

Vlaanderen
is wetenschap

Poweranalyse voor het meten van de effectiviteit van soortenbeschermingsprogramma's in landbouwgebied van Vlaanderen

Aanzet tot een vereenvoudigde versie van het Meetnet Agrarische Soorten ('MAS light')

Ward Langeraert

INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

Auteurs:
Ward Langeraert

Reviewers:
Thierry Onkelinx

Het INBO is het onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via onafhankelijk toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

Vestiging:
INBO Brussel, Herman Teirlinckgebouw, Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel, België
vlaanderen.be/inbo

e-mail:
ward.langeraert@inbo.be

Wijze van citeren:
Langeraert, W. (2026). Poweranalyse voor het meten van de effectiviteit van soortenbeschermingsprogramma's in landbouwgebied van Vlaanderen. Aanzet tot een vereenvoudigde versie van het Meetnet Agrarische Soorten ('MAS light'). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2026 (53). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: 10.21436/inbor.152017328

D/2026/3241/272
Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2026 (53)
ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:
Hilde Eggermont

Foto cover:
Veldwezelt, Lanaken (Provincie Limburg, België). Fotograaf: Yves Adams / Vilda.

Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie.

INSTITUUT
NATUUR- EN
BOSONDERZOEK

POWERANALYSE VOOR HET METEN VAN DE EFFECTIVITEIT VAN SOORTENBESCHERMINGSPROGRAMMA'S IN LANDBOUWGEBIED VAN VLAANDEREN

Aanzet tot een vereenvoudigde versie van het Meetnet Agrarische Soorten ('MAS light')

Ward Langeraert

10.21436/inbor.152017328

Vlaanderen
is wetenschap

vlaanderen.be/inbo

Samenvatting

In 2024 en 2025 werd het Meetnet Agrarische Soorten (MAS) uitgerold over heel Vlaanderen als onderdeel van het Meetnet Biodiversiteit Agrarisch Gebied (MBAG). Dit meetnet volgt veelvoorkomende boerenlandvogels op.

- Het doel van het MAS is om te meten of maatregelen voor natuurherstel echt werken.
- Dat doen we door de evolutie van de vogels te vergelijken tussen gebieden mét en gebieden zónder natuurherstel.
- De tellingen kunnen daarnaast helpen om de Europese Natuurherstelwet op te volgen (Van Gossum *et al.*, in voorbereiding).

Dit rapport onderzoekt of we een vereenvoudigd meetnet met minder meetpunten ('MAS *light*') kunnen gebruiken. We willen weten of we met minder telpunten nog betrouwbaar kunnen aantonen of vogels het beter doen in gebieden met een soortenbeschermingsprogramma (SBP) dan in vergelijkbare gebieden zonder zo'n programma. Het rapport focust niet op de mogelijke toepassing voor de Europese Natuurherstelwet.

Om dit te testen, voerden we computersimulaties uit (een zogeheten poweranalyse) voor verschillende scenario's met 100, 200 en 400 telpunten, verspreid over 10, 16 en 24 jaar. De resultaten tonen het volgende aan:

- We kunnen de effecten beter meten als we meer telpunten gebruiken en als we langer meten.
- We testten dit voor een veelvoorkomende, hypothetische vogelsoort, maar zelfs dan is het moeilijk om statistisch aan te tonen dat populaties verschillend evolueren. Voor zeldzamere vogels zal dit nog moeilijker zijn.
- Stel dat we 400 telpunten gebruiken. In de praktijk zijn waarschijnlijk maar ongeveer 200 daarvan echt nuttig voor een realistische vogelsoort. In dat geval zien we pas een meetbaar effect als de vogels in SBP-gebieden het véél beter doen dan daarbuiten.
- Concreet: over een periode van 10 jaar moet de vogelpopulatie in een beschermd gebied 58 % beter evolueren dan daarbuiten om dit wetenschappelijk te kunnen bewijzen. Over een periode van 24 jaar volstaat een verschil van 38 %.

Extra analyses bevestigen deze resultaten. De belangrijkste conclusie is dan ook duidelijk: we mogen het aantal telpunten niet verminderen. Doen we dat wel, dan hebben we te weinig gegevens om (kleinere) verschillen op te merken. Zo kunnen we het effect van de beschermingsprogramma's op boerenlandvogels niet meer aantonen.

English abstract

In 2024 and 2025, a monitoring network which focuses on common farmland birds (known as the *Meetnet Agrarische Soorten*, MAS) was rolled out across Flanders as part of the Agricultural Area Biodiversity Monitoring Network (known as the *Meetnet Biodiversiteit Agrarisch Gebied*, MBAG). This monitoring network focuses on common farmland birds.

- The objective of the MAS is to assess whether nature restoration measures are genuinely effective.
- We do this by comparing bird population trends between areas with and without nature restoration measures.
- In addition, the counts can help monitor the EU Nature Restoration Law (Van Gossum *et al.*, in voorbereiding).

This report examines whether a simplified monitoring design with fewer survey points ('MAS light') can be used. We want to determine whether we can still reliably demonstrate, with fewer survey points, whether birds are doing better in areas covered by a Species Protection Programme (SPP) compared to similar areas without such a programme. The report does not focus on potential applications for the EU Nature Restoration Law.

To test this, we performed computer simulations (a so-called power analysis) for various scenarios involving 100, 200, and 400 survey points, over time spans of 10, 16, and 24 years. The results show the following:

- We can detect effects more reliably when using more survey points and when monitoring over longer periods.
- We tested this for a common, hypothetical bird species, yet even then it remains difficult to statistically demonstrate differing population trends. For rarer species, this will be even more challenging.
- Suppose we use 400 survey points. In practice, only about 200 of them are likely to be truly informative for a realistic bird species. In that scenario, we can only detect an effect if the birds in SPP areas show a considerably more favourable trend than those outside.
- Concretely: over a 10-year period, the bird population in a protected area must show a 58 % more favourable trend than outside before this can be proven statistically. Over a 24-year period, a 38 % difference is sufficient.

Additional analyses confirm these findings. The key conclusion is therefore clear: we should not reduce the number of survey points. Doing so would leave us with insufficient data to detect (smaller) differences, making it impossible to reliably demonstrate the impact of species protection programmes on farmland birds.

Inhoudsopgave

Samenvatting . . . 4
English abstract . . . 5
Inhoudsopgave . . . 6
1 Inleiding . . . 7
1.1 Achtergrond . . . 7
1.2 Het MAS en de nood aan een vereenvoudigd monitoringsontwerp . . . 7
1.3 Doel van deze studie . . . 8
1.4 Onderzoeksvraag . . . 8
2 Methodiek . . . 9
2.1 Monitoringsontwerp . . . 9
2.2 Simulatiescenario's . . . 11
2.3 Data-generatieproces . . . 11
2.4 Analysemodel . . . 14
2.5 Bepalen van de detecteerbare effectgrootte . . . 14
2.6 Mogelijke uitbreidingen van het simulatiekader . . . 15
3 Schatting simulatieparameters . . . 16
3.1 Overzicht parameterschattingen . . . 16
4 Detecteerbare effectgrootte . . . 18
4.1 Variabele trend buiten SBP-gebied . . . 18
4.2 Variabele lengte tijdreeks . . . 21
4.3 Sensitiviteitsanalyse variatie tussen telpunten . . . 23
5 Conclusie . . . 27
6 Dankwoord . . . 27
Referenties . . . 28
Bijlagen . . . 29
A Aanwezigheid per soort . . . 29
A.1 Boerenzwaluw . . . 29
A.2 Geelgors . . . 30
A.3 Gele kwikstaart . . . 31
A.4 Grasmus . . . 32
A.5 Graspieper . . . 33
A.6 Grutto . . . 34
A.7 Kievit . . . 35
A.8 Kneu . . . 36
A.9 Patrijs . . . 37
A.10 Ringmus . . . 38
A.11 Roodborsttapuit . . . 39
A.12 Scholekster . . . 40
A.13 Torenvalk . . . 41
A.14 Veldleeuwerik . . . 42
A.15 Wulp . . . 43
B Visualisatie van de poweroptimalisatie . . . 44

1 INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

De biodiversiteit in het Vlaamse landbouwgebied staat al decennia onder druk. Veranderingen in landgebruik, schaalvergroting van de landbouw, verlies van landschapselementen en een toenemende intensivering van het beheer, inclusief het gebruik van meststoffen en agro-chemicaliën, hebben geleid tot sterke achteruitgangen van verschillende typische akker- en weidevogels. Soorten zoals veldleeuwerik (*Alauda arvensis*), patrijs (*Perdix perdix*), kievit (*Vanellus vanellus*), gele kwikstaart (*Motacilla flava*) en grutto (*Limosa limosa*) vertonen op lange termijn afnemende populatietrends en worden daarom vaak gebruikt als indicatoren voor de ecologische kwaliteit van het landbouwgebied (Vermeersch *et al.*, 2004). Nochtans stelt de EU Natuurherstelverordening dat de lidstaten herstelmaatregelen moeten nemen om te verzekeren dat de index van algemene boerenlandvogelsoorten tegen 2030 5 % hoger is dan in 2025.

Tegelijk neemt de vraag naar beleidsrelevante biodiversiteitsinformatie toe. Zowel het Vlaamse beleid als Europese initiatieven, waaronder het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) en de Europese natuurherstelverordening, vereisen betrouwbare informatie over de toestand van soorten en over de effectiviteit van genomen beheermaatregelen. Hiervoor volstaan algemene biodiversiteitsindicatoren niet altijd. Er is nood aan monitoring die specifiek gericht is op soorten en maatregelen in landbouwgebied.

1.2 HET MAS EN DE NOOD AAN EEN VEREENVOUDIGD MONITORINGSONTWERP

Om deze reden werd het Meetnet Agrarische Soorten (MAS) ontwikkeld (Jansen *et al.*, in voorbereiding; Langeraert *et al.*, 2025). Het meetnet heeft als doel de toestand en trends van landbouwgebonden soorten op te volgen en tegelijk een kader te bieden voor de evaluatie van beleidsmaatregelen. In het kader van het Meetnet Biodiversiteit Agrarisch Gebied (MBAG) werd het MAS in 2024 en 2025 over heel Vlaanderen uitgerold (Dumortier *et al.*, 2026).

De volledige MAS-methodiek vereist echter een aanzienlijke veldinspanning, mede doordat er ook voor subgebieden (bv. per landbouwstreek en type landschap) een uitspraak werd beoogd. Zowel het aantal telpunten als het aantal bezoeken per jaar hebben een belangrijke invloed op de benodigde middelen voor coördinatie, opleiding, kwaliteitscontrole en veldwerk.

Bij de verdere uitrol van MAS rijst daarom de vraag of een vereenvoudigde versie van het meetnet ('MAS *light*') voldoende statistische kracht behoudt om beleidsrelevante veranderingen te detecteren op schaal Vlaanderen (dus niet langer focus op subgebieden).

Een centrale toepassing van het meetnet is de evaluatie van soortenbeschermingsprogrammagebieden (SBP-gebieden). Hiervoor is het noodzakelijk om populatietrends binnen SBP-gebieden te kunnen vergelijken met trends buiten SBP-gebieden. Indien de populaties binnen SBP-gebieden systematisch gunstiger evolueren dan buiten SBP-gebieden, kan dit een indicatie vormen dat de genomen maatregelen bijdragen aan het behalen van de beleidsdoelen.

Het is belangrijk te benadrukken dat dergelijke vergelijkingen observationeel zijn. De analyses laten toe om verschillen in trends te detecteren, maar volstaan op zichzelf niet om causale effecten van beheermaatregelen aan te tonen.

1.3 DOEL VAN DEZE STUDIE

Deze studie voert een simulatiegebaseerde poweranalyse uit voor een mogelijke 'MAS *light*'.

Daarbij wordt onderzocht welke verschillen in populatietrend tussen SBP- en niet-SBP-gebieden detecteerbaar zijn na tien jaar jaarlijkse monitoring, gegeven verschillende aantallen telpunten. De analyse focust op uitspraken voor Vlaanderen als geheel. Landbouwstreken en landschapstypes worden wel gebruikt bij de steekproeftrekking om representativiteit te garanderen, maar vormen geen afzonderlijke rapporteringsniveaus.

De resultaten moeten toelaten om de benodigde monitoringinspanning af te wegen tegen de verwachte informatiewinst en zo een onderbouwde keuze te maken voor de omvang van een toekomstig 'MAS *light*'.

1.4 ONDERZOEKSVRAAG

De centrale onderzoeksvraag luidt:

> Welk verschil in populatietrend tussen SBP-gebieden en niet-SBP-gebieden kan worden gedetecteerd met een 'MAS *light*' van tien jaar, gegeven een vooraf vastgelegd aantal telpunten?

De parameter waarin we geïnteresseerd zijn, is het verschil in trend tussen beide groepen uit een model waarin de jaarlijkse trend binnen en buiten SBP-gebied wordt vergeleken.

Meer specifiek wordt voor verschillende scenario's van het aantal telpunten bepaald welke minimale effectgrootte detecteerbaar is met een statistische power (ook wel 'onderscheidend vermogen') van 90 % en een significantieniveau van 0,05.

2 METHODIEK

Alle analyses werden uitgevoerd in R (R Core Team, 2026). Voor een reproduceerbare analyseworkflow werd gebruikgemaakt van het **targets** R package (Landau, 2021). De gebruikte code en de bronbestanden van het rapport zijn beschikbaar in de GitHub-repository https://github.com/inbo/mbag-mas. De analyses zijn ondergebracht in `source/targets/power_mas_light`, en het rapport in `source/bookdown/power_mas_light`.

De hier beschreven methodiek moet worden beschouwd als een eerste aanzet voor de evaluatie van een mogelijk 'MAS *light*'. Gezien de beperkte beschikbare tijd werd bewust gekozen voor een relatief eenvoudig simulatie- en analysekader dat de belangrijkste kenmerken van het monitoringsontwerp omvat.

Deze aanpak laat toe om snel een eerste inschatting te maken van de statistische kracht van het voorgestelde meetnet. Indien de resultaten aantonen dat het gewenste effect reeds met ruime zekerheid detecteerbaar is binnen dit eenvoudige kader, kan in een volgende fase een meer realistische simulatie worden uitgewerkt. De resultaten moeten echter geïnterpreteerd worden in het licht van de gemaakte vereenvoudigingen. Afhankelijk van de aard en de impact daarvan kan een uitgebreider simulatie- of analysekader zowel tot gunstigere als tot ongunstigere conclusies leiden. De huidige aanpak biedt daarom in de eerste plaats een transparante en reproduceerbare basis om de haalbaarheid van het voorgestelde monitoringsontwerp te evalueren.

Mogelijke uitbreidingen van het simulatiekader worden besproken in Paragraaf 2.6.

2.1 MONITORINGSONTWERP

Het ontwerp van het MAS wordt uitgebreid beschreven in Langeraert *et al.* (2025) en Jansen *et al.* (in voorbereiding). Voor deze poweranalyse zijn echter slechts enkele elementen van het monitoringsontwerp rechtstreeks relevant. In dit hoofdstuk vatten we daarom beknopt de onderdelen samen die bepalend zijn voor de simulaties en de berekening van de detecteerbare effectgrootte.

2.1.1 Steekproefkader

Het MAS richt zich op landbouwgebieden in Vlaanderen. Het steekproefkader werd opgebouwd op basis van de Vlaamse landbouwstreken en omvat uitsluitend locaties in open en halfopen landbouwlandschappen. De landbouwstreek van de duinen werd niet opgenomen omdat daar zeer weinig potentiële telpunten aanwezig zijn (Jansen *et al.*, in voorbereiding).

De afbakening gebeurde in verschillende stappen, waaronder:

- selectie van open en halfopen landschap
- uitsluiting van niet-relevante landgebruiken (onder andere woongebied, industrie, autosnelwegen en spoorweginfrastructuur)
- selectie van openbare wegen en paden van waaruit tellingen kunnen worden uitgevoerd
- filtering op landgebruik binnen de telcirkel
- filtering op minimale zichtbaarheid

Het resultaat is een ruimtelijk expliciete lijst van potentiële telpunten met straal van 300 m die de statistische doelpopulatie van het meetnet zo goed mogelijk benadert.

2.1.2 Ruimtelijke stratificatie

Om een representatieve dekking van Vlaanderen te garanderen en de efficiëntie van de steekproef te verhogen, werd het steekproefkader gestratificeerd volgens drie factoren:

- landbouwstreek (6 niveaus)
- landschapstype (open of halfopen landschap)
- SBP-status (binnen of buiten soortenbeschermingsprogrammagebieden)

Dit resulteert in $6 \times 2 \times 2 = 24$ mogelijke strata.

De stratificatie werd oorspronkelijk ontwikkeld om uitspraken mogelijk te maken op het niveau van landbouwstreken en landschapstypes. Daarnaast kan een geschikte stratificatie de precisie van schattingen verhogen doordat variatie tussen strata expliciet wordt opgevangen in het steekproefontwerp. In de huidige studie worden echter uitsluitend uitspraken nagestreefd op Vlaams niveau. De strata worden daarom gebruikt om de telpunten representatief over Vlaanderen te verdelen, maar in de basisanalyse niet expliciet opgenomen als verklarende variabelen in het analysemodel. De mogelijke invloed hiervan op de statistische kracht kan worden onderzocht in een aanvullende gevoeligheidsanalyse.

2.1.3 Allocatie van telpunten

Binnen elk stratum worden telpunten aselect geselecteerd uit het steekproefkader.

Voor deze poweranalyse wordt aangenomen dat het totale aantal telpunten vooraf wordt vastgelegd. Dit totaal wordt vervolgens verdeeld over de landbouwstreek en landschapstype op basis van hun relatieve oppervlakte binnen Vlaanderen. Binnen elke combinatie van landbouwstreek en landschapstype wordt daarbij een gelijke verdeling gehanteerd tussen telpunten binnen en buiten SBP-gebieden.

Een finale steekproefgrootte van 400 punten zal bv. resulteren in 200 punten binnen SBP-gebied en 200 buiten SBP-gebied. Verdere allocatie in landbouwstreek en landschapstype gebeurt in verhouding met het aantal potentiële telpunten in elk stratum van het steekproefkader (Tabel 2.1).

Tabel 2.1: Gewichten per stratum (w) en voorbeeld van aantal punten per stratum als de finale steekproefgrootte 400 zou zijn. OL: open landschap, HOL: halfopen landschap.

Landbouwstreek	Landschapstype	SBP-status	w	voorbeeld (N = 400)
Kempen	HOL	binnen	0,07618	30,5
Kempen	HOL	buiten	0,07618	30,5
Kempen	OL	binnen	0,00682	2,7
Kempen	OL	buiten	0,00682	2,7
Leemstreek	HOL	binnen	0,04310	17,2
Leemstreek	HOL	buiten	0,04310	17,2
Leemstreek	OL	binnen	0,02366	9,5
Leemstreek	OL	buiten	0,02366	9,5
Polders	HOL	binnen	0,01224	4,9
Polders	HOL	buiten	0,01224	4,9
Polders	OL	binnen	0,02438	9,8
Polders	OL	buiten	0,02438	9,8
Weidestreek	HOL	binnen	0,00169	0,7
Weidestreek	HOL	buiten	0,00169	0,7
Weidestreek	OL	binnen	0,00026	0,1
Weidestreek	OL	buiten	0,00026	0,1
Zandleemstreek	HOL	binnen	0,12993	52,0

Zandleemstreek	HOL	buiten	0,12993	52,0
Zandleemstreek	OL	binnen	0,05490	22,0
Zandleemstreek	OL	buiten	0,05490	22,0
Zandstreek	HOL	binnen	0,11024	44,1
Zandstreek	HOL	buiten	0,11024	44,1
Zandstreek	OL	binnen	0,01660	6,6
Zandstreek	OL	buiten	0,01660	6,6

Omdat de analyses uitsluitend op Vlaams niveau gebeuren, is vooral het totale aantal telpunten relevant. De exacte verdeling over de strata kan eventueel achteraf berekend worden op basis van de gewichten als dat relevant is.

2.1.4 Tellingen

Per telpunt worden jaarlijks vier telrondes uitgevoerd gedurende een periode van tien jaar.

2.2 SIMULATIESCENARIO'S

2.2.1 Totaal aantal telpunten

De volgende scenario's worden in eerste instantie onderzocht:

```
n_punten <- c(
  100,
  200,
  400
)
```

Deze aantallen kunnen later aangepast worden.

2.2.2 Doelsoorten

De analyse wordt uitgevoerd voor alle algemene boerenlandvogels uit de lijst voor Vlaanderen uit Bijlage V van de Natuurherstelverordening (Tabel 2.2).

Voor elke soort worden de nodige parameters geschat uit bestaande monitoringgegevens (zie Paragraaf 2.3.3). In plaats van 15 afzonderlijke soorten volledig uit te werken, wordt de variatie tussen soorten benaderd door verschillende parametercombinaties te analyseren. De uiteindelijke selectie van scenario's gebeurt vervolgens op basis van deze analyse.

2.3 DATA-GENERATIEPROCES

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe synthetische teldata worden gegenereerd.

2.3.1 Simulatiemodel

De simulatie gebeurt op het niveau van:

- telpunt
- jaar

Elke observatie stelt dus één telling voor op een bepaald telpunt in een bepaald jaar. De telperiode wordt niet expliciet gemodelleerd: voor elke soort wordt één representatieve telperiode geselecteerd, namelijk de periode met de hoogste aantallen in de beschikbare monitoringgegevens.

Tabel 2.2: Overzicht van de algemene boerenlandvogels van België uit Bijlage V van de Natuurherstelverordening.

Soort	Wetenschappelijke naam	Lijst Vlaanderen	Lijst Wallonië	Monitoring Vlaanderen
boerenzwaluw	*Hirundo rustica* Linnaeus, 1758	x	x	ABV + MAS
geelgors	*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758	x	x	ABV + MAS
gele kwikstaart	*Motacilla flava* Linnaeus, 1758	x	x	ABV + MAS
grasmus	*Curruca communis* (Latham, 1787)	x	x	ABV + MAS
graspieper	*Anthus pratensis* (Linnaeus, 1758)	x	x	MAS ???
grauwe gors	*Emberiza calandra* Linnaeus, 1758		x	BBV (WGG)
grauwe klauwier	*Lanius collurio* Linnaeus, 1758		x	BBV
grutto	*Limosa limosa* (Linnaeus, 1758)	x		???
kievit	*Vanellus vanellus* (Linnaeus, 1758)	x	x	ABV + MAS
kneu	*Linaria cannabina* (Linnaeus, 1758)	x	x	ABV + MAS
patrijs	*Perdix perdix* Linnaeus, 1758	x	x	ABV + MAS
ringmus	*Passer montanus* (Linnaeus, 1758)	x	x	ABV + MAS
roek	*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758		x	BBV
roodborsttapuit	*Saxicola rubicola* (Linnaeus, 1766)	x	x	ABV + MAS
scholekster	*Haematopus ostralegus* Linnaeus, 1758	x		ABV
spreeuw	*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758		x	ABV + MAS
torenvalk	*Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758	x	x	ABV + MAS
veldleeuwerik	*Alauda arvensis* Linnaeus, 1758	x	x	ABV + MAS
wulp	*Numenius arquata* (Linnaeus, 1758)	x		???
zomertortel	*Streptopelia turtur* (Linnaeus, 1758)		x	???

De ware log-dichtheid op telpunt j in jaar i wordt beschreven door

$$\eta_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Jaar_i + \beta_2 SBP_j + \beta_3 (Jaar_i \times SBP_j) + u_{punt,j}$$

waarbij $Jaar_i$ het jaar van de telling weergeeft. Deze variabele start bij 0 voor het eerste jaar van de simulatie en neemt vervolgens met één toe voor elk opeenvolgend jaar. SBP_j is een indicatorvariabele die aangeeft of telpunt j binnen of buiten SBP-gebied ligt: $SBP_j = 0$ voor telpunten buiten en $SBP_j = 1$ voor telpunten binnen SBP-gebied.

Het random intercept

$$u_{punt,j} \sim N(0, \sigma^2_{punt})$$

beschrijft de structurele verschillen tussen telpunten.

De verwachte dichtheid wordt vervolgens

$$\mu_{ijt} = \exp(\eta_{ij})$$

De waargenomen tellingen worden gegenereerd uit een poissonverdeling

$$y_{ij} \sim Poisson(\mu_{ij})$$

2.3.2 Implementatie

De random effecten voor de ruimtelijke component worden gegenereerd als:

```
rf_punt <- rnorm(
  n_punten,
  sd = sigma_punt
)
```

Vervolgens wordt voor elke combinatie van telpunt en jaar de lineaire predictor berekend:

```
eta <-
  beta_0 +
  beta_1 * jaar +
  beta_2 * sbp +
  beta_3 * jaar * sbp +
  rf_punt[punt]
```

waaruit de verwachte abundantie wordt afgeleid:

```
mu <- exp(eta)
```

en de tellingen worden gesimuleerd via:

```
y <- rpois(
  n = length(mu),
  lambda = mu
)
```

Deze gesimuleerde tellingen vormen vervolgens de input voor het analysemodel dat in Paragraaf 2.4 wordt beschreven.

2.3.3 Samenvatting van simulatieparameters

Parameter	Betekenis	Rol in simulatie	Hoe bepalen
β_0	Gemiddelde log-densiteit buiten SBP in startjaar	Baseline populatiegrootte	Geschat uit bestaande MAS-data
β_1	Jaarlijkse trend buiten SBP	Referentietrend (controlegroep)	Conservatieve aanname
β_2	Verschil SBP vs. niet-SBP in startjaar	Verschil in intercept tussen groepen	Geschat uit bestaande MAS-data
β_3	Trendverschil SBP vs. niet-SBP	**Doelparameter (detecteerbaar effect)**	Gevarieerd in simulaties
σ^2_{punt}	Variatie tussen telpunten	Ruimtelijke heterogeniteit	Geschat uit bestaande MAS-data

We starten met een veronderstelling dat soorten buiten SBP-gebied een licht negatieve trend hebben en binnen SBP-gebied een positieve trend. De analyse zal β_3 optimaliseren, maar we willen de keuze voor β_0 en β_1 ook veranderen om te zien of dit andere resultaten geeft.

De schatting van de parameters zal gebeuren door het volgende model te fitten op de MAS-data voor elke doelsoort (Paragraaf 2.2.2).

$$\eta_j = \beta_0 + \beta_2 SBP_j + u_{punt,j}$$

Waarbij het aantal per telpunt een poissonverdeling volgt

$$y_j \sim Poisson(\exp(\eta_j))$$

2.3.4 Rol van stratificatie

Stratificatie (landbouwstreek × landschap × SBP) wordt gebruikt om telpunten over Vlaanderen te verdelen volgens vooraf bepaalde gewichten (waarbij binnen en buiten SBP-gebied 50–50 worden verdeeld). In de basisanalyse wordt deze stratificatie uitsluitend gebruikt voor de allocatie van de telpunten en niet expliciet opgenomen in de datageneratie of het analysemodel.

Het expliciet modelleren van stratificatievariabelen kan de residuele variantie verminderen wanneer deze variabelen een deel van de ruimtelijke heterogeniteit verklaren, en daardoor de statistische kracht verhogen. Daarom kan in een aanvullende gevoeligheidsanalyse onderzocht worden in welke mate het opnemen van de stratificatievariabelen in de simulaties en het analysemodel de detecteerbare effectgroottes beïnvloedt.

2.4 ANALYSEMODEL

De gesimuleerde data worden geanalyseerd met een *generalized linear mixed model* (GLMM). Het analysemodel is

$$\eta_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Jaar_i + \beta_2 SBP_j + \beta_3 (Jaar_i \times SBP_j) + u_{punt,j}$$

en fitten we met het **glmmTMB** package (Brooks *et al.*, 2017; McGillycuddy *et al.*, 2025).

```
glmmTMB(
  y ~ jaar * sbp + (1 | punt),
  family = poisson()
)
```

De centrale toets is of deze parameter verschilt van nul:

```
jaar:sbpbinnen
```

Deze parameter meet het verschil in trend tussen SBP- en niet-SBP-gebieden.

2.5 BEPALEN VAN DE DETECTEERBARE EFFECTGROOTTE

In plaats van een klassieke steekproefgrootteanalyse wordt gewerkt vanuit een vast monitoringsontwerp (scenario's 100-400 telpunten) en wordt onderzocht welke trendverschillen tussen SBP- en niet-SBP-gebieden met dit ontwerp detecteerbaar zijn. De centrale effectparameter is de interactieterm tussen jaar en SBP-status, die het verschil in jaarlijkse log-trend tussen beide groepen beschrijft.

Met behulp van het **designpower** package (ontwikkelversie 0.0.3, GitHub-commit 45f8f3c) wordt via simulaties bepaald welke waarde van dit trendverschil nodig is om een vooraf gekozen power te bereiken (Onkelinx, 2026). Dit levert de minimaal detecteerbare effectgrootte (MDE) op voor elk scenario van het aantal telpunten (en eventueel andere scenario's), en geeft zo direct inzicht in de gevoeligheid van het monitoringsnetwerk. We kiezen een power van 0,9 en significantieniveau van 0,05.

```
designpower::find_power(
  design,                       # initiële designparameters
                                # (aantal jaren, telperiodes, beta's ...)
  design_digits,                # aantal decimalen designparameters (precisie)
  opti,                         # parameter te optimaliseren (beta_3)
  sim_power,                    # simulatiefunctie
                                # (genereert data en fit analysemodel,
                                #  output = p-waarde)
  power = 0.9,                  # doelpower
  alpha = 0.1,                  # significantieniveau, intern gedeeld door 2
  filename = "power.duckdb"     # slaat alles op in database (met hashes)
)
```

De power is de kans dat je een echt bestaand effect ook daadwerkelijk detecteert. Als er echt een verschil is in trend tussen SBP- en niet-SBP-gebieden, dan is de power de kans dat je analyse dat verschil ook als 'significant' terugvindt. Een power van 0,9 betekent dus 90 % kans om een echt effect te detecteren, dus 10 % kans op een vals negatief resultaat (type II-fout; je mist het effect terwijl het er wel is).

Het significantieniveau (α) is de drempel voor hoe snel je een effect als 'statistisch significant' beschouwt terwijl het in werkelijkheid niet bestaat. Een α van 0,05 betekent dat je een 5 % kans op een vals positief resultaat (type I-fout: je concludeert soms ten onrechte dat er een effect is, terwijl er eigenlijk geen is).

Met power = 0,9 en α = 0,05 kiezen we dus voor een ontwerp dat heel gevoelig is (weinig kans om echte trends te missen), met een relatief kleine op vals-positieven.

2.6 MOGELIJKE UITBREIDINGEN VAN HET SIMULATIEKADER

De huidige analyse is bewust opgezet als een eerste, vereenvoudigde evaluatie van de detecteerbaarheid van trendverschillen tussen SBP- en niet-SBP-gebieden. Verschillende elementen van de analyse kunnen in een latere fase verder worden onderzocht.

Een eerste uitbreiding betreft de expliciete modellering van de stratificatie. In de basisanalyse worden landbouwstreek en landschapstype enkel gebruikt voor de allocatie van telpunten. Wanneer deze variabelen een belangrijk deel van de ruimtelijke variatie verklaren, kan opname ervan in de simulaties en het analysemodel de residuele variantie verminderen en de statistische kracht verhogen.

Daarnaast wordt in de huidige analyse verondersteld dat alle telpunten in Vlaanderen potentieel relevant zijn voor de doelsoort. Voor soorten met een beperkte verspreiding is dit niet realistisch. Zo komt de geelgors slechts in een beperkt deel van Vlaanderen voor en dragen telpunten buiten het verspreidingsgebied weinig of niet bij aan de detectie van trends. Een uitbreiding van het simulatiekader kan daarom rekening houden met de gekende verspreiding van doelsoorten en de steekproef beperken tot geschikte regio's of habitats.

Ten slotte kunnen ook meer realistische simulatie- en analysemethoden worden onderzocht, zoals niet-lineaire populatietrends of complexere ruimtelijke structuren. Dergelijke uitbreidingen sluiten doorgaans beter aan bij de biologische realiteit, maar vereisen bijkomende aannames en een grotere modelcomplexiteit. De huidige analyse vertrekt vanuit een modelgebaseerde benadering van de datageneratie en inferentie. Alternatieve design-gebaseerde benaderingen, waarbij de eigenschappen van het steekproefontwerp centraal staan, kunnen in bepaalde situaties tot andere conclusies leiden over de variantie en de statistische kracht. De resultaten van deze studie moeten daarom worden geïnterpreteerd als een eerste evaluatie binnen het gekozen modelkader.

3 SCHATTING SIMULATIEPARAMETERS

In dit hoofdstuk worden de simulatieparameters geschat die als input dienen voor de poweranalyse. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van de gegevens uit de jaren 2024 en 2025 voor de doelsoorten: boerenzwaluw, geelgors, gele kwikstaart, grasmus, graspieper, grutto, kievit, kneu, patrijs, ringmus, roodborsttapuit, scholekster, torenvalk, veldleeuwerik, wulp.

Eerst worden de waarnemingsgegevens ingelezen en gefilterd op de geselecteerde soorten. Enkel broedvogelwaarnemingen worden behouden (broedcode > 0), behalve voor torenvalk, en de aantallen worden samengevat per telpunt, jaar en telperiode. Vervolgens worden afwezigheden toegevoegd op basis van de beschikbare bezoekgegevens. Voor elke soort worden de data uit de telperiode geselecteerd waarin gemiddeld de hoogste aantallen worden vastgesteld over beide jaren.

Ten slotte worden de nullen van locaties waar de soort nooit is gezien over alle 2 x 4 telperiodes verwijderd. Deze worden beschouwd als structurele afwezigheid van de soort. Graspieper, grutto, patrijs, ringmus, wulp werden in minder dan 20 % van de telpunten waargenomen in 2024 en 2025 (Bijlage A). Deze soorten worden niet verder meegenomen in de analyses.

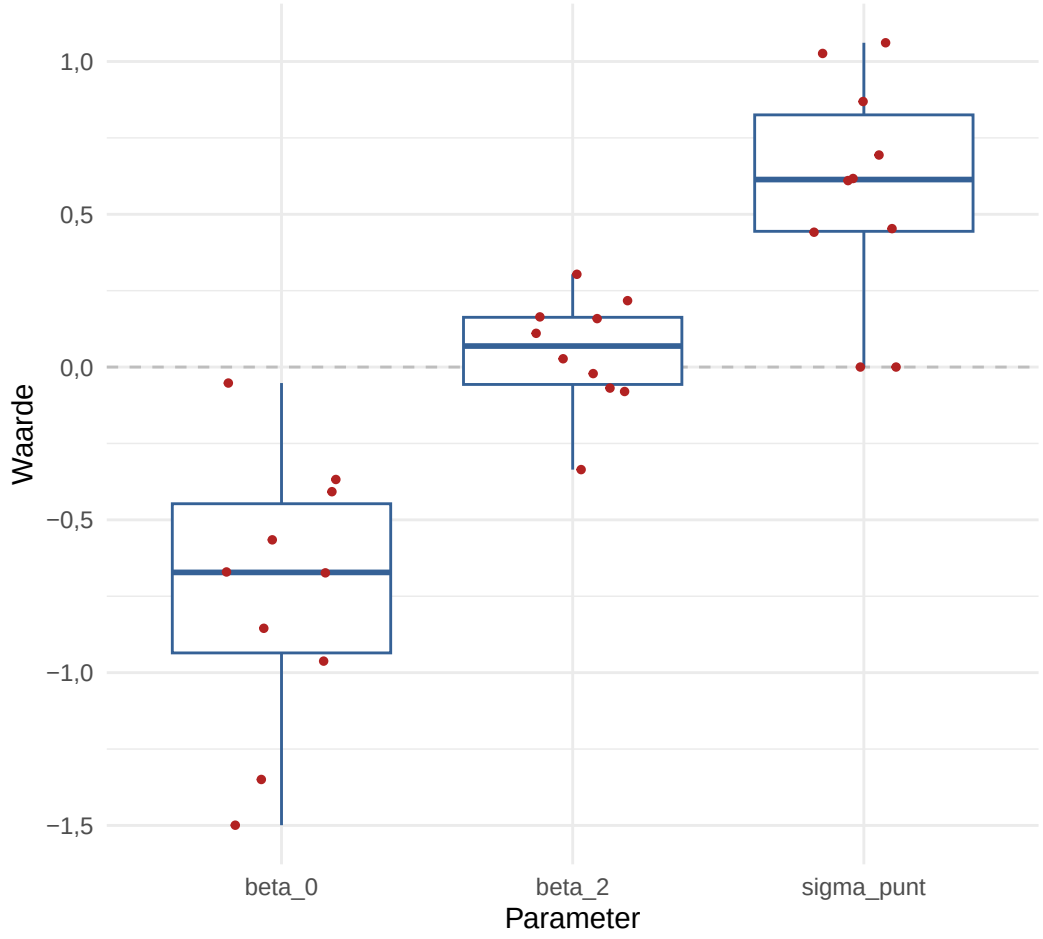
Voor de resterende soorten wordt vervolgens een GLMM opgesteld met het aantal waargenomen individuen als responsvariabele (zie Paragraaf 2.4). Uit dit model worden vervolgens de parameters geëxtraheerd die nodig zijn voor de simulaties: de verwachte aantallen binnen en buiten SBP-gebied, en de variatie tussen telpunten (zie ook Paragraaf 2.3.3).

3.1 OVERZICHT PARAMETERSCHATTINGEN

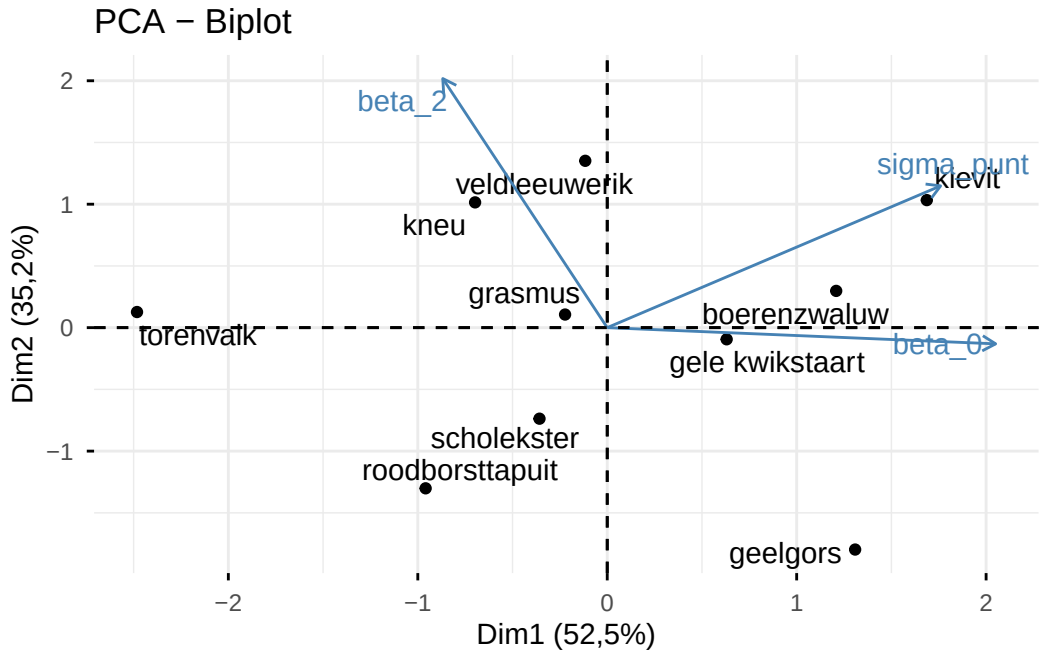
De geschatte parameters zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Geschatte simulatieparameters per soort op basis van de GLMMs gefit op de gegevens van 2024 en 2025. `verwacht_buiten` en `verwacht_binnen` geven het verwachte aantal individuen per telpunt respectievelijk buiten en binnen SBP-gebied weer.

soort	beta_0	beta_2	verwacht_buiten	verwacht_binnen	sigma_punt
kievit	-0,052	0,159	0,95	1,11	1,026284
geelgors	-0,368	-0,336	0,69	0,49	0,617038
gele kwikstaart	-0,408	0,027	0,67	0,68	0,610189
boerenzwaluw	-0,565	-0,021	0,57	0,56	1,061217
veldleeuwerik	-0,671	0,304	0,51	0,69	0,693911
grasmus	-0,673	0,110	0,51	0,57	0,441309
roodborsttapuit	-0,855	-0,069	0,43	0,40	0,000073
scholekster	-0,962	-0,080	0,38	0,35	0,452973
kneu	-1,350	0,164	0,26	0,31	0,869004
torenvalk	-1,499	0,217	0,22	0,28	0,000091



Figuur 3.1: Verdeling van de geschatte simulatieparameters over de geselecteerde doelsoorten. Rode punten geven de waarden per soort weer.



Figuur 3.2: PCA-biplot van de geschatte simulatieparameters voor de geselecteerde doelsoorten. Soorten die dicht bij elkaar liggen hebben vergelijkbare combinaties van `beta_0`, `beta_2` en `sigma_punt`. De pijlen geven de bijdrage van deze parameters aan de eerste twee hoofdcomponenten weer.

4 DETECTEERBARE EFFECTGROOTTE

Beschouw een hypothetische boerenlandvogelsoort die over heel Vlaanderen aanwezig is aan een gelijkaardige densiteit. Deze soort heeft de hoogste densiteit buiten SBP-gebied en de hoogste densiteit binnen SBP-gebied van de werkelijke boerenlandvogels in MAS (hoogste β_0 = -0,052, en β_2 = 0,304) en de kleinste variatie tussen telpunten (σ_{punt} = $7,3 \times 10^{-5}$). Deze variatie is praktisch verwaarloosbaar: het verschil tussen een telpunt aan de onderkant en de bovenkant van de verdeling van telpunteffecten bedraagt slechts 0,029 %. Deze verwachte startdensiteit buiten SBP-gebied bedraagt bijgevolg exp$(\beta_0) =$ 0,95 en binnen SBP-gebied exp$(\beta_0 + \beta_2) =$ 1,29.

De detecteerbare effectgrootte werd bepaald via een iteratieve optimalisatieprocedure waarbij de parameter β_3 werd gekozen zodat een statistische power van 0,9 werd bereikt. Een gedetailleerde visualisatie van deze optimalisatie voor elk scenario is opgenomen in Bijlage B.

4.1 VARIABELE TREND BUITEN SBP-GEBIED

4.1.1 Methodiek

We onderscheiden drie scenario's voor de trend buiten SBP-gebied (~β_1):

1. Een log-lineaire achteruitgang buiten SBP-gebied van -1 % per jaar (-9,5 % over 10 jaar)
2. Constant buiten SBP-gebied (log-lineaire trend van 0 % per jaar)
3. Een log-lineaire vooruitgang buiten SBP-gebied van +1 % per jaar (10,5 % over 10 jaar)

De log-lineaire trend binnen SBP-gebied moet telkens gunstiger zijn de trend buiten SBP-gebied.

4.1.2 Resultaten

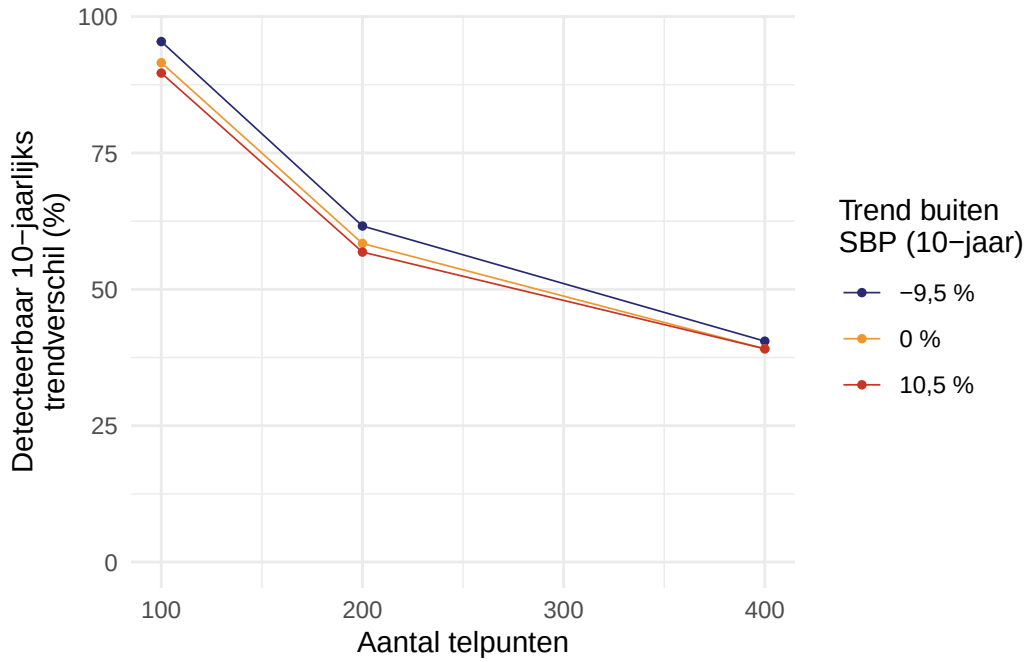
De minimaal detecteerbare trendverschillen tussen buiten en binnen SBP-gebied zijn zeer hoog. We zien hierin slechts kleine verschillen tussen de trendscenario's (Figuur 4.1). Wel zal de minimaal detecteerbare trend binnen SBP-gebied hoger zijn naarmate de trend buiten SBP-gebied hoger is om hetzelfde positieve trendverschil te kunnen detecteren tussen beide. Zoals verwacht, blijkt dat een kleiner effect (trendverschillen buiten vs. binnen SBP-gebied) gedetecteerd kan worden bij een groter aantal telpunten. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de veronderstelde trends buiten SBP-gebied en de overeenkomstige minimaal detecteerbare trends binnen SBP-gebied. Tabel 4.2 toont dezelfde resultaten uitgedrukt als het detecteerbaar verschil met 'binnen SBP' over een periode van 10 jaar.

Tabel 4.1: Veronderstelde trend buiten SBP-gebied en de overeenkomstige minimaal detecteerbare trend binnen SBP-gebied voor drie scenario's en verschillende aantallen telpunten. De trends worden zowel als jaarlijkse als als cumulatieve verandering over 10 jaar weergegeven.

Trend buiten SBP		Detecteerbare trend binnen SBP (jaarlijks)			Detecteerbare trend binnen SBP (10 jaar)		
Jaarlijks	**10 jaar**	**100**	**200**	**400**	**100**	**200**	**400**
-1,0 %	-9,5 %	5,9 %	3,9 %	2,4 %	77 %	46 %	27 %
0,0 %	0,0 %	6,7 %	4,7 %	3,4 %	92 %	58 %	39 %
1,0 %	10,5 %	7,7 %	5,7 %	4,4 %	110 %	73 %	54 %

Tabel 4.2: Minimaal detecteerbaar trendverschil over een periode van 10 jaar (%) voor drie trendscenario's buiten SBP-gebied en verschillende aantallen telpunten.

Trend buiten SBP		Detecteerbaar trendverschil met 'binnen SBP' over 10 jaar		
Jaarlijks	**10 jaar**	**n = 100**	**n = 200**	**n = 400**
-1 %	-9,5 %	95 %	62 %	40 %
0 %	0 %	92 %	58 %	39 %
1 %	10,5 %	90 %	57 %	39 %



Figuur 4.1: Relatie tussen het aantal telpunten en het detecteerbaar 10-jaarlijkse trendverschil (%) voor drie trendscenario's buiten SBP-gebied.

4.1.3 Bespreking

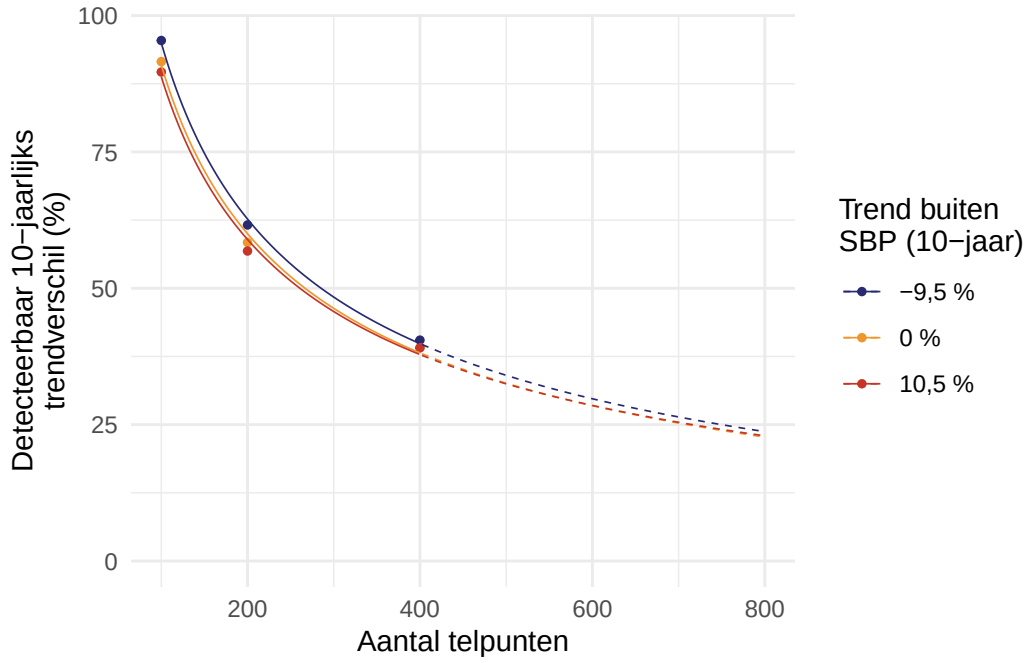
De detecteerbare effectgrootte neemt af naarmate het aantal telpunten toeneemt. Dit is een rechtstreeks gevolg van de toename in statistische precisie bij een grotere steekproefomvang. In klassieke power-analyses daalt de standaardfout van een schatter ongeveer evenredig met de inverse vierkantswortel van de steekproefgrootte. Omdat in het Poisson-model een log-link wordt gebruikt, geldt deze relatie voor de geschatte effecten op de log-schaal. De minimaal detecteerbare effectgrootte op deze schaal wordt daarom verwacht af te nemen volgens een relatie van de vorm

$$\text{MDE}_{log} \propto \frac{1}{\sqrt{n}}$$

waarbij n het aantal telpunten voorstelt.

In deze analyse drukken we het minimaal detecteerbare effect echter uit als een percentage op de oorspronkelijke schaal over 10 jaar, namelijk als $(\exp(\beta_{3,min} * 10) - 1) * 100\%$. De detecteerbare effectgrootte in procenten vertoont in de simulaties ongeveer dezelfde afname met het aantal telpunten (Figuur 4.2).

In Figuur 4.2 wordt de doorlopende lijn enkel getoond binnen het bereik van de gesimuleerde aantallen telpunten. De stippellijn geeft een extrapolatie weer buiten dit bereik en moet daarom voorzichtig worden geïnterpreteerd.



Figuur 4.2: Geschatte relatie tussen het aantal telpunten en het detecteerbaar 10-jaarlijks trendverschil (%) op basis van een inverse vierkantswortelmodel. De doorlopende lijn geeft interpolatie binnen het simulatiebereik weer; de stippellijn is extrapolatie.

4.2 VARIABELE LENGTE TIJDREEKS

4.2.1 Methodiek

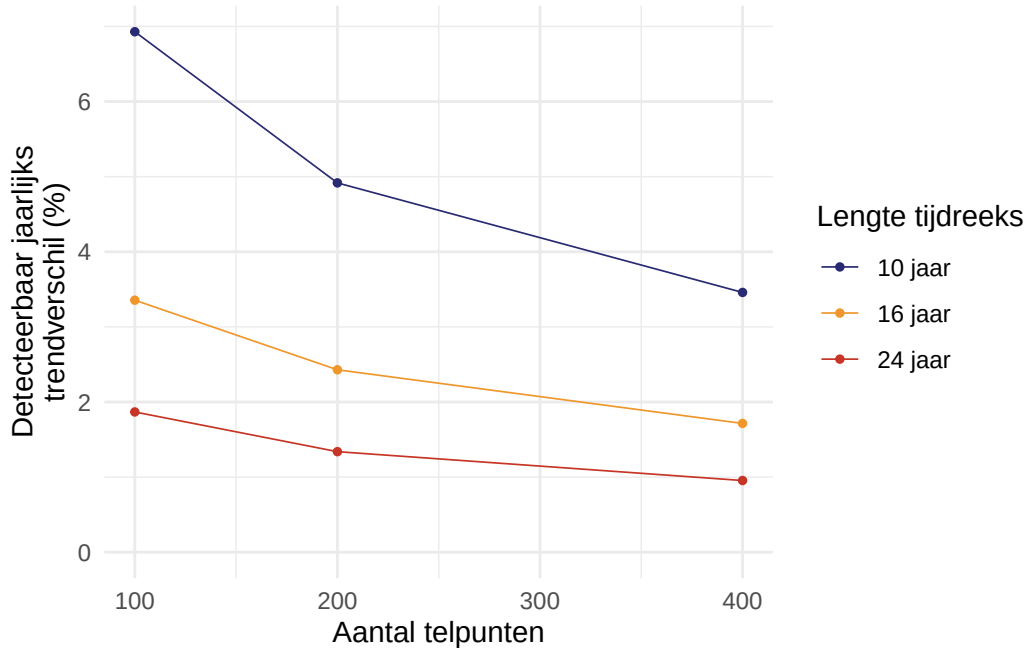
We onderscheiden drie scenario's voor de lengte van de tijdreeks: 10, 16 en 24 jaar. Dit is uitgevoerd voor een achteruitgang buiten SBP-gebied van -1 % per jaar (scenario 1 uit vorige Paragraaf).

4.2.2 Resultaten

Zoals verwacht, blijkt dat een kleiner effect gedetecteerd kan worden bij een groter aantal telpunten en bij een langere tijdreeks (Tabel 4.3, Figuur 4.3).

Tabel 4.3: Detecteerbaar jaarlijks en cumulatieve trendverschil (%) als functie van het aantal telpunten en de lengte van de tijdreeks.

	Detecteerbaar trendverschil		
Lengte tijdreeks	**n = 100**	**n = 200**	**n = 400**
Per jaar			
10 jaar	6,9 %	4,9 %	3,5 %
16 jaar	3,4 %	2,4 %	1,7 %
24 jaar	1,9 %	1,3 %	1,0 %
Volledige tijdreeks			
10 jaar	95 %	62 %	40 %
16 jaar	70 %	47 %	31 %
24 jaar	56 %	38 %	26 %



Figuur 4.3: Relatie tussen het aantal telpunten en het detecteerbaar jaarlijks trendverschil (%) voor drie verschillende tijdreeksen.

4.2.3 Bespreking

We fitten een model van de vorm

$$E = an^{-b}T^{-c}$$

waarbij

E: detecteerbare effectgrootte

n: het aantal telpunten

T: de lengte van de tijdreeks (in jaren)

De simulaties tonen dat de detecteerbare effectgrootte wordt beschreven door een machtsfunctie van zowel het aantal telpunten als de lengte van de tijdreeks (Figuur 4.4). De geschatte exponenten (-0,49 voor het aantal telpunten en -1,485 voor het aantal jaren) liggen dicht bij de theoretisch verwachte waarden van respectievelijk (-1/2) en (-3/2). Deze theoretische relatie geldt voor de detecteerbare effectgrootte op de log-schaal en impliceert dat deze bij benadering afneemt volgens

$$\text{MDE}_{log} \propto \frac{1}{\sqrt{n_{\text{telpunten}} * T^3}}$$

De detecteerbare effectgrootte wordt in deze analyse echter uitgedrukt als een percentage op de oorspronkelijke schaal (Figuur 4.4). De simulaties tonen dat ook de teruggetransformeerde effectgrootte ongeveer dezelfde afhankelijkheid van het aantal telpunten en de lengte van de tijdreeks vertoont als op de log-schaal.

```
fit_time <- lm(log(effect_pct) ~ log(n_telpunten) + log(n_jaar),
               data = detectable_effect_years)
summary(fit_time)
```

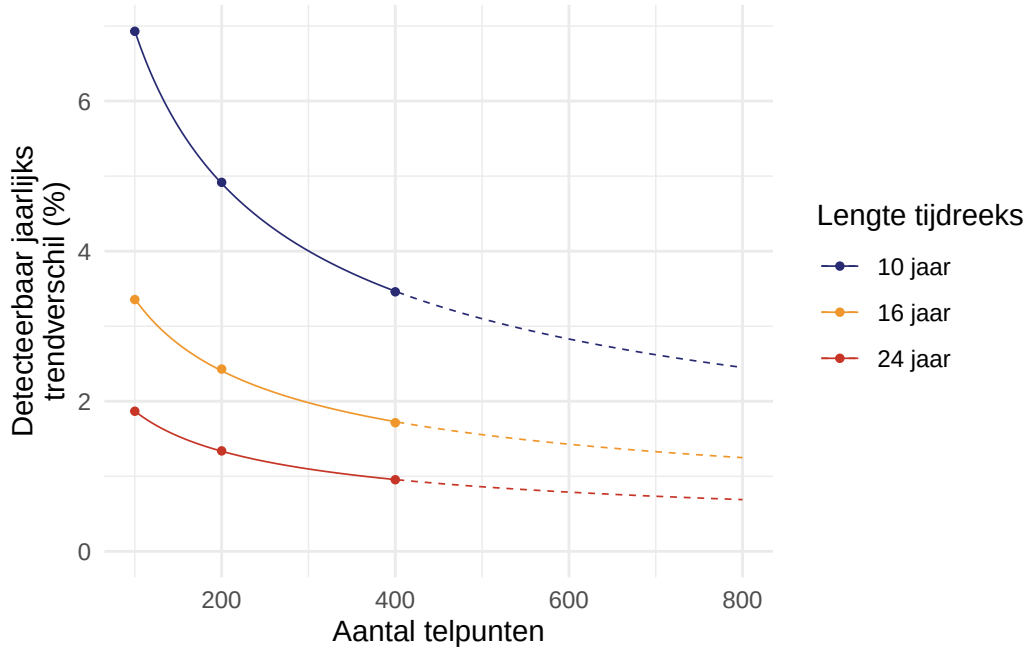
```
Call:
lm(formula = log(effect_pct) ~ log(n_telpunten) + log(n_jaar),
    data = detectable_effect_years)

Residuals:
       Min         1Q     Median         3Q        Max
-0,0166985 -0,0054292 -0,0001256  0,0069112  0,0104458

Coefficients:
                  Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)       7,601708   0,042082  180,64 1,94e-12 ***
log(n_telpunten) -0,489864   0,006116  -80,09 2,55e-10 ***
log(n_jaar)      -1,485483   0,009677 -153,51 5,15e-12 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Residual standard error: 0,01038 on 6 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0,9998,    Adjusted R-squared:  0,9997
F-statistic: 1,499e+04 on 2 and 6 DF,  p-value: 8,011e-12

Saving 5,5 x 3,5 in image
```



Figuur 4.4: Geschatte relatie tussen het aantal telpunten en het detecteerbaar jaarlijks trendverschil (%) op basis van een inverse vierkantswortelmodel. De doorlopende lijn geeft interpolatie binnen het simulatiebereik weer; de stippellijn is extrapolatie.

4.3 SENSITIVITEITSANALYSE VARIATIE TUSSEN TELPUNTEN

4.3.1 Methodiek

In de oorspronkelijke poweranalyse werd voor de hypothetische boerenlandvogelsoort uitgegaan van een zeer kleine standaardafwijking tussen telpunten (`sigma_punt`). Om na te gaan in welke mate deze keuze de resultaten beïnvloedt, werd een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd waarbij de variabiliteit tussen telpunten werd gevarieerd.

Hiervoor werden vijf waarden van `sigma_punt` beschouwd, gelijkmatig verdeeld tussen de minimale en maximale geschatte standaardafwijking tussen telpunten over de onderzochte boerenlandvogels (resp. $7,3 \times 10^{-5}$ en 1,06). De overige parameters van de hypothetische soort werden constant gehouden. De sensitiviteitsanalyse werd uitgevoerd voor dezelfde scenario's als in de vorige analyses (achteruitgang buiten SBP-gebied van -1 % per jaar).

Door de log-link heeft een verandering in de variatie tussen telpunten ook gevolgen voor de marginale verwachte abundantie. Wanneer het telpunteffect (u) normaal verdeeld is met standaardafwijking (σ_{punt}), geldt

$$E[\exp(u)] = \exp\left(\frac{\sigma^2_{\text{punt}}}{2}\right)$$

De marginale verwachte abundantie is bijgevolg evenredig met

$$\exp\left(\frac{\sigma^2_{\text{punt}}}{2}\right)$$

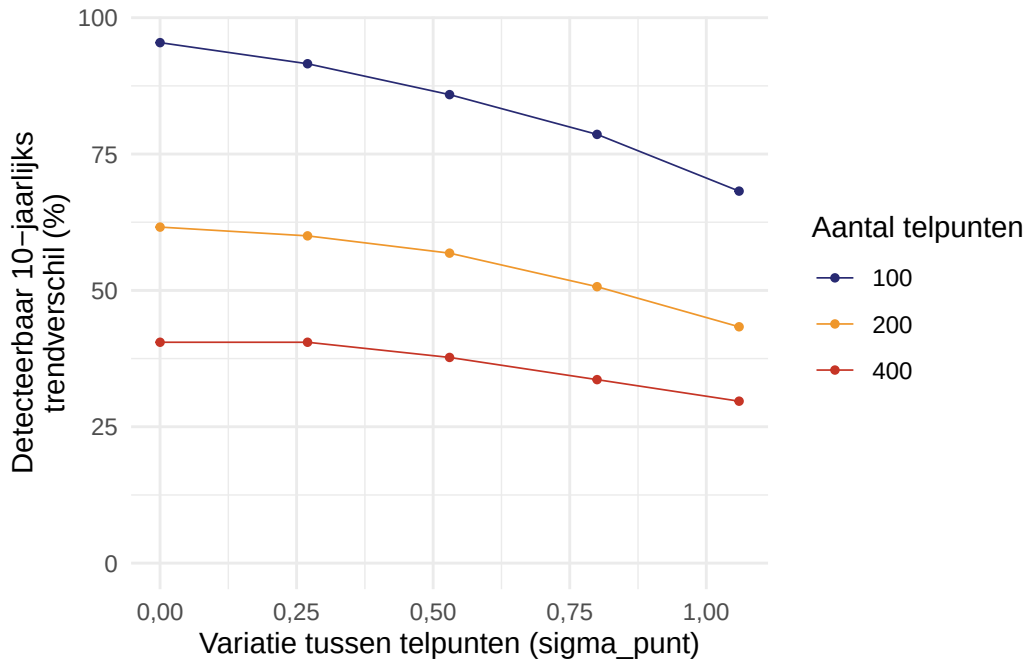
Een hogere variabiliteit tussen telpunten kan dus gepaard gaan met hogere verwachte aantallen en bijgevolg met een grotere statistische power (Signorini, 1991). Anderzijds zorgt een grotere variabiliteit echter ook voor een grotere heterogeniteit tussen telpunten, wat de precisie van de schatting kan verminderen. Deze sensitiviteitsanalyse onderzoekt daarom in welke mate deze effecten doorwegen voor de berekening van het minimaal detecteerbare effect.

4.3.2 Resultaten

Het minimaal detecteerbare effect varieert met de veronderstelde standaardafwijking tussen telpunten (Tabel 4.4, Figuur 4.5). Bij de gekozen parameterwaarden blijkt het minimaal detecteerbare effect af te nemen bij een toenemende `sigma_punt`. De verandering in het detecteerbare effect is opvallender bij een kleiner aantal telpunten.

Tabel 4.4: Minimaal detecteerbaar trendverschil over een periode van 10 jaar (%) voor vijf telpuntvariatiescenario's en verschillende aantallen telpunten.

	Detecteerbaar trendverschil met 'binnen SBP' over 10 jaar		
sigma_punt	**n = 100**	**n = 200**	**n = 400**
0,000073	95 %	62 %	40 %
0,27	92 %	60 %	40 %
0,53	86 %	57 %	38 %
0,80	79 %	51 %	34 %
1,06	68 %	43 %	30 %



Figuur 4.5: Relatie tussen de standaardafwijking tussen telpunten (`sigma_punt`) en het detecteerbaar 10-jaarlijks trendverschil (%) voor verschillende aantallen telpunten.

10.21436/inbor.152017328

4.3.3 Bespreking

We fitten een model van de vorm

$$E = a n_{\text{telpunten}}^{-b} \exp\left(-c\sigma_{\text{punt}}^2\right)$$

waarbij

E: detecteerbare effectgrootte

$n_{\text{telpunten}}$: het aantal telpunten

σ_{punt}: de standaardafwijking van de telpunteffecten.

De simulaties tonen dat de detecteerbare effectgrootte wordt beschreven door een functie van zowel het aantal telpunten als de standaardafwijking van de telpunteffecten (Figuur 4.6). De geschatte parameters ($-b$ = -0,602 voor het aantal telpunten en $-c$ = -0,296 voor het effect van `sigma_punt`) liggen in de buurt van de theoretisch verwachte waarden van respectievelijk (-1/2) en (-1/4)

$$\text{MDE} \propto \frac{1}{\sqrt{n_{\text{telpunten}} \exp\left(\sigma_{\text{punt}}^2/2\right)}} = \frac{1}{\sqrt{n_{\text{telpunten}}}} \exp\left(-\frac{\sigma_{\text{punt}}^2}{4}\right)$$

Dit is op het eerste gezicht tegenintuïtief, omdat een grotere variantie ook leidt tot meer heterogeniteit tussen telpunten. Bij een log-link neemt de marginale verwachte abundantie echter toe met de variantie tussen telpunten. De toename in verwachte aantallen blijkt in deze simulatie het negatieve effect van de toegenomen heterogeniteit te overtreffen. Het minimaal detecteerbare effect wordt daardoor kleiner bij een toenemende `sigma_punt`.

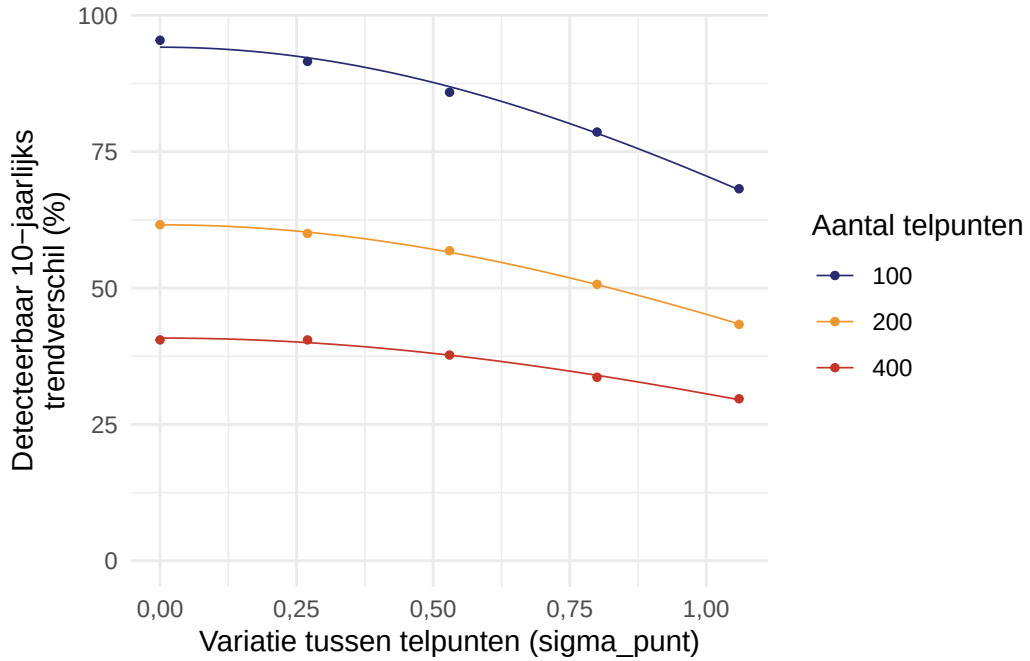
```
fit_sigma <- lm(
  log(effect_pct_long) ~ log(n_telpunten) + I(sigma_punt^2),
  data = detectable_effect_sigma
)
summary(fit_sigma)
```

```
Call:
lm(formula = log(effect_pct_long) ~ log(n_telpunten) + I(sigma_punt^2),
    data = detectable_effect_sigma)

Residuals:
      Min        1Q    Median        3Q       Max
-0,024306 -0,006831 -0,002816  0,011105  0,015313

Coefficients:
                 Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)       7,317737   0,030831  237,35  < 2e-16 ***
log(n_telpunten) -0,602500   0,005752 -104,74  < 2e-16 ***
I(sigma_punt^2)  -0,295731   0,007852  -37,66 7,88e-14 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Residual standard error: 0,01261 on 12 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0,999, Adjusted R-squared:  0,9989
F-statistic:  6194 on 2 and 12 DF,  p-value: < 2,2e-16
```



Figuur 4.6: Geschatte relatie tussen de standaardafwijking tussen telpunten (`sigma_punt`) en het detecteerbaar 10-jaarlijks trendverschil (%). De lijnen geven de geschatte relatie weer voor verschillende aantallen telpunten.

5 CONCLUSIE

De doelstelling van deze studie was om via een simulatiegebaseerde poweranalyse te bepalen in welke mate een vereenvoudigd monitoringsontwerp ('MAS *light*') over een periode van 10 jaar in staat is om trendverschillen tussen SBP-gebieden en niet-SBP-gebieden in Vlaanderen te detecteren.

De simulaties tonen aan dat de detecteerbare effectgrootte (MDE) (= trendverschil buiten vs. binnen SBP-gebied) zich gedraagt volgens een wiskundige machtsfunctie van zowel het aantal telpunten (n) als de lengte van de tijdreeks (T in jaren):

$$\text{MDE} \propto \frac{1}{\sqrt{n * T^3}}$$

De gepresenteerde powerberekeningen geven een realistische indicatie van de detecteerbare effectgrootte, maar zijn gebaseerd op gunstige aannames. De analyses vertrekken van een hypothetische boerenlandvogelsoort met de hoogst waargenomen densiteiten binnen en buiten SBP-gebied en de kleinst mogelijke variatie tussen telpunten. Voor soorten die zeldzamer zijn of een grilliger voorkomen kennen, zal de minimaal detecteerbare effectgrootte doorgaans hoger liggen.

Zelfs voor deze hypothetische boerenlandvogelsoort blijft het minimaal detecteerbare trendverschil relatief groot. Bij een meetnet van 400 telpunten zijn, voor een realistische soort die niet overal voorkomt, in de praktijk mogelijk slechts ongeveer 200 telpunten informatief. In dat geval is pas een zeer sterke positieve interactie tussen SBP en niet-SBP detecteerbaar. Concreet betekent dit dat de populatie binnen SBP-gebied over een periode van 10 jaar 58 % gunstiger moet evolueren dan buiten SBP-gebied voordat een statistisch significant verschil in trend kan worden aangetoond. Indien deze soort 9,5 % buiten SBP-gebied afneemt over 10 jaar, moet ze binnen SBP-gebied 46 % toenemen. Voor een stabiele trend buiten SBP-gebied moet ze binnen SBP-gebied 58 % toenemen en voor een toename van 10,5 % buiten SBP-gebied moet ze 73 % toenemen binnen SBP-gebied.

Een aanvullende sensitiviteitsanalyse laat zien dat het minimaal detecteerbare effect echter wel afneemt bij een grotere variatie tussen telpunten. Indien in toekomstige poweranalyses een vaste waarde voor deze parameter vereist is, kiest men het best een eerder hoge waarde en vermijdt men extreme ondergrenzen (zoals de hier initieel gehanteerde nulvariantie), om een te optimistische schatting van de statistische gevoeligheid te voorkomen. Nog kwaliteitsvoller is het echter om standaard een sensitiviteitsanalyse uit te voeren over een realistisch bereik van varianties, in plaats van de resultaten vast te pinnen op een waarde. Deze inzichten wijzigen de overkoepelende hoofdconclusie van de poweranalyse echter niet.

We kunnen daarom besluiten dat het niet aangewezen is om het aantal meetpunten te verminderen, omdat dan de statistische gevoeligheid te beperkt wordt om verschillen in trend tussen binnen en buiten SBP-gebieden te detecteren.

6 DANKWOORD

De auteur wil Hans Van Calster, Myriam Dumortier, Peter Van Gossum, Stijn Vandenbulcke en Thierry Onkelinx bedanken voor hun waardevolle feedback op deze analyse, de bijbehorende resultaten en de rapporttekst.

Referenties

Brooks M.E., Kristensen K., van Benthem K.J., Magnusson A., Berg C.W., Nielsen A., Skaug H.J., Maechler M. & Bolker B.M. (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. The R Journal 9 (2): 378-400. https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066.

Dumortier M., Van Gossum P., Cartuyvels E., Cool R., De Backer S., De Beer B., Debode J., De Bruyn A., Deflem I., De Saeger S., Desmet S., De Vos B., De Wever A., Dillen N., Erens R., Eves Down M.-R., Gabrys F., Guelinckx R., Haegeman A., Heremans S., Jansen J., Lambrechts S., Langeraert W., Lateir M., Maebe K., Mielke F., Ommeslag S., Piesschaert F., Pollet M., Puttemans K., Sensalari C., Spanhove T., Valvekens L., Van Calster H., Van de Meutter F., Vanderhaeghe F., Van Donink S., Van Gompel W., Van Overmeeren N., Vanpoucke K., Vijncke P. & Wuyts K. (2026). Vinger aan de pols van de biodiversiteit in het landbouwgebied. Meetnet Biodiversiteit Agrarisch Gebied. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2026, Nr. 35. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. https://doi.org/10.21436/inbor.147396326.

Jansen J., Cartuyvels E., Desmet S., Heremans S., Van Calster H., Van Overmeeren N., Vanpoucke K. & Langeraert W. (in voorbereiding). Uitrol van het Meetnet Agrarische Soorten (MAS) in Vlaanderen. Achtergronddocument bij het MAS in het kader van het Meetnet Biodiversiteit in Agrarisch Gebied (MBAG). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Landau W.M. (2021). The targets R package: a dynamic Make-like function-oriented pipeline toolkit for reproducibility and high-performance computing. Journal of Open Source Software 6 (57): 2959. https://doi.org/10.21105/joss.02959.

Langeraert W., Van Calster Hans, Van Overmeeren N. & Johannes J. (2025). Meetnet Agrarische Soorten: van lokale pilootstudie tot een Vlaams monitoring instrument. Steekproefdesign voor de monitoring van agrarische fauna in Vlaanderen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2025, Nr. 30. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. https://doi.org/10.21436/inbor.126766638.

McGillycuddy M., Warton D.I., Popovic G. & Bolker B.M. (2025). Parsimoniously Fitting Large Multivariate Random Effects in glmmTMB. Journal of Statistical Software 112 (1): 1-19. https://doi.org/10.18637/jss.v112.i01.

Onkelinx T. (2026). designpower: Design Power Analysis Tools. Version 0.0.3. https://github.com/inbo/designpower/.

R Core Team (2026). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://doi.org/10.32614/R.manuals.

Signorini D.F. (1991). Sample Size for Poisson Regression. Biometrika 78 (2): 446-450. https://doi.org/10.2307/2337274.

Van Gossum P., Van Calster H., Cartuyvels E., Onkelinx T., Dekeukeleire D., Van Driessche C., Spanhove T., Brys R., Jacobs S., Jansen J., Maebe K., De Knijf G., Strubbe D., De Keersmaeker L., Westra T., Vandekerkhove K., Milotic T., van Doorn L., Langeraert W., Vangansbeke P., Maes D., Reyserhove L., De Wever A., De Saeger S., Melckebeke J., Oosterlynck P., Adriaens T. & Van Damme S. (in voorbereiding). Wetenschappelijk kader voor monitoring in kader van de Natuurherstelverordening [Consultatieversie]. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2026, Nr. 21. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

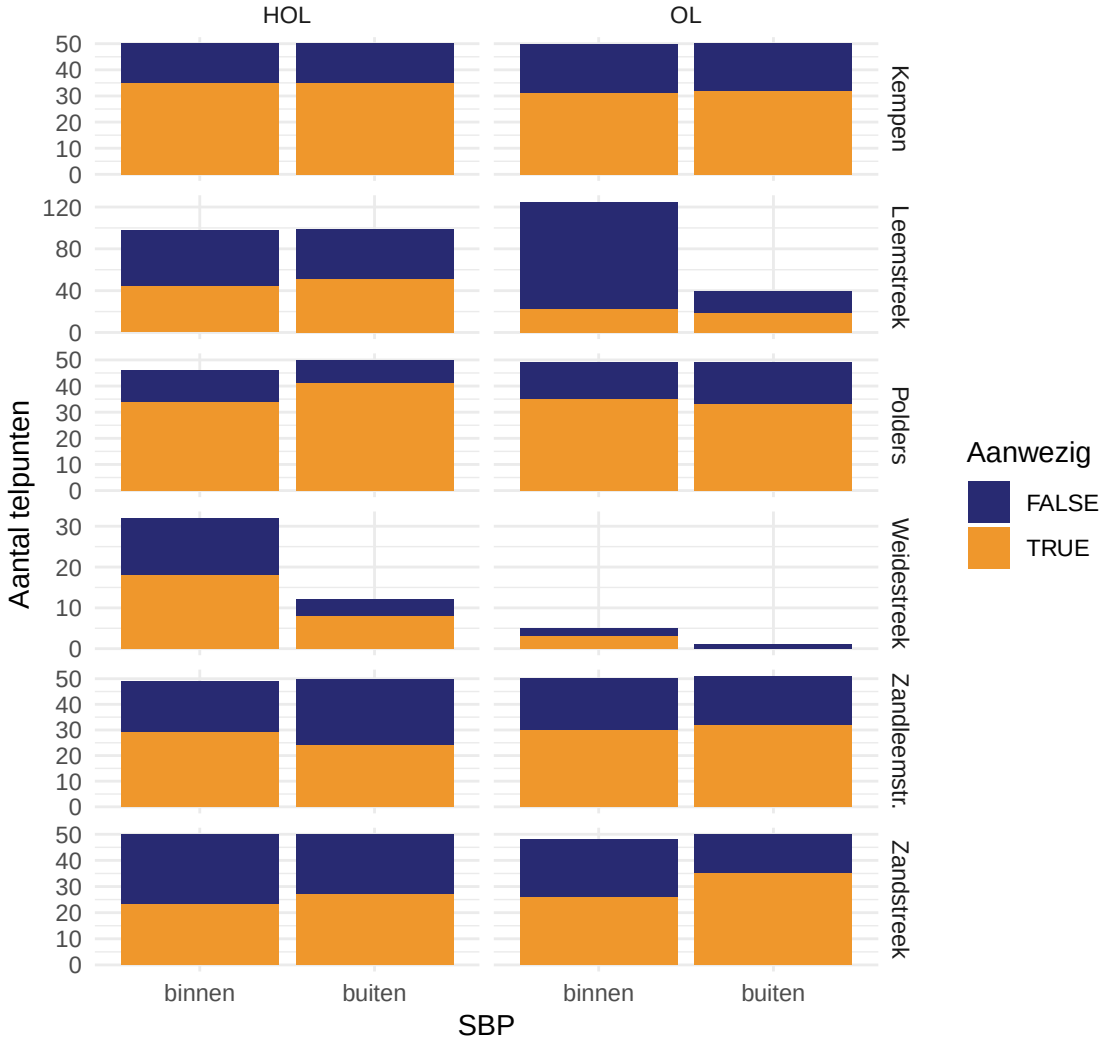
Vermeersch G., Anselin A., Devos K., Herremans M., Stevens J., Gabriëls J. & Van Der Krieken B. (2004). Atlas van de Vlaamse broedvogels 2000-2002. Mededelingen van het Instituut voor Natuurbehoud 23, Brussel.

A AANWEZIGHEID PER SOORT

We beschouwen twee jaar en vier telperiodes. We gaan na waar elke soort is waargenomen tijdens deze acht bezoeken.

A.1 BOERENZWALUW

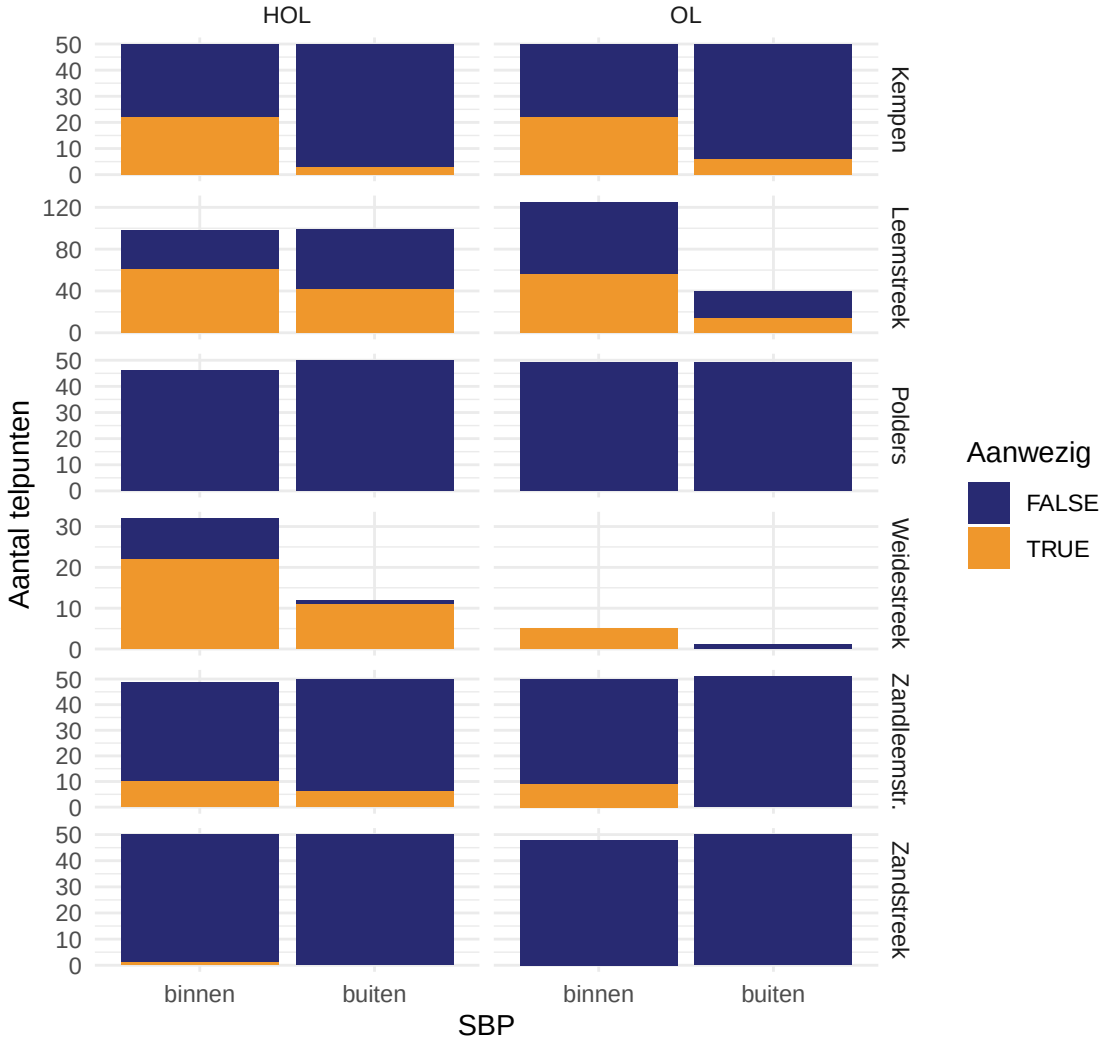
De boerenzwaluw werd in 55 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (45 %) als halfopen landschap (55 %) waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak binnen (49 %) als buiten SBP (51 %) waargenomen. De soort werd in elke regio in meer dan 20 % van de telpunten waargenomen. De boerenzwaluw werd het vaakst waargenomen in telronde 3. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.1: Aanwezigheid van boerenzwaluw over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.2 GEELGORS

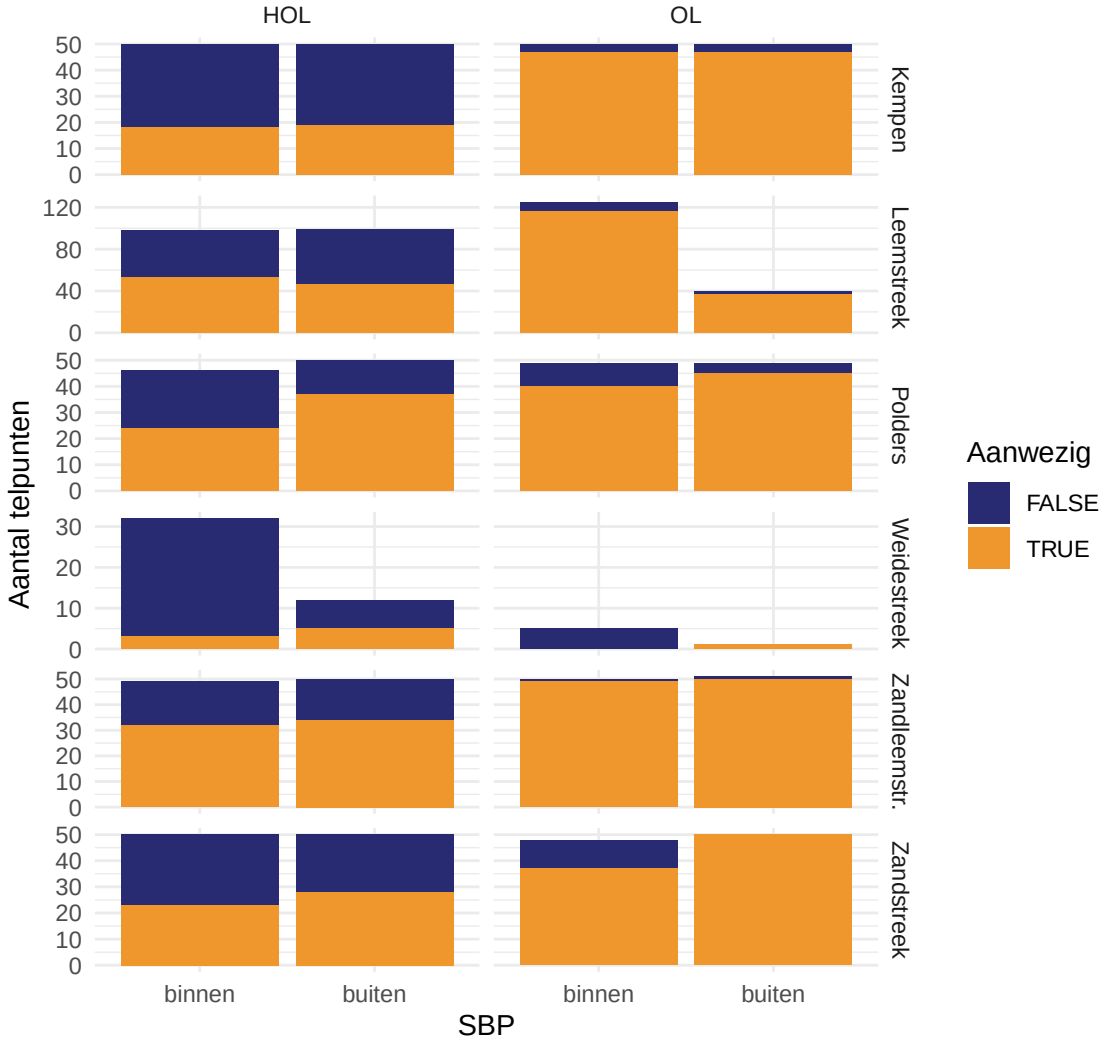
De geelgors werd in 24 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd vooral waargenomen in halfopen landschap (61 % van de bezochte telpunten). De soort werd vooral binnen SBP waargenomen (72 % van de bezochte telpunten). De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Polders (0 %), Zandstreek (1 %), Zandleemstreek (12 %). De geelgors werd het vaakst waargenomen in telronde 4. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.2: Aanwezigheid van geelgors over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.3 GELE KWIKSTAART

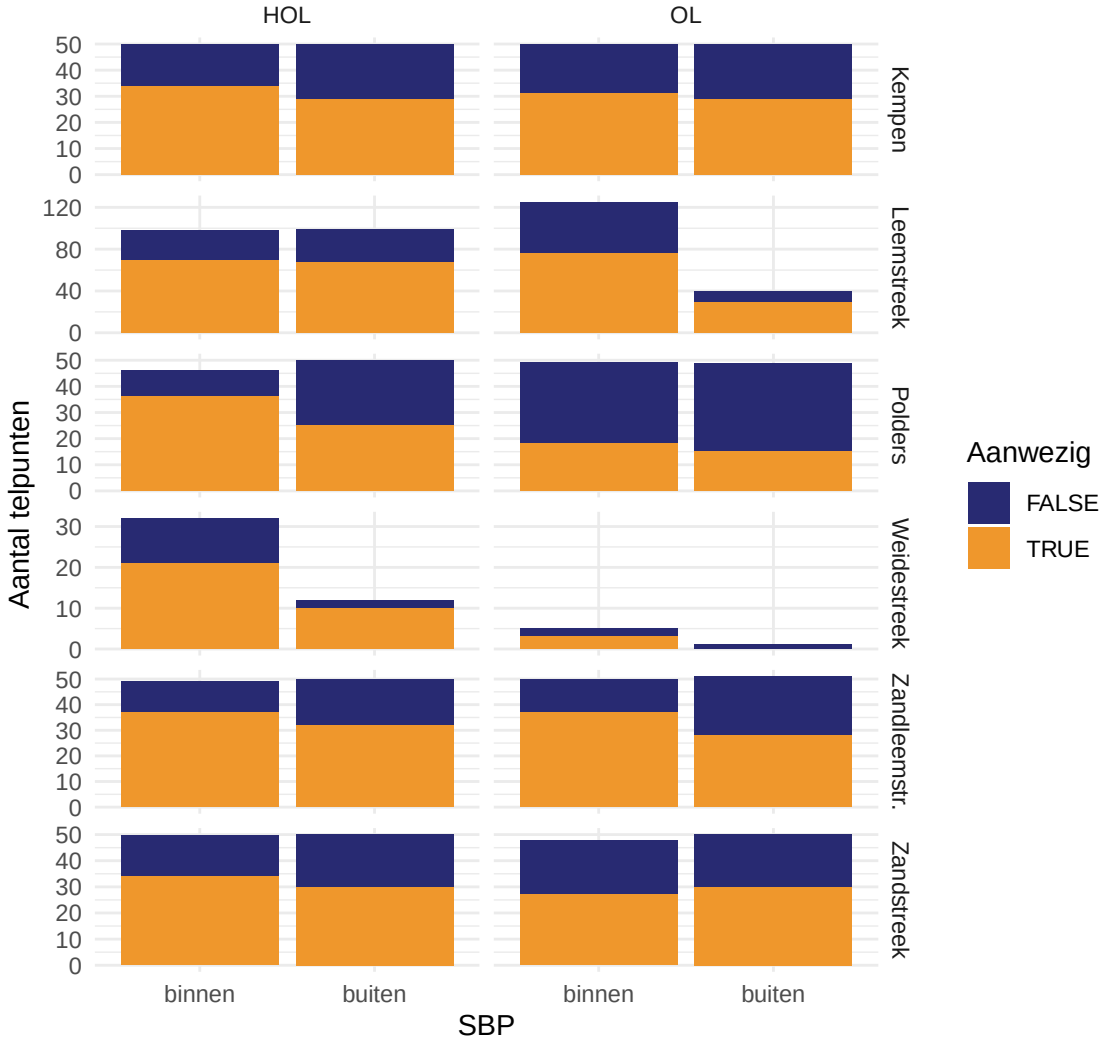
De gele kwikstaart werd in 70 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd vooral waargenomen in open landschap (62 % van de bezochte telpunten). De soort werd ongeveer even vaak binnen (53 %) als buiten SBP (47 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio Weidestreek (18 %). De gele kwikstaart werd het vaakst waargenomen in telronde 2. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.3: Aanwezigheid van gele kwikstaart over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.4 GRASMUS

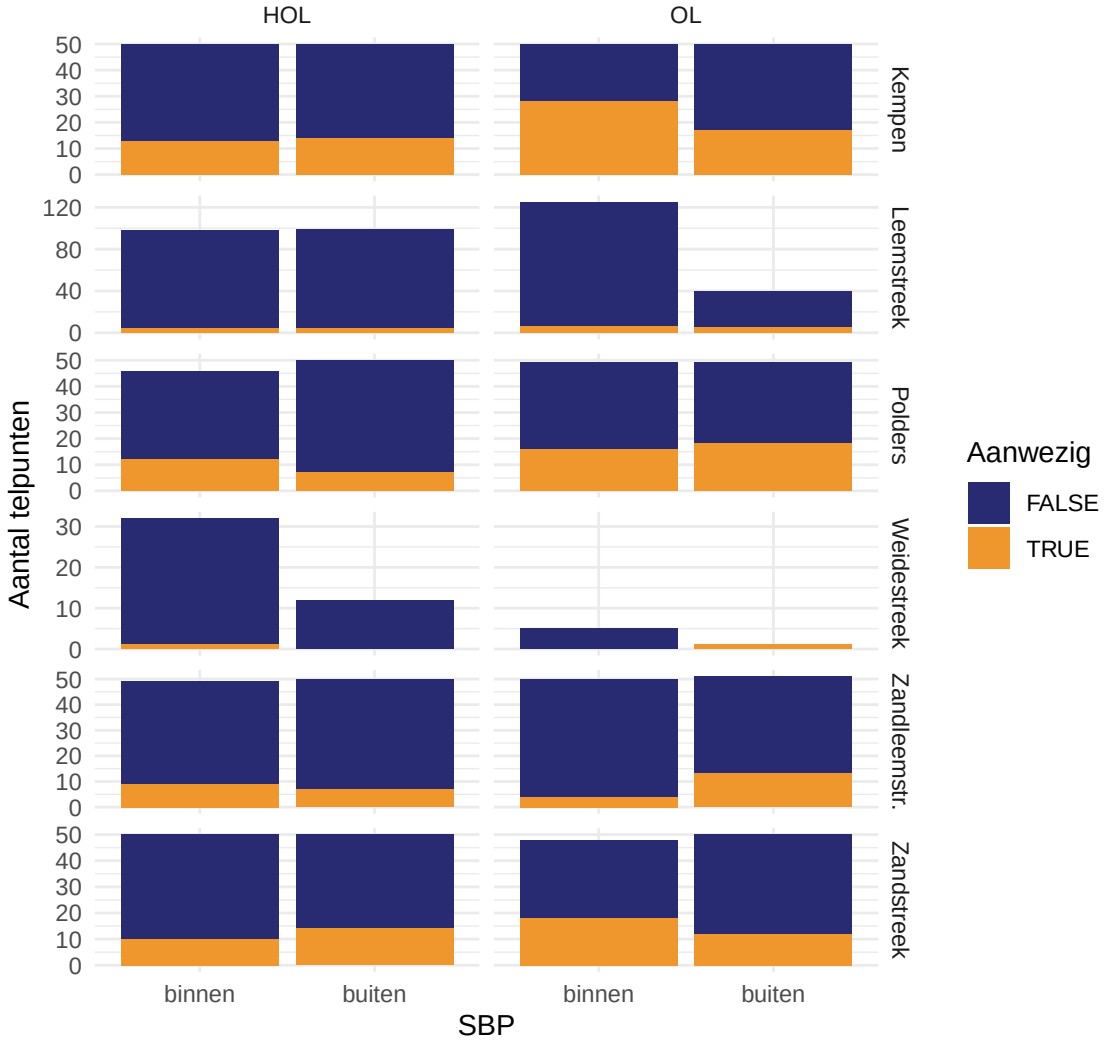
De grasmus werd in 62 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (43 %) als halfopen landschap (57 %) waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak binnen (57 %) als buiten SBP (43 %) waargenomen. De soort werd in elke regio in meer dan 20 % van de telpunten waargenomen. De grasmus werd het vaakst waargenomen in telronde 2. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.4: Aanwezigheid van grasmus over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.5 GRASPIEPER

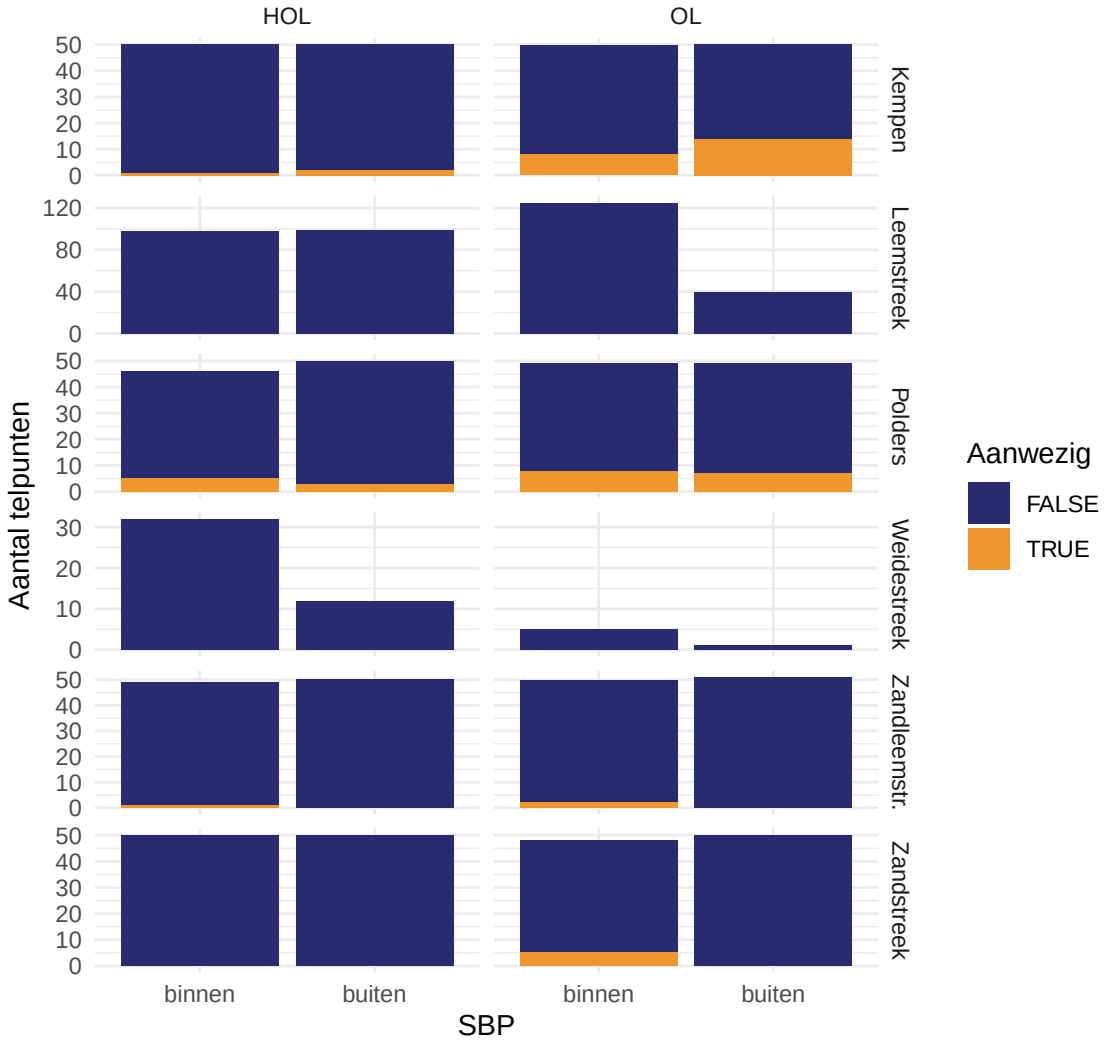
De graspieper werd in 19 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (59 %) als halfopen landschap (41 %) waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak binnen (52 %) als buiten SBP (48 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Leemstreek (5 %), Zandleemstreek (16 %), Weidestreek (4 %). De graspieper werd het vaakst waargenomen in telronde 1. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.5: Aanwezigheid van graspieper over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.6 GRUTTO

De grutto werd in 5 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd vooral waargenomen in open landschap (79 % van de bezochte telpunten). De soort werd ongeveer even vaak binnen (54 %) als buiten SBP (46 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Polders (12 %), Kempen (12 %), Leemstreek (0 %), Zandstreek (3 %), Zandleemstreek (2 %), Weidestreek (0 %). De grutto werd het vaakst waargenomen in telronde 2. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.

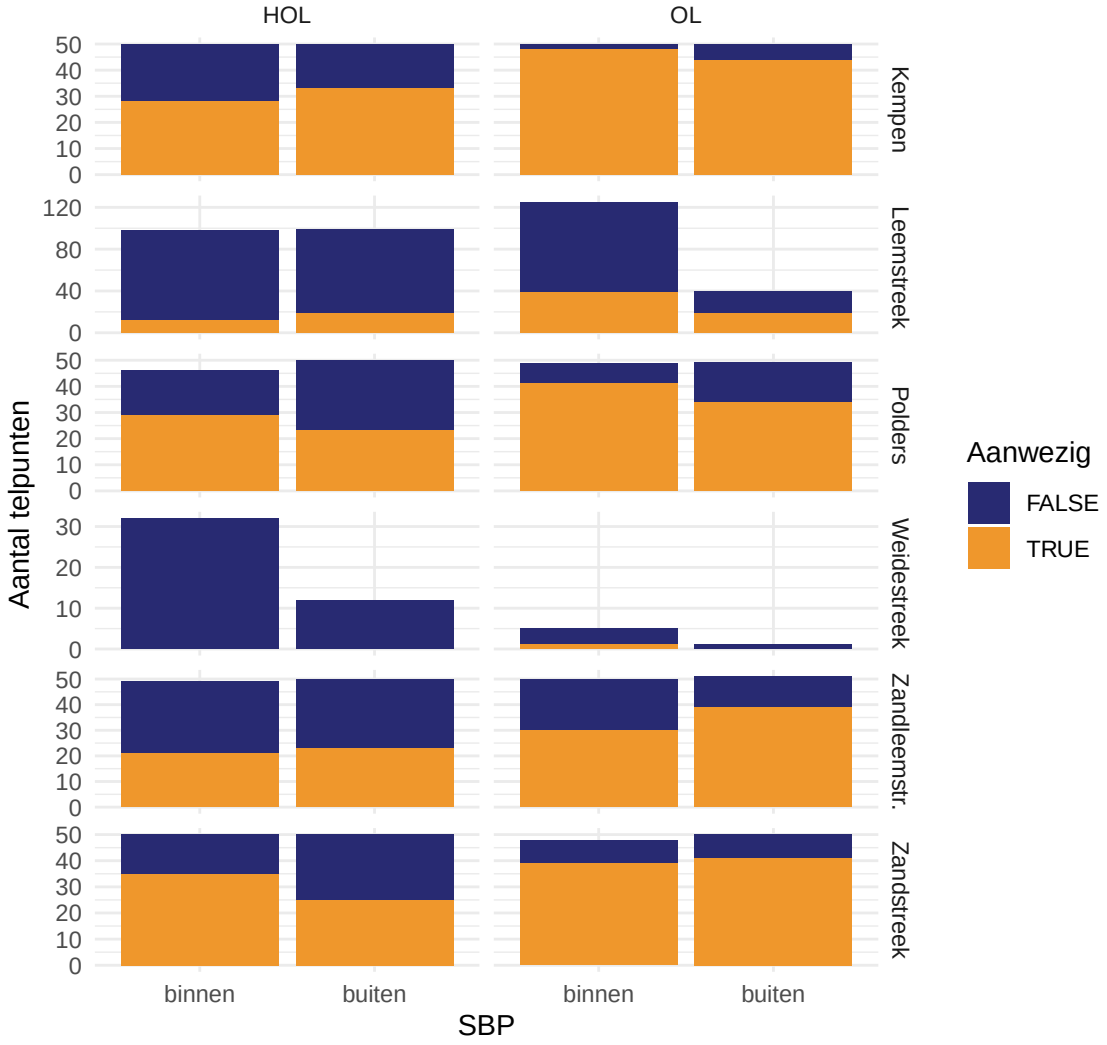


Figuur A.6: Aanwezigheid van grutto over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

10.21436/inbor.152017328

A.7 KIEVIT

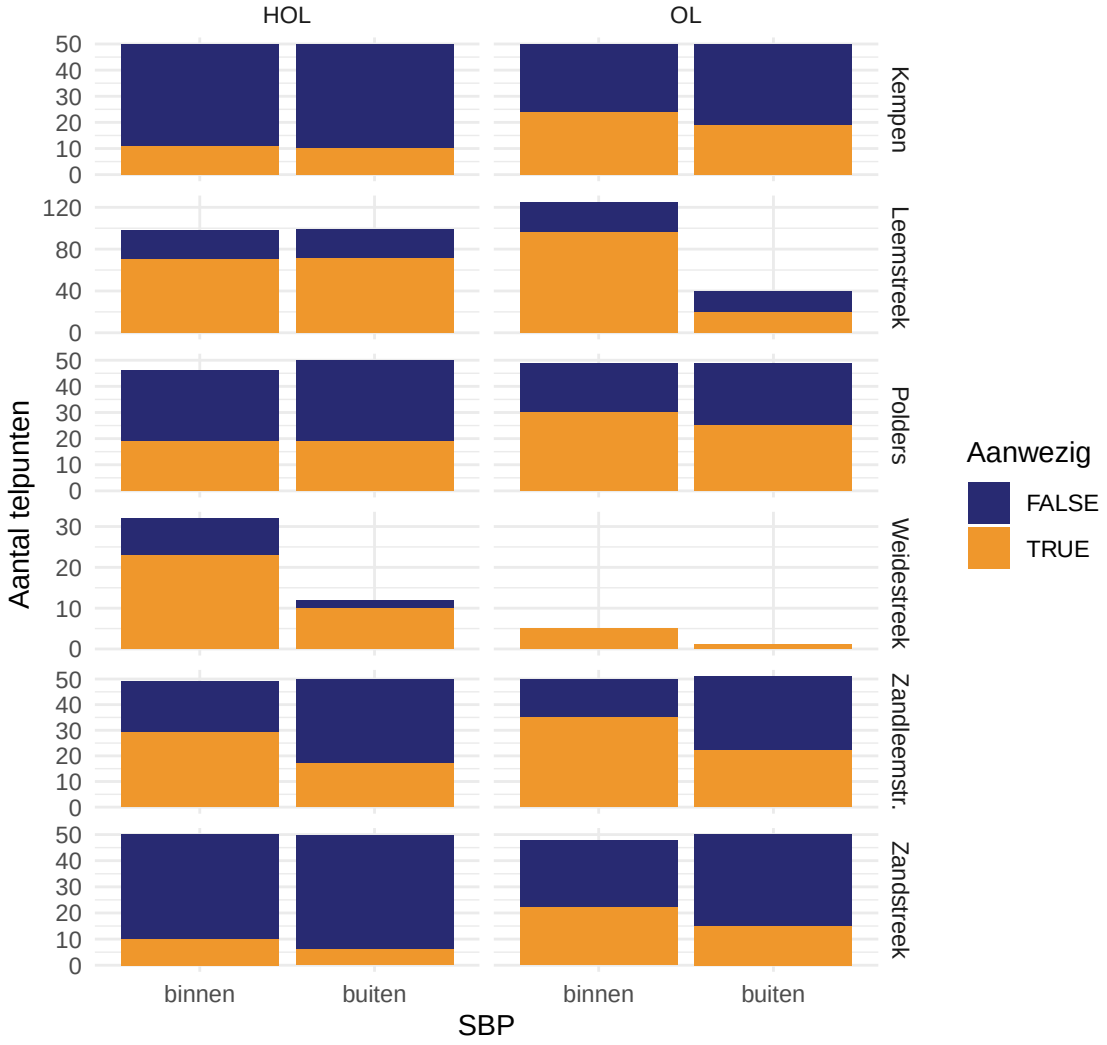
De kievit werd in 52 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd vooral waargenomen in open landschap (60 % van de bezochte telpunten). De soort werd ongeveer even vaak binnen (52 %) als buiten SBP (48 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio Weidestreek (2 %). De kievit werd het vaakst waargenomen in telronde 2. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.7: Aanwezigheid van kievit over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.8 KNEU

De kneu werd in 51 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (52 %) als halfopen landschap (48 %) waargenomen. De soort werd vooral binnen SBP waargenomen (61 % van de bezochte telpunten). De soort werd in elke regio in meer dan 20 % van de telpunten waargenomen. De kneu werd het vaakst waargenomen in telronde 1. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.

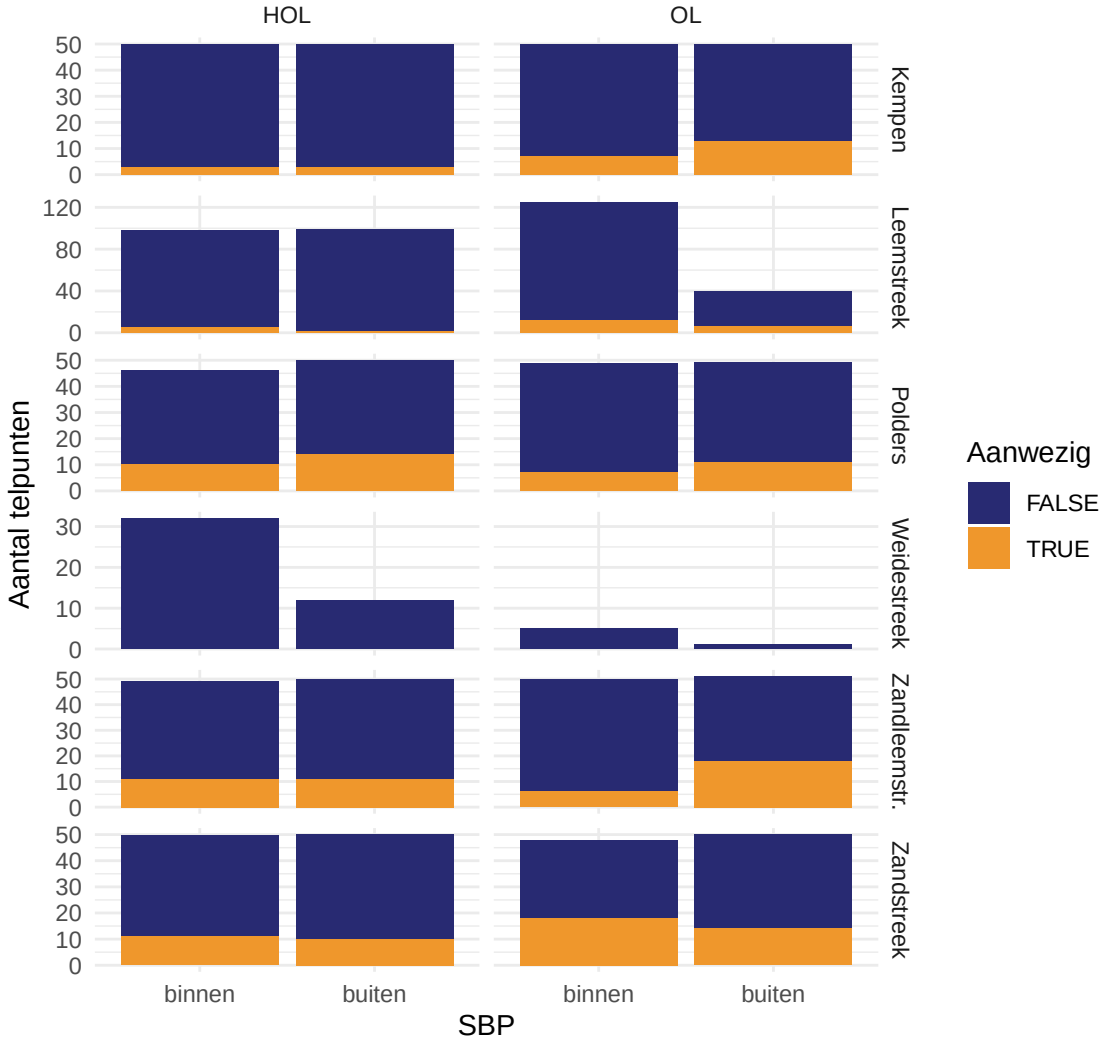


Figuur A.8: Aanwezigheid van kneu over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

10.21436/inbor.152017328

A.9 PATRIJS

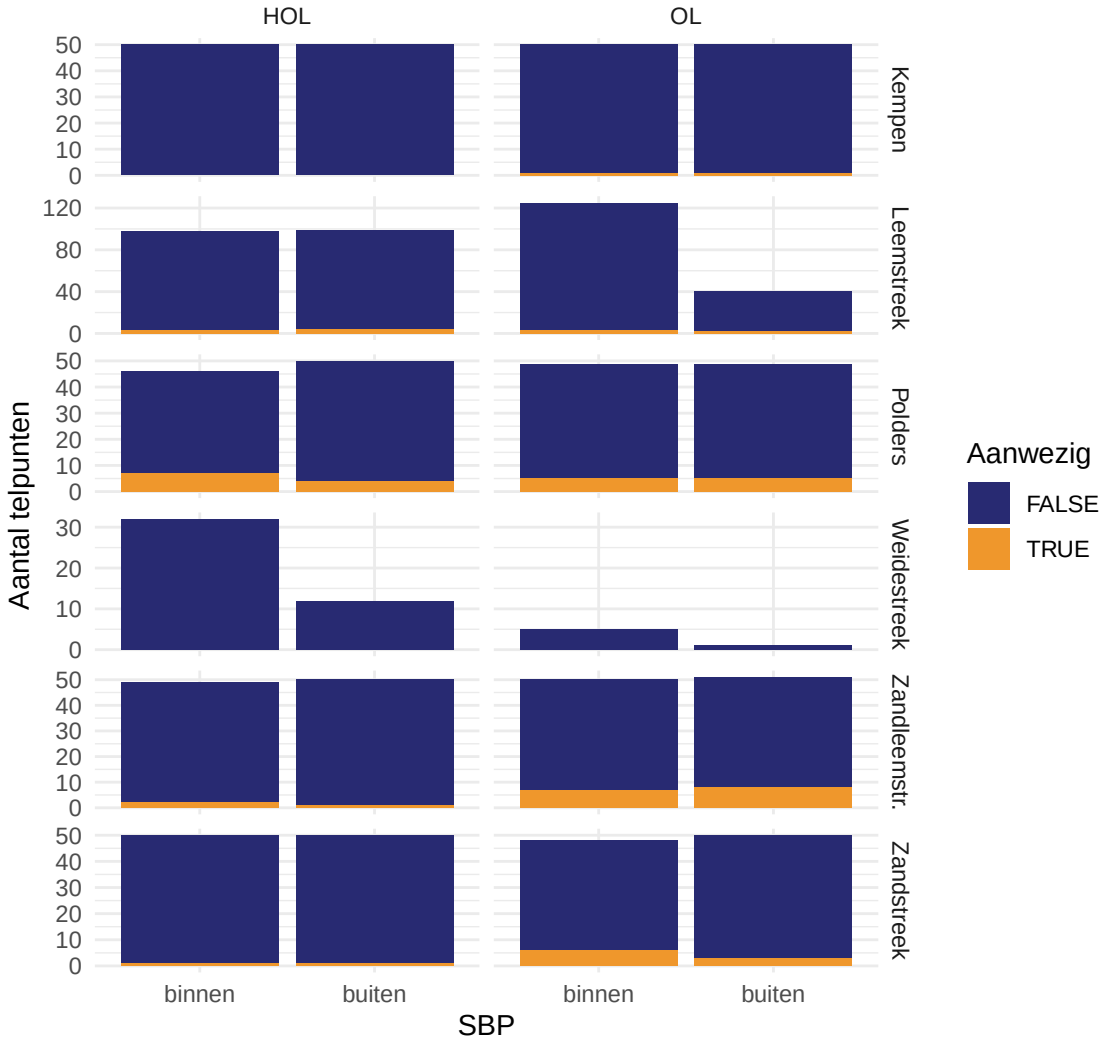
De patrijs werd in 16 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (59 %) als halfopen landschap (41 %) waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak binnen (47 %) als buiten SBP (53 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Kempen (13 %), Leemstreek (7 %), Weidestreek (0 %). De patrijs werd het vaakst waargenomen in telronde 1. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.9: Aanwezigheid van patrijs over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.10 RINGMUS

De ringmus werd in 5 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd vooral waargenomen in open landschap (64 % van de bezochte telpunten). De soort werd ongeveer even vaak binnen (55 %) als buiten SBP (45 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Polders (11 %), Kempen (1 %), Leemstreek (3 %), Zandstreek (6 %), Zandleemstreek (9 %), Weidestreek (0 %). De ringmus werd het vaakst waargenomen in telronde 3. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.

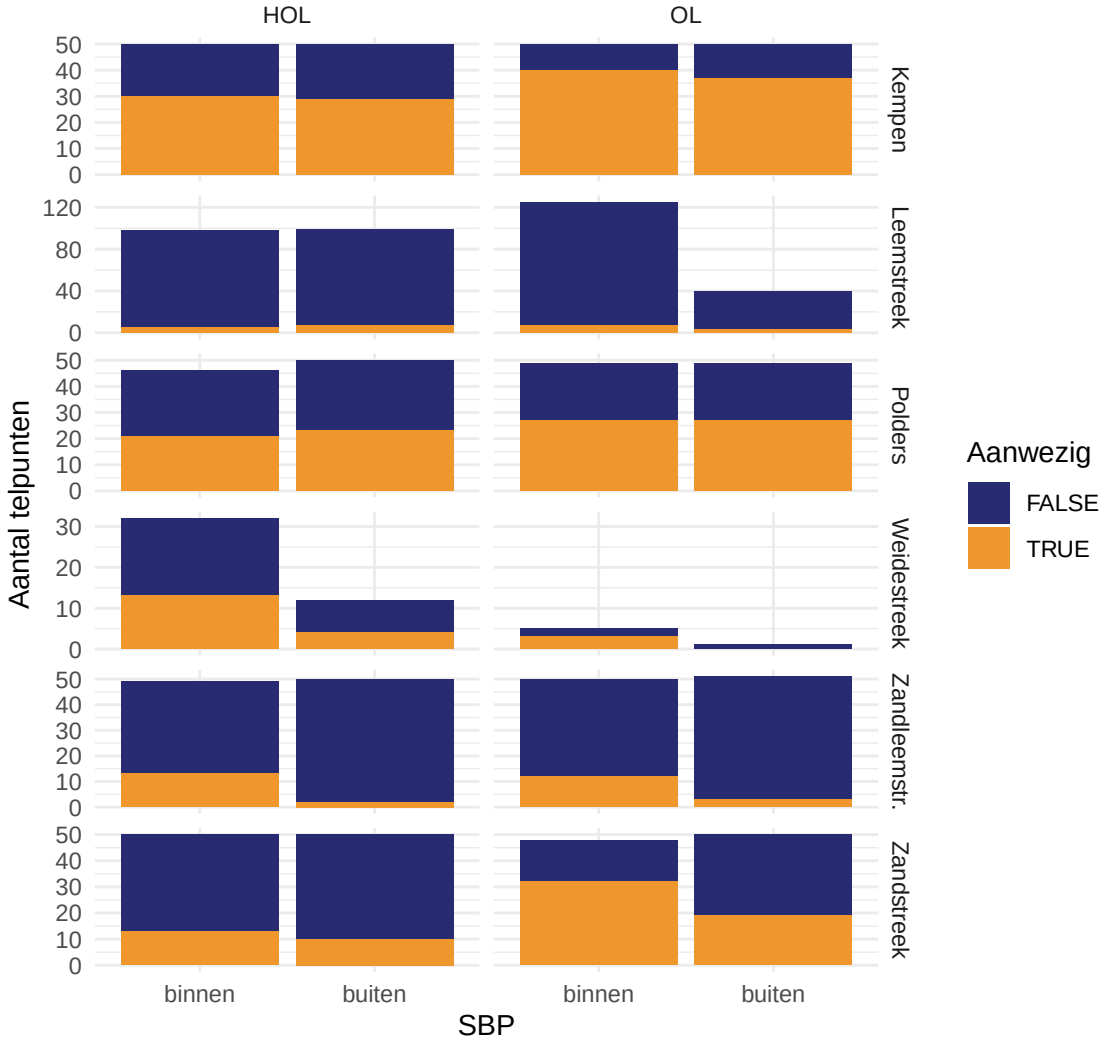


Figuur A.10: Aanwezigheid van ringmus over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

10.21436/inbor.152017328

A.11 ROODBORSTTAPUIT

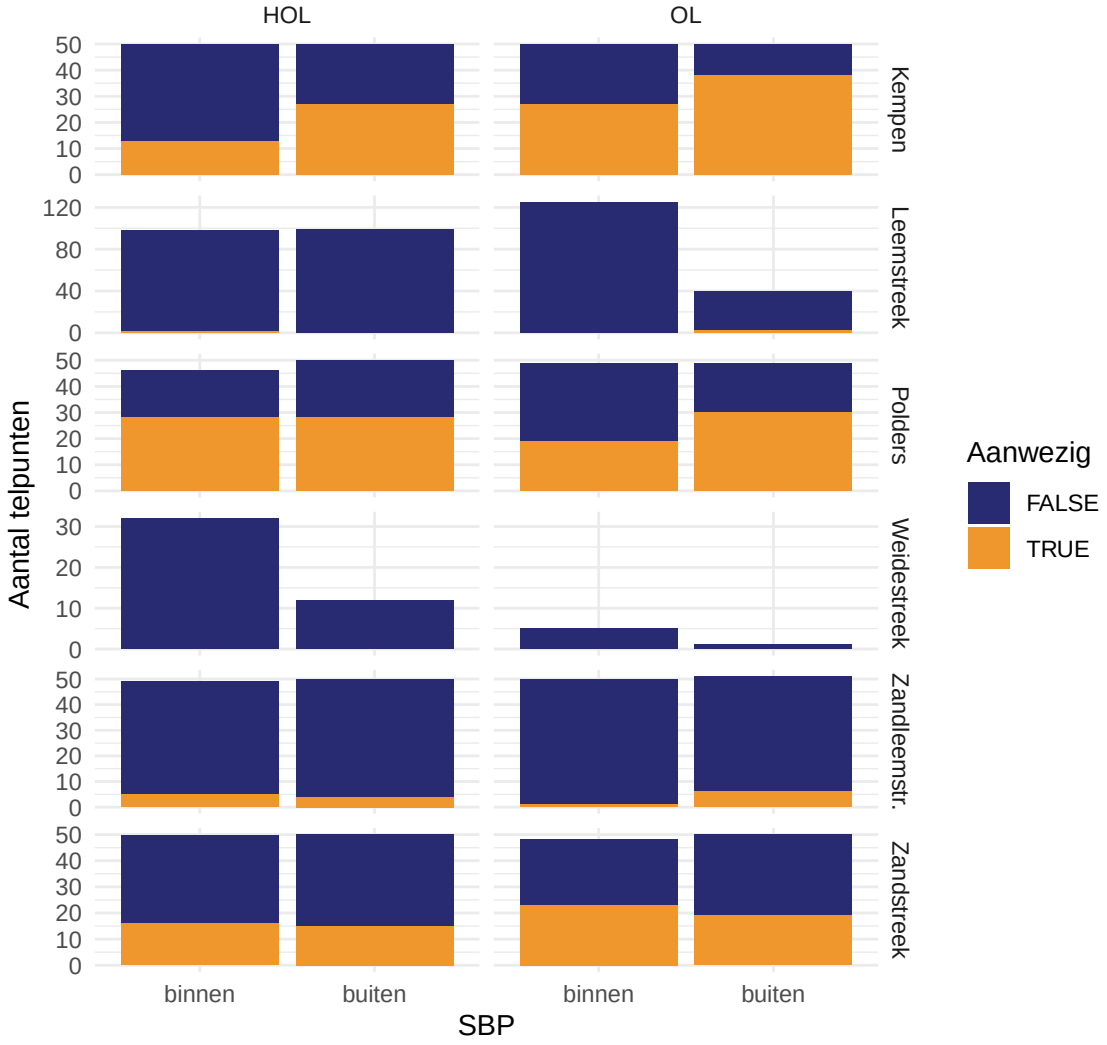
De roodborsttapuit werd in 32 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (55 %) als halfopen landschap (45 %) waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak binnen (57 %) als buiten SBP (43 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Leemstreek (6 %), Zandleemstreek (15 %). De roodborsttapuit werd het vaakst waargenomen in telronde 3. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.11: Aanwezigheid van roodborsttapuit over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.12 SCHOLEKSTER

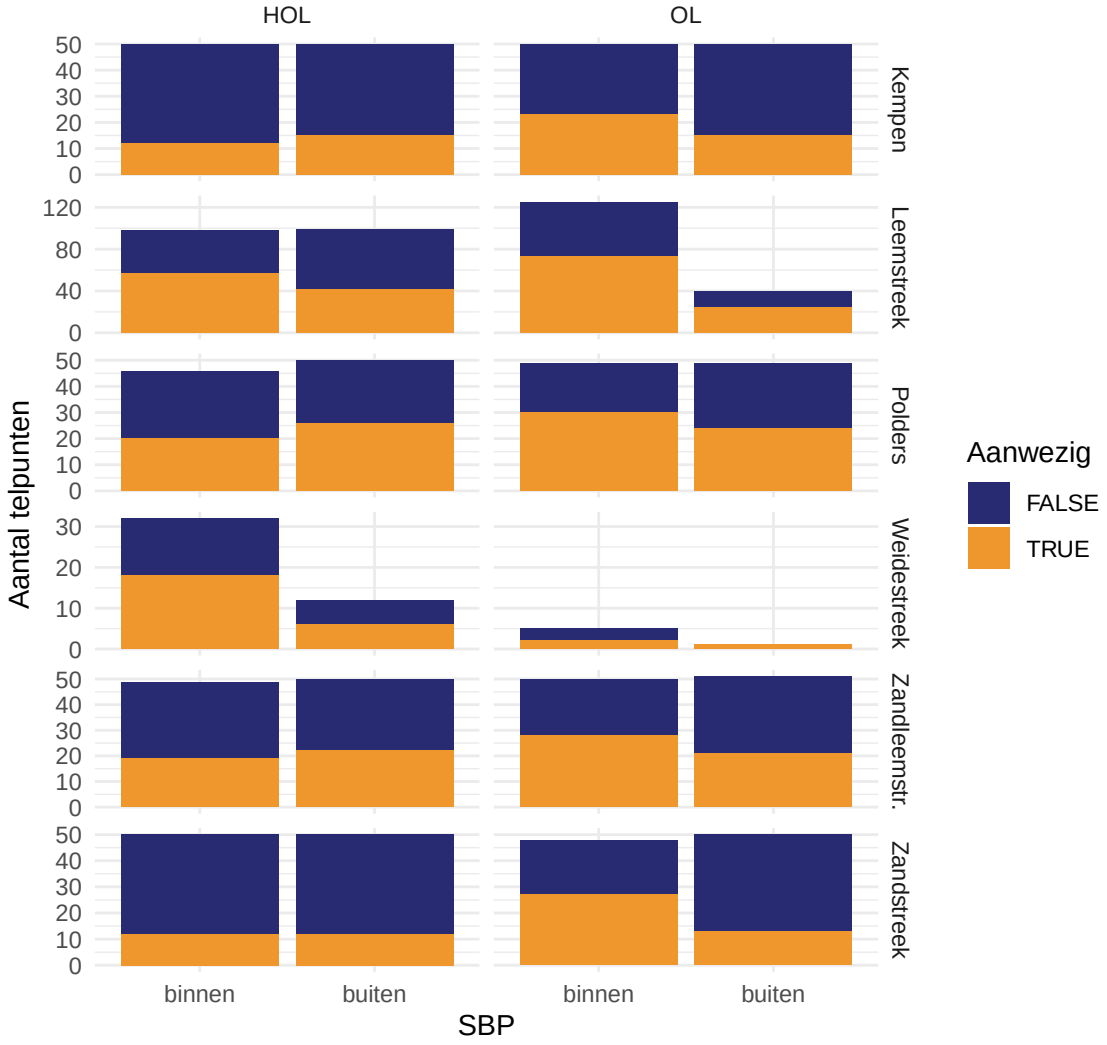
De scholekster werd in 25 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (55 %) als halfopen landschap (45 %) waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak binnen (44 %) als buiten SBP (56 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Leemstreek (1 %), Zandleemstreek (8 %), Weidestreek (0 %). De scholekster werd het vaakst waargenomen in telronde 3. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.12: Aanwezigheid van scholekster over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.13 TORENVALK

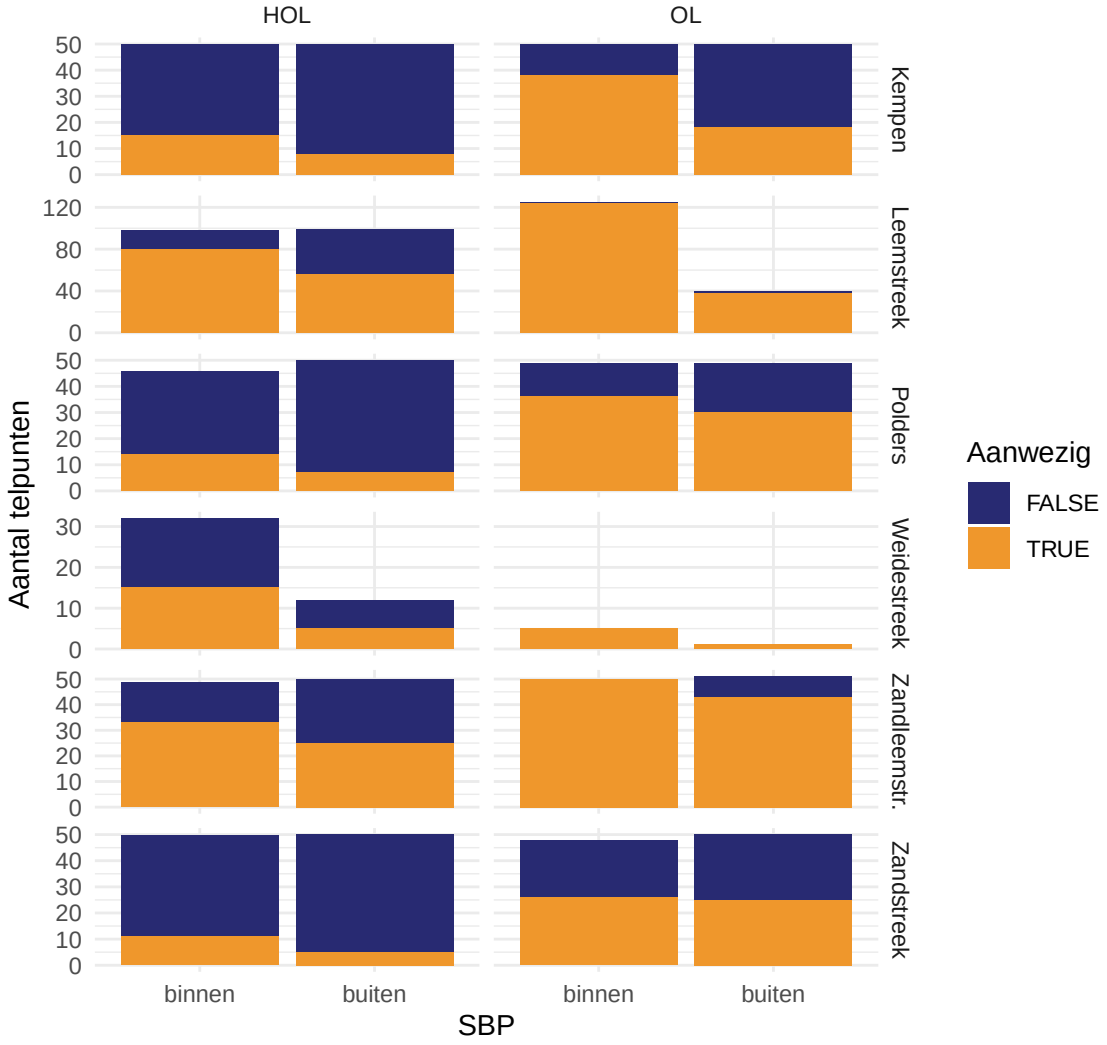
De torenvalk werd in 45 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak in open (52 %) als halfopen landschap (48 %) waargenomen. De soort werd ongeveer even vaak binnen (59 %) als buiten SBP (41 %) waargenomen. De soort werd in elke regio in meer dan 20 % van de telpunten waargenomen. De torenvalk werd het vaakst waargenomen in telronde 4. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.13: Aanwezigheid van torenvalk over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.14 VELDLEEUWERIK

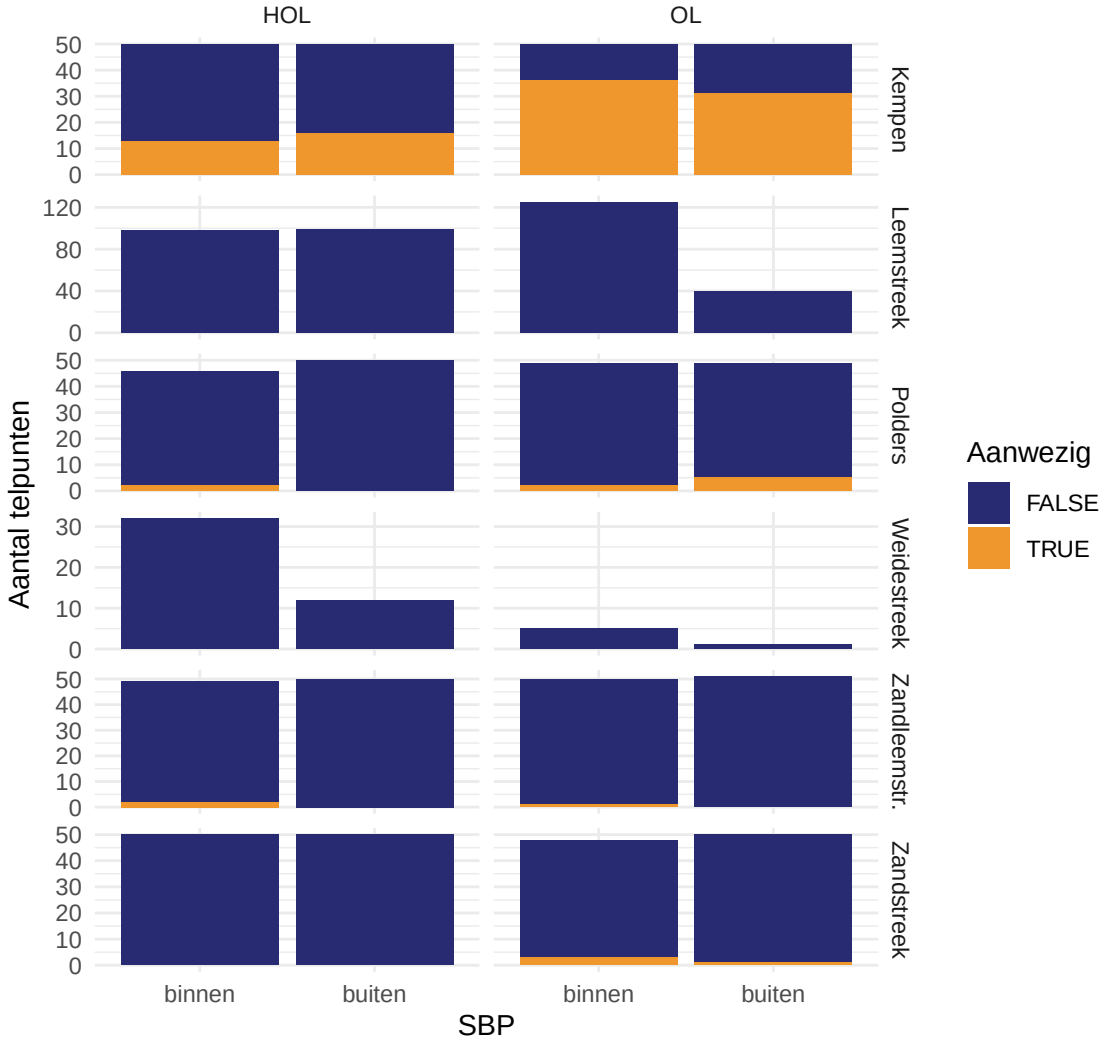
De veldleeuwerik werd in 59 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd vooral waargenomen in open landschap (61 % van de bezochte telpunten). De soort werd vooral binnen SBP waargenomen (63 % van de bezochte telpunten). De soort werd in elke regio in meer dan 20 % van de telpunten waargenomen. De veldleeuwerik werd het vaakst waargenomen in telronde 1. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



Figuur A.14: Aanwezigheid van veldleeuwerik over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

A.15 WULP

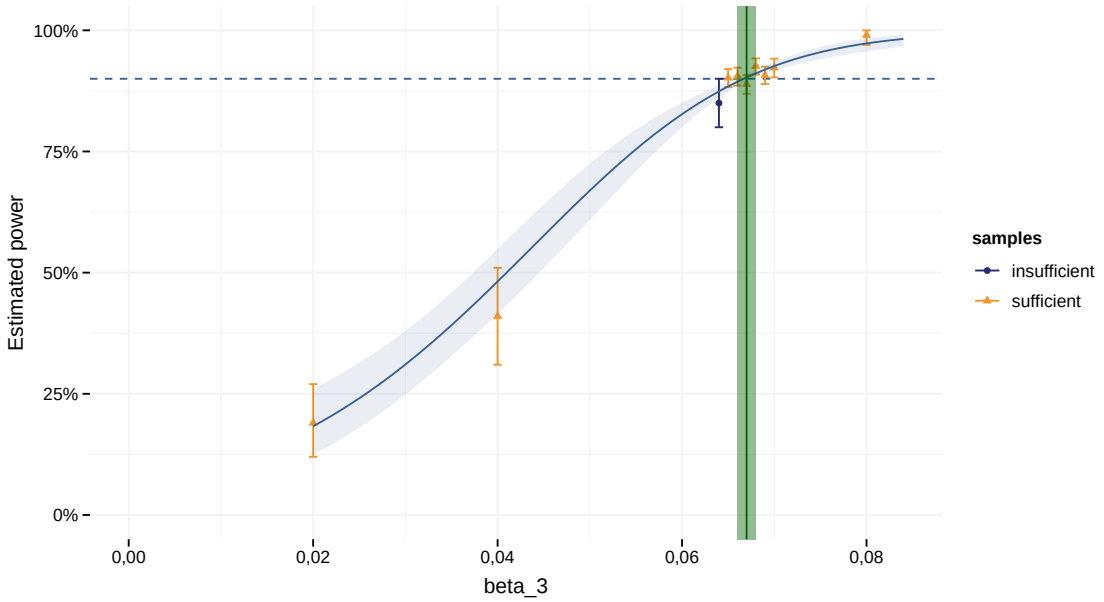
De wulp werd in 9 % van de bezochte telpunten waargenomen. De soort werd vooral waargenomen in open landschap (71 % van de bezochte telpunten). De soort werd ongeveer even vaak binnen (53 %) als buiten SBP (47 %) waargenomen. De soort werd slechts sporadisch waargenomen in de regio's Polders (5 %), Leemstreek (0 %), Zandstreek (2 %), Zandleemstreek (2 %), Weidestreek (0 %). De wulp werd het vaakst waargenomen in telronde 1. Enkel deze data werden behouden voor de schatting van de parameters.



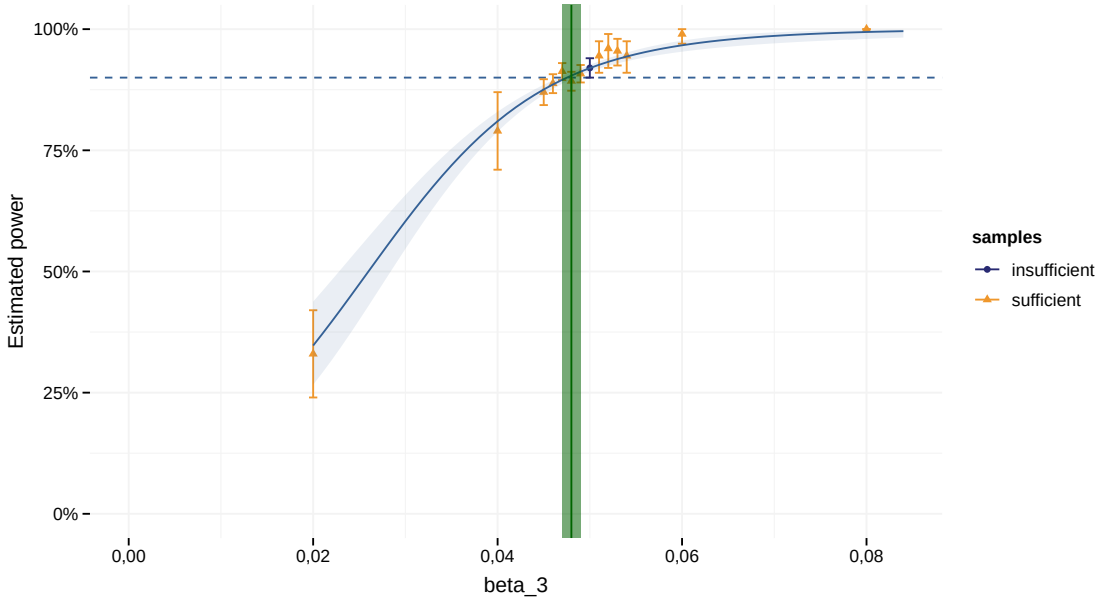
Figuur A.15: Aanwezigheid van wulp over twee jaren en vier telperiodes (acht bezoeken in totaal), uitgesplitst naar SBP, regio en openheidsklasse. De figuur toont het aantal telpunten waar de soort al dan niet werd waargenomen binnen elke combinatie van strata.

B VISUALISATIE VAN DE POWEROPTIMALISATIE

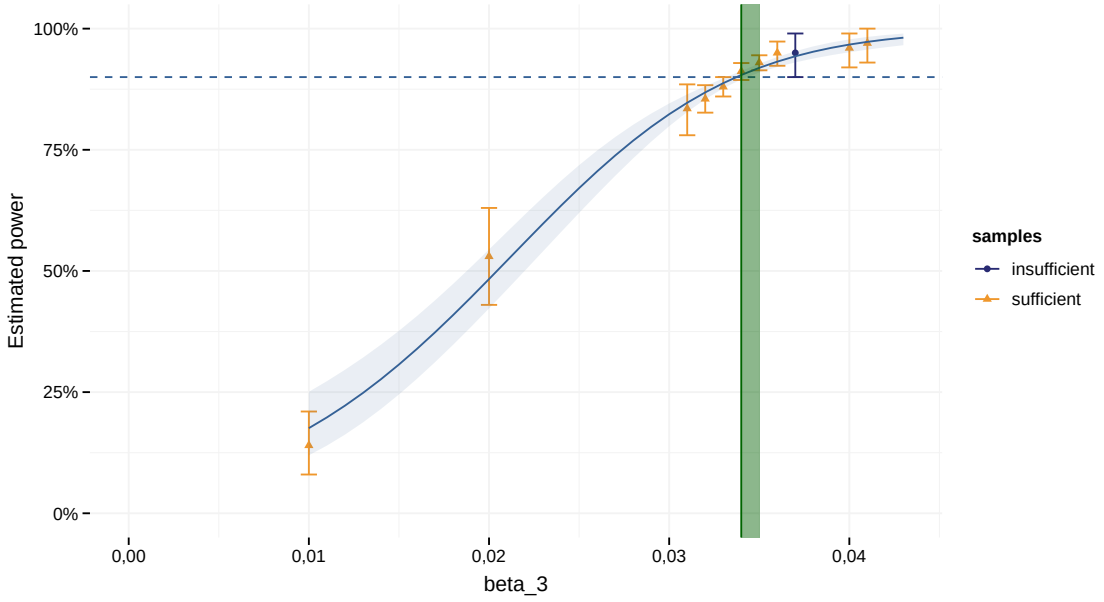
De onderstaande figuren tonen het verloop van de optimalisatie van de parameter β_3 door het **designpower** R package (Onkelinx, 2026) om een vooraf vastgelegde statistische power van 0,9 te bereiken. Voor elke geëvalueerde waarde van β_3 wordt de power geschat op basis van simulaties. De punten in de figuur geven de geschatte power voor de reeds geëvalueerde waarden weer, terwijl de foutbalken het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval tonen. De relatie tussen β_3 en de power wordt gevisualiseerd als een curve gefit via een GAM (*generalized additive model*). De horizontale stippellijn geeft de doelpower van 0,9 weer. De groene markeringen tonen de door het model geschatte optimale waarde en het interval waarin de doelpower wordt verwacht, terwijl de blauwe verticale lijn de uiteindelijk geselecteerde waarde van β_3 weergeeft.



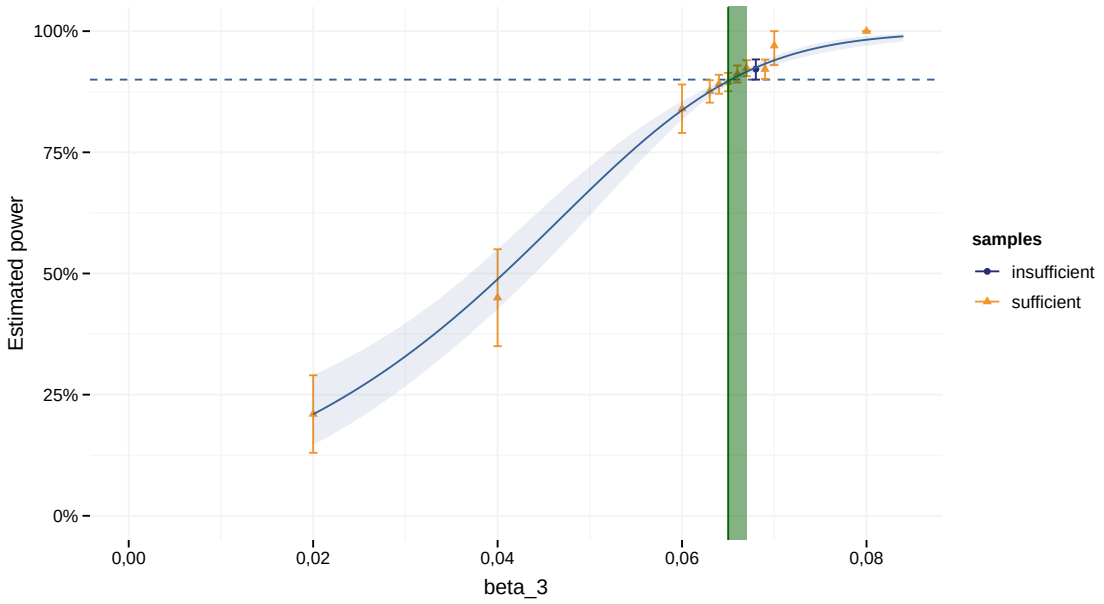
Figuur B.1: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 100 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,067.



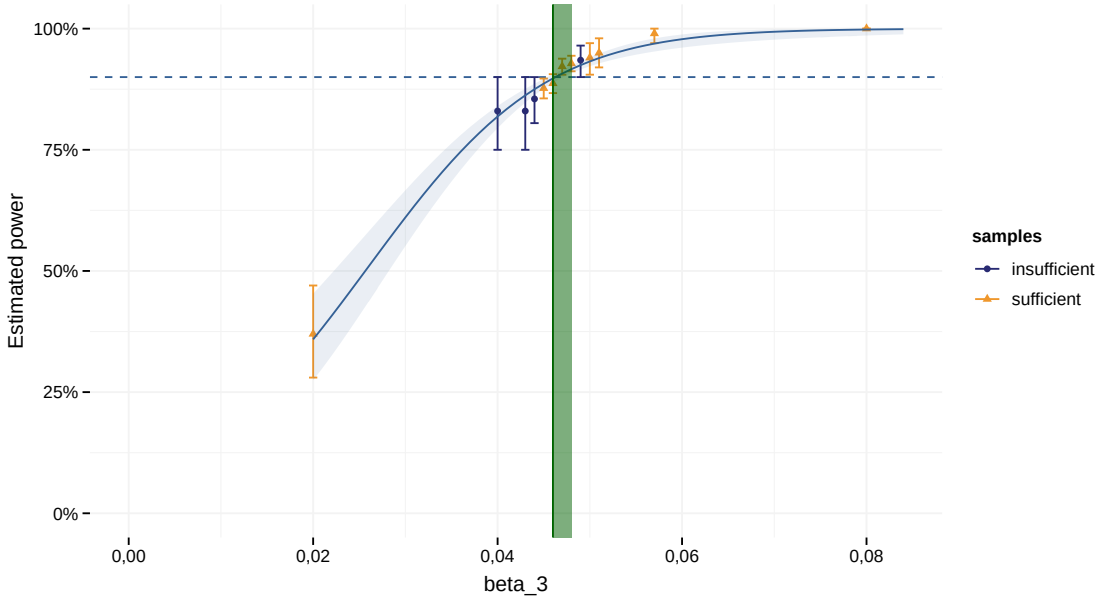
Figuur B.2: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 200 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,048.



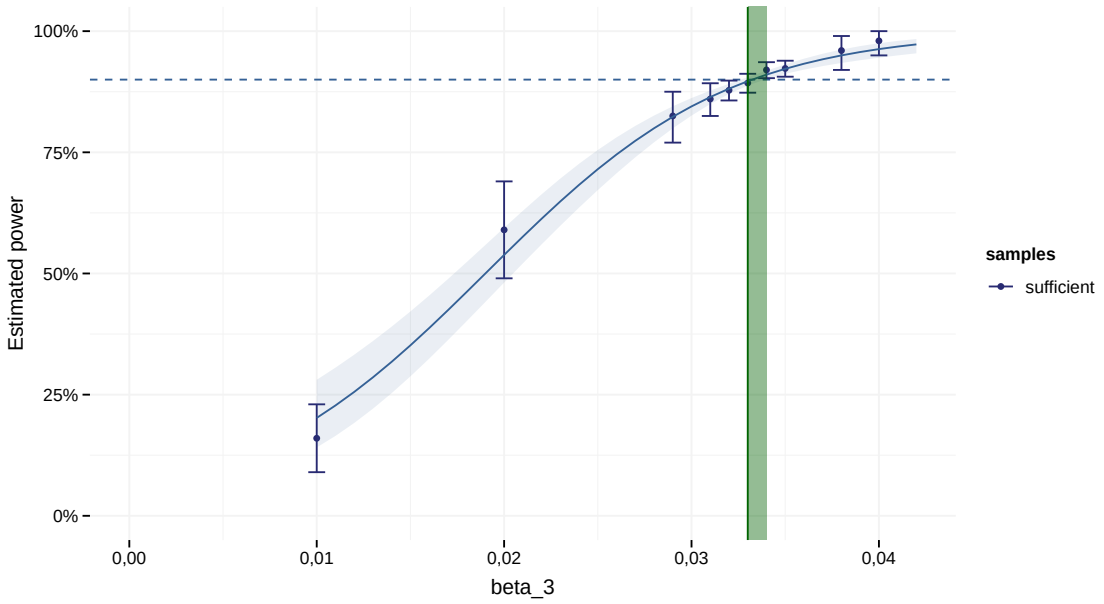
Figuur B.3: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 400 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,034.



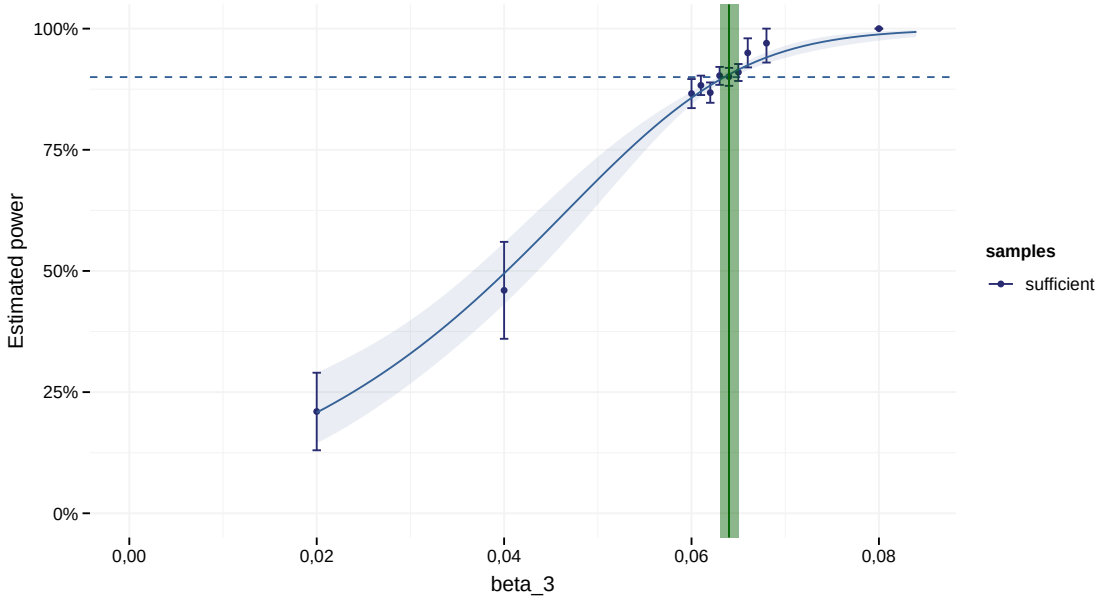
Figuur B.4: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 100 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(1), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,0198 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,065.



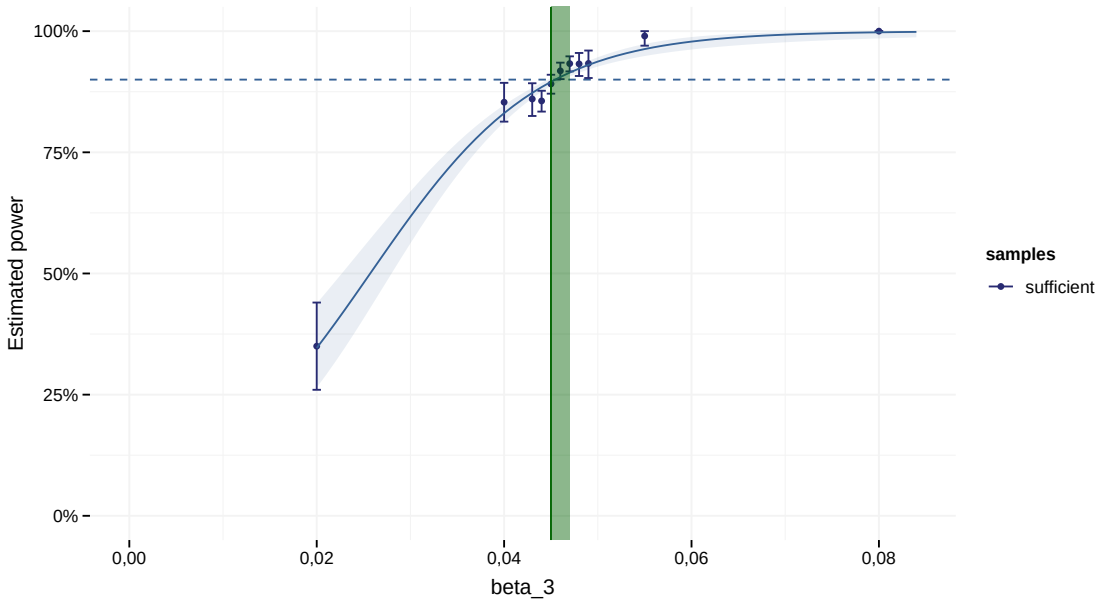
Figuur B.5: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 200 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(1), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,0198 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,046.



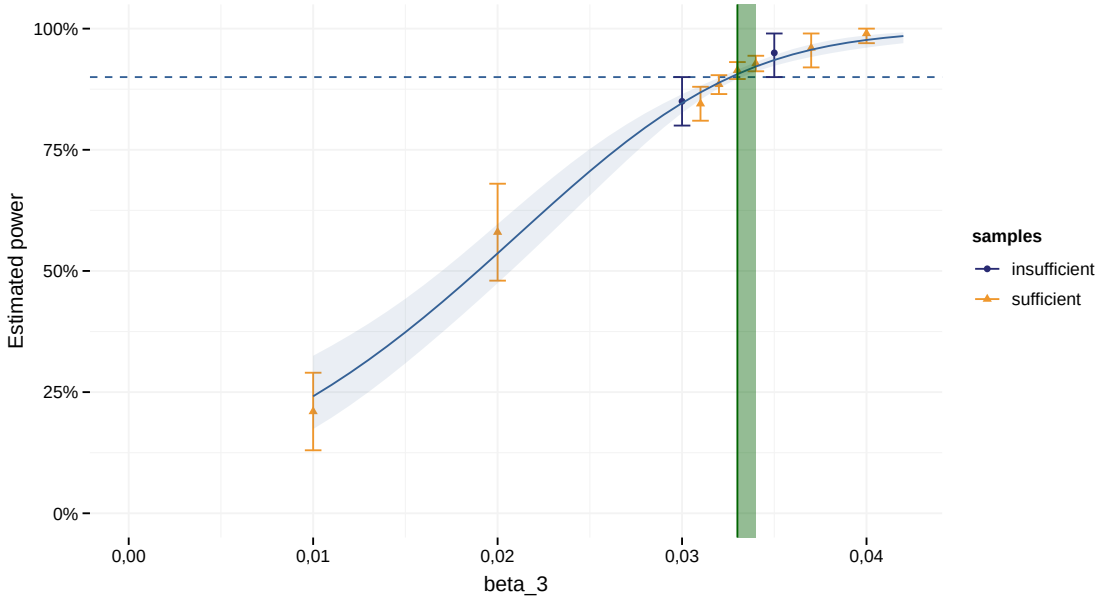
Figuur B.6: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 400 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(1), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,0198 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,033.



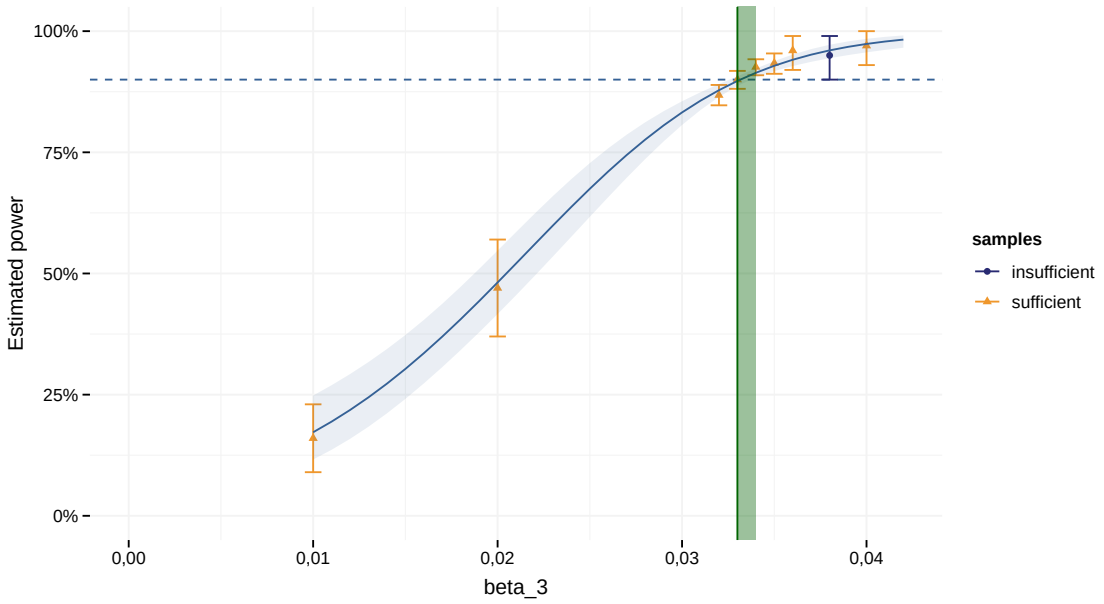
Figuur B.7: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 100 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(1,01), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,0196 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,064.



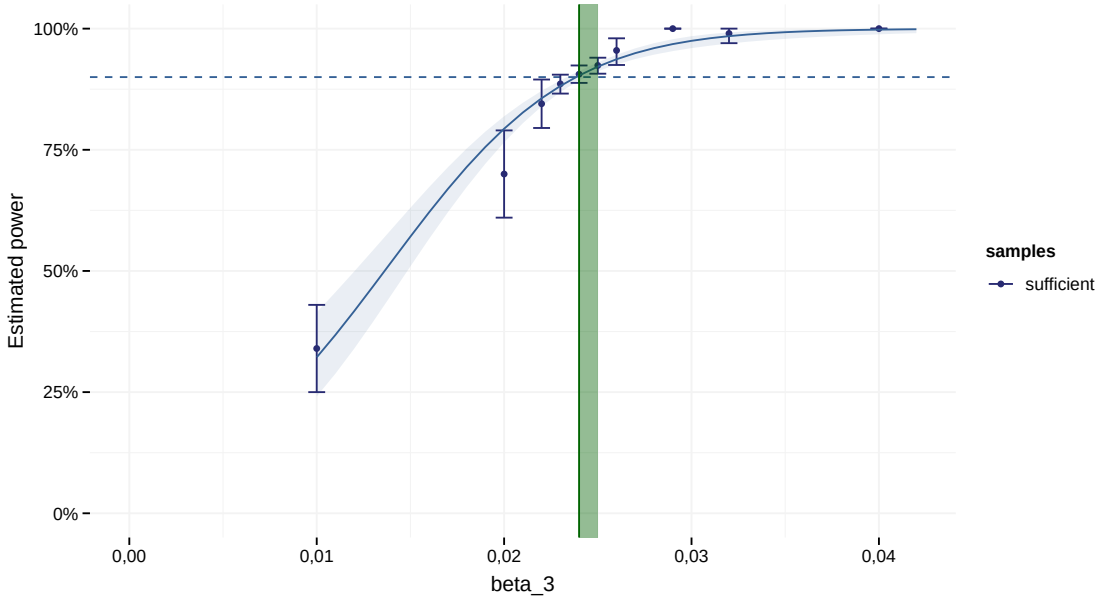
Figuur B.8: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 200 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(1,01), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,0196 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,045.



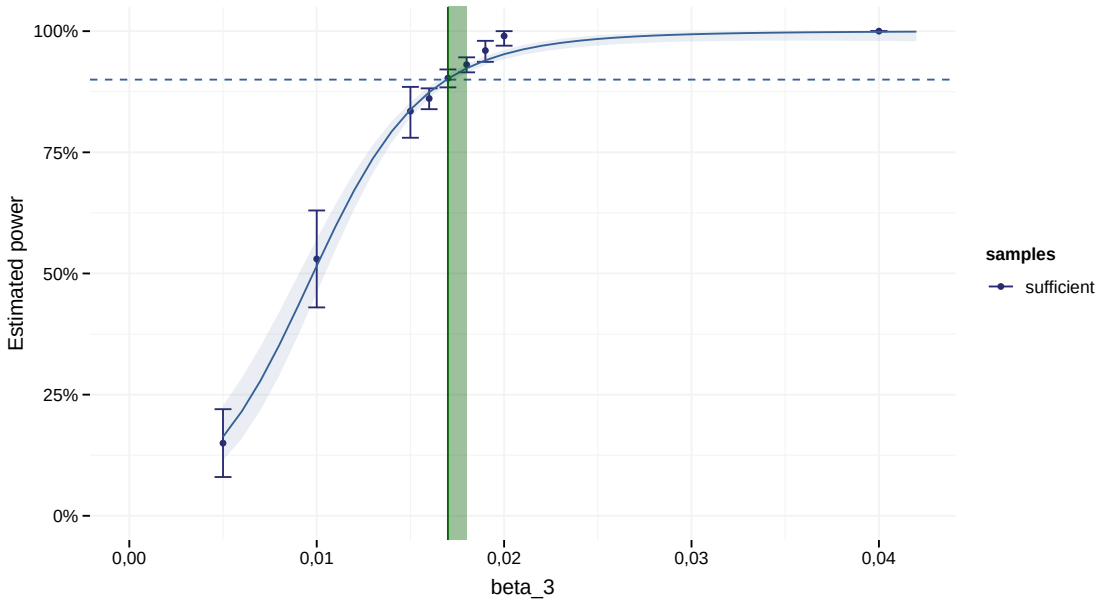
Figuur B.9: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 400 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(1,01), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,0196 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,033.



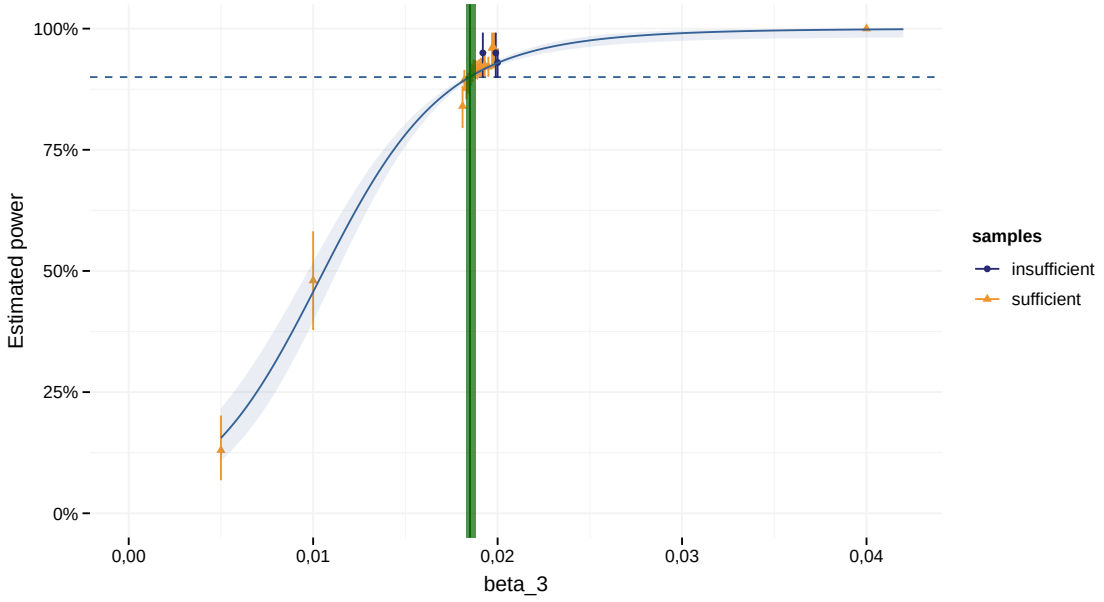
Figuur B.10: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 100 telpunten en een tijdreeks van 16 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,033.



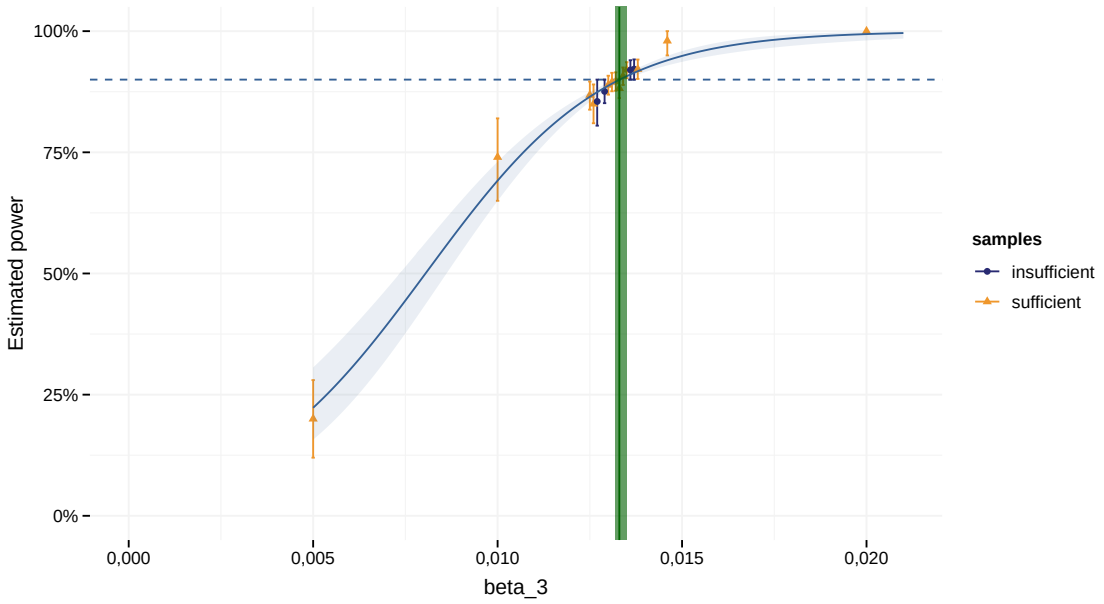
Figuur B.11: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 200 telpunten en een tijdreeks van 16 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,024.



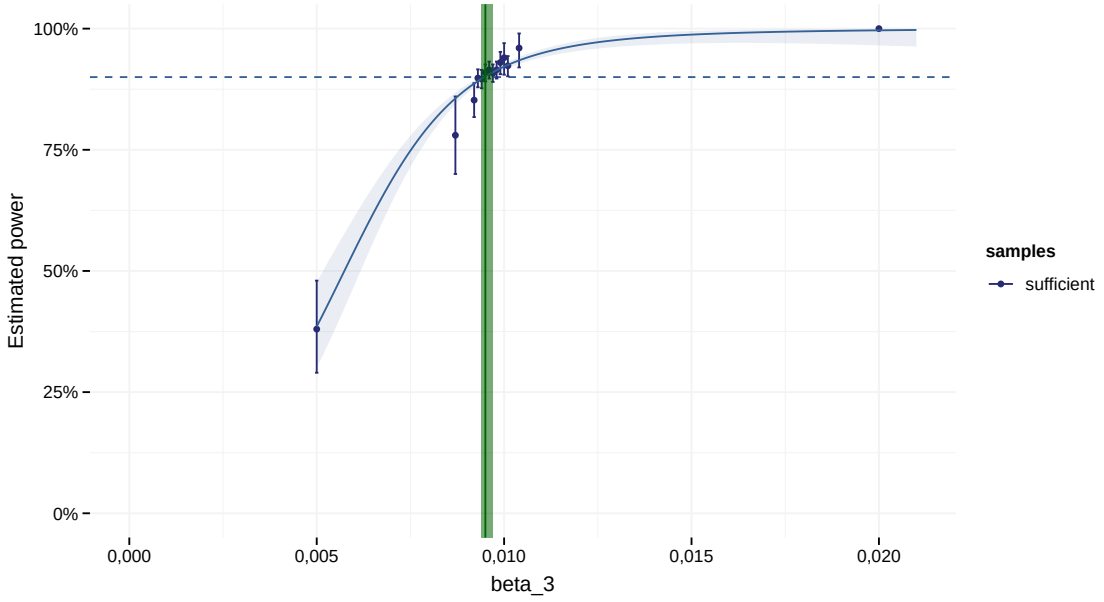
Figuur B.12: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 400 telpunten en een tijdreeks van 16 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,017.



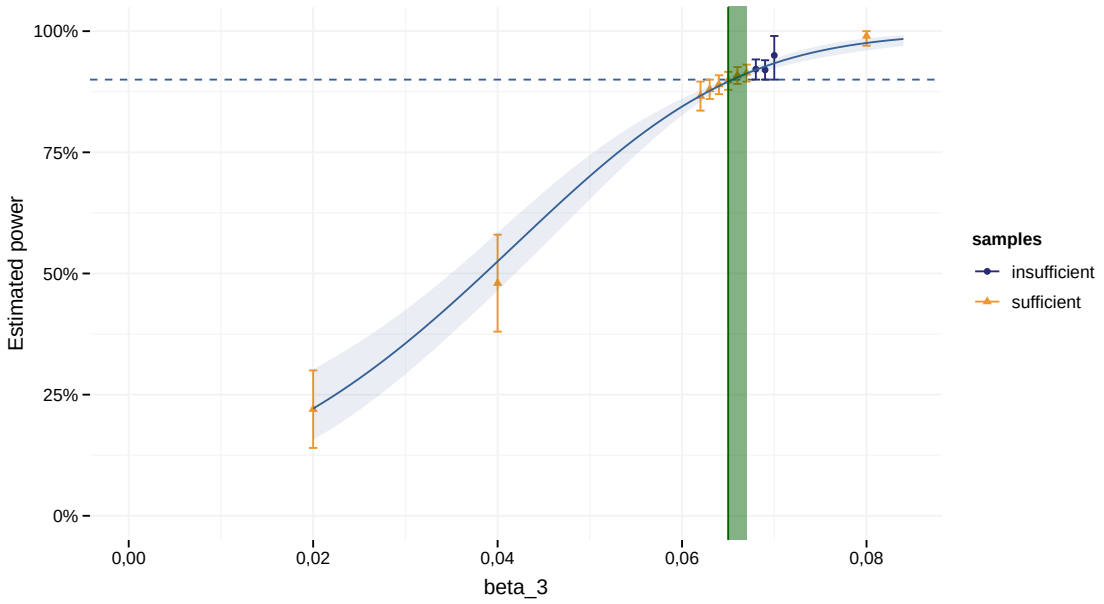
Figuur B.13: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 100 telpunten en een tijdreeks van 24 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,005 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,0185.



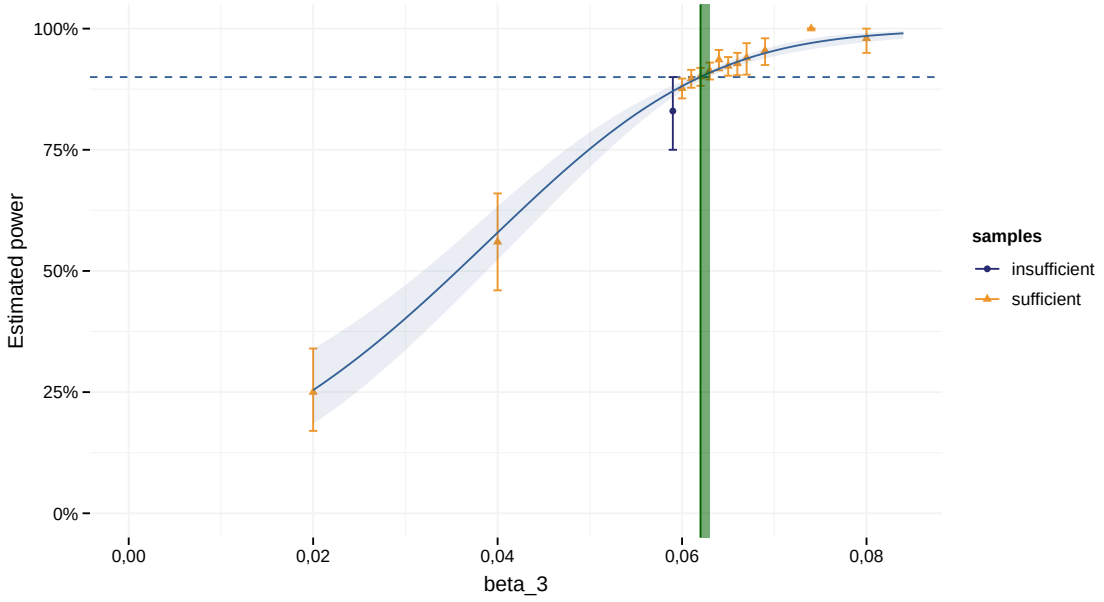
Figuur B.14: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 200 telpunten en een tijdreeks van 24 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,005 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,0133.



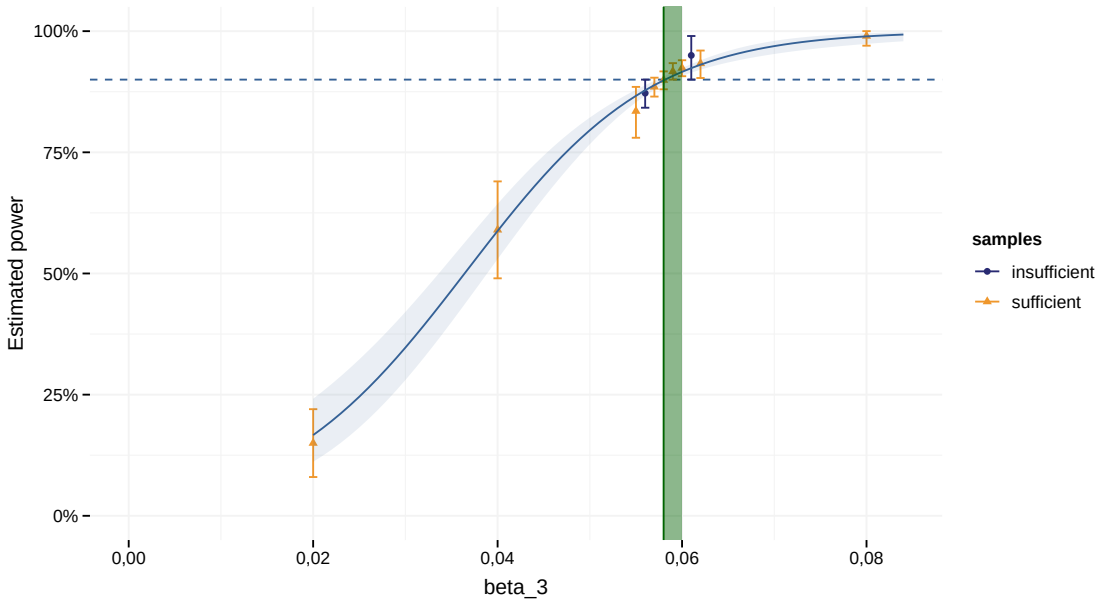
Figuur B.15: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met 400 telpunten en een tijdreeks van 24 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99), β_2 = 0,304 en σ_{punt} = 7,3e-05. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,005 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,0095.



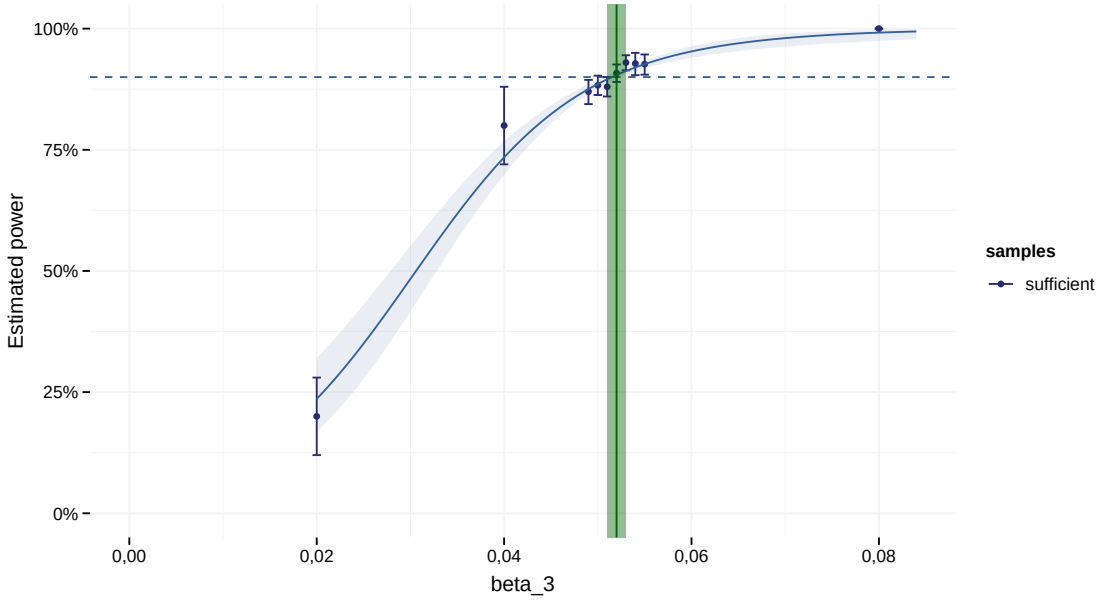
Figuur B.16: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,27 met 100 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,065.



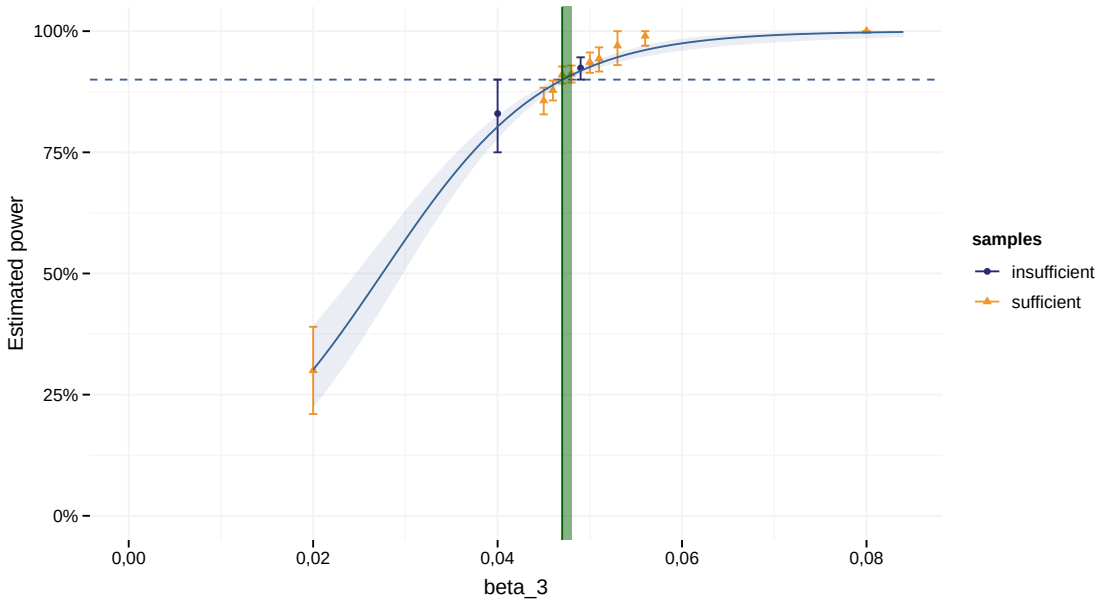
Figuur B.17: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,53 met 100 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,062.



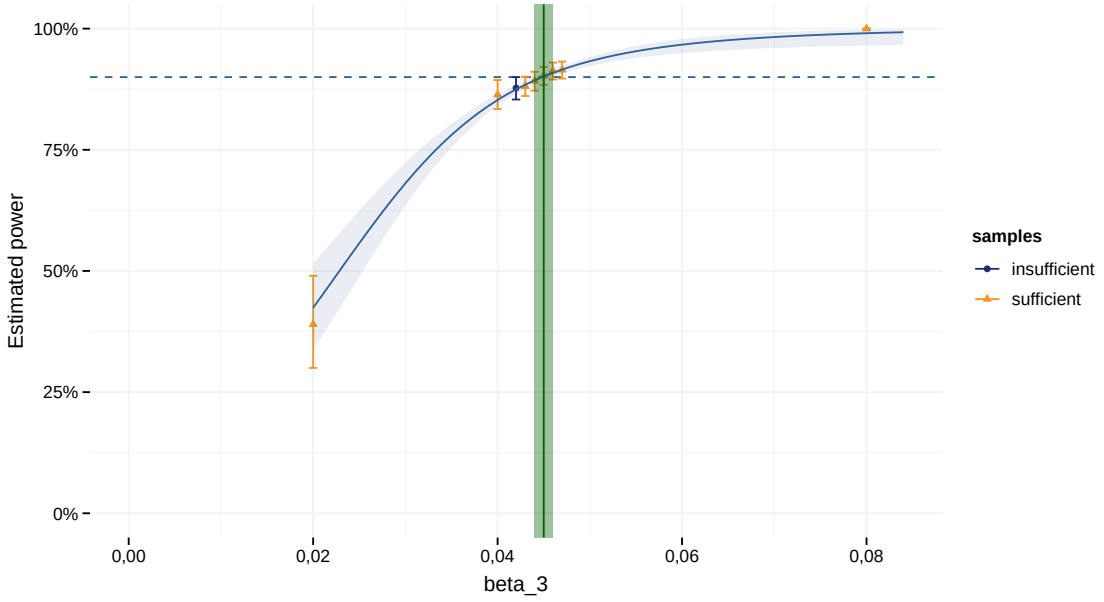
Figuur B.18: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,8 met 100 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,058.



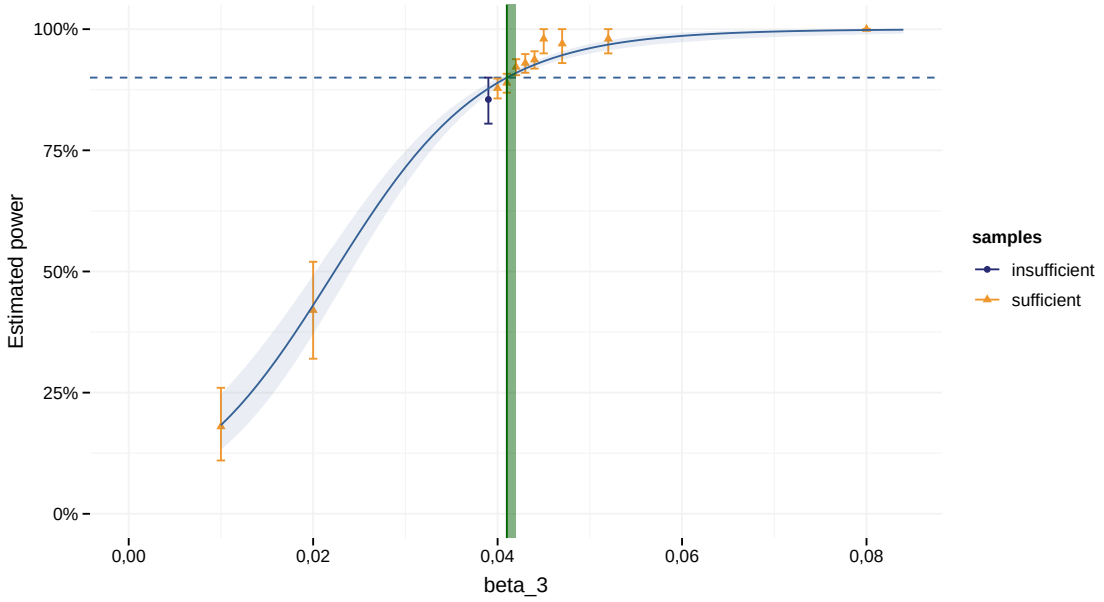
Figuur B.19: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 1,06 met 100 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,052.



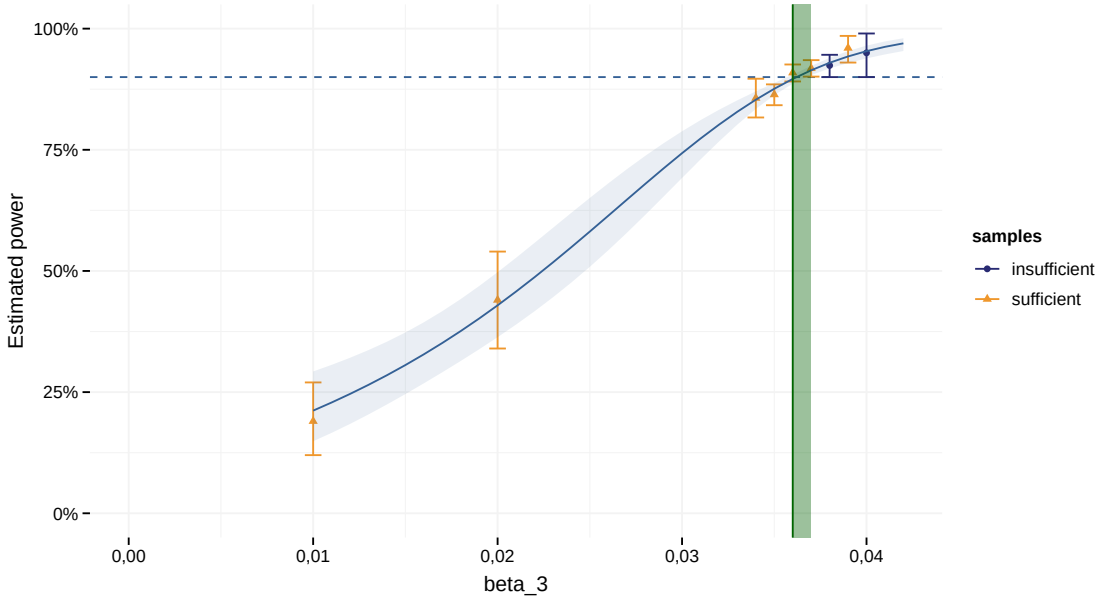
Figuur B.20: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,27 met 200 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,047.



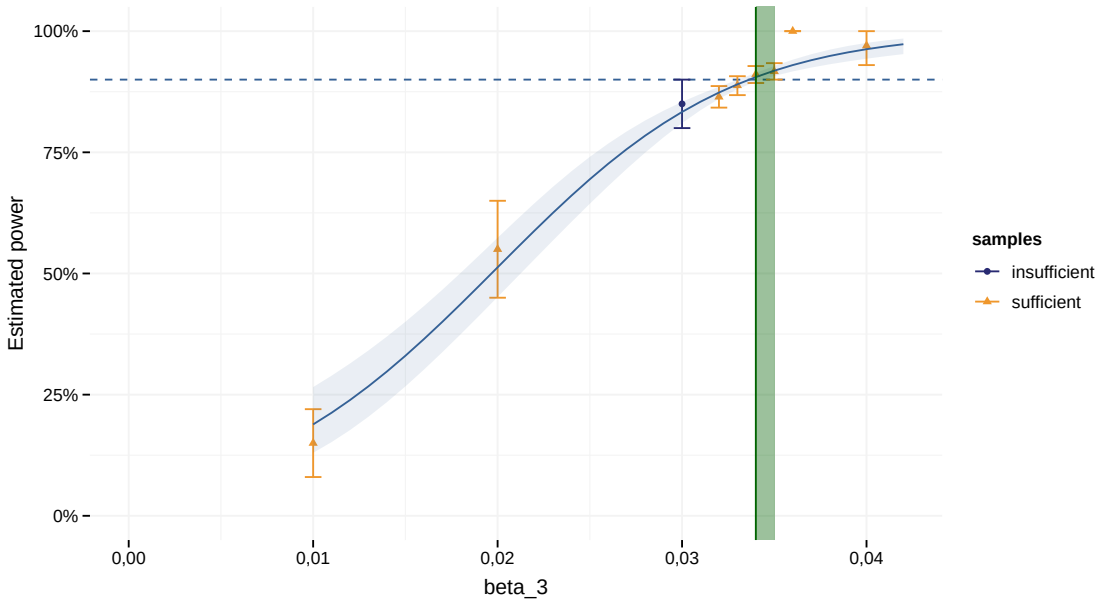
Figuur B.21: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,53 met 200 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,045.



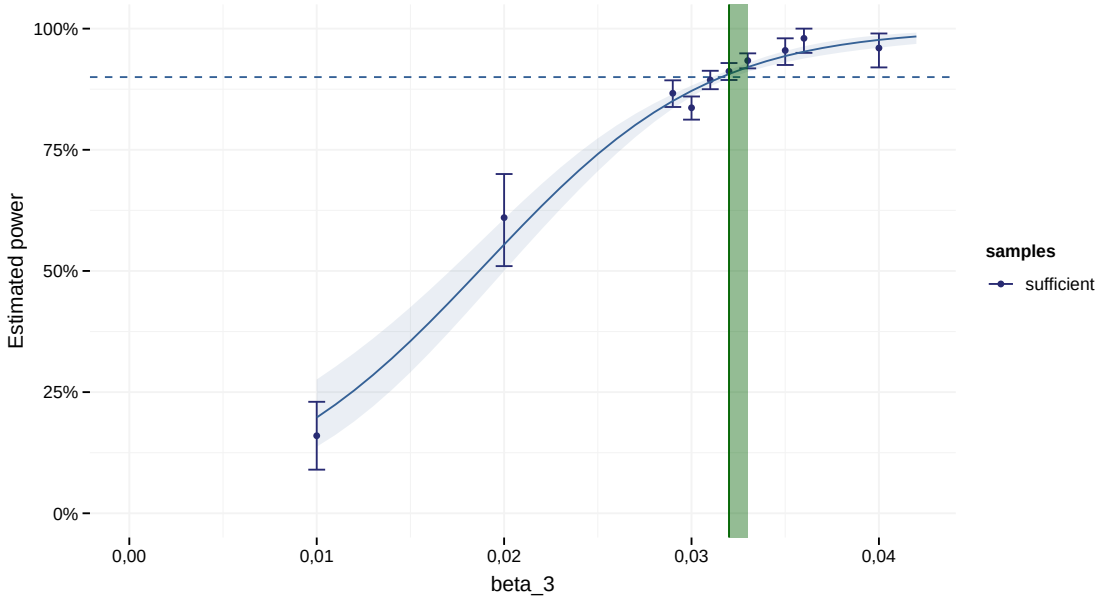
Figuur B.22: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,8 met 200 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,041.



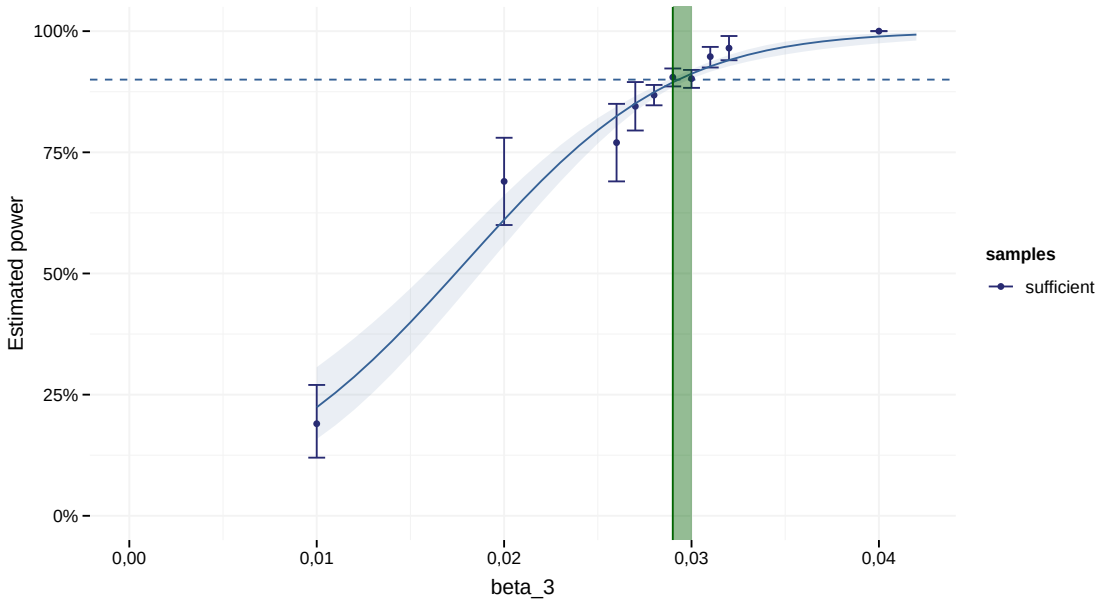
Figuur B.23: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 1,06 met 200 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,036.



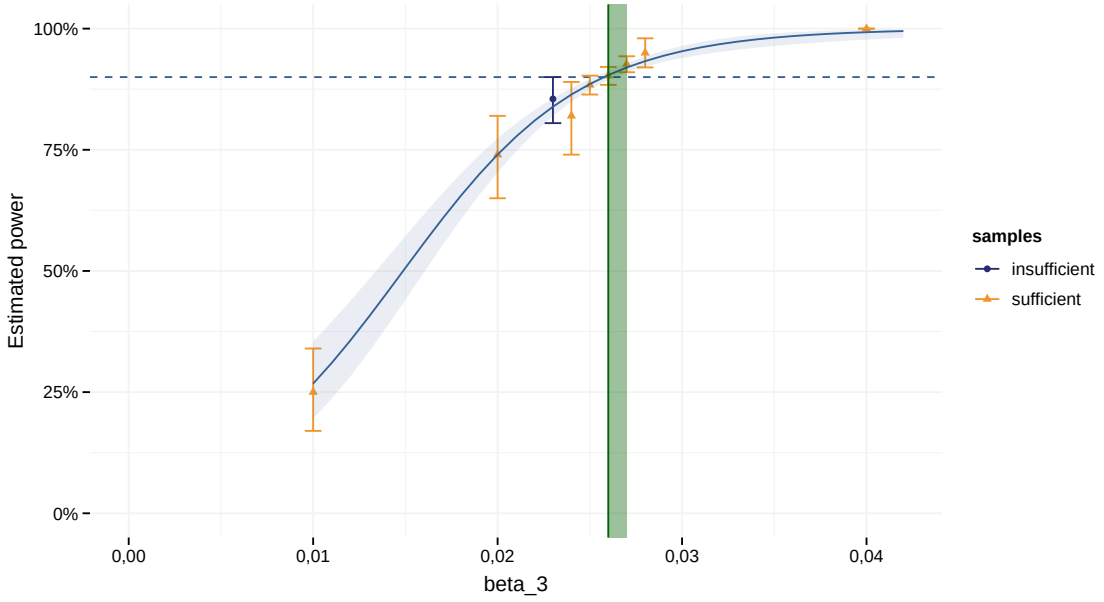
Figuur B.24: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,27 met 400 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,034.



Figuur B.25: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,53 met 400 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,032.



Figuur B.26: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 0,8 met 400 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,029.



Figuur B.27: Optimalisatie van de parameter β_3 voor een scenario met σ_{punt} = 1,06 met 400 telpunten en een tijdreeks van 10 jaar. De overige modelparameters zijn: β_0 = -0,052, β_1 = log(0,99) en β_2 = 0,304. Uitgaande van een startwaarde β_3 = 0,02 wordt iteratief gezocht naar de waarde die een statistische power van 0,9 oplevert. De resulterende waarde voor β_3 is 0,026.