



Räumliche, GIS-gestützte Analyse von Linientranssektstichproben

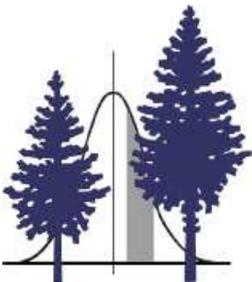
Felix Mader

Joachim Saborowski

Institut für Forstliche Biometrie und Informatik
Universität Göttingen

fmader@gwdg.de

28. 09. 2007





Inhalt

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

- Das Linientransektverfahren
- Das Count-Modell
- Software-Umsetzung
- Anwendungsbeispiel



Das Linientranssektverfahren – Methoden

Inhalt

Linientranssekte

Methoden

Effektive

Streifenbreite

Linientranssekte

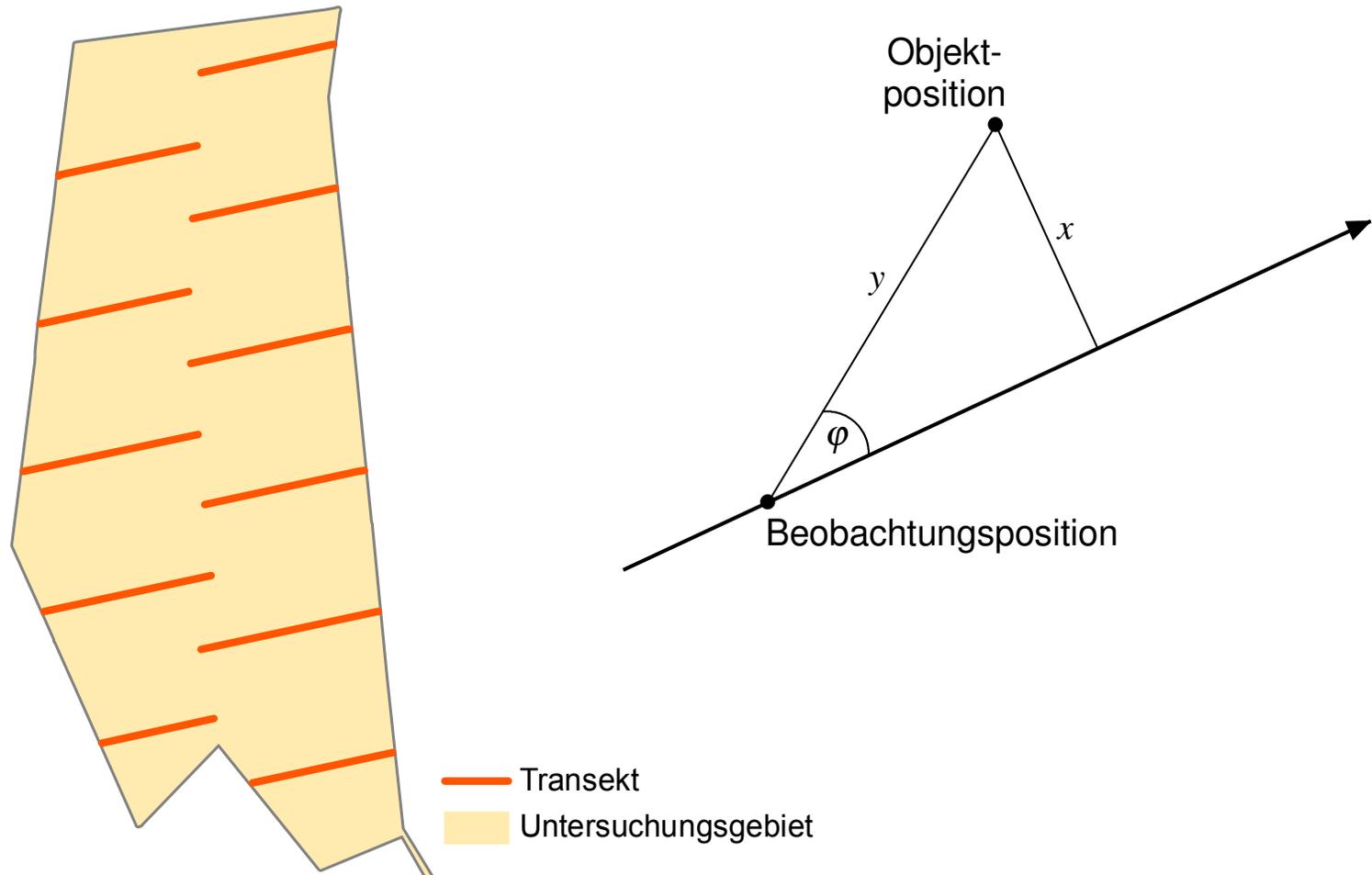
Dichteschätzung

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur



[BUCKLAND ET AL., 2001, 2004]



Das Linientransektverfahren – Methoden

Inhalt

Linientransekte

Methoden

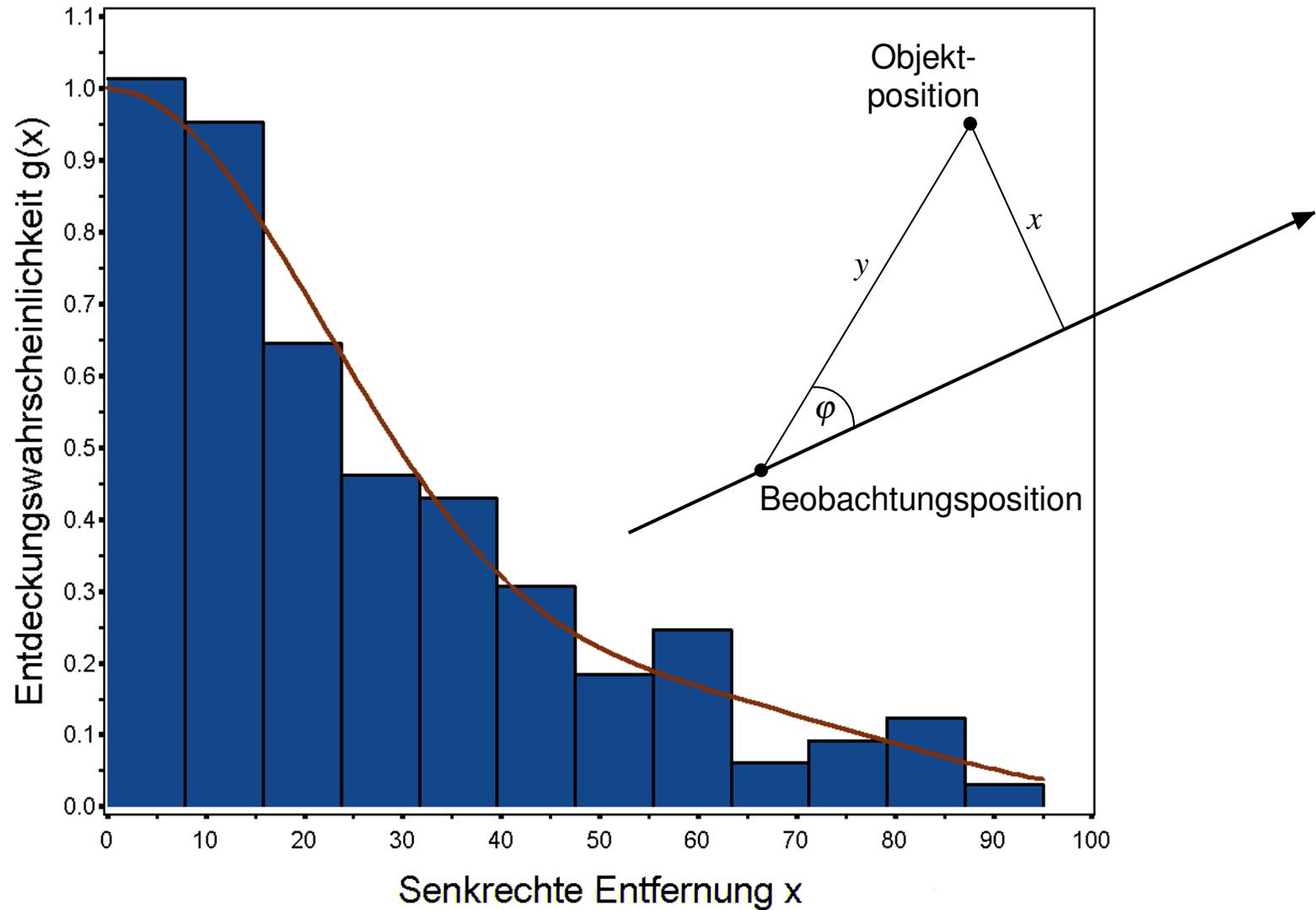
Effektive
Streifenbreite
Linientransekte
Dichteschätzung

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur





Das Linientransektverfahren – Effektive Streifenbreite

Inhalt

Linientransekte

Methoden

Effektive Streifenbreite

Linientransekte

Dichteschätzung

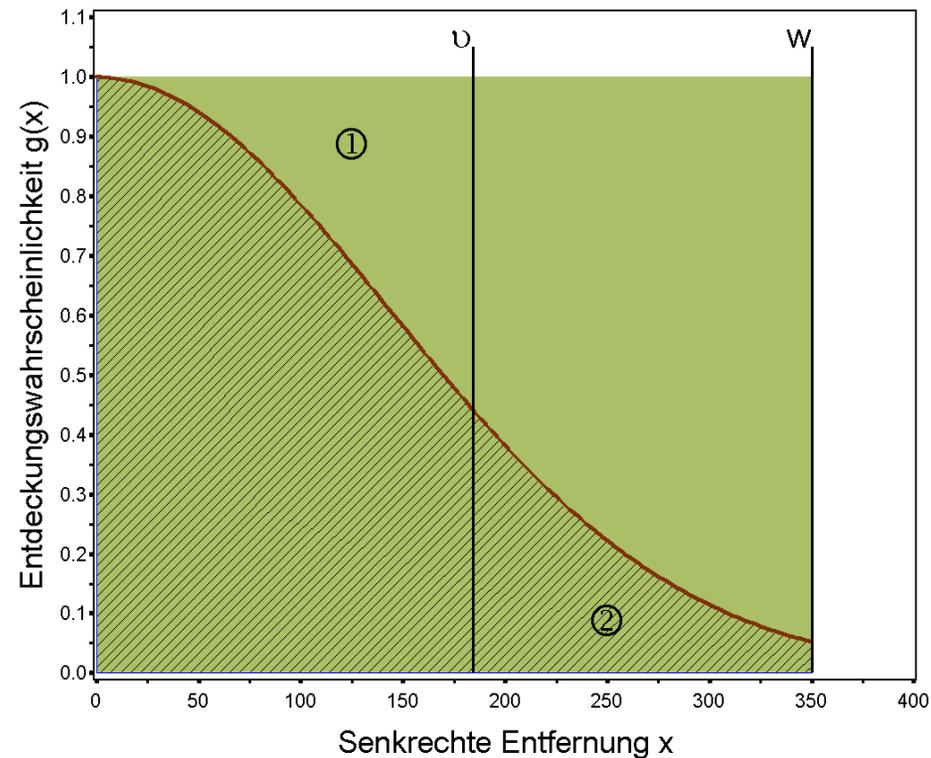
Count-Modell

Software- Umsetzung

Anwendung

Literatur

Gibt die Entfernung x vom Transekt an, bis zu der so viele Objekte übersehen, wie jenseits davon noch entdeckt wurden.



-> Interpretation von LT-Aufnahmen als Streifenzählungen mit $2 \cdot \hat{v}$ breiten Streifen.



Das Linientransektverfahren – Dichteschätzung

Inhalt

Linientransekte

Methoden

Effektive

Streifenbreite

Linientransekte

Dichteschätzung

Count-Modell

Software-

Umsetzung

Anwendung

Literatur

Im wesentlichen unter der Annahme, daß $\hat{g}(0) = 1$ ist ein Schätzer der Individuendichte gegeben durch

$$\hat{D} = \frac{n}{2 L \hat{v}} \cdot \hat{E}(s),$$

wobei

n : Anzahl entdeckter Objekte $\sum_{i=1}^k n_i$

L : Gesamtlänge der Transekte $\sum_{i=1}^k l_i$

k : Anzahl der Transekte

\hat{v} : Geschätzte (halbe) **effektive Streifenbreite**
(Ergebnis der angepaßten Entdeckungsfunktion)

$\hat{E}(s)$: Schätzer der mittleren Objektgröße

[BUCKLAND ET AL., 2001, 2004]



Neue Ziele...

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

Fragestellungen

- a) Wie können zusätzliche (geographische) Informationen in die Dichteschätzung einbezogen werden? -> Präzisionssteigerung der Dichte-/Abundanzschätzungen, Untersuchung ökologischer Zusammenhänge
- b) Wie lassen sich kleinräumige Vorhersagen der Abundanz/Dichte realisieren? -> z. B. "Wildlife-Management"

Probleme

- a) Klassischer LT-Dichteschätzer sieht keine zusätzlichen Kovariaten vor
- b) Dichteschätzungen gelten für das gesamte Untersuchungsgebiet/Stratum



Neue Ziele...

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

Fragestellungen

- a) Wie können zusätzliche (geographische) Informationen in die Dichteschätzung einbezogen werden? -> Präzisionssteigerung der Dichte-/Abundanzschätzungen, Untersuchung ökologischer Zusammenhänge
- b) Wie lassen sich kleinräumige Vorhersagen der Abundanz/Dichte realisieren? -> z. B. "Wildlife-Management"

Probleme

- a) Klassischer LT-Dichteschätzer sieht keine zusätzlichen Kovariaten vor
- b) Dichteschätzungen gelten für das gesamte Untersuchungsgebiet/Stratum



Das Count-Modell – Methoden

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

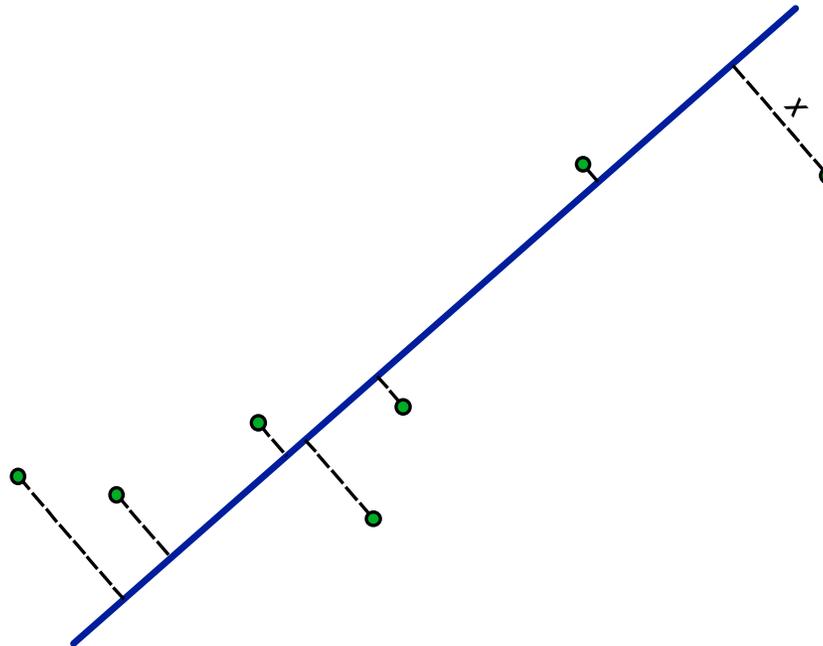
Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

1. Klassische Linientransektanalyse -> Schätzung der effektiven Streifenbreite \hat{v} und erste Dichteschätzung.





Das Count-Modell – Methoden

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

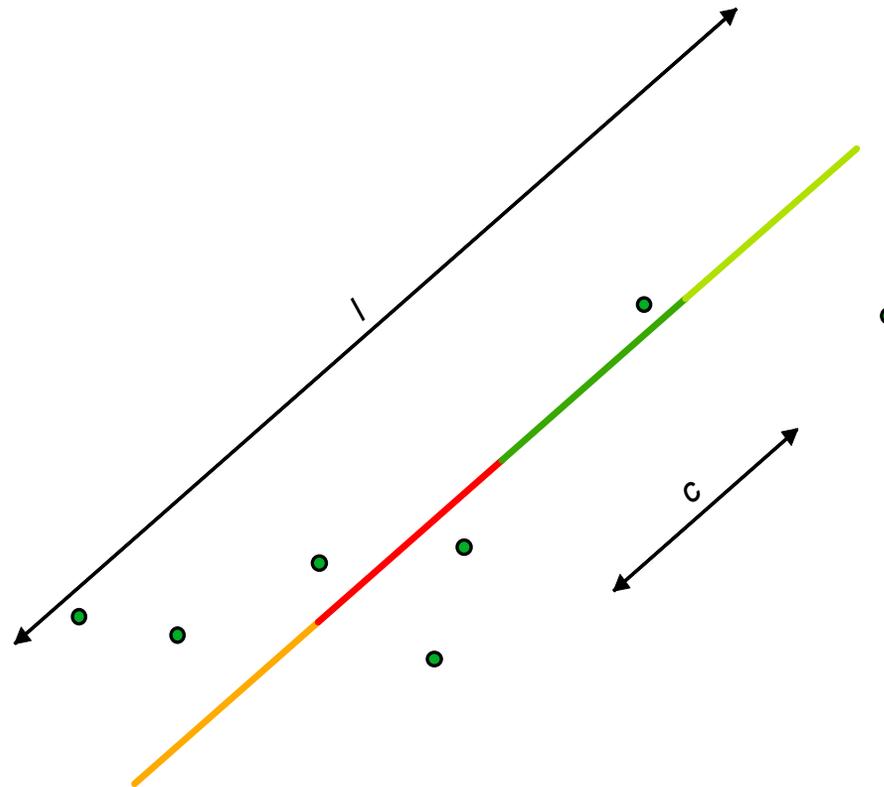
Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

2. "Zerschneiden" der Transekte in Abschnitte (etwa) gleicher Länge c_i .





Das Count-Modell – Methoden

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

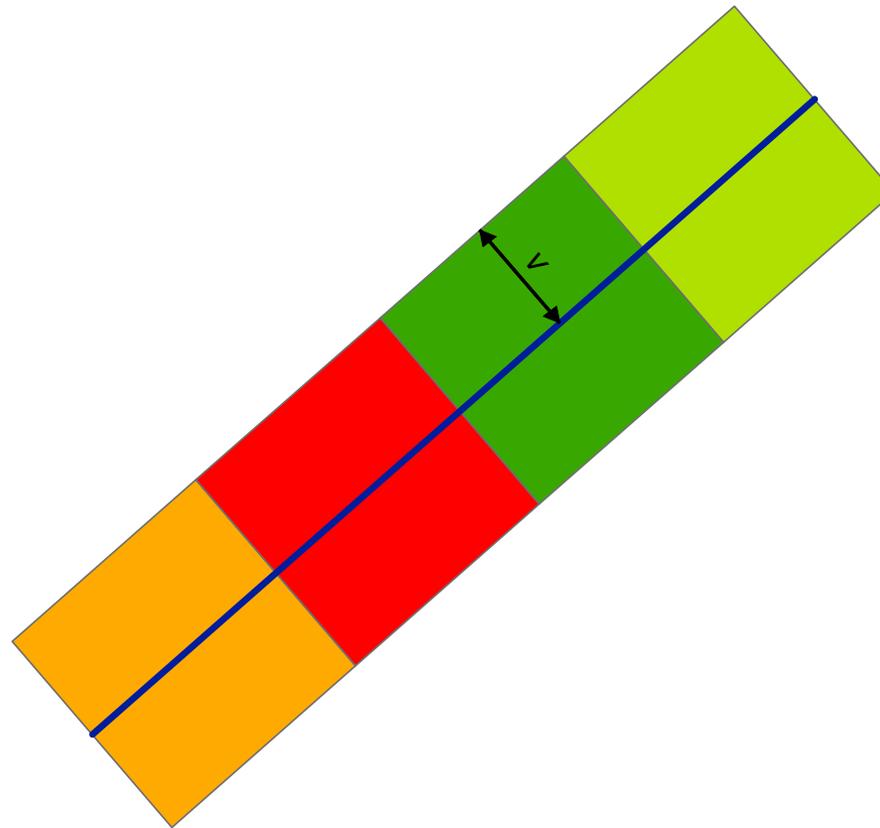
Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

- Erstellen von Streifen der Breite $2 \cdot \hat{v}$ (Effektive Streifenbreite) um die Transektabschnitte \rightarrow Segmente.





Das Count-Modell – Methoden

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

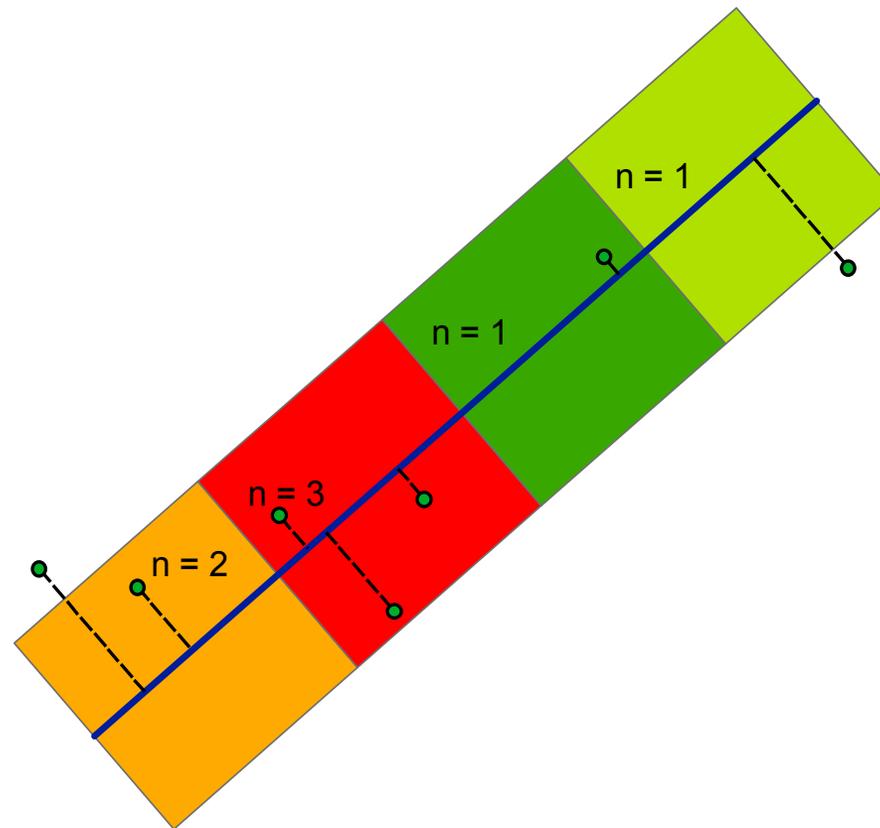
Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

4. Bestimmen der Beobachtungsanzahl je Segment n_i .





Das Count-Modell – Methoden

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

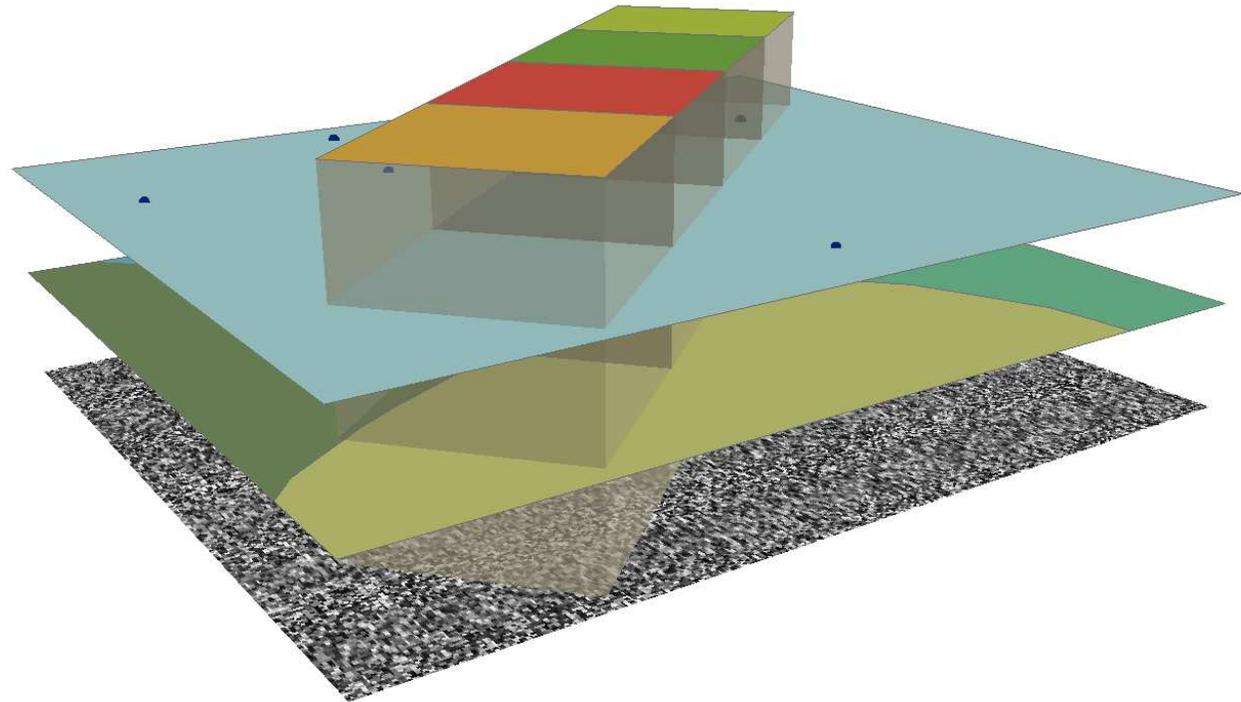
Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

5. Bestimmen der räumlichen Kovariaten für jedes Segment.



Count-Modell erfordert im Gegensatz zur klassischen LT-Aufnahme die **Verortung der Objektpositionen und Transekte** (z. B. per GPS).

[HEDLEY, 2000; HEDLEY U. BUCKLAND, 2004; MADER, 2007]



Log-lineares Modell (LLM)

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares
Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

6. Formulierung eines log-linearen Modells (LLM), das die Beobachtungsanzahl je Segment n_i in Abhängigkeit von den dort ermittelten Kovariaten \mathbf{x}_i modelliert

$$\mu_i = E(n_i) = \exp \left[\ln(2 c_i v) + \beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} x_{ij} \beta_j \right],$$

wobei

- μ_i : Erwartungswert der Objektanzahl
 $2 c_i v$: Segmentfläche (sog. Offset-Term)
 β_j : Zu schätzender Parameter ($j = 0, \dots, p - 1$)

Parameterschätzung erfolgt unter Annahme **räumlich unabhängiger** oder **autokorrelierter** Beobachtungen.

[HEDLEY, 2000; HEDLEY U. BUCKLAND, 2004]



Parameterschätzung

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche

Kovarianzmatrix

Vorhersagen

Software-

Umsetzung

Anwendung

Literatur

Der Maximum- oder Quasi-Likelihood-Schätzer für β ergibt sich durch iterative Lösung des Gleichungssystems

$$X'WX\beta = X'W\nu,$$

wobei für das log-lineare Modell

$$\nu = X\beta + \Delta(y - \mu)$$

$$W = \Delta^{-1} \Sigma_{yy}^{-1} \Delta^{-1}, \text{ mit } \Delta = \text{diag} [\partial\eta/\partial\mu] = \mu$$

GLM mit unabh. Beobachtungen:

$$\Sigma_{yy} = V = \text{diag} [v(\mu)] = \mu$$

"Räumliches" GLM:

$$\Sigma_{yy} = \sigma_n^2 V + \sigma_o^2 V^{1/2} R(\alpha) V^{1/2}$$

[LIANG U. ZEGER, 1986, ZEGER U. LIANG, 1986; ALBERT U. McSHANE, 1995; GOTWAY U. STROUP, 1997; GOTWAY U. WOLFINGER, 2003]



Räumliche Kovarianzmatrix

$$\Sigma_{yy} = \sigma_n^2 \mathbf{V} + \sigma_o^2 \mathbf{V}^{1/2} \mathbf{R}(\boldsymbol{\alpha}) \mathbf{V}^{1/2},$$

wobei für das log-lineare Modell

σ_n^2 : Nugget- oder Residualstreuung

σ_o^2 : Über/-Unterdispersionsparameter

$\mathbf{R}(\boldsymbol{\alpha})$: Räumliche Korrelationsmatrix mit Elementen $\rho(\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j)$, vollständig spezifiziert durch den Parametervektor $\boldsymbol{\alpha}$

$\mathbf{V}^{1/2}$: Varianzmatrix mit Elementen $\text{diag}[\sqrt{\boldsymbol{\mu}}]$

Schätzung von $\boldsymbol{\alpha}$ z. B. anhand des empirischen

Semivariogramms der Pearson-Residuen $r^P(\mathbf{s}_i) = \frac{y(\mathbf{s}_i) - \hat{\mu}(\mathbf{s}_i)}{\sqrt{v[\mu(\mathbf{s}_i)]}}$.

[ALBERT U. McSHANE, 1995; GOTWAY U. WOLFINGER, 2003]

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur



Vorhersagen

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Neue Ziele...

Methoden

Log-lineares

Modell

Parameter-
schätzung

Räumliche
Kovarianzmatrix

Vorhersagen

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

7. Überlagerung des Untersuchungsgebiets mit einem Gitter und Zellen der Größe f_0 .
8. Bestimmen der räumlichen Kovariaten x_{0i} für die Gitterzellen.
9. Berechnung der räumlichen Vorhersagen \hat{y}_0 nach einem der Modelle

LLM mit unabh. Beobachtungen:

$$\hat{y}_0 = \hat{\mu}_0 = \exp \left[\ln(f_0) + X_0 \hat{\beta} \right]$$

"Räumliches" LLM:

$$\hat{y}_0 = \hat{\mu}_0 + \Sigma_{0y} \Sigma_{yy}^{-1} (y - \hat{\mu})$$

[GOTWAY U. STROUP, 1997; GOTWAY U. WOLFINGER, 2003; SCHABENBERGER U. GOTWAY, 2004]



Software-Umsetzung

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

- **Distance:** Konventionelle Linientransektanalyse (Schätzung der effektiven Streifenbreite)
<http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/>
- **ArcGIS Desktop:** Geodatenbearbeitung, räumliche Verschneidungen/Berechnungen
- **SAS:** Zentrale Steuerung, statistische Modellierung (PROC GLIMMIX), Berechnung von Vorhersagen

-> SAS-Makros und ArcGIS-Geoprocessing-Skripte zur räumlichen (und nicht-räumlichen) Analyse von Linientransekten. In Kürze verfügbar unter <http://www.uni-forst.gwdg.de/~fmader/smalts>.

[MADER, 2007]



Anwendungsbeispiel – Daten

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

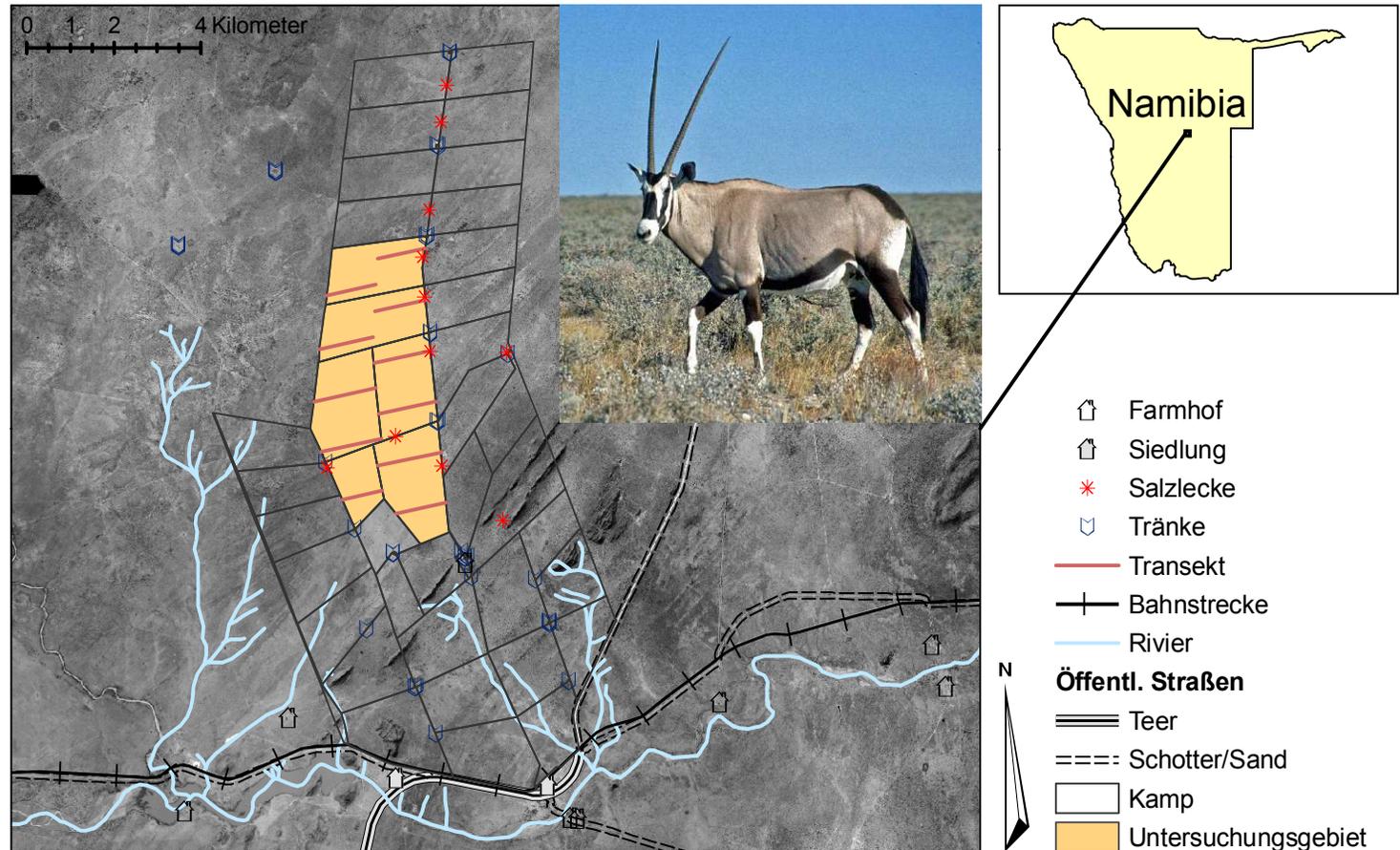
Software- Umsetzung

Anwendung

Daten

Ergebnisse

Literatur



$k = 11$ Transekte, $L = 14.0$ km Gesamtlänge, 12 Aufnahmen,
 $n = 109$ Beobachtungen



Anwendungsbeispiel – Ergebnisse

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Daten

Ergebnisse

Literatur

Schätzung der **Gesamtabundanz** (\hat{M}) und Berechnung **räumlicher Vorhersagen** der Oryxabundanz

Kovariate: Entfernung zum nächsten Vley

Kovarianzmodell: isotropisches, sphärisches Modell ohne nugget-Effekt

Modell	\hat{M}	$\hat{\beta}$	σ_o^2	$\widehat{\text{range}}$
Konv. LT	180 (47.6)			
Unabh. LLM	170 (1.2)	1.20 (0.22)	5.81	
Räuml. LLM	161 (18.1)	1.18 (0.22)	5.68	636.5 m



Anwendungsbeispiel – Ergebnisse Forts.

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

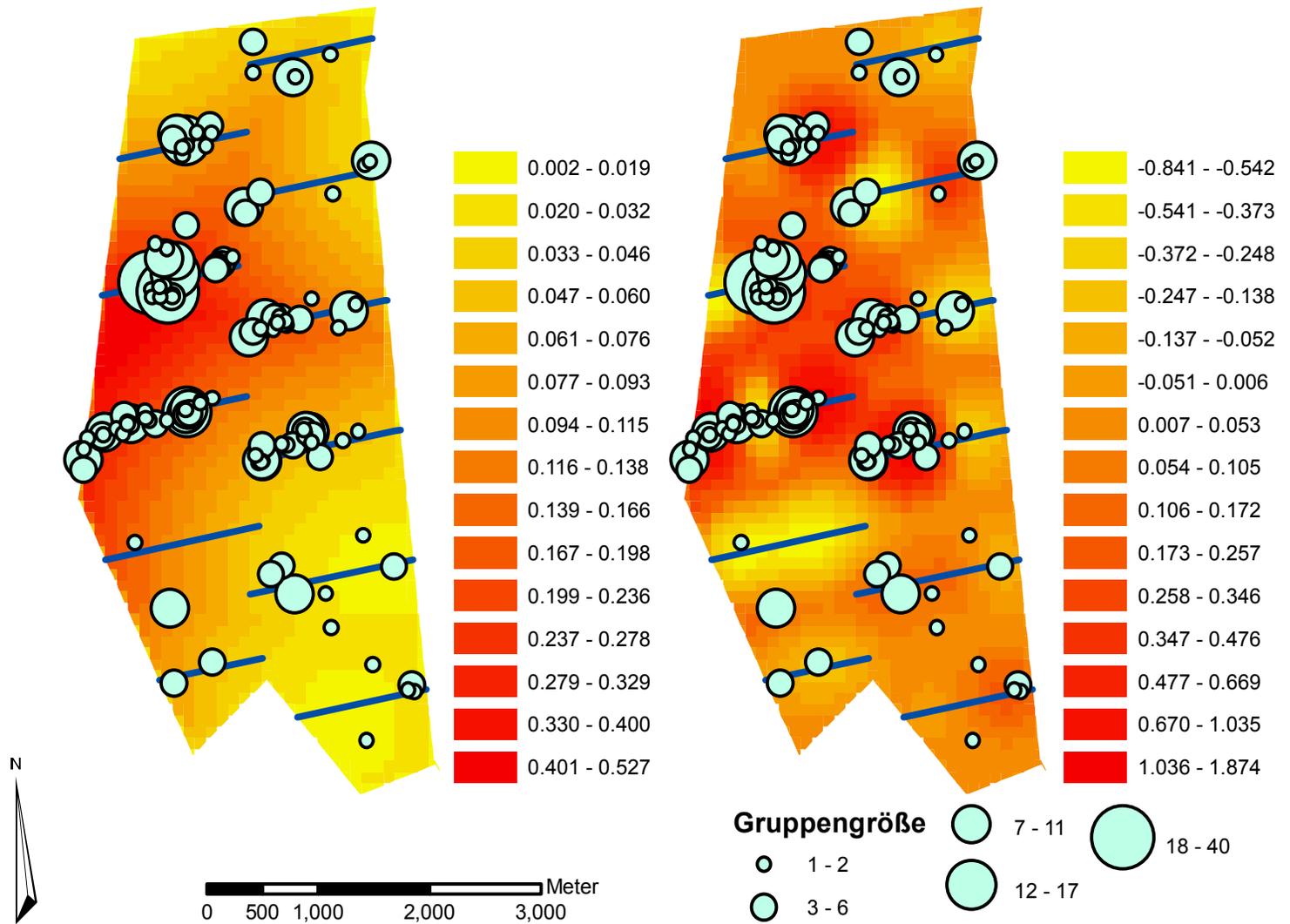
Software-
Umsetzung

Anwendung

Daten

Ergebnisse

Literatur





Ende...

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Daten

Ergebnisse

Literatur

Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!



Literatur

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

P.S. Albert and L.M. McShane. A generalized estimating equations approach for spatially correlated binary data: Applications to the analysis of neuroimaging data. *Biometrics*, 51(2):627–638, 1995

S.T. Buckland, D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers, and L. Thomas. *Introduction to Distance Sampling – Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, Oxford, 2001

S.T. Buckland, D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers, and L. Thomas. *Advanced Distance Sampling – Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, Oxford, 2004

C.A. Gotway and W.W. Stroup. A generalized linear model approach to spatial data analysis and prediction. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2(2):157–178, 1997

C.A. Gotway and R.D. Wolfinger. Spatial prediction of counts and rates. *Statistics in Medicine*, 22:1415–1532, 2003



Literatur Forts.

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

S.L. Hedley. *Modelling Heterogeneity in Cetacean Surveys*. Phd thesis, University of St Andrews, St Andrews, Scotland, August 2000.

http://www.creem.st-and.ac.uk/sharon/public_html/thesis.pdf

S.L. Hedley and S.T. Buckland. Spatial models for line transect sampling. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 9(2):181–199, 2004

K.Y. Liang and S.L. Zeger. Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, 73:13–22, 1986

F. Mader. *Räumliche, GIS-gestützte Analyse von Linientransektstichproben*. Dissertation, Mathematische Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, 2007

P. McCullagh and J.A. Nelder. *Generalized linear models*, volume 37 of *Monographs on statistics and applied probability*. Chapman & Hall, London, 2nd ed. edition, 1989



Literatur Forts.

Inhalt

Linientransekte

Count-Modell

Software-
Umsetzung

Anwendung

Literatur

O. Schabenberger and C.A. Gotway. *Statistical Methods for Spatial Data Analysis*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 2004

S.L. Zeger and K.Y. Liang. Longitudinal data analysis for discrete and continuous outcomes. *Biometrics*, 42:121–130, 1986