

Dynamik, genetische Struktur und Schutz kleiner Populationen – das Beispiel von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*

Henryk Baumbach & Horst K. M. Volkmann

Zusammenfassung

Die Populationsentwicklung von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*, einer endemischen Sippe, die nur bei Hornburg (Landkreis Mansfelder Land, Sachsen-Anhalt) vorkommt, wird über den Zeitraum der letzten 40 Jahre dokumentiert. Die Dynamik der Population wird anhand einer Kartierung der Einzelindividuen in den Jahren 1999 und 2000 dargestellt. Genetische Parameter der Population (Heterozygotiegrad, molekulare Varianz, Anteil polymorpher Loci) wurden mit der RAPD-Analyse, einer Art genetischem Fingerabdruck, bestimmt und mit anderen Populationen des *Armeria maritima*-Komplexes verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Population durch eine vergleichsweise hohe genetische Variabilität gekennzeichnet ist. Bei einer Vergrößerung des potentiellen Habitates durch Pflegemaßnahmen besteht so die Chance auf eine anwachsende und dabei genetisch relativ variable Population. Maßnahmen zum Schutz der Population und zur Erweiterung ihres Lebensraumes wurden im Jahr 2000 bereits begonnen und werden ebenfalls im vorliegenden Beitrag vorgestellt.

1 Einleitung

Kleine Populationen sind einem erhöhten Aussterberisiko ausgesetzt. Demographische Instabilität (z. B. zufällige Fluktuationen in der Anzahl sich fortpflanzender Individuen) und die Unbeständigkeit der Umwelt sind nur zwei Faktoren, die sich auf den Bestand kleiner Populationen wesentlich gravierender auswirken können als auf den größerer Populationen oder Metapopulationen. Hinzu kommen genetische Faktoren: durch genetische Drift (d. h. einer zufälligen Verschiebung der Allelhäufigkeit im Genpool) können kleine Populationen leicht ihre genetische Diversität verlieren und sind dann nicht mehr in der Lage, auf sich ändernde Bedingungen flexibel zu reagieren. Je kleiner Populationen sind, desto größer ist außerdem die Wahrscheinlichkeit, dass sich miteinander verwandte Individuen paaren, so dass die Heterozygotie unter den Nachkommen überproportional abnimmt. Potentiell schädliche oder sogar letale rezessive Allele können dann homozygot vorliegen und zur Ausprägung kommen. Die genannten Faktoren führen dazu, dass es auch unter natürlichen Bedingungen, d. h. ohne zusätzlichen anthropogenen Einfluss, zum Erlöschen solcher Populationen kommt. Oft kann später eine Wiederbesiedlung des Standortes von benachbarten Populationen aus erfolgen. In bestimmten Fällen ist dies allerdings nicht mehr möglich: das Aussterben der Population einer endemischen Sippe entspricht ihrem globalen Aussterben und dem endgültigen Verlust von biologischer Diversität. Deshalb kommen dem Schutz und Erhalt endemischer Sippen in der Naturschutzpraxis eine besondere Bedeutung zu. Für wirksame Schutzmaßnahmen sind Kenntnisse zur Dynamik und Struktur der Population sowie zur Biologie der Art unbedingt erforderlich.

Im vorliegenden Beitrag soll die Bestandsentwicklung der kleinen, endemischen Population von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* (Abb. 1), die seit nunmehr 80 Jahren immer wieder im Blickpunkt wissenschaftlichen Interesses steht, dokumentiert werden. In den letzten Jahr-



Abb. 1: *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* am locus classicus (Oktober 2001, Foto: H. Baumbach).

zehnten hat sich die Population immer mehr verkleinert, so dass die Sippe inzwischen hochgradig vom Aussterben bedroht ist. Im Rahmen seiner Diplomarbeit untersuchte der Erstautor die genetische Konstitution der Population und ihre Kurzzeitdynamik über zwei Vegetationsperioden. Der Zweitautor dokumentiert seit 1965 die Langzeitdynamik der Population. Mit der Kombination dieser Daten können nun neue Erkenntnisse zur Bestandsentwicklung, zur Dynamik und zur genetischen Struktur der Population vorgestellt werden. Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollen (zusätzlich zu den bereits erfolgten) weitere Schutz- und Pflegemaßnahmen angeregt werden.

2 Die Verbreitung des *Armeria maritima*-Komplexes in Mitteleuropa, seine postglaziale Arealentwicklung und die Charakterisierung und Verbreitung der mitteldeutschen Sippen

Die Gattung *Armeria* WILLD. umfasst nach MOORE (in TUTIN et al. 1972) in Europa 43 Arten, wobei der Verbreitungsschwerpunkt der Gattung auf der Iberischen Halbinsel und im Mittelmeerraum liegt. NIETO-FELINER (in CASTROVIEJO et al. 1990) gibt allein für die Iberische Halbinsel 54 Arten an.

Die Gesamtverbreitung und die Artenverteilung sprechen wohl für ein westmediterranes Entwicklungszentrum (nach MEUSEL et al. 1965-1992), wobei die Arthäufigkeit nicht unbedingt ein Indiz für das primäre Entwicklungszentrum sein muss (vgl. FREY & LÖSCH 1998).

Nach Nordosten, also nach Mitteleuropa zu, wie auch nach Südosten zum afrikanischen Kontinent hin nimmt die Artenanzahl rasch ab. So werden nördlich der Pyrenäen in Südfrankreich nur noch 5 Arten angetroffen und in Nordfrankreich nur noch 2. Im übrigen Mittel- und Nordeuropa kommt nur noch eine einzige Art vor: *Armeria maritima* (MILL.) WILLD. (Abb. 2).

Recht auffällig ist die enge Bindung der meisten Sippen dieser Art an die Küsten und Gebirgsregionen. In letzteren wachsen die lichtliebenden, vorwiegend krautigen Polsterpflanzen in Gebirgstundren, in den Alpen in der Regel in Höhenlagen ab 2000 m NN. In den Küstenformationen kommen sie auf rohen, humusarmen Sanden aber auch auf Mineralböden verwitterter Gesteine der Küstenfelsen vor.

Während Tanne und Rotbuche die Eiszeit auf der Apenninen-Halbinsel und dem Balkan überdauert hatten und aus dem Süden und Südosten Europas nach dem klimatisch günstiger gewordenen Norden vordrangen (vgl. FREY & LÖSCH 1998), hatten die meisten Grasnelkenarten ihr Refugialgebiet sowohl auf der Iberischen Halbinsel wie auch im südlichen Mitteleuropa in einer subarktischen Tundra oder Stepentundra. Von dort aus breiteten sie sich vom Postglazial an nach Norden aus und fanden auf den Schutt- und Geröllböden inmitten der offenen Vegetation von Stepentundra, Schneebodengesellschaften und Steppen geeignete Standorte vor.

Zwischen den niedrigen Polsterpflanzen, Zwergsträuchern und niedrigen Gräsern waren die krautigen Grasnelken zwar ungeschützt den Niederschlägen und starken Temperaturschwankungen ausgesetzt, trotzdem bildeten diese Stellen für die lichtliebenden Arten vorteilhafte Wuchsorte.

Tanne und Rotbuche breiteten sich vom Postglazial an auf breiter Front gen Norden aus, wobei sie teilweise die Hochgebirge umgingen, während die Grasnelken auf ihrer Ausbreitung die Pyrenäen als Hindernis zu bewältigen hatten. Ist so auch die starke Artenabnahme der Gattung *Armeria* nördlich des Gebirges zu verstehen? Oder waren es heute ausgestorbene dealpine Sippen des Nordens, die südlich des Gletschereises überdauerten und sich nach der Eiszeit wieder ausbreiteten?

Wir müssen annehmen, dass eine Grasnelkenart sich relativ rasch auf ihrem Weg nach Norden ausbreitete, so dass sie vor dem Aufkommen der geschlossenen und dichten Wälder ein von Süd nach Nord und von West nach Ost reichendes zusammenhängendes Areal in der nun temperaten Zone besaß.

Eine hohe genetische Plastizität verlieh der Art die bemerkenswerte Fähigkeit, sowohl klimatisch verschiedene Regionen als auch Böden unterschiedlichen Substrats zu besiedeln. Bei einem Vergleich der Vorkommen an den Küsten mit denen im Landesinnern wie auch der südlichen Siedlungsstätten mit denen des Nordens wird die große Anpassungsfähigkeit an



Abb. 2: Verteilung der Artenanzahl der Gattung *Armeria* Willd. in Mitteleuropa (verändert nach MEUSEL et al. 1965-1992 und CASTROVIEJO et al. 1990).

unterschiedliche Standortfaktoren deutlich (vgl. MEUSEL et al. 1965-1992). Anatomisch-morphologische und physiologische Differenzierungen in Anpassung an standörtliche Salzbelastungen, Wassermangel und extreme Temperaturen führten zu einer adaptiven Radiation der Stammart.

Mit dem Einwandern der Bäume seit dem Postglazial aus Südeuropa wurde das einst zusammenhängende Areal der Gewöhnlichen Grasnelke mehr und mehr von der zunehmenden Waldentwicklung bedrängt und in kleinere Wuchsbezirke aufgespalten. In den nun weitgehend isolierten Tochterpopulationen konnten Differenzierungsprozesse beschleunigt ablaufen.

Ergebnis dieses Prozesses, der im Postglazial begann, ist eine weite Verbreitung der Sippen des *Armeria maritima*-Komplexes in Mitteleuropa.

Das heute vorliegende disjunkte Areal dieses Komplexes wird durch die nordischen, zirkumpolar verbreiteten ssp. *sibirica* und ssp. *arctica*, die alpine ssp. *alpina*, die atlantische ssp. *maritima*, die kontinental-subkontinental verbreitete ssp. *elongata* und den Formenschwarm der ssp. *halleri* gebildet.

Die nahe miteinander verwandten Sippen der Unterarten von *Armeria maritima* verhalten sich dabei wie vikariierende Arten, die sich gegenseitig in verschiedenen geographischen Regionen gleichzeitig vertreten und auch ökologisch unterschiedliche Standorte besiedeln. Zur geographischen Differenzierung kommt noch eine charakteristische Merkmalskombination, so dass für jede Sippe ein Merkmalskomplex (Tab. 1) vorliegt. Während sich

Tab. 1: Die mitteldeutschen Sippen von *Armeria maritima* (MILL.) WILLD. und ihre Merkmale (verändert nach SCHUBERT & VENT 1990 u. SCHUBERT 1954)

Unterart	Boden	Verbreitung	Schaft	Blätter	äußere Hüllblätter	Blütenfarbe
<i>ssp. maritima</i> (Strand-G.)	Dünensand, Küsten, Marschen, Felsen	atlantische Sippe, an allen westeuropäischen Küsten	meist flaumig behaart; 5-12 cm lang	undeutlich 1-nervig, fleischig, oft gewimpert, 1 mm breit, 2-5 cm lang	lang zugespitzt, ± grün auf dem Rücken	blassrosa bis weiß
<i>ssp. elongata</i> (Sand-G.)	pleistozäne Sande, Kiese, Abraumböden	polnisch-baltisch-westarmatisch; in Mitteleuropa und im Gebiet der Ostsee, östlich bis Südfinnland, Estland, Lettland, Westrussland, Westgalizien und Nordwestungarn	bis unten kahl, sehr selten schwach behaart; (11-) 20-40 (-60) cm	meist 1-nerviger Grund, im trockenen Zustand 5-nervig, bewimpert. 5-12 (-20) cm lang, (1-) 2-3 mm breit	meist stark verlängert, krautig, stumpf	blassrosa bis violett
<i>ssp. halleri</i> (Galmei-G.)	erzhaltiges Gestein (Halden, Schotter)	nur schwermetallhaltige Böden: Mansfelder Land, Könnern u. Wettin, West- u. Oberharz, nach Osten bis Oberschlesien vorkommend; in Nordrhein-Westfalen nur im Raum Littfeld (PARDEY 1999); sonst in NRW (Aachen, Stolberg, Mechernich) u. Belgien durch die <i>ssp. calaminaria</i> PETRI (ERNST) ersetzt (SCHUBERT (1954) u. a. Autoren betrachten diese jedoch auch als zur <i>ssp. halleri</i> gehörend).	fast stets bis unten kahl; (7-) 12-25 (-36) cm	am Grunde deutlich 3-nervig, bewimpert, zum Teil in die Erde eingesenkt, 3-7 cm lang, 1-1,5 mm breit; straff; alte Blätter langsam verwitternd	nur selten verlängert, krautig, stumpf	meist lebhafter als bei <i>elongata</i> , vereinzelt lebhaft rot
<i>ssp. bottendorfsis</i> (Bottendorfer G.)	Basaltschiefer, Spat; schwach erzhaltig	Endemit, nur Bottendorfer Höhe (Thüringen)	unten stark behaart; (5-) 10-20 (-26) cm	am Grunde nur undeutlich 3-nervig, stark behaart, 4-5 cm lang, 1-1,5 mm breit; alte Blätter langsam verwitternd	nicht verlängert, krautig, stumpf	rosa bis pink
<i>ssp. hornburgensis</i> (Hornburger G.)	schwach erzhaltige, verwitterte Zechstein- u. Rotliegendensubstrate	Endemit	unten schwach behaart; (6-) 10-15 (-24) cm	am Grunde undeutlich 3-nervig, nur am Rand reichlich bewimpert, auf Ober- u. Unterseite nur vereinzelt; alte Blätter langsam verwitternd	nur selten etwas verlängert, krautig, stumpf	lebhaft rosa bis pink

die *ssp. maritima*, *elongata* und *alpina* morphologisch recht gut unterscheiden lassen, sind die mitteldeutschen Schwermetallsippen vor allem ökogeographisch charakterisiert. Aufgrund der großen phänotypischen Variabilität ist die zweifelsfreie Bestimmung einer Einzelpflanze ohne Kenntnis ihrer Herkunft oft nicht möglich.

Die auf den binnenländischen Sandstandorten weit verbreitete *ssp. elongata* kommt in der Umgebung von Eisleben auf den kiesreichen Abraumerden der ehemaligen Braunkohlengruben bei Langenbogen, der Tongruben bei Wansleben aber auch auf Halden mit tauben und geröllreichen Substraten bei Welfesholz und Wimmelburg vor (Abb. 3).

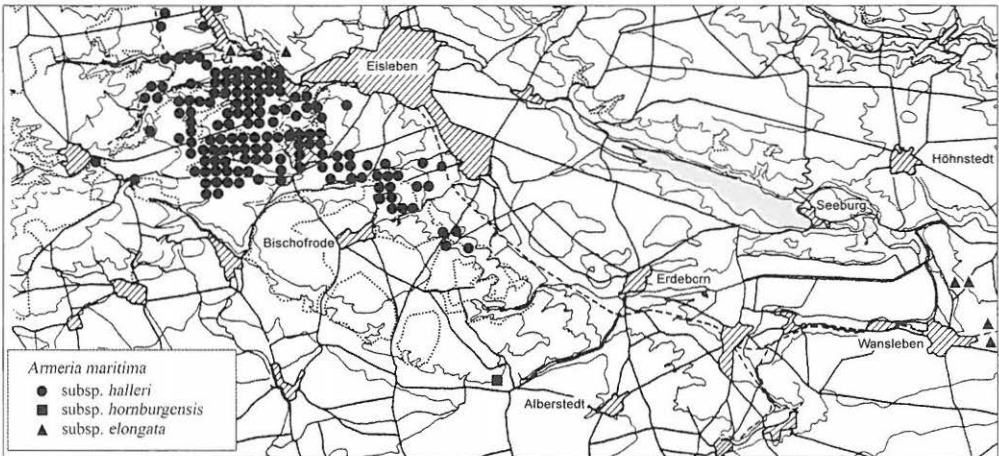


Abb. 3: Verbreitung der Sippen von *Armeria maritima* (MILL.) WILLD. im südöstlichen Harzvorland in der Umgebung von Eisleben (verändert nach VOLKMANN 1990; Rastergröße 250 m).

Armeria maritima ssp. *halleri* ist in der Mansfelder Mulde recht häufig und auf fast allen Schacht- und Schlackehalden zu finden, soweit sie erzhaltig sind und damit für diese Pflanzen die Standorte konkurrenzarm sind (detaillierte Verbreitungsangaben in SCHUBERT 1953, 1954; BAUMBACH 2000).

Aktuelle Untersuchungen zum Mechanismus der Schwermetalltoleranz bei *Armeria maritima* ssp. *halleri* zeigten, dass der Hauptspeicherort für Metalle tanninhaltige Vakuolen des Blattparenchyms sind. Als Bindungspartner für Kupfer wurden Flavonole identifiziert, die das Metall über *o*-Dihydroxylgruppen binden. In Blättern und Wurzeln wurde Kupfer ebenfalls in Zellwänden, im Zytoplasma, im Plastidenstroma und im Chromatin der Nuclei gefunden. In diesen Kompartimenten ist das Kupfer hauptsächlich an Hitzeschutzproteine (HSP) gebunden. Auch eine kristalline Ausscheidung von Cu, in geringeren Mengen auch von Zn, Ni, Fe und Mn an den Blättern durch Salzdrüsen, die bei der ssp. *maritima* aktiv NaCl abgeben können (BAUMEISTER & ZIFFUS 1981), konnte beobachtet werden (vgl. NEUMANN et al. 1995, DE FIGUEIREDO & NEUMANN 2000).

3 Spezieller Teil: *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*

3.1 Charakterisierung des Standortes

Am nordwestlichen Ortsrand der Ortschaft Hornburg (Landkreis Mansfelder Land, Sachsen-Anhalt) liegt der Galgenberg (229 m NN, Abb. 4), auf dem sich die einzige Population von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* befindet.

Beim Galgenbergplateau handelt es sich um einen primären, also nicht durch menschliche Tätigkeit geschaffenen Schwermetallstandort auf kalkarmen, mischkörnigen Sandsteinen des Oberrotliegenden sowie auf Kalken, Kupferschiefer und Basissedimenten der Zechsteinformation¹. Nach ERNST (1966) sind die Schwermetallkonzentrationen mit 207 ppm Cu und 313 ppm Zn in diesem Boden vergleichsweise niedrig, die Azidität des Bodens beträgt 4,7.

Die Hornburger Grasnelkenflur, das Armerietum *hornburgensis* SCHUB. 1974, ist durch das Auftreten von Xerothermrasenarten, das Aufkommen von Ruderalpflanzen und das Fehlen von *Minuartia verna* ssp. *hercynica* (WILLK.) O. SCHWARZ charakterisiert (s. Tab. 2).

¹ Für Hinweise zur geologischen Situation im Gebiet sei Herrn Dr. St. König (Volkstedt) herzlich gedankt.

Erstmals veröffentlichte A. SCHULZ (1912) Angaben über den Hornburger Standort und beschrieb die hier vorkommende Grasnelke, der er den Namen *Armeria campestris* WALLR. var. *hornburgensis* A. SCHULZ gab.

Die Entfernungen zwischen der Population von *A. m.* ssp. *hornburgensis* und den nächsten Vorkommen der ssp. *halleri* betragen etwa 4 km in nordwestlicher Richtung und zu den nächsten Standorten der ssp. *elongata*, die im Saaletal viel häufiger als in der Mansfelder Mulde auftritt, etwa 13 km in östlicher Richtung.

3.2 Taxonomische Stellung von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*

Die bereits erwähnte große phänotypische Plastizität des *Armeria maritima*-Komplexes macht eine eindeutige morphologische Charakterisierung der einzelnen Sippen fast unmöglich. Dieser Tatsache ist die umstrittene taxonomische Stellung von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* ebenso wie die anderer schwermetalltoleranter Vertreter der Gattung geschuldet.

Die Vielzahl der zum Teil konkurrierenden Vorschläge zur Taxonomie und Nomenklatur der mitteldeutschen Sippen der Gattung *Armeria* WILLD. macht deshalb eine etwas ausführlichere Betrachtung des Problems notwendig.

Armeria vulgaris WILLD. wurde 1842 von WALLROTH in zwei Formenkreise getrennt, den der *A. campestris* und den der *A. halleri*. Zu letzterer zählte er jedoch nur die Vorkommen auf Schwermetallboden im Westharz. A. SCHULZ (1912) war der Auffassung, dass *A. halleri* WALLROTH für Mitteldeutschland endemisch ist und nur im Oberharz und an seinem Rand vorkommt. Die Vorkommen auf den Kupferschieferhalden des östlichen Harzvorlandes und der Gegend um Könnern und Wettin zählte er wie WALLROTH nicht zu *A. halleri* sondern zu *A. campestris*. Damit wären die schwermetalltoleranten Formen der Kupferschieferhalden identisch mit *Armeria maritima* ssp. *elongata* (HOFFM.) G. BONNIER, die v. a. im Norden und Osten Deutschlands auf Sandböden weit verbreitet ist. SCHUBERT (1954) teilte diese Meinung nicht und stellte die Vertreter der schwermetallhaltigen Böden des Mansfelder Landes, der Gebiete um Könnern, des Oberharzes und Aachens zu *A. halleri*.

Die endemischen Sippen bei Hornburg und Bottendorf wurden 1912 von A. SCHULZ beschrieben. *A. bottendorfensis* fasste er als eine *A. halleri* und *A. campestris* systematisch gleichwertige Sippe auf, betrachtete aber *A. maritima* ssp. *hornburgensis* (A. SCHULZ) ROTHM. als Lokalform von *A. campestris* und schlug vor, diese *A. campestris* var. *hornburgensis* zu nennen.

Über den taxonomischen Rang von *A. halleri*, *A. campestris* und *A. bottendorfensis* fällt jedoch auch SCHULZ kein abschließendes Urteil. So heißt es in einer Fußnote seiner Arbeit von 1912: „Alle drei werden wohl am richtigsten als Unterarten von *Armeria vulgaris* WILLD. bezeichnet“.

CHRISTIANSEN (1931) unterteilte *A. vulgaris* in die vier Formenkreise *A. vulgaris* var. *maritima*, var. *elongata*, var. *intermedia* und var. *halleri*. Als Formen der letzteren fasste er *A. maritima* ssp. *bottendorfensis* und *A. maritima* ssp. *hornburgensis* auf. Die Armerien der schwermetallhaltigen Standorte im Aachener Raum (*Armeria vulgaris* fo. *calaminaria* PETRI) zog er mit zum Formenkreis der var. *halleri*, ebenso die Formen anderer Schwermetallstandorte, ohne diese jedoch explizit zu erwähnen.

Auch ERNST (1974) behandelte sowohl die mitteldeutschen Formen *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*, ssp. *halleri*, ssp. *bottendorfensis* und ssp. *elongata* als auch die im Gebiet nicht vorkommenden ssp. *calaminaria* (PETRI) ERNST, ssp. *serpentini* (GAUCKLER) ROTHMALER, *Armeria muelleri* HUET DU PAVILLON und *A. cantabrica* BOISS. & REUT. ex WILLK. als Varietäten von *Armeria maritima*.

Tab. 2: Armerietum hornburgensis SCHUB. 1974 – Hornburger Graselken-Gesellschaft

	Nr. der Aufnahme	I	II	III	IV	V	VI	VII*
	Exposition	S	N	W	W	S	S0	
	Neigung (°)	10	8	15	15	15	5	
	Deckungsgrad (%)	90	95	85	85	90	95	
	Aufnahmefläche (m ²)	10	10	10	10	10	5	
	Aufnahmedatum	8.5.1998	8.5.1998	8.5.1998	8.5.1998	28.11.2000	26.4.2000	28.5.2001
	Assoziations-Charakterart							
AC	<i>Armeria maritima</i> ssp. <i>hornburgensis</i>	1	1	1	1			(1)
	Klassen-Charakterart d. <i>Violetea calaminariae</i>							
KC-VC	<i>Silene vulgaris</i> var. <i>humilis</i>	+	+	+	+			(+)
	Trennarten							
T	<i>Galium verum</i>	+	+					
T	<i>Scabiosa canescens</i>	+						
T	<i>Potentilla tabernaemontani</i>	+						
T	<i>Dianthus carthusianorum</i>					+		
	Trennart zu anderen Graselken-Gesellschaften auf Schwermetallböden in Mitteldeutschland							
T	<i>Spergularia rubra</i>	+						
	stete u. oft strukturbestimmende Art							
SK	<i>Echium vulgare</i>					+		
	Ökotypen d. schwermetallärmeren Böden							
	<i>Agrostis capillaris</i>		2	2	3	+		
	<i>Festuca rupicola</i>					+	+	
	Kryptogamen							
	<i>Ceratodon purpureus</i>	3	1	+	1			
	<i>Hypnum cupressiforme</i>		1					
	<i>Polytrichum piliferum</i>	1	+	3	1			
	<i>Cladonia pyxidata</i>	1	1	+	+			
	<i>Cladonia rangiformis</i>	1	+	1	1			
	<i>Cladonia alaicornis</i>	+	+	1	1			
	<i>Cladonia furcata</i>	+		1	1			
	<i>Cornicularia aculeata</i>			+				
	Arten d. Sand- u. Silikatrockenrasen (Koelerio-Coryneporetea) = Silikatmagerrasen d. kalkarmen, oberflächlich oder im Wurzelbereich sauren Böden des verwitterten (Porphy)-Konglomerates bei Hornburg							
	<i>Arenaria serpyllifolia</i>					+		
	<i>Holosteum umbellatum</i>							(+)
	<i>Rumex acetosella</i> var. <i>tenuifolius</i>							(1)
	<i>Scleranthus polycarpus</i>						(1)	(1)
	<i>Hieracium pilosella</i>	+	2	2	2			
	<i>Cerastium pumilum</i>	+						(+)
	<i>Artemisia campestris</i>							(+)
	<i>Luzula campestris</i>					+		(+)
	<i>Koeleria macrantha</i>	2	2	1	1			
	<i>Hypochaeris radicata</i>				1			
	Arten d. Xerothermrasen (Festuco-Brometea) an exponierten Standorten mit höherem Feinerdegehalt in südlichen Lagen auf basen- u. kalkreichen Böden							
	<i>Pimpinella saxifraga</i>					+		
	<i>Galium glaucum</i>							(r)
	<i>Helictotrichon pratense</i>					+		
	Arten d. kont. Trockenrasen (Festucion valesiacae)							
	<i>Festuca valesiaca</i>	3	3	3	3			(+)
	<i>Centaurea stoebe</i>	+						(+)

Fortsetzung von Tab. 2

Arten d. kont. Halbtrockenrasen (Cirsio-Brachypodium)							
<i>Astragalus danicus</i>							(1)
<i>Plantago media</i>							(+)
<i>Inula conyzae</i>		+	+	+			
<i>Medicago lupulina</i>							(1)
<i>Cerastium semidecandrum</i>	1	+					
Arten d. submed. Halbtrockenrasen (Mesobromion erecti)							
<i>Ranunculus bulbosus</i>							(+)
<i>Gentianella ciliata</i>						+	
<i>Onobrychis viciifolia</i>						+	(1)
<i>Allium vineale</i>						+	
Arten d. Wirtschaftsgrünlandes (Molinio-Arrhenatheretea)							
<i>Plantago lanceolata</i>		+					(r)
<i>Bromus hordeaceus</i>							(+)
<i>Arrhenatherum elatius</i>							(1)
<i>Falcaria vulgaris</i>							(r)
<i>Achillea millefolium</i>		+					(r)
<i>Hypericum perforatum</i>		+		+	+		
<i>Silene latifolia</i>							(+)
<i>Euphorbia cyparissias</i>		+	+				
<i>Rumex crispus</i>							(r)
<i>Saxifraga granulata</i>							(1)
Arten d. ruderalen Pioniergeellschaften (Agropyretea repentis) in halbruderalen Halbtrockenrasen auf tiefgründigen, nährstoffreichen Böden mit saurer bis schwach saurer Reaktion							
<i>Convolvulus arvensis</i>		+					(+)
<i>Cerastium arvense</i>							(1)
<i>Senecio vernalis</i>							(+)
Arten d. Vogelmieren-Ackerunkraut-Gesellschaften (Stellarietea mediae)							
<i>Viola arvensis</i>		+					
Arten d. kalkreichen tief- bis mittelgründigen Löß- und Schwarzerden (Papaveretalia rheadales) nährstoffreicher Äcker mit neutral bis schwach saurer Reaktion							
<i>Veronica hederifolia</i>							(+)
<i>Capsella bursa-pastoris</i>							(+)
<i>Camelina microcarpa</i>							(+)
<i>Valerianella locusta</i>							(+)
Arten d. basen- und nährstoffarmen sauren Standorte (Spergularietalia arvensis)							
<i>Scleranthus annuus</i>	2	1	+				
<i>Rumex acetosella</i>				1	2		
<i>Arabidopsis thaliana</i>							(+)
<i>Papaver argemone</i>							(+)
<i>Myosotis stricta</i>		+					(+)
<i>Veronica arvensis</i>		+	+				(+)
weitere Arten							
<i>Quercus petraea</i>						+ (K)	
<i>Rosa rubiginosa</i>							(r)
<i>Hieracium laevigatum</i>							(1)

* Kartiert wurde die Begleitvegetation im Kuppenbereich des Galgenbergs außerhalb der Aufnahmeflächen I bis VI.
 Abkürzungen: AC = Assoziations-Charakterart; KC-VC gilt als Klassen-Charakterart (KC), aber auch als Ordnungs-Charakterart (OC) und Verbands-Charakterart (VC); T = Trennart

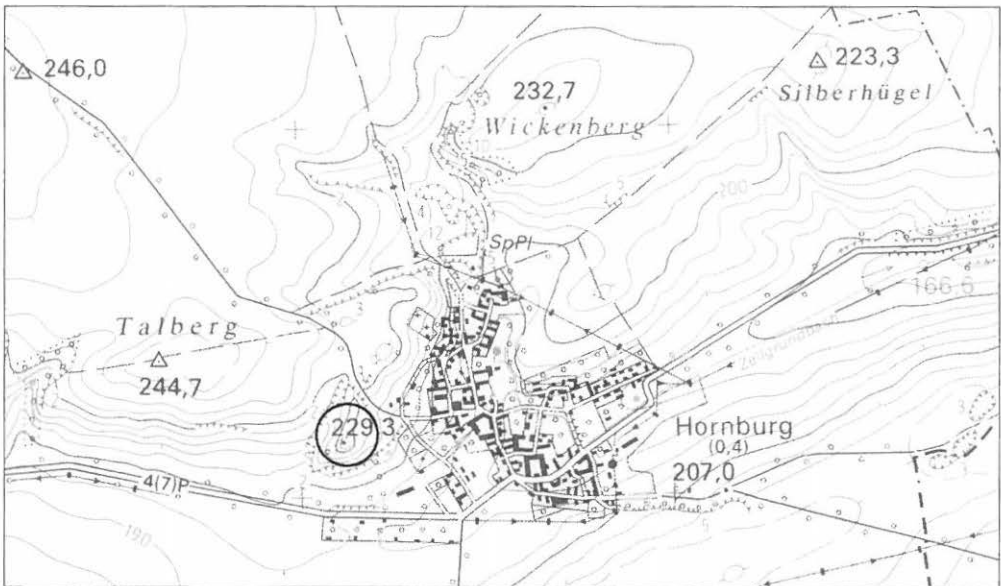


Abb. 4: Lage der Population von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* (Darstellung auf der Grundlage der TK 25, Blatt 4535, Ausgabe 1995. Vervielfältigungserlaubnis erteilt durch das Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt; Erlaubnisnummer: LVerMD/V/041/2002)

LEFEBVRE (1974) unterstrich, dass die Unterarten *Armeria maritima* ssp. *maritima*, *A. m.* ssp. *elongata* und *A. m.* ssp. *alpina* morphologisch, geographisch und ökologisch gut voneinander zu unterscheiden sind. Die nur geographisch gut zu definierenden metalltoleranten Taxa *A. m.* ssp. *halleri*, ssp. *bottendorfensis*, ssp. *hornburgensis*, ssp. *calaminaria* und die ssp. *eifeliaca* fasste er als Vertreter eines Hybridschwarmes zwischen der atlantischen ssp. *maritima*, der kontinentalen ssp. *elongata* und der alpinen ssp. *alpina* auf.

Nach Auffassung von WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998) und JÄGER & WERNER (2002) gehören alle genannten mitteleuropäischen Sippen zu einer weitgefassten Art *Armeria maritima* WILLD. s. l., innerhalb derer sich vier Unterarten unterscheiden lassen. *Armeria hornburgensis* wäre demnach wie *Armeria bottendorfensis* eine Varietät der weitgefassten ssp. *halleri* (WALLR.) ROTHM. s. l.

3.3 Entwicklung der Population von 1965 bis zur Gegenwart

Armeria maritima ssp. *hornburgensis* wird in der Roten Liste Sachsen-Anhalts (FRANK et al. 1992, vgl. auch FRANK & NEUMANN 1999) als eine vom Aussterben bedrohte Art geführt (Kategorie 1) und ist wie alle Vertreter der Gattung *Armeria* WILLD. in der Bundesartenschutzverordnung (BArtSchV) verzeichnet.

Die Population, die sich an einer exponierten Stelle in unmittelbarer Dorfnähe befindet, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten durch menschlichen Einfluss immer mehr verkleinert und ist, obwohl schon seit Jahrzehnten unter gesetzlichem Schutz stehend, hochgradig gefährdet. So wurde das Gebiet bereits 1954 als „Geschützte Fläche“ und 1971 als Flächennaturdenkmal (FND) ausgewiesen. Wie alle Schwermetallrasen gehört auch das Armerietum *hornburgensis* zu den besonders geschützten Biotopen nach § 30 Abs. 2 NatSchG LSA.



Abb. 5: Südost-Ansicht der Galgenberg Kuppe mit der Kiefernauaufforstung im Jahr 1995 (Foto: U. Wölfel)

Nach der FFH-Richtlinie stellt der Standort ein Gebiet von gemeinschaftlicher Bedeutung dar und wurde im Jahr 2000 mit einer Fläche von 2 ha als FFH-Vorschlagsgebiet an die EU-Kommission gemeldet.

Zu Beginn der Pflegemaßnahmen im August 2000 setzte sich die Population aus 3 Teilpopulationen zusammen, einer am NW-Abhang, einer im Kuppenbereich und einer östlich der Kuppe des Galgenberges. Ursprünglich waren auch die Zwischenbereiche besiedelt, und die ganze Population erstreckte sich auf einer Breite von mehreren Metern noch etwa 200 m auf dem Kamm des Galgenberges in nordöstlicher Richtung (Abb. 6: A).

Für 1961 und 1965 wird die Populationsgröße mit etwa 200 Exemplaren angegeben (RAUSCHERT in SCHUBERT & RAUSCHERT 1966). 1965 erfolgte eine Anpflanzung von Schwarz-Kiefern, Fichten und Lärchen auf dem bis dahin gehölzfreien Hügel (Abb. 6: B). Bis zum Jahr 2000 dürfte sich durch diese Maßnahme die durch *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* bewachsene Fläche auf etwa 1/10 verringert haben.

Die Aufnahme aus dem Jahr 1995 (Abb. 5) zeigt von Südosten her den oberen Plateaurand mit dem inzwischen 30-jährigen Baumbestand. Der hier einst auf der 1-2 cm dünnen sandig-kiesigen Feinerde über dem anstehenden Gestein vorkommende Silikatmagerrasen ist nur noch mit wenigen Arten vertreten. Im mittleren Südhangbereich bedeckt die stärkere Humusschicht über Löß eine trockene Variante der Glatthaferwiese.

Im Herbst 1989 wurde die Verteilung von 85 Individuen der Hornburger Grasnelke erfasst und kartographisch dargestellt (Abb. 6: C). Im Jahre 1995 existierten auf dem Plateau nur noch zwei kleinere Teilpopulationen (Abb. 6: D). 1993/1994 hatte man inmitten der östlichen

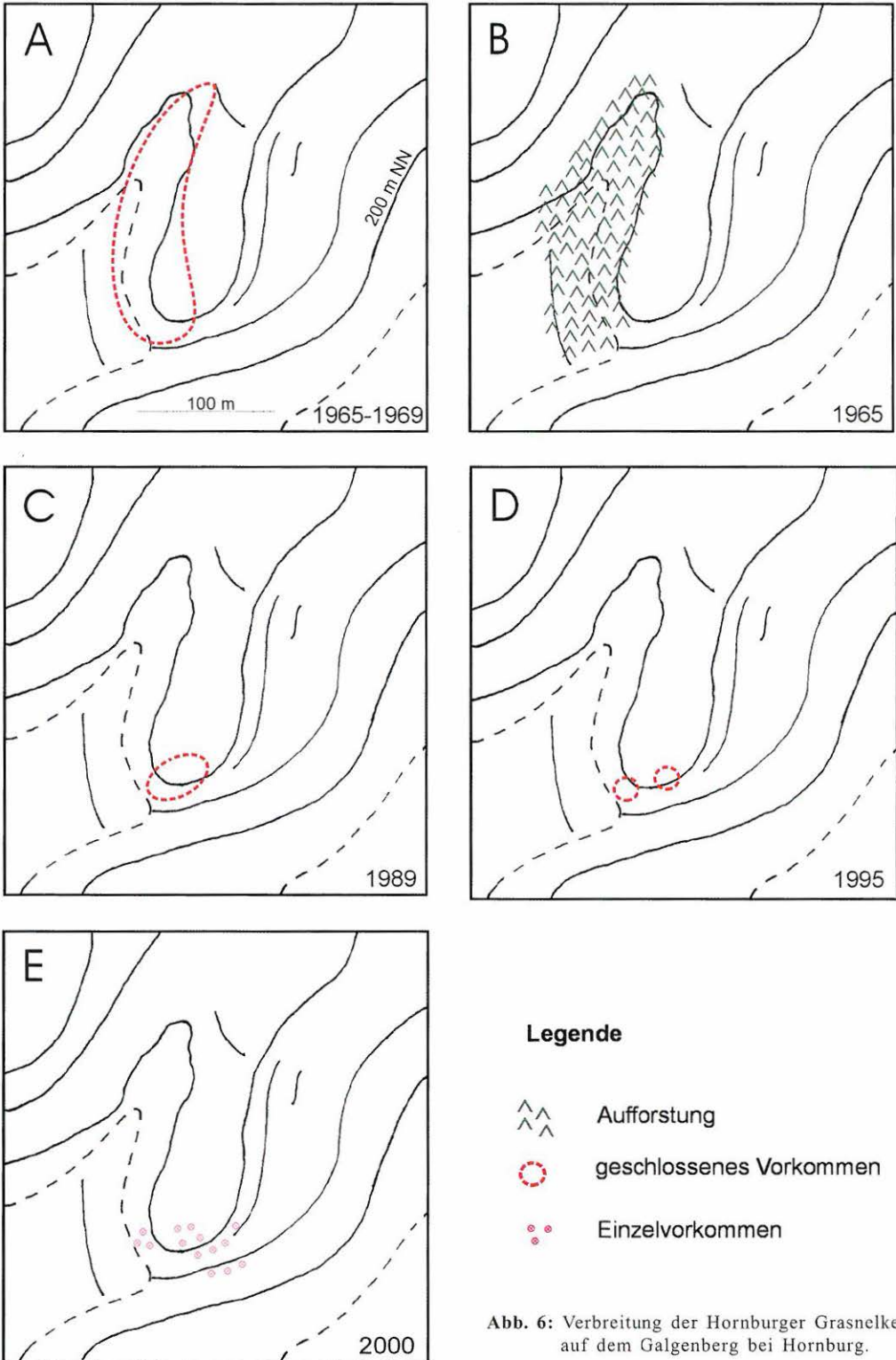


Abb. 6: Verbreitung der Hornburger Grasnelke auf dem Galgenberg bei Hornburg.

Tab. 3: Bestandsentwicklung in den drei Teilpopulationen in den Jahren 1999 bis 2001.

	NW-Abhang	Kuppe Galgenberg	östlich der Kuppe	Gesamt
Juni 1999	91	5	4	100
Juli 2000	61	26	16	103
Oktober 2001	132	76	8	216

Teilpopulation nicht nur eine Sitzgruppe aufgestellt, sondern auch Abfälle aller Art beeinträchtigten die Flächen bis 1995.

Im Frühjahr 1999 konnten ganze 100 Exemplare gezählt werden. Davon befanden sich 91 Individuen im Bereich des NW-Abhanges, die punktgenau kartiert wurden. Im Juli 2000 wurde die Kartierung dieses Bereiches wiederholt, kartiert wurden dabei 61 Individuen. Der Bestand hatte sich also um ein Drittel verringert. Einen Überblick über die Bestandssituation am NW-Hang in den Jahren 1999 und 2000 gibt die Abb. 7. Von den 91 Individuen des Jahres 1999 konnten im Folgejahr nur noch 20 Pflanzen (22 %) aufgefunden werden, die übrigen 41 müssen sich somit im Untersuchungszeitraum neu etabliert haben.

Der Bestand von *A. m. ssp. hornburgensis* war zwischenzeitlich mehrfach so klein, dass bei der Nachsuche an der klassischen Fundstelle am Weg (von der auch die Beschreibungen von 1912 und 1953 stammten) keine Individuen mehr gefunden wurden und das Erlöschen der Population vermeldet wurde (CHRISTIANSEN 1931, SCHUBERT et al. 1995).

Um die vom Aussterben bedrohte Sippe vor diesem Schicksal zu bewahren, wurden mit Hilfe von Herrn RAUCHFUß (Schmalzerode) und im Rahmen von Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen im Spätsommer und Herbst des Jahres 2000 auf der Fläche 31 Schwarzkiefern, 2 Kirschbäume und 3 Sträucher gefällt und abtransportiert. Danach wurde die Nadelstreu schonend von der Fläche geräumt und an offenen Vegetationsstellen die Erde etwas gelockert, um Samen der Grasnelkenart geeignete Keimbedingungen zu schaffen und weitere Entwicklungsmöglichkeiten zu bieten.

Nahezu zeitgleich erschien im Amtsblatt der Verwaltungsgemeinschaft „Am Hornburger Sattel“ (Jahrgang 6, Nr. 12 vom 8.12.2000, S. 25-26) ein Artikel mit dem Titel „Herkunft und Schicksal der Hornburger Grasnelke“, in dem durch H. VOLKMANN der besondere Status der Population erläutert und Maßnahmen zur Erhaltung dieser vom Aussterben bedrohten Sippe genannt wurden. Seit dieser Zeit achten auch die Einwohner des Ortes auf „ihre“ Pflanze und beobachten auf dem Galgenberg weilende Personen recht argwöhnisch.

Weitere Beobachtungen werden die Entwicklung dieser Population begleiten. So wurden bereits am ehemaligen Ackerrand neue Polsterstauden gefunden und weitere Individuen an oberen Südhanglagen an zwei Stellen registriert (Abb. 6: E).

Die Entwicklung des Gesamtbestandes von 1999 bis 2001 ist Tabelle 3 zu entnehmen. Dass sich der Bestand in den letzten beiden Jahren nahezu verdoppelt hat, ist überaus erfreulich. Grund zu übertriebenem Optimismus ist allerdings nicht gegeben, da – wie oben gezeigt wurde – die Population eine starke Dynamik aufweist (Abb. 7) und sich der positive Trend ebenso schnell umkehren kann.

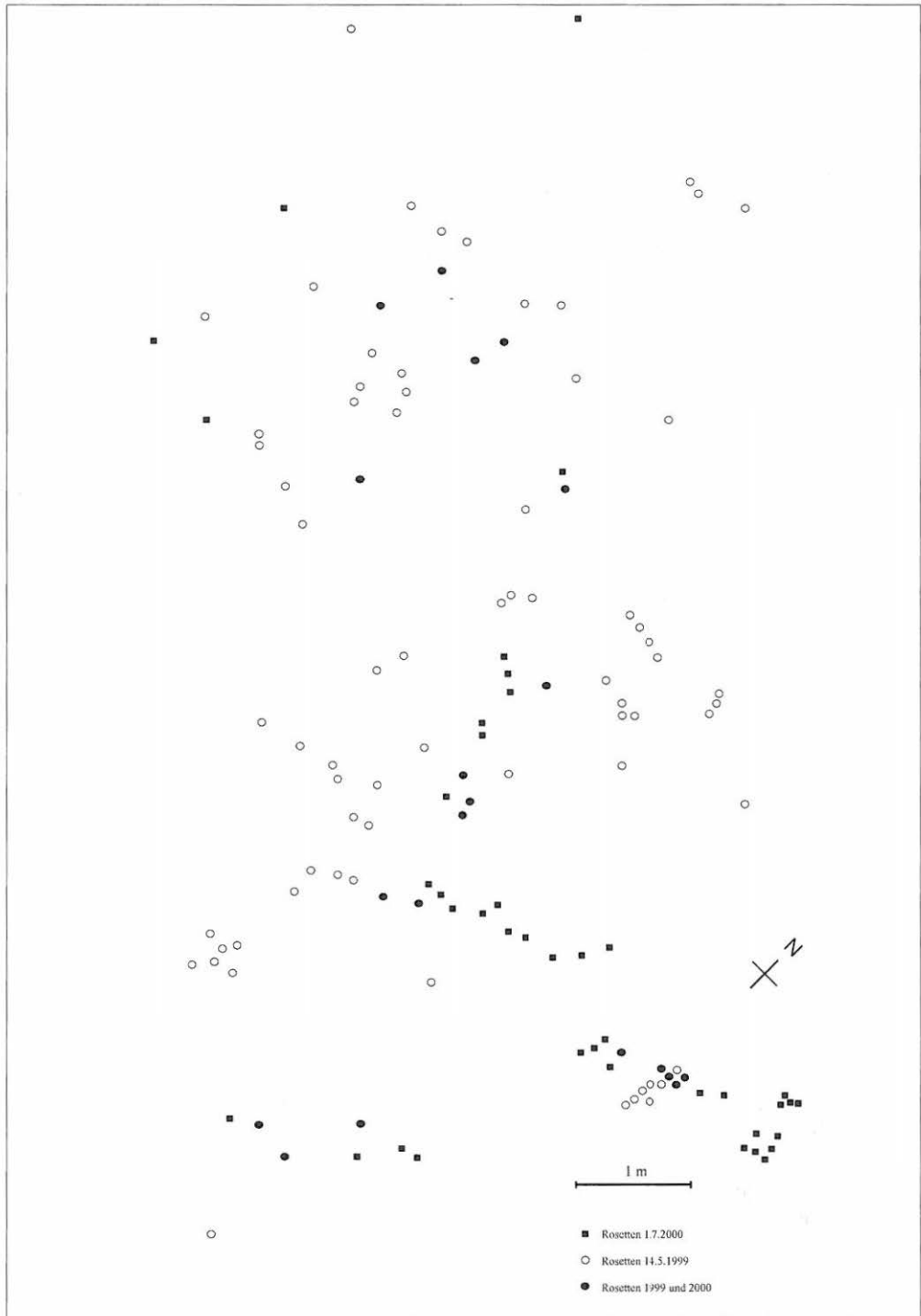


Abb. 7: Populationsentwicklung im Bereich des NW-Abhanges in den Jahren 1999 und 2000.

3.4 Populationsgenetische Untersuchungen

3.4.1 Methodik

Die genetische Analyse der Population erfolgte unter Einsatz der RAPD-Methode (random amplified polymorphic DNA, WILLIAMS et al. 1990), die zu den Techniken des DNA-Fingerprinting gehört. Unter Einsatz der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) werden anonyme DNA-Abschnitte unterschiedlicher Länge vermehrt, elektrophoretisch aufgetrennt und sichtbar gemacht. Im Ergebnis entsteht für jedes Individuum ein charakteristisches Bandenmuster, das in eine binäre Matrix übersetzt wird, die dann wiederum verschiedenen Auswertungsmethoden unterzogen werden kann. Die RAPD-Analyse lässt Aussagen über die genetische Variabilität von Populationen, die genetische Struktur innerhalb und zwischen Populationen und Gruppen von Populationen, Hierarchieebenen sowie die genetischen Distanzen zwischen ihnen zu.

Bei der RAPD-PCR wird im Gegensatz zur klassischen PCR mit nur einem Primer gearbeitet. Dieser Primer, der in der Regel nur 10 bp lang ist, soll zufällig und mehrfach Bindungsstellen im Genom finden. Während bei der klassischen PCR DNA-Fragmente mit bekannter Sequenz spezifisch amplifiziert werden, kommt es bei der RAPD-PCR zur Amplifizierung von vielen anonymen DNA-Abschnitten unterschiedlicher Länge. Die unspezifische Primerbindung wird durch die niedrige Annealing-Temperatur von ca. 36 °C gefördert, so dass selbst bei Fehlpaarungen zwischen Primer und DNA-Matrize eine Amplifizierung noch möglich ist.

Die RAPD-Methode hat den Nachteil, dass sie dominante Marker erzeugt, d. h. homozygote und heterozygote Merkmalszustände können visuell nicht unterschieden werden. Weiterhin sind die Ergebnisse aufgrund der beabsichtigten unspezifischen Primerbindung in anderen Laboratorien nur bedingt reproduzierbar. Dagegen stehen jedoch die Vorteile der Methode, die sie für populationsgenetische Fragestellungen besonders interessant machen. Die RAPD-Methode ist verhältnismäßig kostengünstig und damit für die Untersuchung großer Individuenzahlen geeignet, weiterhin werden nur sehr geringe Mengen Pflanzenmaterials benötigt, was von besonderem Interesse bei Untersuchungen gefährdeter Arten ist.

Sammlung und Konservierung des Pflanzenmaterials

Neben der Population von *A. m. ssp. hornburgensis* wurden zum Vergleich 5 weitere, durchweg größere Populationen von *Armeria maritima* s. l. mit der RAPD-Analyse untersucht (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Untersuchte Populationen und ihre genetischen Parameter.

Nr.	Population	Gauß-Krüger-Koordinaten	Unterart	Anzahl Individuen (geschätzt)	Pop.-Größe (Rang)	Heterozygote [%]	polymorphe Loci [%]	molekulare Varianz (MV)
1	Mönchgut/Rügen	⁴⁶ 08000 / ⁶⁰ 19800	<i>ssp. elongata</i>	> 100.000	6	15,6	48	8,6
2	Hornburg	⁴⁴ 71110 / ⁵⁷ 02140	<i>ssp. hornburgensis</i>	≤ 200	1*	18,4	62	9,2
3	Saugrund	⁴⁴ 65650 / ⁵⁷ 08760	<i>ssp. halleri</i>	≥ 10.000	5	18,8	56	10,4
4	Bottendorf	⁴⁴ 58700 / ⁵⁶ 86700	<i>ssp. bottendorfensis</i>	~ 2.000	4	17,9	65	11,0
5	Blankenburg	⁴⁴ 29700 / ⁵⁷ 41300	<i>ssp. elongata</i>	~ 500	2	16,1	47	9,3
6	Eckertal	⁴⁴ 06200 / ⁵⁷ 50100	<i>ssp. halleri</i>	≤ 500	3	12,2	35	5,9

*kleinste Population

Die Hornburger Population wurde im August 1999 besammelt, die Probennahme erfolgte zufällig verteilt über die ganze Population. Insgesamt wurde Material von 30 Pflanzen gesammelt, die punktgenau kartiert wurden. Pro Pflanze wurden 5-8 Blätter entnommen, in Filtertüten eingelegt und in Silicagel getrocknet. Die getrockneten und anschließend bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelagerten Pflanzenproben wurden vor der DNA-Isolation gemörsert. Die Isolation erfolgte nach dem Protokoll von HELLOWIG et al. (1999) mittels Qiagen-tip 20 Säulen.

PCR

Die PCR wurde in 12,5 μl -Probenansätzen mit 1,25 μl 10x Puffer, 1,25 μl dNTPs (2 mM), 0,75 μl Primer (10 pmol/ μl), 0,125 μl Taq-Polymerase (APPLIGENE, 5 U/ μl) und 1 μl Proben-DNA (50 ng/ μl) durchgeführt.

Die Amplifikation erfolgte im Thermocycler "Touch down" (Firma HYBAID) mit folgendem Programm: Initial-Denaturierung ($94\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 min; 1 Zyklus), gefolgt von 35 Zyklen mit Denaturierungs- ($94\text{ }^{\circ}\text{C}$, 12 s), Hybridisierungs- ($36\text{ }^{\circ}\text{C}$, 40 s) und Synthesephase ($72\text{ }^{\circ}\text{C}$, 90 s) sowie einer Endsynthesephase ($72\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10 min).

Die Auftrennung der PCR-Fragmente erfolgte durch Gel-Elektrophorese (3 % Agarose, 150 V, Laufzeit ca. 4 h).

Ein Primerscreening wurde mit 100 Oligo-Decamerprimern mit Zufallssequenz (ROTH, Karlsruhe) durchgeführt. Von diesen wurden dann für die eigentliche RAPD-Analyse die folgenden 11 Primer ausgewählt (in Klammern ist die Zahl der ausgewerteten Loci angegeben): J5 (19), J7 (12), J16 (14), J17 (9), K2 (9), K8 (15), K9 (13), K11 (18), K12 (12), N7 (15), N19 (18). Insgesamt konnten 154 Loci in die Auswertung einbezogen werden. Die Auswertung der Bandenmuster und die Erstellung der Merkmalsmatrix wurde mit dem PC-Programm RFLPSCAN Plus 3.0 (SCANALYTICS 1996) durchgeführt.

Auswertungsmethoden

Zur Untersuchung der genetischen Variabilität der Populationen wurde der Datensatz einer phänetischen und einer allelischen Interpretation unterzogen.

Mit Hilfe einer Analyse der molekularen Varianz (AMOVA, phänetische Interpretation) wurde die Summe der quadratischen Abweichung (SSD) für jede Population berechnet (Software AMOVA 1.55, EXCOFFIER et al. 1992). Aus den SSD lässt sich die molekulare Varianz (MV) als Parameter für die genetische Variabilität einfach bestimmen ($MV=SSD/n-1$, wobei n =Individuenanzahl je Population).

Da die RAPD-Analyse dominante Marker erzeugt, ist eine visuelle Unterscheidung der heterozygoten (Aa) von den homozygot dominanten (AA) Merkmalszuständen nicht möglich, der Heterozygotiegrad kann somit nicht direkt bestimmt werden. Bei einer allelischen Interpretation wird der Merkmalszustand „0“ (Bande nicht vorhanden) als homozygot rezessiver Genotyp (aa) betrachtet, die Allelfrequenzen werden daraus unter Annahme des Hardy-Weinberg-Gleichgewichtes berechnet (Software TFGA, MILLER 1997). Der Heterozygotenanteil jeder Population wird bestimmt, indem der Heterozygotiegrad für jeden Locus berechnet und dann über alle Loci gemittelt wird.

Ein drittes Maß für die genetische Variabilität ist der Anteil polymorpher Loci in jeder Population, der direkt aus der 0/1-Matrix bestimmt werden kann.

3.4.2 Ergebnisse

Parameter der genetischen Variabilität (molekulare Varianz, Heterozygotiegrad, polymorphe Loci)

Von allen untersuchten Populationen ist die von *A. m. ssp. hornburgensis* die kleinste, trotzdem hat sie im Vergleich den zweitgrößten Anteil polymorpher Loci (62 %), den zweithöchsten Heterozygotiegrad (18,4 %) und mit 9,2 eine weit größere molekulare Varianz als die Populationen Mönchgut und Eckertal (vgl. Tab. 4).

Eine genetische Verarmung der Population ist also derzeit nicht festzustellen, allerdings muss dabei die Entwicklung der Population berücksichtigt werden. Die jetzt noch vorhandene Population stellt ja den Restbestand einer einst wesentlich größeren dar, deren Genpool aber offensichtlich in der Restpopulation noch gut repräsentiert ist.

Ähnlichkeit der Individuen und geographische Distanz

Mit der Erstellung einer Populationskarte und der damit verbundenen punktgenauen Kartierung jeder untersuchten Pflanze konnte überprüft werden, ob sich benachbarte Individuen genetisch ähnlicher sind als weiter voneinander entfernt wachsende.

Für die Berechnung der Ähnlichkeitsmatrix wurde der Jaccard-Index verwendet, die paarweisen Entfernungen der Pflanzen wurden aus der Populationskarte entnommen. Die genetischen und geographischen Distanzen sind in Abb. 8 gegeneinander aufgetragen. Die Korrela-

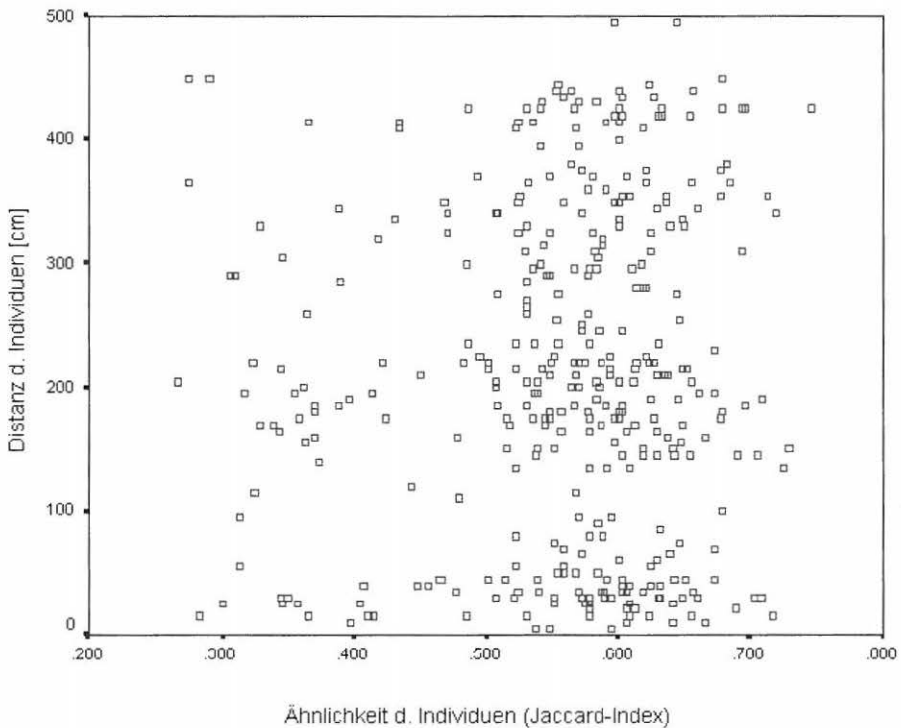


Abb. 8: Paarweise Darstellung von phänetischen und räumlichen Distanzen der Individuen von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*.

tion zwischen beiden Matrizen wurde mit dem Mantel-Test überprüft. Der optische Eindruck der Graphik wird durch diesen Test bestätigt, zwischen beiden Matrizen besteht keine Korrelation ($r = 0,04$; $p > 0,4$). Somit sind sich benachbarte Pflanzen nicht ähnlicher oder unähnlicher als weiter voneinander entfernt wachsende, d. h. es besteht ungehinderter Genfluss über die gesamte Population.

Taxonomie

Die durchgeführten RAPD-Analysen lassen neben den eigentlichen populationsgenetischen Befunden auch Aussagen zur Taxonomie und Evolution der untersuchten schwermetalltoleranten Taxa (ssp. *halleri*, ssp. *bottendorfensis*, ssp. *hornburgensis*) zu, auf die hier jedoch nicht ausführlich eingegangen werden kann [vgl. BAUMBACH & HELLWIG (in Vorb.)].

Verschiedene Auswertungsmethoden der 0/1-Matrix (Clusteranalysen, Ordination, AMOVA) erbrachten übereinstimmend das gleiche Ergebnis. Die untersuchten Individuen werden durch die verschiedenen statistischen Verfahren eindeutig ihren Populationen zugeordnet. Eine über das Populationsniveau hinausgehende Strukturierung des Datensatzes ist jedoch kaum zu erkennen. So lassen sich die Populationen weder entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu Unterarten, noch zu edaphischen oder geographischen Gruppen zusammenschließen. Als gut gestützt kann die These gelten, dass alle Populationen über Unterartgrenzen hinweg eine gemeinsame, genetisch sehr variable Gruppe bilden, von der sich die Eckertal-Population und die Hornburger Population unterscheiden. Ob das für letztere einen eigenen taxonomischen Rang rechtfertigt, kann mit einer phänetischen Analyse nicht beurteilt werden.

3.5 Untersuchungen zum dimorphen Inkompatibilitätssystem

Das Fortpflanzungssystem der Gattung *Armeria* zerfällt in zwei Gruppen: die amerikanischen und arktischen Formenkreise sind monomorph, d. h. sie haben nur einen Pollen- und Narbentyp und sind selbstkompatibel. Die europäischen Formenkreise sind dimorph, d. h. es gibt Typ-A-Pflanzen (reticulater Pollen, glatte Narbe) und Typ-B-Pflanzen (punktierter Pollen, papillöse Narbe), wobei beide in jeder Population in etwa gleicher Anzahl auftreten. Die dimorphen Populationen sind im Normalfall selbst-inkompatibel (IVERSEN 1940, BAKER 1966, LEFEBVRE 1970, VEKEMANS et al. 1990).

Für Populationen auf Schwermetallböden gibt es in der Literatur widersprüchliche Angaben über die Verteilung der beiden Typen. So wurde einerseits festgestellt, dass das normalerweise vorhandene Gleichgewicht von A- und B-Typen in schwermetalltoleranten *Armeria*-Populationen zugunsten der B-Typen leicht verschoben ist (LEFEBVRE 1970), in einer späteren Arbeit des gleichen Autors (LEFEBVRE 1985) wurde hingegen in natürlichen Populationen auf Schwermetallstandorten (Plombieres, Belgien) keine signifikante Verschiebung des 1:1 Verhältnisses von A- und B-Typen gefunden.

Für die Populationen der ssp. *hornburgensis* und der ssp. *bottendorfensis* gibt SCHUBERT (1954) das Überwiegen eines Griffeltyps an, jedoch geht aus der Arbeit nicht hervor, ob es sich dabei um den A- oder B-Typ handelt.

Eigene Untersuchungen in der Population von *A. m.* ssp. *hornburgensis* erbrachten im Mittel ein leichtes Überwiegen des B-Typs von etwa 3 % (vgl. Tabelle 5).

4 Diskussion

Wie gezeigt wurde, wird die Population von *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* seit mindestens vier Jahrzehnten kleiner. Bis zum Jahr 2000 dürfte die Populationsgröße auf etwa 1/10

Datum	Anzahl Pflanzen		Verhältnis A/B
	A-Typ	B-Typ	
12.6.02*	1	5	0,2
3.7.02*	5	8	0,63
23.8.02*	44	40	1,1
Gesamt	50	53	0,94

Tab. 5: Dimorphieverhältnisse in der Population von *A. m. ssp. hornburgensis* im Jahr 2002.

*alle blühenden Pflanzen besammelt

*ca. 40 % der blühenden Pflanzen besammelt

des Wertes von 1965 geschrumpft sein. Trotzdem konnten mit der RAPD-Analyse keine Indizien für eine etwaige genetische Drift oder Inzuchtdepressionen festgestellt werden, die Parameter für die genetische Variabilität (Heterozygotiegrad, molekulare Varianz, polymorphe Loci) sind vergleichsweise hoch. Offenbar ist der Genpool der ehemals viel größeren Population in der Restpopulation noch gut vertreten. Wie demographische Untersuchungen von LEFEBVRE & CHANDLER-MORTIMER (1984) zeigen, können einzelne Individuen von *Armeria maritima* ein Alter von über 20 Jahren erreichen. Somit ist es denkbar, dass zumindest einige Individuen noch aus der einstmals größeren Population bis in die Gegenwart überdauern konnten.

Wie groß müsste nun die Population sein, um die genetische Variabilität weiterhin zu erhalten? Diese Frage ist nicht ohne weiteres zu beantworten, da es zu dieser Problematik in der Literatur sehr verschiedene Modelle gibt. So sind nach FRANKLIN (1980) bei einer effektiven Populationsgröße von 50 keine negativen Auswirkungen durch Inzucht zu erwarten. Um das evolutionäre Potential langfristig zu erhalten, wären demnach etwa 500 Individuen notwendig. Da die effektive Populationsgröße wesentlich kleiner als die tatsächliche sein kann, sollte die tatsächliche Populationsgröße den Genpool um den Faktor 5 bis 10 übersteigen, so dass man von 2500 bis 5000 Individuen ausgehen kann (NUNNEY & CAMPBELL 1993). Negative Auswirkungen durch Inzucht oder genetische Drift werden jedoch schon bei einer Populationsgröße zwischen 250-500 Individuen vermieden. Die derzeitige Populationsgröße bewegt sich also am unteren Rand des biologisch Erforderlichen.

Es konnte gezeigt werden, dass in der gesamten Population ungehinderter Genfluss besteht. Dieses Ergebnis ist nicht verwunderlich: die Samen von *Armeria* können durch Wind von der Mutterpflanze bis zu drei Metern verbreitet werden (PHILIPP et al. 1992), die Pollen werden von bestäubenden Faltern über weit größere Distanzen transportiert.

Gezeigt werden konnte auch die starke Populationsdynamik im Vergleich zweier Vegetationsperioden, die für ausdauernde Pflanzen nicht unbedingt zu erwarten gewesen wäre. Die stärksten Fluktuationen traten dabei im Bereich mit höheren Deckungsgraden in der Krautschicht und teilweiser Beschattung durch Kirschbäume und aufkommende Sträucher auf. Im Bereich des anstehenden Rotliegenden-Sandsteins war die Dynamik weitaus geringer. Dies ist offensichtlich auf die Auswirkungen interspezifischer Konkurrenz zurückzuführen.

Untersuchungen zur Ausbildung von Diasporenbanken bei *Armeria maritima* ssp. *halleri* (KOSSAK 1999) zeigen, dass die Samen offensichtlich nicht länger als 12 Monate lebensfähig bleiben. Somit kann nur eine temporäre Diasporenbank aufgebaut werden, die jedes Jahr neu aufgefüllt werden muss. Aus einer solchen vorübergehenden Diasporenbank (zur Terminologie vgl. POSCHLOD 1991) kann nach einem Störereignis (bei dem im schlimmsten Fall alle Pflanzen vernichtet werden) eine Wiederbesiedlung des Standortes nur noch relativ kurzfristig erfolgen.

Die Untersuchungen zur Dimorphie scheinen eine leichte Verschiebung des 1:1-Verhältnisses zugunsten des B-Typs zu bestätigen, wie sie bereits von LEFEBVRE (1970) für Populationen

der ssp. *halleri* beschrieben wurde. Im Normalfall, d. h. bei einer größeren Anzahl blühender Pflanzen, dürfte diese leichte Verschiebung keine Auswirkungen auf die Fortpflanzungsbiologie der Population haben. Blühen jedoch nur wenige Pflanzen, kann ein 5-faches Überwiegen des einen Typs dazu führen, dass zu diesem Zeitpunkt aufgrund des dimorphen Inkompatibilitätssystems keine Fremdbestäubung und damit natürlich auch keine Samenproduktion mehr möglich ist. Ob in diesem Fall dann vermehrt Selbstbestäubung stattfindet, bedarf noch der experimentellen Überprüfung.

Auch wenn *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis* offensichtlich kein Endemit von hohem taxonomischen Rang ist (weitere Untersuchungen hierzu laufen derzeit in einem Projekt des Institutes für Spezielle Botanik, FSU Jena), sollte der Erhalt der Population unbedingt angestrebt werden. Zudem handelt es sich um einen primären Schwermetallstandort, der nicht durch bergbauliche Tätigkeit entstanden ist und somit ein wesentlich höheres Alter hat als alle Schwermetallstandorte auf Halden im benachbarten Mansfelder Revier.

Auch wenn die genetischen Parameter zur Zeit nicht auf einen Zusammenbruch der Population (z. B. durch genetische Drift hinweisen), bleibt die Population hochgradig gefährdet. So lassen sich lokale Katastropheneignisse (z. B. Feuer), die den Standort völlig vernichten können, nicht vorhersagen oder vermeiden. Auch Jahre mit ungünstiger Witterung, in denen nicht genügend Diasporen produziert werden können, stellen ein Risiko dar. Die weitaus größte Gefahr für die Population - ihre fortschreitende Verkleinerung durch den wachsenden Schwarzkieferbestand und den Gebüschaufwuchs am NW-Hang - ist aber vorerst gebannt. Nun bleibt abzuwarten, ob der neu geschaffene Lebensraum angenommen wird und sich die Population in den nächsten Jahren wieder vergrößern wird. Bei einer erfolgversprechenden Entwicklung sollte eine weitere schrittweise Abholzung des Schwarzkiefernbestandes auf dem Galgenbergplateau vorgenommen werden. Gespräche und Verhandlungen laufen bereits, um in naher Zukunft im Rahmen von Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen weitere Fällungen und Pflegemaßnahmen zu ermöglichen. Je größer die Population wird, umso größer wird auch ihre Überlebenschance.

Perspektivisch sollten der im Jahr 2000 durchgeführten Erstpflege weitere begleitende Pflegemaßnahmen folgen. So wäre eine periodische Beweidung der gerodeten Bereiche auf dem Galgenberg eine überlegenswerte Maßnahme. Sicher könnte man dabei auf Erfahrungen zurückgreifen, die bereits seit einigen Jahren auf der Bottendorfer Höhe mit der Beweidung der dortigen Vorkommen von *A. m.* ssp. *bottendorfensis* durch Schafe gemacht werden konnten. Testweise sollte eine Beweidung zuerst auf den Flächen erfolgen, die als nächstes gerodet werden und in der ersten Zeit nach der Rodung einen besonders dichten Grasbewuchs aufweisen. Bei einer positiven Entwicklung könnten dann schrittweise auch die bisherigen Flächen einbezogen werden.

Ein großes Problem war und ist die starke Frequentierung der Galgenberg-Kuppe durch Erholungssuchende, die oft große Mengen Müll am Standort zurücklassen. Mit Entfernung der Sitzgruppe hat sich die Situation etwas entspannt, wenngleich die Verhältnisse noch nicht zufrieden stellen können. Inwieweit hier Abhilfe geschaffen werden kann, ist nicht leicht zu beantworten. Eine Absperrung des Bestandes würde in der Bevölkerung sicher nicht auf Akzeptanz stoßen und ist deshalb kaum praktikierbar. Eine Informationstafel in der Nähe des Standortes könnte zwar aufklärend wirken und ein positives Verhalten fördern, andererseits aber auch erst unnötig aufmerksam machen und einen „Tourismus“ fördern, der die Population schnell auslöschen könnte. Für beide Fälle gibt es Beispiele aus der Naturschutzpraxis.

5 Literatur

- BAKER, H. G. (1966): The evolution, functioning and breakdown of heteromorphic incompatibility systems. *Evolution* **20**: 349-368.
- BAUMBACH, H. (2000): Beitrag zur Flora und Vegetation von Bergbau-, Hütten- und Stollenhalden im Mansfelder und Sangerhäuser Revier. Schriftenreihe des Mansfeld-Museums (N. F.) **5**: 105-118.
- BAUMBACH, H. (2001): Populationsbiologische Untersuchungen an schwermetalltoleranten Sippen der Gattung *Armeria* WILLD. in Mitteldeutschland. Diplomarbeit, FSU Jena.
- BAUMBACH, H. & HELLWIG, F. H. (in Vorb.): Genetic variation within and among metal-tolerant and non-tolerant populations of *Armeria maritima* (MILL.) WILLD. s. l. (Plumbaginaceae) in Central and Northeast Germany.
- BAUMEISTER, W. & ZIFFUS, G. (1981): Salzsekretion durch die Salzdrüsen von *Armeria maritima* L. *Zeitschr. f. Pflanzenphysiologie* **102**: 273-278.
- CASTROVIEJO, S.; LAINZ, M.; LOPEZ GONZALEZ, G.; MONTSERRAT, P.; MUNOZ GARMENDIA, F.; PAIVA, J. & VILLAR, L. (1990): Flora Iberica - Vol. II: Platanaceae-Plumbaginaceae (partim). Madrid.
- CHRISTIANSEN, W. (1931): Die mitteldeutschen Formenkreise der Gattung *Armeria*. *Bot. Arch.* (Leipzig) **31**: 247-265.
- DE FIGUEIREDO, C. & NEUMANN, D. (2000): Mechanismen der Schwermetalltoleranz bei *Armeria maritima*. Tagungsband Botanikertagung 2000, Jena, S. 223.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- ERNST, W. (1966): Ökologisch-soziologische Untersuchungen an Schwermetallpflanzengesellschaften Südfrankreichs und des östlichen Harzvorlandes. *Flora Abt. B*, Bd. **156**: 301-318.
- ERNST, W. (1974): Schwermetallvegetation der Erde. Gustav Fischer, Stuttgart.
- FRANK, D.; HERDAM, H.; JÄGER, E. J.; KLOTZ, S.; RATTEY, F.; WEGENER, U.; WEINERT, E. & WESTHUS, W. (1992): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen des Landes Sachsen-Anhalt. *Ber. Landesamt. Umweltschutz Sa.-Anhalt (Halle)* **1**: 44-63, Halle/S.
- FRANK, D. & NEUMANN, V. (Hrsg.) (1999): Bestandssituation der Pflanzen und Tiere Sachsens-Anhalts. Ulmer, Stuttgart/Hohenheim.
- FRANKLIN, I. A. (1980): Evolutionary change in small populations. In: SOULE, M. E. & WILCOX, B. A. (Hrsg.): *Conservation Biology. An Evolutionary-Ecological Perspective*. Sunderland, MA (Sinauer): 135-149.
- FREY, W. & LÖSCH, R. (1998): Lehrbuch der Geobotanik – Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit. Gustav Fischer, Stuttgart.
- HELLWIG, F. H.; NOLTE, M.; OCHSMANN, J. & WISSEMAN, V. (1999): Rapid isolation of total cell DNA from milligram plant tissue. *Hausknechtia (Jena)* **7**: 29-34.
- IVERSEN, J. (1940): Blütenbiologische Studien. I. Dimorphie und Monomorphie bei *Armeria*. *Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Biologiske Meddelelser*. **XV** (8). København.
- JÄGER, E. J. & WERNER, K. (Hrsg.) (2002): Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Kritischer Band. 9. Aufl., Spektrum, Heidelberg.
- KOSSAK, O. (1999): Populationsbiologische Untersuchungen auf Schwermetallhalden in Mitteldeutschland. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, MLU Halle-Wittenberg.
- LEFEBVRE, C. (1970): Self-fertility in maritime and zinc mine populations of *Armeria maritima* (MILL.) WILLD. *Evolution* **24**: 571-577.
- LEFEBVRE, C. (1974): Population variation and taxonomy in *Armeria maritima* with special reference to heavy-metal-tolerant populations. *New Phytol.* **73**: 209-219.
- LEFEBVRE, C. (1985): Morphological variation, breeding system and demography at populational and subpopulational levels in *Armeria maritima* (MILL.) WILLD. In: JACQUARD, P.; HEIM, G. & ANTONOVICS, J.: *Genetic differentiation and dispersal in plants*: 129-139. Springer, Berlin.
- LEFEBVRE, C. & CHANDLER-MORTIMER, A. (1984): Demographic characteristics of the perennial herb *Armeria maritima* on zinc-lead mine wastes. *J. Appl. Ecol.* **21**: 255-264.
- MAHN, E. G. (1965): Vegetationsaufbau und Standortverhältnisse der kontinental beeinflussten Xerothermrasengesellschaften Mitteldeutschlands. *Abh. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig. math.-nat.* (Berlin) **49** (1).
- MAHN, E. G. (1966): Die ökologisch-soziologischen Artengruppen der Xerothermrasen Mitteldeutschlands. *Bot. Jb. (Stuttgart)* **85** (1): 1-44.
- MEUSEL, H.; JÄGER, E. J.; RAUSCHERT, S. & WEINERT, E. (1965-1992): Vergleichende Chorologie der Zentraleuropäischen Flora. Bd. 1-3, Gustav Fischer, Jena.
- NEUMANN, D.; ZUR NIEDEN, U.; LICHTENBERGER, O. & LEOPOLD, I. (1995): How does *Armeria maritima* tolerate high heavy metal concentrations? *J. Plant Physiol.* **146**: 704-717.
- NUNNEY, L. & CAMPBELL, K. A. (1993): Assessing minimum viable population sizes: demography meets population genetics. *Trends in Ecology and Evolution* **8**: 234-239.

- PARDEY, A. (Hrsg.) (1999): Naturschutz-Rahmen-Konzeption Galmeifluren NRW - Schutzgebiets- und Biotopverbundplanungen für naturschutzwürdige Biotopkomplexe im Bereich nordrhein-westfälischer Schwermetallstandorte. LÖBF-Schriftenreihe, Band 16.
- PHILIPP, M.; MADSEN, H. E. S. & SIEGISMUND, H. R. (1992): Gene flow and population structure in *Armeria maritima*. *Heredity* 69 (1): 32-42.
- POSCHLOD, P. (1991): Diasporenbanken in Böden – Grundlagen und Bedeutung. In: SCHMID, B. & STÖCKLIN, J.: Populationsbiologie der Pflanzen. Birkhäuser, Basel.
- SCHUBERT, R. (1953): Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. *Wiss. Z. Univ. Halle, math.-nat. (Halle)* 3: 51-70.
- SCHUBERT, R. (1954): Zur Systematik und Pflanzengeographie der Charakterpflanzen der Mitteldeutschen Schwermetallpflanzengesellschaften. *Wiss. Z. Univ. Halle, math.-nat. (Halle)* 3: 863-882.
- SCHUBERT, R. (1962): Die ökologisch-soziologischen Artengruppen der Ackerunkrautvegetation Mitteldeutschlands. *Bot. Jb. (Stuttgart)* 81 (4): 416-449.
- SCHUBERT, R. (2001): Prodrum der Pflanzengesellschaften Sachsen-Anhalts. *Mitt. florist. Kart. Sachsen-Anhalt (Halle), Sonderheft 2, Halle/S.*
- SCHUBERT, R.; HILBIG, W. & KLOTZ, S. (1995): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Mittel- und Nordostdeutschlands. Gustav Fischer, Jena.
- SCHUBERT, R. & RAUSCHERT, S. (1966): Arbeitsgemeinschaft mitteldeutscher Floristen; Floristische Beiträge zur geobotanischen Arbeit in Mitteldeutschland (X). *Wiss. Z. Univ. Halle, math.-nat. (Halle)* 15: 737-846.
- SCHUBERT, R. & VENT, W. (Hrsg.) (1990): Exkursionsflora von Deutschland. Kritischer Band. 8. Aufl., Volk und Wissen, Berlin.
- SCHULZ, A. (1912): Über die auf schwermetallhaltigem Boden wachsenden Phanerogamen Deutschlands. 40. Jahresbericht d. Westf. Provinzial-Vereins für Wissenschaft u. Kunst, Münster: 210-227.
- TUTIN, T. G.; HEYWOOD, V. H.; BURGESS, N. A.; MOORE, D. M.; VALENTINE, D. H.; WALTERS, S. M. & WEBB, D. A. (1972): *Flora Europaea – Vol. III: Diapensiaceae to Myoporaceae*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VEKEMANS, X. & LEFEBVRE, C. (1997): On the evolution of heavy-metal tolerant populations in *Armeria maritima*: Evidence from allozyme variation and reproductive barriers. *J. Evol. Biol.* 10 (2): 175-191.
- VEKEMANS, X.; LEFEBVRE, C.; BELALIA, L. & MEERTS, P. (1990): The evolution and breakdown of the heteromorphic incompatibility system of *Armeria maritima* revisited. *Evolutionary trends in plants* 4 (1): 15-23.
- VOLKMANN, H. K. M. (1990): Pflanzenverbreitung im Mansfelder Seengebiet und seiner näheren Umgebung – Ein Beitrag zur pflanzengeographischen Raumgliederung. Diss., Halle/S.
- VOLKMANN, H. K. M. (1999): *Armeria maritima* ssp. *hornburgensis*, eine Übersicht über Lage und Population seit 1965. Manuskript, Lutherstadt Eisleben.
- WALLROTH, F. W. (1842): Monographischer Versuch über die Gewächsgattung *Armeria* WILLD. Beiträge zur Botanik 1 (1): 168-218.
- WILLIAMS, J. G. K.; KUBELIK, A. R.; LIVAK, K. J.; RAFALSKI, J. A. & TINGEY, S. V. (1990): DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res.* 18 (22): 6531-6535.
- WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Ulmer, Stuttgart/Hohenheim.

Software

- EXCOFFIER, L. (1992, 1993): Amova (ver. 1.55). Genetics and Biometry Laboratory, University of Geneva.
- MILLER, M. (1997): Tools for population genetic analysis (TFPGA) 1.3: A windows program for the analysis of allozyme and molecular population genetic data.
- SCANALYTICS (1996): RFLPSCAN Plus Version 3.0. Billerica, MA, USA.

Anschriften der Verfasser

Dipl.-Biol. Henryk Baumbach
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Spezielle Botanik
Philosophenweg 16
D-07743 Jena

Dr. Horst K. M. Volkmann
Bucherstraße 2
D-06295 Lutherstadt Eisleben