

Klimatische Modellierung des Areal von *Scleranthus annuus*

MATTHIAS H. HOFFMANN

Abstrakt: Climatic modelling of the distribution range of *Scleranthus annuus*

A climatic model of the distribution range of *Scleranthus annuus* L. is presented. This model uses the whole archeophytic range of the species and the monthly means of precipitation and temperature. The frequency distribution of the range and a buffer area along the climatic gradients are calculated. Data are presented in frequency diagrams. The buffer area proved to be valuable in assessing the climatic range boundaries where the range is not limited by environmental factors but by geography, i.e. absence of more available areas. In the frequency diagrams sharp and gradual climatic range boundaries have been observed and discussed. The climatic model and the range of *Scleranthus annuus* have considerable congruencies in its archeophytic and its neophytic North American parts. Climate modelling of plant distribution ranges provide a possibility for predicting adventitious ranges of exotic plants. However, suitable climate is certainly an important parameter for adventitious behaviour but is modulated by other factors and peculiarities of the plants.

1. Einleitung

Die Prognose des Invasions- und Ausbreitungspotentials von Adventivpflanzen ist von großer wirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Bedeutung. Trotz jahrhundertlanger Handels- und Verkehrsbeziehungen mit allen Teilen der Welt treten in Mitteleuropa immer noch neue Pflanzenarten auf, von denen *a priori* nicht bekannt ist, ob sie wirtschaftliche Einbußen herbeiführen können oder die indigene Flora und Vegetation beeinflussen werden. WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998) geben z. B. für Deutschland etwa 430 Arten an, die in den letzten 500 Jahren eingebürgert wurden. Von etwa 100 weiteren Arten wird angenommen, dass sie in Einbürgerung begriffen bzw. lokal schon eingebürgert sind (WISSKIRCHEN & HAEUPLER 1998). Die biologische Diversität der adventiven Arten und ihre verschiedenen Herkünfte sind wohl Gründe dafür, dass trotz einer sehr umfangreichen Literatur zum Thema pflanzlicher Invasionen bisher kaum verlässliche Prognosen über zukünftiges Verhalten gebietsfremder Arten möglich sind.

In dieser Untersuchung wird eine neue Methode zur klimatischen Modellierung und Auswertung von Pflanzenarealen dargestellt. Das Potential dieser Methode als Prognosewerkzeug zur Abschätzung synanthropen Verhaltens und potentieller synanthroper Areale wird diskutiert. Als Modell dient das nordhemisphärische Areal von *Scleranthus annuus* L. (Caryophyllaceae), einer inzwischen nahezu weltweit verbreiteten Ruderal- und Segetalpflanze. *Scleranthus annuus* ist einheimisch in Europa und Nordafrika, das natürliche Areal lässt sich aber kaum vom synanthrop erweiterten Areal in Europa trennen. Aus diesem Grunde wird das mehr oder weniger kohärente europäische und nordafrikanische Areal als das archäophytische und somit natürliche Areal betrachtet (das Areal innerhalb des Puffers, siehe Abb. 3a).

Dietmar Brandes (Hrsg.): Adventivpflanzen. Beiträge zu Biologie, Vorkommen und Ausbreitungsdynamik von Archäophyten und Neophyten in Mitteleuropa. Tagungsbericht des Braunschweiger Kolloquiums vom 3. - 5. November 2000. Braunschweig. S. 169-178. (Braunschweiger Geobotanische Arbeiten, 8.) ISBN 3-927115-48-7
© Universitätsbibliothek Braunschweig 2001

Arealgröße und Klima sind nach REJMÁNEK (1995) die wichtigsten Parameter, aus denen sich Invasivität von Pflanzenarten vorhersagen lässt. Mit Sicherheit sind das aber nur Teilaspekte, da stets mehrere Faktoren für eine erfolgreiche Etablierung notwendig sind (BÖCKER et al. 1995). BAKER (1965) führt zahlreiche Merkmalskomplexe auf, die bei synanthropen Arten häufig beobachtet werden, und die in der Folgezeit von vielen Autoren wesentlich erweitert wurden. Diese Merkmale werden bei erfolgreichen Neophyten aber in unterschiedlichen Kombinationen angetroffen (JÄGER 1977).

Das Klima wird im globalen Analysemaßstab als wichtigster arealbegrenzender Faktor angesehen (z. B. BOX et al. 1993, HOFFMANN 1998, 1999, 2000, JÄGER 1990, 1992, WOODWARD 1987). Diese Ansicht wird u. a. durch lokale Untersuchungen gestützt, die Oszillationen des Arealrandes in Abhängigkeit von kurzfristigen Klimaschwankungen belegen (z. B. KULLMAN 1996, VILLALBA & VELEN 1997). Ein weiteres Indiz für die Gültigkeit dieser Annahme ist der Verlauf der Ausbreitung zahlreicher Neophyten. Nach einiger Zeit starker Arealexpansion kommt die Ausbreitung dieser Arten mehr oder weniger zum Stillstand (JÄGER 1992). Besonders bei Neophyten, die weltweit verbreitete, relativ konkurrenzarme und edaphisch ähnliche Ruderal- und Segetalstandorte besiedeln, muss das Klima als wesentlicher ökologischer Faktor der Arealgrenzen angesehen werden. Ephemere Vorkommen außerhalb des neu besiedelten Areals belegen, dass diese Sippen zwar über ihre potentiellen Arealgrenzen hinaus verschleppt wurden, dass sie in klimatisch ungeeigneten Gebieten aber keine dauerhaften Etablierungs- und Expansionsmöglichkeiten finden. Ausbreitungsschranken besitzen hier also eine deutlich untergeordnete Bedeutung.

Dass sich Areale mit Klimafaktoren modellieren lassen, ist ein weiteres Indiz für die Gültigkeit der Annahme klimatischer Arealbegrenzung (z. B. HUNTLEY et al. 1995, SYKES et al. 1996). Im lokalen und regionalen Maßstab nehmen allerdings weitere Faktoren (z. B. edaphische Faktoren, Mikroklima) an Bedeutung zu (JÄGER 1992).

Die Modellierung von Pflanzenarealen wurde bisher hauptsächlich vor dem Hintergrund möglicher anthropogener Klimaänderungen (z. B. HUNTLEY et al. 1995, SYKES et al. 1996) und der Berechnung günstiger Anbauggebiete von Forstbäumen (BOOTH 1991, BOOTH & JONES 1998) durchgeführt. Vom Prinzip her die gleiche Methodik wurde für die Bestimmung klimatisch günstiger Herkunftgebiete von Forstbaumarten angewandt (BOOTH et al. 1987). PANETTA & MITCHELL (1991) modellieren potentielle Verbreitungsgebiete synanthroper Arten in Neuseeland. Als Grundlage für diese Analyse dienten Daten einzelner Klimastationen in Australien, in deren Nähe die drei untersuchten Arten verbreitet sind. Damit wurde der Klimaraum von bereits erfolgreich etablierten Vorkommen bzw. Biotypen erfasst und auf Neuseeland übertragen. Dieses Verfahren ist insofern problematisch, indem nicht konsequent der gesamte Klimaraum der Arten für eine Modellierung verwendet wurde. Eine Etablierung anderer Biotypen aus dem Heimatareal, die aus klimatischen Gründen in Australien fehlen, kann mit dieser Methode nicht ausgeschlossen werden.

BEERLING et al. (1995) modellieren das synanthrope europäische Teilareal von *Fallopia japonica* mittels der 'climatic response surfaces' (BARTLEIN et al. 1986). Für Europa stimmen aktuelles und modelliertes Areal gut überein. Der Versuch, das ostasiatische Heimatareal mittels der Klimawerte zu modellieren, weist allerdings einige Schwächen auf (zur Gesamtverbreitung siehe auch JÄGER 1995). Das ostasiatische Areal ist nach dieser Rückmodellierung klimatisch nur an verhältnismäßig wenigen Stellen dem europäischen Areal entsprechend. Es liegen große, dem europäischen Klimaraum entsprechende Gebiete außerhalb bzw. randlich des Heimatareals von *F. japonica*. Dieses kann verschiedene Ursachen besitzen: zu geringe Anzahl an verwendeten Klimafaktoren, die den klimatischen Ost-West-Rhythmus nicht genügend widerspiegeln (in dieser Untersuchung wurden nur drei Klimaparameter verwendet; siehe auch JÄGER 1995), Interpolationsschwächen der Klimaraster in Gebirgsregionen oder die Einschleppung bestimmter Biotypen nach Europa, die nicht dem gesamten ostasiatischen Biotypenreichtum entsprechen. Letzteres würde bedeuten, dass sich in Europa bei Einschleppung weiterer Biotypen neue Arealexpansionen anschließen könnten.

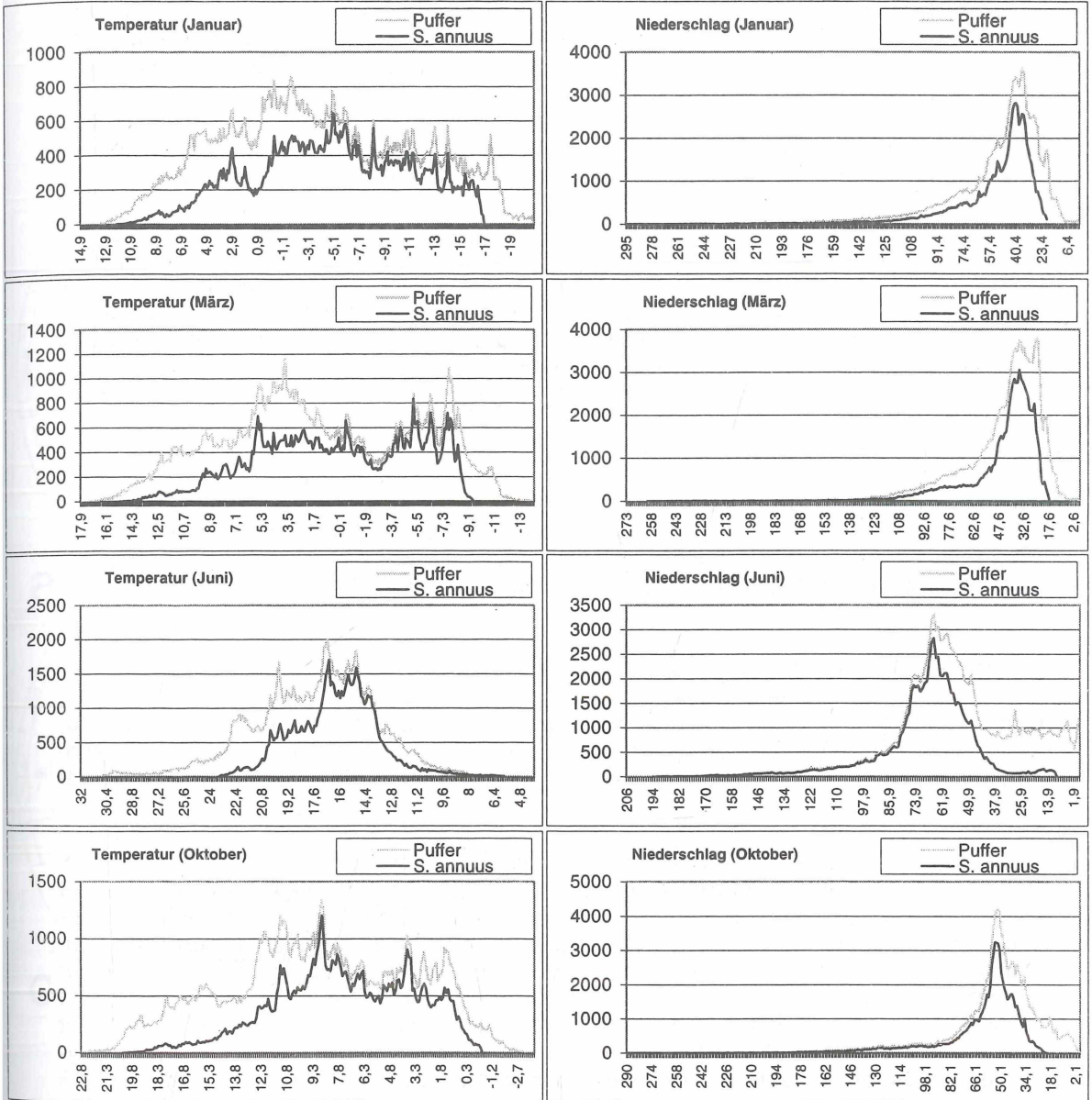


Abb. 1: Einige Frequenz-Diagramme von *Scleranthus annuus* (schwarze Linie) und dem Pufferareal (graue Linie). Die Abszisse gibt den klimatischen Bereich der mittleren monatlichen Werte des Niederschlags und der Temperatur an, in dem die Art vorkommt. Die Ordinate gibt die Anzahl der besiedelten Rasterzellen an.

Diese Untersuchungen belegen, dass für eine Erfassung des gesamten Klimaraumes der Arten die Gesamtareale verwendet werden müssen (siehe auch HOFFMANN et al. 1998). Weiterhin sind für eine Modellierung Klimafaktoren notwendig, die den Klimaverlauf des gesamten Jahres widerspiegeln.

2. Material und Methoden

Areal- und Klimakarten

Die Arealkarte von *Scleranthus annuus* wurde in der Arbeitsgruppe von E. J. JÄGER, Halle/Saale, erstellt und durch neuere Angaben zur Verbreitung leicht überarbeitet (zur Methodik der Kartierung siehe HOFFMANN & WELK 1999). Die Klimadaten wurden freundlicherweise von W. Cramer (Potsdam Institut für Klimafolgenforschung) zur Verfügung gestellt. Die Daten liegen im Raster von $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ für die langjährigen Monatsmittelwerte der Temperatur und des Niederschlages vor. Diese Berechnungen könnten auch für Klimaindizes durchgeführt werden; es ist dabei zu erwarten, dass eine den Basisdaten der Temperatur und des Niederschlages entsprechende Häufigkeitsverteilung beobachtet werden kann. Alle kartographischen Arbeiten wurden mit dem Geographischen Informationssystem Arc/Info (ESRI 1992) durchgeführt.

In die Untersuchung wurde ein Pufferareal eingeführt, das willkürlich und etwa im gleichen Abstand um das archäophytische Areal von *Scleranthus annuus* angeordnet ist. Mit diesem Pufferareal kann überprüft werden, ob die Art in einzelnen Dimensionen des Klimaraumes alle vorhandenen Gebiete besiedelt, und das Areal somit nicht unmittelbar klimatisch begrenzt wird oder ob klimatische Arealgrenzen wirken.

Berechnung der Frequenz-Diagramme

Für die Berechnung der Frequenz-Diagramme wurde die Verteilung der archäophytischen Vorkommen von *Scleranthus annuus* und des Pufferareals in Intervallen von 0,1 K für die Temperatur und 1 mm für den Niederschlag berechnet. Diese Verteilung entspricht den relativen Häufigkeiten des Vorkommens der Art entlang der Klimagradiënten.

Klimatische Modellierung des Areals

Aus den Kurven der Frequenz-Diagramme wurden graphisch die klimatischen Intervalle für die Modellierung der Areale abgeleitet. Als Fixpunkte dienten nach Möglichkeit die Wendepunkte in steilen Kurvenverläufen. Das erhaltene Intervall stellt das klimatische Kernareal der Art dar.

Dieses klimatische Intervall wird dazu benutzt, alle darin liegenden Rasterfelder aus den Klimakarten auszuwählen. Liegt ein Rasterfeld in diesem Bereich, erhält es den Wert "1", sonst erhält es den Wert "0". Dieses Verfahren wird für alle 24 Monatswerte durchgeführt. Im Anschluss daran werden die 24 Karten "übereinandergelegt" und zellweise addiert (Abb. 3b). Durch die graphische Auswahl des Intervalls aus den Frequenz-Diagrammen können Fehler entstehen, die es notwendig machen, das klimatische Kernareal zu "optimieren", d. h. durch leichte Variation des Intervalls an das kartierte Areal anzugleichen. Die Optimierung wurde mit Hilfe des Jaccard-Index überprüft: $I_j = c / (a + b - c)$; mit a - Anzahl der Zellen des archäophytischen Areals; b - Anzahl der Zellen des modellierten Areals in Europa und Nordafrika; c - Anzahl der gemeinsamen Zellen von Areal und Modell.

3. Resultate

Frequenz-Diagramme

Einige Frequenz-Diagramme der relativen Häufigkeiten des Vorkommens von *Scleranthus annuus* entlang der einzelnen Klimagradiënten sind in Abb. 1 dargestellt. Jedes FD besitzt einen charakteristischen Kurvenverlauf, der für jeden Monat und jedes Areal verschieden ist.

Das resultiert aus der voneinander verschiedenen Lage der Areale im Klimaraum der Erde und dem unterschiedlichen Verlauf der einzelnen Klimaisolinien. Ausnahmen von dieser Regel könnten nur bei identischen Arealen beobachtet werden. In ihrer Form ähneln die Kurven ökologischen und evolutionären Modellen mit Optima, unterschiedlich weiter Streuung und verschieden steilen Flanken (z. B. HENGEVELD 1990). Trotz der Unterschiede in den Frequenz-Diagrammen finden sich wiederkehrende Gemeinsamkeiten: ein- und mehrgipfelige Kurven (z. B. Januar- und März-niederschlag, bzw. Märztemperatur) und Kurven mit geringer und großer Steigung (z. B. Januartemperatur bzw. Oktobertemperatur).

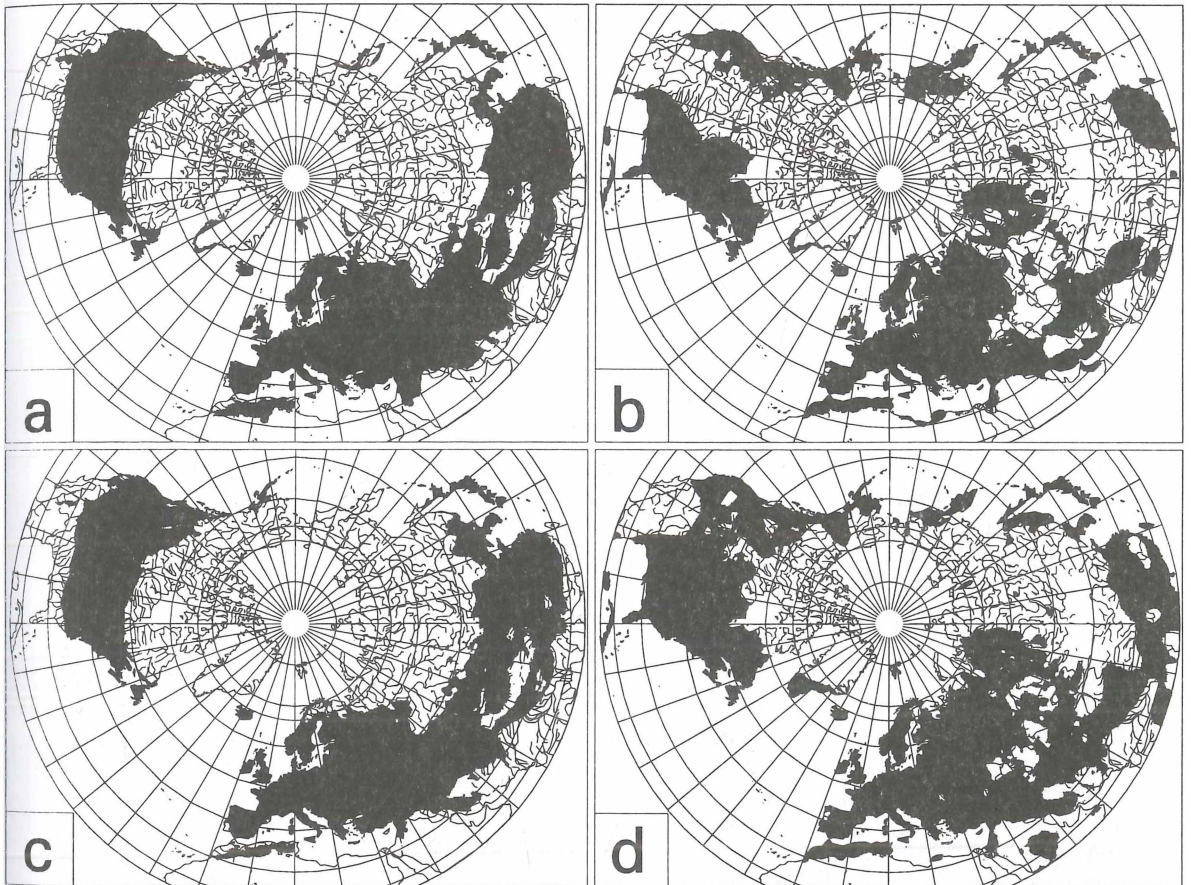


Abb. 2: Verbreitung einzelner klimatisch günstiger Intervalle auf der Nordhemisphäre. Grau dargestellt sind die klimatisch günstigen Gebiete bezüglich des entsprechenden Faktors. a) Januartemperatur ($-16,7 - 9,2$ °C), b) Januarniederschlag (22 – 180 mm), c) Märztemperatur ($-8,8 - 12,2$ °C), d) März-niederschlag (19 – 165 mm).

Modellierung des Areal von *Scleranthus annuus*

Einzelne Monatswerte sind nicht ausreichend, um das Areal von *Scleranthus annuus* klimatisch zu modellieren. In Abb. 2 sind alle Rasterzellen der Temperaturen und Niederschläge der Monate Januar und März dargestellt, die im klimatisch günstigen Intervall für die Art liegen. Diese Karten zeigen deutlich, wo die betreffenden Klimafaktoren am Areal limitierend wirken.

Abbildung 3b zeigt das klimatische Modell des Areal von *Scleranthus annuus*. Der Jaccard-Index für das archäophytische Areal und das entsprechende Gebiet, in dem alle 24 Monatswerte das Vorkommen der Art unterstützen, beträgt 76%. Um dieses Gebiet sind schalenartig die Gebiete angeordnet, in denen ein oder mehrere Klimawerte für das Vorkommen der Arten ungünstig sind. Die Modellierung spiegelt neben dem archäophytischen Areal auch die synanthropen Teilareale in Amerika wider. Dieses kann als Hinweis für die Gültigkeit der Annahme gelten, dass das Klima im globalen Maßstab der wichtigste arealbegrenzende Faktor ist. Vorkommen in Sibirien und Ostasien belegen, dass *Scleranthus annuus* in diesen Gebieten „angekommen ist“, aber aufgrund des ungünstigen Klimas keine besonderen Etablierungschancen besitzt.

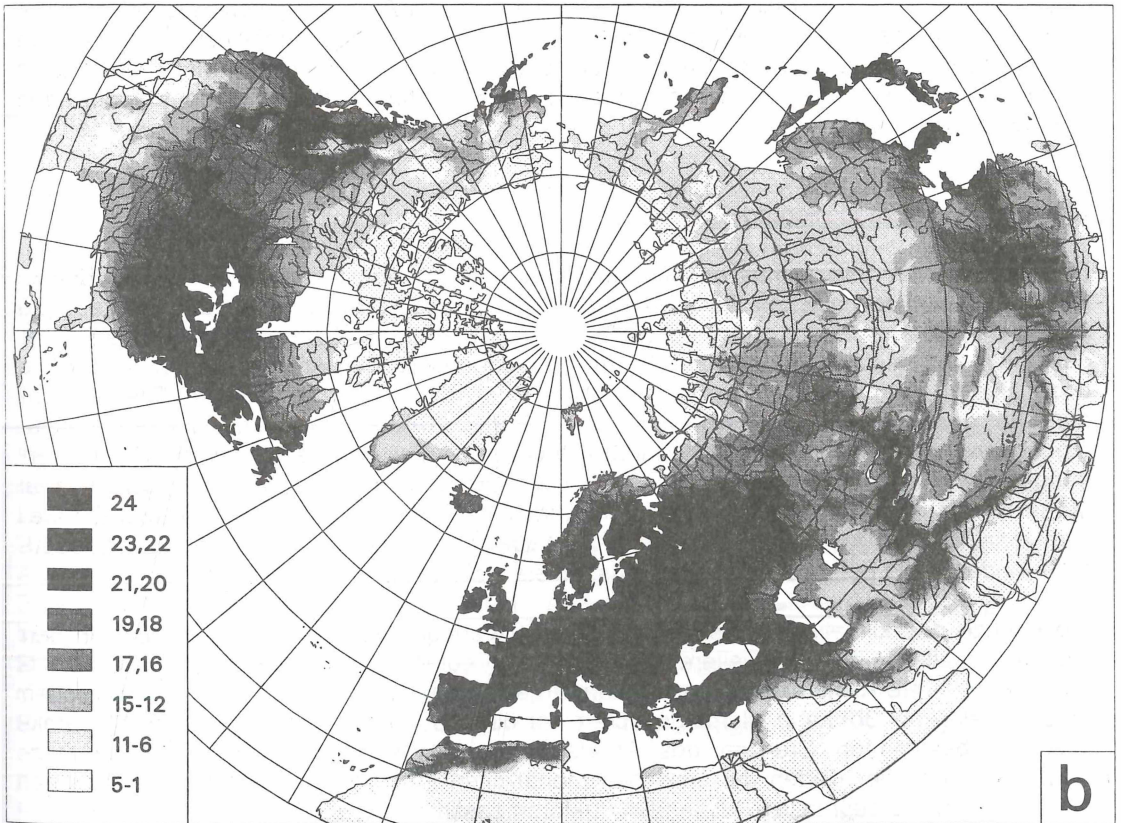
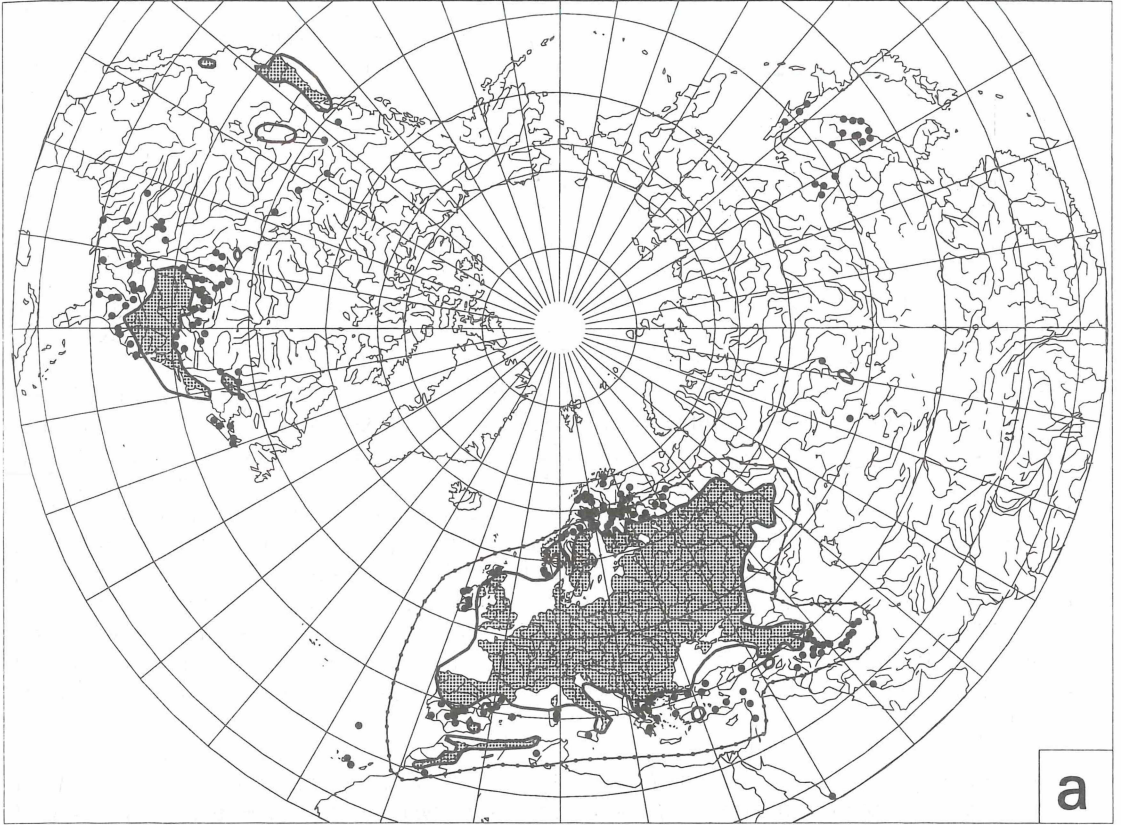
Die Verbreitung der Art im Alpenraum wird vom Modell nur ungenügend widergespiegelt. Eine Ursache dafür ist die Höhenverbreitung der Art und die davon abweichende Höhenlage des Klimarasters. Beispielsweise ist *Scleranthus annuus* in Österreich in der collinen und montanen Stufe verbreitet (Fischer 1994). Die Rasterdaten für die Alpen liegen aber hauptsächlich für Höhen über 1500 m vor. Klimatisch günstige Gebiete, in denen *Scleranthus annuus* offenbar noch nicht weit verbreitet ist, befinden sich in den mittelasiatischen Gebirgen. Neuere Daten über die mittelasiatische Verbreitung der Art liegen nicht vor. Probleme mit der Höhenverbreitung der Art und der Höhenlage der Raster können nicht ausgeschlossen werden. Gleiches gilt für das westamerikanische Teilareal und besonders für die Verbreitung der Art in Kalifornien.

4. Diskussion

Frequenz-Diagramme

Die Verteilung der Vorkommen von Arten entlang klimatischer Gradienten kann mit Hilfe der Frequenz-Diagramme unmittelbar und reproduzierbar erfasst werden. Die Verwendung eines Pufferareals ist von besonderer Bedeutung für die Abschätzung des Klimaeinflusses auf die Arealgrenzen (Abb. 1). Der Puffer zeigt, ob von der zu untersuchenden Art alle möglichen Rasterzellen in den einzelnen Dimensionen des Klimaraumes besiedelt werden (Grad der Kongruenz zwischen der Kurve des Puffers und der Art). Ohne diesen Puffer könnte eine Arealbegrenzung von *Scleranthus annuus* durch hohe Niederschlagsmengen im Sommer (z. B. Juni) und Herbst (z. B. Oktober) vermutet werden. In diesem Bereich werden aber nahezu alle Gebiete (Rasterzellen) besiedelt, d.h. wären weitere geographische Gebiete mit diesen Klimawerten vorhanden, könnten diese wahrscheinlich auch von *Scleranthus annuus* besiedelt werden. Der Abstand zwischen den Kurven des Puffers und der Art auf der anderen Seite dieser Diagramme bedeutet, dass in diesem Bereich mehr Gebiete in den einzelnen Klimaintervallen vorhanden sind, als von der Art besiedelt werden. Kurven mit mehreren Maxima im zentralen Teil des Frequenz-Diagramms (z. B. März- und Oktobertemperatur) bedeuten, dass sich in diesem Intervall mindestens ein steiler klimatischer Gradient befindet (vergleichbar mit eng liegenden Isolinien). Sind die Kurven von Puffer und Art dort einander stark genähert, werden wieder nahezu alle klimatisch günstigen Gebiete von der Art besiedelt. Da sich dieser Bereich aber offensichtlich nahe des klimatischen Optimums der Art befindet, bedeutet das keine klimatische Begrenzung des Areal.

Abb. 3 (rechts): Verbreitungsgebiet, Puffer und klimatisches Modell von *Scleranthus annuus*. a) Areal von *Scleranthus annuus*. Offene Kreise geben geographisch ungenaue Angaben an. Das Areal innerhalb der Knotenlinie (Pufferareal) wird als das archäophytische Areal der Art definiert. b) Klimatisches Modell des Verbreitungsgebietes von *Scleranthus annuus*. Das schwarze Areal ist das Gebiet, in dem alle 24 Monatswerte ein Vorkommen der Art unterstützen. Zur besseren Auflösung der Karte sind Monate zusammengefasst worden. Die Legende gibt die entsprechende Anzahl der klimatisch günstigen Monate an.



Die Steigung der Kurven ist für die Abschätzung des Ausbreitungspotentials von Pflanzen von besonderer Bedeutung. Steile Kurvenverläufe in den Frequenz-Diagrammen, d.h. eine schnelle Abnahme von besiedelten Rasterzellen innerhalb eines kleinen klimatischen Intervalls deuten darauf hin, dass besonders dieser Klimafaktor arealbegrenzend wirkt (scharfe klimatische Arealgrenze). Dem entspricht ein langer paralleler Verlauf von Isolinien und Arealgrenze. Im Gegensatz dazu deuten flache Kurven auf einen Klimafaktor von untergeordneter Bedeutung für die Begrenzung eines Areals hin bzw. entsteht diese flache Kurve durch Überlagerung mit anderen Klimafaktoren. Die Vorkommen der Pflanze nehmen entlang dieses Klimagradienten langsam ab bzw. zu (graduelle klimatische Grenze). Ursachen für diese flachen Kurvenverläufe können unter Umständen auch eng liegende Isolinien an Gebirgen sein. Schneiden die Isolinien des entsprechenden Monats das Areal im spitzen Winkel, ergibt sich ebenfalls ein flacher Kurvenverlauf.

Scharfe klimatische Arealgrenzen bedeuten, dass die Art offensichtlich sehr empfindlich auf diesen Klimafaktor ab einem bestimmten Bereich reagiert. Die ökologische Konstitution der Art erlaubt offensichtlich kaum eine Ausbreitung in die klimatisch ungünstigeren Gebiete. Vermutlich sind ökologisch wirksame evolutionäre Veränderungen in der ökologischen Konstitution der Art notwendig, um diese klimatische Arealgrenze überwinden zu können. Eine massive Ausbreitung der Art in diese Gebiete ist beim gegenwärtigen evolutionären Status der Sippe nicht zu erwarten. Mangelnde Verfügbarkeit von Diasporen und das Fehlen von potentiellen Wuchsorten ist für *Scleranthus annuus* wohl kaum arealbegrenzend. Graduelle klimatische Arealgrenzen könnten im Gegensatz zu den scharfen klimatischen Arealgrenzen möglicherweise relativ leicht überwunden werden, da nur die Summe der Klimawirkungen zu einer Arealbegrenzung führt. Eine Ausbreitung der Art in diese Gebiete könnte leichter möglich sein.

Konkurrenz wäre ein Faktor, der unter Umständen eine scharfe klimatische Grenze bedingen könnte. Konkurrenz und andere biologische Faktoren beeinflussen die Pflanzen überall und sind in der ökologischen bzw. klimatischen Konstitution der Arten eingeschlossen. Diese biologischen Faktoren sind selbst vom jeweils herrschenden Klima beeinflusst. Der explizite Einschluss der biotischen Faktoren unterscheidet die mit der verwendeten Methode erfasste ökologische Konstitution von der physiologischen Konstitution, die im ökophysiologischen Experiment erfasst werden kann.

Klimatische Arealmodellierung

Das Beispiel von *Scleranthus annuus* zeigt das Potential von klimatischen Arealmodellen. Abgesehen von technischen Schwierigkeiten wie z. B. der Höhenverbreitung in Gebirgen zeigen klimatisches Modell und Areal große Ähnlichkeiten. Ausgehend von der Erfassung der gesamten ökologischen Konstitution der Art im archäophytischen Areal lassen sich auch die beobachteten neophytischen Verbreitungsgebiete in Amerika gut modellieren. Die Verwendung der gesamten klimatischen Amplitude im archäophytischen Areal ist für Ausbreitungsprognosen besonders wichtig, da dadurch alle Ökotypen der Art erfasst werden. Dieser Vermutung liegt die Annahme zugrunde, dass die Variabilität der Art im archäophytischen Areal größer ist als im synanthropen Teilareal, da möglicherweise nur ein Ausschnitt aus der Gesamtvariabilität der Art verschleppt wurde. Die Verwendung von Teilarealen für die prognostische Modellierung potentieller Verbreitungsgebiete stellt somit eine große Fehlerquelle dar.

Die Grenze des klimatisch günstigen Gebietes (Überlagerung aller 24 Werte) wird in den meisten Arealteilen eng von weiteren Klimagrenzen begleitet. Das bedeutet, dass offensichtlich stets mehrere Klimafaktoren gemeinsam arealbegrenzend wirken. Aus dem klimatischen Arealmodell (Abb. 3b) kann allerdings nicht mehr direkt abgelesen werden, welche Klimafaktoren an bestimmten Grenzen des Areals wirken. Unter Hinzuziehung der Frequenz-Diagramme und der Karten der einzelnen monatlichen Intervalle können aber die an einer bestimmten Stelle begrenzend wirkenden Faktoren bestimmt werden.

In erster Näherung kann die Anzahl der für ein Vorkommen günstigen Monate als Maß für die Wahrscheinlichkeit des massiven Auftretens der Art dienen. Zahlreiche aber offensichtlich

ephemere Vorkommen von *Scleranthus annuus* in Ostasien und im zentralen Nordamerika belegen die Annahme, dass *Scleranthus annuus* bis in diese Gebiete verschleppt wurde, kimageographisch dort aber kaum eine Überlebenschance besitzt. Beispielsweise liegen Mittelasien und das zentrale Nordamerika aufgrund der Januarniederschlagsmengen und Sibirien durch die Winter- und Frühjahrstemperaturen außerhalb des klimatisch günstigen Intervalls (siehe Abb. 1 und 2).

5. Zusammenfassung

Die Modellierung von Verbreitungsgebieten bietet eine Möglichkeit zur Prognose der Ausbreitung synanthroper Arten. Für diesen prognostischen Ansatz müssen die Gesamtareale der Arten verwendet werden, um den gesamten Klimaraum der Sippe zu erfassen. Klimatisch günstige bzw. ungünstige Gebiete für das Vorkommen der Arten auf anderen Kontinenten oder Teilkontinenten können damit bestimmt werden. Mit einem günstigen Klima ist für die entsprechende Art eine wichtige Voraussetzung für eine dauerhafte Etablierung und Ausbreitung gegeben. Das Vorkommen begünstigende Klima ist allerdings nur ein biologisch relevanter Parameter für synanthropes und expansives Verhalten der Arten in anderen Gebieten. Systematische, morphologische und ökologische Untersuchungen zur Biologie der Arten sind für eine umfassende Prognose notwendig.

6. Danksagung

Ich danke Herrn W. Cramer (Potsdam Institut für Klimafolgenforschung) für die Klimadaten und Herrn E. J. Jäger (Halle/Saale) für Diskussionen. Die Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt.

7. Literatur

- BAKER, H.G. (1965): Characteristics and modes of origin of weeds. In: H.G. BAKER & G.L. STEBBINS (eds.): The genetics of colonizing species. - New York, London, S. 147-168.
- BARTLEIN, P.J., I.C. PRENTICE & T. WEBB III (1986): Climatic response surfaces from pollen data for some eastern North American taxa. - J. Biogeogr., 13: 35-57.
- BEERLING, D.J., B. HUNTLEY & J.P. BAILEY (1995): Climate and the distribution of *Fallopia japonica*: use of an introduced species to test the predictive capacity of response surfaces. - J. Veg. Sci., 6: 269-282.
- BÖCKER, R., H. GEBHARDT, W. KONOLD & S. SCHMIDT-FISCHER (1995): Neophyten - Gefahr für die Natur? Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick. In: BÖCKER, R., H. GEBHARDT, W. KONOLD & S. SCHMIDT-FISCHER (Hrsg.): Gebietsfremde Pflanzen. Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management. - Landsberg, S. 209-215.
- BOOTH, T.H. (1991): A climatic/edaphic database and plant growth index prediction system for Africa. - Ecol. Modelling, 56: 127-134.
- BOOTH, T.H. & P.G. JONES (1998): Identifying climatically suitable areas for growing particular trees in Latin America. - Forest Ecol. Management, 108: 167-173.
- BOOTH, T.H., H.A. NIX & M.F. HUTCHINSON (1987): Grid matching: a new method for homoclimate analysis. - Agric. Forest Meteorology, 39: 241-255.
- BOX, E.O., D.W. CRUMPACKER & E.D. HARDIN (1993): A climatic model for location of plant species in Florida, U.S.A. J. Biogeogr., 20: 629-644.
- ESRI 1992: Arc/Info™. - Redlands.
- FISCHER, M.A., (Hrsg.) (1994): Exkursionsflora von Österreich: Bestimmungsbuch für alle in Österreich wildwachsenden sowie die wichtigsten kultivierten Gefäßpflanzen (Farnpflanzen und Samenpflanzen) mit Angaben über ihre Ökologie und Verbreitung. - Stuttgart, Wien.
- HENGEVELD, R. (1990): Dynamic biogeography. - Cambridge.

- HOFFMANN, M.H. (1998): Ecogeographical differentiation patterns in *Adonis* sect. *Consiligo* (Ranunculaceae). - *Pl. Syst. Evol.*, 211: 43-56.
- HOFFMANN, M.H. (1999): The phylogeny of *Actaea* (Ranunculaceae): a biogeographical approach. - *Pl. Syst. Evol.*, 216: 251-263.
- HOFFMANN, M.H. (2000): Biogeography and climatic differentiation of two annual species of *Teesdalia* R. Br. (Brassicaceae). - *J. Biogeogr.* (im Druck).
- HOFFMANN, M.H., T. LITT, & E.J. JÄGER (1998): Ecology and climate of the early Weichselian flora from Gröbern (Germany). - *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 102: 259-276.
- HOFFMANN, M.H. & E. WELK (1999): A method for the estimation of the global population sizes of plant species - the Area-abundance-index. - *Global Ecol. Biogeogr.*, 8: 39-46.
- HUNTLEY, B., P.M. BERRY, W. CRAMER & A.P. McDONALD (1995): Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces. - *J. Biogeogr.*, 22: 967-1001.
- JÄGER, E.J. (1977): Veränderungen des Artenbestandes von Floren unter dem Einfluß des Menschen. - *Biol. Rundschau*, 15: 287-300.
- JÄGER, E.J. (1990): Pflanzenareale als Leistungsgrenzen. - *Biol. Rdsch.*, 8: 295-306.
- JÄGER, E.J. (1992): Kausale Phytochorologie und Arealodynamik. - *Habil.-Arbeit, Math.-Nat. Fak.:* Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- JÄGER, E.J. (1995): Die Gesamtareale von *Reynoutria japonica* HOUTT. und *Reynoutria sachalinensis* (F.SCHMIDT) NAKAI, ihre klimatische Interpretation und Daten zur Ausbreitungsgeschichte. - *Schr.-R. f. Vegetationskunde*, 27: 395-403.
- KULLMAN, L. (1996): Recent cooling and recession of Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) in the forest-alpine tundra ecotone of the Swedish Scandes. - *J. Biogeogr.*, 23: 843-854.
- PANETTA, F.D. & N.D. MITCHELL (1991): Homoclimate analysis and the prediction of weediness - *Weed Research*, 31: 273-284.
- REJMÁNEK, M. (1995): What makes a species invasive? In: P. PYSEK, K. PRACH, M. REJMÁNEK & M. WADE (eds.): *Plant invasions - General aspects and special problems*. S. 3-13.
- SYKES, M.T., I.C. PRENTICE & W. CRAMER (1996): A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates. - *J. Biogeogr.*, 23: 203-233.
- VILLALBA, R. & T.T. VEBLEN (1997): Regional pattern of tree population age structures in northern Patagonia: climatic and disturbance influences. - *J. Ecol.*, 85: 113-124.
- WISSKIRCHEN, R. & H. HAEUPLER (1998): *Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands*. - Stuttgart.
- WOODWARD, F.I. (1987): *Climate and plant distribution*. - Cambridge.

Matthias H. Hoffmann
 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
 Institut für Geobotanik und Botanischer Garten
 Neuwerk 21
 06108 Halle/Saale

e-mail: hoffmann@botanik.uni-halle.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Braunschweiger Geobotanische Arbeiten](#)

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): Hoffmann Matthias H.

Artikel/Article: [Klimatische Modellierung des Areals von *Scleranthus annuus* 169-178](#)