

Biodiversität - Übersicht



Abb. 1. Mit Pflock markierte Probefläche auf einer jungen Brache in Berlin.

Die Untersuchungen zur Biodiversität haben **Pflanzen** und **Insekten** berücksichtigt. Geländedaten haben wir in Bremen und Berlin gesammelt. Die Daten wurden dabei an **Probeflächen (Plots)** erhoben, die zufällig über die verschiedenen Brachetypen verteilt wurden. Die Brachetypen deckten ein Spektrum von Flächen unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Größe und Feuchte ab.

In Bremen haben wir ca. 150, in Berlin ca. 90 Plots bearbeitet. Nach einem standardisierten Vorgehen wurden an jedem Plot die gleichen Daten erhoben.

Wir haben u.a. untersucht, welche **Artengemeinschaften** auf Stadtbrachen vorkommen, wie sie durch **Umweltfaktoren** beeinflusst werden und welche **biologischen Merkmale** das Überleben in diesem dynamischen Habitat ermöglichen.

Untersuchungsgebiete

Bremen

Bremen hat ein maritimes Klima mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,8°C (Temperaturmittel im Januar 0,8°C, im Juli 16,8°C) und 694 mm Jahresniederschlag.

Die Plots lagen nördlich und nordwestlich des Zentrums entlang der Weser, verteilt über eine Fläche von etwa 100 km². Sie umfassten die Industrieparks Ochtum und Bremen West, das Logistikzentrum Niedervieland und das ehemalige Hafenbecken des Überseehafens. Um die Feuchtwiesen dieser ehemalige Flussmarsch gewerblich nutzbar zu machen, waren die Flächen mit mehreren Metern Sand aufgehöhht worden. Die meisten Probeflächen waren daher von sandigen Böden gekennzeichnet. In älteren Gewerbegebieten fand sich teilweise viel Bauschutt.

Einige der Flächen waren seit ihrer Herstellung noch nicht gewerblich genutzt worden und lagen seit Jahren, teilweise Jahrzehnten brach. Andere hatten bereits mehrere Zyklen von Bebauung und Brachfallen durchlaufen.

Berlin

Das Klima in Berlin ist mit 8,9°C Jahresdurchschnittstemperatur (Temperaturmittel -0,2 im Januar und 18,8°C im Juli) und 584 mm Jahresniederschlag kontinentaler als in Bremen.

Die Plots waren weit verteilt über eine Fläche von 370 km². Eine Reihe von Flächen lag entlang des ehemaligen Mauerstreifens, dessen Verlauf zum Zeitpunkt der Geländeaufnahmen (2004) stellenweise noch immer von zahlreichen Brachen geprägt war, so etwa an der Bernauer Straße. Weitere Flächen befanden sich auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz „Park Range“, im Stadtteil Marzahn und in Karlshorst.

Biodiversität der Pflanzen - Überblick



Abb. 2. Blütenreiche junge Brachfläche in Berlin-Karlshorst.

Im Rahmen der pflanzenökologischen Untersuchungen haben wir alle **Gefäßpflanzen**, **biologische Merkmale** der Pflanzenarten sowie Bodenparameter und eine Reihe weiterer **Umweltfaktoren** erfasst.

In der Auswertung ging es darum, herauszuarbeiten, welche biologischen Merkmale es Pflanzen ermöglichen, den dynamischen Lebensraum Stadtbrache zu besiedeln, und Arten mit ähnlichen Strategien zu **funktionellen Gruppen** zusammenzufassen. Die **Allgemeingültigkeit** dieser Ergebnisse überprüften wir.

Weiterhin haben wir untersucht, wie sich Bodenverhältnisse und Vegetationsstruktur auf Stadtbrachen über die Zeit entwickeln und wie die **Artenzahl** hierdurch beeinflusst wird.

(1) Arteninventar

Arten insgesamt	299
Arten Bremen	234
Arten Berlin	179
Arten, die in beiden Städten vorkamen	114
Rote Liste Arten (Deutschland)	4
Minimale Artenzahl / Plot	0
Maximale Artenzahl / Plot	40
Median Artenzahl / Plot	19

Tab. 1. Artenzahlen in den Untersuchungsgebieten.

Im Rahmen der pflanzenökologischen Untersuchungen führten wir Vegetationsaufnahmen auf 4m x 4m großen Flächen an jedem Plot durch. Die Datenerhebung in Bremen erfolgte 2003, in Berlin 2004.

Insgesamt konnten wir 299 Gefäßpflanzenarten nachweisen, von denen 114 Arten in beiden untersuchten Städten vorkamen. Die Artenzahl in Bremen lag aufgrund der größeren Probeflächenzahl etwas höher. Die maximale Artenzahl auf einem Plot lag bei 40 Arten. Im Gegensatz dazu gab es auch Plots, die völlig vegetationsfrei waren.

(2) Umweltfaktoren



Abb. 3. Bodenprofile auf Brachflächen. Links Boden auf einer jungen Brache ohne Horizontausbildung, rechts Boden auf einer älteren Brache mit deutlicher Ausprägung unterschiedlicher Horizonte.

An jedem Plot wurde eine Reihe von Umweltfaktoren erhoben. So konnten wir feststellen, welche Faktoren das Vorkommen der Arten beeinflussen.

Flächenalter: Aus Luftbildserien konnte abgeleitet werden, wie viele Jahre der Sukzessionsbeginn (z.B. nach Abriss eines Gebäudes) zurücklag.

Boden: Jeder Boden-Horizont bis zu einer Tiefe von 80cm wurde beprobt. Teils im Gelände, teils im Labor wurden verschiedene Parameter zu Korngröße, Nährstoff- und Wasserhaushalt bestimmt.

Störung: Die aktuelle Störung wurde aus Geländebegehungen abgeschätzt. Die Faktoren Häufigkeit, Schwere (Anteil zerstörter Biomasse) und Ausmaß (Anteil der betroffenen Fläche) flossen in einen Gesamt-Störungsparameter ein. Häufig anzutreffende Störungen waren z.B. das Ausführen von Hunden, Reiten, Kite-Surfen, Befahren mit schweren Maschinen, vorübergehendes Ablagern von Material.

Deckung der Mooschicht: Es wurde geschätzt, welcher Anteil der Bodenoberfläche von Moos bedeckt war.

(3) Erfassung biologischer Merkmale (Traits)

englische Bezeichnung	deutsche Bezeichnung	Definition u. Einheit
• plant life span (PLS)	Lebensdauer	ein-, zwei-, mehrjährig
• leaf size	Blattgröße	[mm ²]
• leaf weight	Blattgewicht	[mg]
• shoot weight	Pflanzengewicht	Trockengewicht Stängel + Blätter [mg]
• leafmass ratio (LMR)	Verhältnis Blattgew. / Pflanzengewicht	leaf weight/shoot weight [mg]
• specific leaf area (SLA)	Spezifische Blattfläche	Blattgröße/Blattgewicht [mm ² /mg]
• Leafarea ratio (LAR)	Blattflächen-Verhältnis	LMR * SLA [o. Einheit]
• seed weight	Samengewicht	[mg]
• seed number	Samenzahl	Anzahl pro Pflanze
• seed longevity index (SLI)	Lebensdauer der Samenbank	keine Samenbank, kurze, lange Lebensdauer
• Reproductive effort	Reproduktions-aufwand	(Samengewicht*Samenzahl) / (Samengewicht*Samenzahl + Pflanzengewicht) [o. Einheit]
• terminal velocity (TV)	Fallgeschwindigkeit der Samen	[m*sec ⁻¹]

Für alle Arten, die eine gewisse Mindesthäufigkeit aufwiesen (Vorkommen auf mindestens 10 Plots in Bremen oder Berlin), bestimmten wir eine Reihe biologischer Merkmale. Dies traf für 66 Arten in Bremen und 57 Arten in Berlin zu. Für Spross- und Blattmerkmale wurden jeweils 10 Individuen, für Samenmerkmale 5 Individuen je Art gesammelt, und zwar an zufällig ausgewählten Plots mit Vorkommen der jeweiligen Art. Aus den gemessenen Merkmalen konnten noch weitere berechnet werden, z.B. aus Blattgröße und Blattgewicht die Spezifische Blattfläche. Zusätzlich wurden Merkmale aus der Literatur gewonnen.

Tab. 2. Berücksichtigte biologische Merkmale (Traits).

(4) Bodenverhältnisse & Sukzession



Abb. 4. Boden mit Anteilen von Bauschutt (links) und ohne Bauschutt (rechts).

Wir untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Flächenalter und einer Reihe von Bodenparametern. Lediglich für Flächen mit Bauschutt im Boden ergaben sich signifikante Zusammenhänge. Hier sanken pH-Wert und CaCO_3 -Gehalt im Sukzessionsverlauf deutlich ab, für den pH-Wert von ca. 8 in den ersten Jahren auf ca. 5,5 nach 40 Jahren. Andere untersuchte Parameter wie Nährstoffgehalte und Wasserdurchlässigkeit wiesen keine Veränderung über die Zeit auf.

Insgesamt zeigte sich also kein deutlicher Zusammenhang zwischen Flächenalter und Bodenverhältnissen. Die Unterschiede innerhalb der Probeflächen ließen sich vielmehr auf die Entstehungsgeschichte der Flächen zurückführen. Bauschutt im Boden bedeutete eine höhere Nährstoffkonzentration und deutlich andere Bedingungen für die Etablierung von Pflanzen als nährstoffarme, reine Sandböden.

(5) Vegetationsstruktur, Biodiversität & Sukzession

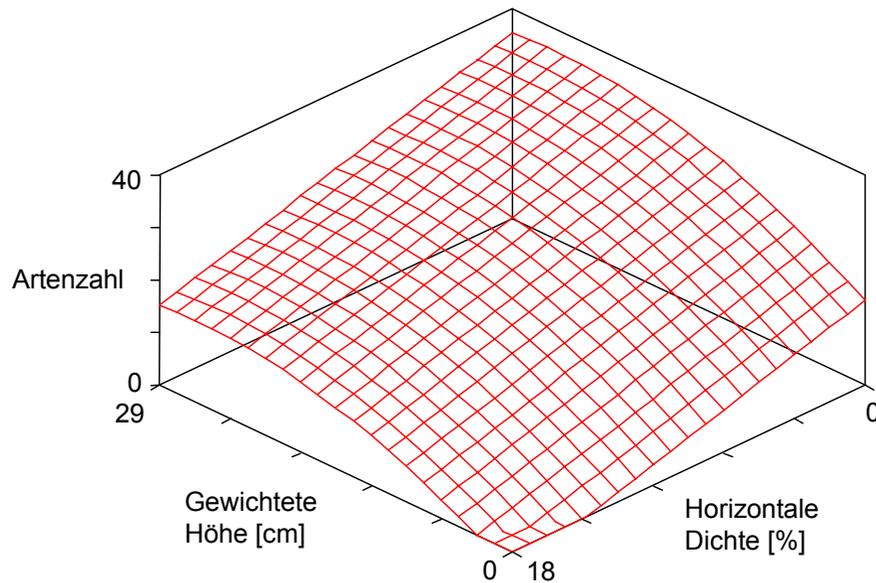


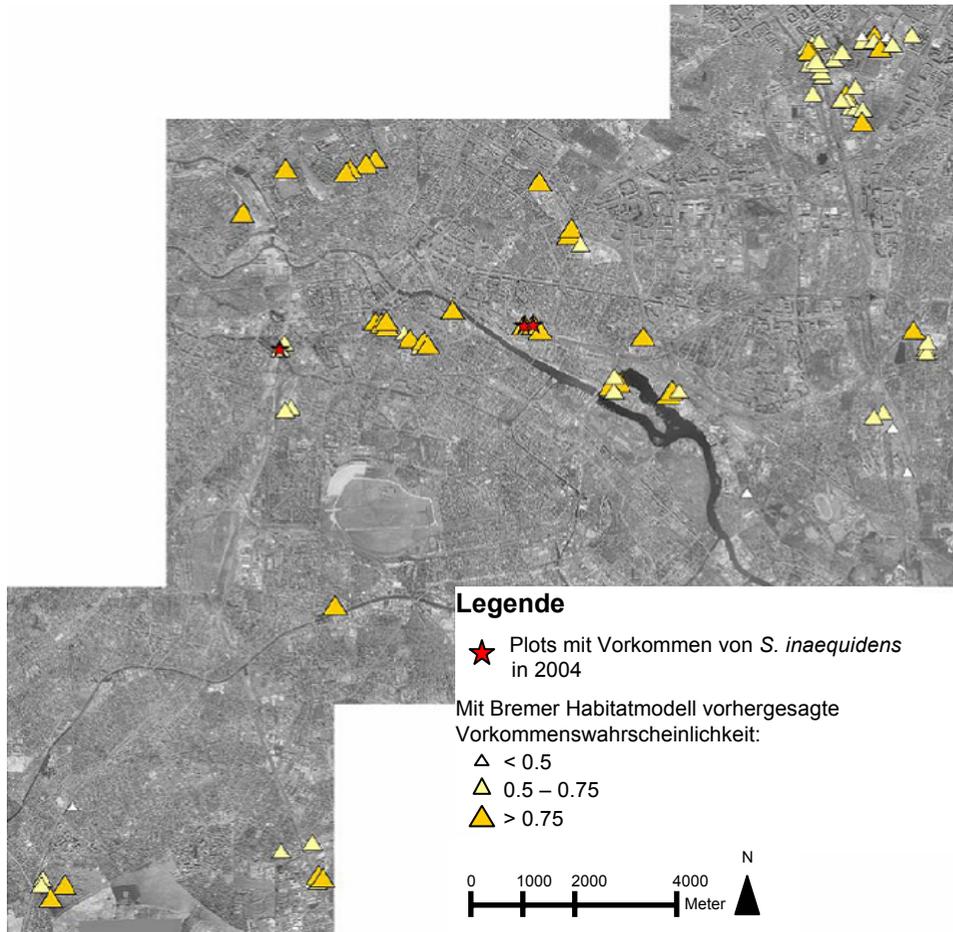
Abb. 5. Artenzahl in Abhängigkeit von gewichteter Vegetationshöhe und horizontaler Dichte. Höchste Artenzahlen bei geringer Dichte und großer Höhe. In die gewichtete Höhe wird die unterschiedliche Vegetationsdichte in unterschiedlichen Höhen miteinbezogen.

Einfluss des Flächenalters: Vegetationshöhe und -dichte stiegen signifikant mit zunehmendem Flächenalter. Dagegen bestand nur ein äußerst schwacher Zusammenhang zwischen Artenreichtum und Flächenalter.

Einfluss der Vegetationsstruktur: Die Vegetationsstruktur stand in deutlichem Zusammenhang zum Artenreichtum. Die Artenzahlen stiegen bei zunehmender Vegetationshöhe und fielen bei höherer Dichte (Abb. 5). Ebenso haben Phosphorgehalt und Wasserdurchlässigkeit des Bodens einen positiven Einfluss auf Vegetationshöhe und -dichte.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Artenzahlen am höchsten sind, wenn die Artengemeinschaft aus einer Mischung von Arten junger und mittlerer Sukzessionsstadien. Auf vielen Brachflächen ist dieses Stadium nach etwa 5 (± 2) Jahren erreicht, wenn die hochwüchsigen Arten mittlerer Sukzessionsstadien noch keine so hohe Deckung erreicht haben, dass sie die kleinwüchsigen, konkurrenzschwachen Pionierarten verdrängen. Nährstoffarme Verhältnisse auf sandigen Böden können diesen Zeitraum ganz erheblich verlängern.

(6) Habitatmodelle für Einzelarten



© Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Orthophotomosaik Berlin, 2002.
 (<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/veroeffentlichungen/de/karten/>)

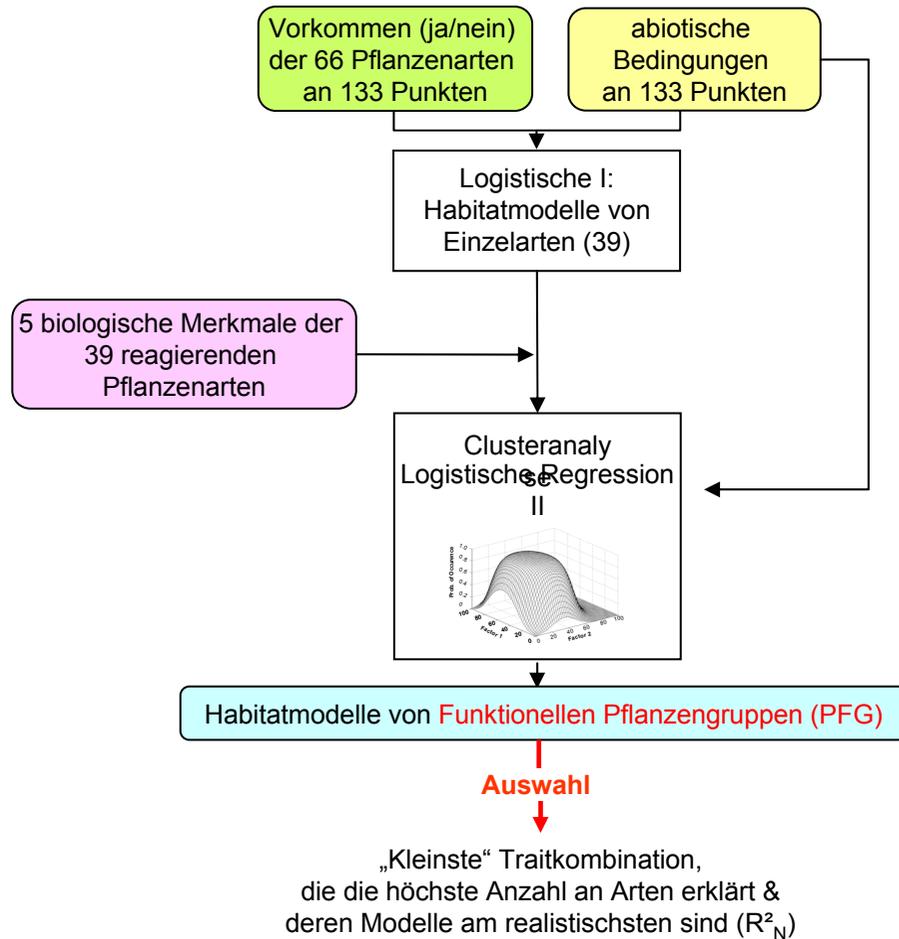
Abb. 6. Aktuelle und potentielle zukünftige Vorkommen der neophytischen Art *Senecio inaequidens* auf den Berliner Plots.

Nur für Arten, die auf mindestens 10 Plots in einem der Untersuchungsgebiete vorkamen, erstellten wir Habitatmodelle (66 Arten). Von den Umweltparametern verwendeten wir nur 9 Parameter (s. Tab. 4), die untereinander nicht stark korreliert waren. Für Nährstoff- und Wasserversorgung konnten wir mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse jeweils mehrere Einzelparameter auf eine einzige Größe reduzieren. Wie auch im TP Tierökologie verwendeten wir logistische Regression. Multiple Modelle wurden mit einer vorwärts-schrittweisen Variablenauswahl erstellt.

Die Einzelartmodelle spielten im TP Modellierung eine größere Rolle. Hier verwendeten wir sie hauptsächlich, um Arten zu identifizieren, die auf die untersuchten Umweltparameter reagieren („responsive species“). Dies war bei 39 Arten der Fall (AUC der Einzelartmodelle > 0.7, $R^2_N > 0.2$). Diese Arten wurden im nächsten Auswertungsschritt in funktionelle Gruppen eingeteilt.

Darüber hinaus sind solche Einzelartmodelle auch gut geeignet, um potenziellen Lebensraum von in Ausbreitung befindlichen Arten auszumachen. Dies gilt etwa für den Neophyten *Senecio inaequidens*, der in Bremen Ende des 19. Jahrhunderts eingeschleppt wurde und dort heute eine weite Verbreitung hat. In Berlin ist die Art jedoch erst seit Kurzem heimisch. Hier ist in den nächsten Jahren mit einer starken Ausbreitung zu rechnen. Mit Hilfe des Habitatmodells lässt sich vorhersagen, auf welchen der untersuchten Flächen eine Ansiedlung wahrscheinlich ist (Abb. 6).

(7) Habitatmodelle für funktionelle Gruppen - Methodik



Eine wesentliche Hypothese war, dass das Vorkommen der Pflanzen unter den veränderlichen Umweltbedingungen von Brachflächen wesentlich von der Biologie der Pflanzen bestimmt wird. Wir nahmen an, dass genau solche Merkmale für das Überleben von Pflanzen wichtig sind, die in einem Zusammenhang mit der raum-zeitlichen Dynamik von städtischen Brachflächen stehen. Dieser Zusammenhang kann mit Hilfe eines Sets funktioneller Merkmale (den sog. funktionellen Pflanzengruppen, PFGs) ausgedrückt werden.

Zur Erstellung Funktioneller Pflanzengruppen (PFGs) teilten wir die 39 Arten über eine Clusteranalyse anhand 5 biologischer Merkmale in funktionelle Gruppen ein. Für die einzelnen Gruppen wurden dann mit logistischer Regression Habitatmodelle gebildet (Abb. 7). Dabei berücksichtigten wir die Gruppen, die sich aus insgesamt 31 Clusteranalysen mit Verwendung jeweils unterschiedlicher Traitkombinationen ergaben. Die beste Traitkombination mit der sich aus ihrer ergebenden Gruppen wählten wir anhand der Güte der Gruppen-Modelle aus. Als Gütemaß benutzten wir das R^2 nach Nagelkerke. Wir berechneten ein durchschnittliches R^2 aus allen Gruppen, das mit der Artenzahl in den einzelnen Gruppen gewichtet wurde.

Abb. 7. Schematischer Ablauf der Modellierung der Vorkommen funktioneller Pflanzengruppen (PFGs).

(8) Habitatmodelle für funktionelle Gruppen – Ergebnisse I

		AUC	R ² _N
1 (4)	<i>Poa trivialis</i> (48), <i>Arenaria serpyllifolia</i> (43), <i>Trifolium arvense</i> (26), <i>Artemisia vulgaris</i> (29)	0.82	0.32
2 (7)	<i>Achillea millefolium</i> (20), <i>Cirsium arvense</i> (18), <i>Cirsium vulgare</i> (36), <i>Deschampsia cespitosa</i> (25), <i>Holcus lanatus</i> (75), <i>Poa palustris</i> (11), <i>Poa pratensis</i>	0.75	0.18
3 (5)	<i>Dactylis glomerata</i> (18), <i>Lolium perenne</i> (18), <i>Tanacetum vulgare</i> (41), <i>Trifolium pratense</i> (22), <i>Arrhenatherum elatius</i> (15)	0.81	0.23
4 (8)	<i>Carex arenaria</i> (19), <i>Chenopodium album</i> (14), <i>Corynephorus canescens</i> (19), <i>Festuca rubra</i> (54), <i>Hypericum perforatum</i> (34), <i>Matricaria maritima</i> (23), <i>Melilotus officinalis</i> (15), <i>Rumex acetosella</i> (45)	0.76	0.16
5 (3)	<i>Plantago lanceolata</i> (23), <i>Trifolium repens</i> (34), <i>Vicia hirsuta</i> (28)	0.74	0.21
6 (5)	<i>Hypochoeris radicata</i> (40), <i>Picris hieracioides</i> (11), <i>Saxifraga tridactylites</i> (13), <i>Senecio inaequidens</i> (76), <i>Taraxacum officinale</i> (55)	0.71	0.17
7 (4)	<i>Plantago major</i> (18), <i>Arabidopsis thaliana</i> (12), <i>Poa annua</i> (28), <i>Bromus tectorum</i> (6)	0.92	0.45
8 (1)	<i>Vicia angustifolia</i> (26)	0.98	0.73

Die Traitkombination, die zu den funktionellen Gruppen mit den besten Modellen führte, war die Kombination aus Terminal velocity (TV, Maß für die Weite der Ausbreitung durch Samen), Leaf area ratio (LAR, Maß für die vegetative Überdauerung) und Seed longevity index (SLI, Maß für die Überdauerung der Samen im Boden). Es wurden 8 PFGs mit signifikanten Modellen erstellt, die 37 Arten umfassten. Ein Teil der PFGs (1-4) besteht aus Arten mit geringen bis mittleren Werten für vegetative Überdauerung (LAR). Diese Arten sind eher langsam wachsende, späte Besiedler mit hohem Anteil an Stützgewebe. Aber auch Investment in Ausbreitung und Überdauerung der Samen spielt bei diesen Gruppen eine Rolle: in mindestens einen Ausbreitungsaspekt (räumlich (TV) oder zeitlich (SLI)) wird bei jeder der vier ersten Gruppen ein mittleres bis hohes Maß an Energie investiert. Die Arten der PFGs 5 bis 8 sind eher frühe Besiedler von Flächen und haben daher mittlere bis hohe LAR-Werte. Auch bei diesen Gruppen zeigt sich darüber hinaus ein Investieren von Energie in mindestens einen Ausbreitungsaspekt.

Tab. 3. Zuordnung der Arten zu den funktionellen Gruppen 1 – 8 durch die Clusteranalyse. In Klammern neben der Gruppennummer die Zahl der Arten / Gruppe. In Klammern neben den Arten Anzahl der Plots, auf denen die Arten vorkamen. Ganz rechts AUC und R²_N der Modelle.

 Blattflächenanteil (LAR),  Fallgeschwindigkeit (TV),
 Samenüberdauerungsindex (SLI). Die Größe der Symbole gibt die Ausprägung des Merkmals (klein, mittel, groß) innerhalb der Gruppen wieder.

(9) Habitatmodelle für funktionelle Pflanzengruppen – Ergebnisse II

Aus den Habitatmodellen ließen sich Beziehungen der wesentlichen Pflanzenmerkmale zu den Umweltparametern ableiten: (1) die Fähigkeit zur vegetativen Überdauerung (niedriger LAR-Wert) nahm mit zunehmender Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit ab. (2) Die Überdauerungsfähigkeit der Samen im Boden (SLI) zeigte einen positiven Zusammenhang mit Wasserverfügbarkeit und Sukzessionsgrad. (3) Die Fallgeschwindigkeit der Samen (TV) zeigte einen positiven Zusammenhang zum Flächenalter: je geringer das Flächenalter, desto geringer auch die Fallgeschwindigkeit der Samen der dort vorkommenden Pflanzen, umso höher also ihre Ausbreitungsfähigkeit.

PFG	pH	Flächenalter	Flächengröße	Moosdeckung	verfügb. Wasser	Störung	Gebietsalter	Nährstoffe	Durchlüftung
1	↗			↘	↘		↘		↘
2	↘		↘	↘			↘	↗	↘
3	↘		↘					↘	↘
4		↗	↗	↗		↗			
5	↗	↗							↘
6	↗	↘		↘			↗		
7	↗	↘	↗				↗	↗	
8			↗		↗				

Tab. 4. Umweltvariablen und Art des Zusammenhangs in den Habitatmodellen der einzelnen funktionellen Pflanzengruppen.
 ↗ positiver, ↘ negativer, ↘↘ unimodaler Zusammenhang.

Insgesamt scheinen die Aspekte Ausbreitung in Zeit und Raum wie auch die vegetative Überdauerung auf der Fläche eine bedeutsamere Rolle zu spielen als Merkmale wie das Investment in Reproduktion oder die Lebensdauer einer Pflanze. Das Überleben von Populationen durch weite Ausbreitung und schnelle Wiederansiedlung auf kurzfristig verfügbaren Flächen ist entscheidender als das Überleben auf einer Fläche durch wenige große Samen bzw. eine lange Lebensdauer des einzelnen Individuums.

Die hohe Bedeutung von Ausbreitungsmechanismen wurde zusätzlich durch zwei weitere Ergebnisse bekräftigt: (i) Die Qualität der Gruppen-Habitatmodelle war eher niedrig, bedingt durch Vorhersage auf nicht besiedelten Flächen. (ii) Abweichungen bei den Modellvoraussagen waren umso höher, je geringer die räumliche Ausbreitungsfähigkeit der entsprechenden Arten war. Generell zeigte sich auf nährstoffarmen Standorten, dass für den Beginn der Sukzession hohe Ausbreitungsfähigkeit eine große Rolle spielt, während bei mittleren Sukzessionsstadien die Samenüberdauerung im Boden auf Kosten der Ausbreitungsfähigkeit wichtiger wird.

Die Qualität der Modelle könnte vermutlich durch eine stärkere Einbeziehung raum-zeitlicher Parameter gesteigert werden. Dafür sind jedoch dynamische Modelle besser geeignet als die per se statischen Habitatmodelle.

(10) Habitatmodelle für funktionelle Gruppen – Allgemeingültigkeit

		quadrierter Pearson Korrelationskoeffizient r^2		
		Modell basiert auf Daten aus		
Anwendung auf		ST	BE	HB
PFG 6	ST	0.851	0.002	<0.001
	BE	0.013	0.505	0.237
	HB	0.005	0.194	0.546
PFG 7	ST	0.657	0.002	<0.001
	BE	0.012	0.894	0.349
	HB	0.010	0.259	0.613

Tab. 5. Übertragbarkeit der Modelle für die PFGs 6 & 7 zwischen Datensätzen der Städte Stuttgart (ST), Berlin (BE) und Bremen (HB). Hohe Werte indizieren eine hohe Übertragbarkeit. Fett jeweils die Werte für den Original-Datensatz.

Um eine allgemeine Anwendbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen, muss die Allgemeingültigkeit der Modelle überprüft werden. Dies geschieht am besten durch eine zeitliche und räumliche Übertragung der Modelle auf andere Datensätze (s. auch TP Tierökologie).

Hierzu haben wir stadtspezifische Habitatmodelle eines gemeinsamen Satzes von funktionellen Artengruppen für die Städte Stuttgart, Berlin und Bremen auf die jeweils anderen Städte übertragen. Die Übertragbarkeit wurde dabei mit Hilfe des quadrierten Pearson Korrelationskoeffizienten r^2 gemessen.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Modelle trotz vieler landschaftsspezifischer Reaktionen durchaus Ähnlichkeiten aufwiesen. Die Modellübertragbarkeit hing jedoch sehr stark davon ab, wie vergleichbar die Umweltbedingungen zwischen den Städten waren. Eine Unähnlichkeit der relevanten Modellparameter zwischen den Städten, wie sie für viele Parameter zutraf, setzte die Übertragbarkeit der Modelle stark herab. Da Habitatmodelle nur für den Parameterbereich Gültigkeit haben, auf dessen Basis sie erstellt wurden, überrascht dieses Ergebnis nicht. Noch dazu stellte es sich als wesentlich heraus, Parameter der Flächenentstehung und -geschichte in die Modellierung der funktionellen Artengruppen einzubeziehen, um die stadtspezifischen Effekte auf die Ausbreitung der Arten zu erfassen.