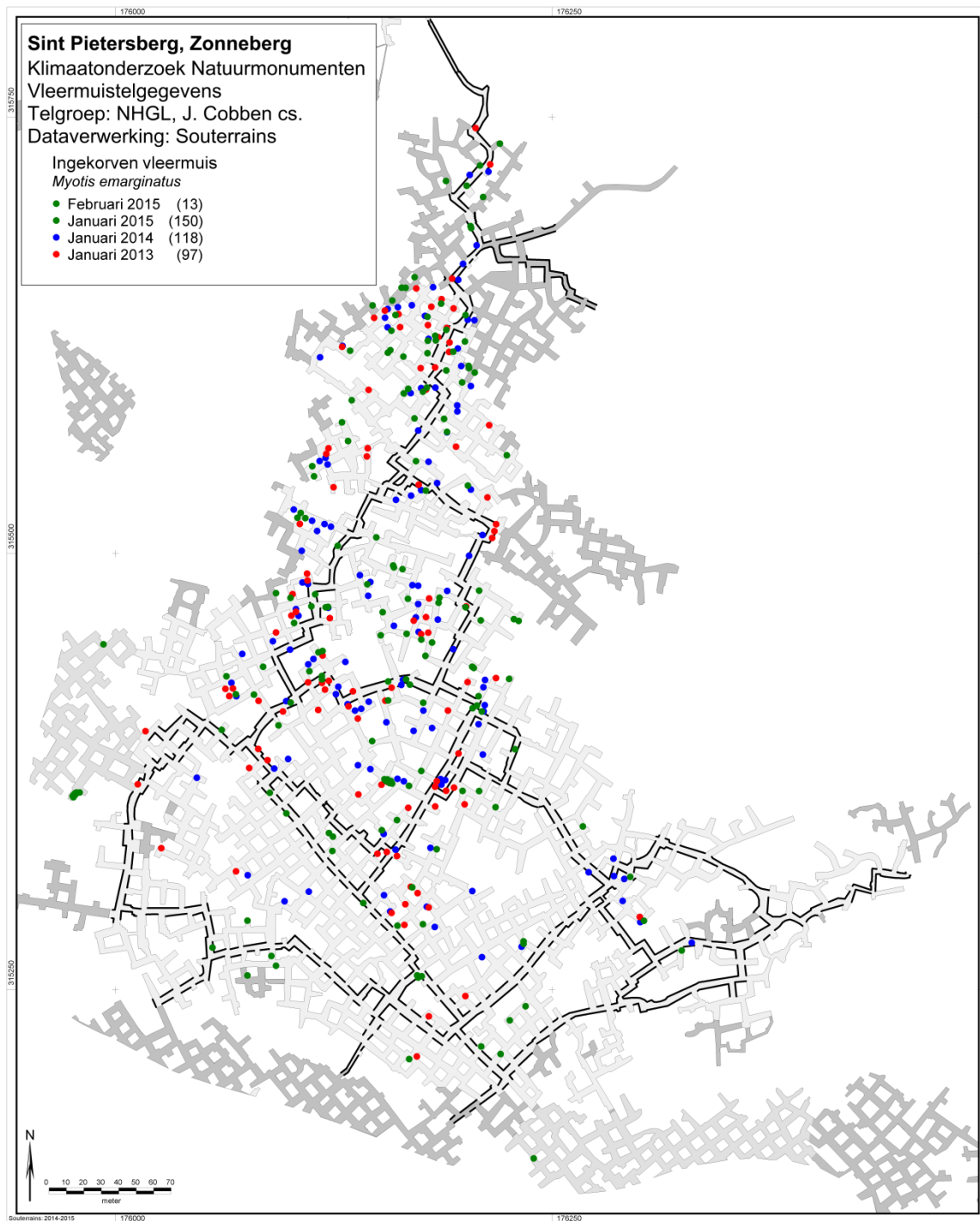


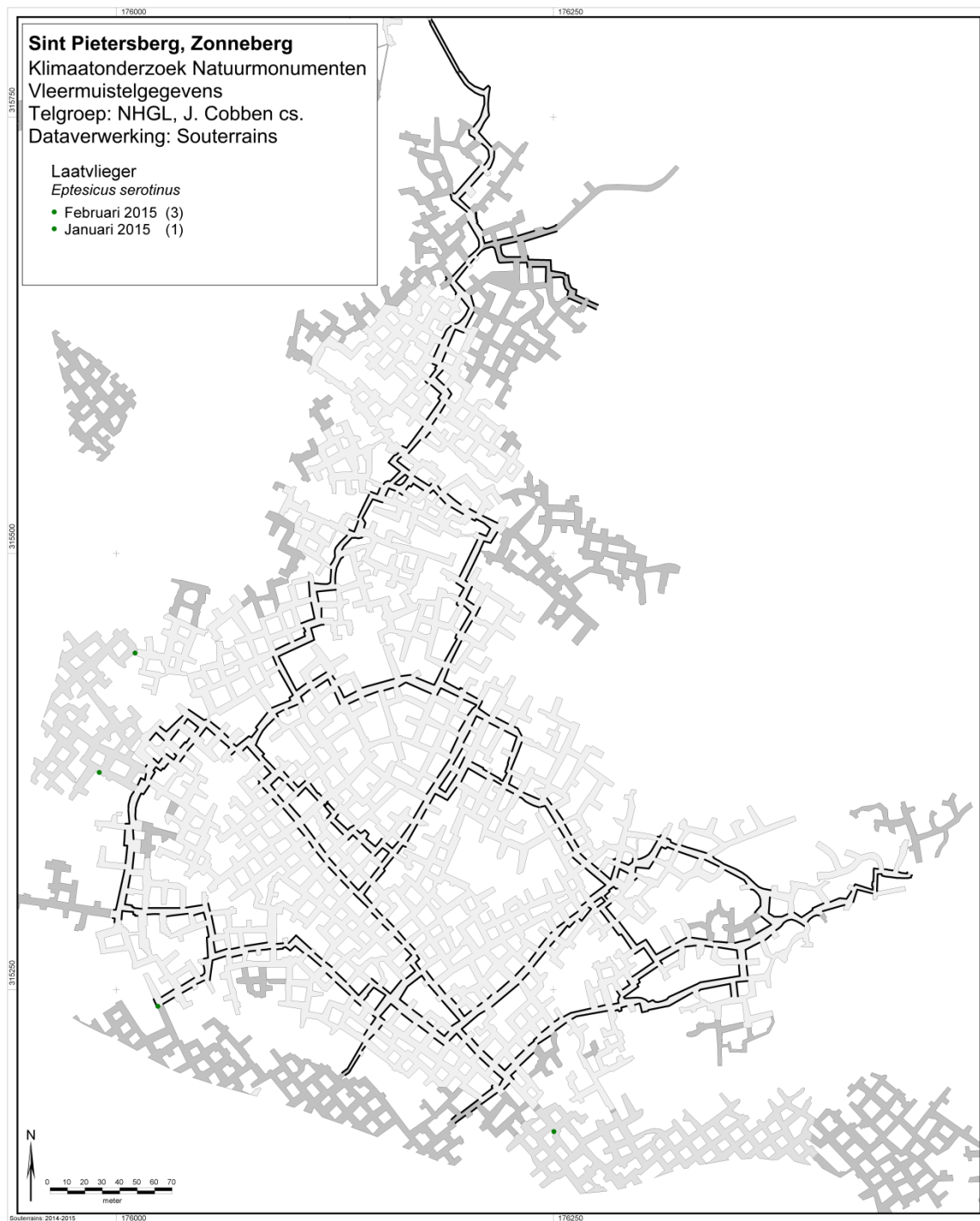


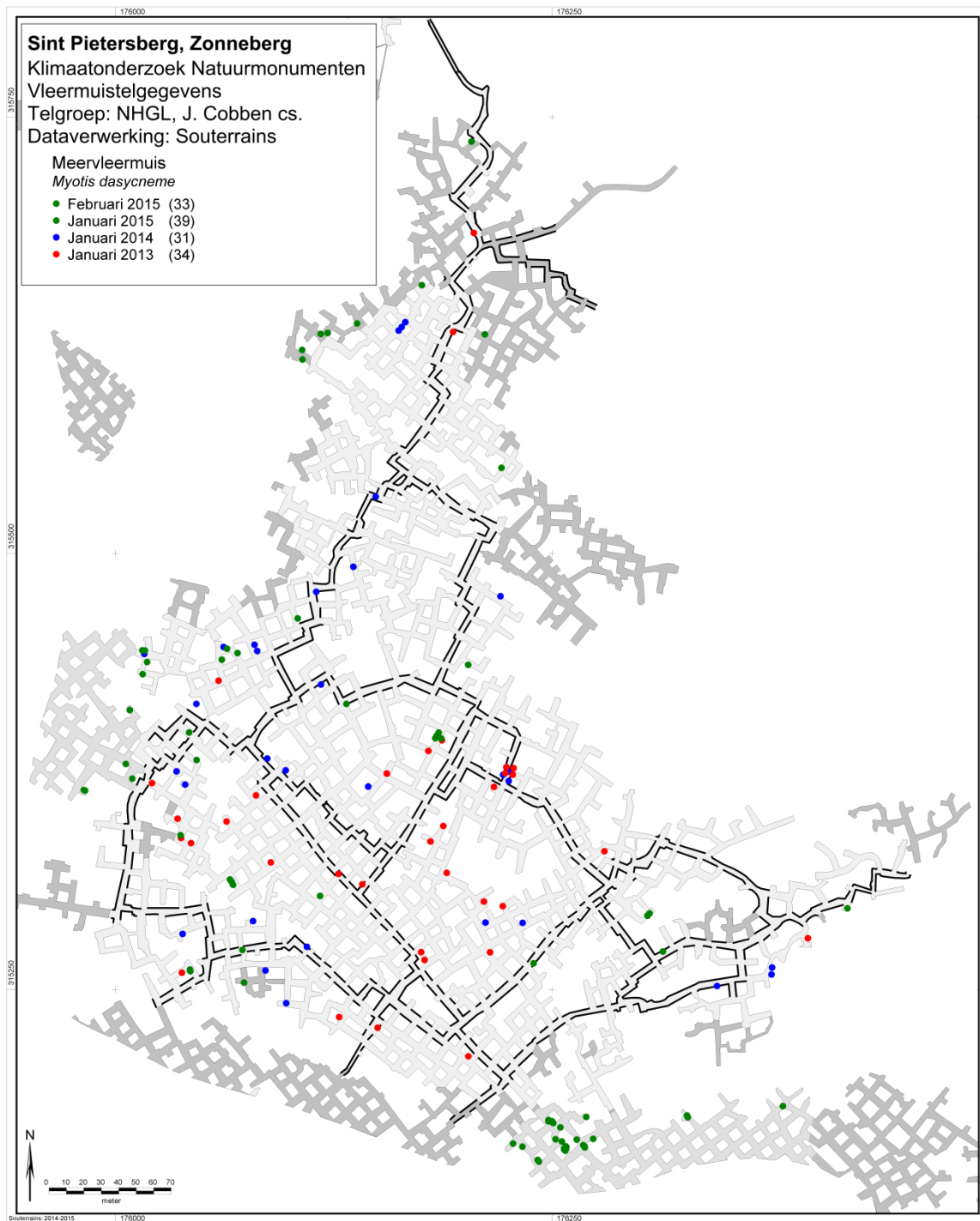


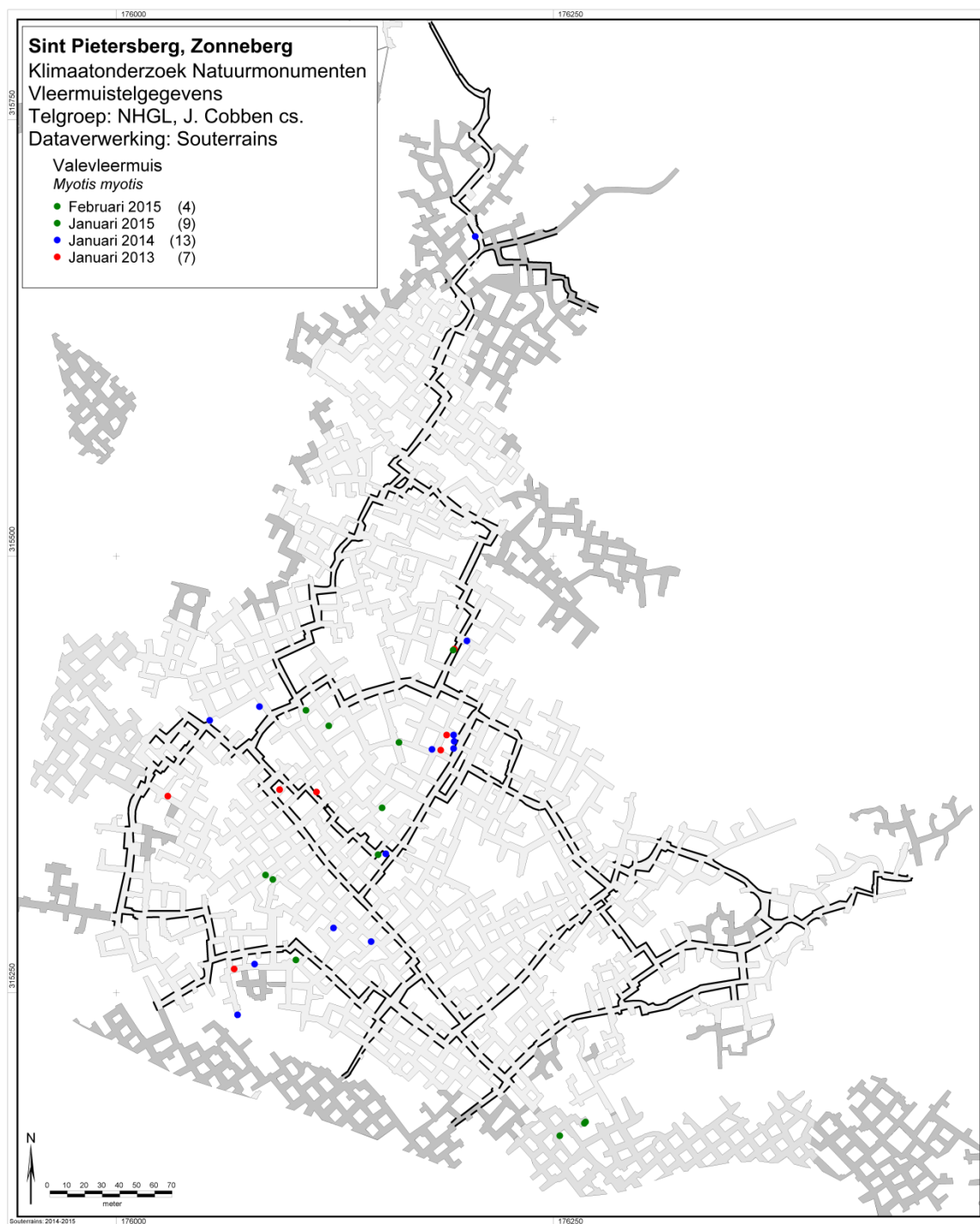


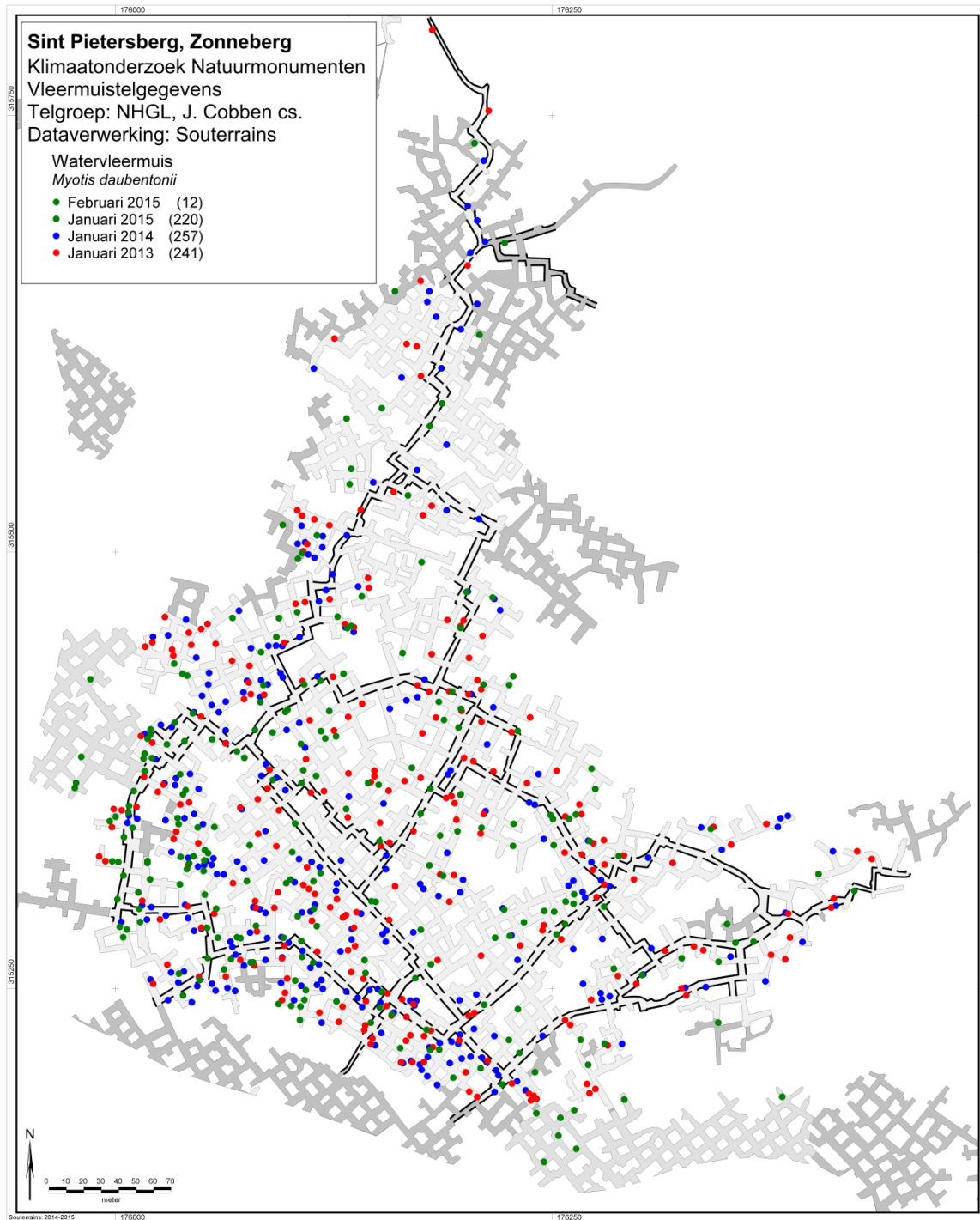




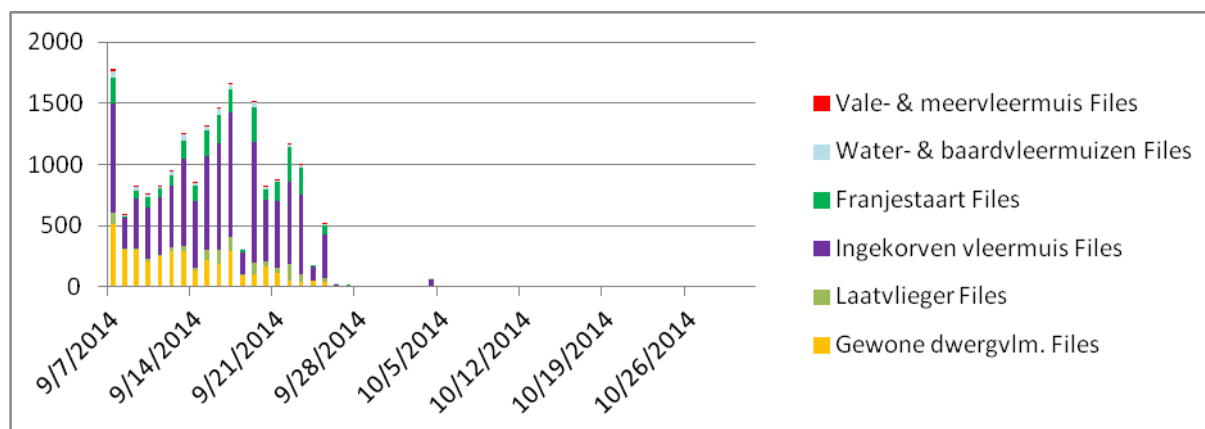




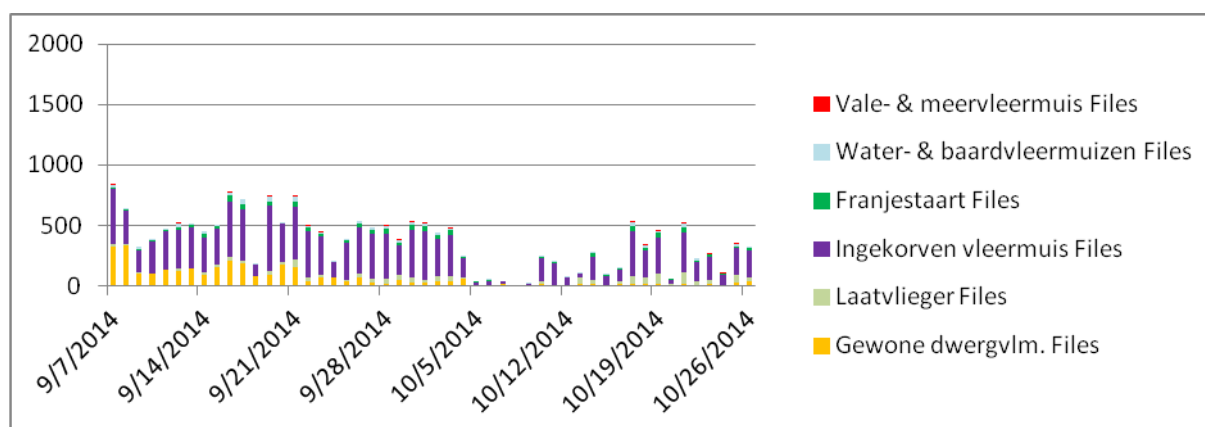




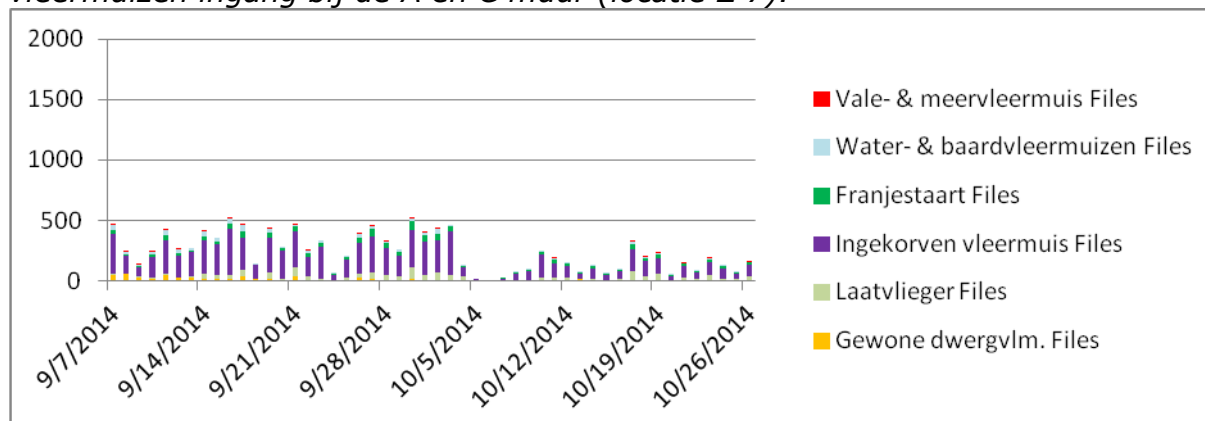
Bijlage 2: Anabats resultaten



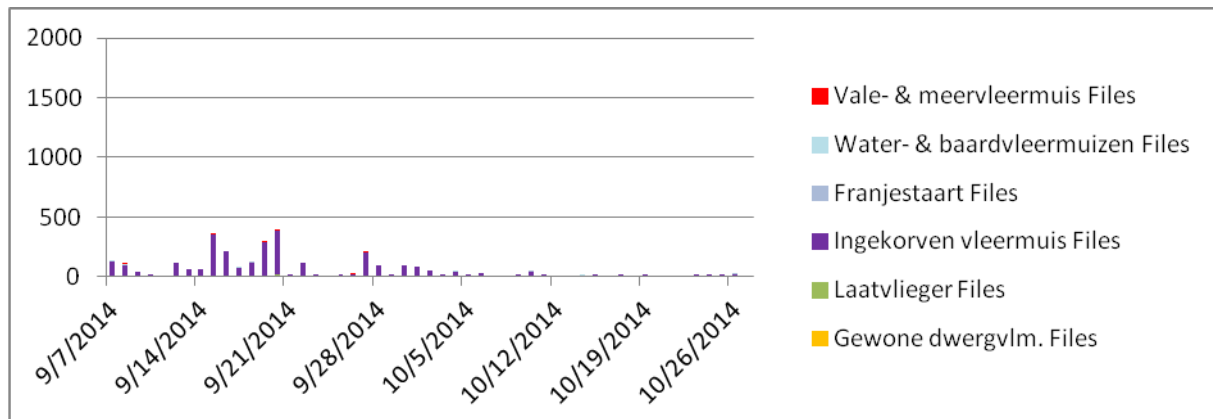
Figuur 1: Gemeten akoutische activiteit (dag+nacht) nabij de vleermuizen ingang bij de G muur (locatie Z 4): Unit uitgevallen na 28-9 2014



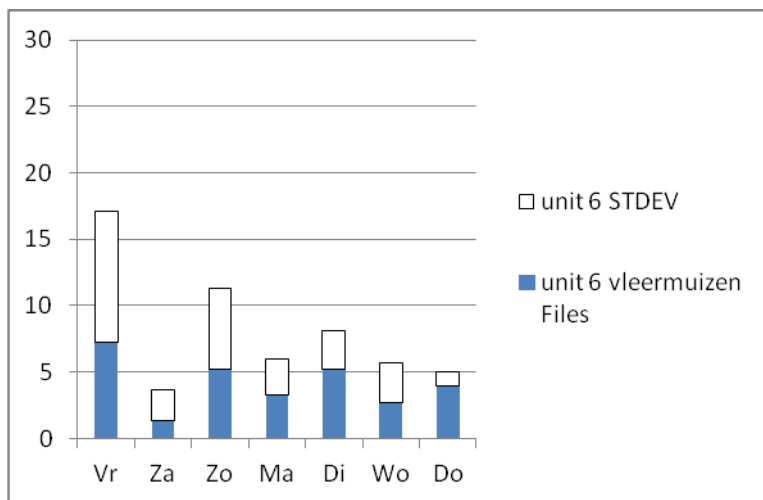
Figuur 2: Gemeten dagelijkse akoutische activiteit (dag+nacht), nabij de vleermuizen ingang bij de A en C muur (locatie Z 7).



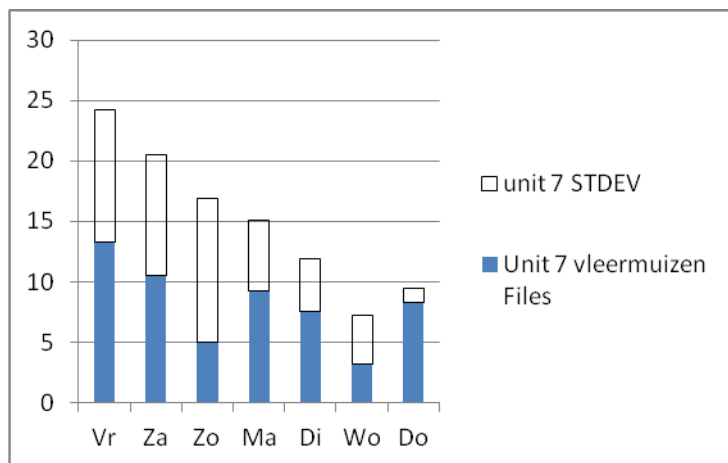
Figuur 3: Gemeten akoutische activiteit (dag+nacht), in het stille middendeel (locatie Z 8).



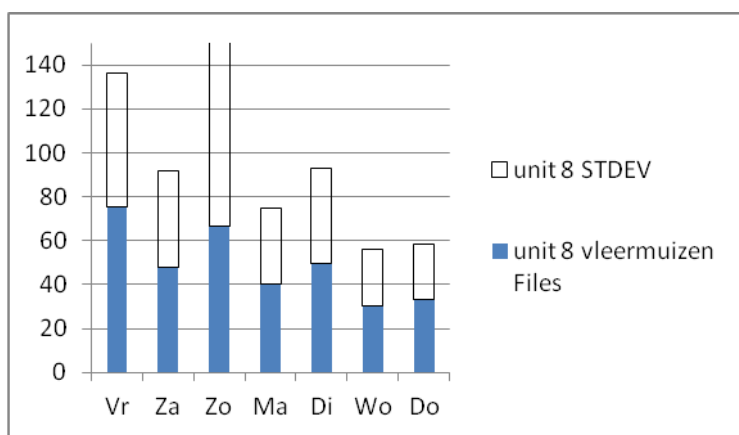
Figuur 4: Gemeten akoutische activiteit (dag+nacht), nabij de hoofdingang aan de oostzijde (locatie Z 6).



=13vlm/1000m2

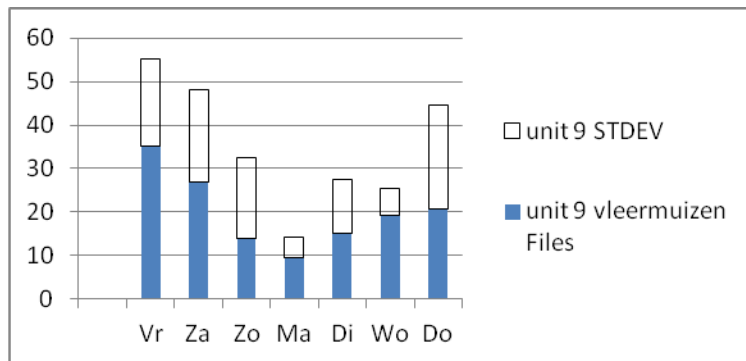


= 13 vlm/1000m2

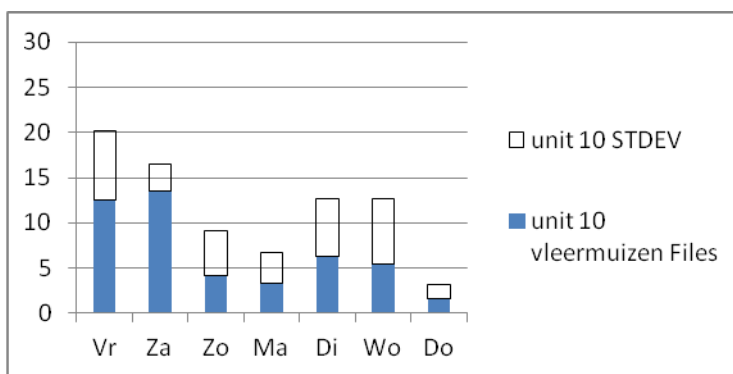


=130 vlm/1000m2

Figuur 5: Gemiddelde activiteit per nachtdag in de periode 6-3 2015 tot 1-4 2015 voor 3 recorders in de "stille" zones.



= 83vlm/1000m2

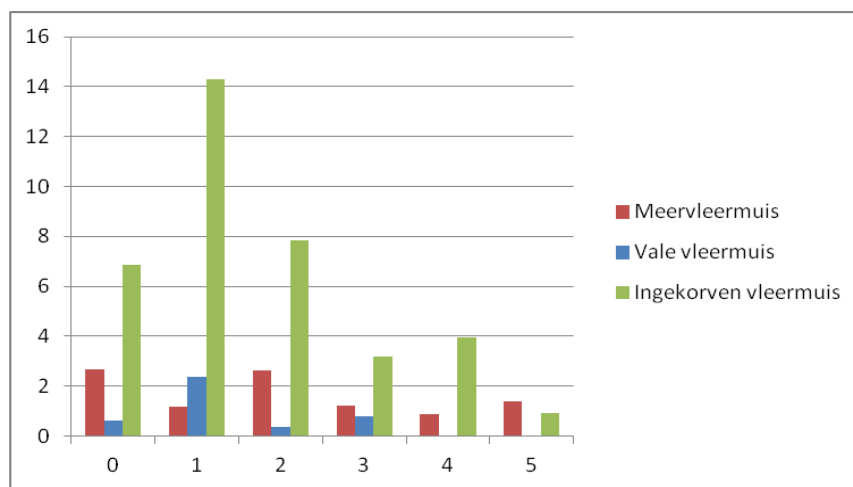


=vlm/1000m2

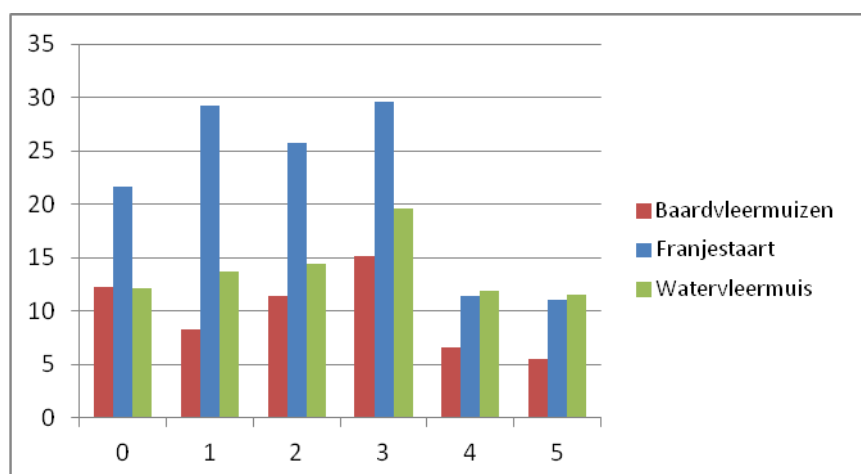
Figuur 6: Gemiddelde activiteit per nachtdag in de periode 6-3 2015 tot 1-4 2015 voor 2 recorders in/bij de toeristenzone.

Unit 6: Onbelopen/ bergloper trefpunt, klimaat zone 5= Statisch
 Unit 7: Belopen intensiteit 1, klimaatzone 5= Statisch
 Unit 8: Onbelopen; klimaat zone 4= Dynamisch statisch
 Unit 10: Onbelopen?; vlakbij intensiteit 4, zone 3= Statisch dynamisch
 Unit 9: Onbelopen?; vlakbij intensiteit 4, zone 1= Dynamisch droog

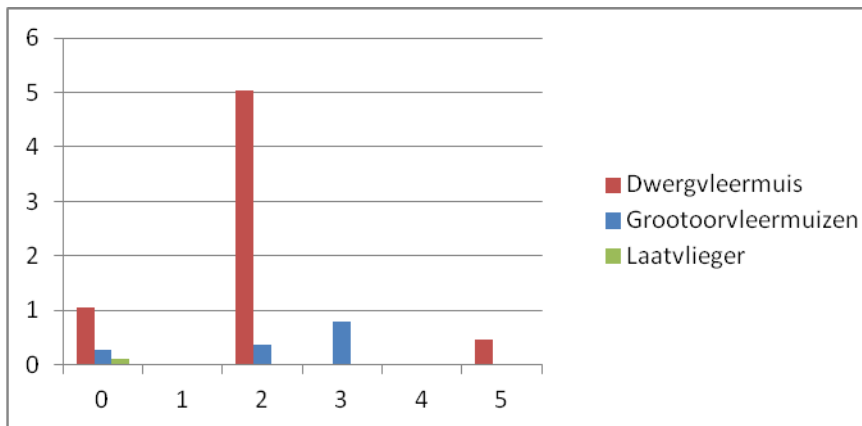
Klimaatzone	Dynamiek	
AB	Zeer dynamisch	34
1	Dynamisch droog	8
2	Dynamisch	29
4	Dynamisch-Statisch	33
3	Statisch-Dynamisch	13
5	Statisch	8



Figuur 7: Dichtheid (per 1000m2 gangoppervlakte) aan overwinterende meervleermuizen, vale vleermuizen en ingekorven bij toenemendegebruikersintensiteit door de VVV (van 0 naar schaal 5)



Figuur 8: Dichtheid (per 1000m2 gangoppervlakte) aan overwinterende baardvleermuizen, franjestaarten en watervleermuizen per 1000m2 gangoppervlakte bij toenemende gebruiksintensiteit.

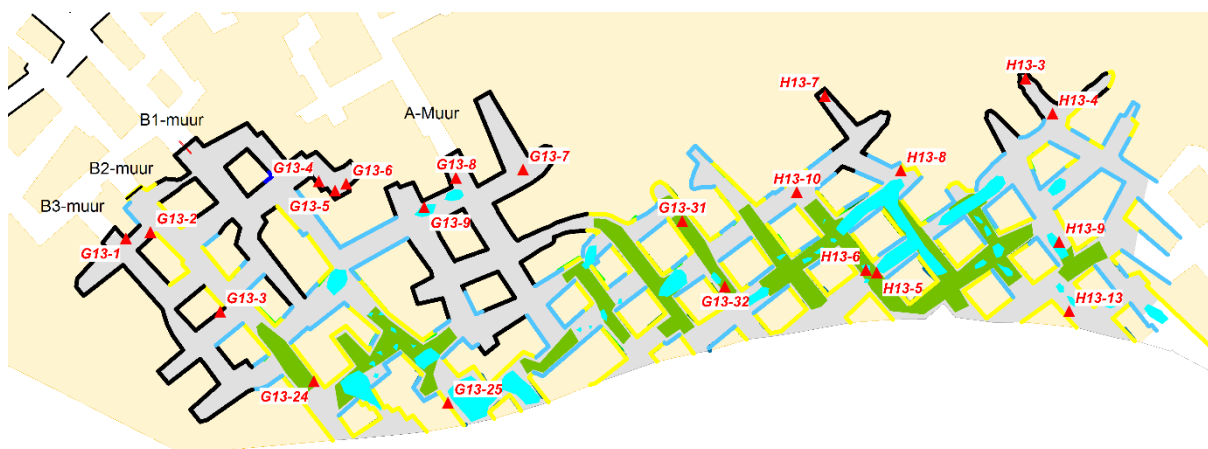


Figuur 9: Dichtheid (per 1000m² gangoppervlakte) aan overwinterende dwergvleermuizen, grootoorvleermuizen en laatvliegers per 1000m² gangoppervlakte bij toenemende gebruiksintensiteit (0 = géén gebruik, 5 = intensit gebruik).

Bijlage 3: Cultuurhistorische inventarisatie achter A en B muren.

Vergelijking opschriften verleden en heden.

Om te zien wat het effect is van ruim 30 jaar blootstelling aan daglicht en klimaatinvloeden, zijn in het gebied achter de A en B muren enkele opschriften bezocht die in de inventarisatie van Jan Spee uit de jaren 70 voorkomen. Deze inventarisatie bevat foto's van opschriften, gangen maar ook overtekeningen van afbeeldingen die uit het archief van Dielis komen.



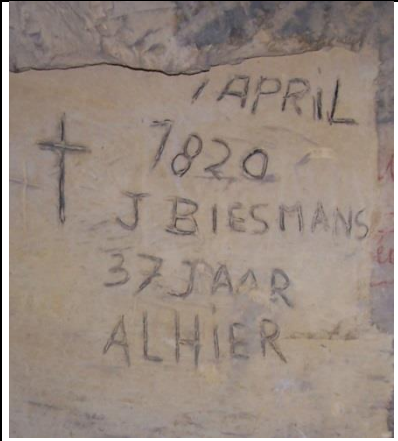
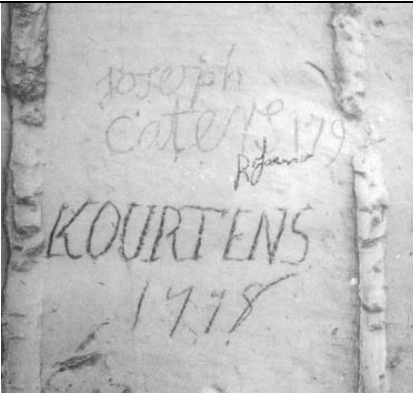
Legenda:

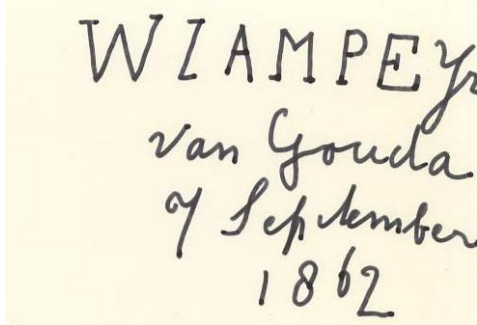
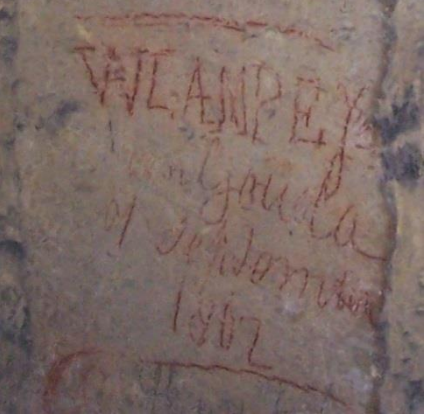
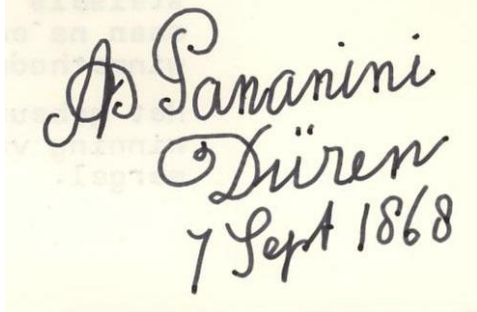
- Groen: Algengroei
- Fel-blauw: Vorstschade
- Zwart: Donker
- Blauw: Indirect licht
- Geel: Direct licht
- Rode driehoekjes: Geanalyseerde structuren

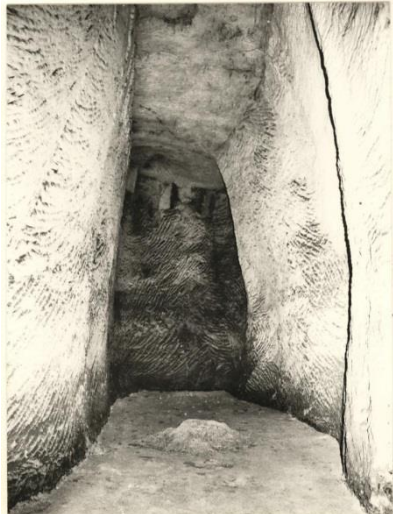
De inventarisatie heeft tijdens drie bezoeken plaats gevonden:

- 8 februari 2015: H13-13
- 23 mei 2015: G13-01, 02, 04, 05, 06 en 07, 13
- 22 juni 2015: G13-03, G13-08, G13-09, G13-024, G13-025, G13-031, G13-032, H13-03, H13-04, H13-05, H13-06, H13-07, H13-08, H13-09, H13-10

Het onderzoek is uitgevoerd door het W. Kneepkens, H. Ogg en J. Orbons.

Beschrijving	Jan Spee	maart 2015
G13-01 Deze in zwart nagetrokken inkrassing staat in het donkere deel van de groeve waar geen vorst of algengroei is en is nauwelijks aangetast. Er is een klein beetje vergrijzing door het stof in de gangen.		
G13-02 Dit opschrift staat in het donkere deel van de groeve waar geen vorst of algengroei is en is nauwelijks aangetast. Er is redelijk veel vergrijzing bij dit opschrift door het extra stof in de gangen.		
G13-03 Dit opschrift is in goede staat met minimale vergrijzing. Dit opschrift ligt in het donkere deel maar net op de grens van het indirecte licht.		
G13-04 Dit opschrift staat in het donkere deel van de groeve waar geen vorst of algengroei is en is nauwelijks aangetast, slechts een lichte vergrijzing. De enige aantasting zijn de recente doorkrassingen als gevolg van het vele bezoek door vandalen.		

G13-05 Dit opschrift staat in het donkere deel van de groeve waar geen vorst of algengroei is en is nauwelijks aangetast, hooguit lichte vergrijzing door het stof in de gangen. Omdat geen foto bekend is van dit opschrift van voor de opening, is een goede vergelijking niet mogelijk. Omdat het opschrift in goede staat is, mag aangenomen worden dat de aantasting minimaal is. Omdat er geen foto uit het verleden is van dit opschrift is een exacte vergelijking niet mogelijk.		
G13-06 Dit opschrift staat in het donkere deel van de groeve waar geen vorst of algengroei is en is nauwelijks aangetast hooguit lichte vergrijzing door het aanwezige stof. . Omdat geen foto bekend is van dit opschrift van voor de opening, is een goede vergelijking niet mogelijk. Omdat het opschrift in goede staat is, mag aangenomen worden dat de aantasting minimaal is.		

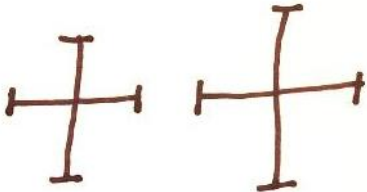
G13-07 Deze gang is volgens deze foto's niet veranderd. markant zichtbare structuren op de achterwand die resten zijn van de blokbrekersactiviteiten, zijn in beide foto's nog goed herkenbaar.		
G13-08 Dit betreft een diepe inkrassing in een donker deel van de groeve. Er lijkt geen aantasting te zijn maar een goede foto uit het verleden is niet aanwezig. De foto van 2015 laat een goede driehoek zien die duidelijk minder spits is dan de tekening.		
G13-09 Idem, zie G13-08		

G13-24 Deze opschriften zijn niet terug gevonden. De hele wand is bedekt met verdroogde algen. Enkel inkrassingen zijn nog herkenbaar maar de enige inkrassingen zijn recente inkrassingen van bijvoorbeeld de IBL uit de jaren 90. Maar ook deze inkrassing is al zwaar aangetast door de algen. Oudere opschriften en kleine inkrassingen zullen daarom geheel verdwenen zijn.	namen ENGELBERTUS VANDER ELST LICENTIAET VAN LOVEN DEN 9 MEY 1775 Jacobus Steller Zalrave In deze gang was een muur met een deur.	
G13-25 Deze hele wand is zwaar aangetast door flaking waarbij door waterinwerking en vorst er meerdere malen dunne laagjes mergelwand afschilferen. Alle opschriften, zelfs inkrassingen en werksporen zijn daarmee geheel verdwenen. Er zijn enkel moderne inkrassingen zichtbaar.	LS H.V. afstaanders der blokken de kiets mies Luker Josetijt blokwaters Hamelers Vrijens Delewahe	
G13-31 Deze plafondtekening is terug gevonden. Ze is zeer zwak nog herkenbaar op het plafond. Omdat er geen foto uit het verleden bekend is, enkel de nagetekende afbeelding van Dielis, is een vergelijking niet mogelijk.		

G13-32 Dit pentagram is niet terug gevonden. De foto uit 2015 laat zien dat het plafond zwaar is aangetast door algen maar verder geheel in tact.		
H13-03 Hier is geen verandering zichtbaar.		
H13-04 Deze klok die eind jaren 70/begin jaren 80 al uit het plafond was, ligt er in 2015 nog altijd hetzelfde bij. Er is geen verandering zichtbaar.		

H13-05 De foto van Jan Spee uit eind jaren 70/begin jaren 80 is exact terug gevonden. In de foto van eind jaren 70/begin jaren 80, is te zien dat er een deel uit het plafond gevallen is, waarschijnlijk als gevolg van de explosies bij het afgraven van de groeve. Dit deel is licht van kleur hetgeen duidt op een recente afval. In de foto van 2015 is hetzelfde stuk nog altijd zichtbaar maar nu volledig begroeid met algen. Langs de randen zijn enkele kleine stukje extra afgevallen, waarschijnlijk al gevolg van vorstschade. De wand lijkt meer begroeid met algen en er zijn geen sporen van opschriften meer herkenbaar.		
H13-06 De positie van deze foto van Jan Spee, waarschijnlijk eind jaren 70, begin jaren 80, is niet terug gevonden. Waarschijnlijk is het een van de zijgangen die nu sterk verweerd zijn.		Deze locatie kon niet terug gevonden worden.

H13-07 De foto van Jan Spee is waarschijnlijk van eind jaren 70, begin jaren 80. In de beide foto's is geen verschil te zien.	
H13-08 De foto van Jan Spee is waarschijnlijk van eind jaren 70, begin jaren 80. Volgens de beschrijving waren de gangen toen al open. In de foto uit jaren 70/80 is te zien dat er destijds al hele delen van het plafond naar beneden gevallen waren. De foto van 2015 laat zien dat er een paar kleine stukjes extra plafond uitgevallen zijn maar dat het plafond in basis niet verder verslechtert is of meer algengroei bevat.	

H13-09 Dit kruis is niet terug gevonden. Het plafond is zwaar met algen begroeid en grote delen zijn door vorstschade afgevallen.		
H13-10 Deze plafond tekeningen zijn niet aangetroffen. Het plafond is zwaar met stof overdekt. Er is geen plafondschaad dus in principe zou alles nog intact moeten zijn maar er is niets meer zichtbaar, mogelijk verweerd.		
H13-13 Deze inkrassing staat volop in het volle direct daglicht van de groeve waar vorstschade is maar waar geen algemengroei is. Omdat geen foto bekend is van deze inkrassing van voor de opening, is een goede vergelijking niet mogelijk. De inkrassing is goed herkenbaar maar de mate van aantasting is niet vast te stellen.	