

Quantifizierung wesentlicher Umweltfaktoren von *Allium ursinum*-Beständen in Wäldern des Kaiserstuhls

Allium ursinum stands in the forests of the Kaiserstuhl area – a habitat model

LILITH JOPP, MICHAEL RUDNER*

Abstract

In forests of the Kaiserstuhl area, Upper Rhine Valley, SW Germany, environmental factors influencing the occurrence and abundance of *Allium ursinum* populations were studied. On the eastern slope of the Kaiserstuhl plots were selected according to a stratified random sampling design. On these plots the density of *Allium ursinum* populations as well as selected environmental variables were surveyed. Results indicate that inclination is a good predictor of occurrence of *Allium ursinum*. Density is depending on in-

clination, thickness of organic matter, topsoil pH value and on soil water content. The used regression model explains 79 % of the deviance of the recorded densities. This may be ranked as a good result. According to the data set used, the model is only valid for the eastern slope of Kaiserstuhl. Western aspects are not present in the study area and in the data.

Keywords: bear garlic, habitat modelling, hurdle model, GLM, topographic wetness index

Zusammenfassung

In Wäldern des Kaiserstuhls wurde untersucht, welche Umweltfaktoren das Auftreten und die Dichte von *Allium ursinum*-Beständen beeinflussen. Hierzu wurde auf der Ostseite des Kaiserstuhls nach einer stratifizierten zufälligen Probenahme die Dichte der Bärlauch-Bestände und eine Reihe von Umweltvariablen erhoben. Es zeigt sich, dass die Hangneigung die Eignung für Bärlauch-Bestände gut erklären kann. Die Dichte der Bestände hängt zudem von der Mächtigkeit der Humusaufgabe, dem pH-Wert des Oberbodens und dem Bodenwassergehalt ab. Das gewählte Regressionsmodell erklärt 79 % der Devianz der erfassten Dichten und kann damit als sehr gutes Ergebnis eingestuft werden. Das Modell gilt aufgrund der verwendeten Daten nur für die Wälder auf der Ostseite des Kaiserstuhls, da westliche Expositionen im Datensatz nicht vertreten sind.

Schlüsselworte: Bärlauch, Habitatmodellierung, Hürdenmodell, GLM, topographischer Feuchteindex

Abkürzungen: DHM: Digitales Höhenmodell; SAR: Slope-area ratio, Verhältnis Hangneigung zu spezifischem Einzugsgebiet

Kontaktinformationen der Autoren:

*Korrespondierender Autor: Prof. Dr. Michael Rudner, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, Fachgebiet Geobotanik, Markgrafenstraße 16, D-91746 Weidenbach; michael.rudner@hswt.de

Lilith Jopp, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für Biologie, Abteilung Geobotanik, Schänzlestraße 1, D-79104 Freiburg; lilith_jopp@web.de

1 Einführung

Bärlauch (*Allium ursinum*) hat in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Wurde er bereits seit langem in der Volksmedizin geschätzt (BŁAŻEWICZ-WOŹNIAK et al. 2011), so hat er mehr und mehr kulinarische Relevanz erlangt und wird in verschiedener Form genossen. Von vielen Speisekarten ist er im Frühjahr nicht mehr wegzudenken. Geht man im Frühjahr in die Wälder des Kaiserstuhls, kann man insbesondere auf terrassierten Bereichen in Ostexposition ausgedehnte und dichte Bestände von Bärlauch antreffen, die die Grundlage für den Markterfolg bilden (Abb. 1).

Aber wo sind derartige Bestände zu erwarten und welche Standortfaktoren bedingen dichte Vorkommen? Mit diesen Fragen beschäftigt sich der vorliegende Artikel.

Am Kaiserstuhl sind die Lagen oberhalb 400 m ü. NN, im Osten z. T. hinab bis auf 200 m ü. NN, mit Wald bestockt. Tiefer liegende Hänge sind weitgehend mit Reben bebaut. Im Wald finden sich in tieferen Lagen häufig frühere Ackerterrassen, deren Entstehungszeit unklar ist (WILMANN 2009). Die Waldbestände im Kaiserstuhl reichen standortabhängig von Flaum-Eichen-Wäldern auf den flachgrün-



Abb. 1: Bärlauch-Massenbestand im Kaiserstuhl (Foto: L. Jopp).

digen Kuppen über Orchideen-Buchenwälder auf etwas mächtigeren Böden bis zu Waldmeister-Buchenwäldern und Eichen-Hainbuchenwäldern auf feuchteren Standorten. Unter anderem aufgrund der kleinteiligen Besitzverhältnisse und damit verbundenen Nutzungsunterschieden wechseln die unterschiedlichen Waldtypen kleinräumig und sind meist eng miteinander verzahnt (WILMANNS 2009).

Allium ursinum ist in Deutschland weit verbreitet und als Kennart der Fagetalia (OBERDORFER 2001) überwiegend an Buchenwälder und Edellaubholzwälder gebunden, in denen er als Frühjahrsgeophyt auftritt (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2012). Er gilt als Frische- bis Nässezeiger (ELLENBERG et al. 2001), der jedoch keine Staunässe erträgt (EGGERT 1992; MORSCHHAUSER et al. 2009; TUTIN 1957). Er bevorzugt kalkhaltige Böden (ELLENBERG u. LEUSCHNER 2010) und weist auf Stickstoffreichtum hin (ELLENBERG et al. 2001, MORSCHHAUSER et al. 2009). Eine Humusaufgabe von wenigen Zentimetern ist nötig, bevorzugt bei schwach basischer Bodenreaktion (EGGERT 1992). Es können aber bis pH 5 gutwüchsige Bestände ausgebildet sein (ELLENBERG u. LEUSCHNER 2010). Im Kaiserstuhl finden sich größere Herden von Bärlauch insbesondere in den feuchten Eichen-Hainbuchenwäldern, in denen auch Buchen auftreten (WILMANNS 2009).

Im Februar sprießen die Blätter aus den Zwiebeln (ERNST 1979; EGGERT 1985). Pflanzen mit mindestens zwei Laubblättern fangen bis Ende Mai an zu blühen (EGGERT 1985; FÜLLEKRUG 1990). Die Samen werden im Juni bis Juli ausgestreut. Die Seneszenz der Blätter beginnt schon im Mai (EGGERT 1985). Bis zum August werden die Blätter zersetzt. Bereits im September beginnen die neuen Blätter zu wachsen, diese verweilen aber noch in der Zwiebel (ERNST 1979).

Die hypogäische Keimung findet im Folgejahr oder in späteren Jahren statt. Zunächst wächst ein Niederblatt, dem

im Folgejahr ein Laubblatt folgt. Aus dem Laubblatt geht die Zwiebel hervor, die jährlich ersetzt wird. Vom ersten bis zum fünften Jahr verdoppelt sich die Biomasse der Zwiebel jährlich (ERNST 1979). Ab dem dritten Jahr dringt die Zwiebel mit Hilfe von kontraktile Adventivwurzeln in tiefere Bodenschichten vor (ELLENBERG u. LEUSCHNER 2010). Die vegetative Vermehrung kann im fünften Jahr beginnen, die generative bereits im vierten Jahr, meist jedoch im fünften oder sechsten Jahr (ERNST 1979). Einzelne Triebe haben eine Lebensdauer von acht bis zehn Jahren (ERNST 1979). Die generative Vermehrung überwiegt (FÜLLEKRUG 1990). Durch vegetative Vermehrung können jedoch rasch Massenvorkommen entstehen (ELLENBERG u. LEUSCHNER 2010). Da die Samen nur über geringe Distanzen ausgebreitet werden – im Verlaufe von 20 Jahren wurde eine mittlere Ausbreitung von 2,5 m festgestellt (ERNST 1979) – kann die Ausbildung von Massenvorkommen auch auf dem generativen Weg erreicht werden (MORSCHHAUSER et al. 2009). Keimlinge werden auch bei hohen Dichten nicht unterdrückt, jedoch ist die Zuwachsrate der Zwiebeln von *Allium ursinum* dichteabhängig (MORSCHHAUSER et al. 2009).

Fragestellung: Welche Umweltparameter bestimmen Auftreten und Dichte von Bärlauch-Beständen und wie eng ist dieser Zusammenhang?

Hypothese: Bärlauch kommt nur an ausreichend feuchten Standorten vor. In flacheren Lagen im unteren Bereich des Mittelhangs und am Übergang zum Unterhang sind die Bestände dichter. Die dichtesten Bestände finden sich auf den ehemaligen Terrassen. Damit müsste ein gut ausgebildeter humoser Oberboden die Dichte positiv beeinflussen. Wir erwarten zudem, dass die Bestände von *Allium ursinum* an konvexen Hangabschnitten weniger dicht sind und die Dichte mit zunehmender Hangneigung ebenfalls abnimmt.

2 Untersuchungsgebiet

Für die Untersuchung wurden die Wälder an der Ostseite des Kaiserstuhls ausgewählt, da dort Bärlauch-Bestände mit unterschiedlicher Dichte vorkommen und auch die sehr dichten Dominanzbestände auf den ehemaligen Terrassen ausgebildet sind. Zugleich gibt es Bereiche, die frei von *Allium ursinum* sind. Die Wälder am Osthang zwischen der Straße Schelingen – Bahlingen im Norden und der Straße zum Vogelsangpass im Süden liegen oberhalb der 300 m Höhenlinie. Die Wälder sind recht vielgestaltig. Das Spektrum reicht von feuchten Eichen-Hainbuchenwäldern über Buchenwälder unterschiedlicher Ausbildung bis zu Traubeneichenwäldern. Am unteren Waldrand sind verschiedentlich terrassierte Bereiche anzutreffen, auf denen die Bäume (vorwiegend Buchen) einen Brusthöhendurchmesser von etwa 30 cm und damit ein Alter um 80 Jahre aufweisen. Im Mittelhang werden Hangneigungen von über 30° erreicht. Als Böden liegen vorherrschend Parabraunerden und Pararendzinen auf Löss sowie kalkhaltige Kolluvien in den Talböden mit unterschiedlichen Mächtigkeiten vor (GEOLOGISCHES LANDESAMT 2011).

3 Methoden

3.1 Untersuchungsansatz und -design

Die Probepunkte zur Erhebung der Dichte der Bärlauch-Bestände wurden nach einem stratifizierten zufälligen Design verteilt. Dabei wurde eine gleichmäßige Verteilung der Datenpunkte auf Bereiche mit dichten, lockeren und fehlenden Bärlauch-Beständen angestrebt. Ausgehend von der Hypothese, dass die Bärlauch-Dichte von der Boden-Wasser-Versorgung abhängt, wurde zur Stratifizierung eine Form des topografischen Feuchte-Indexes verwendet: das Verhältnis der Hangneigung zum spezifischen Einzugsgebiet (also der Fläche, die durch die Probefläche entwässert), die sog. *Slope-Area-Ratio* (SAR). Dabei zeigen niedrige SAR-Werte relativ feuchte Bedingungen und hohe SAR-Werte relativ trockene Bedingungen an. Innerhalb dreier Straten mit hohem, mittlerem und niedrigem SAR-Wert wurden jeweils 10 Probeflächen zufällig mit Hilfe des *random point generators* von ArcGIS verteilt. Innerhalb einer 10 m x 10 m großen Probefläche wurde an fünf Stellen mit wenigstens 6 m Abstand zueinander die Dichte der Rameten von *Allium ursinum* mit einem Zählrahmen von 0,5 m x 0,5 m erfasst. In sehr dichten Beständen wurden nur drei Teilflächen ausgezählt.

Hangneigung und Exposition wurden vor Ort gemessen. Höhenlage, spezifisches Einzugsgebiet und topografischer Feuchteindex (SAR) wurden aus dem digitalen Höhenmodell (DHM) abgeleitet. Hierzu wurde das aktuelle DHM des Landesvermessungsamtes mit etwa 1 m horizontaler Auflösung verwendet, das vor der Analyse auf eine horizontale Auflösung von 5 m vergrößert worden war. Die raumbezogenen Analysen wurden mit dem Geo-Informationssystem ArcGIS 10 von ESRI durchgeführt.

Als weitere Standort-Parameter wurden die Humusform, die Mächtigkeit der Humusaufgabe, die Mächtigkeit des Ah-Horizontes, der pH-Wert des Oberbodens, der Phosphatgehalt des Oberbodens sowie die Bodenfeuchte in 10 cm Tiefe erfasst. Zudem wurde die Deckung der Baum-, Strauch- und Krautschicht geschätzt. Auf jeder Probefläche wurde eine Mischprobe entnommen, deren Phosphat-Gehalt nach Mikrowellen-Aufschluss photometrisch gemessen wurde. In der gleichen Probe wurde auch der pH-Gehalt in Wasser mittels Glaselektrode bestimmt. Zur Bestimmung der Bodenfeuchte wurden jeweils drei Proben mit einem Volumen von 100 cm³ innerhalb eines Zeitraumes von 14 Tagen ohne Niederschlag immer vormittags in ungefährer Tiefe der Bärlauchzwiebeln genommen, was in der Regel einer Tiefe von etwa 10 cm entsprach. Nach Trocknung bei 105 °C wurde der volumetrische Wassergehalt der Proben ermittelt. Um die Messwerte der Bodenfeuchte in 10 cm Tiefe untereinander vergleichen zu können, wurden Datenlogger ausgebracht, die mit ECH₂O EC-5-Sonden über den gesamten Messzeitraum an zwei Stellen die Bodenfeuchte aufzeichneten. Anhand des Verlaufs der Kurven konnten die Einzelmessungen auf den Plots korrigiert werden.

3.2 Datenauswertung

Zur Auswertung der Daten wurde ein statistisches Hürden-Modell verwendet, das in zwei Schritten arbeitet. Zunächst wird mittels logistischer Regression die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens ermittelt (daher der Begriff „Hürde“) und dann werden im Bereich zu erwartender Vorkommen die Dichtewerte mittels einer Poisson-Regression analysiert. Die Variablenauswahl erfolgte schrittweise rückwärts nach AIC-Wert (Akaike-Informations-Kriterium, vgl. CRAWLEY 2005). Die Signifikanzschwelle für einzelne Variablen im Modell lag bei 5 %. Ferner wurde beim Endmodell die Verteilung der Residuen überprüft. Die statistischen Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm R 2.11 (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2010) und der Funktion *hurdle* aus dem Paket *pscl* (JACKMAN et al. 2009) durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, keine erklärenden Variablen, die miteinander stark korrelieren ($|r| > 0,5$), gemeinsam in ein Modell aufzunehmen. Als Gütemaß für das Modell werden der Anteil erklärter Devianz sowie das Pseudo-R² nach Nagelkerke (REINEKING u. SCHRÖDER 2004) für die logistische Regression herangezogen.

4 Ergebnisse

Im angepassten statistischen Modell ist die Hangneigung derjenige Parameter, der es ermöglicht, Standorte mit Eignung für das Vorkommen von *Allium ursinum* von ungeeigneten Standorten zu trennen. Es besteht ein negativer Zusammenhang, d.h. steile Bereiche sind für Bärlauch-Vorkommen eher ungeeignet. Die Dichte der *Allium ursinum*-Bestände wird von den Parametern topografischer Feuchteindex (SAR), Hangneigung, Mächtigkeit der Hu-

Tab. 1: Einfluss der unabhängigen Parameter auf die Dichte von *Allium ursinum*-Beständen. SAR Slope-Area-Ratio (vgl. Kap. 3.1).

Variable	Zusammenhang	Bemerkungen
SAR	negativ	je trockener, desto weniger Rameten
Hangneigung	negativ (Interaktion mit Humus)	ab 20° fast keine Rameten mehr
Humusauflage	negativ bei schwacher Neigung, schwach positiv bei mittlerer Neigung, unmerklich bei starker Neigung	Interaktion mit Hangneigung
pH	positiv	bei pH 5 1/3 weniger Rameten als bei pH 7
Bodenfeuchte	schwach positiv	

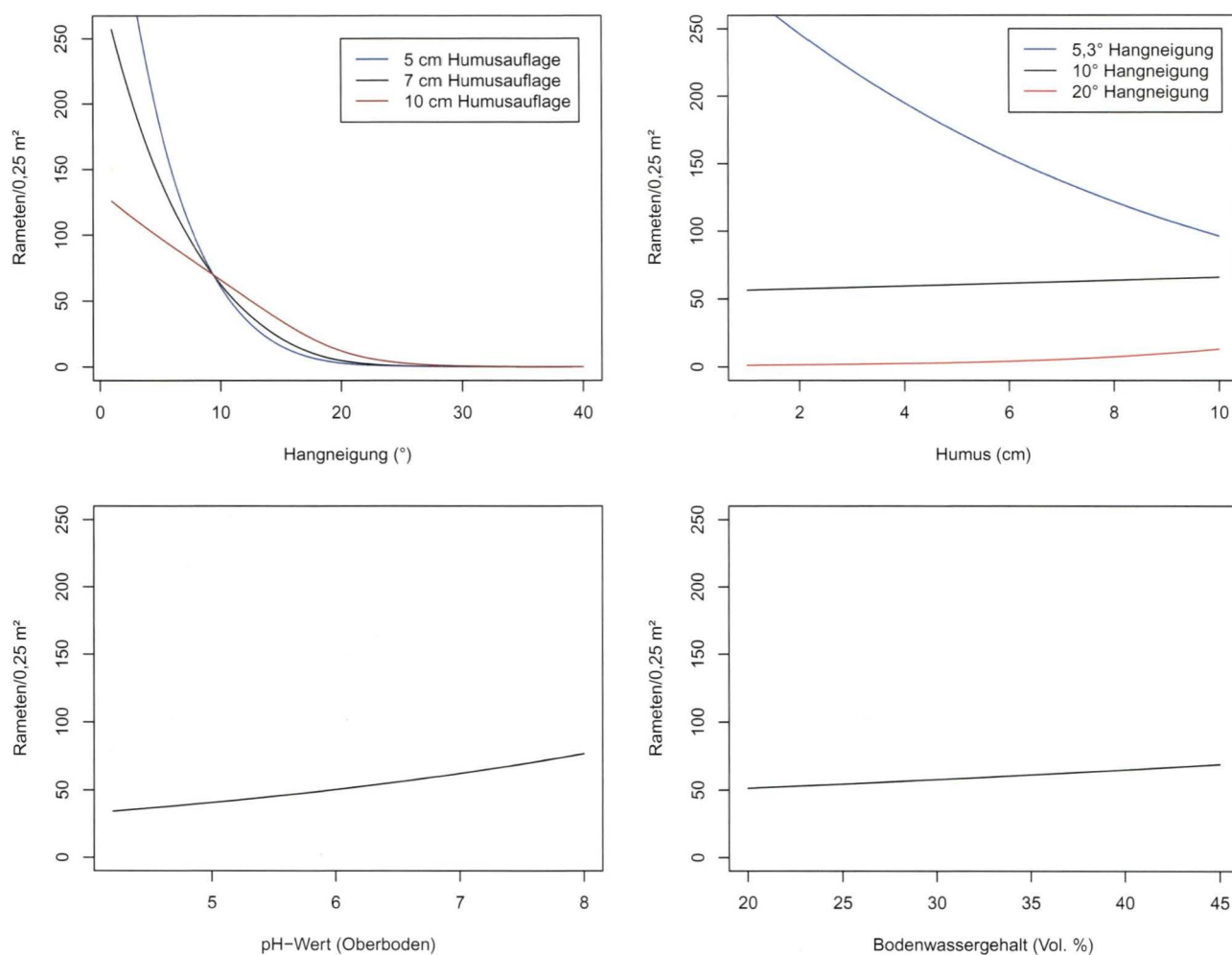


Abb. 2: Modellwerte zur Rametendichte von *Allium ursinum* in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltvariablen, links oben: Hangneigung, rechts oben Mächtigkeit der Humusauflage, links unten pH-Wert des Oberbodens, rechts unten: Bodenwassergehalt.

Humusauflage, pH-Wert des Oberbodens und Bodenfeuchte beeinflusst. Dabei gibt es eine Interaktion (IAT) zwischen Hangneigung und Mächtigkeit der Humusauflage (Tab. 1, Abb. 2). Insgesamt kann das statistische Modell 79 % der Varianz im Datensatz abbilden.

Bei der Modellvereinfachung entfielen die Variablen Phosphat-Gehalt (sehr geringe Werte gemessen), Deckung

der Baum-, Strauch- und Krautschicht, Mächtigkeit des Ah-Horizonts sowie die Humusform, die zwischen L-Mull und mullartigem Moder variierte. Zudem wurde eine Probestfläche aus der Analyse entfernt, da die Residuen sehr stark von der Verteilung der restlichen Residuen abwichen.

5 Diskussion

Die Hangneigung als wesentlicher Parameter für Vorkommen und Nichtvorkommen erklärt 51 % der Devianz (R^2 Nagelkerke = 0,66). Bei der Arbeit mit Freiland-Datensätzen bedeutet dieser R^2 -Wert einen sehr hohen Erklärungswert bezüglich der Habitateignung, da derartige Datensätze mit einem hohen Anteil an sogenanntem Rauschen behaftet sind. Gleiches gilt für den Erklärungswert von 79 % im Gesamtmodell, da manche Einflüsse wie Verbiss, Trittschäden oder auch Entnahme durch Menschen nicht repräsentativ im Modell abgebildet werden können (REINEKING U. SCHRÖDER 2004). Steile Hänge sind sehr wasserzünftig, daher trocknen sie schneller ab als Verflachungen (TARBOTON 2002). Der Anspruch des Bärlauchs an eine ausgeglichene Wasserversorgung ruft dieses Muster hervor (KĘSIK et al. 2011).

Die Hangneigung hat ebenfalls starken Einfluss auf die Dichte der Bestände. Die Dichte nimmt bei zunehmender Hangneigung rasch ab und ab 20° tritt fast kein Bärlauch mehr auf. Die Wechselwirkung mit der Mächtigkeit der Humusauflage rührt von der ausgleichenden Funktion der Auflage her – sie reduziert Temperaturschwankungen und verhindert rasche Austrocknung (KĘSIK et al. 2011). Ist die Humusauflage mächtiger, erlaubt sie bei steileren Hanglagen eine etwas höhere Dichte. Im flachen Relief reduziert eine mächtige Humusauflage dagegen die Dichte. Sie kann bei der Keimung ab einer gewissen Mächtigkeit hinderlich sein. Zudem bildet *Allium ursinum* bei einer mächtigeren Auflage einen längeren Blattstiel aus, muss also mehr in die Struktur investieren, was weniger effizient ist (KĘSIK et al. 2011).

Die schwach positive Wirkung der Bodenfeuchte lässt sich durch Vorteile für *Allium ursinum* bei besserer Wasserversorgung erklären. Die Art gilt als Frische- bis Nässezeiger (ELLENBERG et al. 2001). Aus den Momentaufnahmen zur Bodenfeuchte (Wassergehalte zwischen 20 und 45 %) lässt sich ableiten, dass es sich um durchgängig gut wasser versorgte Bereiche handelt. Dabei zeigen die hohen Werte nasse Verhältnisse mit zeitweise hypoxischen Bedingungen an. Bodenwassergehalte um 25 % im Monat Mai gelten als normal für *Allium ursinum*-Standorte (KĘSIK et al. 2011). Die positive Wirkung höherer pH-Werte ist mit der Eigenschaft von *Allium ursinum* als Schwachbasenzeiger gut zu erklären (ELLENBERG et al. 2001). Die gemessenen Phosphat-Werte waren durchgehend eher gering und ohne Auswirkung auf die Dichte der Bestände. Möglicherweise ist ein Großteil des Phosphats in Pflanzen gebunden und ist daher nicht im Oberboden nachweisbar. Für Nitrat ist dieser Zusammenhang nachgewiesen (OLSSON U. FALKENGREN-GRERUP 2003).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Bärlauch-Bestände nur an Osthängen mit variierender Ausrichtung nach NNE bis SSE untersucht. Unterschiede in der Erwärmung im Frühjahr und Frühsommer, die Unterschiede in der Evapotranspiration verursachen, entfalten in diesem Expositionsspektrum keine Wirkung. Der sehr geringe Einfluss dieser Variablen ist somit gut zu verstehen. Die Mächtigkeit des Ah-Horizonts wird nur gemeinsam mit der Hangex-

position im Modell wirksam. Daher wird auf beide Umweltvariablen zugunsten eines sparsamer parametrisierten Modells verzichtet. Es verbleibt so ein Verhältnis von mehr als 3 Proben pro Parameter wie allgemein empfohlen wird (CRAWLEY 2005).

Der topografische Feuchteindex (SAR), der zur Stratifizierung des Untersuchungsgebietes herangezogen wurde, zeigt ebenfalls signifikanten Erklärungswert für die Dichte der *Allium ursinum*-Bestände und bestätigt so die Arbeitshypothese des Einflusses der Wasserversorgung. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bodenmächtigkeiten und Wasserleitfähigkeiten im Untersuchungsgebiet, die in diesen Index nicht eingehen, könnten noch bessere Werte erreicht werden (vgl. BEVEN U. KIRKBY 1979).

Die Deckungswerte von Baum- und Strauchschicht entfalten keine messbare Wirkung. Da *Allium ursinum* als Frühjahrsgeophyt die Zeit nutzt, in der das Laub der Bäume und Sträucher nicht bzw. nicht voll entwickelt ist, bleibt die Wirkung wohl unwesentlich. Die Krautschicht korreliert mit der Dichte des Bärlauchs. Da sie überwiegend von dieser Art aufgebaut wird, entfällt sie als unabhängige Variable.

6 Schlussfolgerung

Die Untersuchung hat gezeigt, dass Auftreten und Dichte der *Allium ursinum*-Bestände an der Ostseite des Kaiserstuhls zu nahezu 80 % mit den Umweltvariablen Hangneigung, Mächtigkeit der Humusauflage, pH-Wert des Oberbodens und Bodenwassergehalt erklärt werden können. Um das Ergebnis weiter verallgemeinern zu können, müsste es durch Untersuchungen auf Hängen der hier nicht erfassten Expositionen bestätigt werden. Für das weitere Verständnis des Aufbaus der Bestände werden populationsbiologische Untersuchungen nötig.

Dank

Wir bedanken uns bei Frank Bode für die freundliche Überarbeitung des Abstracts.

Quellen

- BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. (1979): A physically based variable contributing area model of catchment hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24, 43-69.
- BŁAŻEWICZ-WOŹNIAK, M.; KĘSIK, T.; MICHOWSKA, A.E. (2011): Flowering of Bear Garlic (*Allium ursinum* L.) cultivated in the field at varied nitrogen nutrition and mulching. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 10 (3), 133-144.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg. 2012): FloraWeb - Daten und Informationen zu Wildpflanzen und zur Vegetation Deutschlands. Internetquelle: URL: <http://www.floraweb.de>. Zugriff: 10.06.2012.
- CRAWLEY, M. (2005): *Statistics, an introduction using R*. Cambridge (Cambridge University Press).

- EGGERT, A. (1985): Zur Ökologie der Krautschichtvegetation in einem Bärlauch-Kalkbuchenwald. Dissertation Universität Göttingen, Mat.-naturw. Fachbereich. 232 S.
- EGGERT, A. (1992): Dry matter economy and reproduction of a temperate forest spring geophyte, *Allium ursinum*. *Ecography* 15 (1), 45-55.
- ELLENBERG, H.; WEBER, H.E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3. Aufl. Göttingen (Goltze).
- ELLENBERG, H.; LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6. Aufl. Stuttgart (Ulmer).
- ERNST, W.H.O. (1979): Population biology of *Allium ursinum* in northern Germany. *Journal of Ecology* 67, 347-362.
- FÜLLEKRUG, E. (1990): Der Anteil der vegetativen Vermehrung von *Allium ursinum* in der Bärlauch-Fazies. *Tuexenia* 10, 401-407.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg. 2011): Digitale Bodenkarte im Maßstab 1:50.000, Ausschnitt Kaiserstuhl.
- JACKMAN, S.; TAHK, A.; ZEILEIS, A.; MAIMONE, C.; FEARON, J. (2009): The pscl Package - Political Science Computational Laboratory, Stanford University. Version 1.03. Internetquelle: URL: <http://pscl.stanford.edu/>. Zugriff: 15.07.2011.
- KĘSIK, T.; BŁĄŻEWICZ-WOŹNIAK, M.; MICHOWSKA, A.E. (2011): Influence of mulching and nitrogen nutrition on Bear Garlic (*Allium ursinum* L.) growth. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 10 (3), 211-233.
- MORSCHHAUSER, T.; RUDOLF, K.; BOTTA-DUKÁT, Z.; OBORNY, B. (2009): Density-dependence in the establishment of juvenile *Allium ursinum* individuals in a monodominant stand of conspecific adults. *Acta Oecologica* 35, 621-629.
- OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. Stuttgart (Ulmer).
- OLSSON, M.O.; FALKENGREN-GRERUP, U. (2003): Partitioning of nitrate uptake between trees and understory in oak forests. *Forest Ecology and Management* 179, 311-320.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien. Internetquelle: URL: <http://www.R-project.org>. Zugriff: 15.07.2011.
- REINEKING, B.; SCHRÖDER, B. (2004): Gütemaße für Habitatmodelle. In: DORMANN, C.; LAUSCH, A.; SCHRÖDER, B.; SÖNDGERATH, D.; BLASCHKE, T. (Hrsg.): Habitatmodellierung. UFZ-Bericht 9/2004, 27-37.
- TARBOTON, D.G. (2002): Terrain analysis using digital elevation models (TauDEM). Utah (Logan).
- TUTIN, T.G. (1957): *Allium ursinum* L. *Journal of Ecology* 45, 1003-1010.
- WILMANN, O. (2009): Die Lebensräume und ihre Vegetation. In: REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (Hrsg.): Der Kaiserstuhl, einzigartige Löss- und Vulkanlandschaft am Oberrhein. Ostfildern (Thorbecke), 131-240.

Anhang

Tab. A1: Statistisches Modell

Verteilung der Residuen:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.9562	-1.2029	-0.1388	1.1483	6.1330
Koeffizienten zur Dichte der Bestände (Poisson mit log Link):				
	Schätzwert	Std.Fehler	z-Wert	Pr(> z)
(Achsenabschnitt)	5.679433	0.268244	21.173	< 0.0001***
SAR	-6.710006	2.054900	-3.265	0.00109**
Hangneigung	-0.340231	0.020795	-16.362	< 0.0001***
Humusauflage [cm]	-0.266835	0.018270	-14.605	< 0.0001***
pH	0.211582	0.020664	10.239	< 0.0001***
Bodenfeuchte [Vol%]	0.011840	0.003079	3.846	0.00012***
IAT: Hangneigung & Humusauflage	0.028399	0.002472	11.488	< 0.0001***
Koeffizienten des Hürden-Teils (binomial mit logit Link):				
	Schätzwert	Std.Fehler	z-Wert	Pr(> z)
(Achsenabschnitt)	4.53382	1.50839	3.006	0.00265**
Hangneigung	-0.27442	0.09906	-2.770	0.00560**

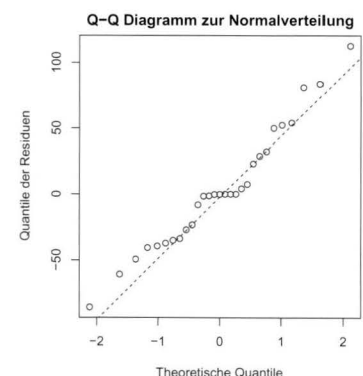


Abb. A1: Diagnostische Diagramme, oben: Verteilung der Residuen gegen die prognostizierten Werte, unten: Q-Q-Plot zu den Residuen.