

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 38 (1997)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Skaleneffekte : Ursache und Wirkung am Beispiel von Bodendaten und Pflanzenwachstum auf einer Magerwiese bei Nenzlingen / Kanton Basel-Landschaft

**Autor:** Spycher, Boris / Birrer, Andreas

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088264>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Skaleneffekte – Ursache und Wirkung am Beispiel von Bodendaten und Pflanzenwachstum auf einer Magerwiese bei Nenzlingen / Kanton Basel-Landschaft

Boris Spycher und Andreas Birrer

## Zusammenfassung

Im Rahmen eines interdisziplinären Projektes zum Thema Biodiversität (Schwerpunkt Programm Umwelt Modul 3 Biodiversität) wurden auf einer Magerwiese bei Nenzlingen (Kanton Basel-Landschaft) Zusammenhänge zwischen Bodenmerkmalen und Pflanzenwachstum auf verschiedenen räumlichen Skalen untersucht. Die Beziehungen zwischen Bodenmerkmalen und Pflanzenwachstum änderten sich deutlich mit der Skala und erforderten für jede Skala eine differenzierte Betrachtung. Die Vernachlässigung von Skaleneffekten bei der Analyse von räumlich gemessenen Daten kann zu erheblichen Fehlinterpretationen führen.

## 1 Einleitung

Boden- und Pflanzenmerkmale können auf verschiedenen räumlichen Skalen variieren (Stark 1994, Stratton 1995, Tillman 1982, Trangmar *et al.* 1987). Dies kann dazu führen, dass sich die Bedeutung eines Bodenparameters für das Pflanzenwachstum mit der Skala ändert. Solche Skaleneffekte haben mehrere Konsequenzen:

- Durch Überlagerung von verschiedenen Skalen können Korrelationen auf räumlich gemessenen Daten zu Fehlinterpretationen führen.
- Pflanzenwachstum muss auf verschiedenen Skalen unterschiedlich erklärt werden. Erkenntnisse können nicht auf mehrere Skalen übertragen werden, sondern sind nur in einem beschränkten Skalenbereich gültig.

Adresse der Autoren: Boris Spycher, Departement für Geographie, Universität Basel, Spalenring 145, CH-4055 Basel; Andreas Birrer, Institut für Umweltwissenschaften Universität Zürich, Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich

In vielen Untersuchungen wird nur die Variation von Boden- oder Pflanzenmerkmalen auf mehreren Skalen untersucht. Durch Interpretation der räumlichen Struktur, z.B. in verschiedenen Sukzessionsstadien, kann eine vage Vorstellung über die zugrundeliegenden Prozesse gewonnen werden (Gross *et al.* 1995, Robertson *et al.* 1988). Selten werden explizit Beziehungen auf verschiedenen Skalen untersucht, in diesem Bereich setzt die vorliegende Untersuchung an.

Am Beispiel von Bodenmerkmalen und Pflanzenwachstum sollen folgende Fragen zu Skaleneffekten untersucht werden:

- Auf welcher Skala variieren Bodenmerkmale und Pflanzenwachstum?
- Wie lässt sich die Variation des Pflanzenwachstums auf verschiedenen Skalen durch Bodenmerkmale erklären? Ändern sich die Beziehungen über die Skala?
- Wie lassen sich solche Veränderungen erklären?
- Was bewirken Skalenüberlagerungen?

## 2 Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten auf der Nenzlinger Weide, einem Halbtrockenrasen 10 Kilometer südlich von Basel. Der Standort lässt sich wie folgt charakterisieren: Höhenlage 500 m NN, Exposition SSW, Neigung 19-22°, Substrat Hangschutt, Bodentyp Rendzina.

Die Messungen erfolgten in einer hierarchischen Versuchsanordnung (Tab. 1) und wurden mit einer hierarchischen Varianz- und Kovarianzanalyse ausgewertet. Die hierarchischen Niveaus entsprechen Skalenbereichen, für die jeweils Korrelationen zwischen den Mittelwerten der Beprobungsflächen sowie Varianz- und Kovarianzkomponenten berechnet wurden (Webster & Oliver 1990, Snedecor & Cochran 1989).

Korrelationen zwischen den Mittelwerten der Beprobungsflächen beinhalten (als Schätzfehler) einen Teil der Heterogenität, die innerhalb der Beprobungsflächen zu finden ist, und sind Schätzwerte der realen Verhältnisse eines Skalenbereiches.

Aus den Varianz- und Kovarianzkomponenten wurden Korrelationskoeffizienten nach folgender Formel berechnet:

$$r = \frac{Cov(XY)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}}$$

Der Gebrauch von Komponenten korrigiert die (Ko)variation zwischen den Mittelwerten verschiedener Beprobungsflächen einer Skala für die Heterogenität, die innerhalb dieser Flächen zu finden ist. Die daraus berechneten Korrelationen beschreiben den Skalenbeitrag zusätzlich zur subskaligen Heterogenität und sind vor allem für den Vergleich von verschiedenen Skalen nützlich, da Skalenunterschiede deutlich sichtbar werden.

Tab. 1 Hierarchische Versuchsanordnung (nested design). Die verschiedenen Messflächen waren ineinander geschachtelt, dadurch wurden mehrere Skalenbereiche beprobt.

Bezeichnung des Skalenbereiches	Min. – Max. Distanz zwischen Messflächen / Mittlere Distanz [m]	Anzahl Messflächen	Fläche [m x m]
Superblock (SB)	60 / 60	2	SB1 = 35 x 25 SB2 = 25 x 17
Block (B)	13 - 24 / 15	5	10 x 10
Plot (P)	2 - 14 / 8	56	0.5 x 0.5
Spross (S)	0.2 - 0.6 / 0.4	118	0.2 x 0.2

Korreliert man die Daten, ohne eine hierarchische Analyse durchzuführen, so wiederspiegeln die Ergebnisse Skalenüberlagerungen. Diese Berechnungen wurden zur Veranschaulichung durchgeführt (Gesamtkorrelation Tab. 2).

Auf den Messflächen von 20 x 20 cm wurden drei Einstiche von 1.3 cm Durchmesser aus 0-8 cm Tiefe entnommen und als Mischproben weiterverarbeitet. Die oberirdische Phytomasse wurde oberhalb von 5 cm geerntet und das Trocken- gewicht bestimmt. Eine erste Beprobung erfolgte am 30. März, eine zweite zwischen 1. und 3. Juni 1994. Die gewählten Analyseverfahren setzen normalverteilte Residuen und homogene Varianzen zwischen den Gruppen voraus. Die Daten erfüllten diese Voraussetzung mit Ausnahme der Bodentiefe nicht. Deshalb mussten die Daten vor der Analyse folgendermassen transformiert werden: oberirdische Phytomasse und Nitrat :  $\ln(x)$ ; Hangneigung  $\ln(x-5)$ .

### 3 Ergebnisse

#### *Räumliche Heterogenität, Variation*

Am Beispiel von Bodentiefe, Hangneigung, Nitrat im Frühling und im Sommer sowie oberirdischer Phytomasse wird deutlich, dass die Variablen auf unterschiedlichen Skalen variierten (Abb. 1).

Die oberirdische Phytomasse variierte auf allen untersuchten Skalen. Bei der Bodentiefe war weniger als 10% der gesamten Variation auf der kleinsten Skala von 0.2 bis 0.6 Metern zu finden. Mit zunehmender Distanz nahm die Variation der Bodentiefe zu. Etwa 70% der Variation erklärte die grösste Skala (ca. 60 m). Das gefundene Muster der Bodentiefe beschreibt den Hanggradienten, der durch einen flachgründigen Oberhang und einen tiefgründigen Unterhang gekennzeichnet ist. Im Gegensatz zur grossräumig variiierenden Bodentiefe, variierte die Hangneigung vor allem in einem mittleren Skalenbereich von 2 bis 14 Metern. Dies beschreibt ein ausgeprägtes Kleinrelief mit Viehwegen an einem grössterräumig gleichmässig geneigten Hang. Die Nitratkonzentration variierte sowohl im Frühling als auch im Sommer auf den kleinen Skalen, auf der kleinsten Skala war noch 37 bis 50% der gesamten Variation vorhanden. Nitrat war demzufolge kleinräumig variabel. Die Resultate zeigen, dass Boden- und Pflanzenmerkmale auf unterschiedlichen Skalen variieren.

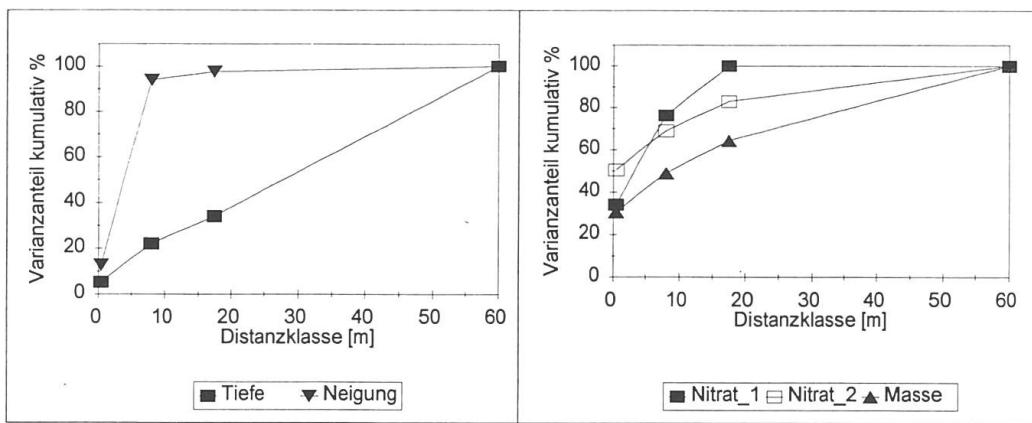


Abb. 1 Anteil Varianz (gemessen als Varianzkomponenten) auf verschiedenen räumlichen Skalen. Die Varianz ist kumulativ dargestellt und gegen die mittlere Distanz des Skalenbereiches aufgetragen. Die Daten wurden vor der Analyse transformiert.

### Räumliche Beziehungen, Korrelationen

Die Korrelationen zwischen Bodenmerkmalen und Pflanzenwachstum änderten sich mit der Skala und waren auf den grossen Skalen in der Regel stärker (Tab. 2). Auf der niedrigsten Skala von 0.2 bis 0.6 Metern konnten keine Beziehungen nachgewiesen werden. Auf der mittleren Skala von 2 bis 14 Metern korrelierte das Pflanzenwachstum mit der Hangneigung, der Bodentiefe und der Nitratkonzentration im Sommer. Auf der Skala von 13-24 Metern korrelierte das Pflanzenwachstum vor allem mit der Bodentiefe. Auch in der Gesamtkorrelation über alle drei Skalen, ist der Einfluss der Bodentiefe auf das Pflanzenwachstum am deutlichsten. Der deutlichste Skaleneffekt war bei der Korrelation zwischen Nitrat im Sommer und Phytomasse zu finden. Zwischen 2-14 Metern und 13-24 Metern änderte sich die Korrelation von  $r=0.30$  auf  $r=-0.42$ . In einer partiellen Korrelation, korrigiert für die Tiefe, verschwand der Vorzeichenwechsel; Skala von 2-14 Metern  $r=0.43$ , Skala von 13-24 Metern  $r=0.8$ .

Tab. 2 Lineare Korrelationen zwischen Pflanzenwachstum und Bodenmerkmalen auf verschiedenen räumlichen Skalen. Berechnungen aus Mitteln oben in der Zeile, Berechnungen aus Komponenten unten (vgl. Material und Methoden).

	Boden Tiefe	Neigung	Nitrat Frühling	Nitrat Sommer
Gesamtkorrelationen (Überlagerung der drei Skalen)				
Phytomasse	0.62**	- 0.36**	0.02	0.24**
Skala von 13 - 24 Meter				
Phytomasse	0.77	0.04	0.09	- 0.42
	0.82	0.39	0.11	- 0.59
Skala von 2 - 14 Meter				
Phytomasse	0.45**	- 0.47**	- 0.00	0.30*
	0.62**	- 0.68**	- 0.05	0.65**
Skala von 0.2 - 0.6 Meter				
Phytomasse	0.05	0.05	0.08	- 0.04

\*:  $P<0.05$

\*\*:  $P<0.01$

## 4 Diskussion

Wir konnten mit dieser Untersuchung zeigen, dass verschiedene Bodenparameter und das Pflanzenwachstum sich in ihrer räumlichen Verteilung unterscheiden. Entsprechend änderten sich die Beziehungen zwischen den Bodenparametern und dem Pflanzenwachstum über die Skalen unterschiedlich.

Diese Skaleneffekte sind vermutlich multivariat erklärbar und entstehen durch die Überlagerung von unterschiedlich strukturierten und untereinander korrelierten Merkmalen. Diese Vorstellung soll am Beispiel von Nitrat, Phytomasse und Bodentiefe diskutiert werden.

Die Beziehungen zwischen Nitrat und Phytomasse änderten ihre Intensität mit der Zeit und ihr Vorzeichen mit der Skala. Dies wird verständlich, wenn man den direkten Einfluss der Bodentiefe auf das Pflanzenwachstum und den indirekten Einfluss auf die Nährstoffaufnahme der Pflanzen berücksichtigt. Die negative Korrelation zwischen Phytomasse und Nitrat kann wie folgt erklärt werden: An tieferen Stellen wächst mehr; wo mehr wächst, wird dem Boden mehr Nitrat entzogen. Läuft der Prozess lange genug, kann eine negative Phytomasse-Nitrat-Beziehung entstehen. Voraussetzung für diesen Mechanismus ist eine variable Bodentiefe, die variable Wuchsbedingungen und eine variable Nitrataufnahme auslöst. Da auf dem "Plotniveau" die Variabilität der Bodentiefe gering ist, ist auch die Variabilität der Wuchsbedingungen und der Nitrataufnahme gering, eine negative Phytomasse-Nitrat-Beziehung kann nicht entstehen. In der zeitlichen Entwicklung muss man sich den Prozess wie folgt vorstellen: Zu Beginn der Vegetationszeit kann eine positive Nitrat-Phytomasse-Beziehung bestehen. Diese wird mit der Zeit immer schwächer und geht langsam in eine negative Beziehung über. Der Prozess könnte durch variable Bodenfeuchteverhältnisse verstärkt werden. So wie auf

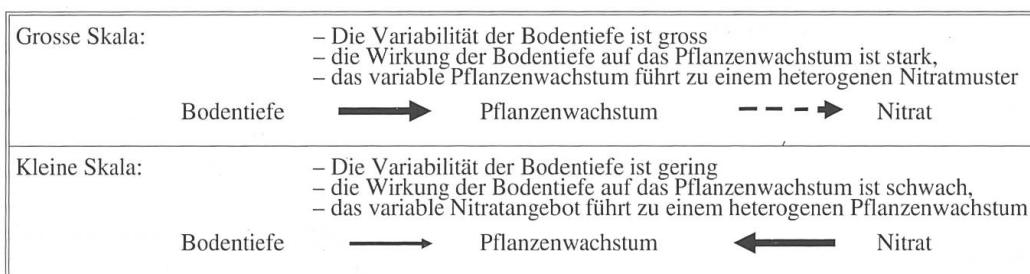


Abb. 2 Verschiedene Prozesse auf verschiedenen Skalen

Die Variabilität der Bodentiefe ändert sich mit der Skala. Die Bodentiefe variiert auf grosser Skala und hat einen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum. Das durch die Bodentiefe initiierte variable Pflanzenwachstum führt dazu, dass an Orten mit starkem Wachstum viel Nitrat entzogen wird und so die Beziehung zwischen Nitrat und Pflanzenwachstum im Verlauf der Vegetationszeit negativ wird. Der Prozess könnte wie folgt bezeichnet werden: Variable Nährstoffaufnahme führt zu heterogenem Nährstoffmuster. Auf kleiner Skala ist die Variation der Bodentiefe und der positive Einfluss auf das Pflanzenwachstum gering. Das Pflanzenwachstum ist stärker vom variablen Nitratangebot abhängig, die Beziehung zwischen Nitrat und Pflanzenwachstum ist positiv. Der Prozess könnte wie folgt bezeichnet werden: Variables Nährstoffangebot führt zu variablem Pflanzenwachstum.

kleinen Skalen der Tiefeneinfluss auf die Phytomasse-Nitrat-Beziehung zurückgeht, so wird der Tiefeneinfluss in der partiellen Korrelation rechnerisch entfernt. Nun sind, wie zu erwarten, auch die Beziehungen auf der grossen Skala positiv.

Die Wirkung von Skalenüberlagerungen wird deutlich, wenn man Korrelationen aus Komponenten, aus Mittelwerten und die Gesamtkorrelation vergleicht (Tab. 2). Korrelationen aus Komponenten ergaben die deutlichsten Zusammenhänge. Im Falle von skalenbedingten Vorzeichenwechseln wurden die Unterschiede besser sichtbar. Korrelationen aus Mittelwerten beinhalteten einen Teil der subskaligen Heterogenität und sind darum weniger deutlich. Die Gesamtkorrelation über alle Skalen kann zu irreführenden Schlüssen führen, wie das Beispiel von Nitrat im Sommer und Phytomasse besonders deutlich zeigte (Tab. 2).

Boden-Pflanze-Beziehungen änderten sich deutlich mit der Skala. Demzufolge muss das Pflanzenwachstum je nach Skala durch andere Bodenmerkmale erklärt werden. So war der deutliche Zusammenhang zwischen Hangneigung und Phytomasse nur in einem Bereich von 2-14 Metern sichtbar und konnte nicht auf andere Skalen übertragen werden. Dies zeigt, dass Erkenntnisse oder Modelle nur in einem bestimmten, mittels einer hierarchischen Analyse quantifizierbaren Skalenbereich gültig sind und nicht weiter extrapoliert oder interpoliert werden können.

## 5 Schlussfolgerungen

Die verschiedenen Bodenparameter und das Pflanzenwachstum unterschieden sich in ihrer räumlichen Verteilung. Entsprechend änderten sich die Beziehungen zwischen den Bodenparametern und dem Pflanzenwachstum über die Skalen unterschiedlich. Skalenüberlagerungen können zu erheblichen Fehlinterpretationen führen und müssen bei der Analyse von räumlich gemessenen Daten berücksichtigt werden. Durch eine Skalenzerlegung ist eine differenzierte Betrachtung der Zusammenhänge möglich. Erkenntnisse oder Modelle sind nur in einem limitierten Skalenbereich gültig; in diesem Bereich sind Interpolationen oder Extrapolationen möglich.

*Diese Arbeit wurde durch die finanzielle Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) ermöglicht.*

## Literatur

- Gross K.L., Pregitzer K.S. & Burton A.J. 1995. Spatial Variation in Nitrogen Availability in Three Successional Plant Communities. *Journal of Ecology* 83, 357-367.
- Robertson G.P., Huston M.A., Evans F.C. & Tiedje J.M. 1988. Spatial Variability in a Successional Plant Community: Patterns of Nitrogen Availability. *Ecology* 69(5), 1517-1524.
- Snedecor G.W. & Cochran W.G. 1993. *Statistical Methods*. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Stark J.M. 1994. Causes of Soil Nutrient Heterogeneity at Different Scales. In: Caldwell M.M. & Pearcy R.W.: *Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants*. Academic Press, San Diego, 255-284.
- Stratton D. A. 1995. Spatial scale of variation in fitness of *Erigeron annuus*. *American Naturalist* 146(4), 608-624.
- Tillman D. 1982. *Resource Competition and Community Structure*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Trangmar B.B., Yost R.S., Wade M.K. & Uehara G. & Sudjadi M. 1987. Spatial Variation of Soil Properties and Rice Yield on Recently Cleared Land. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 668-674.
- Webster R. & Oliver M.A. 1990. *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*. Oxford University Press, New York.

