

Veränderung des Boden-pH-Wertes und der Vegetation im Übergang von Nadel zu Laubwald

Nele Stackelberg

12 Juni 2018

1 Einleitung

Beprobung von Einzelpunkten im Gelände um den Übergang von Fichte zu Buche auf der Fläche zu interpolieren - wie scharf ist die Grenze?.

Schönber - Vorbergzone Hauptrogenstein - Kalkoolith, ein Kalkgestein des mittleren Jura.

Der pH gilt als eine wichtige und aussagekräftige Bodenkenngröße (Amelung et al. (2018))

2 Methoden

Der zeitliche Rahmen ermöglicht an bis zu 60 Punkten pH-Messungen sowie die Aufnahme der Vegetation. Eine Fläche von 40 mal 50 Metern sollte dazu ausgewählt werden, durch die eine scharfe Grenze eines Fichten zu Laubbaumbestandes verläuft. Dazu werden die Bestandeskarten im Raum Freiburg betrachtet. Damit der pH-Wert auf der Fläche nicht von unterschiedlichem Grundgestein geprägt ist wird zusätzlich die geologische Karte betrachtet. Die Auswahl fällt auf einen ca. 30-jährigen Fichtenbestand am Schönberg, der an einen etwa gleichalten Buchen-Ahorn-Mischwald angrenzt. Das Grundgestein der Probestfläche ist der Hauptrogenstein. Für die Probepunkte wird die Fläche in 10x10m Quadrate eingeteilt, wovon jeweils drei zufällige Probepunkte gelegt werden. Um die Position der Punkte zu wählen werden mit der Software R (R Core Team (2018)) 60 zufällige Winkel und Entfernungen gezogen. So werden der Reihe nach vom Mittelpunkt jedes Quadrates aus, jeweils drei Positionen für die Probenahme bestimmt.

Die Fläche wird im Feld aufgesucht und die genaue Position wird dort festgelegt, wo der Anteil der Fichten im über die Bestandeskarte ausgewählten Fichtenbestand am größten ist und seine Grenze zum Laubwald am markantesten ist. Mittels Kompass, Maßband und Peilstab wird die Fläche vermessen und die Ecken markiert. Die Ausrichtung der Fläche verläuft hangparallel, was einer relativ genauen Nord-Süd-Ausrichtung (3° - 183°) entspricht.

Ebenso werden mithilfe des Kompass, peilend, die genauen Probepositionen ausgewählt. An jedem Probepunkt wird eine Bodenprobe in ca. 5 cm Tiefe von ca. 10 ml Volumen genommen. Die Probe wird mit 20 ml destilliertem Wasser vermischt, geschüttelt und stehen gelassen damit sich die Partikel am Grund des Probefläschchens absetzen. Zusätzlich wird an jedem Punkt die Humusform erfasst, der Bedeckungsgrad der überschirmenden Baumarten, je Art, im Umkreis mit 2m Radius. Auch die Bodenvegetation wird erfasst (Arten und Deckungsgrad). Es sind nur krautige Pflanzen vorhanden, es gibt keine Verjüngung im Bestand, die größer ist als 20cm. Der pH-Wert der Bodenproben wird sobald ca. 10 Proben bereit sind (Substrat hat sich abgesetzt) mit der pH-Sonde des Typs GMH 5520 des Herstellers Greisinger gemessen. Die Genauigkeit des Gerätes beträgt laut Hersteller $\pm 0.005\text{pH}$. Zu Beginn der ersten Messung jedes Tages wird das Gerät wie in der Betriebsanleitung beschrieben kalibriert.

Statistische Auswertung: Die aufgenommenen Daten werden in R ausgewertet. Die Fläche wird in die beiden Klassen "Nadelbaum" und "Laubbaum" eingeteilt. Alle Probepunkte die von Fichten oder Lärchen überschirmt sind werden in die Klasse "Nadelbaum" eingeteilt, Flächen auf denen 0 % Nadelbaum vorhanden ist werden in die Klasse "Laubbaum" eingeteilt. Um die beiden Klassen zu vergleichen wird eine Varianzanalyse (ANOVA) nach Dormann ([2017]) durchgeführt. Da der Test über die Varianzhomogenität signifikant unterschiedliche Varianzen für die pH-Werte der beiden Klassen liefert, und damit eine der Voraussetzungen für eine ANOVA verletzt sind, wird zusätzlich der Kruskal-Wallis-Test ($p < 0,01$) durchgeführt.

Eine räumliche Analyse der pH-Werte erfolgt mittels einem Variogramm, welches die Varianz in Abhängigkeit der Entfernung der Punkte darstellt. Um den pH-Wert über die Fläche zu interpolieren ("kriging") wird ein Modell an das Variogramm gefittet. Die Interpolation kann dann graphisch gemeinsam mit den Baumartenanteilen der Punkte dargestellt werden.

Analyse der Vegetation: Zu allen aufgenommenen Arten werden die Zeigerwerte "Reaktionszahl" und "Lichtzahl" nach Ellenberg herausgesucht. Für jeden Punkt wird dann der Mittelwert der Reaktions- sowie Lichtzahl

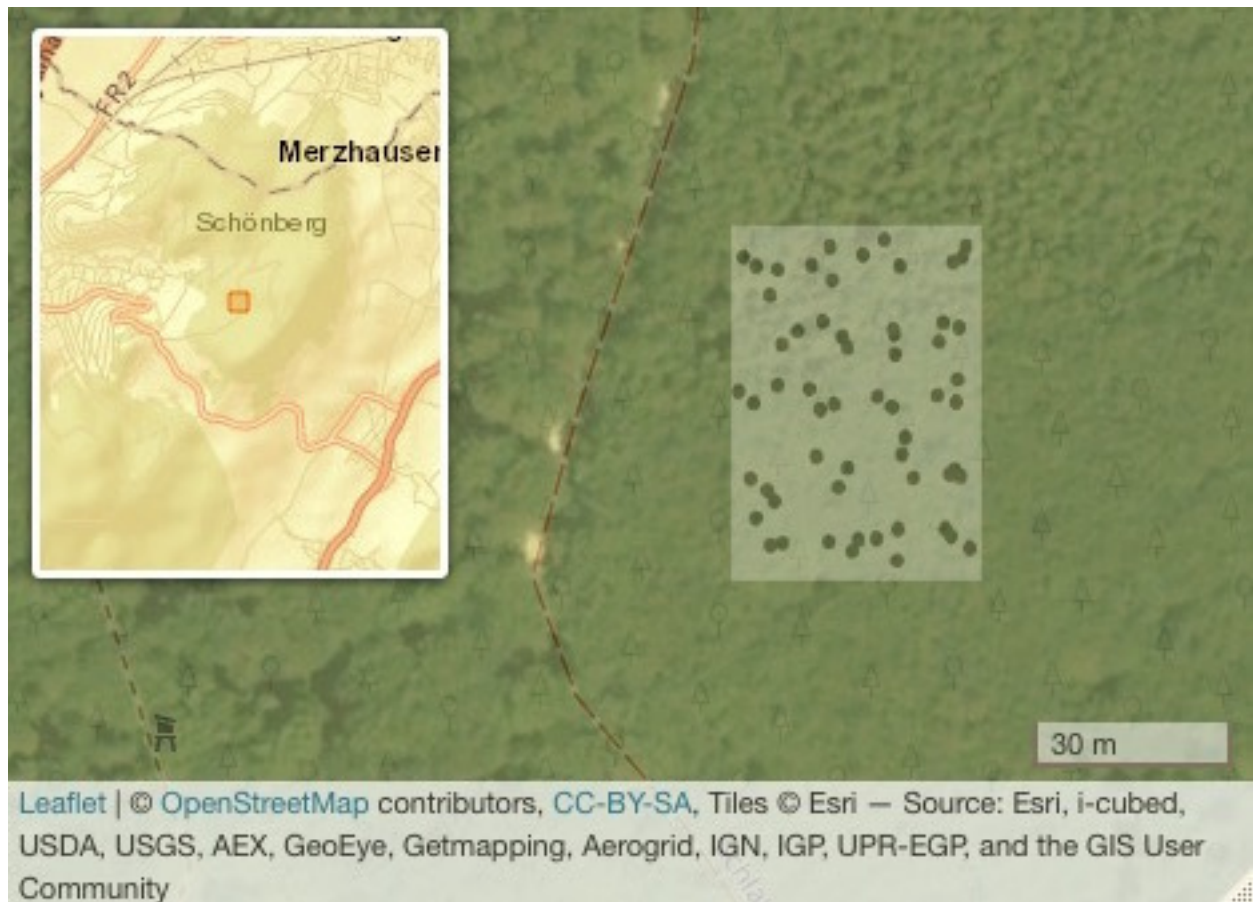


Abbildung 1: Die Probestfläche und ihre Position im Wald. Die Fichten stehen in der nördlichen Hälfte der Probestfläche, im südlichen Teil ist reiner Laubwald. Der Hang neigt sich leicht nach Osten hin abwärts.

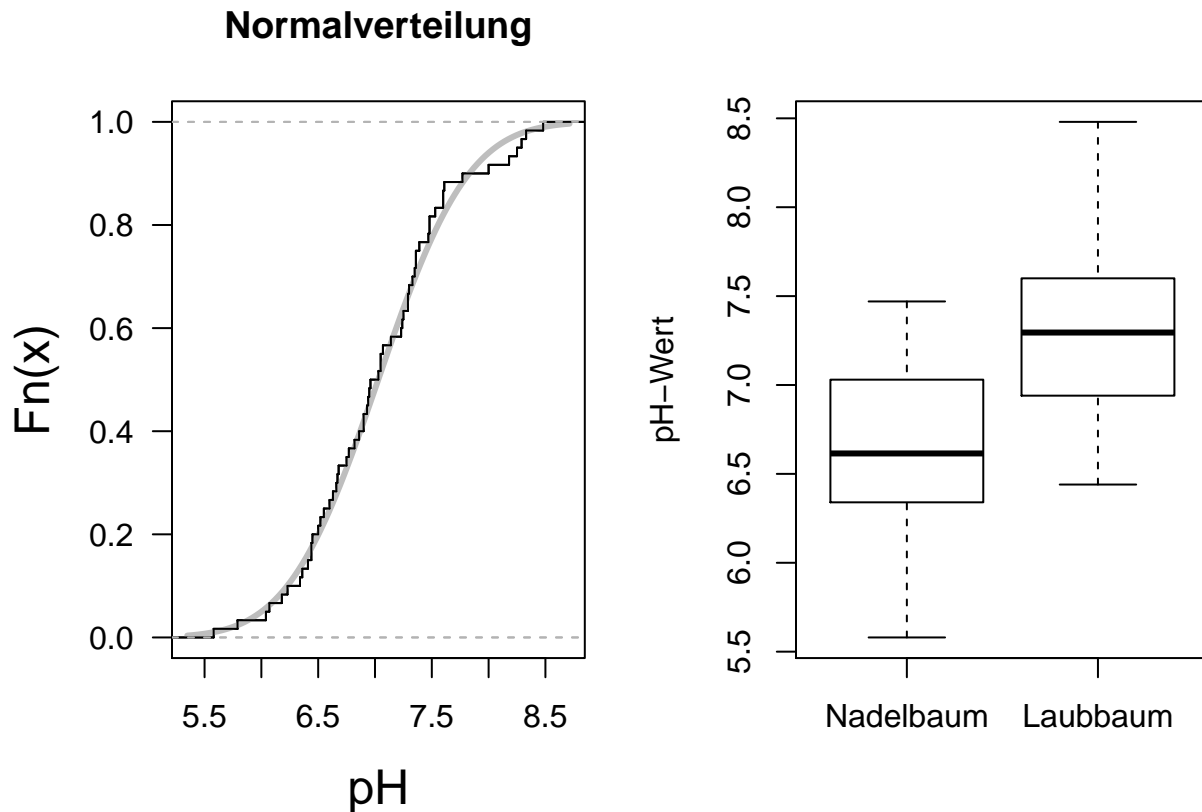


Abbildung 2: Die kumulative Dichteverteilung des pH-Wertes (links) und ein Boxplot der beiden Klassen ‘Nadelbaum’ und ‘Laubbaum’ (rechts).

aller dort vorkommenden Arten (unabhängig von der Häufigkeit) berechnet. Um festzustellen ob ein Zusammenhang der Vegetation mit dem pH-Wert des Bodens besteht wird geprüft ob Zeigerwerte und pH-Werte korrelieren. Für beide Zeigerwerte wird zudem ein Variogramm berechnet.

3 Ergebnisse

```
##
## One-sample Kolmogorov-Smirnov test
##
## data: data1$pH
## D = 0.059512, p-value = 0.9836
## alternative hypothesis: two-sided
```

Die gemessenen pH-Werte unter Fichte liegen mit einem Minimum von 5,58 pH und einem Maximum von 7,47 pH im mäßig sauren bis schwach alkalischen Bereich, während im Buchen-Bergahorn-Mischwald mit einem Minimum von 6,44 pH und einem Maximum von 8,48 pH schwach saure bis mäßig alkalische pH-Werte gemessen wurden. Ein Kolmogorov-Smirnov-test und die kumulative Dichteverteilung der pH-Werte (Abbildung 2 links) bestätigen, dass die Daten normalverteilt sind. Da die Varianzhomogenität der Daten verletzt ist wird ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Dieser zeigt einen Signifikanten Unterschied des pH-Wertes zwischen den beiden Klassen auf. Der pH-Wert des Oberboden im von Fichten geprägten Standort beträgt im Durchschnitt nur 6.64 ± 0.49 pH, im Buchen-Bergahorn-Mischwald ist er mit 7.35 ± 0.54 pH deutlich höher (Siehe Abb. 2 rechts).

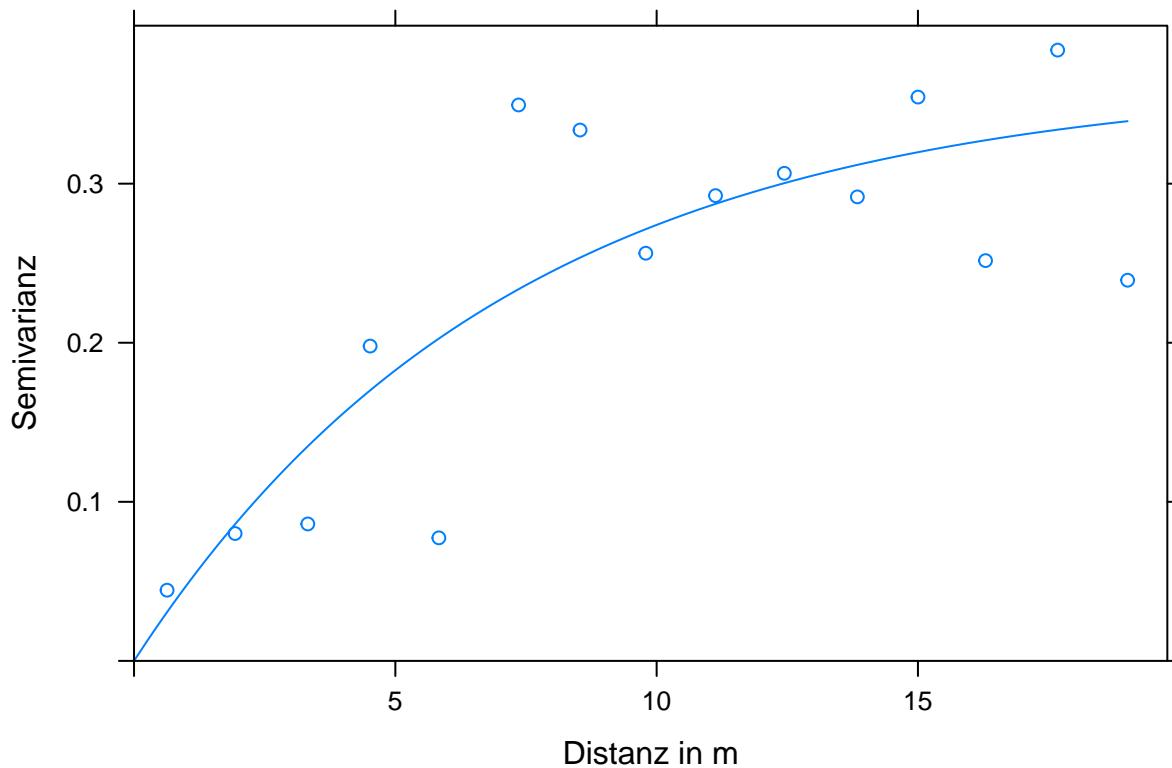


Abbildung 3: Variogram des pH-Wertes (Punkte) und gefittetes exponentielles Modell (Linie). Es zeigt, dass die Varianz der Punkte mit zunehmender Entfernung größer wird.

Die räumliche Varianz des pH-Wertes ist in Abbildung 3 durch ein Variogram dargestellt. In der Abbildung ist auch das gefittete exponentielle Modell dargestellt. Es wird das exponentielle Modell verwendet, da es visuell am besten an die Daten passt. Es zeigt sich, dass die Varianz der pH-Werte für nahegelegene Punkte gering ist und mit größeren Entfernungen zunimmt. Je weiter die Entfernung zu nimmt, desto geringer ist die Zunahme der Varianz. Stellt sich im Variogramm in einer bestimmten Entfernung ein Schwellenwert ein ("sill variance"), so bedeutet dies, dass Punkte mit einer solchen Entfernung zueinander unabhängig sind.

Das gefittete Modell wird verwendet um den pH-Wert der gesamten Fläche zu interpolieren. Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt. Der pH erreicht dort wo die Fichte als hauptbestandteil des Nadelholzes steht mit unter pH 6 die Tiefsten Werte. Die höchsten Werte des pH sind im Laubwaldbestand gemessen worden. Die pH-Werte der beiden Bestände unterscheiden sich, die Grenze zwischen Nadel und Laubwaldbestand ist jedoch nicht als deutliche Linie zu erkennen, sondern hat vielmehr einen verschwommenen Übergang.

`## [using ordinary kriging]`

Für die Reaktionszahl (Zeigerwert nach Ellenberg aus Rothmaler ([2017])) der Vegetation der Krautschicht wird keine Korrelation mit dem pH-Wert festgestellt. Die Lichtzahl korreliert ebenfalls nicht mit dem pH-Wert. Von den 37 erfassten Arten kommen viele Arten nur vereinzelt vor, einige wenige wie *Viola reichenbachiana* und *Hedera helix* Flächig.

"In the classical approach random selection is essential to guarantee unbiased estimates with known variance." (Oliver and Webster 2015)

Die praktische Geostatistik behandelt die Ergebnisse so, als wären sie die Ergebnisse von korrelierten Zufallsprozessen (Oliver and Webster 2015, 11)

Punkte sind ungleichmäßig Verteilt in zwei dimensionen. Sample-variogram experimental variogram Das Variogram erreicht tendiert gegen eine Schwellen-Varianz ("sill varianz"). Diese gleicht der gesamten Varianz

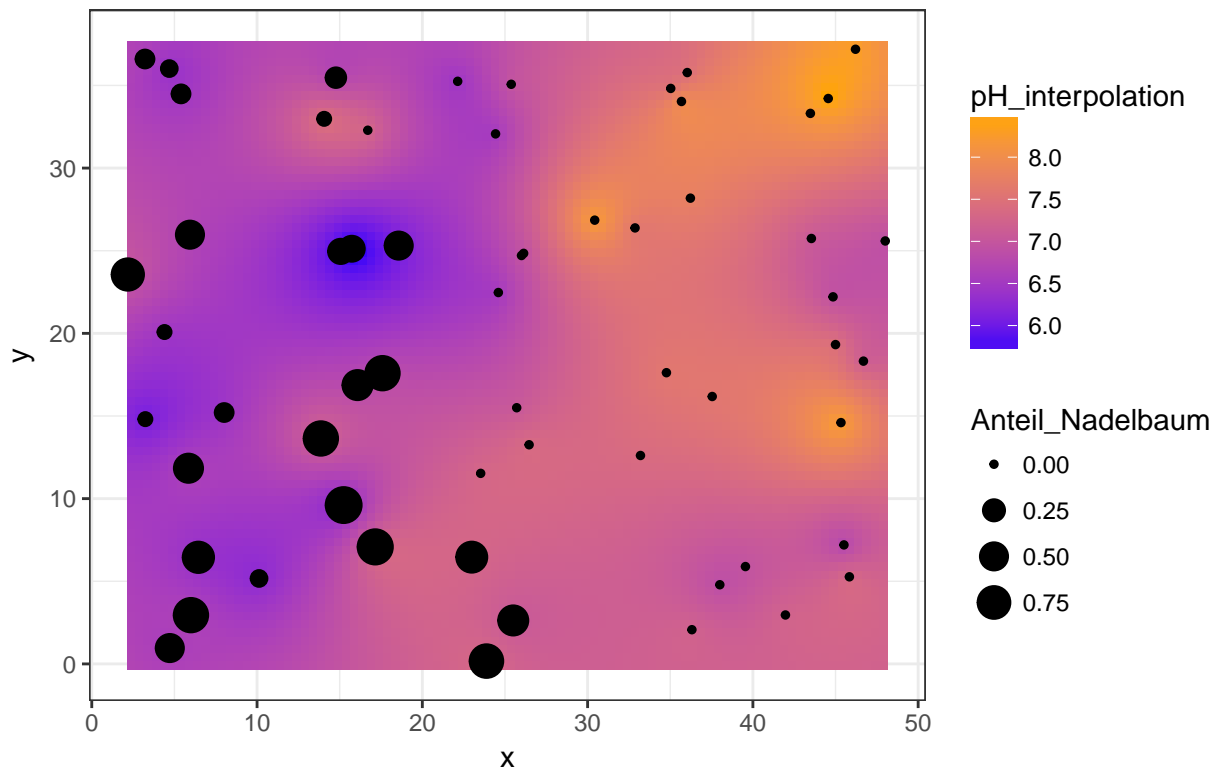


Abbildung 4: Interpolation des pH-Wertes über die Probefläche (40 x 50 m). Norden ist links im Bild, Süden rechts. Der Anteil der Nadelbäume im Umkreis von 2m um jeden Probepunkt ist durch die Größe der schwarzen Punkte dargestellt. Die Nadelbäume sind fast ausschließlich Fichten, nur eine Lärche steht auf der Probefläche. Die Laubbäume sind in verschiedenen Anteilen Buche, Bergahorn, Esche und Linde.

des Datensatzes. Ist die Schwelle erreicht, so bedeutet das, dass Punkte die in solch einer Entfernung zu einem andern Punkt liegen nicht mehr von diesem beeinflusst werden. Wir können in unserem Beispiel jedoch von Anisotropie ausgehen (Richtungsabhängigkeit). Dies ist

4 Diskussion

Laut Körner (2006) (S. 57) handelt es sich bei den Böden auf Hauptrogenstein am Schönberg um humusreiche flachgründige Böden (Rendzinen) mit einem hohen pH-Wert, der meist über dem Neutralpunkt liegt. Solche pH-Werte konnten wir unter dem Laubwaldbestand feststellen, jedoch nicht unter dem Nadelbestand. Da die Fichte Standortsfremd ist und nicht der potentiell natürlichen Vegetation (PNV) des Schönbergs entspricht ist anzunehmen, dass der erst ca. 30 Jahre alte Fichtenbestand den pH-Wert des Oberbodens dem mit Mittleren pH-Wert von 6,6 *pH* bereits von seinem natürlichen Zustand abgesenkt hat. Dem Zugrunde liegt jedoch die Annahme, dass die Fläche vor der Bepflanzung mit Fichte und Buche einheitlich als Waldweide mit Baumarten der PNV genutzt wurde.

Während die Fichtenstreu sich bereits auf den pH-Wert des Bodens ausgewirkt hat, so zeigt sich dies noch nicht in den Zeigerwerten der Bodenvegetation. Dies liegt daran, dass Zeigerwerte nicht nur den physiologischen Anspruch der Pflanze darstellen, sondern eine relative Standortskonstanz. Der Standort der Pflanze wird von vielen Faktoren beeinflusst, unter anderem Konkurrenz und Kooperation (Wilmanns (1998)). Die kleinräumige Heterogenität der beschattenden Baumarten (Nadelbäume = ganzjährig weniger Licht), fehlende Konkurrenz und der starke Verbiss im Bestand wirkt sich wahrscheinlich auch auf die vorkommenden Arten aus. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Vegetation stellt wahrscheinlich die ehemalige Nutzung als Waldweide dar. Beispielsweise haben wir an vielen Orten *Ilex aquifolium* in der Verjüngung vorgefunden, was laut Körner (2006) (S. 87) eine Erinnerung an die Zeit der Waldweide ist. Um den Unterschied der Vegetation auf Standorten mit einem pH-Wert Unterschied von nur 2 pH festzustellen, so müssten größere Flächen, die räumlich voneinander getrennt sind untersucht werden. Mit größeren Stichproben wäre dann zu erwarten, dass sich ein Unterschied in den vorkommenden Pflanzengesellschaften zeigt.

5 Literatur

- Amelung, Wulf [VerfasserIn], Hans-Peter [VerfasserIn] Blume, Heiner [VerfasserIn] Fleige, Rainer [VerfasserIn] Horn, Ellen [VerfasserIn] Kandeler, Ingrid [VerfasserIn] Kögel-Knabner, Ruben [VerfasserIn] Kretzschmar, Karl [VerfasserIn] Stahr, and Berndt-Michael [VerfasserIn] Wilke. 2018. "Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch Der Bodenkunde." SpringerLink : Bücher. Springer Spektrum,
- Dormann, Carsten F. [VerfasserIn]. [2017]. *Parametrische Statistik : Verteilungen, Maximum Likelihood Und Glm in R*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Statistik Und Ihre Anwendungen. Springer Spektrum,
- Körner, Helge [Hrsg.]. 2006. *Der Schönberg : Natur- Und Kulturgeschichte Eines Schwarzwald-Vorberges*. Vol. [N.F.] 19. Mitteilungen Des Badischen Landesvereins Für Naturkunde Und Naturschutz E.V., Freiburg I. Br / Badischer Landesverein Für Naturkunde Und Naturschutz. Freiburg im Breisgau: Lavori.
- Oliver, Margaret A., and Richard Webster. 2015. "Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging." SpringerBriefs in Agriculture, Springerlink : Bücher. Cham: Springer.
- R Core Team. 2018. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Rothmaler, Werner. [2017]. *Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband*. 21., durchgesehene Auflage. Springer Spektrum,
- Wilmanns, Otti. 1998. *Ökologische Pflanzensoziologie : Eine Einführung in Die Vegetation Mitteleuropas*. 6., neu bearb. Aufl. Vol. 269. UTB. Wiesbaden: Quelle & Meyer.

Anhang