Schätzung von Waldbestandesinformationen aus großräumigen Rasterstichproben mit nicht-parametrischen Regressionen

Arne Nothdurft[1], Joachim Saborowski[2], Johannes Breidenbach[1]

[1]Abt. Biometrie und Informatik
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
[2]Inst. für Forstliche Biometrie und Informatik
Georg-August-Universität Göttingen

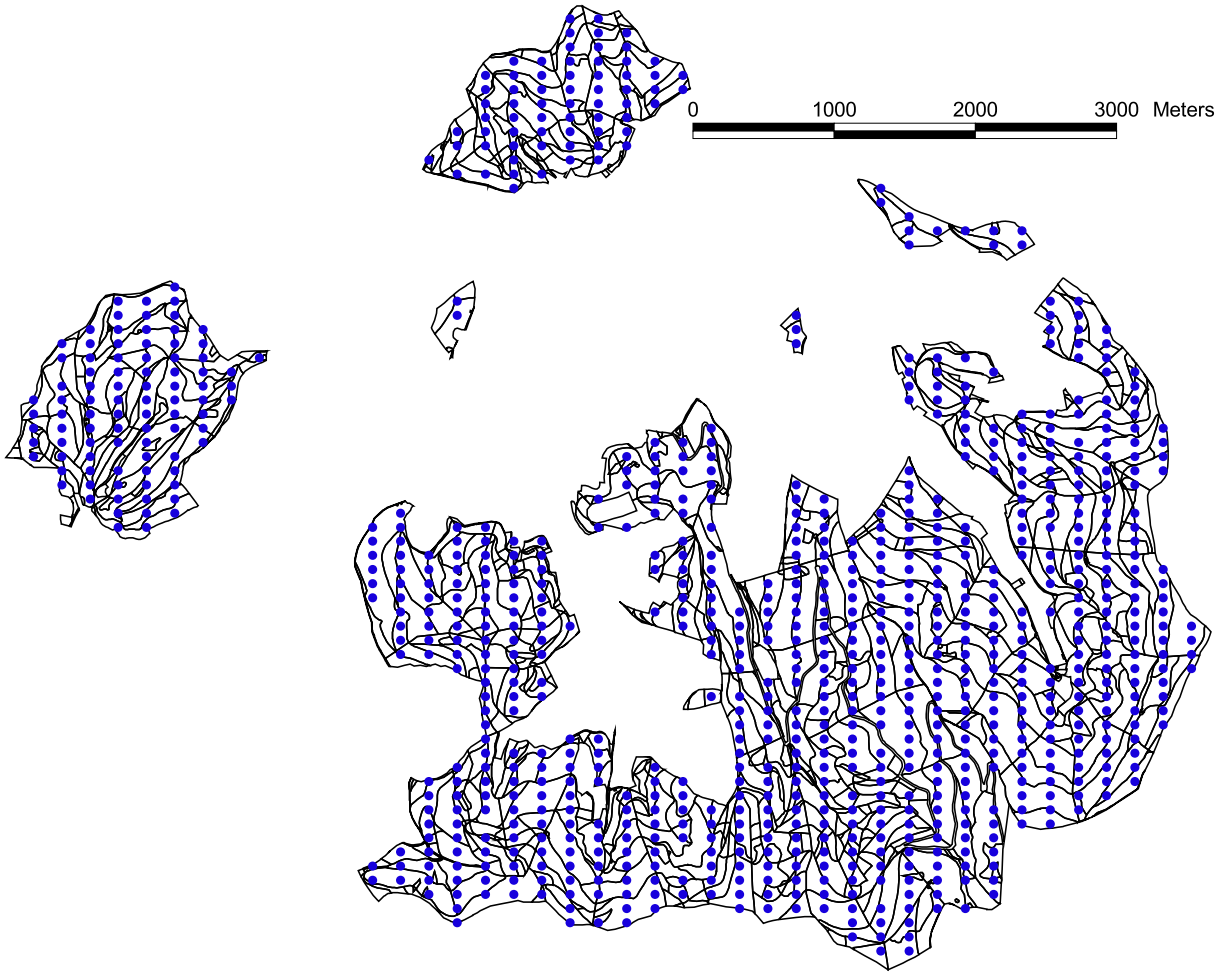
September 2007

Überblick

1. Aufgabenstellung: Anforderungen an die Schätzungen
2. Methode: Nichtparametrische Regression
3. Ergebnisse
   - Bestände als Ganzes
   - Rasterung der Waldbestände
   - Bespiele: Schätzung von Merkmalen für Waldbestände
   - Evaluierung anhand einer intensiven Beprobung
4. Diskussion

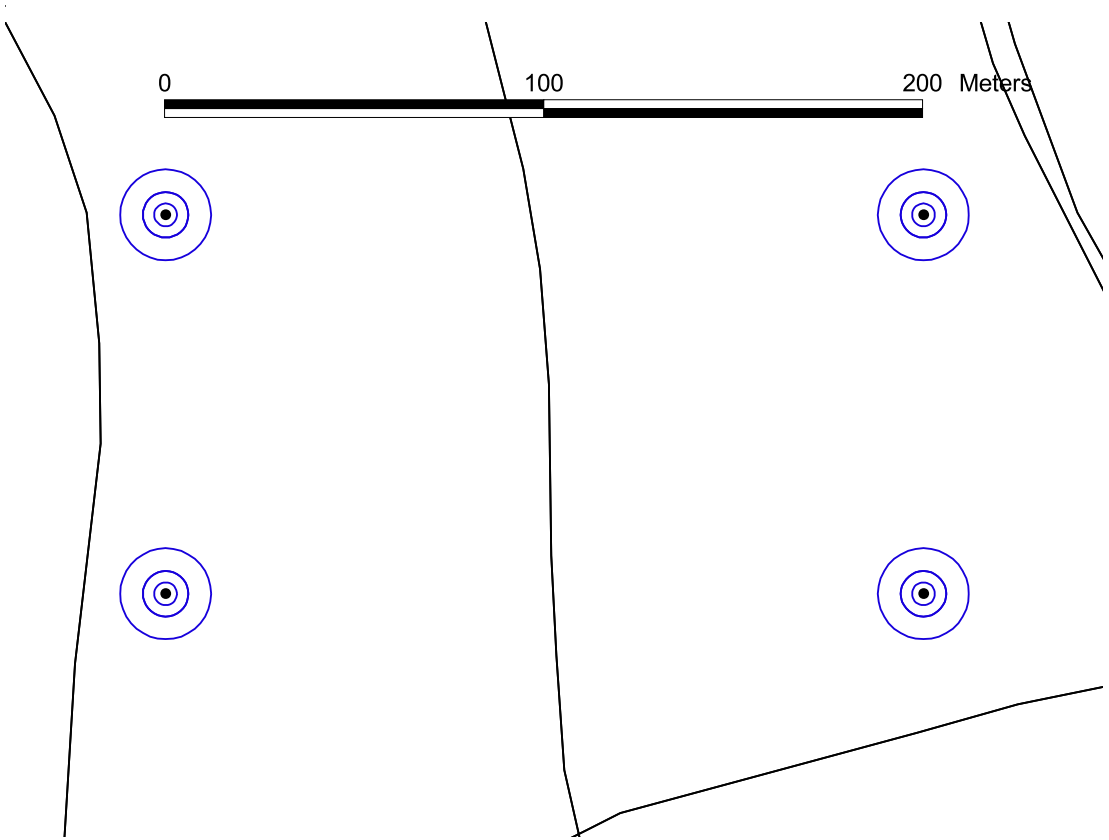
Das Rasterstichprobenverfahren

Stadtwald Waldkirch - Stichprobeninventur 2002



Das Rasterstichprobenverfahren

Erfassung der Bäume mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten auf konzentrischen Probekreisen



Zielvariablen

Anforderung an die Schätzer

Stelle Schätzungen folgender Merkmale für jeden Waldbestand bereit:

Baumart	Vorrat in 5cm BHD-Stufen	Alter
Standfläche	Baumzahlen in 5cm BHD-Stufen	Höhe
Volumen	Vorrat nach Mittenstärkensortierung	Rückeschäden
Grundfläche	Baumzahlen in NV-Höhenstufen	Schälschäden
BHD	Natürverjüngungsfläche	Verbiss

Lösungsansatz

Ideen:

- Schätzungen für einen einzelnen Bestand auf eine breitere Basis stellen
- Zur Schätzung der Zielvariablen eines Bestandes sollen ähnliche Stichproben herangezogen werden
- Die Ähnlichkeit wird anhand von Hilfsvariablen gemessen

Warum kein geostatistischer Ansatz?

- Annahme eines intrinsisch stationären Prozess nicht haltbar
- Modelle für externe Trends sind in diesem Fall nicht effizient

Das nichtparametrische Regressions-Modell

$$y_{mn} = f(x_{mn}) + \epsilon_{mn} \quad , \quad E[y|x] = f(x)$$

$m = 1, \cdots, M$ Zufallsvariablen (Merkmale)

$n = 1, \cdots, N_h$ Waldbestände im Stratum h

Distanz des n-ten Bestandes im Stratum h zum k-ten Stichprobenpunkt:

$$d_{h,n.k} = \sqrt{(x_{hn} - x_{hk})\, V_h\, (x_{hn} - x_{hk})^T}$$

$h = 1, \cdots, H$ Straten (LWET/NT)

$k = 1, \cdots, K_h$ BI-Stichproben im Stratum h

x_{hk} : Zeilenvektor mit p Regressorvariablen

Gewichtungsfunktion

Gewicht des k-ten Stichprobenpunkt im h-ten Stratum für alle M Merkmale im Bestand n aus einem Kern-Dichteschätzer:

$$g_{h,n.k} = \frac{3}{4}\left(1 - d^{*2}_{h,n.k}\right)$$

dabei ist

$$d^{*}_{h,n.k} = \frac{d_{h,n.k}}{\max\left(d_{h,n.k}\right)}$$

Vorhersage der Zielvariablen

Vorhersage aller M Merkmale im n-ten Bestand:

$$\hat{y}_{nm} = \sum_{k=1}^{K_h} \dot{g}_{h,n.k} \cdot y^*_{mhk}$$

Hierbei ist y^*_{mhk} der zu beobachtende Wert des Merkmals m am Stichprobenpunkt k des Stratums h
und

$$\dot{g}_{h,n.k} = \frac{g_{h,n.k}}{\sum_{k=1}^{K_h} g_{h,n.k}}$$

das normierte Gewicht, damit $\sum_{k=1}^{K_h} g_{h,n.k} = 1$ gilt.

Hilfsvariablen

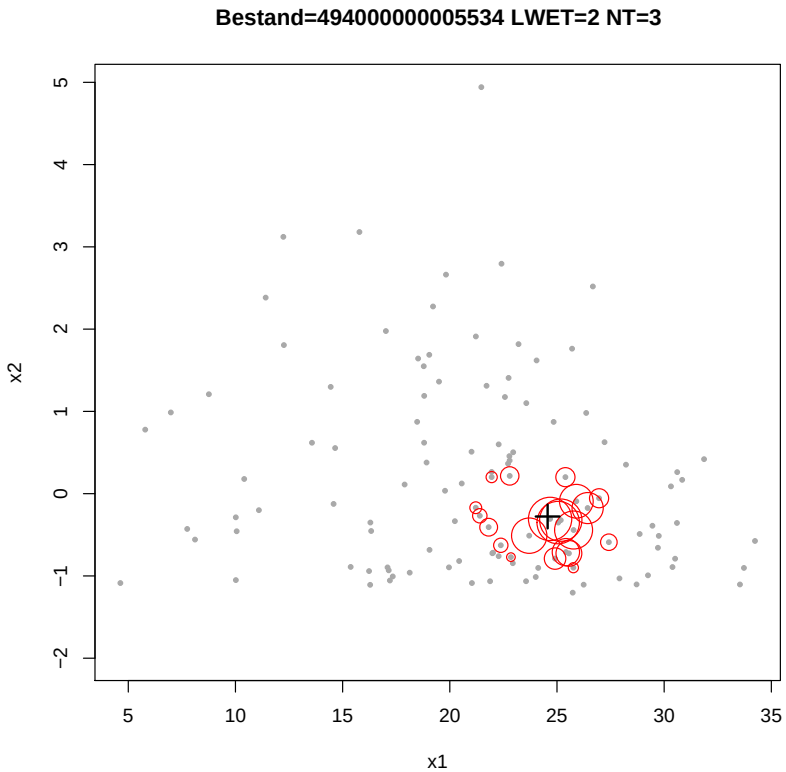
Terrestrische Erhebung:

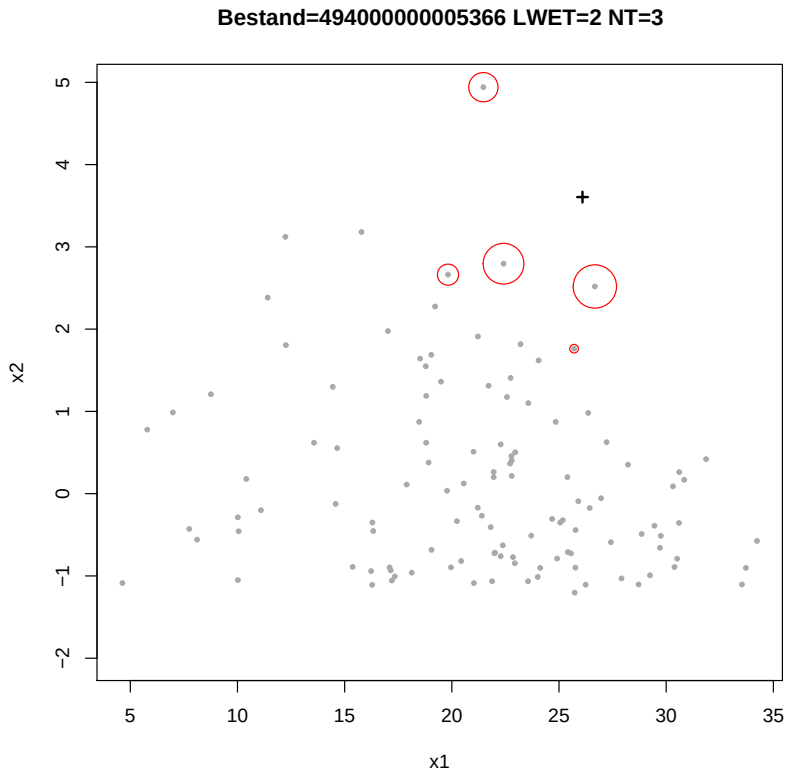
- Baumartenanteile
- Waldentwicklungstyp
- Nutzungstyp
- Altersstufe (0,$\cdots$,99,J,V,W,P)

Fernerkundung:

- Verteilungsmaßzahlen von Laser-Pulsen

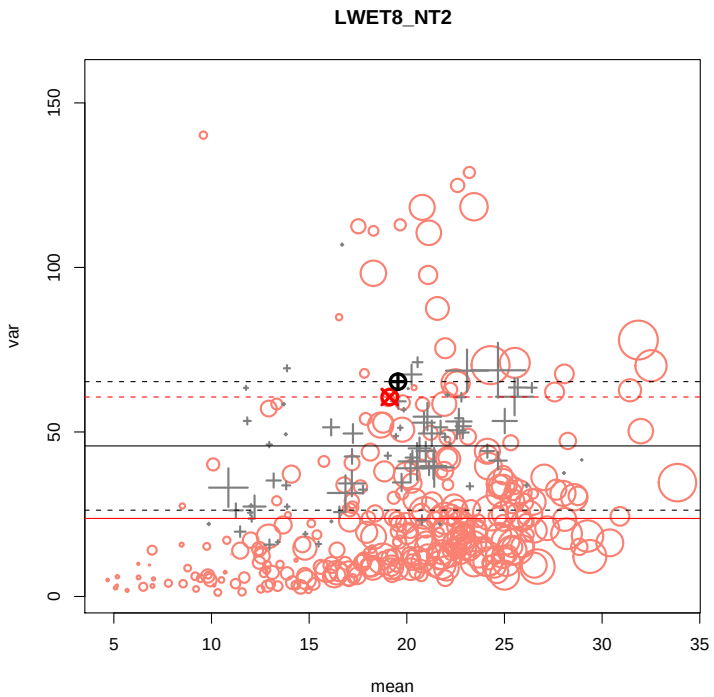
Regressionsoberfläche





Regressionsoberfläche

Problem: Varianzen innerhalb der Bestände sind größer als innerhalb der Plots, weil die Bestandesflächen größer sind als die Plot-Flächen und die Anzahl der Laser-Pulse damit in den Beständen höher ist.



$$\hat{Var}(\bar{x}) = s^2_{TOTAL} = s^2_W + s^2_B$$
$$= \sum_i \frac{n_i - 1}{n - 1} s_i^2 + \sum_i \frac{n_i}{n - 1} (\bar{x_i} - \bar{x})^2$$

Regressionsoberfläche

Normierung der Varianz-Schätzungen für die Waldbestände auf die Varianz zwischen den BI-Stichproben

$$s^2_{W,BI} = \sum_{k=1}^{K_h} \frac{p_k - 1}{p - 1} s^2_k, \qquad s^2_{B,BI} = \sum_{k=1}^{K_h} \frac{p_k}{p - 1} (x_k - \bar{x})^2$$

$$s^2_{W,FE} = \sum_{n=1}^{N_h} \frac{p_n - 1}{p - 1} s^2_n, \qquad s^2_{B,FE} = \sum_{n=1}^{N_h} \frac{p_n}{p - 1} (x_n - \bar{x})^2$$

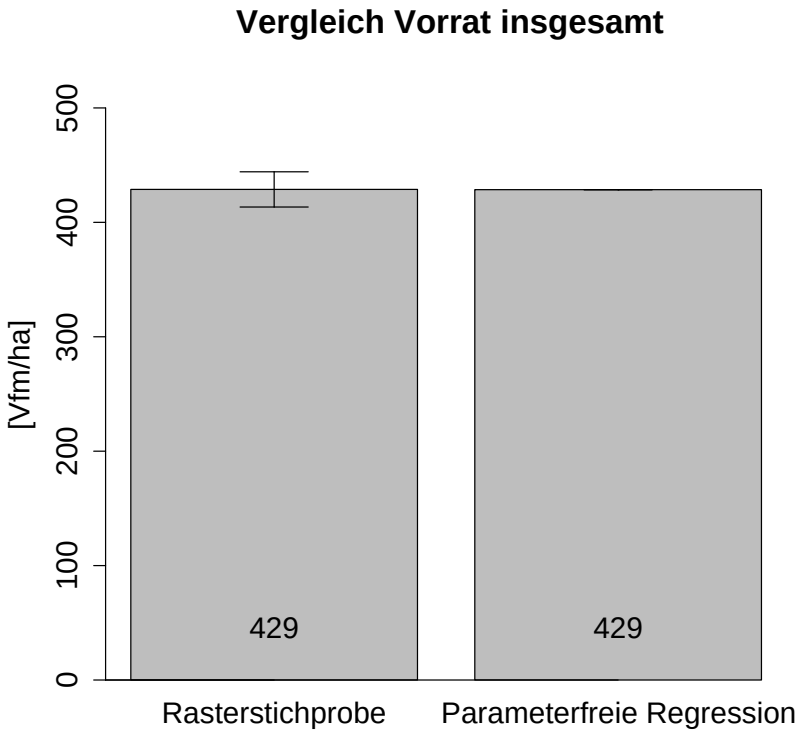
$$s^{*2}_{k,BI} = \frac{s^2_{k,BI} - s^2_{W,BI}}{s^2_{B,BI}}$$

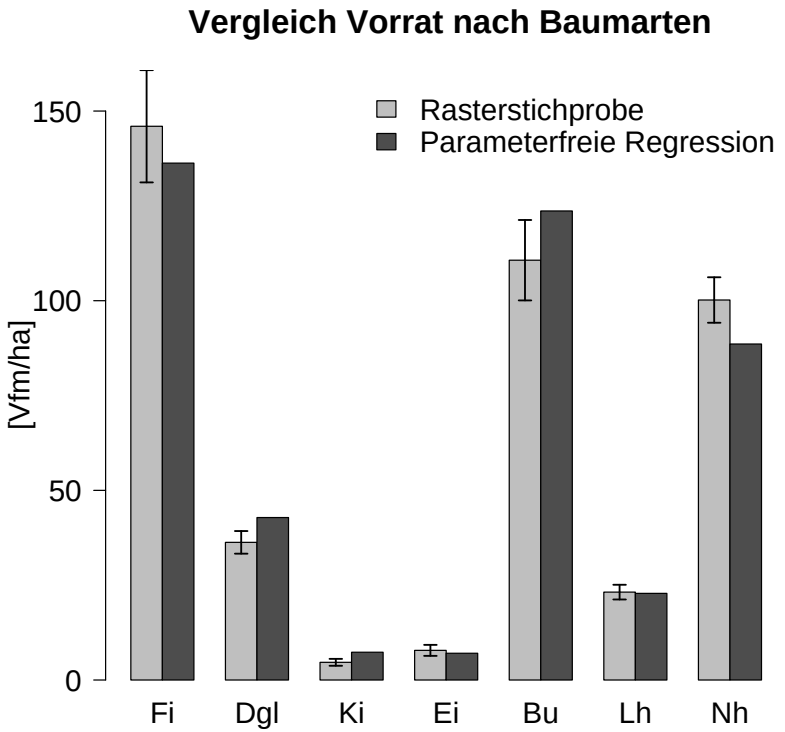
$$s^{*2}_{n,FE} = \frac{s^2_{n,FE} - s^2_{W,FE}}{s^2_{B,BI}}$$

p_k, p_n: Anzahl Laser-Pulse an Stichprobe k bzw. in Bestand n

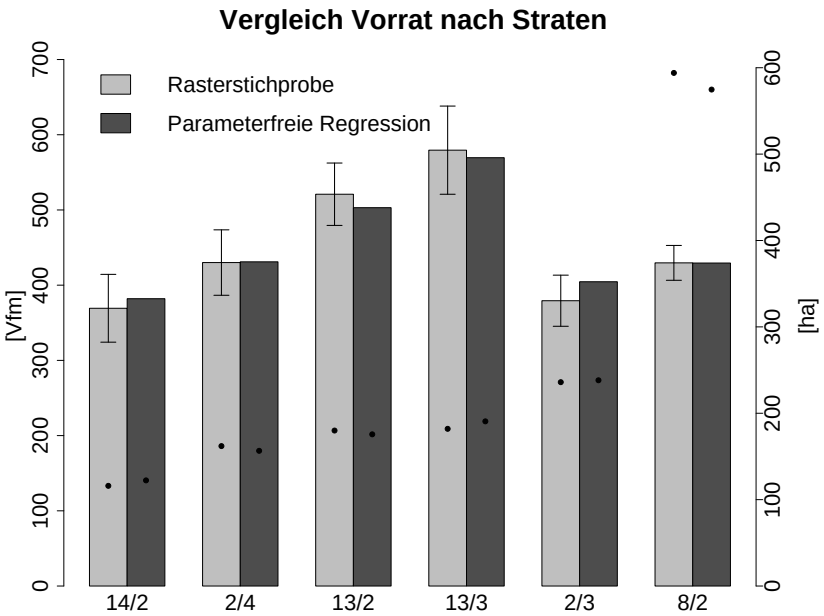
x_k, x_n: Varianz der Laser-Pulse-Höhen in Stichprobe k bzw. in Bestand n

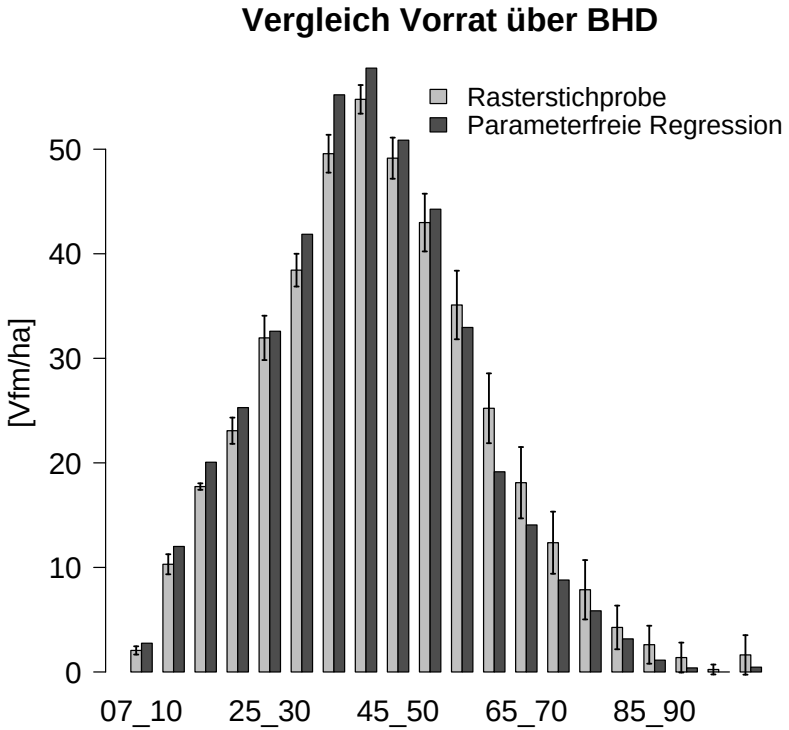
Kovariablen: Mean, Var, BA, AST



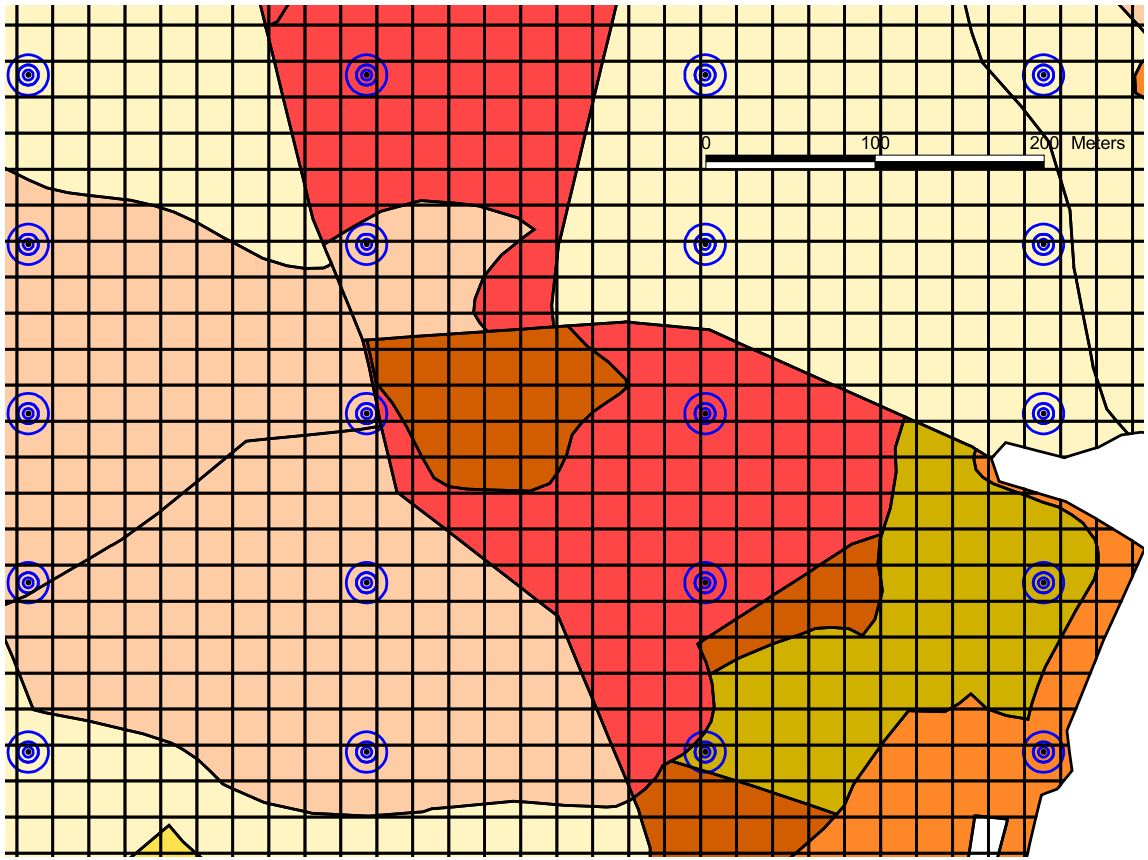


Kovariablen: Mean, Var, BA, AST

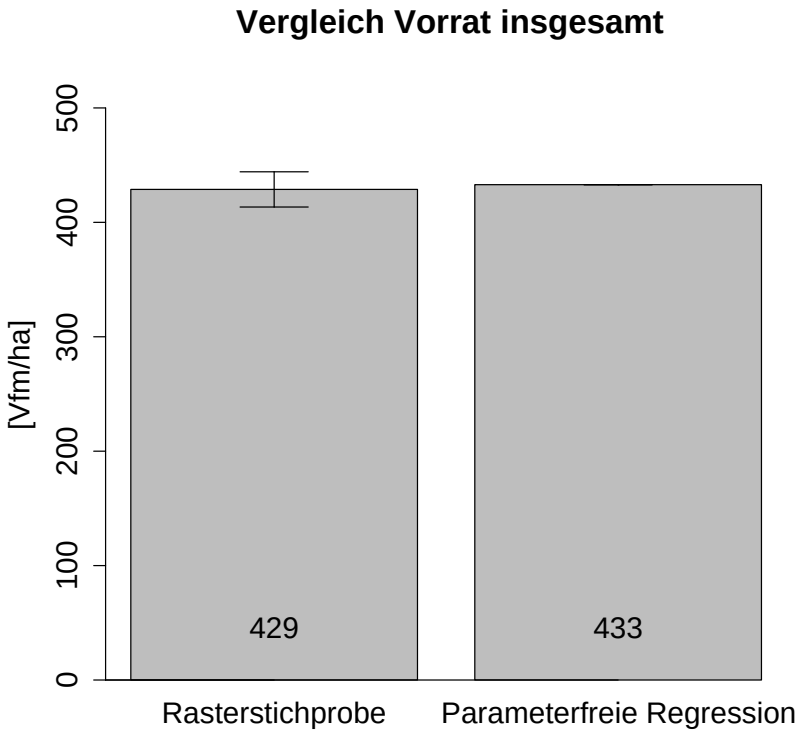


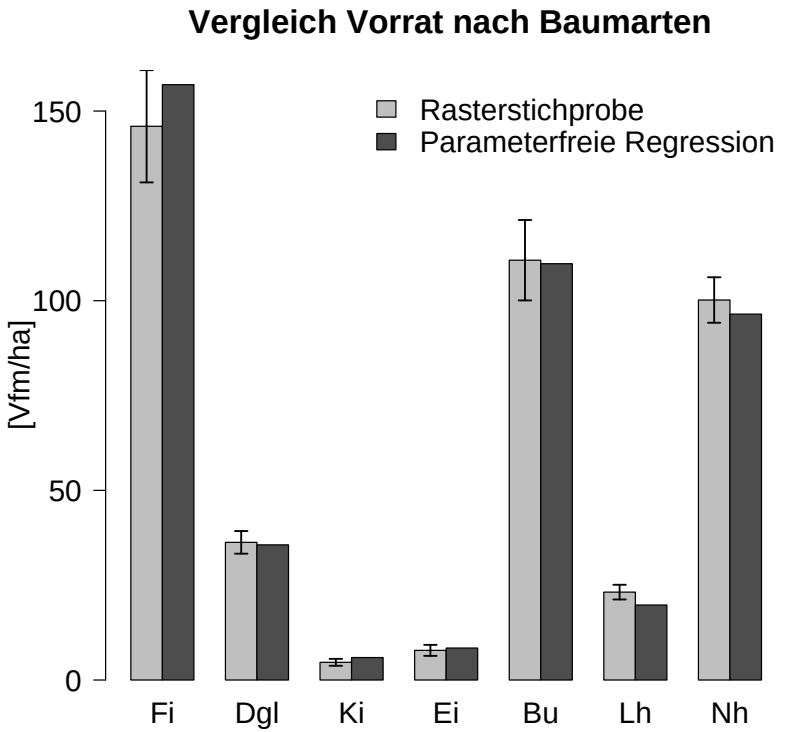


Rasterung der Bestandesflächen

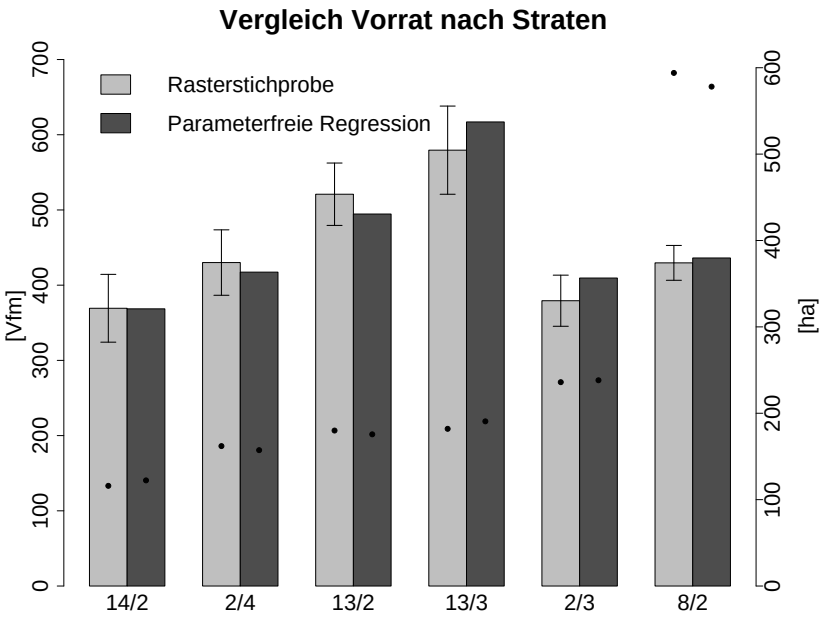


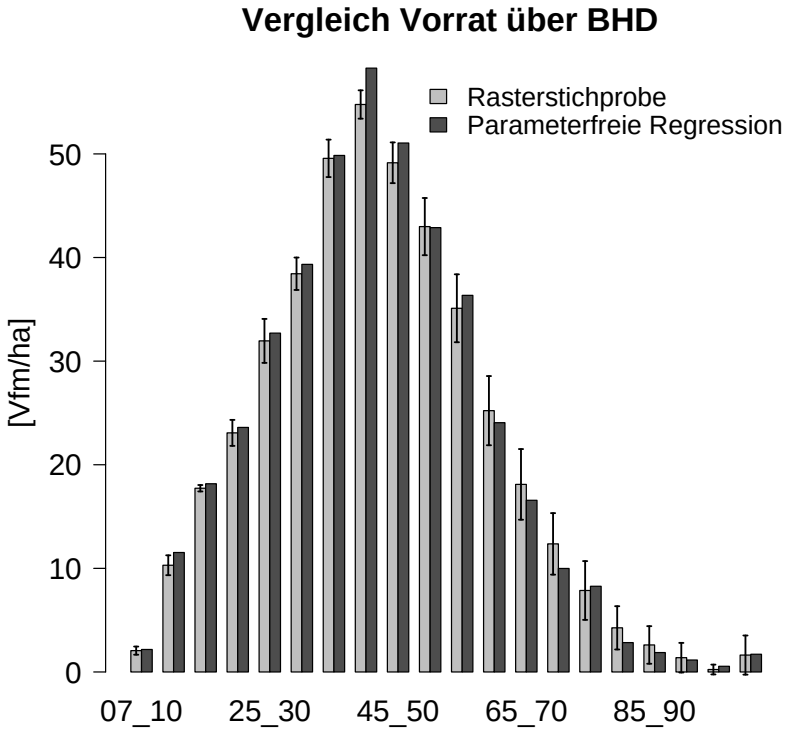
Kovariablen: Mean, Var



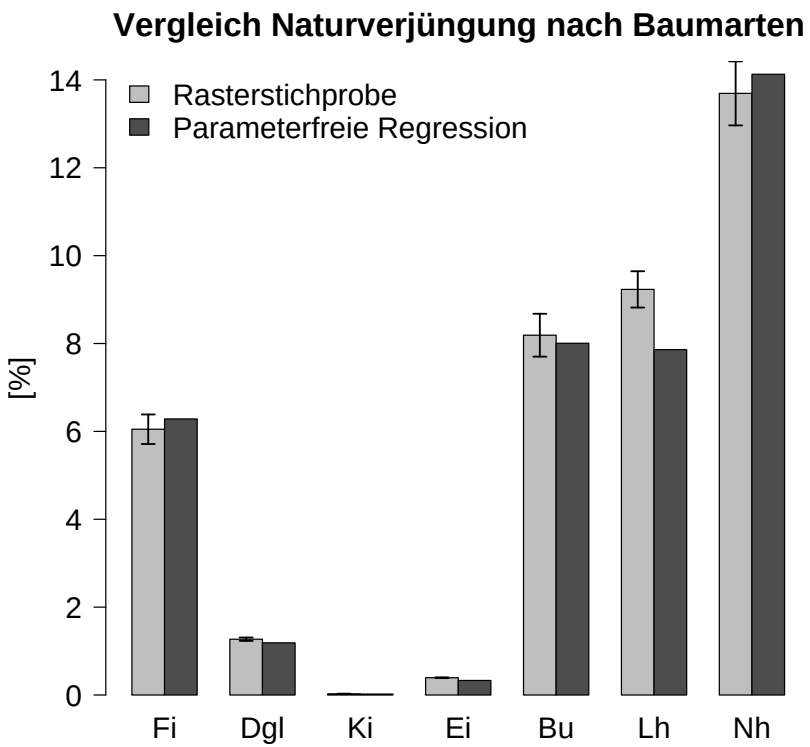


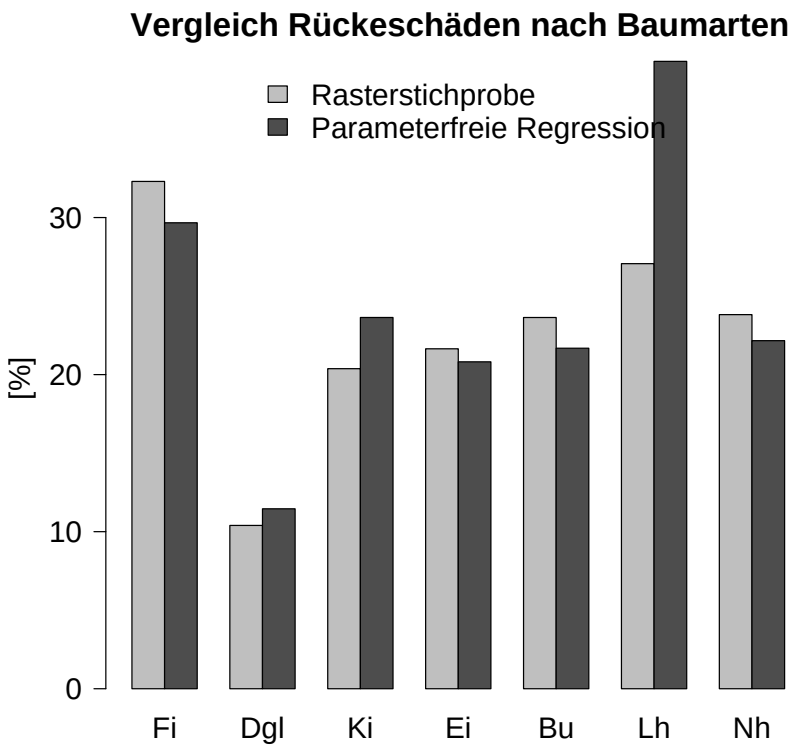
Kovariablen: Mean, Var





Kovariablen: Mean, Var





Bias-Korrektur

- Die Schätzungen sind nicht zwingend unverzerrt.
- Bei summarischen Schätzungen für den Forstbetrieb höheres Vertrauen in die Schätzer der Raster-Stichprobe.
- Veranlassung und Rechtfertigung einer Bias-Korrektur.

Bias-Korrektur

Schätzung des Mittelwerts für das m-te Merkmal

aus parameterfreier Regression:

$$\hat{\bar{y}}_m = \sum_{n=1}^{N} \frac{F_n}{F} \hat{y}_{mn}$$

aus der Rasterstichprobe:

$$\hat{\bar{y}'}_m = \frac{1}{N'} \sum_{n'=1}^{N'} \hat{y'}_{mn}$$

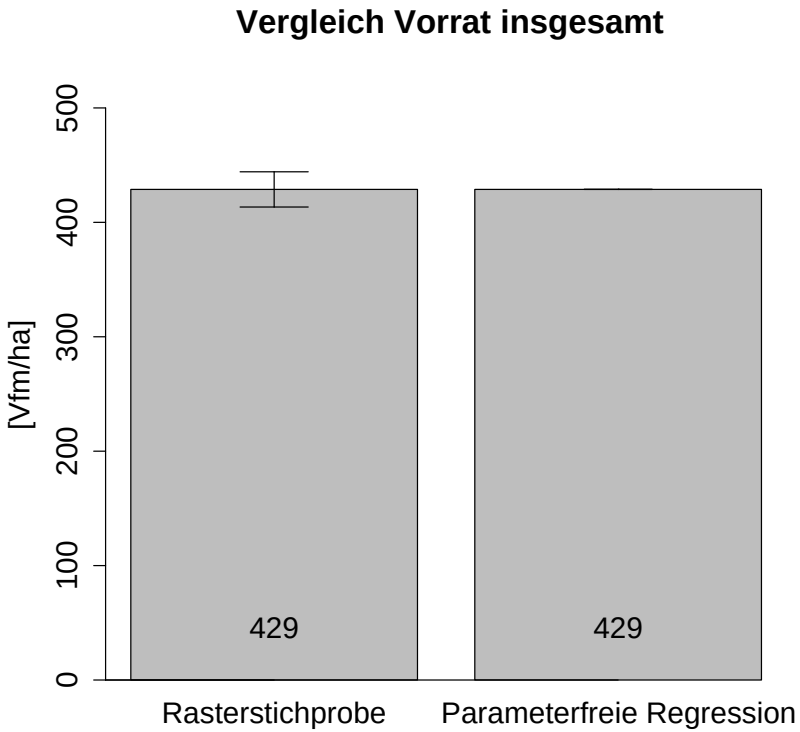
Bias-Korrekturfaktoren:

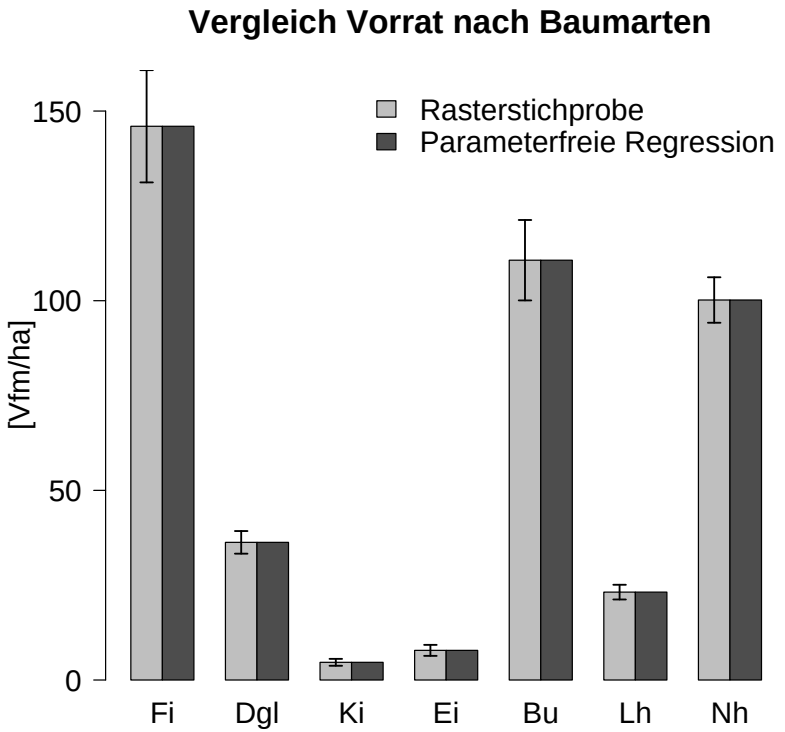
$$r_m = \frac{\hat{\bar{y}'}_m}{\hat{\bar{y}}_m}$$

Korrekturen:

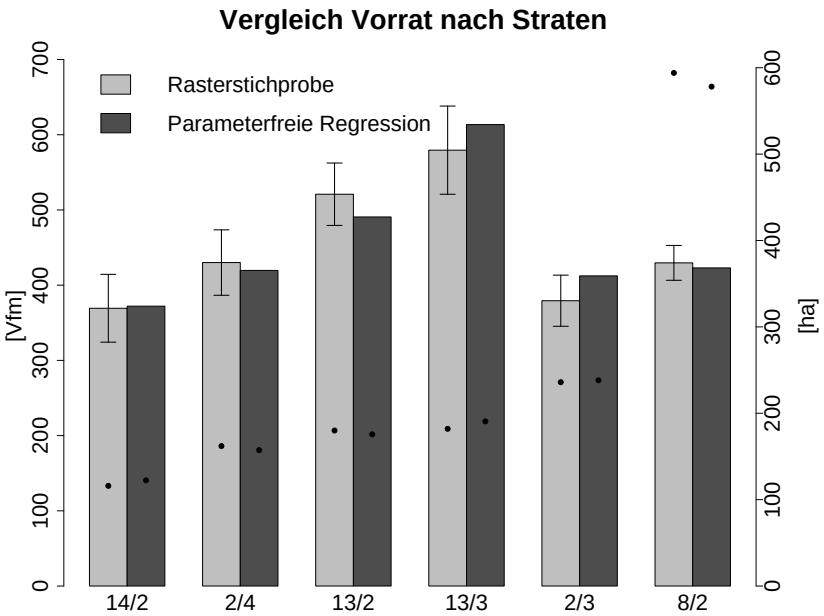
$$\hat{y^*}_{mn} = r_m \hat{y}_{mn}$$

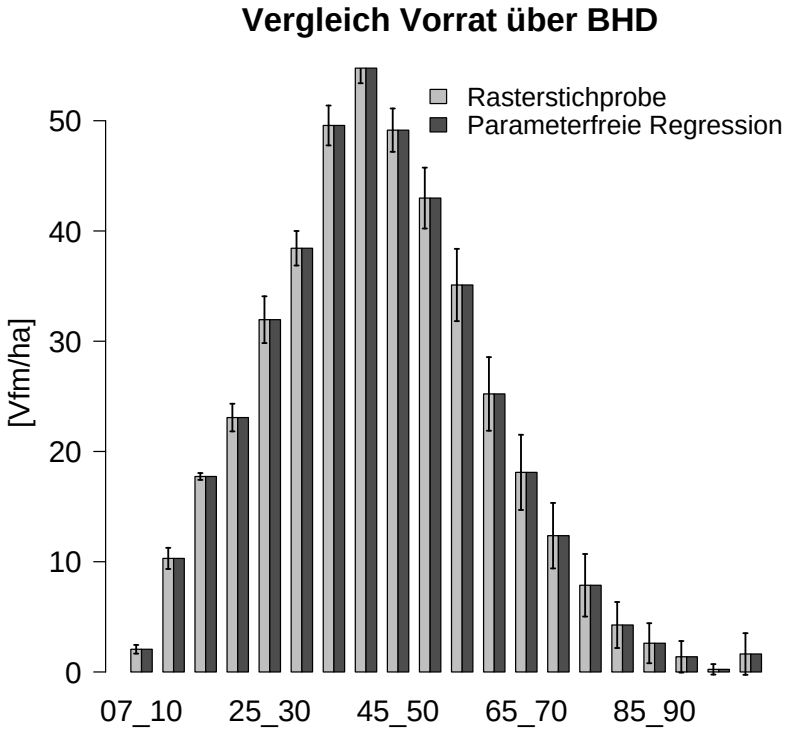
Kovariablen: Mean, Var



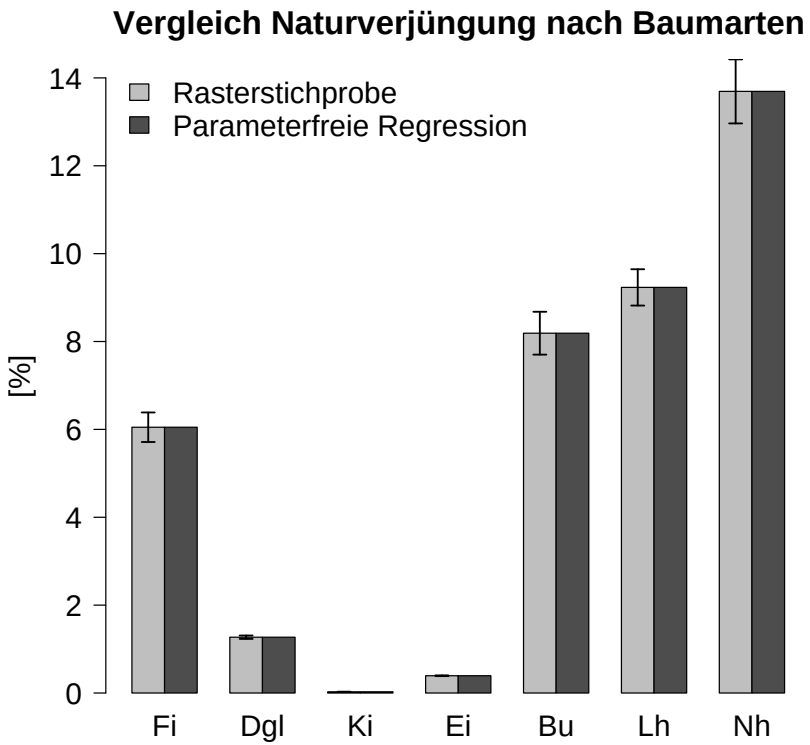


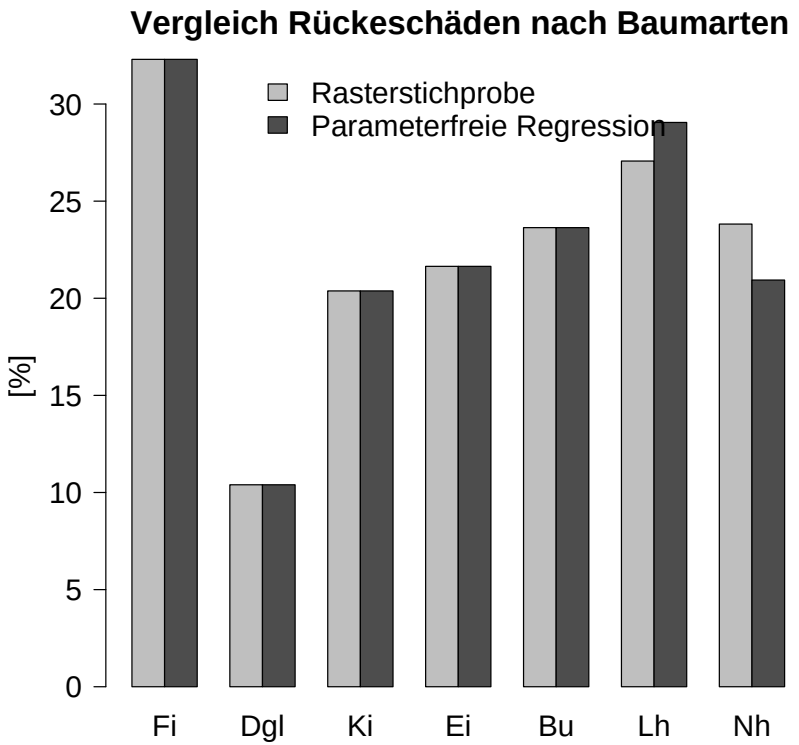
Kovariablen: Mean, Var



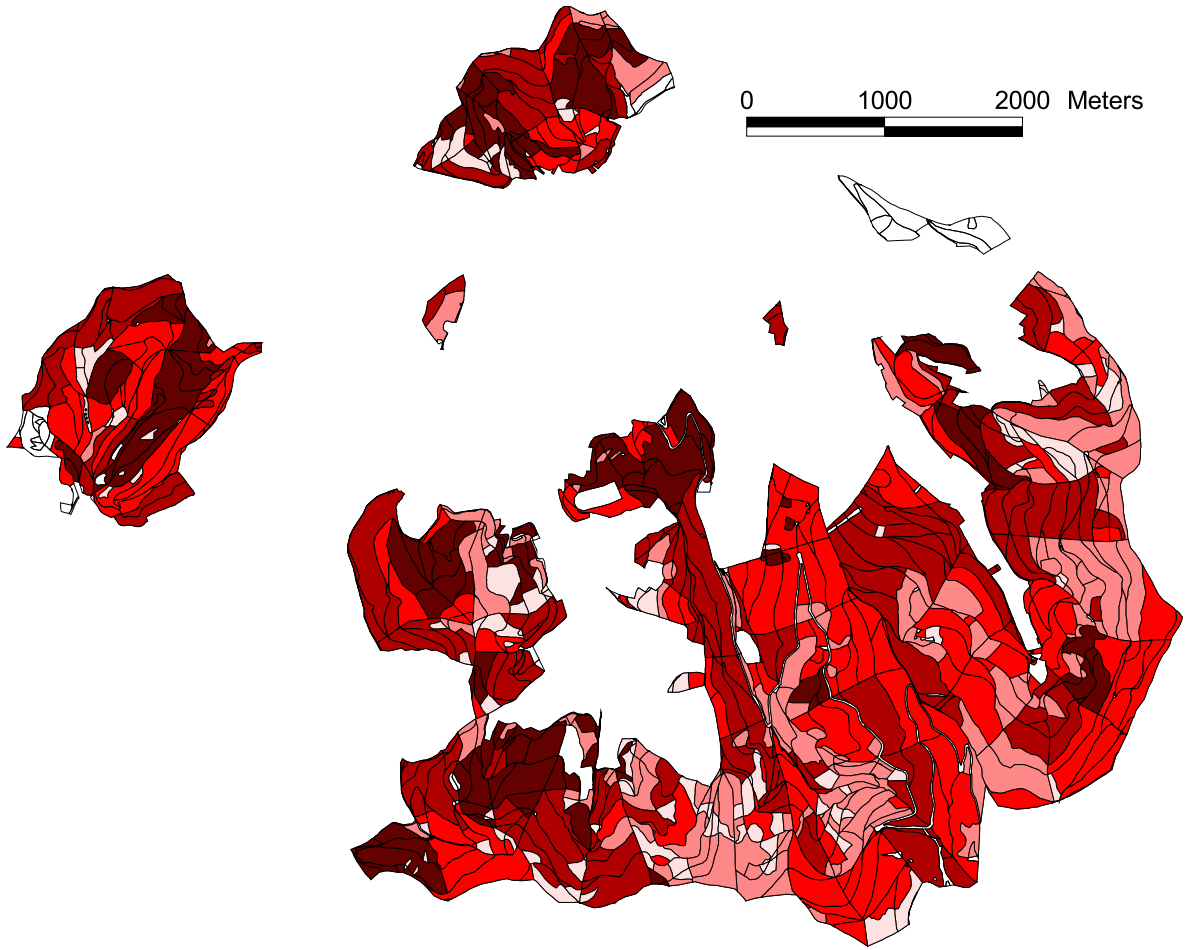


Kovariablen: Mean, Var



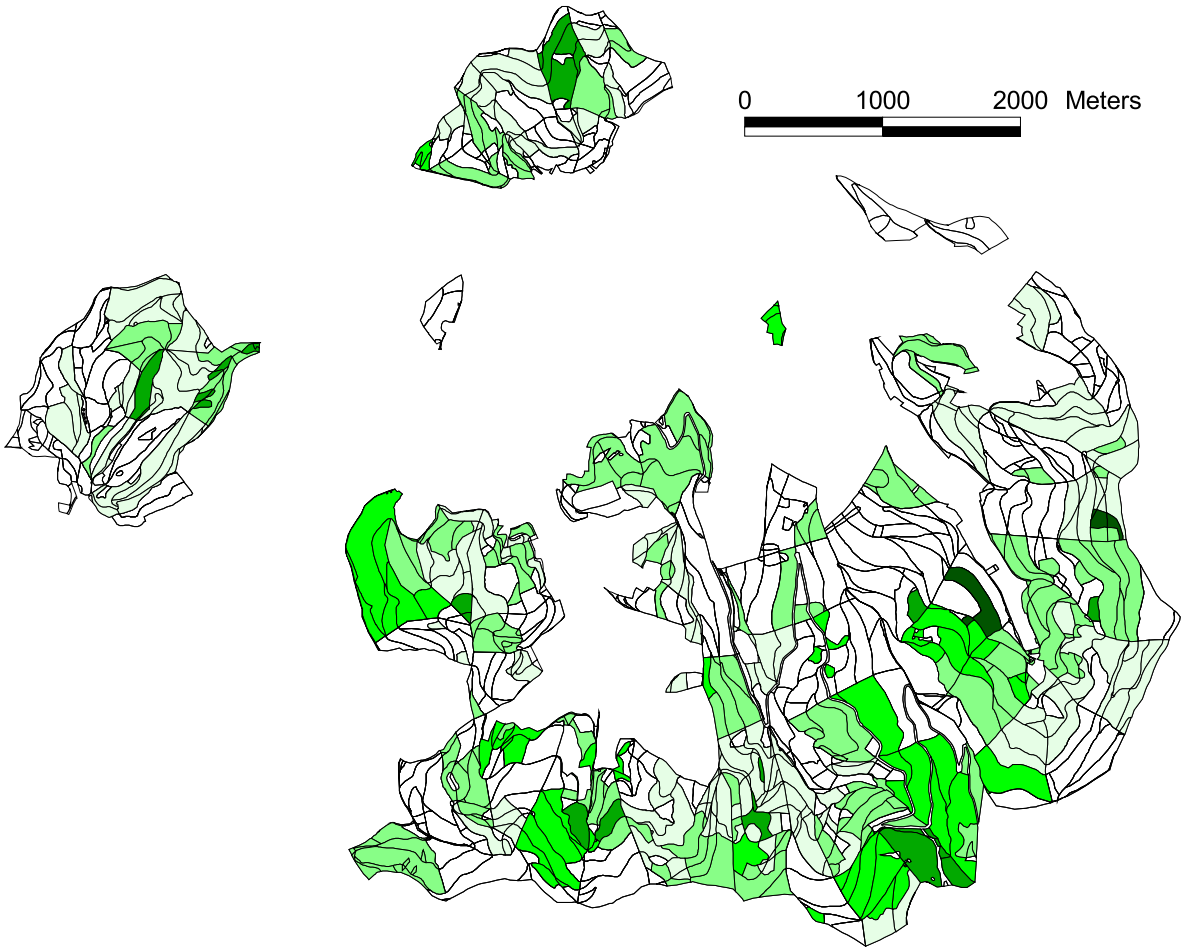


Vorrat je ha gesamt

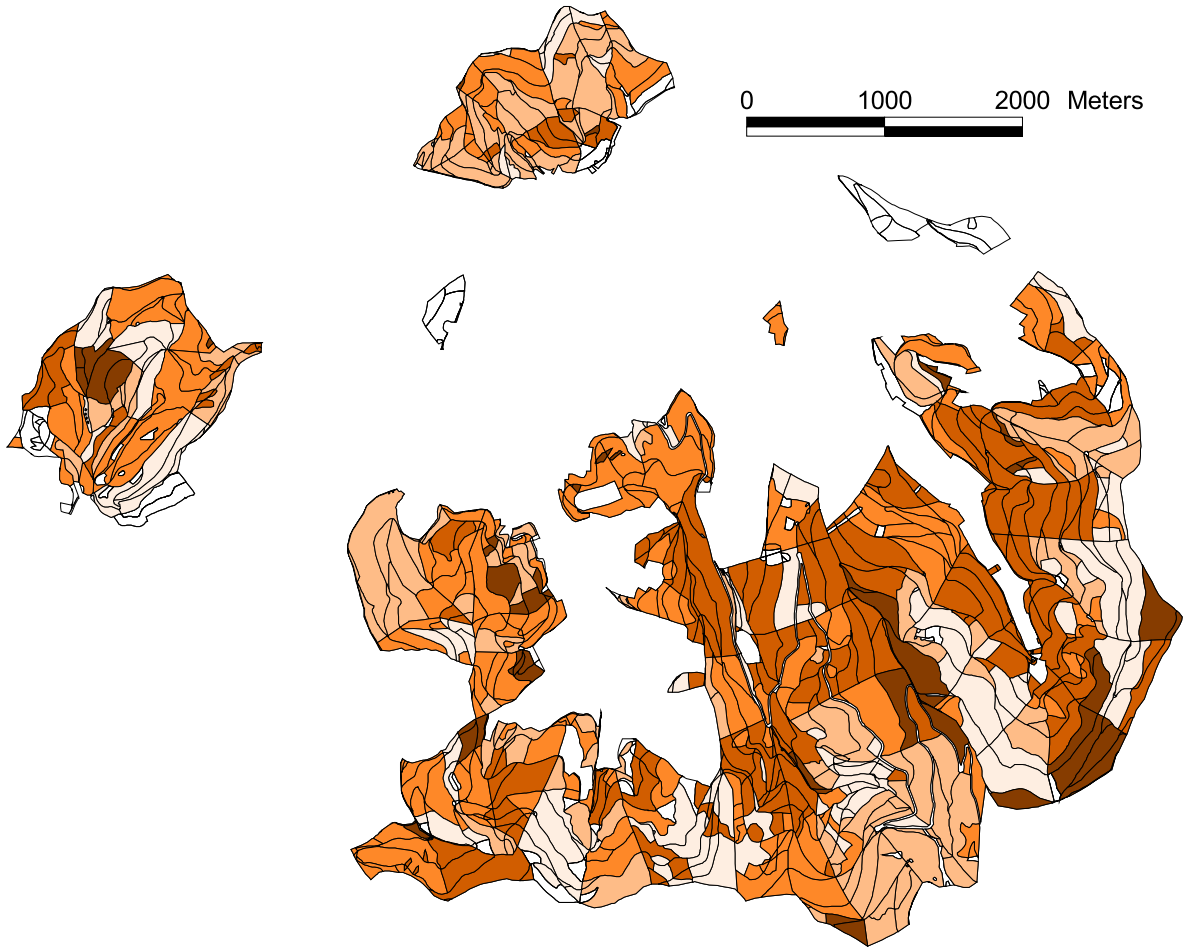


Starkholz-Vorrat je ha Fichte und Tanne

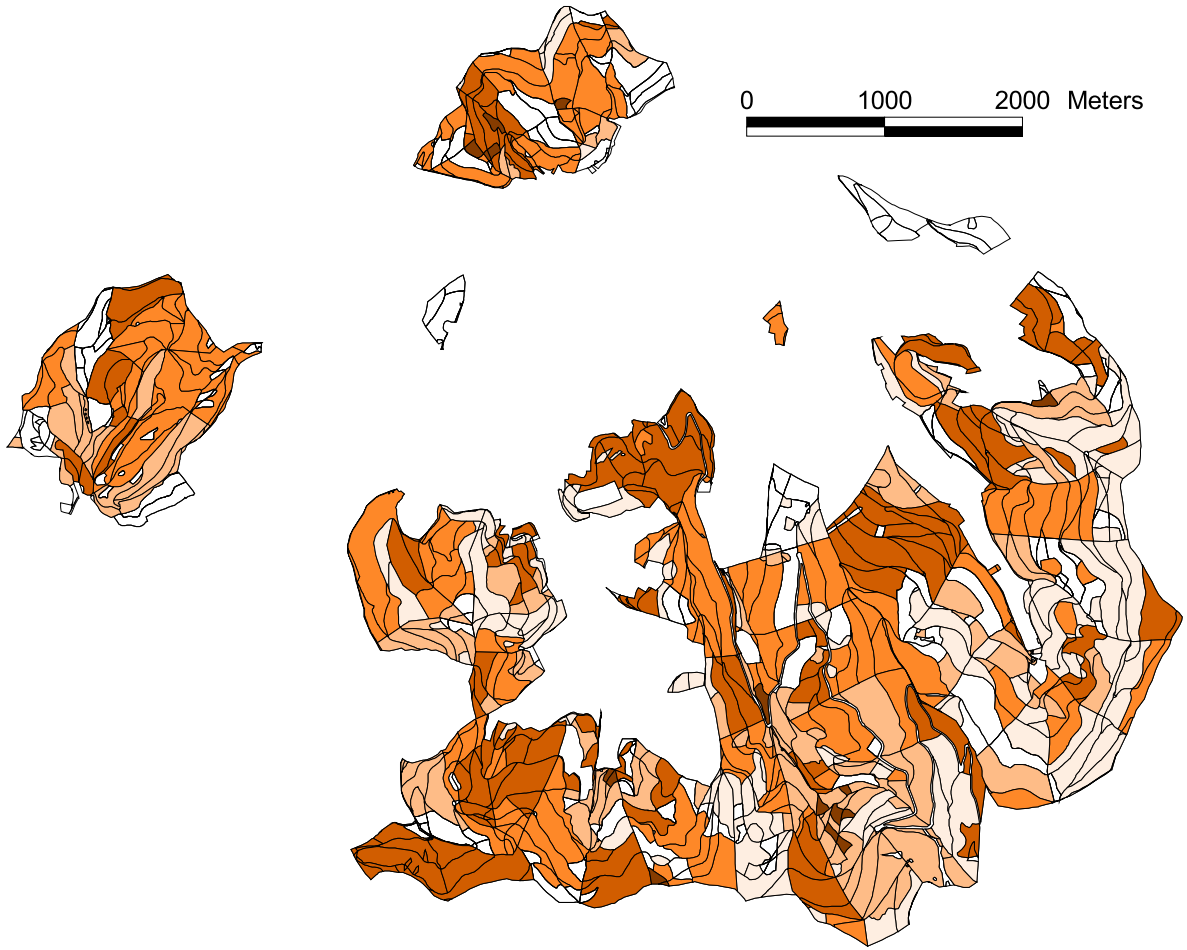
Starkholz-Vorrat je ha Buche



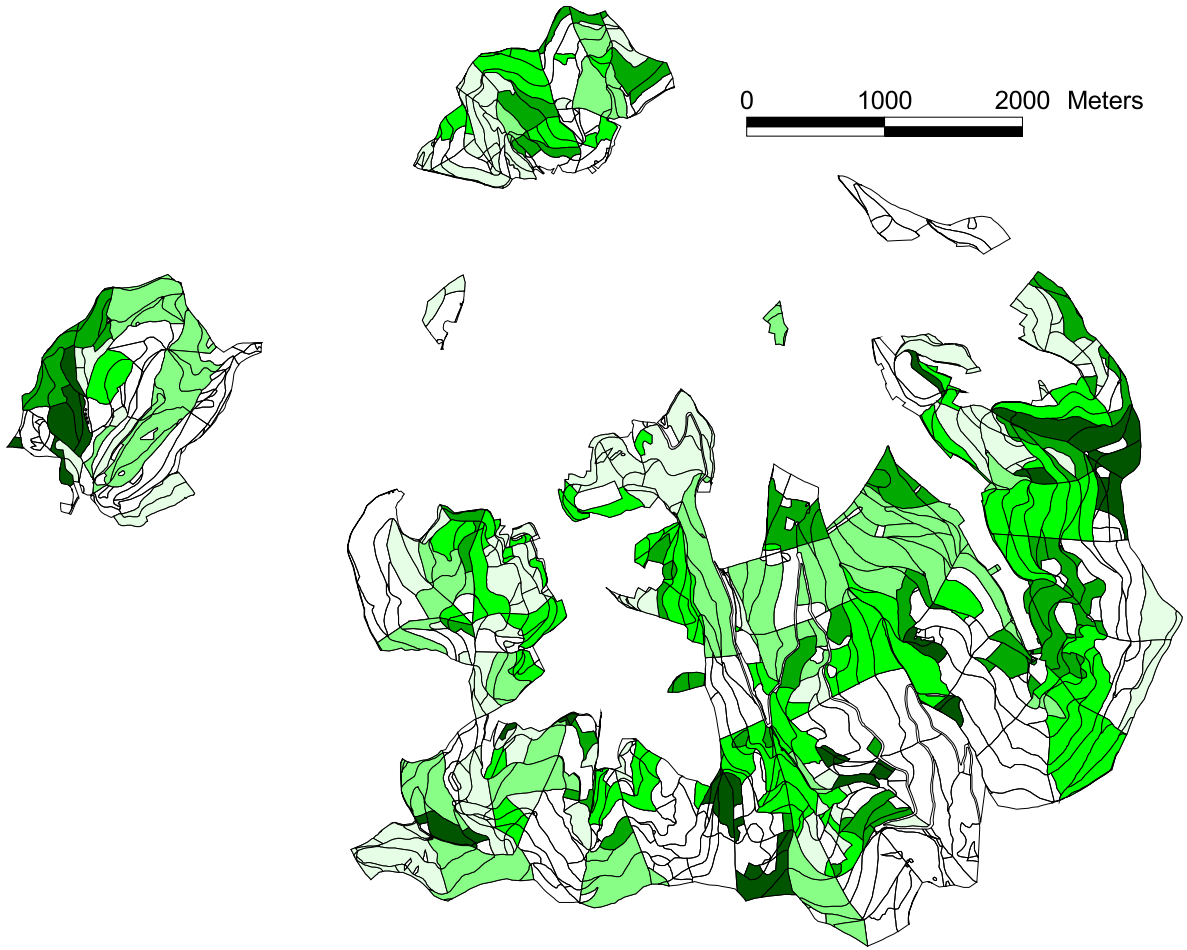
Sortimentsanteil Fi/Ta L2



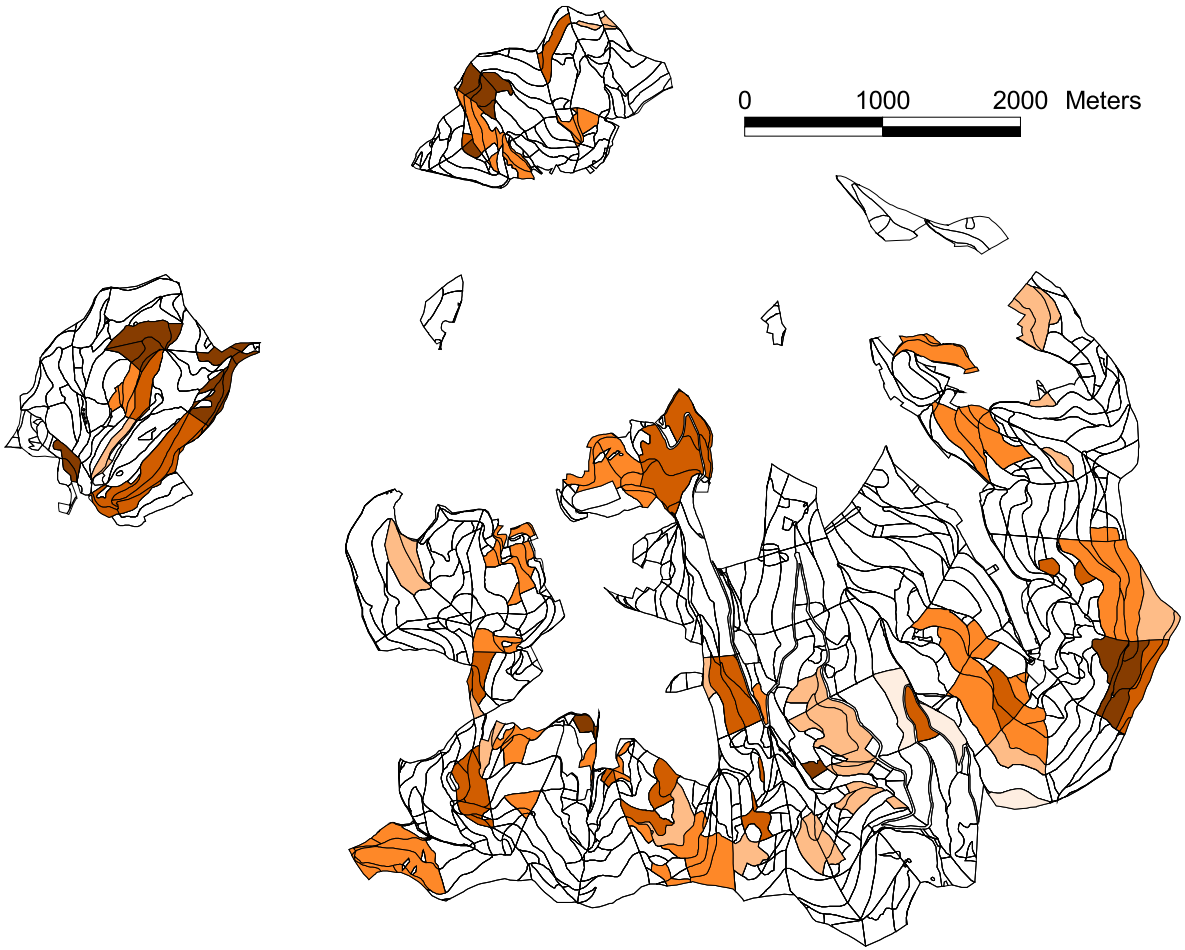
Sortimentsanteil Fi/Ta L3



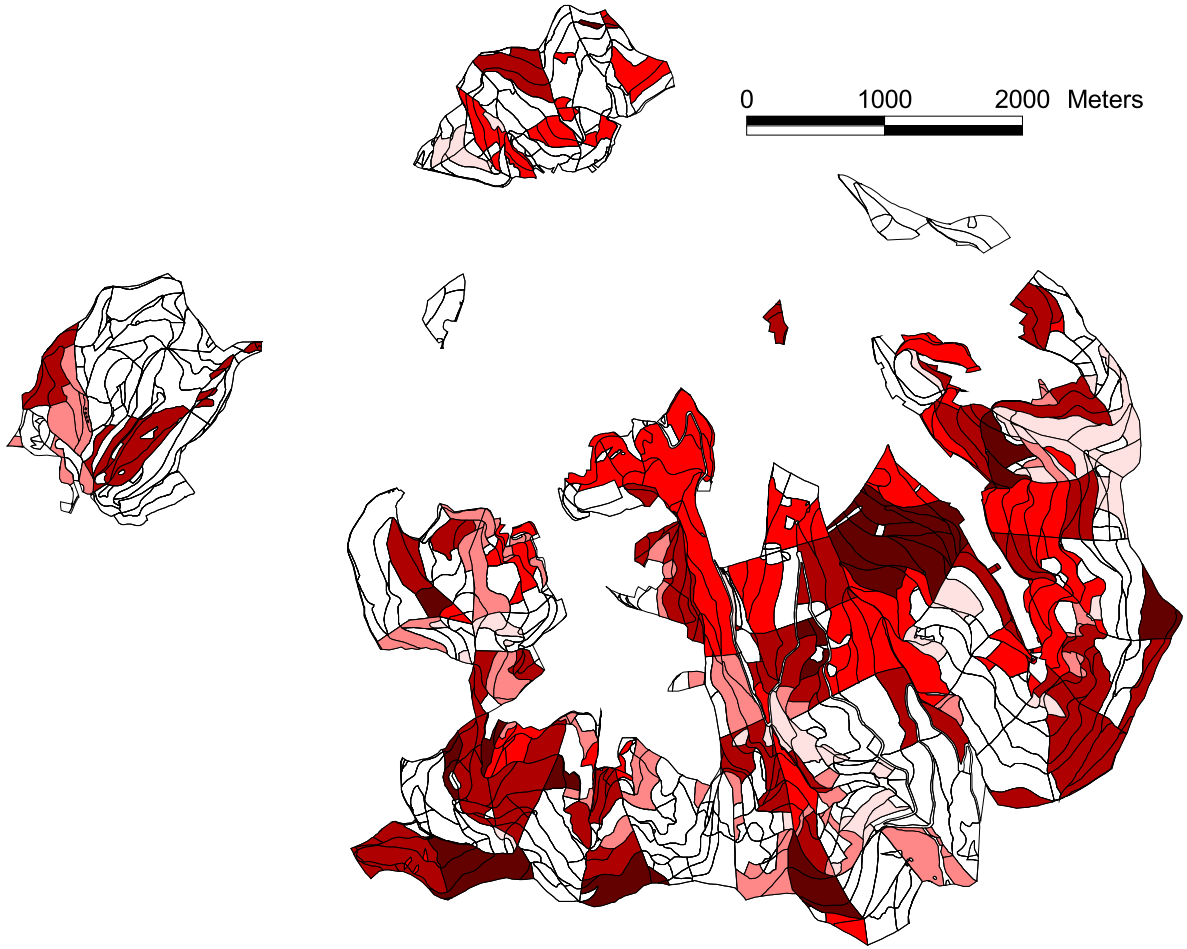
Stammzahlen je ha in Fichten-Vornutzungen



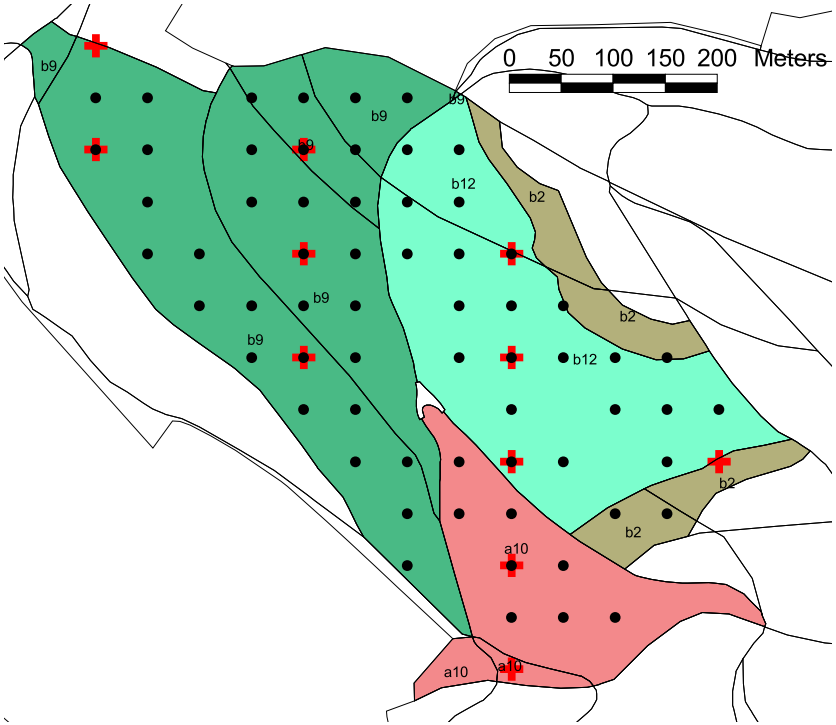
Naturverjüngung in Hauptnutzungen

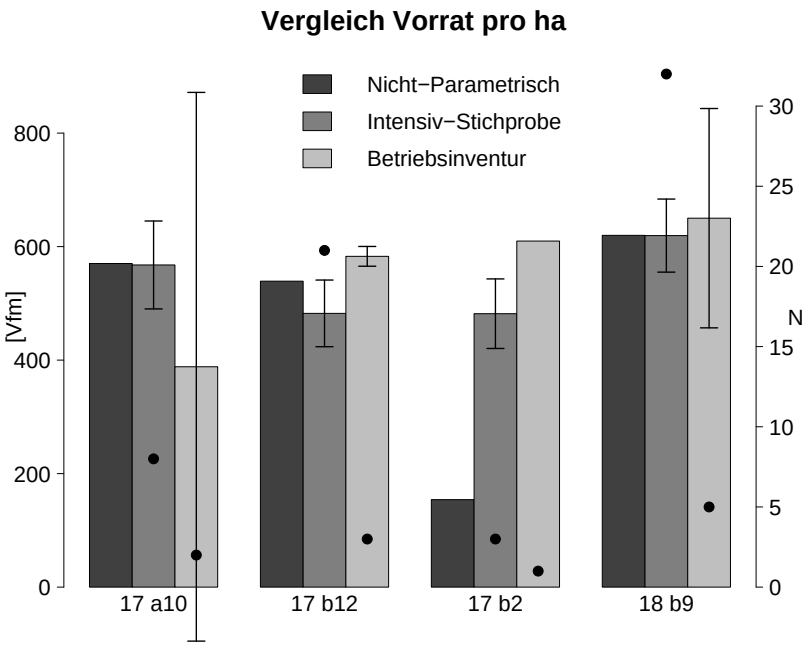


Rückeschäden an Fichte in Beständen mit Fi-Vorratsanteil>=25%

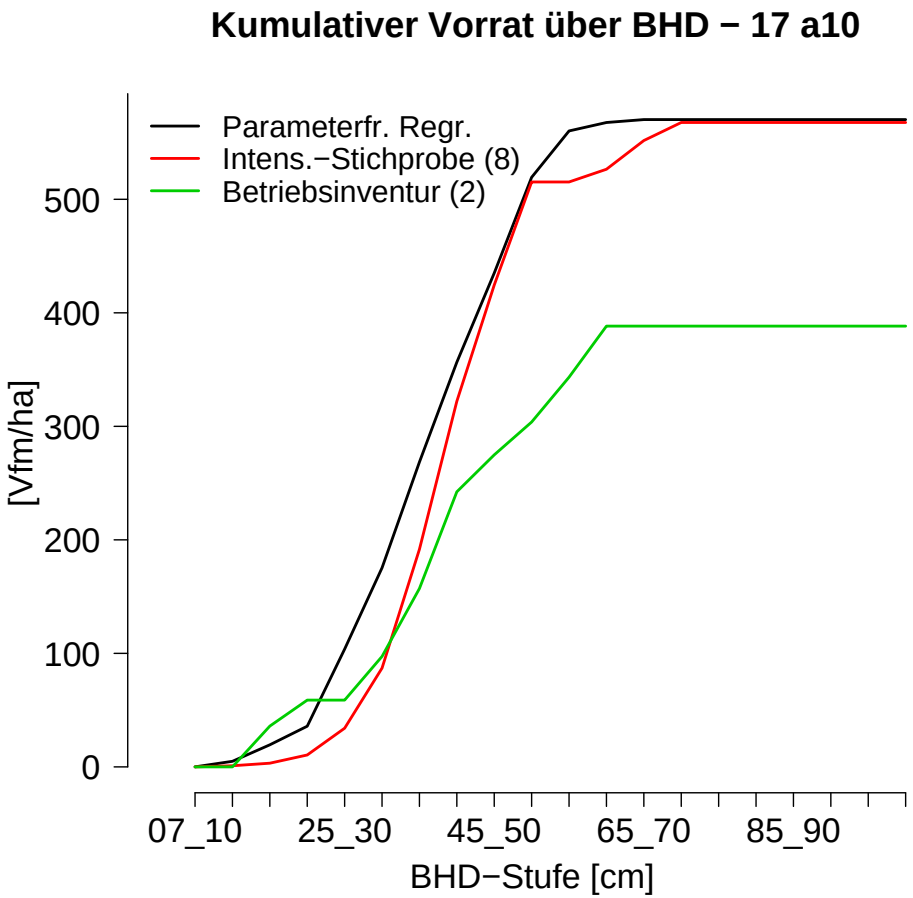


Vergleich der Vorratsschätzungen - Synchronisation!

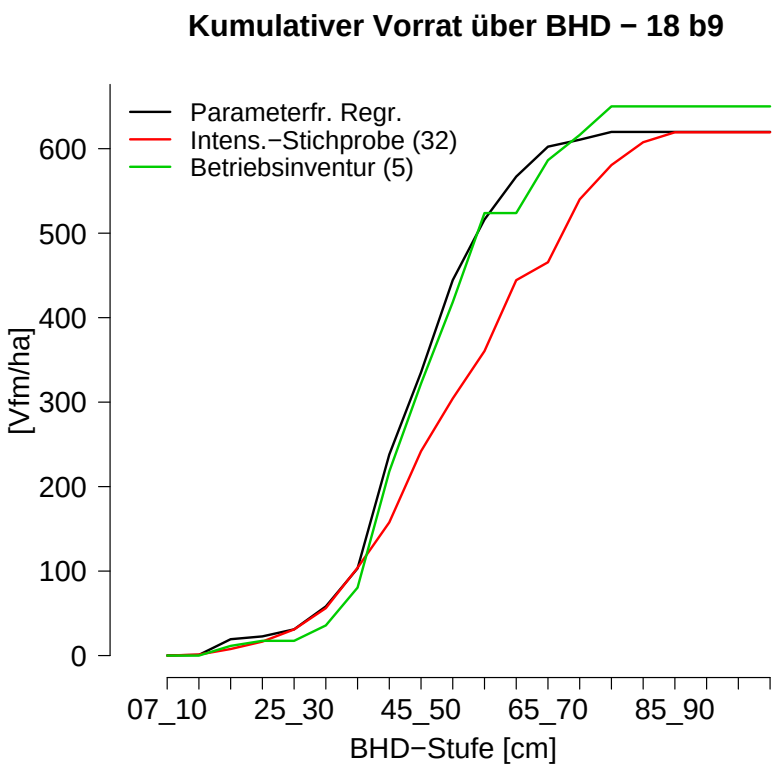


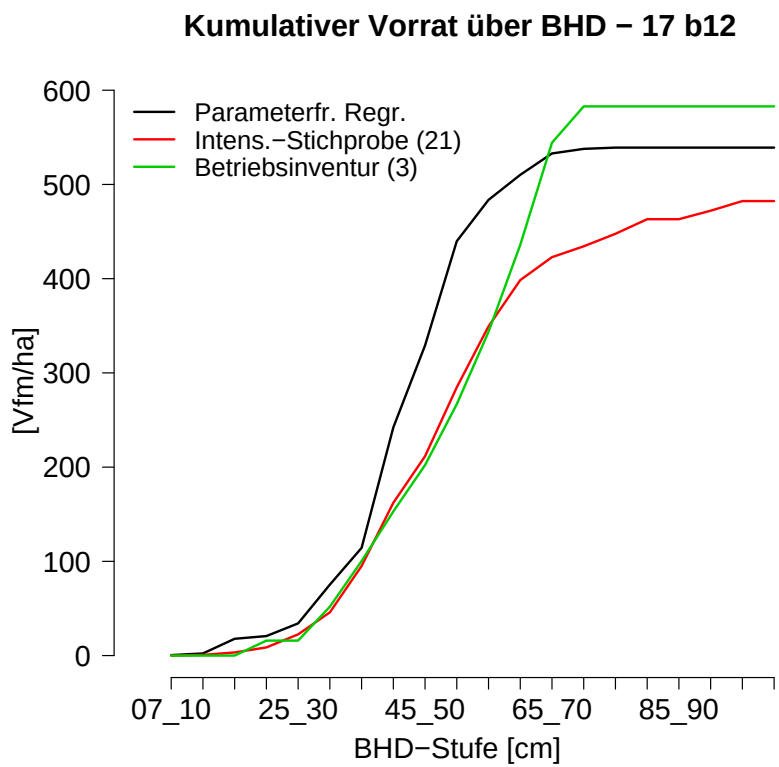


Vergleich der Vorratsschätzungen

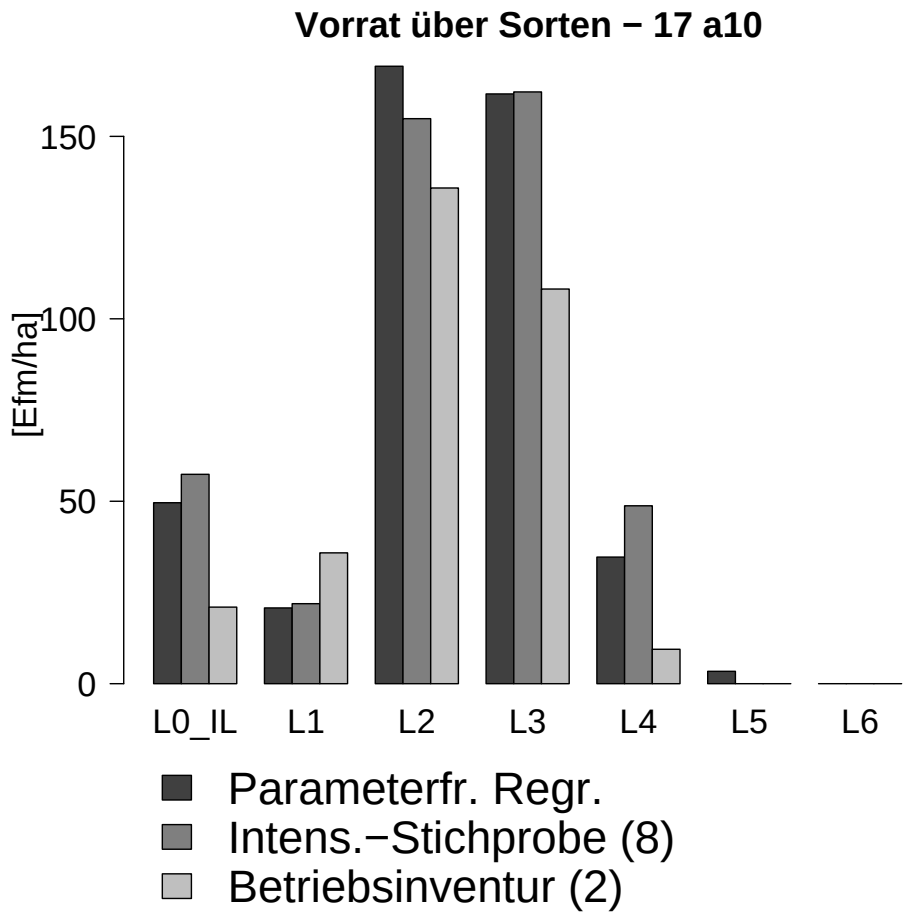


Vergleich der Vorratsschätzungen

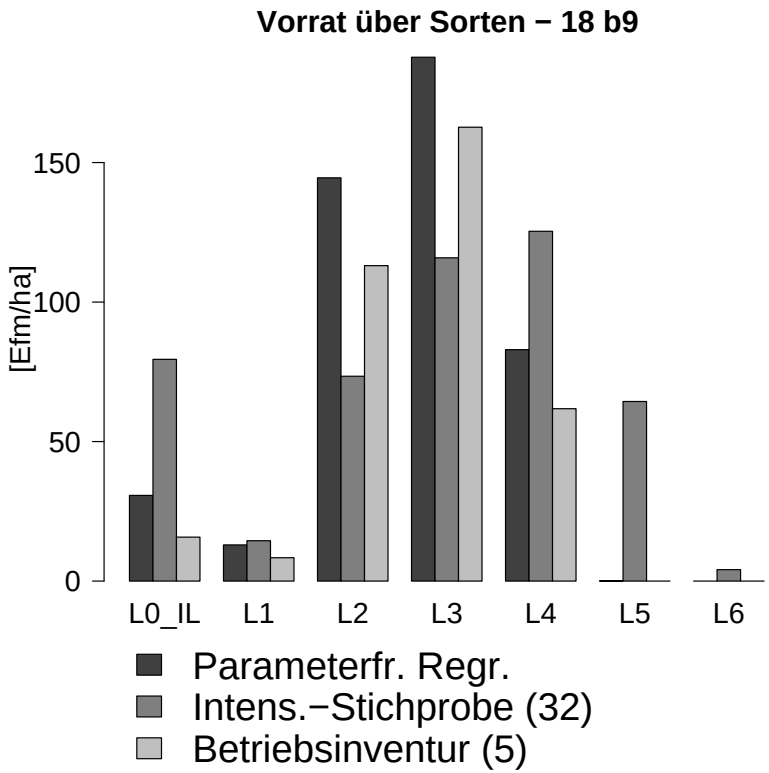


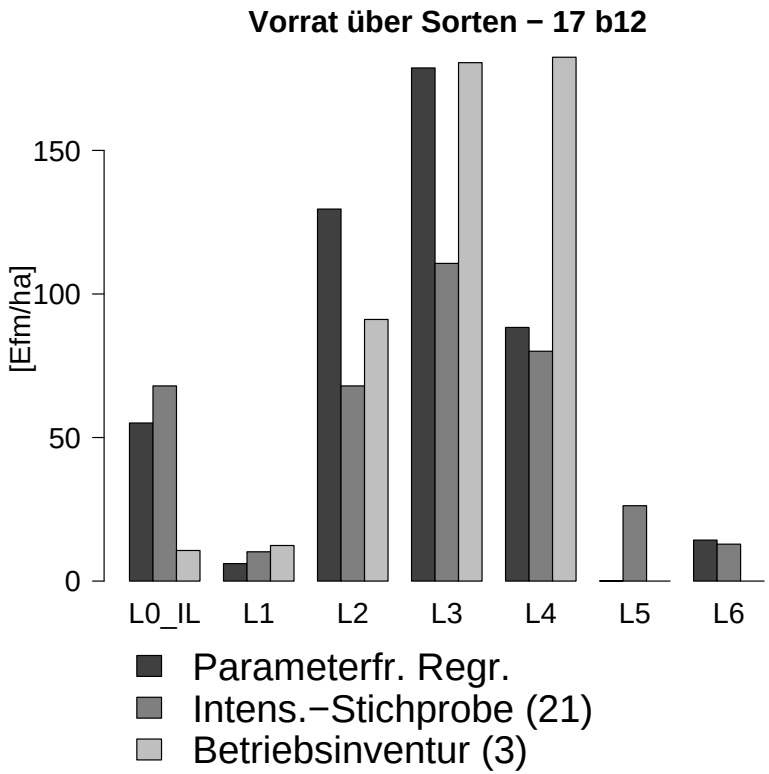


Vergleich der Vorratsschätzungen



Vergleich der Vorratsschätzungen





Würdigung der Ergebnisse

- Terrestrisch erfasste Hilfsvariablen haben wenig Einfluss auf die Genauigkeit der summarischen Schätzungen.
- Berücksichtigung von Korrelationen der Hilfsvariablen in der Distanzfunktion haben kaum Auswirkungen.
- Mit jeweils einem Nachbarn für einen Bestandes-Teil weniger trendbehaftete Schätzungen für die Holz-Vorräte nach Stärkeklassen.
- Fernerkundung (hier: Laser) stellt eine nützliche und unverzichtbare Informationsbasis dar.

Weiterer Forschungsbedarf

- Dringende Evaluierung der Schätzer für einzelne Bestände durch synchrone intensive Beprobung einiger Bestände.
- Erprobung von CIR-Luftbildern statt Laser. Visuelle Interpretation zusätzlicher Merkmale (Baumartenanteile).
- Erprobung von terrestrischen Messungen als Hilfsvariablen in Waldbeständen: Oberhöhen, gekluppte WZP.

Mögliche Strategische Auswirkungen

- Integration von Fernerkundungsverfahren.
- Reduktion, besser Optimierung, der Aufnahmeintensitäten der Waldinventuren.
  Konzentration auf regionale Leitinventuren.

ENDE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!