

# Advies over de inzet van de Vlaamse meetnetten om de trend van het bosareaal op te volgen. Een statistische evaluatie.

Adviesnummer:	<b><u>INBO.A.3744</u></b>
Auteur(s):	<b>Paul Quataert, Luc De Keersmaecker &amp; Toon Van Daele</b>
Contact:	<b>Lieve Vriens (<a href="mailto:lieve.vriens@inbo.be">lieve.vriens@inbo.be</a>)</b>
Kenmerk aanvraag:	<b>Advies op eigen initiatief</b>
Geadresseerden:	<b>Agentschap voor Natuur en Bos T.a.v. Joris Janssens Lange Kievitstraat 111-113, bus 63 2018 Antwerpen <a href="mailto:Joris.janssens@vlaanderen.be">Joris.janssens@vlaanderen.be</a></b>

Dr. Maurice Hoffmann  
Administrateur-generaal wnd.

## Aanleiding, doel en basisinzichten

---

Het INBO heeft als taak een beschrijving en evaluatie van de natuur in het Vlaamse Gewest te maken (Decreet Natuurbehoud, 1997). De evolutie van de bosoppervlakte kunnen we hier ook onder verstaan. Hiervoor hebben we gezocht naar een indicator voor de bosoppervlakte die zo goed mogelijk aansluit bij de omschrijving van bos volgens het Bosdecreet (1990). Daarnaast is er behoefte aan een kaart die de ruimtelijke spreiding van bossen zo betrouwbaar mogelijk weergeeft.

De Keersmaeker *et al.* (2012) gingen in een vorig INBO-advies na in hoeverre de Boswijzer (BW) en de Vlaamse bosinventarisatie (VBI) geschikt zijn voor het opvolgen van het bosareaal, waarin ze methodologisch onderzochten waarom de resultaten van elkaar afwijken. De eerste versie van de Boswijzer schatte het bosareaal immers aanzienlijk hoger in dan de bosinventarisatie. Ondertussen zijn er verbeteringen aangebracht (BW 2.0) en is de tweede bosinventarisatie (VBI-2) afgerond. Een nieuwe evaluatie van beide meetnetten is bijgevolg zinvol.

Voor deze evaluatie hebben we vooral aandacht besteed aan de mogelijkheden van beide Vlaamse meetnetten om de trend van het bosareaal voldoende nauwkeurig in te schatten en welke factoren de nauwkeurigheid bepalen. Hieromtrent is een belangrijk discussiepunt en vraag van het beleid of het niet mogelijk is om binnen een korter tijdsinterval veranderingen in het bosareaal te detecteren door bijvoorbeeld intensiever te meten. We zullen hier echter aantonen dat het aantal meetjaren van een meetnet de cruciale parameter is voor de nauwkeurigheid.

Binnen een korte tijdspanne, kan een meetnet alleen heel grote, abrupte veranderingen detecteren. Naarmate de tijdreeks langer wordt, is een detectie van steeds fijnere jaarlijkse trends mogelijk. Dat is eenvoudig te begrijpen. Het is bv. niet mogelijk om een jaarlijkse trend van 0,05% (ca. 700 ha/jaar) te detecteren binnen een tijdspanne van één jaar. Maar na 10 jaar is de cumulatieve trend 10 keer zo groot (0,5 % of 7000 ha) en deze verandering kunnen zowel de BW als VBI detecteren.

Om de nauwkeurigheid te karakteriseren, is het dus noodzakelijk om het tijdsinterval te vermelden waarbinnen het meetnet een jaarlijkse trend kan detecteren. Dat is een eerste vaststelling van het advies.

In het bijzonder voor de VBI zullen we aantonen dat een halvering van het aantal meetjaren tot vijf jaar (waardoor slechts de helft van de steekproef ingezameld is), we een factor  $\sqrt{2^3} = \sqrt{8} \approx 2,83$  verliezen in nauwkeurigheid op de schatting van de jaarlijkse trend.

Naast het aantal meetjaren is de proefopzet een cruciale factor. De VBI werkt met een vast raster, zodat om de tien jaar dezelfde rasterpunten aan bod komen. Deze "gepaarde" proefopzet verhoogt de precisie in belangrijke mate. Net zoals een tweelingenonderzoek beter onderscheid laat maken tussen genetische en omgevingsfactoren omdat tweelingen genetisch identiek zijn, worden door dezelfde locaties te evalueren verschillen tussen locaties grotendeels geëlimineerd. We zullen aantonen dat het effect op de precisie voor de VBI ongeveer een winst met een factor  $\sqrt{5} \approx 2,24$  is.

De koppeling tussen de meetpunten is er alleen als we met een volledige meetcyclus van 10 jaar werken. Bijgevolg gaat bij een opsplitsing van de meetcyclus in twee periodes van vijf jaar de factor  $\sqrt{5}$  verloren. Dat is een tweede belangrijke vaststelling.

Gecombineerd met het vorige effect impliceert een halvering van het aantal meetjaren een verlies in nauwkeurigheid met een factor  $\sqrt{8} \times \sqrt{5} = \sqrt{40} = 6,32$ .

Vanuit deze vaststelling zullen we een advies formuleren over een optimale inzet van de VBI om de trend van het bosareaal op te volgen en de complementariteit met de BW bespreken.

Bovenstaande betekent immers niet noodzakelijk dat er geen rapportage mogelijk zou zijn op een kortere termijn dan 10 jaar. Maar de aanbeveling is om voor de bepaling van de bosoppervlakte telkens te steunen op een volledige cyclus van 10 jaar. Bij een rapportage om de vijf jaar zouden dan de gegevens van de laatste 10 jaar gebruikt worden en voor de trend de gegevens van de laatste 20 jaar. Dat komt neer op een voortschrijdend gemiddelde waarmee de toevalsfactor afgevlakt wordt en toch een vijfjaarlijkse update mogelijk is.

De argumentatie hiervoor komt in het advies aan bod. Het eerste deel van het advies heeft als doel bovenstaande beweringen te staven en uit te leggen. Het advies geeft ook "*en cours de route*" een schatting van de bosoppervlakte en de trend op basis van de meest recente gegevens zoals ter beschikking gesteld door het ANB op 28/2/2019. Voor de bepaling van de oppervlakte op basis van de bosinventarisatie is in de bijlage van het advies een handleiding met bijhorende R-scripts opgenomen.

## Vraagstelling

---

Wat zijn de mogelijkheden en beperkingen van de Boswijzer en de Vlaamse bosinventarisatie om de trend van het bosareaal voldoende nauwkeurig in te schatten en welke factoren bepalen de nauwkeurigheid?

## Toelichting

---

### 1 Context

Naast administratieve gegevens (bv. kapvergunningen, natuurvergunningen om bomen of bossen te kappen, omgevingsvergunningen, implementatie van plannen voor bosuitbreiding) hebben we twee meetnetten ter beschikking om het bosareaal in Vlaanderen op te volgen op een regionale schaal: de Vlaamse bosinventarisatie (VBI) (Waterinckx, 2001 en Wouters, 2008) waarvoor eind 2018 de tweede meetcyclus (VBI-2) afgerond is en de Boswijzer (Van der Linden *et al.* 2017) waarvoor er drie meetresultaten beschikbaar zijn (editie 2009, 2012 en 2015). De Boswijzer is een interpretatie van de Groenkaart en hiervoor is ondertussen een bijgewerkte tweede versie ontwikkeld (BW 2.0).

Zoals uitgediept in het INBO-advies van De Keersmaeker *et al.* (2012) geven de twee meetnetten een verschillende schatting van de bosoppervlakte omdat ze intrinsiek iets anders meten. De remote sensing beelden waarop de BW gebaseerd is, meten "van bovenaf" de landbedekking (land cover) door bos. Behalve projectiefouten kan niet nagegaan worden of onder het bladerdek er zich effectief bos bevindt. De VBI is gebaseerd op terreinwaarnemingen wat toelaat het effectieve landgebruik te controleren (land use).

Door een verfijning van het algoritme van de BW is de discrepantie tussen beide meetnetten minder groot geworden. Volgens BW 1.0 was de bosindex nog 13,2% en dat is in de BW 2.0 gecorrigeerd naar 12,2%. Maar dat is nog altijd bijna 2% meer dan de VBI-2 (10,27%). Het is dus niet haalbaar gebleken om het intrinsiek verschil tussen beide werkwijzen volledig weg te werken.

Deze verschillen zijn grondig besproken en vormen niet de focus van het advies. Hier concentreren we ons op de bepaling van de jaarlijkse trend en de factoren die de precisie van de schattingen bepalen. We bouwen hierbij verder op het advies van De Keersmaeker *et al.* (2012). Daarnaast steunt dit advies op de INBO-presentatie voor de parlementaire hoorzitting dd. 28/11/17 (De Keersmaeker & Van Daele, 2017) en een presentatie voor de technische commissie dd. 12/12/18 (Quataert *et al.* 2018). Met het huidige advies geven we in het bijzonder antwoord op de vragen bij de derde conclusie van De Keersmaeker *et al.* (2012):

De tweede VBI heeft als nadeel dat jaarlijks slechts 10% van het systematische raster wordt geïnventariseerd. Verder onderzoek is nodig om na te gaan hoeveel meetjaren nodig zijn om

tot een betrouwbare schatting van het bosareaal te komen. Wellicht zijn drie, mogelijk zelfs vijf meetjaren, een minimum. De bosoppervlakte berekend op basis van de VBI, is een gemiddelde gebaseerd op meerdere meetjaren. Herinventarisatie van dezelfde meetpunten (na 10 jaar) kan mogelijks tot een hogere precisie leiden, maar ook dit moet nog verder onderzocht worden.

## 2 Overzicht statistische concepten en vuistregels

Doorheen de tekst gebruiken we een beperkt aantal statistische basisbegrippen en vuistregels. Om het overzicht te behouden, brengen we ze hier samen. We verwijzen naar basisboeken als Sokal & Rohlf (2014) voor de fundamentele en Agresti (2013) voor de analyse van categorische gegevens (de binaire variabele die uitdrukt of een rasterpunt ja dan nee is, is een bijzonder geval van een categorische variabele). Daarnaast was Van Belle (2002) een belangrijke inspiratiebron. Het boek is geheel gewijd aan statistische vuistregels en benadrukt het belang ervan ter ondersteuning van meer complexe berekeningen om het inzicht te bevorderen. We illustreren de concepten en vuistregels met de (meest recente) gegevens van de Vlaamse Bosinventarisatie en/of de Boswijzer.

### 2.1 Conversie van de bosindex (BI) naar het bosareaal (BA)

De bosindex (BI) is het percentage bos in een bepaalde regio. Het bosareaal (BA) is de oppervlakte bos die hiermee correspondeert. Als we de oppervlakte van de regio vermenigvuldigen met de fractie bos (= bosindex gedeeld door 100), dan bekomen we het bosareaal. De oppervlakte van Vlaanderen is 13.522 km<sup>2</sup>. Hiervoor geldt:

$$BA = 13.522 \text{ km}^2 \times (BI/100) = 13.522 (\text{km}^2/100) \times BI = 13.522 \text{ ha} \times BI$$

Vermenigvuldigen van de bosindex (in %) met 13.522 geeft dus het bosareaal in Vlaanderen. We kunnen volgende formule gebruiken om vlot te schakelen tussen BI en BA:

$$BA [\text{ha}] = 13.522 [\text{km}^2] \times BI [\%]$$

Toegepast op de VBI en BW 2.0:

- Voor VBI-1 (1997 - 1999) lagen er 2818 rasterpunten op een totaal van 27163 rasterpunten in bos. Hieruit volgt BI = **10,38%** en BA = **140.309 ha**.
- Voor VBI-2 (2009 - 2018) was het aantal rasterpunten in bos 2788. Hiermee correspondeert BI = **10,27%** en BA = **138.815 ha**.
- Gemiddeld over de drie edities van de Boswijzer (BW 2.0) was het bosareaal ca. **165.000 ha**; hiermee correspondeert een BI = **12,2%** (van der Linden *et al.* 2017).

Noot: VBI maakt eerst een schatting van de bosindex waaruit we de bosoppervlakte kunnen afleiden, terwijl BW uitgaande van een kaart eerst de bosoppervlakte schat waaruit de bosindex volgt.

### 2.2 De foutenmarge en betrouwbaarheidsintervallen

De waarden voor het bosareaal zijn schattingen. De VBI is gebaseerd op een toevallige steekproef. Met een andere steekproef zouden we een andere waarde bekomen hebben. Ook voor de BW is de bepaling van de oppervlakte niet foutloos en onderhevig aan toevallige factoren. Om een idee te hebben hoe dicht de schattingen bij de werkelijke waarde liggen en/of het bereik te karakteriseren waar we de werkelijke waarde kunnen verwachten, zijn betrouwbaarheidsintervallen (b.i.) en hiermee geassocieerd de foutenmarge (FM) een manier om de nauwkeurigheid van het resultaat te specificeren.

Het verband tussen de foutenmarge (FM) en het 95% betrouwbaarheidsinterval (b.i.) voor een bepaald kenmerk  $y$  berekend uit een steekproef of een meting is als volgt:

$$b. i. \{y\} = y \pm FM_y$$

Een 95%-b.i. is zo gekozen dat in 95% van de gevallen de werkelijke waarde in het interval ligt en in 5% van de gevallen dus niet. Of, er is een risico van 5% dat werkelijke waarde buiten het interval ligt. Voor de meeste toepassingen is 5% een aanvaardbaar risico. Indien er een strengere norm vereist is, dan kan het betrouwbaarheidsniveau naar een hogere waarde opgetrokken worden, bv. 99%, met als nadeel dat het interval breder wordt en dat minder precieze uitspraken mogelijk zijn.

Een nauw b.i. betekent dat de werkelijke waarde zich in de onmiddellijke omgeving van de geschatte waarde zal bevinden. Een breed b.i. impliceert dat de ligging van de werkelijke waarde niet precies bekend is. Bovenstaande formule definieert FM als de helft van de lengte van het b.i. FM is dus een maat voor de nauwkeurigheid van de schatting. In een getal kunnen we er de precisie mee aangeven en indien gewenst het b.i. berekenen.

Een betrouwbaarheidsinterval wordt ook een *intervalschatting* genoemd in tegenstelling tot een *puntschatting*. Het is niet die ene puntschatting die van belang is voor toepassingen, maar wel het volledige bereik om bv. een risicoanalyse of een projectie naar de toekomst te maken.

De ondergrens (ogr) van een b.i. geeft de minimale waarde aan die we nog verwachten op basis van de metingen en de bovengrens (bgr) de maximale waarde die we verwachten. Als we consequenties willen weten van een bepaalde uitkomst zijn de ogr en bgr de kritieke waarden. Bijvoorbeeld, bij een negatieve trend van het bosareaal geeft de ogr aan hoe sterk de achteruitgang van het bosareaal maximaal kan zijn en dat is informatief voor een risicoanalyse. Omgekeerd geeft de bgr het meest optimistische scenario aan. Als deze waarde onder een streefdoel ligt, dan zullen we in de toekomst hoogstwaarschijnlijk het doel niet halen.

Toegepast op de VBI en BW (hoe de foutenmarge bepaald wordt, komt later aan bod, hier geven we een beeld van de grootteorde van de foutenmarge en bespreken we de interpretatie ervan):

- Voor VBI-1 en VBI-2 is de foutenmarge op de bosoppervlakte ongeveer **5.000 ha (0,36%)**. Meer precies zijn de b.i. als volgt:
  - VBI-1: 140.309 ± 4904 ha (10,38 ± 0,36%)
  - VBI-2: 138.815 ± 4881 ha (10,27 ± 0,36%)
- Voor de Boswijzer is de foutenmarge op de bosoppervlakte ongeveer **6.000 ha (0,44 %)**. Het corresponderende b.i. 165.000 ± 6.000 ha (12,2 ± 0,44%).
- Uit de resultaten van VBI-1 en VBI-2 volgt dat een (negatieve) trend ongeveer - **1.500 ha (-0.11 %)** met een foutenmarge van **3.000 ha (0.22%)**.
  - De ondergrens is **-4.500 ha (-0,33%)** over een periode van gemiddeld 15 jaar. In het slechtste scenario zou het bosareaal met **300 ha/jaar** kunnen dalen. De gegevens sluiten niet uit dat het bosareaal met 10.000 ha daalt in een periode van 30 jaar.
  - De bovengrens is **1.500 ha (0,11%)**. In het beste geval stijgt de bosoppervlakte met **100 ha/jaar**. Hiermee halen we ten vroegste na 100 jaar 10.000 ha extra bos.

## 2.4 De foutenmarge op een verschil tussen twee metingen

In een goede benadering is de FM op een verschil van twee metingen een factor  $\sqrt{2} = 1.41$  groter dan de FM op de individuele metingen (van Belle, 2002). Met deze correctie houden we er rekening mee dat er zowel op eerste als tweede meting een fout zit. De vuistregel is:

$$b.i. \{y_2 - y_1\} = y_2 - y_1 \pm \sqrt{2} FM_y$$

Toegepast op de BW 2.0 en de VBI

- Voor BW 2.0 is de FM op de bepaling van oppervlakte 6000 ha (0,44%). Vermenigvuldigen met  $\sqrt{2} = 1,41$  leidt tot een FM op een verschil (trend) van ongeveer **8500 ha** (0,63%).
- Voor de VBI is de FM op de oppervlaktebepaling 5000 ha (0,37%). In de veronderstelling dat de metingen onafhankelijk zijn, is de FM op de trend ongeveer **7000 ha** (0.52%).

## 2.5 De foutenmarge op een verschil: gecorreleerde variabelen

Bovenstaande formule is niet helemaal correct en gaat alleen op als de twee metingen onderling geen verband vertonen. Maar bij de VBI bezoeken we om de 10 jaar dezelfde rasterpunten. Hierdoor zijn de metingen gecorreleerd. We verwachten dat in de meeste gevallen het landgebruik bij de tweede ronde hetzelfde zal zijn als bij de eerste ronde. Als  $\rho$  de correlatiecoëfficiënt voorstelt (een waarde tussen -1 en 1), dan is de vuistregel in geval van correlatie (bemerkt dat voor  $\rho = 0$  we opnieuw de vorige vuistregel bekomen):

$$b.i. \{y_2 - y_1\} = y_2 - y_1 \pm \sqrt{2(1 - \rho)} FM_y$$

We zullen later aantonen dat  $\rho \approx 0.8$  voor de VBI. Het effect van de correlatie is hier groot:

- Ten opzichte van ongecorrleerde waarnemingen vermindert de FM met een factor  $1 \div \sqrt{1 - \rho} = \sqrt{5} = 2.23$ . Een vast raster leidt tot een nauwkeuriger bepaling van de trend dan wanneer we telkens een nieuwe steekproef zouden kiezen.
- Als er geen koppeling is tussen meetpunten, dan is het verlies een factor  $\sqrt{5}$ . Dat is het geval indien we de eerste vijf jaar van een meetcyclus van de VBI vergelijken met de laatste vijf jaar. Dit is een belangrijk argument om de meetcyclus van de VBI zoveel mogelijk te respecteren.
- Zoals in 2.2 aangegeven was de FM voor de bepaling van het bosareaal **5.000 ha** en **3.000 ha** voor de trend. De verhouding tussen beide (0.6) is in overeenstemming met de vuistregel:  $\sqrt{2(1 - \rho)} = \sqrt{0.4} \approx 0.63$ .

## 2.6 De invloed van de steekproefgrootte

Een belangrijk vraagstuk was in hoeverre we niet in een kortere periode trends in de bosoppervlakte kunnen detecteren. Hier gaan we in een volgend punt dieper op in. Maar voor de VBI is een eerste gevolg dat de steekproef kleiner wordt, waardoor de nauwkeurigheid afneemt. Volgens een algemene vuistregel (van Belle, 2002) neemt de foutenmarge omgekeerd evenredig af met de vierkantswortel uit de steekproefgrootte:

$$FM \sim 1 \div \sqrt{N}$$

Om de foutenmarge te halveren (en dus de precisie te verdubbelen), moeten we de steekproef vier keer zo groot nemen. De kosten van de gegevensinzameling nemen bijgevolg snel toe naarmate een hogere nauwkeurigheid wenselijk is. Om de precisie van de VBI te verdubbelen, zouden meer dan 100.000 rasterpunten nodig zijn (27.000 x 4). Omgekeerd impliceert deze vuistregel dat een halvering van de steekproefgrootte "slechts" tot een toename van de FM leidt met een factor  $\sqrt{2} \approx 1,41$ . De vuistregel laat toe de kosten en baten te kwantificeren.

Toegepast op de bepaling van het bosareaal:

- Voor de VBI wordt jaarlijks 1/10 van de steekproef ingezameld. Als we de jaarlijkse metingen gebruiken om te rapporteren over de bosoppervlakte dan neemt volgens de vuistregel de precisie af met meer dan een factor 3 ( $\sqrt{10} \approx 3.16$ ). Hierdoor verhoogt de foutenmarge van **5.000 ha** (0,36%) naar **15.800 ha** (1,17%). Als we twee opeenvolgende jaren gebruiken om een trend te bepalen dat wordt FM = **22.360 ha** ( $15.8000 \times \sqrt{2}$ ).
- Over een periode van vijf jaar is de helft van de steekproef ingezameld en verliezen we een factor  $\sqrt{2} \approx 1.41$  of FM wordt ongeveer **7.000 ha** (0,56%). Om het verschil te bepalen tussen twee opeenvolgende periodes van 5 jaar, komt daar nog een factor  $\sqrt{2} \approx 1.41$  bij, en de FM wordt **10.000 ha** (1,12%).

Deze twee voorbeelden tonen aan dat we bij analyses op korte termijn rekening moeten houden met grote waarden van FM en brede b.i. waardoor we weinig nauwkeurige uitspraken kunnen maken.

### 3 De impact van het aantal meetjaren

Bij het overzicht van de vuistregels is de impact van het aantal meetjaren op de nauwkeurigheid al aan bod gekomen. Bij een halvering van het aantal meetjaren (t.o.v. een meetcyclus van 10 jaar) wordt de FM op de trend 10.000 ha en met een tiende van de steekproef is de FM 22.360 ha. We diepen hier nu verder de impact van het aantal meetjaren uit.

#### 3.1 Monitoren van de bosoppervlakte op korte termijn?

Een vaak terugkerende discussie over de opvolging van het bosareaal, maar eigenlijk evenzeer bij de monitoring van andere natuurwaarden zoals de Natura 2000 soorten, is de vraag van het beleid of het niet mogelijk is om op een korte termijn een trend te detecteren.

Het antwoord hierop is vaak "per definitie" nee. Ecologische én maatschappelijke processen zijn traag en tegelijk zijn jaarlijkse variaties zelfs in natuurlijke omstandigheden heel groot, zodat trends op korte termijn vaak weinig indicatie geven voor wat er werkelijk gaande is.

Los van deze intrinsieke beperkingen is de tijd zelf een belangrijke factor. Zoals we zullen aantonen, is de foutenmarge op de jaarlijkse trend immers omgekeerd evenredig met het tijdsinterval tussen de eerste en laatste meting. Een lang tijdsinterval zal nodig zijn om de jaarlijkse trend nauwkeurig in te schatten.

We kunnen bijgevolg niet spreken over de nauwkeurigheid van een trend zonder het tijdsinterval erbij te vermelden. Een mededeling dat een meetnet in staat is om een jaarlijkse trend van 1% te detecteren, heeft op zich geen betekenis. Als hiervoor een periode van 25 jaar nodig is, dan is dat iets totaal anders dan wat kan over een periode van 10 jaar. In het eerste geval zal is cumulatieve trend een kwart (25%) vooraleer we een trend kunnen vaststellen, terwijl in het tweede geval er slechts een verandering van 10% zal opgetreden zijn.

#### 3.2 De situatie voor de Boswijzer (BW)

Om de impact van het tijdsinterval te verduidelijken, starten we met de BW omdat de berekeningen minder complex zijn. De BW is een momentopname waarbij de basisgegevens in een kort tijdsbestek ingezameld worden (een zomer). Voor de VBI zijn de berekeningen complexer omdat de gegevens over een periode van tien jaar ingezameld worden en dat moeten we verdisconteren om de impact van het tijdsinterval in te schatten.

Voor onderstaande berekeningen steunen we op de foutenmarges zoals gerapporteerd door Van der Linden *et al.* (2017). Volgens het rapport is de FM ongeveer **6.000 ha**. Zoals in 2.3

al aan bod kwam, is de FM op het verschil tussen twee metingen een factor  $\sqrt{2} = 1,41$  groter t.o.v. de oorspronkelijke metingen. Bijgevolg is de FM voor een verandering in de bosoppervlakte ongeveer **8.500 ha** ( $\sqrt{2} \times 6.000$ ); of een FM van ongeveer **0,63%** op de bosindex.

Als  $J$  het aantal jaar is tussen twee opeenvolgende bepalingen van de bosoppervlakte (nu 3 jaar) en  $\Delta_j$  het verschil tussen de twee oppervlaktebepalingen, dan is de jaarlijkse trend:  $\Delta_1 = \Delta_j \div J$  en het corresponderende b.i.  $\Delta_1 \pm FM_{1|BW} = (\Delta_j \pm 8500) \div J = \Delta_1 \pm 8500 \div J$ . Hieruit volgt dat de FM op de jaarlijkse trend ook een factor  $J$  kleiner is:

$$FM_{1|BW} = 8.500 \div J \text{ [ha/jaar]}$$

Door het tijdsinterval groter te nemen tussen twee opeenvolgende metingen, neemt de precisie op de jaarlijkse trend toe. We kunnen de jaarlijkse trend nauwkeuriger bepalen door "gewoon" langer te wachten tussen twee opeenvolgende metingen.

Tabel 3.1 maakt een en ander concreter. Na 1 jaar kunnen we alleen grote jaarlijkse veranderingen detecteren ( $FM_{1|BW} = 8500 \text{ ha/jaar}$ ), na 10 jaar is  $FM_{1|BW} = 850 \text{ ha/jaar}$ .

Na 10 jaar zal de cumulatieve verandering ook 8500 ha zijn, de nauwkeurigheid van het meetnet verandert niet (daar kunnen we niets aan doen), maar door 10 jaar te wachten kunnen we wel een veel kleinere jaarlijkse trend detecteren. Uiteraard zijn tussentijdse metingen zinvol om informatie te hebben over wat er zich tussen in afspeelt, maar voor een pure trendbepaling is dat niet nodig.

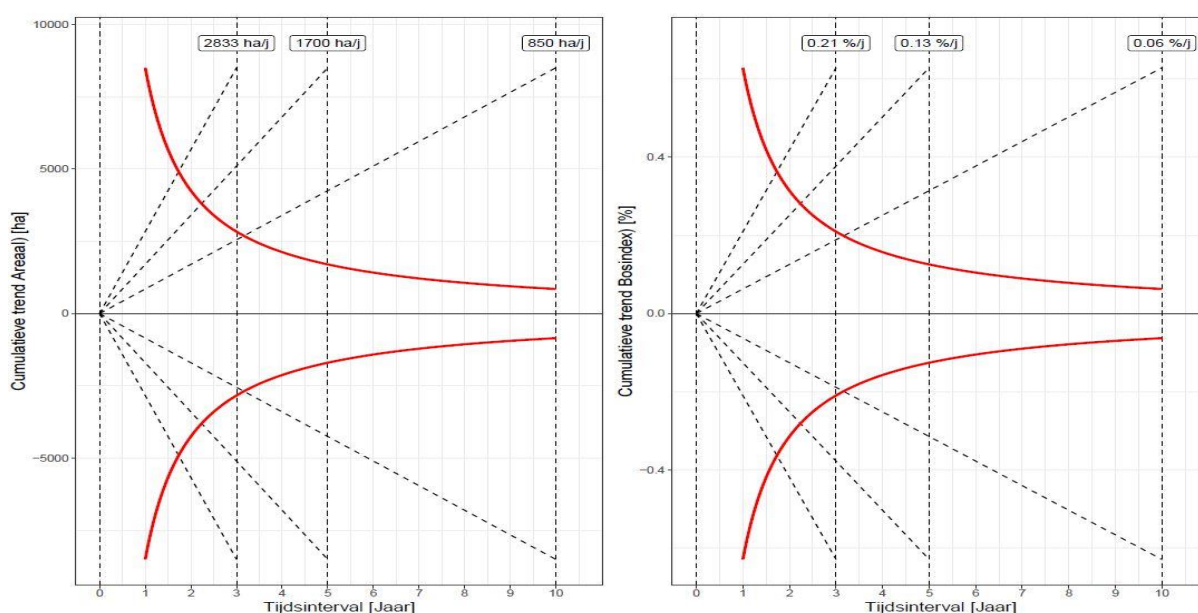
**Tabel 3.1** De foutenmarge ( $FM_i$ ) op de schatting van de **jaarlijkse trend** in ha/jaar ( $\Delta_{1,BA} = \Delta_{\text{bosareaal}}$ ) of %/jaar = ( $\Delta_{1,BI} = \Delta_{\text{bosindex}}$ ) in functie van  $\Delta_j$ , **het tijdsinterval** tussen twee bepalingen van het bosareaal.

Tijdsinterval	$\Delta_j = 1\text{jaar}$	$\Delta_j = 3\text{jaar}$	$\Delta_j = 5\text{jaar}$	$\Delta_j = 10\text{jaar}$
<b>Foutenmarge</b>	8.500 (0,63%)	2.833 (0,21%)	1.700 (0,13%)	850 (0,06%)

### 3.3 Een alternatieve verklaring

In figuur 3.1 redeneren we vanuit een ander perspectief. We gaan hier uit van drie verschillende (constante) jaarlijkse trends  $\Delta_1$  en gaan na we hoe de cumulatieve trend toeneemt ( $\Delta_j = J \times \Delta_1$ ). Naarmate het tijdsinterval toeneemt ( $J = 3, 5$  en  $10$  jaar) is een steeds kleinere jaarlijkse trend voldoende om boven de FM van de BW (8.500 ha of 0,63%) uit te steken; m.a.w. door langer te wachten, kunnen we een steeds kleinere jaarlijkse trends detecteren.





**Figuur 3.1** Breedte van het betrouwbaarheidsinterval op de jaarlijkse trend in functie van de looptijd van de monitoring (rode curve). De figuur links geeft het resultaat in ha (bosareaal), de figuur rechts in % (bosindex). De stippellijnen tonen de cumulatieve trend bij drie verschillende jaarlijkse (constante) trends. Hoe lager de trend, hoe meer tijd er nodig is om "zichtbaar" te worden bij een foutenmarge van 8.500 ha. Omgekeerd, hoe langer de looptijd, des te nauwkeuriger de jaarlijkse trend bepaald wordt.

### 3.4 De impact van het aantal meetjaren voor de VBI

Bovenstaande redenering is ook van toepassing op de VBI, maar hier speelt als extra effect dat naarmate het aantal meetjaren toeneemt, er meer en meer gegevens ter beschikking komen; elk jaar groeit de steekproef met 1/10 aan. Hierdoor is de relatie met het tijdsinterval nog krachtiger (voor een eenvoudige vergelijking herhalen we de formule voor de BW):

$$FM_{1|BW} = 8.500 \div J \text{ [ha/jaar]}$$

$$FM_{1|VBI} = 22.360 \div J^{3/2} \text{ [ha/jaar]}$$

- Aangezien de steekproef lineair aangroeit met  $J$  en de FM omgekeerd evenredig is met  $\sqrt{N}$ , zal de FM ook omgekeerd evenredig zijn met  $\sqrt{J}$ .
- Daarnaast hebben we het effect van het tijdsinterval op zich dat omgekeerd evenredig is met  $J$ , zoals voor de BW aangetoond,
- Door beide elementen samen te combineren, zal FM afnemen met een factor  $J \times \sqrt{J} = J^{1.5}$ .
- De evenredigheidsconstante 22.360 stemt overeen met de foutenmarge voor een trend op basis van 2x 1 jaar die we vroeger hebben afgeleid.

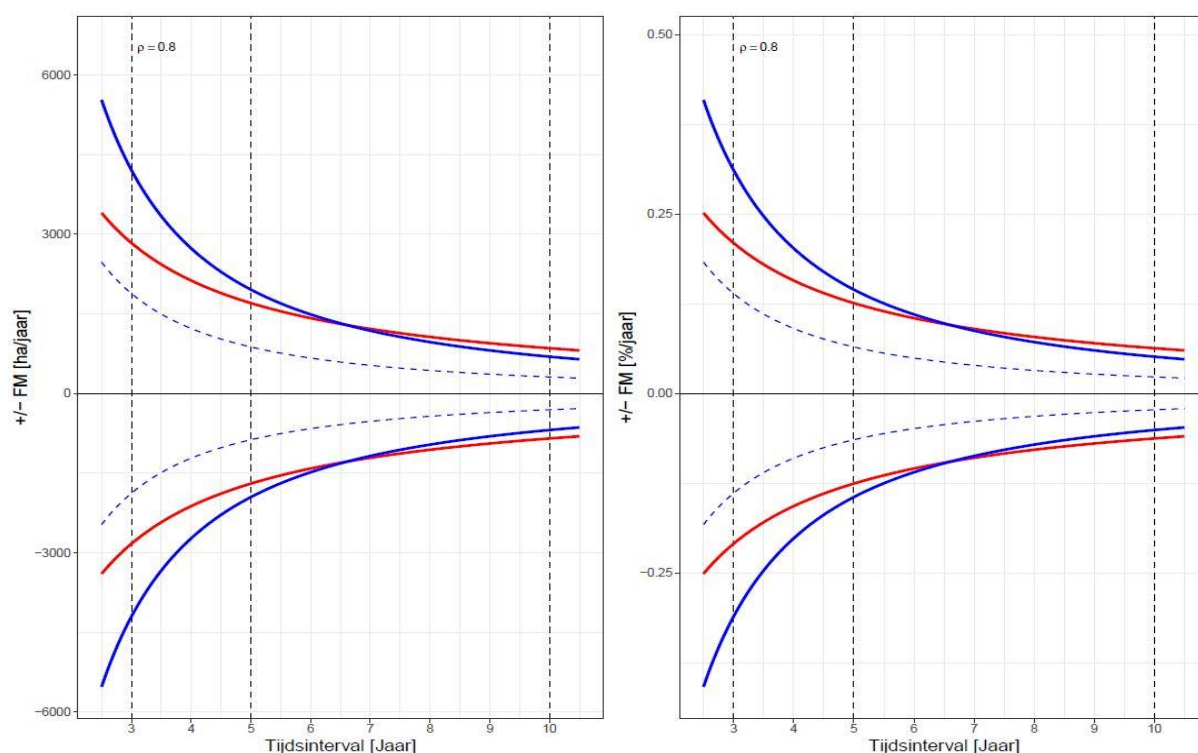
Figuur 3.2 vergelijkt de twee meetnetten. Aanvankelijk is de BW superieur omdat alle gegevens in een keer ingezameld worden, maar naarmate de tijd verstrijkt groeit de steekproef van de VBI. Na 5 jaar is de helft van de steekproef ingezameld en wordt de precisie vergelijkbaar met de BW. Naarmate we het eind van een volledige cyclus naderen, wordt de VBI beter (zie ook tabel 3.2).

Figuur 3.2 maakt echter vooral duidelijk dat met een beperkt aantal meetjaren de FM op de jaarlijkse trend te hoog is en dat pas vanaf een jaar of 5 het zinvol is om trends te bepalen. Daarenboven is er nog een ander effect zoals de stippellijn aangeeft. De lijn is geldig indien we een correlatie tussen de meetpunten veronderstellen van  $\rho = 0.8$ ; hiermee correspondeert een winst met een factor  $\sqrt{5}$  (zie 2.4). De curve is hypothetisch behalve aan het eind waar we

met een volledige meetcyclus werken. In het volgende, vierde onderdeel gaan we hier dieper op in.

**Tabel 3.2** FM op de jaarlijkse schatting van de trend (afgeronde getallen), gebaseerd op een tijdsinterval  $\Delta t$  van 3, 5 en 10 jaar. De vakjes in het grijs zijn hypothetisch, want de VBI heeft een cyclus van tien jaar.

$FM_{\Delta t}$ ( $\pm ha/jaar$ )	correlatie	$\Delta t = 3$ jaar	$\Delta t = 5$ jaar	$\Delta t = 10$ jaar
<b>BW 2.0</b>	$\rho = 0$	$\pm 2800$ (0,21%)	$\pm 1700$ (0,13%)	$\pm 850$ (0,06%)
<b>VBI-A</b>	$\rho = 0$	$\pm 4300$ (0,32%)	$\pm 2000$ (0,15%)	$\pm 700$ (0,05%)
<b>VBI-B</b>	$\rho = 0,8$	$\pm 1900$ (0,14%)	$\pm 900$ (0,07%)	$\pm 320$ (0,02%)



**Figuur 3.2** De twee figuren zijn identiek maar voorgesteld in een andere eenheid. De figuur links geeft het resultaat in ha (bosareaal), de figuur rechts in % (bosindex). De grafieken tonen hoe de foutenmarge op de jaarlijkse trend ( $FM_1$ ) daalt in functie van het tijdsinterval  $\Delta t$  tussen 2 opeenvolgende bepalingen van het bosareaal. Blauw = VBI; rood = BW. De stippellijn in het blauw (dus VBI) veronderstelt dat dezelfde meetpunten geïnventariseerd worden op de twee tijdstippen. Voor de huidige proefopzet is dat alleen zo bij een tijdsinterval van 10 jaar.

De correlatie  $\rho$  is bepaald door de dynamiek van het landgebruik. Hoe lager de dynamiek, hoe hoger  $\rho$ . De waarde ( $\rho = 0.8$ ) is een realistische waarde afgeleid uit de huidige VBI en wijst op een lage dynamiek.

## 4 De Vlaamse bosinventarisatie

### 4.1 Beschrijving

Waterinckx & Roelandt (2001) beschrijven uitgebreid de proefopzet en steekproeftrekking van de Vlaamse Bosinventarisatie samen met de resultaten de eerste ronde (VBI-1). Ter voorbereiding van de tweede ronde (VBI-2) hebben Wouters *et al.* (2008) het meetnet gereviseerd. Een belangrijke aanpassing was een omschakeling van een *periodieke* naar een

*continue* gegevensinzameling. Voor VBI-1 werden alle gegevens ingezameld binnen een korte periode (3 jaar, 1997 - 1999) met als doel de meetcampagne te herhalen na 10 jaar. Voor de tweede ronde werd er beslist om de metingen te spreiden over 10 jaar zodat de terreinploegen continu hieraan konden werken parallel met andere inventarisatietaken.

VBI-1 en VBI-2 zijn gebaseerd op dezelfde *systematische steekproef* van het bos in het Vlaamse gewest met een meetcyclus van tien jaar: elk jaar wordt 1/10 van de steekproef geïnventariseerd volgens een vast raster. Het raster werd dus niet gewijzigd tussen VBI-1 en VBI-2, alleen de spreiding in de tijd is anders. De mazen van het raster hebben als dimensies 1 km (oost - west) x 0,5 km (noord - zuid). Dat komt neer op een resolutie van ongeveer twee rasterpunten per km<sup>2</sup> (aan de grenzen kan een rasterpunt net binnen of net buiten het grondgebied vallen). Dat resulteerde in een totaal van **27.163** rasterpunten; ongeveer twee keer de oppervlakte van Vlaanderen (13.522 km<sup>2</sup>). Als vuistregel hanteren we  $N \sim 27.000$ . Elk jaar worden  $n \sim 2.700$  rasterpunten beoordeeld of ze in bos vallen of niet. De punten die in bos liggen worden opgemeten volgens een gestandaardiseerd veldprotocol.

## 4.2 De bepaling van het aantal punten bos

De procedure om te controleren of een rasterpunt al dan niet bos is, verloopt in twee stappen. Eerst worden orthofoto's gebruikt om te screenen waar bos kan voorkomen. Elk "positief" rasterpunt (bos volgens de orthofoto), wordt in de tweede stap op het terrein geverifieerd of het wel degelijk om bos gaat. Foutpositieven (ten onrechte bos) zijn door de verificatie op terrein (nagenoeg) uitgesloten, maar de procedure kan een aantal punten bos missen (foutnegatieven) doordat bos bij de screening met orthofoto's bos over het hoofd kan gezien worden.

Om het aantal foutnegatieven in de eerste stap te minimaliseren, wordt in geval van twijfel bij een orthofoto een rasterpunt als bos aangeduid voor verificatie op het terrein. Een onderschatting blijft echter mogelijk. Vooral jonge bosaanplanten op locaties die in een vorige ronde geen bos waren en die nog niet herkenbaar zijn op een luchtfoto, kunnen zo gemakkelijk over het hoofd gezien worden. Over het aantal punten bos dat gemist wordt, is er geen informatie beschikbaar.

## 4.3 Wat met punten zonder toegang?

In de praktijk is er soms geen toegang mogelijk voor een rasterpunt geselecteerd in de screening wegens ontoegankelijk of de toegang geweigerd. We kunnen deze punten zonder toegang niet zomaar weglaten, zeker omdat verhoudingsgewijs de kans hoger is dan gemiddeld dat het om bos gaat. De punten zijn precies geselecteerd omdat ze vermoedelijk in bos vallen. Weglaten zou dus neerkomen op een onderschatting van het bosareaal. Tabel 4.1 geeft de transitietabel.

Het potentiële impact op de schatting van de bosindex is vrij groot:

- VBI-1: voor 148 punten was er geen toegang. Indien al deze punten bos zijn, en we houden hiermee geen rekening, dan onderschatten we de bosindex met **0,55%** ( $100 \times 148/27000$ ) wat neerkomt op bijna 7500 ha.
- VBI-2: hier is het aantal ontbrekende waarden beperkter: 60. Toch correspondeert dat nog met een potentiële onderschatting van de bosindex met **0,22%** (3000 ha).

Uiteraard mogen we niet de omgekeerde fout maken door alle ontoegankelijke rasterpunten als bos te beschouwen.

Voor de meeste ontbrekende waarden is er gelukkig wel een bepaling van de toestand in de andere ronde. Indien we aannemen dat voor deze punten het aantal veranderingen in landgebruik beperkt is, dan is een mogelijke oplossing aan het rasterpunt het statuut van de andere ronde toe te kennen. Concreet:

- VBI-1: van de 148 punten waren er 86 punten (ongeveer 60%) bos. Als we deze punten aan bos toewijzen, dan verhoogt de bosindex met **0,32%** (4282 ha) voor VBI-1.
- VBI-2: van de 60 punten waren er 25 punten (ongeveer 40%) bos. Toevoegen van deze punten verhoogt de bosindex met **0,09%** (1245 ha) voor VBI-2.

De correctie voor VBI-2 is veel kleiner dan voor VBI-1. Dat zou kunnen leiden tot een vertekening van de resultaten. Maar het verschil is goed te verklaren. Er zijn veel minder ontbrekende waarden bij VBI-2, dus de correctie is haast per definitie kleiner. Daarenboven is het steekproefkader verschillend. Voor VBI-1 was het uitgangspunt de boskartering van 1990. Dat is een betere voorspeller dan de orthofoto's van VBI-2 waar ook twijfelgevallen in zijn opgenomen om zeker geen bos te missen. Als gevolg hiervan is de proportie bos daar kleiner. De twee correcties kunnen we dus goed verklaren en ze houden ook het midden tussen helemaal niet corrigeren en alle ontbrekende waarden als bos te beschouwen. Tabel 4.2 vat na deze correcties de waarnemingen samen in een transitie matrix.

**Tabel 4.1 Transitie matrix met ontbrekende waarden.** De rijen verwijzen naar de toestand op het eerste "tijdstip" (VBI-1), de kolommen naar de toestand op het tweede "tijdstip" (VBI-2). Samen definiëren ze een transitie categorie, t.t.z. de evolutie van de toestand op het eerste naar het tweede tijdstip. In 455 rasterpunten komt bos bij (van 0 = "geen bos" naar 1 = "bos") en in 485 rasterpunten verdwijnt bos (van 1 = "bos" naar 0 = "geen bos"). Voor een aantal rasterpunten is het landgebruik onbekend (NA = not available) omdat er geen toegang mogelijk was (ontoegankelijk of toegang geweigerd). Als we op basis van deze matrix "blindelings" de bosindex bepalen dan  $BI_1 = 2732 / (27163 - 148) = 10,11\%$  en  $BI_2 = 2763 / (27163 - 60) = 10,19\%$ , met als trend  $BI_2 - BI_1 = 0,08\%$ . Een kleine positieve trend dus. Na correctie zal blijken dat de trend eigenlijk negatief is.

	$t_2: 0$ (geen bos)	$t_2: 1$ (bos)	$t_2: NA$ (onbekend)	som ( $t_1$ )
$t_1: 0$ (geen bos)	23798	455	<b>30</b>	24283
$t_1: 1$ (bos)	485	2222	<b>25</b>	2732
$t_1: NA$ (onbekend)	<b>57</b>	<b>86</b>	<b>5</b>	<b>148</b>
som ( $t_2$ )	24340	2763	<b>60</b>	<b>27163</b>

## 4.4 De transitie matrix

Een transitie matrix is een kruistabel van de toestand in VBI-1 met de toestand in VBI-2:

- De diagonaal geeft het aantal rasterpunten waar de toestand (bos of niet) gelijk bleef:  $n_{00}$  is het aantal locaties waar er in beide rondes geen bos was;  $n_{11}$  het aantal met permanent bos.
- De cellen buiten de diagonaal zijn de zogenaamde *discordante* paren (Agresti, 2013) waar het landgebruik verschillend is in VBI-1 en VBI-2:  $n_{10}$  is het aantal waar bos verdwenen is,  $n_{01}$  is het aantal waar bos bijgekomen is.

De transitie matrix is de spil waaruit we veel kenmerken i.v.m. de oppervlakte kunnen afleiden. Delen door het aantal rasterpunten ( $N = 27163 - 5$  ontbrekende waarden = 27158) geeft de proporties/percentages ( $p_{00}, p_{01}, p_{10}, p_{11}$ ). Hieruit kunnen we meteen een aantal basiskennmerken afleiden:

- De bosindex: voor VBI-1 10,38% en voor VBI-2 10,2% en na vermenigvuldigen met 13.522 km<sup>2</sup> wordt het bosareaal: 140.309 ha en 138.815 ha.
- De verandering van de bosindex (trend) is -0,11% (- 1.494 ha).

De discordante cellen in de transitie matrix geven informatie over de dynamiek van het bosbestand:

- Het verschil  $p_{01} - p_{10} = -0,11\%$  geeft de netto-verandering of trend.
- De som  $p_{01} + p_{10} = 3,46\%$  geeft de bruto-verandering.

De bruto-verandering is veel groter dan we uit de netto-verandering kunnen afleiden/vermoeden. Bij een verdere analyse van de VBI is het zinvol op deze punten in te zoomen en deze veranderingen te karakteriseren.

**Tabel 4.2 De transitie matrix na correctie voor ontbrekende waarden.** De eigenlijke transitie matrix staat in het grijs, hieruit afgeleide waarden staan in de marges (blauw). De indices in  $n_{00}, n_{01}, \dots$  verwijzen naar de vier overgangscategorieën. De eerste index verwijst naar de toestand op  $t_1$  (VBI-1) en de tweede index naar  $t_2$  (VBI-2). Voor elke transitie categorie, geven de  $n_{ij}$  het aantal en  $p_{ij}$  het percentage rasterpunten.

Transitiematrix	$t_2: 0$ (geen bos)	$t_2: 1$ (bos)	BI % ( $t_1$ )
$t_1: 0$ (geen bos)	$n_{00} = 23885$ $p_{00} = 87,9\%$	$n_{01} = 455$ $p_{01} = 1,68\%$	
$t_1: 1$ (bos)	$n_{10} = 485$ $p_{10} = 1,79\%$	$n_{11} = 2333$ $p_{11} = 8,59\%$	$n_{t1} = n_{10} + n_{11} = 2818$ $p_{t1} = BI_1 = 10,38\%$
BI % ( $t_2$ )		$n_{t2} = n_{01} + n_{11} = 2788$ $p_{t2} = BI_2 = 10,27\%$	$N = 27158$ $BI_2 - BI_1 = -0,11\%$

#### 4.5 McNemar toets voor trend en correlatie

Een statistische toets die direct volgt uit de transitie matrix is **de toets van McNemar** (Agresti, 2013). De toetsstatistiek gaat na in hoeverre de matrix symmetrisch is en gaat dus na of er geen systematische verschuiving in de ene of andere richting is.

$$z_{McN} = \frac{n_{01} - n_{10}}{\sqrt{n_{01} + n_{10}}} = \frac{455 - 485}{\sqrt{455 + 485}} = -0,98$$

De toetsstatistiek is normaal verdeeld; aangezien  $0,98 < 1,96$  (de drempelwaarde voor de standaard normale verdeling) is de trend niet significant.

Een andere statistiek die we direct uit de tabel kunnen afleiden is **de correlatie**.

$$\rho = \frac{p_{11} - p_{t1} p_{t2}}{\sqrt{p_{t1} (1 - p_{t1}) p_{t2} (1 - p_{t2})}} = 0,813$$

Noot: om de notatie niet onnodig complex te maken, zijn de symbolen dezelfde als in de transitietabel, maar in te vullen als proporties en niet als percentages (dus de  $p$  delen door 100 om de formule te gebruiken).

De correlatie drukt uit in hoeverre de metingen uit de tweede meetcyclus gelijken op deze van de eerste meetcyclus (en vice versa). Deze waarde is hier zoals verwacht hoog. Veranderingen in het landgebruik zijn beperkt. Er kan aangetoond worden dat de hier berekende correlatie dezelfde is als voor continue variabelen maar nu toegepast op de binaire variabelen die aan- of afwezigheid van bos (1 of 0) uitdrukken.

## 5 Trendbepaling op basis van de Vlaamse bosinventarisatie

In voorgaande punten zijn alle basisprincipes aan bod gekomen. We werken deze nu concreet uit voor de VBI.

### 5.1 De foutenmarge (FM) op het bosareaal

Aangezien  $BI$  een proportie is, kunnen we een foutenmarge afleiden uit de formule voor een binomiale verdeling (Sokal, 2012) en aangezien de steekproef heel groot is, kunnen we de binomiale verdeling vervangen door een normale verdeling (van Belle, 2002). Dan krijgen we volgende formules:

$$FM(BI \%) = 1,96 \times \sqrt{\frac{BI(1 - BI)}{N}} \times 100 = 0,36\%$$

$$FM(BA) = 0,36\% \times 13.522 \sim 5.000 \text{ ha}$$

De resultaten van de formules zijn berekend voor  $BI = 10,31/100$  (omzetting naar een proportie) en een steekproef van  $N = 27.000$ . De FM op het bosareaal (bosindex) op basis van de VBI is ca. 5.000 ha (0,36%). Dat zijn belangrijke richtgetallen. Deze FM is alleen geldig voor een volledige cyclus van tien jaar, zoals we in punt 2 al onderzocht hebben. Tabel 5.1 geeft de meer precieze resultaten.

**Tabel 5.1** Bosareaal (bosindex) volgens de VBI, met foutenmarges en betrouwbaarheidsintervallen.

	Bosareaal	Foutenmarge	Ondergrens	Bovengrens
<b>VBI-1</b>	140.309 ha (10,38%)	4904 ha (0,36%)	135.404 ha (10,01%)	145.213 ha (10,7%)
<b>VBI-2</b>	138.815 ha (10,27%)	4891 ha (0,36%)	133.934 ha (9,90%)	143.696 ha (10,63%)
<b>Trend</b>	-1.494 ha (-0,11%)	2.992 ha (0,22%)	-4.486 ha (-0,33%)	1498 ha (0,11%)

Merk op:  $FM_{trend}$  (  $\sim 3.000$  ha) is kleiner dan de FM voor VBI-1 en VBI-2 apart (  $\sim 5.000$  ha) omdat dezelfde meetpunten bezocht worden. De correlatie  $\rho = 0,813$ ; hierdoor is  $FM_{trend}$  een factor  $\sqrt{2 \times (1 - \rho)} = 0,611$  kleiner dan  $FM_{Toestand}$ .

### 5.2 De foutenmarge op een trend

In eerste instantie maken we hier de veronderstelling dat we voor elke ronde nieuwe rasterpunten selecteren. Hierdoor zullen de resultaten verschillend zijn van tabel 5.1. Maar deze "omweg" is nodig om een aantal vragen i.v.m. met trendberekening te beantwoorden. De VBI heeft een cyclus van 10 jaar en daarom stelt de vraag zich of er geen tussentijdse rapportages mogelijk zijn, zoals (i) jaarlijks een update te maken of (ii) om de vijf jaar van de cyclus een analyse te maken van de voorbije 10 jaar, waarbij de jaren 1-5 en 6-10 met

elkaar vergeleken worden. In deze gevallen verschillen de rasterpunten van elkaar en moeten we de formules die hier voorgesteld worden gebruiken.

Conform een statistische vuistregel (van Belle, 2002) is de FM op een verschil een factor  $\sqrt{2}$  (1,41) hoger dan de FM op de individuele metingen, dat om rekening te houden met de fout op de eerste en tweede meting. Hieruit volgt voor de trend van het bosareaal:

$$FM(\Delta BI \%) = 1,96 \times \sqrt{\frac{BI(1 - BI)}{N}} \times \sqrt{2} \times 100 \simeq 0,50\%$$

$$FM(BA) = 5000 \times \sqrt{2} \simeq 7.000 \text{ ha}$$

De FM voor de VBI is ca. **7.000 ha** (= 5.000 ha x 1,41) voor het verschil tussen twee bepalingen van het bosareaal. Dat correspondeert met een FM op de bosindex van ongeveer **0.5%**.

Wat betekent het verschil tussen twee opeenvolgende bepalingen van het bosareaal? Aangezien de meetcyclus van de VBI tien jaar is, hebben we gegevens nodig over een periode van twintig jaar. Het gemiddeld tijdsinterval tussen de metingen is tien jaar. Het verschil tussen twee opeenvolgende rondes kunnen we bijgevolg interpreteren als een gemiddelde tienjaarlijkse trend over een periode van twintig jaar.

Veronderstel nu dat de jaarlijkse trend 700 ha/jaar bedraagt. Dan is de totale verandering na tien jaar 7.000 ha, net zo groot als de foutmarge. Dat impliceert dat een jaarlijkse trend van een grootteorde van **700 ha/jaar** (of **0,05%/jaar**) net wel of net niet significant zal zijn over een periode van 20 jaar. Kleinere waarden zijn niet significant en kunnen we niet van de ruis onderscheiden.

### **Merk op**

Bovenstaande impliceert niet dat we twintig jaar moeten wachten voor een update van een trend. Om de tien jaar is dat mogelijk. Nu de inlooperperiode van de VBI achter de rug is, is het mogelijk om de tien jaar een volledig nieuwe tienjaarlijkse trend te bepalen over een periode van twintig jaar.

Dat komt eigenlijk neer op *een voortschrijdend gemiddelde*, waarbij het tijdsvenster verschuift. Hierbij wordt slechts een deel van de steekproef vernieuwd. Hiermee vlakken we nieuwe, plotselinge veranderingen af, maar kunnen we wel op regelmatige tijdstippen een actualisatie geven van de langetermijntrend. De hierna volgende sectie brengt in kaart wat de gevolgen zijn indien we willen focussen op nieuwe veranderingen en hiervoor alleen de meest recente gegevens gebruiken.

## **5.3 Kortere cycli**

Om recente veranderingen in beeld te brengen, kunnen we de analyse baseren op de meest recente gegevens. We kijken niet naar de volledige meetcyclus, maar delen bijvoorbeeld een meetcyclus op in twee periodes van vijf jaar, waarbij we het contrast maken tussen deze twee periodes. Door deze opdeling vermindert het aantal punten met de helft. Aangezien de precisie omgekeerd evenredig is met  $\sqrt{N}$ , zal de FM hierdoor met een factor  $\sqrt{2}$  toenemen. Meer algemeen zal FM met een factor  $\sqrt{\xi}$  toenemen als de steekproef  $\xi$  keer kleiner wordt. Enkele voorbeelden:

- Na één jaar is 1/10 van de steekproef ingezameld. De foutmarge op een verandering van het bosareaal zal bijgevolg een factor  $\sqrt{10}$  groter zijn: **22.000 ha** ( $3.16 \times 7.000$  ha)
- Na vijf jaar is de helft van de steekproef ingezameld, waardoor FM op de trend een factor  $\sqrt{2}$  groter wordt, wat neerkomt op **10.000 ha** ( $1.41 \times 7.000$  ha).

We focussen nu wel op een meer recente periode, maar we betalen hiervoor een hoge prijs. De FM wordt veel groter, wat de interpretatie en communicatie van de uitkomsten bemoeilijkt. Grote veranderingen zullen weinig betekenen als ze kleiner zijn dan de foutenmarge.

### Wat betekent dit verschil hier?

Voor een vijfjaarlijkse trend zijn gegevens verzameld over tien jaar tijd, nodig ( $2 \times 5$  jaar). Met een foutmarge van **10.000 ha** correspondeert een jaarlijkse trend van minstens **2.000 ha/jaar** (delen door 5) om te kunnen spreken van een significant verschil. Dat is veel hoger dan de 700 ha/jaar die we voordien hebben afgeleid voor een tienjaarlijkse cyclus, namelijk  $2000 / 700 = 2,86$ .

Er speelt een dubbel effect:

- Enerzijds is het tijdsinterval de helft korter, waardoor de cumulatieve trend slechts half zo groot is, en hierdoor verdubbelt de foutenmarge op de jaarlijkse trend ( $\times 2$ ) (zie inleiding).
- Anderzijds is de steekproef na vijf jaar de helft kleiner, wat FM verhoogt met een factor  $\sqrt{2}$ .
- Gecombineerd leiden beide effecten samen tot  $2 \times \sqrt{2} = 2^{3/2} = 2,83$ , ongeveer de factor die we hierboven berekend hebben (2,86).

### Veralgemening

Als we dezelfde oefening herhalen voor een jaarlijkse analyse, dan is het verschil t.o.v. een volledige cyclus  $22000 / 700 = 31,4$ . Het tijdsinterval is een 10 keer korter (dus  $FM \times 10$ ) en daarenboven is de steekproef een factor 10 kleiner (dus  $FM \times \sqrt{10}$ ). Gecombineerd:  $10 \times \sqrt{10} = 10^{3/2} = 31,6$ .

Meer algemeen kunnen we afleiden dat de foutenmarge voor de jaarlijkse trend afneemt als volgt:

$$FM_{1|VBI} = 22.000 \div \Delta J^{3/2} \text{ (ha/jaar)}$$

Voor  $\Delta J = 1$  en 5 geeft deze formule inderdaad een FM van respectievelijk **22.000** en **2.000 ha/jaar**. Uit de formule volgt ook dat de FM op de jaarlijkse trend sterk daalt in functie van het aantal jaar dat het meetnet loopt, sneller dan voor de BW het geval is (zie verder).

## 5.4 De impact van een vast raster

Tot nu toe hebben we er nog geen rekening mee gehouden dat de VBI met een vast raster werkt. Figuur 5.1 illustreert het effect door met dezelfde rasterpunten te werken. Hierdoor krijgen we een scherper beeld van de trend. We motiveren nu kort waarom.

### 5.4.1 Correlatie tussen metingen

Een gepaarde of gekoppelde proefopzet leidt tot correlatie tussen metingen. Twee opeenvolgende metingen op dezelfde locatie zullen sterker op elkaar gelijken, dan twee metingen op een andere locatie. Een statistische maat voor deze gelijkensis is de correlatie  $\rho$ , een getal tussen -1 en 1. Positieve waarden wijzen op een positief verband, negatieve waarden op een negatief verband. Hoe dichterbij 1 in absolute waarde, hoe sterker het verband (positief of negatief).



De correlatie is afhankelijk van de dynamiek van het landgebruik. Hoe lager de dynamiek, hoe hoger  $\rho$ . Over het algemeen verandert het landgebruik bos in Vlaanderen traag. Er komt bos bij en er verdwijnt bos en dat leidt tot een bepaalde netto-trend. Maar de netto-trend is niet het resultaat van heel veel omwisselingen. We verwachten eerder een lage dynamiek, waardoor  $\rho$  hoog zal zijn.

De correlatie voor binomiaal verdeelde variabelen kunnen we op dezelfde manier berekenen als gewone continue variabelen. Alleen bevatten de variabelen nu 0 of 1 naargelang een punt al dan niet bos is. Op basis van gegevens van de VBI is  $\rho = 0,813 \approx 0,8$ , wat op een lage dynamiek wijst.

### 5.4.2 De impact van de correlatie

Volgens een statistische vuistregel (van Belle, 2002) vermindert de FM met een factor  $1 \div \sqrt{1-\rho}$ . We moeten bijgevolg bovenstaande formules voor de foutenmarge vervangen door:

$$FM(\Delta BI \%) = 1,96 \times \sqrt{\frac{BI(1-BI)}{N}} \times \sqrt{2(1-\rho)} \times 100 \approx 0,24\%$$

$$FM(BA) = 5000 \times \sqrt{2(1-\rho)} \approx 3.200 \text{ ha}$$

Een hoge correlatie is gunstig voor de bepaling van de trend. Voor hoge waarden van  $\rho$  neemt de snel toe.

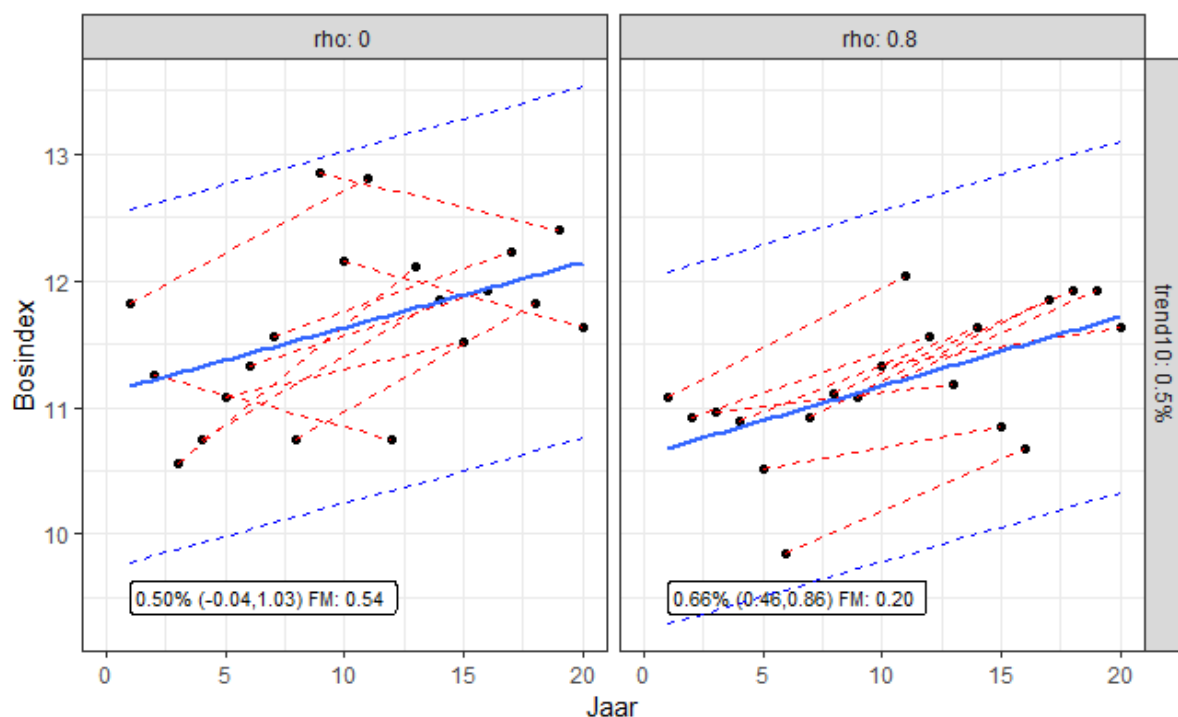
- Voor de VBI, met  $\rho \approx 0,8$ :  $1 \div \sqrt{1-0,8} = \sqrt{5} = 2,24$ . Hierdoor daalt de foutenmarge op de jaarlijkse trend van 700 ha/jaar naar **320 ha/jaar**.
- Voor  $\rho \approx 0,9$  krijgen we:  $\sqrt{10} = 3,16$ ; wat zou resulteren in  $FM_1 = 220$  ha/jaar.

### 5.4.3 Grafische verduidelijking

Figuur 5.1 verduidelijkt het effect van de correlatie. In de figuur links zijn de punten niet gekoppeld, rechts wel. Na tien jaar tekent zich rechts een duidelijke trend af door de punten te verbinden, links niet. In beide gevallen pikt het regressiemodel (de blauwe lijnen) de trend op, maar rechts is de FM op de jaarlijkse trend ongeveer een factor twee kleiner dan de figuur links. Hierdoor is links de helling niet significant en rechts wel (betrouwbaarheidsinterval omvat nul, ja dan neen).

### 5.4.4 Tussentijdse trendbepalingen om de vijf jaar

De koppeling van de rasterpunten van de VBI is er alleen voor tijdsintervallen van tien jaar. Voor een tussentijdse analyse na vijf jaar vergelijken we twee statistisch onafhankelijke steekproeven. Om tot een volledige correlatie tussen alle rasterpunten te komen, zouden we - voor de bepaling/schatting van de oppervlakte - extra veldbezoeken kunnen inlassen om het landgebruik te controleren aan een hogere frequentie. De voornaamste factor is echter tijd. Bijvoorbeeld, na een periode van vijf jaar, is de cumulatieve trend maar half zo groot, waardoor we in het beste geval veranderingen die twee keer zo groot zijn nauwkeurig kunnen inschatten (600 ha/jaar of 0,04%) of het meetraster met een factor vier te verdichten.



**Figuur 5.1** Het contrast tussen een onafhankelijke nieuwe steekproef en een vast rooster. In de figuur links zijn de rasterpunten niet vast, in de figuur rechts wel met een cyclus van tien jaar. **De zwarte punten** geven de jaarlijkse schattingen van de BI op basis van 10% (1/10) van de gemeten punten. Deze jaarlijkse schattingen zijn heel variabel omdat de steekproef klein is.

**De rode stippellijnen** verbinden de jaarlijkse metingen met een tussenperiode van 10 jaar. Alleen rechts ontstaat hierdoor een helder patroon die de trend weerspiegelt. In de figuur links zijn de rode lijnen heel variabel ten gevolge van de steekproefvariabiliteit.

**De blauwe regressielijn** is de best passende rechte voor de hele cyclus. Het kader onderaan vat de resultaten van de regressie samen: een schatting van de trend over een periode van tien jaar, het betrouwbaarheidsinterval en de foutenmarge (FM). In beide gevallen is de schatting van de trend goed, maar de foutenmarge rechts is meer dan een factor twee kleiner dan links. Hierdoor is de trend rechts significant en links niet.

## 6 De Boswijzer 2.0

### 6.1 Beschrijving

De BW is een verdere interpretatie van de *groenkaart* een product gebaseerd op *remote sensing* (van der Linden *et al.* 2017). De BW biedt een gebiedsdekkende kaart van het bos in Vlaanderen waaruit we de oppervlakte kunnen afleiden. De BW is een momentopname afgeleid van digitaal beeldmateriaal. De eerste versie van de BW (1.0) leidde tot een heel hoge schatting voor het bosareaal 177.424 ha (13,1%) en een bijsturing bleek nodig. Door het verfijnen van het algoritme wordt de bosindex nu gemiddeld ongeveer 1% lager ingeschat (12,2%). Dat is nog altijd 1,5% hoger dan de laatste boskartering in 2000 (10,8 %). We werken hier verder met BW 2.0.

### 6.2 Het bosareaal conform Boswijzer 2.0

Uit BW 2.0 komen twee schattingen (tabel 6.1). De eerste schatting komt rechtstreeks uit de GIS-laag, maar bevat foutieve classificaties. Een steekproefsgewijze verificatieprocedure op scherm laat toe om de schatting te verbeteren en een foutenmarge te berekenen (van der Linden *et al.* 2017).

**Tabel 6.1** Geschatte oppervlakte en FM voor de verschillende edities van de BW 2.0 (bron: tabel 3 uit Projectteam Vegetatiekaart (2017)). Vermenigvuldigen met  $\sqrt{2}$  van onderstaande FM leidt tot gemiddeld 8.500 ha voor de FM van de trend; delen door 3 geeft de FM op de jaarlijkse trend (2.800 ha/jaar).

Editie	Oppervlakte GIS ha (%)	Oppervlakte schatting ha (%)	±Foutenmarge ha (%)
<b>BW 2.0 - 2009</b>	163.864 (12,1 %)	164.489 (12,2 %)	±6.370 (±0,47 %)
<b>BW 2.0 - 2012</b>	168.166 (12,4 %)	167.221 (12,4 %)	±6.094 (±0,45 %)
<b>BW 2.0 - 2015</b>	162.740 (12,0 %)	164.263 (12,1 %)	±5.899 (±0,44 %)
<b>BW 2.0 - uitgemiddeld</b>		165.000 (12,2 %)	±6.000 (±0,44 %)

Gemiddeld is de foutenmarge op het bosareaal ongeveer **6.000 ha**, wat resulteert in **8.500 ha** voor een bepaling van het verschil tussen twee bepalingen (zie eerder: een factor 1,41 hoger). Aangezien het tijdsinterval drie jaar is tussen twee opeenvolgende edities, moeten we het verschil delen door drie om de jaarlijkse trend te bekomen. De corresponderende FM verkleint ook met een factor drie: **2.800 ha/jaar**. Indien we een periode van tien jaar zouden tussen laten, is FM  $\sim$  **850 ha/jaar**.

Meer algemeen zorgt een langer tijdsinterval voor een preciezere schatting van de jaarlijkse trend. De factor tijd bepaalt in belangrijke mate de nauwkeurigheid; voor de BW is de FM op de jaarlijkse trend  $FM_1$  omgekeerd evenredig met de trend:

$$FM_{1|BW} = 8.500 \div \Delta J \text{ (ha/jaar)}$$

### 6.3 Landbedekking (*land cover*) of landgebruik (*land use*)

Beide meetinstrumenten blijven afwijkende resultaten opleveren. Volgens VBI-2 is de bosindex 10,27%, terwijl de BW uitkomt op een bosindex van 12,2%. Dit is grotendeels te wijten aan de gebruikte meetmethode. De BW is gebaseerd op *remote sensing beelden*. De landbedekking door bos wordt van bovenaf ingeschat wat tot een overschatting leidt van de oppervlakte in een land use benadering. Bij de VBI volgt na een eerste triage met orthofoto's een verificatie van het effectieve landgebruik (*land use*) op het terrein, waardoor de overschatting beperkt is. Het is wel mogelijk dat de fractie bos onderschat wordt doordat bos niet altijd herkend wordt op basis van de orthofoto's, bv. bij recente (jonge) bosuitbreidingen. Het verschil in werkwijze leidt tot een systematisch verschil in de schatting van de bosoppervlakte. De BW schat de (geprojecteerde) bosbedekking (*land cover*), terwijl de VBI het effectieve landgebruik bepaalt (*land use*).

Volgens het advies van De Keersmaeker *et al.* (2012) zijn de twee voornaamste bronnen die de vertekening veroorzaken: (i) de versnippering van het bosareaal, waardoor de projectiefout wegens overhangende kronen extra doorweegt en (ii) tuinen of woonparken. De veronderstelling dat de systematische fout constant is, houdt in dat deze twee oorzaken niet of slechts beperkt veranderen. Als omgekeerd, de versnipperingsgraad en/of het aandeel van woonparken met behoud van de bomen tussen de bebouwing veranderen, zal de BW de trend niet goed inschatten.

### 6.4 Impact van de systematische afwijking tussen land cover en land use op de schatting van de (jaarlijkse) trend

Onder bepaalde voorwaarden is het misschien mogelijk om met beide instrumenten vergelijkbare trends te bekomen. Dit veronderstelt dat zich in de 14% die actueel in de land cover benadering (BW) wel als bos wordt getypeerd, maar niet in de land use benadering (VBI), geen trends aftekenen. Deze veronderstelling gaat wellicht op voor de korte termijn, maar mogelijk op lange termijn niet.

We modelleren de geschatte waarde van het areaal als een som van de werkelijke waarde  $\mu$ , een systematische fout of vertekening  $\tau$  en een meetfout of steekproeffout  $\epsilon$ . Voor twee opeenvolgende tijdstippen geldt dan:

$$A_1 = \mu_1 + \tau_1 + \epsilon_1$$

$$A_2 = \mu_2 + \tau_2 + \epsilon_2$$

waaruit we de trend kunnen berekenen:

$$\Delta A = A_2 - A_1 = (\mu_2 - \mu_1) + (\tau_2 - \tau_1) + (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

$$\text{of: } \Delta A = \Delta\mu + \Delta\tau + \Delta\epsilon$$

De gemeten trend ( $\Delta A$ ) is bijgevolg de som van de werkelijke trend ( $\Delta\mu$ ), de verandering van de systematische fout ( $\Delta\tau$ ) en het verschil van de meetfouten ( $\Delta\epsilon$ ). Als de systematische fout weinig verandert in de tijd ( $\Delta\tau \approx 0$ ), dan valt de term met systematische fout weg:

$$\Delta A \approx \Delta\mu + \Delta\epsilon$$

Ondanks de systematische meetfout kunnen we een onvertekend beeld van de trend krijgen, op voorwaarde dat de systematische afwijking niet verandert doorheen de tijd.

## 6.5 Toepassingsmogelijkheden van de Boswijzer

In tegenstelling tot de steekproefsgewijze aanpak van de VBI leidt de methodiek van de BW tot een gebiedsdekkende kaart. Deze kaart biedt de mogelijkheid om heel andere analyses uit te voeren. De classificatiefouten beperken de mogelijkheden om de kaart bv. als een juridisch instrument te gebruiken, maar de kaart biedt wel de nodige informatie om een aantal evoluties op te volgen die een impact kunnen hebben op de ecologische kwaliteit van het landschap.

Uit de kaart kunnen we landschapskenmerken afleiden zoals bijvoorbeeld de versnipperingsgraad, de connectiviteit, de verdeling van of de grootte van samenhangende bosgebieden en de onderlinge afstand tussen bosgebieden. In combinatie met andere kaartlagen kan de BW als basis dienen voor een meer gedetailleerde studie van landschapsecologische veranderingen ten gevolge van natuurlijke en/of maatschappelijke processen. Zo kan met de BW de evolutie van bosoppervlakte nabij woongebieden opgevolgd worden, of kan er nagaan worden met welk type landgebruik het bosgebruik het meest uitgewisseld wordt.

De veranderingen in opeenvolgende edities van de BW (change detection) kan gebruikt worden als signaal om terreincontroles i.f.v. handhaving, beheerplannen, e.d. meer gericht en efficiënter uit te voeren. Dit kan ook gebruikt worden om de administratieve gegevens (vergunningen voor bebossing of ontbossing, beheerplannen) een ruimtelijke (GIS) dimensie te geven, moest die er nog niet zijn.

Hierbij aansluitend kan een betere afstemming tussen de BW en de VBI op termijn een toegevoegde waarde bieden. Maar een directe meerwaarde is het gebruik van de VBI als grondcontrole voor de BW. Door de tienjarige cyclus komen er elk jaar slechts 1/10 van de rasterpunten ter beschikking en kan niet de totale steekproef gebruikt worden. Mogelijks volstaan de VBI rasterpunten van 1 à 2 jaar voor de validatie van de BW.

## 7 Vaststellingen en aanbevelingen

Voor de opzet van een meetnet moeten de doelstellingen duidelijk zijn voor zowel uitvoerders als de eindgebruikers (Wouters, 2008a en 2008b). Voor monitoring op basis van tijdsreeksen is het cruciaal te expliciteren welke trends betekenisvol zijn en binnen welk tijdsinterval we ze moeten detecteren. Met betekenisvol bedoelen we trends die voor de besluitvorming bruikbaar zijn. Het heeft geen zin naar kleine trends te zoeken zonder impact op natuur en maatschappij. Een meetnet dat pas een trend kan oppikken als het onheil al geschied is, is ook niet ideaal.

Het onderstaand overzicht van vaststellingen en/of aanbevelingen heeft als doel meer inzicht te geven in wat mogelijk is en wat niet en concreter te maken wat een betekenisvolle trend is. Na elke rubriek wordt een korte argumentatie toegevoegd, zodat dit deel als een apart geheel kan gelezen worden. Een nadere verklaring is in voorgaande onderdelen te vinden.

**Vaststelling 1** De foutenmarges op het bosareaal zoals geschat door de VBI en de BW zijn te groot om in een kort tijdsinterval betekenisvolle trends te detecteren.

*De precisie op de jaarlijkse trend is omgekeerd evenredig met het tijdsinterval waarover gegevens beschikbaar zijn. Hierdoor zijn de foutenmarges op de jaarlijkse trend op korte termijn veel te groot en kunnen we weinig aanvragen met de trendbepalingen op korte termijn.*

**Aanbeveling 1** Bij de rapportage van en de communicatie over het bosareaal is het noodzakelijk de foutenmarges te vermelden. Pas wanneer veranderingen van dezelfde grootteorde zijn als de FM gaat het om reële veranderingen.

*Een mogelijk compromis is de trend van het bosareaal in beeld te brengen als een voortschrijdend gemiddelde, waarbij we om de vijf jaar de gegevens analyseren van de voorbije tien à twintig jaar. We actualiseren dus regelmatig de schattingen van het bosareaal, maar nemen ook de informatie uit een (verder) verleden mee, waardoor toevallige fluctuaties (ruis) afgevlakt worden.*

We geven een verduidelijking voor de BW (het resultaat is analoog voor de VBI). We berekenen de trend uit het verschil tussen twee metingen met **een tijdsinterval** van  $\Delta J$  jaar (nu:  $\Delta J = 3$ ).

- Voor de BW 2.0 is de foutenmarge (FM) op de oppervlaktebepaling ongeveer **6.000 ha**.
- De FM op het verschil tussen twee metingen is bijgevolg **8.500 ha** ( $= 6.000 \times \sqrt{2}$ ; conform de statistische vuistregel voor een trend).
- Om boven de foutenmarge (ruis) uit te komen, moet de gemiddelde jaarlijkse trend over de tijdsperiode  $\Delta J$  minstens gelijk zijn aan  $8.500/\Delta J$ .

Bijgevolg kunnen we in een kort tijdsinterval alleen maar grote trends detecteren:

- Met de huidige periodiciteit van drie jaar ( $\Delta J = 3$ ) moet de (gemiddelde) jaarlijkse trend minstens **2.800 ha/jaar** (0,21%/jaar) zijn om boven de foutenmarge uit te komen. BW 2.0 kan bijgevolg alleen grote veranderingen van tenminste 2.800 ha/jaar oppikken. Maar, bij relatief grote trends (vb. 2000 ha/jaar) zal de verandering als niet significant beoordeeld worden, terwijl we tegelijk niet kunnen uitsluiten dat er een grote trend is. Dergelijke informatie draagt weinig bij tot de besluitvorming.
- Bij een gemiddelde jaarlijkse trend van **850 ha/jaar** (0,06%/jaar) is een tijdsinterval van tien jaar voldoende opdat de gecumuleerde trend boven de foutenmarge van 8.500 ha uitkomt. Over een periode van 20 jaar is de minimale trend van **420 ha/jaar** (0,06%/jaar). Trends van deze grootteorde kunnen voorkomen en zijn wellicht niet zichtbaar

zonder een systematisch opgezet meetnet. Om betekenisvolle trends op te pikken, is een tijdsinterval van 10 tot 20 jaar noodzakelijk.

**Vaststelling 2** De BW kan informatie aanleveren op een kortere termijn dan de VBI. De BW is immers een momentopname en maakt schattingen van het bosareaal op een bepaald tijdstip. Een meetcyclus van de VBI is gespreid over tien jaar en geeft de gemiddelde bosoppervlakte over tien jaar. Ook hierdoor zijn de meetnetten niet perfect vergelijkbaar.

*Voor een volledige trendbepaling heeft de VBI twintig jaar gegevens nodig. Het resultaat is een tienjaarlijkse trend uitgemiddeld over een periode van twintig jaar. Na de inlooperperiode is er een volledige update om de tien jaar. Tussentijdse analyses zijn mogelijk. Na vijf jaar is de helft van de steekproef vernieuwd. We kunnen de gegevens op twee manieren verwerken: 1) het tijdsvenster van twintig jaar (2 x 10 jaar) behouden; dan is er een gedeeltelijke update van de trend; 2) het tijdsvenster wordt beperkt tot tien jaar (2 x 5 jaar); hierdoor gaat veel precisie verloren (zie vaststelling 4), maar we krijgen wel een beeld van veranderingen binnen een korter tijdsinterval.*

*In essentie zijn bovenstaande tussentijdse analyses varianten van het voortschrijdend of glijdend gemiddelde, maar met een verschillend tijdsvenster. Het kort tijdsinterval (variant 2) geeft beter zicht op recente veranderingen, maar met meer onzekerheid; een lang tijdsinterval (variant 1) toont de langetermijntrend, maar geeft aanleiding tot een stabielere resultaat.*

**Aanbeveling 2** Het verschil in tijdsperspectief geeft de mogelijkheid om de twee meetnetten complementair in te zetten voor de trendbepaling.

*Na tien jaar geeft de BW een schatting van de gemiddelde jaarlijkse trend over dezelfde periode van tien jaar, terwijl de VBI de gemiddelde jaarlijkse trend bepaalt over een periode van twintig jaar (in de veronderstelling dat de eerste cyclus achter de rug is).*

De VBI is een steekproef gespreid over tien jaar. Dat is wezenlijk voor de interpretatie van de trend.

- Om een trend te kunnen bepalen, is twintig jaar nodig voor de VBI (2 x 10 jaar). Na de inlooperperiode is een volledige update mogelijk om de tien jaar, maar in essentie wordt een gemiddelde trend over een periode van twintig jaar bepaald.
- Na vijf jaar is de helft van de gegevens vernieuwd en is een gedeeltelijke update mogelijk met gegevens van de voorbije twintig jaar. Een gemiddelde trend wordt bepaald over een periode van twintig jaar.
- Er kan geopteerd worden om de gegevens te beperken tot de voorbije tien jaar, maar dan is er slechts een half zo grote steekproef (2 x 5 jaar). Er kunnen dan uitspraken gedaan worden op een twee keer zo korte periode (zie vaststelling/aanbeveling 1 voor de gevolgen) en de koppeling tussen de meetpunten gaat verloren. In vaststelling/aanbeveling 4 geven we aan wat hiervan de gevolgen zijn.

Voor de BW kan in principe het verschil berekend worden voor om het even welk tijdsinterval, maar wegens conclusie 1 is het weinig zinvol om op korte termijn te werken.

**Vaststelling 3** Er is een systematisch verschil tussen beide meetinstrumenten. Het bosareaal volgens de BW 165.324 ha (12,2%) is veel hoger dan de VBI: 139.449 ha (10,31%).

*De VBI en BW meten intrinsiek een andere oppervlakte. De VBI is een maat voor het landgebruik (land use) en de BW geeft een maat voor de grondbedekking (land cover).*

*Indien de kenmerken die het systematische verschil beïnvloeden, niet veranderen in de loop van de tijd (bijvoorbeeld de versnippering of het aandeel woonparken veranderen weinig), dan zal de trendbepaling van beide instrumenten gelijklopend zijn. Voor de trendbepaling kunnen ze*

eventueel complementair ingezet worden, maar een heldere communicatie is dan wel nodig.

**Aanbeveling 3** Vaststelling 3 nuanceert aanbeveling 2 in die zin dat niet alleen het tijdsperspectief verschilt van beide instrumenten (wat ze complementair maakt), maar ook wat ze meten (wat de communicatie bemoeilijkt).

*Voor trends kan het systematische verschil wegvallen, maar het maakt de communicatie er niet eenvoudiger op, aangezien we twee schattingen van de oppervlakte bekomen. Toch blijft het interessant twee visies te hebben, want elk van beide levert waardevolle informatie op.*

Het bosareaal volgens de BW 165.324 ha (12,2%) is een stuk hoger dan de VBI: 139.449 ha (10,31%). Een verschil van meer dan 20.000 ha.

- De belangrijkste reden is dat de BW grondbedekking (*land cover*) schat, terwijl het bij de VBI om het effectieve landgebruik (*land use*) gaat.
  - a. De BW is gebaseerd op *remote sensing* en geeft een kijk van bovenaf, wat aanleiding geeft tot interpretatie- en projectiefouten die samen tot een overschatting leiden.
  - b. Bij de VBI is er een verificatie met veldbezoek en worden foutpositieven verwijderd. Eventueel is er een onderschatting. Er kan bos gemist worden bij de eerste stap, waarbij met orthofoto's beoordeeld wordt of een rasterpunt in bos valt. Zo wordt jong bosaanplant (op landbouwgrond) met vertraging geregistreerd.
- In tegenstelling tot de buurlanden (Seebach *et al.*, 2011) is het verschil tussen *land cover* en *land use* in Vlaanderen groot (typisch 5%, terwijl in Vlaanderen bijna 15% verschil). De twee voornaamste oorzaken zijn volgens De Keersmaeker *et al.* (2012) (i) de grote versnippering van het bos in Vlaanderen waardoor projecties van overhangende kruinen doorwegen en (ii) het grote aandeel boomrijke tuinen en woonparken in de randen van steden.
- Indien het systematische verschil tussen de twee meettechnieken niet verandert in de tijd, is de impact op de trendbepaling klein. Een eenvoudig model maakt dat duidelijk.
  - a. Stel dat  $BA_{BW}(t_1) = BA_{VBI}(t_1) + \tau(t_1)$  en  $BA_{BW}(t_2) = BA_{VBI}(t_2) + \tau(t_2)$ , met  $\tau(t)$  het structurele verschil tussen beide meetnetten op tijdstip  $t$ .
  - b. Dan geldt  $\Delta BA_{BW} = \Delta BA_{VBI} + \Delta \tau$ , met  $\Delta$  het verschil tussen de twee metingen; vb.  $\Delta \tau = \tau(t_2) - \tau(t_1)$ .
  - c. Als het systematische verschil weinig verandering vertoont, is  $\Delta \tau \approx 0$  en  $\Delta BA_{BW} \approx \Delta BA_{VBI}$ . Beide instrumenten meten dan dezelfde trend.

**Vaststelling 4** De nauwkeurigheid van de VBI komt vooral tot uiting over een periode van twintig jaar (en langer). Met een volledige cyclus kunnen we veranderingen van 320 ha/jaar detecteren. Bij uitspraken over een kortere periode (bv. 2 x 5 jaar) gaat veel precisie verloren.

*Bij de VBI worden om de tien jaar dezelfde rasterpunten onderzocht. Door deze koppeling van de metingen kunnen kleine veranderingen beter in beeld gebracht worden.*

*Bij een tijdsinterval van tien jaar (= 2 x 5 jaar) gaat veel precisie verloren omdat (i) de koppeling tussen de meetpunten verloren gaat (verliesfactor = 2,24), (ii) het tijdsinterval twee keer zo kort is (verliesfactor = 2) en (iii) de steekproef maar half zo groot is (verliesfactor = 1,41). De foutenmarge neemt hierdoor met een factor 6,3 toe (2,24 x 2 x 1,41).*

**Aanbeveling 4** Het is weinig zinvol om de VBI in te zetten over een kortere periode van tien jaar want dan gaat veel van de precisie verloren.

*Tussentijdse analyses zoals aanbevolen in aanbeveling 2 zijn uiteraard wel zinvol.*

*Voor de BW wordt er geen koppeling gemaakt tussen de twee opeenvolgende GIS-kaarten. We veronderstellen impliciet  $\rho = 0$ . Allicht kan er winst geboekt worden door in te zoomen op de locaties/pixels waar veranderingen optreden (**change detection**). Deze optie moet nader worden onderzocht.*

Twee factoren werken in het voordeel voor de VBI op lange termijn:

- De FM op de jaarlijkse trend voor de BW is omgekeerd evenredig met het aantal jaar (**J**) tussen twee oppervlaktebepalingen. Voor de VBI is de daling sterker omdat de steekproefgrootte toeneemt in functie van het aantal jaar. Hierdoor daalt de FM met een factor  **$J^{1,5}$** .
- Daarenboven zorgt de proefopzet met een vast raster voor een nog hogere precisie. Hierdoor is er nog eens een winst met een factor 2,23.

De nauwkeurigheid van de VBI komt dus vooral tot uiting op langere termijn.

- Dit instrument kan kleine jaarlijkse trends oppikken over een langere periode.
- In concreto kan de VBI met gegevens over een tijdsinterval van twintig jaar een trend oppikken van **320 ha/jaar** of een jaarlijkse trend **0,02%** van de bosindex. Na een inlooperperiode van tien jaar, is om de tien jaar een update mogelijk.
- Ondanks de hoge relatieve nauwkeurigheid is de absolute impact toch groot. Na twintig jaar is bij een trend van 320 ha/jaar 6.400 ha verdwenen of bijgekomen, dat is meer dan 4% van het bosareaal.
- Indien een half zo grote trend zou opgepikt willen worden (**160 ha/jaar** of een verandering van de bosindex van **0,01%**) is het nodig het raster van de VBI met een factor 4 te verdichten, of het bestaande raster 2x zo vaak te beoordelen op de aanwezigheid van bos/niet bos (frequentie verdubbelen).

**Vaststelling 5** Beide instrumenten bieden veel meer dan een oppervlaktebepaling.

*De BW genereert een kaart die voor tal van andere toepassingen bruikbaar is, o.a. om trends in de versnippering van het bosareaal op te volgen. De VBI is op de eerste plaats een instrument om kwalitatieve evoluties van het bosbestand in beeld te brengen.*

**Aanbeveling 5** Gebruik beide instrumenten als complementaire informatiebronnen en zorg voor een heldere communicatie.

*De verschillen in de oppervlaktebepaling zijn perfect verklaarbaar en zouden geen belemmering mogen vormen om de meetnetten toe te passen en complementair in te zetten. Op termijn zullen de veldwaarnemingen van de VBI misschien bruikbaar zijn om de remote sensing beeld dieper te interpreteren en andere meer kwalitatieve verschuivingen aan het licht brengen.*

Bovenstaande vaststellingen maken duidelijk dat beide meetinstrumenten de oppervlakte en eventuele trends niet op een gelijke manier in beeld brengen en binnen een ander tijdsperspectief informatie opleveren. Dit kan verwarring scheppen. Daarom is een heldere communicatie van de resultaten noodzakelijk. We overlopen een aantal alternatieven.

- Rapportage van de resultaten naast elkaar, waarbij telkens aangegeven wordt hoe de oppervlakte geschat is en waarom er een verschil is.
  - a. Het risico bestaat dan dat de getallen weinig betrouwbaar lijken en dat de perceptie ontstaat dat naargelang de situatie het meest voordelige getal wordt gekozen.



- b. Anderzijds weet en begrijpt iedereen wel dat uitkomsten kunnen verschillen naargelang de meetmethode. Het komt erop aan dat goed te duiden en te motiveren waarom één resultaat verkozen wordt boven een ander.
- Een van de instrumenten wordt als de standaard gehanteerd:
  - a. De VBI geeft een resultaat conform de decretale definitie van het bos (*land use*), maar is een traag instrument met een grote onzekerheidsmarge op korte termijn.
  - b. De BW is niet helemaal conform de decretale definitie van bos (*land cover*), maar laat meer regelmatig updates toe.
- De resultaten op elkaar afstemmen via een interkalibratie. Dat komt erop neer dat niet de ruwe getallen zelf worden gecommuniceerd, maar wel de bewerkte getallen.
  - a. Dit kan de perceptie voeden dat de resultaten gemanipuleerd worden. Bijgevolg moet de communicatie meteen meegeven dat het om afgeleide getallen gaat die gekalibreerd zijn.
  - b. De getallen van BW 2.0 zijn gekalibreerd. De oppervlakte van de BW 2.0 is niet rechtstreeks afkomstig uit de GIS-laag, maar gecorrigeerd op basis van een vergelijking van orthofoto's. Bij de BW 1.0 was er wel een één op één relatie tussen het getal van de bosoppervlakte en de GIS laag.
  - c. De VBI kan als "*ground truth*" genomen worden om de BW hierop kalibreren.

Een stap verder is de resultaten van de BW en de VBI volledig te integreren zodat er met één getal naar buiten gekomen kan worden. Een risico is dat uiteindelijk drie getallen circuleren.

## Conclusie

---

### 1 De VBI en BW 2.0 zijn complementair.

De twee meetnetten meten iets anders: de VBI bepaalt het effectieve landgebruik als bos (*land use*) terwijl de Boswijzer de bosbedekking meet (*land cover*). Het verschil in bosoppervlakte tussen beide is te wijten aan een verschil in kijkrichting: van bovenaf verhogen de overhangende kruinen de oppervlakte, zeker in een versnipperd landschap als Vlaanderen.

Daarnaast heeft de BW te kampen met foutpositieve waarden. In een verstedelijkt landschap als Vlaanderen, is relatief veel groen geen bos. Bij de VBI is er een verificatie op het terrein, waardoor er nauwelijks foutpositieve waarden zijn.

Met beide invalshoeken is het mogelijk om bos op te volgen. Maar omdat "*land use*" beter dan "*land cover*" aansluit bij wat het Bosdecreet als bos beschouwt, is de aanbeveling om de VBI als meetnet te gebruiken voor de opvolging van de bosoppervlakte. Daarnaast is wenselijk om de complementariteit van beide meetnetten beter te benutten.

- De Vlaamse bosinventarisatie is gebaseerd op veldgegevens. Hiermee kunnen evoluties van de boskenmerken op het niveau van de standplaats opgevolgd worden. Heel generiek kunnen we stellen dat de totale kwaliteit van het bos het product is van de bosoppervlakte en de kwaliteit ervan.
- De Boswijzer werkt op een hoger schaalniveau en hiermee kunnen we de kwaliteit van de landschapsmatrix opvolgen, zoals de graad van versnippering, connectiviteit, grootte van en afstand tussen bosgebieden. Deze factoren hebben een impact op de kwaliteit van het bos, en evoluties die potentieel een bedreiging vormen, moeten we tijdig oppikken.

### 2 Binnen een kort tijdsinterval zijn geen betrouwbare uitspraken mogelijk.

Om de monitoring van het bosareaal te optimaliseren, was een belangrijke eerste stap meer inzicht te verwerven in de factoren die de nauwkeurigheid van de trendbepaling bepalen. Hieruit kwam naar boven dat de meest determinerende factor het tijdsinterval is waarover gegevens beschikbaar zijn. De nauwkeurigheid op de schatting van de jaarlijkse trend is omgekeerd evenredig met de lengte van de tijdreeks. Als gevolg hiervan is het niet haalbaar om op korte termijn trends te detecteren die betekenisvol zijn. Trends zijn betekenisvol als we er iets mee kunnen doen in de praktijk of in de besluitvorming. Met een grote foutenmarge corresponderen grote fluctuaties en dat kan problemen geven bij de communicatie en de besluitvorming. We stellen geen grote veranderingen vast, maar we kunnen niet uitsluiten dat er helemaal geen trend is.

In dat verband is het cruciaal een uitspraak over de nauwkeurigheid van een meetnet te koppelen aan het tijdsinterval waarbinnen de trend gedetecteerd kan worden. Zonder vermelding van het tijdsinterval is de nauwkeurigheid van een meetnet onbepaald. Er is een wezenlijk verschil tussen een meetnet dat een jaarlijkse trend van 1% in 25 jaar dan wel in 10 jaar kan detecteren. In het eerste geval geeft het signaal pas een signaal na een cumulatieve verandering van 25%, in het tweede geval is er een signaal na een cumulatieve verandering van 10%.

Om de nauwkeurigheid van meetnetten te vergelijken, moeten we ofwel het tijdsinterval constant houden (het meetnet dat de kleinste jaarlijkse trend kan detecteren is dan het meest nauwkeurig), ofwel de jaarlijkse trend fixeren (het meetnet met het kortste tijdsinterval waarbinnen de trend gedetecteerd kan worden, is dan het meest nauwkeurig).

Deze relatie met het tijdsinterval is sterker bij de VBI dan bij de BW. Dat komt omdat de VBI een steekproef is die zich met een cyclus van tien jaar geleidelijk aan opbouwt. De eerste jaren zijn er nauwelijks gegevens beschikbaar, terwijl voor de BW meteen gebiedsdekkende gegevens voorhanden zijn. Pas na een periode van tien jaar komt de VBI op kruissnelheid, omdat vanaf dan dezelfde meetpunten onderling vergeleken kunnen worden, wat de precisie op de trendbepaling sterk verhoogt.

### 3 De nauwkeurigheid op lange termijn

Meetnetten op programmaniveau (Wouters, 2008) zijn vooral geschikt om op lange termijn kleine trends te detecteren.

- Nu de Vlaamse bosinventarisatie op kruissnelheid is, kan de VBI om de tien jaar een jaarlijkse positieve of negatieve trend detecteren van **320 ha/jaar**. Hiervoor worden gegevens gebruikt over een periode van twintig jaar. In die twintig jaar zal het bosareaal met 6.400 ha (20 x 320) toegenomen of afgenomen zijn, wat correspondeert met een verandering van 4,7% t.o.v. het huidige bosareaal (ongeveer 10%).
- Na twintig jaar kan de Boswijzer 2.0 een jaarlijkse positieve of negatieve trend detecteren van 425 ha/jaar of groter, wat resulteert in een totale verandering van 8.500 ha, of een verandering van ongeveer 6,1% t.o.v. het huidige bosareaal.

### 4 Tussentijdse analyses

Binnen een tijdsinterval van vijf jaar, kunnen beide meetnetten alleen grote jaarlijkse trends van 1700 à 2000 ha/jaar detecteren. Voor een goede besluitvorming zijn onzekerheden van die grootteorde weinig betekenisvol en ze bemoeilijken ook de communicatie. Een grote foutenmarge impliceert immers dat er grote veranderingen gerapporteerd zullen worden, zelfs wanneer er in werkelijkheid geen trend is.

Maar het is wel zinvol regelmatige updates te maken, bv. om de vijf jaar als een voortschrijdend gemiddelde, waarbij de gemiddelde oppervlakte bos en trend berekend worden over respectievelijk een periode van tien en twintig jaar. Met een voortschrijdende gemiddelde vlakken we toevallige variaties uit, maar is toch een meer regelmatige communicatie mogelijk met nieuwe gegevens.

De oppervlakeschatting geeft het gemiddelde over de voorbije 10 jaar met telkens een vernieuwing van de helft van de gegevens.

De schatting van de trend over twintig jaar geeft de gemiddelde trend over twee meetcycli. Een nadeel is dat telkens slechts een kwart van de gegevens vernieuwd is. Maar als we over een meer recent tijdsinterval een trend willen detecteren, gaat een groot deel van de nauwkeurigheid verloren. Een accurater beeld van de recente ontwikkelingen gaat verloren in de ruis.

## Referenties

---

Verwijzingen naar de Boswijzer en/of de Vlaamse bosinventarisatie zijn met een ster aangeduid. Interne documenten kunnen op een eenvoudige vraag bekomen worden bij de auteurs.

Agresti, A. (2013) *Categorical Data Analysis (3rd edition)*. Wiley, Hoboken, New Jersey.

Agresti, A. and Min, Y. (2005). Simple improved confidence intervals for comparing matched proportions. *Statistics in Medicine*, 24(5):729–740.

\* Boskartering 1990. Afdeling Bos & Groen, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

\* Boskartering 2000. Afdeling Bos & Groen, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

Czaplewski R. L., & Catts G. P. (1992). Calibration of remotely sensed proportion or area estimates for misclassification error. *Remote Sensing of Environment*, 39(1), 29-43.

\* De Keersmaeker L., Peymen J., Van Der Aa B., De Blust G., & Van Daele T. (2012). *Vergelijking van de digitale boswijzer 2010 met de bosinventarisatie 2009 in functie van toepassing in de natuurrapportering*. Advies op eigen initiatief (INBO.A.2012.106). INBO (Brussel).

\* De Keersmaeker L., & Van Daele T. (2017). Evaluatie van de boswijzer 2.0 (hoorzitting 28/11/2017).

Good, P. and Hardin, J. (2003). *Common Errors in Statistics (and How to Avoid Them)*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Köhl M., Traub B., & Päivinen R. (2000). Harmonisation and Standardisation in Multi-National Environmental Statistics – Mission Impossible? *Environmental Monitoring and Assessment*, 63(2), 361-380.

McRoberts R. E., & Tomppo E. O. (2007). Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sensing of Environment*, 110(4), 412-419.

Onkelinx T., Verschelde P., Wouters J., Bauwens D., & Quataert P. (2008). *Ontwerp en evaluatie van meetnetten voor het milieu- en natuurbeleid. Dimensionering en kosteneffectiviteit*. INBO-Rapport INBO.R.2007.27, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

\* Projectteam Vegetatiekaart (2017). Samenvatting vegetatiekaart Vlaanderen. Naar een lange termijn monitoring van het Groen in Vlaanderen. Versie 0.5. Publicatiedatum 18 mei 2017. Informatie Vlaanderen (*intern document*).

\* Quataert P., Van Daele T. en De Keersmaeker L. (2019). Een evaluatie van de mogelijkheden om trend van het bosareaal op te volgen met de Vlaamse meetnetten vanuit een statistisch perspectief (bijeenkomst Technische Commissie 12/12/2018).

Seebach L. M., Strobl P., San Miguel-Ayanz J., Gallego J., & Bastrup-Birk A. (2011). Comparative analysis of harmonized forest area estimates for European countries. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 84(3), 285-299.

Sokal R.R. & Rohlf, F.J. (2012) *Biometry (fourth edition)*.

Tomppo E. O., Gschwantner T., Lawrence M., & McRoberts R. E. (2010). *National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting*. Heidelberg: Springer.

van Belle, G. (2002). *Statistical Rules of Thumb*. Wiley Series in probability and statistics. John Wiley & Sons, Inc., New York.

\* Van der Linden S., Van Camp N., & Van Valckenborgh J. (2017). Vegetatiekaart Vlaanderen. Digitale bos-, natuur- en groenkartering voor Vlaanderen op basis van digitale luchtopnames. Versie 0.6. Publicatiedatum 18 mei 2017. Informatie Vlaanderen. (*intern document*)

\* Waterinckx, M. and Roelandt, B. (2001). *De bosinventarisatie van het Vlaamse Gewest. Resultaten van de eerste inventarisatie 1997 - 1999*. Rapport Afdeling Bos en Groen.

\* Westra, T., Verschelde, P., Van Calster, H., Lommelen, E., Onkelinx, T., Quataert, P., and Govaere, L. (2015). *Opmaak van een analysestramien voor de gegevens van de vlaamse bosinventarisatie*. Rapport INBO.R.2015.9034827, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO).

\* Wouters, J., Quataert, P., and Waterinckx, M. (2007). Een steekproef uit het vlaamse bos. *Bosrevue*, 21:1-4.

\* Wouters, J., Onkelinx, T., Bauwens, D., and Quataert, P. (2008a). Ontwerp en evaluatie van meetnetten voor het milieu- en natuurbeleid. leidraad voor de meetnetontwerper. Mededelingen INBO.M.2008.7, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO).

Wouters, J., Onkelinx, T., Bauwens, D., and Quataert, P. (2008b). Ontwerp en evaluatie van meetnetten voor het milieu- en natuurbeleid. leidraad voor de opdrachtgever. Mededelingen INBO INBO.M.2008.8. , Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO).

Wouters, J., Quataert, P., Onkelinx, T., and Bauwens, D. (2008c). Ontwerp en handleiding voor de tweede regionale bosinventarisatie van het vlaamse gewest. Rapport INBO.R.2008.17. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO).

## **Bijlagen**

---

Het pdf-bestand INBO.A.3744\_bijlagen bevat vijf bijlagen die samen een beknopte leidraad vormen voor de berekeningen.