

Abh. Naturw. Verein Bremen	43/2	339-362	Festschrift Cordes	Bremen 1996
----------------------------	------	---------	--------------------	-------------

Wolffia arrhiza, *Azolla filiculoides*, *Lemna turionifera* und andere wärmeliebende Pflanzen in Bremen - Boten eines Klimawandels?

Wolffia arrhiza, *Azolla filiculoides*, *Lemna turionifera*
and some more thermophilous plant species in Bremen -
messengers of a climate change?

RAIMUND KESEL und THOMAS GÖDEKE

Zusammenfassung: In den 80er und 90er Jahren sind in Bremen eine Reihe von wärmeliebenden Arten neu gefunden worden und bereits seit längerem vorhandene Arten haben sich weit hin ausgebreitet wie die im Bremer Blockland seit 1964 bekannte subtropische Zwerglinse *Wolffia arrhiza*. Neu hinzugekommen sind der subtropische Algenfarn *Azolla filiculoides*, der mittlerweile im Herbst ausgedehnte Bestände in den Gräben und Fleeten des Blocklandes bildet, sowie *Lemna turionifera*, eine eher kontinentale Art. Auf terrestrischen Standorten ist die Ausbreitung von zwei mediterranen Arten bemerkenswert: *Saxifraga tridactylites* und *Vulpia bromoides*. Eine Reihe weiterer Arten kommen mit kleinen Vorkommen hinzu.

Ökologie und Verbreitungsmechanismen dieser Arten lassen den Schluß zu, daß ihre Ausbreitung als Folge der Klimaerwärmung zu werten ist. Die Bremer Gewässer werden dabei zusätzlich durch den natürlichen Ionenreichtum und durch pleustogene Erwärmungsmechanismen gefördert. Viele terrestrische Standorte werden in ihrer Trockenheit und Wärme durch das sich mit der Klimaerwärmung ebenfalls ändernde Stadtklima begünstigt, sodaß dort lokale disjunkte Vorkommen von sich ausbreitenden wärme- und trockenheitsliebenden Arten zu finden sind.

Die Analyse des Bremer Klimas zeigt eine Klimaerwärmung seit Beginn des Jahrhunderts mit einer Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um ca. 1,5°C. Vor allem der Anstieg der Juli-Monatsmitteltemperatur auf über 18°C und der Winter-Mitteltemperatur um ca. 3°C ist bemerkenswert und ausschlaggebend für die Veränderungen der Flora und Vegetation Bremens. Diese Klimaänderungen entsprechen den zahlreichen veröffentlichten Beobachtungen und Berechnungen. Sie lassen für Bremen eine Entwicklung hin zu einem warm-temperierten Klima mit submediterranen Trockenphasen erwarten. Auf diesem Hintergrund werden die beschriebenen Vorkommen und Ausbreitungen wärmeliebender Arten als Boten der Klimaerwärmung bestätigt.

Summary: In the 80th and 90th, a series of thermophilous plant species have been found for the first time in Bremen, and species like the subtropical *Wolffia arrhiza*, which is noted for the Bremen Blockland since 1964, are spreading fastly. A new species in the ditches and channels

is the subtropical fern *Azolla filiculoides*, which is filling out extended stands in autumn. Also the rather continental duckweed *Lemna turionifera* has been found. On terrestrial stands are to record the occurrences and spreadings of the mediterranean species *Saxifraga tridactylites* and *Vulpia bromoides*. Some more species have been found in small populations.

The ecology and mechanisms of propagation of these species indicate their spreading as a result of climate warming. The described waters are favored by the natural ionic richness and the pleustogenic warming mechanisms additionally. The drought and temperature of many terrestrial stands are promoted by the also increasing city climate in a way that there are to find expanding distributed and disjunct occurrences of thermophilous and aridophilous species.

The analysis of the climate of Bremen shows a warming since the beginning of the century with an increase of the annual mean temperature by 1,5°C. Remarkable are the increases of the mean monthly temperature of July to more than 18°C and of the mean winter temperature by about 3°C, which both are determining alterations in flora and vegetation. These climate changes coincide with numerous published observations and forecasts. Thus, a development into a warm-temperate climate with submediterranean droughts is expected for the Bremen area. Within that framework, the described occurrences and spreadings of thermophilous species are to value as messengers of the climate warming.

Einleitung

Die kleinste Blütenpflanze Europas - die kleinste der Welt ist nach LANDOLT (1994) die in Australien verbreitete, weniger als 1mm große *Wolffia angusta* Landolt -, die etwa stecknadelkopfgroße (ca. 2mm) Zwerg-Wasserlinse *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimmer, ist bereits seit den 50er Jahren in Nordwestdeutschland bekannt (WEBER-OLDECOP 1973). Sie wurde erstmals 1952 von BRINKMANN im Moorriemer Moor nordwestlich Gellen/Oldenburg gefunden (MENKE 1952). Zwei Jahre später fand sie dann KÜSEL im Feldermanns Moor bei Lahausen (KÜSEL 1955), später dann auch bei Thedinghausen (1963-67), und 1967 wurde sie von FIN-SCHOW im Bremer Blockland gefunden (Oberblockland und Niederblockland, KÜSEL 1969). Dieser Bestand im Bremer Blockland hat sich seitdem im Gebiet gehalten und ausgebreitet (HORST 1978/79, CORDES 1980, KESEL 1983, KESEL & CORDES 1985; NAGLER & CORDES 1993). Seit 1983 ist die Ausbreitung von *Wolffia arrhiza* im Bremer Blockland kontinuierlich beobachtet worden.

Im Laufe dieser Beobachtung konnte Ende der 80er Jahre dann auch eine weitere Wasserpflanzenart der Bremer Flora hinzugefügt werden: *Azolla filiculoides* Lamarck. Wahrscheinlich von Aquarianern oder durch Ökologieversuche der Universität ausgebracht, war die Art zunächst nur mit kleinen Flecken entlang der Waller Straße vertreten. In den letzten 5 Jahren erfuhr dieser Algenfarn eine nahezu explosionsartige Ausbreitung und bedeckt heute im Herbst weite Flächen der Blocklandfleete und -gräben beiderseits der Kleinen Wümme. Er fällt dann besonders durch die Rotfärbung seiner Thalli auf, die weithin zu sehen ist.

Ebenfalls aufgefallen durch seine, wenn auch dezentere Rotfärbung war dann 1992 ein weiterer Pleustophyt: *Lemna turionifera* Landolt, eine Art eher kontinental geprägter Standorte (LANDOLT 1986). Ein Neufund für Bremen, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß die Art erst 1975 beschrieben wurde und wohl bisher als solche übersehen bzw. für *Lemna minor* gehalten wurde. Erstfunde für Europa liegen vor aus den 60er Jahren in der Oberrheinebene (WOLFF & ORSCHIEDT 1993) und den 80er Jahren bei Hamburg (HECKMANN 1984).

Was lag also näher, als dabei auch an die Folgen der Klimaerwärmung zu denken, kommen doch *Wolffia* und *Azolla* ursprünglich aus tropisch-subtropischen Klimaregionen Afrikas und Amerikas und *Lemna turionifera* aus den kontinental geprägten Regionen Nordamerikas und Eurasiens und gelten damit als wärmeliebend und trockenheitsresistent.

Bezieht man weitere Neufunde und Ausbreitungen wärmeliebender und trockenheitsresistenter aquatischer und terrestrischer Arten der letzten Jahre mit ein, so verdichten sich die Indizien für die Auswirkungen des Klimawandels auf Flora und Vegetation. Auf dem Hintergrund von Ökologie und Lebensseigenschaften wärmeliebender Arten werden die *Wolffia*- und *Azolla*-Vorkommen sowie das von *Lemna turionifera* und der terrestrischen Arten *Saxifraga tridactylites* und *Vulpia bromoides* floristisch-ökologisch beschrieben und damit solche Indizien zusammengetragen. Eine kurze Analyse der Entwicklung des Bremer Klimas schließt sich an und verdichtet die Indiziensammlung.

Die Nomenklatur der Arten folgt der Standardliste (ZENTRALSTELLE FÜR DIE FLORISTISCHE KARTIERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 1993/1995).

Ökologie wärmeliebender Arten

Voraussetzung für die Ansiedlung und die Ausbreitung wärmeliebender Wasserpflanzen sind warme, flache, meist stehende und windgeschützte Gewässer. Verbreitet werden diese Arten durch Wasservögel (ornithochor), Überflutungen (hydrochor) und Wind (anemochor). Sie überdauern kalte Jahreszeiten durch die speziellen Mechanismen der Turionen- und Samen- bzw. Sporocarpbildung und sinken mit diesen stärkereichen Überdauerungsorganen oder auch den ganzen Pflanzen in die nicht durchfrierenden Schlammböden der Gewässer ab. Von einer schützenden Schleimschicht umgeben, überdauern auch manche Samen und Turionen bzw. bei Wasserfarnen Sporocarprien das zumindest kurzzeitige Einfrieren im Oberflächeneis. In den Frühjahrs- und Sommermonaten zeigen diese Arten je nach Entwicklung der Gewässertemperatur eine ±starke Wachstumsrate und breiten sich in unterschiedlicher Weise in die umliegenden Gewässer aus. Wärmeliebende Makrophyten zeigen ihr maximales Wachstum bei Temperaturen um 30°C. Außerdem bestehen Beziehungen zwischen der minimalen Wachstumstemperatur und der Anzahl der Tage mit Mitteltemperaturen über 10°C, die für ein langfristiges Auftreten von aquatischen Makrophyten notwendig sind. In Bremen sind im Mittel 166 solche Tage zu verzeichnen, wobei die Werte zwischen 147 und 183 Tagen schwanken (Zeitraum: 1954-95; Daten aus den Datenblättern des DWD errechnet).

Wärmeliebende Landpflanzen siedeln sich auf sommerwarmen und wintermilden, ±offenen Böden verschiedener Art an (Sand, Grus, Kies, Lehm, Ton), so z.B. auf Bahngelände und Industriebrachen, an Straßenrändern und in ±unbewirtschafteten Grünflächen. Meist sind es Wärmekeimer, d.h. sie benötigen Bodentemperaturen um die 30°C bei geringer, aber ausreichender Bodenfeuchtigkeit.

Allgemein zeigen diese Arten hohe Wachstums- und Vermehrungsraten bei hohen Temperaturen um 30°C. Sie bauen dann schnell ein großes Samen- oder Überdauerungsreservoir (Rhizome, Knollen, Zwiebeln) auf und sie sind so in der Lage, sowohl nachfolgende Trockenperioden als auch spätere Frostphasen zu überstehen. Im Speziellen haben jedoch nur die durch Wind und durch moderne Verkehrsmittel (Klebe- und Haftfähigkeiten) verbreitbaren Arten eine Chance, sich in neuen meso- bis xerophilen Arealen anzusiedeln und von diesen Vorposten aus weiter zu verbreiten. Bei vielen neuen Vorkommen wärmeliebender Arten spielt der Mensch die wichtigste Rolle bei deren (bewußter oder unbewußter) Verbreitung.

Um als Indikator für Klimaerwärmung zu dienen, dürfen die bevorzugten Standorte dieser Arten nicht der begrenzende Faktor sein, d.h. sie müssen im Prinzip reichlich zur Verfügung stehen. Und sie müssen auch durch die artspezifischen Verbreitungsmechanismen erreichbar sein. Nach FIRBANK ET AL. (1995) breiten sich die aufgrund von Klimaänderungen eindringenden Arten am schnellsten und sichtbarsten auf häufig oder stark gestörten Standorten aus. Auch für Wälder wurde von SIROIS ET AL. (1994) festgestellt, daß entsprechende physiognomi-

sche Änderungen eher in den durch $\pm$ regelmäßige Waldbrände moderat gestörten Bereichen auftreten.

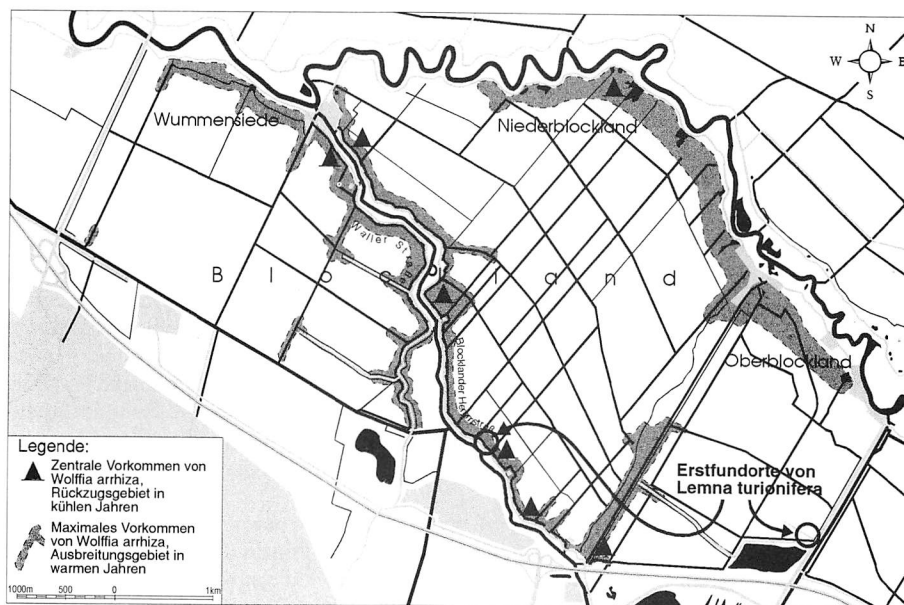
Insofern sind sowohl die moderat gestörten und im Windschatten der Stadt liegenden Grabenstandorte der Bremer Niederung als auch die exponierten und häufig gestörten Standorte entlang der Verkehrswege sowie die $\pm$ stark gestörten Standorte vieler Brache- und Bauflächen bestens geeignet als Indikatoren-Standorte für die Klimaerwärmung. Sie stehen reichlich zur Verfügung und sind auf spezifischen Verbreitungswegen zu erreichen: durch Wasservögel, Wind oder Verschwemmung, durch Wind und Haftung an Verkehrsmitteln, durch beabsichtigtes und unbeabsichtigtes Einbringen durch den Menschen. Und durch die Begünstigung wird sich an diesen Standorten die Klimaerwärmung am frühesten auswirken, und sie wird am deutlichsten sichtbar werden.

Verbreitung und Ökologie der Zwerglinse *Wolffia arrhiza* (L.) Hork. ex Wimm.

Verbreitung von *Wolffia arrhiza*

Wolffia arrhiza ist in Europa seit der Jahrhundertwende bekannt. HEGI (1909) gibt bereits für 1894-99 Fundorte bei Mannheim und für 1903/06 bei Viernheim in der Nähe Mannheims an, in der Nähe Potsdams wurde sie bereits 1880 und bei Elbing in der Nähe der Weichselmündung 1906 gefunden. Seither wurde sie immer mal wieder gefunden, war aber auch kurze Zeit darauf wieder von dort verschwunden.

Der heutige niedersächsische Verbreitungsschwerpunkt der Art (GARVE 1994) liegt im Bremer Blockland (MTB 2818.2.3, -2.4, -3.3, -4.1, -4.2, -4.4, 2819.1.3, -3.1, -3.3). Hinzu kommen Einzelvorkommen an der Ems, der Hunte und im Wendland (dort schon 1956 gefunden während einer Exkursion der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft und von TÜXEN



Karte 1: Verbreitung von *Wolffia arrhiza* im Bremer Blockland. Eingezeichnet sind auch die Erstfundorte von *Lemna turionifera*.

& LOHMEYER (1957) fälschlicherweise für einen nordwestdeutschen Erstfund gehalten (s. WEBER-OLDECOP 1973)). Das Bremer Regionalvorkommen ist in Karte 1 dargestellt.

Als Nordgrenze der Verbreitung gilt nach JÄGER (1964) die 17°C Juli-Isotherme (Nordgrenze der temperaten Florenzone), die europäische Hauptverbreitung geht bis zur 18°C-Juli-Isotherme. Diese nach LANDOLT (1989) sehr enge thermische Bindung geht einher mit der für das Vorkommen entscheidenden Art der Verbreitung: der ornithochoren Verbreitung durch Wasservögel entlang der beiden Hauptvogelzugstraßen vom östlichen Afrika über Palästina und die Türkei in den osteuropäischen Raum und vom westlichen Afrika über Gibraltar in den westeuropäischen Raum, sowie, regional und lokal, ebenfalls die ornithochore sowie die hydrochore Verbreitung in den Flußtälern durch Überschwemmungen.

Heute wird *Wolffia* vermutlich hauptsächlich innereuropäisch verschleppt entlang der großen Flüsse Rhein und Ems (s. Angaben und Verbreitungskarten bei JÄGER 1964; WOIKE 1968; HEGI 1980; DIEKJOBST 1983; STELZIG & BERNING 1984; LANDOLT 1994) sowie Donau, Elbe und Oder (s. zusätzl. KORDUS-WALANKIEWICZ 1978; CASPER & KRAUSCH 1980; HUSÁK & OTAHELOVÁ 1982). Diese Flußtäler fallen mit den Klimaregionen mit Julimitteltemperaturen über 18°C zusammen (WALLÉN 1977, S.44). Eine Reihe von Vorkommen lagen bisher jedoch außerhalb dieser 18°C-Julitemperatur-Flußtäler. So auch die Vorkommen im Bremer Raum. Sie sind ursprünglich sicher durch ornithochoren Eintrag entstanden und konnten sich an den besonders geschützten Standorten über die Jahrzehnte halten, während sie an den ungünstigeren Standorten wieder verschwunden sind (z.B. DIEKJOBST 1983).

Heute liegt auch Bremen innerhalb der Region mit Julimitteltemperaturen über 18°C (s. Abb.4) und bietet damit günstigste Bedingungen für die lokale Ausbreitung. *Wolffia arrhiza* kann somit als Indikatorart für die zumindest regionale Klimaerwärmung gelten.

Nach LANDOLT (1982, 1986, 1994) sind begrenzende Klimafaktoren für *Wolffia arrhiza*: >150 Tage mit Tagesmitteltemperatur über 10°C, mittlere Wintertemperatur >-8°C, mittlere Sommertemperatur <28°C, Ariditätsfaktor nach Martonne 2-5 (trocken-temperat). Sie wächst in Afrika (Südosten: Viktoriasee bis Kapstadt; Südwesten: Elfenbeinküste und Ghana, Angola) und Europa (ostwärts bis zur Wolga, westwärts bis Südengland, Frankreich, Portugal, südwärts bis Süditalien und Sizilien; nordwärts bis ins Baltikum, in NO-Deutschland, NW-Deutschland, Niederlande). Ihr europäisches Areal ist nach OBERDORFER (1991) mediterran-gemäßigtkontinental, nach JÄGER (1964) (mediterran-) submediterran-pontisch-pannonisch-südatlantisch-südzentraleuropäisch.

Ökologie von *Wolffia arrhiza* und weiterer Lemnaceen

Die Nordgrenze für *Wolffia arrhiza* ist nach LANDOLT (1982) die Isolinie von 150 Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur >10°C. Für Bremen liegt dieser Wert bei 166 Tagen (langjähriges Mittel für die Vegetationsperiode). Nur 2 Jahre seit 1954 liegen unterhalb der 150-Tage-Grenze: 1979 und 1987. Höchstwerte mit um die 180 Tage wurden in den 60er Jahren erreicht. Dieser Temperaturfaktor dürfte somit kein begrenzender Faktor für die Verbreitung von *Wolffia* im Bremer Raum sein, und die 150-Tage-Isolinie dürfte viel weiter im Norden liegen.

In winterkalten Gebieten ist die Fähigkeit entscheidend, Turionen zu bilden (*Spirodela polyrrhiza*, *Lemna turionifera* und *Wolffia arrhiza*) oder sonstwie auf den Gewässerboden zu sinken (*Lemna trisulca*, teilweise *Lemna minor*) sowie die Toleranz gegenüber kalten Temperaturen (mittlere Wintertemperatur >-8°C); *Lemna gibba* bildet keine Turionen und ist so auf milde Winter angewiesen (mittlere Wintertemperaturen >-1°C). Die wichtigsten Eigenschaften der mitteleuropäischen Lemnaceen sind in Tab.1 zusammengestellt.

Wolffia arrhiza zeigt z.B. die höchsten Wachstumsraten zwischen Wassertemperaturen von 22°C-30°C mit dem Maximum bei 30°C; auch *Spirodela polyrrhiza* und *Lemna turionifera* haben bei 30°C ihre höchste Wachstumsrate; *Lemna gibba* und *Lemna trisulca* wachsen am meisten bei 27°C, *Lemna minor* bei 22°C. Hinzu kommt, daß die Turionen artspezifisch bei ver-

Tab.1: Zusammenstellung der wichtigsten klimabezogenen Eigenschaften der mitteleuropäischen Lemnaceen (Daten aus LANDOLT 1982, 1986, 1994; LANDOLT & KANDELER 1987)

Art	Tageslänge	minimale mittlere Wintertemperatur	Anzahl Tage > 10°C	minimale mittlere Sommertemperatur	Ariditätsfaktor	(minimale) Wachstumstemperatur (maximale)	optimale Wachstumstemperatur
<i>Wolffia arrhiza</i>	Lang-Kurztag	-8°C	150	18°C	2-5	(15) 22-31°C (32)	30°C
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	Neutral	-40°C	110	16°C	2-8	(15) 22-33°C (38)	30°C
<i>Lemna turionifera</i>	Langtag	-40°C	80	12°C	2-6	(8) 13-33°C (34)	30°C
<i>Lemna minuta</i>	Neutral-Kurztag	-1°C	170	16°C	2-6	(8) 13-30°C (33)	30°C
<i>Lemna gibba</i>	Langtag	-1°C	50	10°C	1-4	(<8) 13-31°C (32)	27°C
<i>Lemna trisulca</i>	Langtag	-40°C	50	10°C	1-6	(<8) 22-28°C (30)	27°C
<i>Lemna minor</i>	Langtag	-15°C	50	10°C	3-8	(<8) 13-33°C (34)	22°C

schiedenen Temperaturen um 15°C gebildet werden und vor allem bei sehr unterschiedlichen Temperaturen zu keimen beginnen, z.B. *Lemna turionifera* ab 10°C, *Spirodela polyrrhiza* bei 22°C (LANDOLT & KANDELER 1987). Die Wachstumsraten werden zudem durch die Strahlungsintensität und -menge artspezifisch beeinflusst. *Wolffia arrhiza*, *Spirodela polyrrhiza* und *Lemna turionifera* sowie *Lemna minuta* können somit ohne weiteres als wärmeliebende Lemnaceen bezeichnet werden.

Die Fähigkeit der Lemnaceen, Nährstoffe in geringsten Konzentrationen zu nutzen und die Toleranz gegenüber hohen Konzentrationen sind wichtig für das Auftreten in humiden bzw. ariden Gebieten. So ist ein weites Spektrum an Konzentrationen von Ca, Mg, P und N möglich (ZIMMERMANN 1981; LÜÖND 1983), bei denen die Lemnaceen Wachstum zeigen. Das Optimum der Arten liegt dabei bei unterschiedlichen Konzentrationen.

Wolffia arrhiza hat in Gewässern mit zeitweise ungenügenden Nährstoffgehalten in Regionen mit milden Wintern und warmen Sommern einen Vorteil, da es unter nährstoffarmen Bedingungen gegenüber anderen Lemnaceen wie *Lemna gibba* viel größere Zuwachsraten zeigt. Zudem überdauert sie ungünstige Zeiten durch stärkereiche Turionen, welche ins Sediment absinken und dort wohl auch Nährstoffe aus dem Sediment aufnehmen können. Einmal in großen Mengen vorhanden, dominiert und kontrolliert *Wolffia arrhiza* die anderen Lemnaceen durch die Abgabe wachstumshemmender Stoffe ins Wasser (WOLEK 1974).

Die Verbreitung von *Wolffia arrhiza* wird daher durch andere Wasserpflanzen sicher nur wenig eingeschränkt. Sie hat in kleinen, schmalen, ruhigen und nährstoffreichen Gewässern in ziemlich milden Klimatalagen eine hohe Konkurrenzskraft gegenüber Rhizophyten. Nur Fadenalgen zeigen höhere Konkurrenzkraft in nährstoffreichen Gewässern (möglicherweise auch durch toxische Stoffe). *Lemna trisulca* hingegen kann, möglicherweise auch durch toxische Stoffe, diese Algen in Schach halten, ebenso *Lemna minor* in stickstoffarmen Gewässern (LANDOLT 1986).

Im Laufe eines Jahres sind so aufgrund der unterschiedlichen Vorlieben für Wassertemperaturen, Nährstoffgehalte und Lichtenergiemengen phänologische Abfolgen zu beobachten: *Lemna minor* und *L. trisulca* im Frühjahr - gefolgt von *Lemna gibba*, *Lemna turionifera* und *Wolffia arrhiza* mit der beginnenden Sommerwärme, in nährstoffärmeren Bereichen auch die pleustophytischen Lebermoose *Riccia fluitans* und *Ricciocarpos natans* - leicht verschoben die Entwicklung von *Spirodela polyrrhiza* nach ausreichender Erwärmung, zu erwarten wäre dann

auch *Lemna minuta* - gefolgt von *Azolla filiculoides* im Herbst bei geringeren Nährstoffgehalten aufgrund vorangegangener Biomassenbindung, vielleicht auch nach dem Abklingen der lemnogenen Toxizität, was dann erst die Entwicklung der symbiontischen Blaualgen und Bakterien für *Azolla* ermöglicht, welche wiederum die Konkurrenten toxisch kontrollieren. Durch diese biologischen und ökologisch-klimatischen Mechanismen und Eigenschaften findet man zumindest in vielen Blockland-Gewässern alle 9 Pleustophyten (plus eine Reihe von Faden- und Schlauchalgen) an einem Ort und in einer Aufnahme, wobei die Dominanzen artspezifisch jahreszeitlich wechseln.

Eine interessante Eigenschaft von Lemna-Decken ist die, daß sie bei Sonnenschein wesentlich höhere Wassertemperaturen als offenes Wasser erreichen: 4-11°C mehr als offenes Wasser, bis zu 12°C mehr als die umgebende Luft. Der Grund ist zum einen der höherer Dampfdruck des offenen Wassers gegenüber der Biomasse (Verdunstungskälte), dazu eine um 10-15% geringere Evapotranspirationsrate der Lemna-Decke (LANDOLT 1986). Außerdem zeigt sich nach COATES & FERRIS (1994) ein bemerkenswerter Mechanismus, der mit zur Selbstorganisation und zum Erhalt der Lemna-Decken beiträgt. Ist ein Teil der Wasseroberfläche beschattet, während ein anderer Teil durch direkte Sonneneinstrahlung erwärmt wird (was in Wasserlinsendecken durch Störungen immer wieder ±kleinräumig entsteht), so entwickeln sich gegenläufige thermale Gradienten. Die unterschiedliche Erwärmung erzeugt einen oberflächennahen Fluß von der belichteten Zone in die beschattete hinein. Geschieht die Beschattung z.B. durch Wasserlinsendecken (der Mechanismus entsteht auch durch andere Beschattungen), so werden dadurch in signifikanter Menge und Weise Nährstoffe (vor allem Phosphor) aus benachbarten offenen Bereichen zu den Pleustophyten verlagert. Die Pleustophytenwurzeln verringern zwar diesen Effekt oder bremsen ihn nach einigen Dezimetern ab und leiten ihn in tiefere Wasserschichten, verhindern ihn aber nicht. Diese Effekte haben Auswirkungen bis in Tiefen von ca. 100 cm. Gleichzeitig werden durch die Konvektionsströmungen auch die oberflächennahen Wasserschichten unter einer Lemna-Decke mit wärmerem Wasser versorgt (was eine bessere Ionenaufnahme durch erhöhte Molekularbewegung bedeutet) und es wird phosphatreicheres Wasser aus tieferen Schichten nach oben transportiert und den Pflanzen dadurch verfügbar gemacht.

Wolffia und die Klimaerwärmung

Aufgrund der ökologisch-klimatischen Analyse und der beschriebenen Lebens Eigenschaften und ökologischen Mechanismen kann allein aus dem Vorhandensein von *Wolffia arrhiza* nicht auf einen Klimawandel geschlossen werden, da die Art in der Lage ist, die Gewässererwärmung und damit sich selbst zu fördern. Die Ausbreitung *Wolffia*- und *Spirodela*-dominierter Standorte allerdings läßt durchaus Rückschlüsse auf klimatische Änderungen zu. So gerade auch das häufige und immer verbreitetere Vorkommen der großen und aufgeblähten "var. magna Buchenau" von *Spirodela polyrrhiza* (CASPER & KRAUSCH 1980) und die weite Verbreitung von *Wolffia arrhiza* in heißen Sommern (Karte 1).

Durch erhöhte Sommertemperaturen und "Aridisierung" der Standorte werden immer größere Gebiete für diese wärmeliebenden Lebensgemeinschaften zugänglich. Einmal in größeren Mengen dort aufgetreten, so werden die Arten aufgrund ihrer Selbstorganisationsmechanismen immer wieder erscheinen, auch unter ungünstigeren Bedingungen. Dann zieht sich z.B. *Wolffia arrhiza* auf besonders günstige Standorte zurück (s. Karte 1), die als Kernstandorte der Art im Blockland bezeichnet werden können. Von dort und auch von weiteren kleinräumigen Vorkommen in anderen Gewässern breitet sich die Zwergwasserlinse dann je nach Klimaentwicklung ±rasch in die umliegenden Gewässer aus.

Wolffia arrhiza wurde bisher zumindest in Mitteleuropa weder blühend noch fruchtend vorgefunden. Sie vermehrt sich ausschließlich vegetativ durch Tochttersprosse. KRAJNCIC (1989) berichtet allerdings von großen blühenden Beständen in Istrien (Kroatien). Blühende

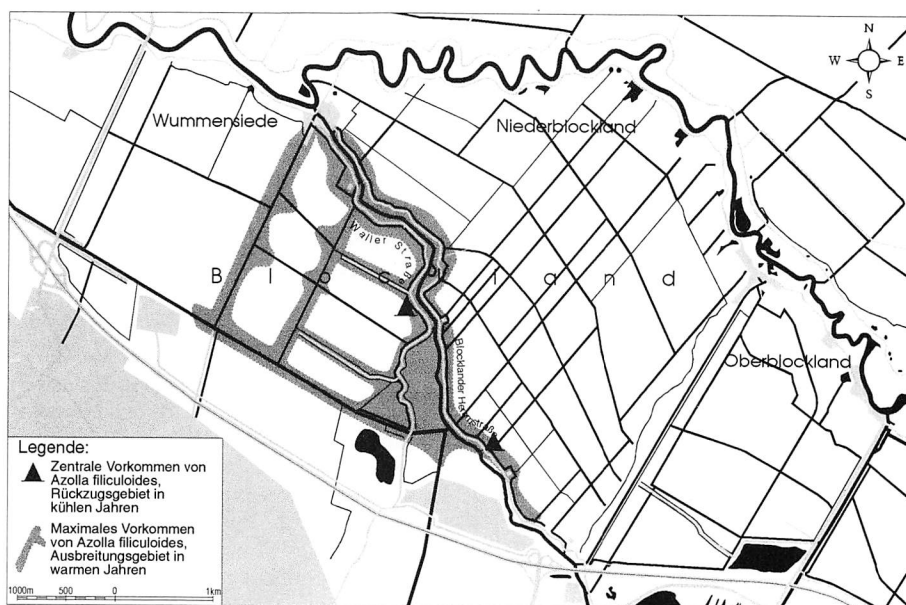
Zwerglinsen im Blockland wären eine weiteres Indiz für die Klimaerwärmung, da vor allem deren Anzahl von länger anhaltenden warmen und strahlungsreichen Sommern abhängt. Außerdem scheint das Vorhandensein anderer blühender Lemnaceen das Blühen der jeweils anderen Arten sowie geschlossene Wasserlinsendecken das gleichzeitige Blühen der beteiligten Arten zu fördern (LANDOLT 1986). Zu erwarten wären blühende *Wolffia arrhiza* als Lang-Kurztagspflanzen am ehesten in warmen Spätsommern nach heißen Sommern oder auch in heißen Frühsommern nach mildem Winter. An ihren afrikanischen Standorten (der Südhemisphäre) blühen sie im April (dort Herbst) und im September bis November (dort Frühjahr; LANDOLT 1986). Die unscheinbare, vollkommen reduzierte Blüte erscheint in einer Vertiefung in der Mitte der Oberseite. In Bremen wurden bisher nur *Lemna trisulca*, *Lemna minor* und *Lemna gibba* blühend beobachtet.

Verbreitung und Ökologie des Großen Algenfarns *Azolla filiculoides* Lam.

Verbreitung von *Azolla filiculoides*

Der Algenfarn war bisher für Norddeutschland nur aus fossilen Funden aus dem (Mindel-Riß-) Interglazial (zu dessen Höhepunkt war es um einige Grade wärmer als heute; vgl. LAMB 1989, S. 407) bekannt (VON ROCHOW 1952 für Wunstorf bei Hannover; TRALAU 1959 für Europa). Aus Bremer Pollenuntersuchungen ist sie bisher nicht bekannt (CORDES 1967; SCHWAAR 1990). Weiter verbreitet ist die Art bereits seit Anfang des Jahrhunderts in den westlichen Niederlanden (PIETERSE ET AL. 1977). Auch am Oberrhein zwischen Strasbourg und Mainz ist die Art seit 1870 $\pm$ beständig (OBERDORFER 1991) und gilt inzwischen als fest eingebürgert (CASPER & KRAUSCH 1980).

Die ersten Funde für Nordwestdeutschland werden Ende der 80er Jahre aus Hamburg (MANG 1991), aus Ostfriesland, dem Emsland, dem Oldenburger Land und auch aus dem Nie-



Karte 2: Verbreitung von *Azolla filiculoides* im Bremer Blockland.

dervieland bei Bremen gemeldet (BERNHARDT 1991; die Vorkommen im Blockland waren den Niedervieland-Findern P. & K. HANDKE wohl noch nicht bekannt).

Das Bremer Vorkommen im Blockland hält sich seit 1989, zunächst mit begrenzten Vorkommen an der Waller Straße und der Blocklander Hemmstraße. In den letzten sommerwarmen und wintermilden Jahren hat sie sich stark ausgebreitet (Karte 2). Aufgrund dieser großen herbstlichen Vorkommen (MTB 2818.1.4, -.2.3, -.3.2, -.4.1, -.4.2) wird die Art mittlerweile im gesamten Gewässerbereich Bremens und des Umlandes ornitochor verschleppt und hydrochor verschwemmt (z.B. im Maschinenfleet, der den gesamten Blocklander Polder über das Schöpfwerk Wasserhorst entwässert).

Die aktuellste Verbreitungskarte für Deutschland findet sich bei WOLFF ET AL. (1994). Demnach hat sich der Algenfarn seit etwa 1985 weiter rheinaufwärts ausgebreitet und überdauert zunehmend die Winter. Ursprünglich war nur ein festes Überwinterungsgebiet an der Ill-Mündung bekannt, von wo aus sich die Art mit den Überschwemmungen jedesmal neu stromabwärts ausbreitete. Heute scheint *Azolla* auch über solche Überwinterungsstandorte weiter rheinaufwärts und im Elsaß zu verfügen. Und auch über feste Standorte rheinabwärts berichten WOLFF ET AL. (1994) sowie über einen solchen im Niederrheinischen Tiefland bei Venlo. Auch in den Niederlanden sind ausdauernde Vorkommen bekannt (BERNHARD 1991) sowie solche bei Hamburg (MANG 1991) und in Südwestniedersachsen (WEBER 1995). Die Art hat in Europa eine submediterrane bis atlantische Verbreitung (CASPER & KRAUSCH 1980).

Azolla filiculoides zeigt ein ähnliches Verbreitungsmuster wie *Wolffia arrhiza* und auch wie *Lemna minuta* H.B.K., eine ebenfalls seit den 60er Jahren in Ausbreitung begriffene, in den temperaten Zonen und in den Gebirgen Nord- und Südamerikas heimische kleine Wasserlinse (LANDOLT 1986; Verbreitungskarte für Deutschland bei WOLFF ET AL. 1994). Diese Art hat Bremen anscheinend noch nicht erreicht, sie benötigt allerdings auch mehr als 170 Tage mit einer Tagesmitteltemperatur über 10°C und keine Wintertemperaturen unter -1°C (s. Tab.1), was in Bremen - zumindest im Mittel - noch nicht erreicht ist. Es wurde allerdings 1994 ein (wahrscheinlich vorübergehender) Fund in einem Geestwiesengraben am Rande der Alleraue in der Nähe von Hohenaverbergen bei Verden/Aller gemeldet (Reinhard GERKEN, MTB 3121.2.2).

Biologie von *Azolla filiculoides*

Azolla-Pflanzen durchlaufen eine interessante Lebensgeschichte mit einer komplizierten generativen Vermehrung (Angaben nach MOORE 1969 und STRASBURGER ET AL. 1991). Die Sporophyten bestehen aus einem flutenden Rhizom mit kleinen wechselständigen und sich überlappenden Blättern sowie Verzweigungen und einfachen Wurzeln, welche ins Wasser hängen. Jedes Blatt besteht aus einem dicken grünen oberseitigen Lappen und einem dünnen farblosen unterseitigen Lappen. Dabei liegt nur der untere Lappen auf dem Wasser auf, während der obere Lappen keinerlei Kontakt mit dem Wasser hat.

Die Sporangien zur geschlechtlichen Fortpflanzung erscheinen, eingeschlossen in ein männliches Mikrosporkarpium und ein weibliches Makrosporkarpium, paarweise in den Blattachseln der ältesten Pflanzenteile (Abb. bei STRASBURGER ET AL. 1991).

Innerhalb eines Mikrosporkarpiums befinden sich 7-100 gestielte Mikrosporangien, von denen jedes wiederum 32 oder 64 Mikrosporen enthält. Diese Mikrosporen werden nach dem Austritt zu 5-8 rundlichen schaumig-schleimigen und schwimmbfähigen Ballen, den sog. Massulae, welche die Mikrosporengruppen zusammenhalten. Jede Massula ist an der Außenseite mit gestielten Widerhäkchen, den Glochidien besetzt, die ebenfalls aus gehärtetem Schleim bestehen. Innerhalb der Massula entwickeln sich Antheridien, welche wiederum die männlichen Antherozoiden hervorbringen, die durch die Schleimschicht nach außen dringen können.

Das Megasporkarpium, welches wesentlich kleiner ist als das Mikrosporkarpium, produziert nur ein Megasporangium und eine Megaspore. Das Megasporkarpium ist mit einer

den Massulae homologen Struktur ausgestattet, dem lufthaltigen Schwimmkörper, welcher es im Wasser umhertreiben läßt und wohl auch isoliert.

Megasporen besitzen lange Haare auf der Außenzellwand, in welchen sich die Glochidien der Massulae verfangen, was sicherstellt, daß die männlichen Mikro- und die weiblichen Makrogametophyten zusammenkommen und -bleiben. Die Megaspore teilt sich, um einen Prothallus zu bilden, welcher dann Archegonien produziert, jedes mit einer Eizelle. Nach der Befruchtung durch die Antherozoiden teilt sich die Zygote wiederholt, um den nächsten Sporophyt auszubilden.

Die Sporenreife ist von August bis Oktober. Die geschlechtliche Vermehrung scheint vor allem in den kühleren Jahreszeiten stattzufinden. Die vegetative Vermehrung ist verbreitet und findet ständig statt, wobei einfach ein lateraler Zweig abbricht.

Azolla geht eine Symbiose ein mit Blaualgen der Familie *Nostocaceae*, vor allem mit *Anabaena azollae*. Die Algen befinden sich in Höhlungen an der Basis der Unterseite des oberen Blattes (s. Abb. bei STRASBURGER ET AL. 1991). In diesen Hohlräumen befinden sich schleimproduzierende Haare, wobei der Schleim die Algen zusammenhält und wahrscheinlich auch versorgt. Dieses Zusammenkommen von Farn und Alge ist sowas wie ein Rätsel, denn eine Infektion durch das Wasser ist kaum möglich, da die Höhlungen nicht im Wasser liegen und zudem nur schwer benetzbar sind. Allerdings sind an den Haaren auf den Spitzen der jungen Blätter Blaualgen zu finden. Weiter stengelabwärts in den unbehaarten Bereichen sind keine. Die Infektion der Höhlungen findet also wohl durch diese von den Haaren aus der Luft eingefangenen Algen statt. Auch die Sporokarprien enthalten bereits Algen und werden so wohl gleich mit übertragen. Blaualgen vermehren sich ausschließlich vegetativ.

Die Symbiose beinhaltet den Schutz der Algen, deren Versorgung mit Nährstoffen und möglicherweise mit Energiesubstrat (ATP) durch den Farn einerseits, und die Fähigkeit, Luftstickstoff zu binden und die Versorgung mit wachstumsfördernden organischen Substanzen, möglicherweise auch die Abgabe bakteriozider und fungizider Wirkstoffe durch die Alge andererseits (SAMAL & KANNAIYAN 1994). Gerade diese Eigenschaften (Stickstoffbindung um die 300µg N/Tag/g Trockengewicht) sowie das zusätzliche verstärkte Anreichern der Makronährstoffe Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen sowie einiger Mikronährstoffe wie Molybdän und Cobalt (deren Anwesenheit fördert die N-Fixierung) werden bei der Nutzung von *Azolla* als natürlicher Dünger und natürliches Pestizid z.B. im Reisanbau genutzt (MOORE 1969). Durch ständiges Absterben vieler Pflanzen(teile) wird der Ionengehalt und damit die Wasserhärte erhöht (SINGH & VERMA 1993). Große *Azolla*-Bestände fördern sich (und die Nutzpflanzen) dank dieser Assimilationseigenschaften selbst. Der Stoffwechsel der Symbiose wird durch viele Faktoren beeinflusst. So wird z.B. durch Stickoxide in der Luft das Wachstum und die vegetative Vermehrung angeregt (HUR & WELLBURN 1994a) und durch Ozon in der Luft gehemmt (HUR & WELLBURN 1994b).

Darüber hinaus besteht eine weitere Symbiose mit verschiedenen Bakterienarten (Arthrobacter, Azetobacter, Cyanobacter). Wahrscheinlich binden nicht die Algen den Luftstickstoff direkt, sondern über einen komplexeren symbiontischen Weg über die Bakterien, welche von den Algen wiederum mit Kohlehydraten versorgt werden (FORNI & CAIOLA 1993). Wahrscheinlicherweise trägt dieses symbiontische Gefüge zwischen Farn-Algen-Bakterien, z.B. durch die Bildung isolierenden Schleimes, auch zur beobachteten Fähigkeit bei, kalte Winter zu überdauern.

Ökologie von *Azolla filiculoides*

Azolla ist als Schwimmdecke in ruhigen, windgeschützten Altwasser-Buchten oder in langsam fließenden, nährstoffreichen, oft kalkarmen Gewässern in sommerwarmen Klimatalagen zu finden (OBERDORFER 1991). Sie bildet den Herbstaspekt in Pleustophytendecken, wobei sowohl starke Sonneneinstrahlung als auch niedrige Temperaturen eine weithin sichtbare Rot-

färbung verursachen. *Azolla* ist zwar kälteresistent, verträgt aber kein Einfrieren, sie stirbt im Winter bis auf kleine Sproßstücke ab und sinkt damit auf den Gewässergrund. Sie wird hauptsächlich durch Verschwemmung verbreitet, aber auch durch Wasservögel und den Menschen.

Azolla filiculoides kommt nach LANDOLT (1994; Untersuchungen in Argentinien) in Na-, K-, Mg- und N-reichen Gewässern mit hoher Leitfähigkeit sowie Gesamt- und Carbonathärte vor, vergleichbar mit *Lemna gibba* und *Ceratophyllum demersum* und in reicheren als die meisten anderen Pleustophyten. Genau diese Parameter sind auch für die Bremer Gewässer im Einflußbereich der Salzstockfahnen mit Leitfähigkeiten über 1000µs/cm, pH-Werten zwischen 7 und 8 und Carbonathärten von 10 und mehr (KESEL 1983; PRÜGER 1994) charakteristisch. Sie sind damit bestens geeignet für eine Besiedlung durch den Algenfarn. Die oben genannten Selbstorganisationsmechanismen verstärken diesen Besiedlungstrend. Auch die Untersuchungen von WOLFF ET AL. (1994) zeigen vergleichbare Werte, allerdings sind deren Gewässer nur mäßig stickstoffreich, dafür aber relativ phosphatreich. Ebenso sind die von PIETERSE ET AL. (1977) gemessenen Werte vergleichbar. In Argentinien kommt *Azolla filiculoides* hauptsächlich in den Steppen der gemäßigten Zone und den warmtemperierten Regionen vor (LANDOLT 1994), oft zusammen mit der Wasserhyazinthe *Eichhornia crassipes* (BONETTO ET AL. 1994).

Azolla und die Klimaerwärmung

Das immer größer werdende Vorkommen des im warm-gemäßigten bis subtropischen Amerika (Verbreitungskarte bei HERZOG 1938) heimischen Algenfarns *Azolla filiculoides* ist als direktes Indiz für die Entwicklung des Bremer Klimas in Richtung warm-temperierter und submediterraner Verhältnisse zu nehmen. Er wird allerdings an seinen Wuchsorten durch die oben beschriebenen pleustophytenerzeugten Mechanismen sowie durch die natürlich erhöhten Ionengehalte zusätzlich begünstigt. Diese Begünstigung betrifft jedoch alle an solchen Standorten wachsenden Makrophyten, sodaß sich *Azolla* im ökologischen Kontext der beteiligten Arten behaupten muß. Die Ausbreitung des Wasserfarns ist somit (neben der Ausbreitung von *Wolffia arrhiza*) eines der starken Argumente für den klimatischen Wandel hin zu warm-temperierten Verhältnissen.

Es ist anzunehmen, daß sich der Algenfarn in warmen Jahren reichlich generativ wie vegetativ vermehrt und so die Grundlage für seine Fortbestand legt. Auch Frostperioden hat die Art seit ihrem Auftauchen in den Blocklandgräben überstanden. *Azolla filiculoides* wird so auch weiterhin ein bestandteil der Bremer Thermophilen-Flora sein.

Verbreitung und Ökologie der Roten Wasserlinse *Lemna turionifera* Landolt

Neu für das Bremer Gebiet war 1992 der Fund von *Lemna turionifera* Landolt in einigen Blocklandfleeten durch Thomas GÖDEKE (MTB 2819.3.3) und Raimund KESEL (MTB 2818.4.4; bestätigt durch Peter WOLFF, Saarbrücken). Die Art ist nach LANDOLT (1986) in kontinentalen Regionen Nordamerikas (Alaska bis Mexiko) und verstreut in kontinentalen Gebieten Asiens (Türkei; Kasachstan, Kashmir, Heilungkiang/NO-China, Sibirien) verbreitet.

Diese erst 1975 von LANDOLT beschriebene Wasserlinse gilt mittlerweile als schon länger vorhandene, aber vormals übersehene Art. WOLFF & ORSCHIEDT (1993) legen nach Rekonstruktion von Photographien den europäischen Erstnachweis zurück nach 1965 und in die badische Oberrheinebene. Zuvor galt Hamburg als europäischer Erstfundort (HECKMANN 1984). Weitere hamburgische Funde kamen danach hinzu (WOLFF & MANG 1991), ebenso Funde in Westfalen (WOLFF & RAABE 1991; WEBER 1995), in Thüringen (CASPARI 1993) und in Niederösterreich (WOLFF & LANG 1993). Inzwischen (bis 1992) sind 49 Fundorte in der Oberrheinebene sowie dem Saarland bekannt (WOLFF & ORSCHIEDT 1993).

Die bremischen Fundorte von 1992 (s. Karte 1) kommen seitdem hinzu. Darüber hinaus wurde die Rote Wasserlinse im Juni 1993 anlässlich der Exkursionstagung der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Regensburg von Raimund KESEL in einem Teich in der Donauaue bei Straubing gefunden. Es kann somit angenommen werden, daß die Art weiter verbreitet ist, als bisher dokumentiert.

Als typische Verbreitungswege können auch hier die bereits bei *Wolffia* beschriebenen ornithochoren und hydrochoren Möglichkeiten angenommen werden. Zu erwarten ist *Lemna turionifera* nach WOLFF & ORSCHIEDT (1993) in Mitteleuropa vor allem in "kontinentalen" Gewässern, d.h. in Gebieten bzw. Jahren mit leicht ariden Verhältnissen (Martonne-Ariditätsfaktor 2-3), wenn *Lemna turionifera* einen Vorteil hat gegenüber *Lemna minor*. Darüber hinaus verträgt die Art Wintertemperaturen bis -40°C (Eigenschaften siehe Tab.1). Die typischen Verbreitungsgebiete thermophiler Pleustophyten (oberhalb der 18°C-Juli-Isotherme; vgl. WALLÉN 1977) wie das Rheintal und seine Nebenflußtäler (Main, Neckar, Mosel), nordwärts bis in die Emsniederung, die Unterweser um Bremen, im Osten Elbe, Saale und Havel und das Donautal bei Regensburg können somit auch die Gebiete sein, in denen *Lemna turionifera* ausdauernd zu finden ist. Sporadisch kann sie in trockenen Jahren auch in anderen Regionen auftauchen.

Verbreitung und Ökologie des Dreifingersteinbrechs *Saxifraga tridactylites* L.

Dieser wärmeliebende, im Nordwesten bisher seltene mediterrane-submediterrane(-subatlantische) Therophyt wächst hier in annuellen Frühlings-Pioniergesellschaften bevorzugt auf Gleisschotter mit Feinerde, aber auch in Sandfeldern und an Wegen. Er bildet lückige Trocken- und Steppenrasen aus auf offenen, warmen bis sommertrockenen, steinigen Sand- oder sandigen Lehm Böden und verbreitet sich durch Klebeverbreitung (OBERDORFER 1991). Verbreitet werden die staubfeinen klebrigen Samen heute durch den Bahn- und Lastwagenverkehr.

In Bremen wurde der durch seine Rotfärbung auffallende Steinbrech zunächst Anfang der 80er Jahre auf dem Bahngelände im Europahafen gefunden. Inzwischen hat sich die Art weiter ausgebreitet und es sind weitere Funde auf den Bahnflächen im Binnenhafen (Hemelingen), des Güterverteilzentrums (Niedervieland) und 1994 ein Massenvorkommen auf dem Gelände der Stahlhütte Bremen (vormals Klöckner) hinzugekommen (MTB 2919.1.4, -3.2; 2918.2.1; 2818.3.1, -3.2, -3.3). Bei NAGLER & CORDES (1993) ist letzteres noch nicht verzeichnet und auch an den anderen Standorten ist die Art mit sehr selten bis selten angegeben. *Saxifraga tridactylites* gilt inzwischen als nicht mehr gefährdet (GARVE 1993). Sie war nach GARVE (1994) noch um 1980 relativ selten und nur in Südniedersachsen zu finden, hat sich seitdem aber rasant entlang den Bahnstrecken ausgebreitet. Mittlerweile werden sogar Vorkommen entlang von Straßen und in Dörfern gemeldet (H. CORDES, mündl. Mitteilung).

Aufgrund der starken Ausbreitung der trockene Standorte liebenden Art entlang ihrer spezifischen Verbreitungswege ist der Dreifingersteinbrech eines der Indizien für die Klimaerwärmung. Dies wird dadurch verstärkt, daß die Ausbreitung der Art aus den besonders begünstigten Stadtstandorten heraus in die weniger begünstigten umliegenden Bereiche hinein stattfindet.

Verbreitung und Ökologie des Trespen-Fuchsschwingels *Vulpia bromoides* (L.) S.F. Gray

Diese eigentlich mediterrane, heute aber in den warm-temperierten Zonen weltweit verschleppte therophytische Gras wächst in ± offenen Pionierrasen auf sommerwarmen, trockenen bis frischen, kalkarmen und sauren, humusarmen Sand- und Lehm Böden.

Die meisten Nachweise der Art in Niedersachsen (HAEUPLER & SCHÖNFELDER 1988) beziehen sich auf Funde vor 1945. Lediglich in der Gegend von Oldenburg und im Emsland sowie in Hamburg und Schleswig-Holstein wurde die Art noch in den 50er Jahren gefunden (MEINEKE 1991). Neuere Funde aus den 60er und 70er Jahren sind aus dem Südwesten Deutschlands bekannt (WOLFF 1978). GARVE (1994) verzeichnet in Niedersachsen inzwischen 4 Fundorte: Hannover, Bremen, Odertal im Harz und Duderstadt.

Die zuvor als in Niedersachsen verschollen geltende Art (RL 0) wurde 1989 mit ca. 30 Expl. in trockenen-flachgründigen Bereichen der zuvor umgestalteten und eingesäten Flutmulde am Werdersee von Raimund KESEL gefunden (MTB 2919-1-3). Die inzwischen auch aufgrund des Fundes von MEINEKE (1991) bei Hannover mit RL F1 (im Tiefland vom Aussterben bedroht) eingestufte Art (GARVE 1993) hat sich dort seitdem kontinuierlich ausgebreitet und bildet mittlerweile (1995) einen verteilten Bestand von insgesamt ca. 20.000 reichlich fruchtenden Exemplaren in der besagten Flutmulde (wohl den bisher größten in Niedersachsen).

Die ca. 40ha große Flutmulde, zum Zwecke der Hochwasserableitung angelegt, besteht aus einem $\pm$ befestigten Lehmboden. Inzwischen hat sich dort eine Mischung aus einer fabaceenreichen Weidelgras-Weißklee-Wiese (*Lolium-Cynosuretum vicetosum*) und einer beginnenden Niederungs-Glatthaferwiese (*Arrhenatheretum*) ausgebildet, in die die *Vulpia*-Rasen und auch feuchtere Flutrasenbereiche auf den verdichteteren und offeneren Flecken eingestreut sind (KESEL 1994).

Zwecks schneller Besiedlung war die Fläche 1988 eingesät worden. Das Auftauchen von *Vulpia bromoides* ist so entweder auf Verunreinigungen in der Samenmischung (sie steht nicht auf der Samenliste) oder auf den Aufschluß alten Samenmaterials in der von überall herangekarrten Bodenmischung zurückzuführen. Im ersteren Falle würde es sich nicht mehr um indigene Pflanzen handeln, sondern sie dürften dann aus Südosteuropa stammen, woher heute viele der oft immensen Samenmengen bezogen werden.

Weltweit wird heute die Ausbreitung von *Vulpia*-Arten beobachtet (COCKS 1994), vielerorts sind sie schon zur bekämpfungswürdigen Plage in der Landwirtschaft geworden (DOWLING ET AL. 1992). *Vulpia bromoides* kann somit aufgrund seiner Etablierung und zumindest lokalen Ausbreitung auf durch das Stadtklima nur gering begünstigten Standorten in den Indizienkatalog für die Klimaerwärmung mit aufgenommen werden. Die *Vulpia*-Arten scheinen sogar ein Indikator für die weltweiten Veränderungen zu sein.

Weitere wärmeliebende aquatische und terrestrische Arten in Bremen

Zu berichten ist hier noch kurz über vier weitere Arten, die in den letzten Jahren in Bremen gefunden wurden und sich etabliert und zumindest an ihrem Standort ausgebreitet haben. Die Standorte dieser Arten liegen hauptsächlich in den durch das Stadtklima ohnehin begünstigten Bereichen und viele weitere wärmeliebende Arten sind von dort schon länger bekannt, breiten sich aber nur geringfügig aus. Dennoch sollte ein Augenmerk auf sie gerichtet werden und ihre Verbreitung beobachtet werden: *Coronilla varia* (gemäßkont-osmed), *Falcaria vulgaris* (smed-uras), *Holosteum umbellatum* (med-kont), *Hordeum murinum* (smed-med), *Stellaria media* ssp. *pallida* (smed-gemäßkont), *Vicia lutea* (med-smed). Denn ohne weiteres kann sich eine solche Art bei für sie günstigen Bedingungen aus diesen disjunkten Arealen heraus plötzlich in andere Areale hinein ausbreiten.

Myriophyllum heterophyllum Michaux (Verschiedenblättriges Tausendblatt)

Diese in den gemäßigten bis warm-temperierten Regionen des südöstlichen Nordamerikas heimische Art wächst in stehenden bis langsamfließenden, $\pm$ nährstoffreichen Gewässern auf Schlammboden. Sie gilt in der Schweiz, Obersteiermark, im Elster-Saale-Kanal und in der Niederlausitz als eingebürgert. Die Pflanze bildet temperaturabhängig fiederteilige (bei 12-16°C)

bis ungeteilte (bei 20-25°C) Blätter aus. Die Art wird durch Angler weiter verbreitet (Angaben nach CASPER & KRAUSCH 1981).

In Bremen wurde 1992 von Thomas GÖDEKE und Torsten JUNGE ein großer und ausdauernder Bestand (einige Tausend Exemplare) von *Myriophyllum heterophyllum* in einem Fleetteich in Osterholz-Tenever gefunden (MTB 2919.2.1). Weitere Vorkommen sind aus dem Bremer Umland bekannt.

Centaurea jacea ssp. angustifolia (Schrank) Gremli (*C. pannonica* (Heuffel) Hayek)
(Pannonische Flockenblume)

Die gemäßigt-kontinentale bis submediterrane ausdauernde Art wächst bevorzugt in Halbtrockenrasen und Saumgesellschaften des Mesobromion. Sie wurde bisher für Niedersachsen nicht beschrieben (GARVE & LETSCHERT 1991).

In Bremen ist die Art seit 1990 in den trocken-warmen Uferbrachen am Werdersee in Bremen-Habenhausen (MTB 2919.1.3) und umfaßt mittlerweile 8 größere Bestände.

Juglans regia L. (Walnuß)

Dieser ostmediterrane (-eurasische) spätfrostempfindliche Nutzbauwuchs wächst auf warmen, sickerfeuchten, nährstoff- und kalkreichen, mild humosen, tiefgründigen Lehm- und Tonböden in milder Klimallage. In seinem Hauptverbreitungsgebiet (irano-turanischer Raum) bildet er sog. Steppenwälder aus. Die Nüsse werden hauptsächlich durch Tiere verbreitet.

Die Walnuß wurde im Gebiet der "Neuen Weser" in der Weseraue bei Bremen-Habenhausen (MTB 2919.1.3) durch Krähen und Elstern eingebracht. In dem weitgehend ungestörten stadtnahen Naturschutzgebiet haben sich an den offenen und exponierten Abbruchkanten des Auenlehms ungefähr 20 Walnußbäume angesiedelt, die mittlerweile eine Höhe von um die 2m erreicht haben.

Die natürliche Verjüngung dieses Steppenwald-Baumes ist in den Indizienkatalog für die Klimaerwärmung einzubeziehen.

Poa bulbosa L. (Knolliges Rispengras)

Das oft vivipare (*var. vivipara* Koel.), ausdauernde mediterrane-submediterrane(-kontinentale) Rispengras wächst in lückigen, oft etwas ruderal beeinflussten Sand-Trockenrasen an Wegrainen und Dämmen auf sommerwarmen und trockenen, oft kalkarmen, humus- und feinerdearmen Sand- und Grusböden. Es verbreitet sich hauptsächlich durch Brutknospen.

Die im Nordwesten eigentlich fehlende, stark gefährdete (RL 2; GARVE 1993) Art ist seit Ende der 70er Jahre aus dem Europahafen Bremens bekannt (MTB 2918.2.1; vgl. NAGLER & CORDES 1993). Weitere Vorkommen sind im Wendland sowie in Bremerhaven, Lüneburg, Celle, Hannover, Braunschweig und auf Borkum zu finden (GARVE 1994). In den letzten warm-trockenen Jahren hat das Gras sich von seinen bekannten Bremer Standorten aus weiter ausgebreitet und umfaßt heute mehrere 10.000 Exemplare.

Die Entwicklung des Bremer Klimas

Bremen weist ein typisches Klima der gemäßigten, ozeanischen Regionen auf mit ±kaltem, aber nicht zu lange dauerndem Winter und einer Regenzeit im Sommer. Im langjährigen Mittel zeigt das Klimadiagramm (Abb.1) eine Jahresmitteltemperatur von 8,7°C und einen mittleren Jahresniederschlag von 722 mm und ganzjährig gemäßigt-humide Verhältnisse.

Betrachtet man die Mittelwerte für die letzten fünf wärmsten und trockensten Jahre 1989, 1990, 1991, 1992 und 1995, so liegen hier die Monatsmitteltemperaturen durchgehend über dem langjährigen Mittel (Jahresmitteltemperatur der 5 Jahre bei 9,8°C, nimmt man die 5 wärmsten Jahre sogar bei 10,1°C) und die mittleren Monatsniederschläge, vor allem im Mai und im Juli, weit unter den langjährigen Monatsmittelwerten (mittlerer Jahresniederschlag der 5 Jahre bei 656 mm). Zeichnet man die Hilfsniederschlagskurve (nach WALTER 1973), so zeigt sich, daß

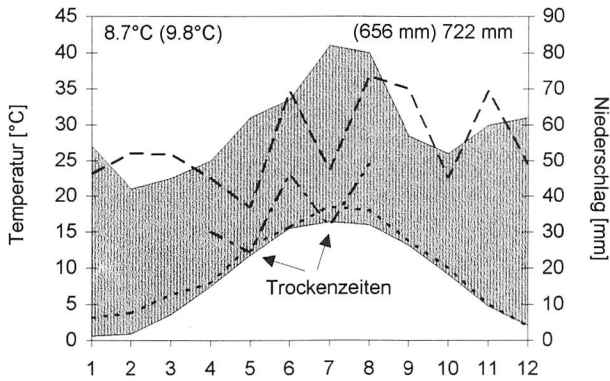


Abb. 1: Klimadiagramm von Bremen (langjähriges Mittel bis 1992). Dargestellt sind zum Vergleich die Temperatur- (gepunktete Linie) und Niederschlagsmittel (gestrichelte Linie) der letzten 5 trockensten Jahre 1989/90/91/92/95 (Jahresmitteltemperatur 9,8°C, Jahresniederschlagsmittel 656 mm). Hier ergab sich im Mai und Juli eine leichte Trockenzeit (ergibt sich aus der Hilfsniederschlagskurve, wobei $10^{\circ}\text{C} \triangleq 30\text{mm}$). Daten aus BÄTJER & HEINEMANN 1980 und den Datenblättern des Deutschen Wetterdienstes.

in diesen 5 Jahren im Mai und Juli Trockenzeiten herrschten. Halten solche warmen und zeitweise trockenen Sommer an, so nähert sich das Bremer Klima dem der warmtemperierten Zone (Jahresmitteltemperaturen 12-15°C, Niederschlag 600-700 mm), bei ausreichenden Niederschlägen und milden Wintern auch dem der submediterranen Zone (Jahresmitteltemperaturen 12-13°C, Niederschlag 900-1700 mm; vgl. WALTER 1973, S.152 u. S.158).

Es stellt sich die Frage: Sind die trocken-warmen Jahre nur eine Schwankung, die über kurz wieder im langjährigen Trend verschwindet oder sind sie Teil eines Erwärmungstrends?

Daß letzteres zutrifft, wird bei der Betrachtung der Temperaturentwicklung seit 1830 deutlich (Abb.2). Etwa ab der Jahrhundertwende ist ein Temperaturanstieg zu erkennen, der vor allem ab den 1970er Jahren noch steiler nach oben weist und einem vorläufigen Höhepunkt in den letzten sechs Jahren erreicht. Dieser aus den von HEINEMANN (1994) homogenisierten (aufgrund von Stationsverlegungen berichtigten) Daten errechnete Trend des Bremer Klimas

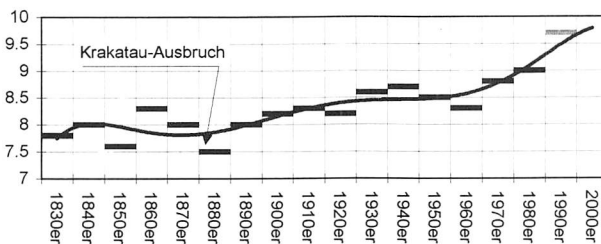
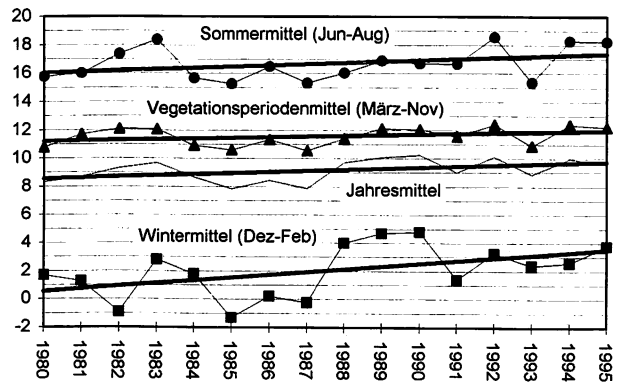


Abb. 2: Entwicklung der Zehnjahresmitteltemperatur in Bremen mit hochgerechnetem Trend. Der grau dargestellte 1990er-Mittelwert bezieht sich nur auf die 6 Jahre 1990-95. Trend und Daten bis 1990 nach HEINEMANN (1994), ab 1991 aus den Datenblättern des Deutschen Wetterdienstes.

Abb. 3: Entwicklung der Jahres- und der Winter- und Sommermitteltemperaturen sowie des Vegetationsperiodenmittels seit 1980 mit Trendberechnung. Daten aus den Datenblättern des Deutschen Wetterdienstes.

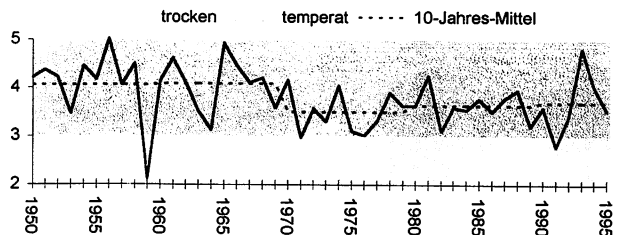


entspricht dem bereits 1961 von MITCHELL (1963) vorhergesagten globalen Trend der Temperaturveränderungen der Nordhemisphäre aufgrund der CO_2 -Zunahme in der Atmosphäre (ergänzt durch LAMB 1989, S.414).

Wir befinden uns, erdgeschichtlich gesehen, in einem Interglazial (Warmzeit), dessen bisher wärmste Zeit vor etwa 7000 Jahren war (Neolithikum). Zu jener Zeit herrschte in Bremen ein Eichen-Mischwald mit Ulmen und Linden vor, durchsetzt mit großen Schilfröhrichten und Seggenriedern (CORDES 1967; SCHWAAR 1990). Der natürliche Rückgang der gegenwärtigen Temperaturen zum nächsten Eiszeitalter ist zwar durchaus gegeben (LAMB 1989), wird aber gegenwärtig, wie viele Berechnungen und Messungen bestätigen, durch den anthropogenen Treibhauseffekt vollständig aufgehoben und ins Gegenteil verkehrt (SCHNEIDER 1994). Es ist davon auszugehen, daß die globale Temperatur bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts vermutlich um $4\text{--}9^\circ\text{C}$ ansteigen wird, bei restriktiven Verbrauchseinschränkungen etwas weniger. Sie erreicht damit ein Niveau, wie es seit dem Tertiär während der letzten 20 Millionen Jahre nicht mehr aufgetreten ist. Dabei wird erwartet, daß der Temperaturanstieg um so stärker wird, je weiter man nach Norden (bzw. Süden) kommt. In den arktischen Gebieten wird sie siebenmal so groß sein wie im Weltdurchschnitt (LAMB 1989).

Dieser Erwärmungstrend ist in Bremen in allen Jahreszeiten zu beobachten (Abb.3). Die Sommermitteltemperatur stieg in den letzten 16 Jahren um ca. $1,3^\circ\text{C}$, die mittlere Temperatur während der Vegetationsperiode (März bis November) um ca. 1°C , am stärksten die Wintermitteltemperatur um etwa 3°C , die Jahresmitteltemperatur ist um ca. $1,3^\circ\text{C}$ gestiegen. Die höhere Wintertemperatur verursacht einen früheren Frühjahrsbeginn, wie er von SPARKS & CAREY (1995) aus dem Vergleich phänologischer Daten ab 1736 bestätigt wird.

Abb. 4: Verlauf der Juli-Mitteltemperatur von 1950 bis 1995. Daten aus den Datenblättern der DWD, homogenisiert nach HEINEMANN 1994.



Entscheidend für die Etablierung und Ausbreitung wärmeliebender Arten ist neben den milden Wintern vor allem die Juli-Mitteltemperatur. Die Entwicklung der Juli-Mitteltemperatur für Bremen (Abb.4) zeigt einen $\pm$ stetigen Erwärmungstrend und liegt seit ca. 5 Jah-

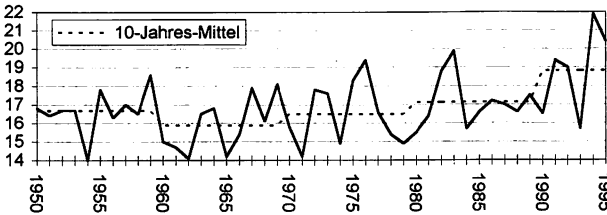


Abb. 5: Entwicklung des Ariditätsfaktors (nach De Martonne) für Bremen ($I = \text{Jahresniederschlag [cm]} / \text{Jahresmitteltemperatur} + 10 [^{\circ}\text{C}]$; $i < 2$ = sehr trocken, 2-3 = trocken, 3-5 = temperat, 5-7 = subhumid, 7-8 = humid, > 8 = sehr humid). Ab etwa 1970 herrschen deutlich trockenere Verhältnisse vor.

ren über der 18°C -Marke bei ca. 19°C . Hält der Trend an, womit zu rechnen ist, so sind im Jahr 2000 durchaus Temperaturen über 20°C möglich. Damit ist zu erwarten, daß sich mediterrane Arten, die bisher nur bis zur (langjährigen) 18°C -Juli-Isotherme vorkamen, weiter nach Norden ausbreiten oder von ihren lokalen, auch bisher schon günstigen Standorten außerhalb dieses Bereichs weiter ausbreiten.

Ebenso wichtig für wärme- und vor allem trockenheitsliebende Arten ist das Verhältnis von Niederschlag und Temperatur, berechnet als Ariditätsfaktor (nach De Martonne; LANDOLT 1986). Der Niederschlag hat einen Einfluß auf die Zusammensetzung der Mineralstoffe im Wasser einer Region. Je geringer der Niederschlag bei gleicher Temperatur, um so größer ist die Konzentration gelöster Ionen im Wasser. Bei höheren Temperaturen muß die Niederschlagsmenge größer sein als bei niedrigeren Temperaturen, um den gleichen Effekt dank größerer Evapotranspiration zu erreichen. Der Ariditätsfaktor von De Martonne setzt dies in Beziehung und kann daher als Maß für den mittleren Mineralgehalt des Wassers gelten.

Die Entwicklung dieses Ariditätsfaktors zeigt ab 1970 einen $\pm$ kontinuierlichen Trend zu arideren Verhältnissen (Abb.5). Der Temperaturtrend wird in Bremen allerdings durch einen Trend der leichten Zunahme der Niederschläge wieder aufgehoben. Stärkere aride Verhältnisse sind im allgemeinen nicht zu erwarten, allenfalls aride Monate (s. Abb.1). Dies spricht wiederum für eine eher zu erwartende Entwicklung hin zu warm-temperierten Verhältnissen mit einem Ariditätsfaktor von 2,5 bis 3,5 als eine solche zu submediterranen mit einem Ariditätsfaktor > 4 .

Die Klimaanalyse ergibt somit, daß für die Bremer Region eine Mischung aus sommertrockenem und warmtemperiertem Klima im Entstehen ist. Dies bestätigt die bereits beschriebenen floristisch-ökologischen Beobachtungen und deutet darauf hin, daß die beschriebenen Arten als Indikatorarten der Klimaerwärmung dienen können. Über die Ausbreitung dieser Arten hinaus sind eine Verlängerung der Vegetationsperiode und Veränderungen in der Zusammensetzung der Waldvegetation zu erwarten sowie die Ausbreitung trockenresistenter Arten auf gestörten terrestrischen Standorten und das Einwandern und die Ausbreitung subtropischer und warm-temperierter aquatischer Makrophyten (und wahrscheinlich auch Mikrophyten).

***Wolffia*, *Azolla*, *Vulpia* und andere wärmeliebende Pflanzen: Boten der Klimaerwärmung!**

Die Klimaerwärmung ist in ihren Auswirkungen bereits heute beobachtbar und wird in zahlreichen Arbeiten dargestellt und erörtert. Eine Verschiebung der jetzigen Vegetationszonen nach Norden (z.B. BEUKER 1994 für Finnland) oder in den Gebirgsregionen nach oben (z.B. HÄTTENSCHWILER & KÖRNER (1995) und BRZEZIECKI ET AL. (1995) für die Schweiz) ist die in ihren Anfängen bereits beobachtbare Folge. FRIEDLINGSTEIN ET AL. (1994) z.B. berechnen eine Zunahme der offeneren Vegetationstypen (Tundra, Wüste, Grasland) zuungunsten der Wälder, NEILSON (1993) sagt ein zunehmendes Wasserdefizit und damit einen durch Trockenheit verursachten Verlust an Biomasse (der Bäume) in allen Wäldern voraus, KELLOMÄKI & KOLSTRÖM (1994) beschreiben höhere Produktionsraten für die nordfinnischen Wälder, vergleichbar den Produktionsraten der heutigen südfinnischen Wälder, was nach LAPPALAINEN (1994) und HANNINEN (1995) vor allem auf das frühere Aufbrechen der Knospen zurückzuführen ist. Auch in den nordischen Tundren sind bereits drastische Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung zu beobachten, wie sie z.B. von CHAPIN ET AL. (1995) aus Pollenprofilen der letzten Warmzeit vorausgesagt wurden.

Während viele laubabwerfende Baumarten in ihrer Verbreitung von der Minimum-Wintertemperatur begrenzt werden, so werden nach CHAPIN ET AL. (1993) andere funktionale Artengruppen eher auf klimainduzierte Änderungen in den Substratressourcen (Nährstoffe, Wasser) oder auf die erhöhten Boden- bzw. Wassertemperaturen reagieren, was z.B. nach HARTE & SHAW (1995) zu Verschiebungen hin zur Dominanz von Wärmekeimern führt.

Bezieht man den im Bremer Gebiet natürlicherweise zu findenden höheren Ionengehalt der Gewässer (durch die Salzstockfahnen; ORTLAM 1984) mit ein, so sind die Verhältnisse in diesen Gewässern als "arider" zu klassifizieren, als der aus den Wetterdaten ermittelte Ariditätsfaktor anzeigt. Dies ist einer der wesentlichen Gründe für das bisher schon häufige und kontinuierliche Vorkommen wärmeliebender Wasserpflanzen wie z.B. *Wolffia arrhiza*, *Spirodela polyrrhiza*, *Stratiotes aloides*, *Hydrocharis morsus-ranae* und *Potamogeton trichoides* in den solchermaßen beeinflussten Gräben der Bremer Niederung beiderseits der Weser. Ebenso sind die durch das exponierte Stadtklima begünstigten Industriestandorte arider, als die Wetterdaten anzeigen. Entsprechend sind dort ebenfalls schon seit längerem wärmeliebende terrestrische Arten zu finden wie *Saxifraga tridactylites*, *Falcaria vulgaris*, *Coronilla varia*, *Poa bulbosa*, *Vulpia myuros*, *Bromus tectorum* und *Prunus mahaleb*, um nur einige zu nennen. Eine Klimaerwärmung muß daher aufgrund der Prädestinierung an solchen "auserwählten" Standorten wesentlich früher und ausgeprägter augenscheinlich werden.

Sobald durch eine Klimaverschiebung ausreichend sommerwarme Gewässer oder sommertrockene Böden entstehen, breiten sich die entsprechenden wärmeliebenden Pflanzen aus, seien sie als ganze Pflanzen oder Turionen oder Samen vorhanden. Einmal vorhanden, sei es durch natürliche Einwanderung über Vögel, Wind und Wasser oder künstlich eingebracht durch den Menschen (viele exotischen Pflanzen werden heute billig in tropischen oder subtropischen Ländern gezüchtet und per Flugzeug eingeflogen, irgendwelche Pflanzen, vor allen solche aus den Anzuchtbecken, bleiben immer unbeabsichtigt daran hängen; auch viele Samenmischungen werden aus anderen Klimabereichen bezogen), so sind viele davon in der Lage, auch kurzzeitige ungünstige Perioden in Kleinstbeständen zu überdauern.

Auf diese Weise erscheinen mittlerweile die exotischsten Wasserpflanzen, wie das Beispiel der Warmwasserstrecke (ganzjährig um 20°C) der Erft (s. WOLFF ET AL. 1994) zeigt. Dort tauchten ab 1981 eine Reihe von (sub-)tropischen Adventivpflanzen auf wie *Pistia stratiotes* (Wasserspinat), *Lemna aequinoctialis* (Tropische Wasserlinse), *Egeria densa* (Dichtblättrige Wasserpest), *Shinnersia rivularis* (Mexikanisches Eichenblatt) und *Myriophyllum aquaticum* (Brasilianisches Tausendblatt) und letztlich auch *Lemna minuta* (Kleinste Wasserlinse) als die bisher wärmeliebendste in Mitteleuropa sich ausbreitende Wasserlinse.

Die Möglichkeiten der Einwanderung von Arten aus den warm-temperierten bis hin zu den tropischen Regionen der Erde scheinen heute ausreichend vorhanden zu sein. Noch mag ihr Auftauchen nur als Folge eines heißen Sommers gelten, ihre Ausdauer und Ausbreitung an diesen Standorten jedoch muß als Indiz für eine andauernde Klimaerwärmung gewertet werden. Diese Ausdauer und Ausbreitung ist hier für *Wolffia arrhiza*, *Azolla filiculoides*, *Lemna turionifera*, *Saxifraga tridactylites* und *Vulpia bromoides* beschrieben worden. Die anderen genannten Arten geben zumindest Hinweise für eine vorhandene bzw. im Entstehen begriffene Entwicklung. Interessant ist hier vor allem das Auftauchen von thermophilen Arten auf Standorten, die außerhalb der bisher bevorzugten trockenwarmen Industriestandorte der Bremer Häfen und Bahnanlagen liegen. Hierfür stehen bisher nur die Vorkommen von *Centaurea jacea* ssp. *angustifolia* und *Vulpia bromoides* in den Grünlandflächen am Werdersee sowie von *Saxifraga tridactylites* entlang der Bahnstrecken Niedersachsens. Die beschriebenen Arten *Wolffia arrhiza*, *Azolla filiculoides*, *Lemna turionifera*, *Saxifraga tridactylites* und *Vulpia bromoides* zeigen uns deshalb an: Wir befinden uns mittendrin in der Klimaerwärmung!

Zu erwarten ist daher auf dem Hintergrund der auch aus den Klimadaten erkennbaren Erwärmung und dessen prognostizierter Weiterentwicklung eine weitere Ausbreitung von *Wolffia arrhiza* und *Azolla filiculoides* im aquatischen sowie von trockenheitsliebenden Arten wie *Vulpia spec.*, *Saxifraga tridactylites*, *Centaurea jacea* ssp. *angustifolia* u.a. im terrestrischen Bereich. Auf den trockenen und warmen, ± offenen Böden der Städte sind weitere (sub-)mediterrane bis (gemäßigt-)kontinentale (Steppen-)Arten zu erwarten. Im aquatischen Bereich ist das Einwandern der bereits im Emsland ausdauernd vorkommenden *Lemna minuta* und vielleicht auch weiterer, leicht verschleppbarer Pleustophyten aus warm-temperierten bis subtropischen Gegenden wie *Lemna*-, *Spirodela*-, *Wolffiella*- und *Wolffia*-Arten (Beschreibungen und Schlüssel bei LANDOLT 1986, Liste der Klimabedingungen ebenda, S. 393) sowie *Salvinia natans* oder andere *Azolla*-Arten wahrscheinlich. Und es würde auch nicht überraschen, wenn eines Tages *Eichhornia crassipes* in den Bremer Gewässern auftaucht, kommt sie doch zum einen in den gleichen Gewässern vor wie *Azolla filiculoides* (z.B. in Argentinien; BONETTO ET AL. 1994) und zum anderen wird allen Ernstes diskutiert, die Wasserhyazinthe zwecks Abwasserreinigung in Europa einzuführen (ZAKOWA ET AL. 1994).

Auf dem Hintergrund der prognostizierten Klimaentwicklung zu Jahresmitteltemperaturen von 10-13°C bei Jahresniederschlägen von 650-750 mm ist eine Vegetationsentwicklung hin zu einer Pflanzenwelt der warm-temperierten Klimaten mit submediterranen Trockenzeiten zu erwarten. Das Auftauchen und die Etablierung submediterraner-mediterraner als auch pannonischer Florenelemente kann als Indiz für die submediterranen Klimatendenzen gesehen werden. Als Indiz für die Änderungen zu warmtemperierten Verhältnissen ist neben der Ausbreitung der genannten subtropischen Wasserpflanzen wohl auch das verstärkte Aufkommen wärmeliebender Baumarten wie das der Ahornarten *Acer platanoides* (Spitzahorn) und *A. campestre* (Feldahorn) zu werten sowie die Ausbreitung wärme- und luftfeuchteliebender Moose und Farne in den Wäldern (vgl. WALTER 1973).

Vergleichbare Vegetation eines sich in einem solchen Klima ausbildenden großblättrigen (laurophyllen) Laubmischwaldes ist heute nordwestlich von Gibraltar zu finden (mit *Quercus lusitanica* ssp. *canariensis*, *Prunus lusitanica* und *Rhododendron ponticum*) oder auch auf dem Balkan (mit *Quercus cerris*, *Buxus sempervirens*, *Juglans regia* u.a.; nach WALTER 1973).

Es bleibt spannend und eine interessante Aufgabe, die entsprechenden Veränderungen anhand des Einwanderns neuer Arten und der Ausbreitung bereits hier vorkommender Arten zu beobachten.

Literatur

- BÄTJER, D. & HEINEMANN, H.J. (1980): Eineinhalb Jahrhunderte meteorologische Beobachtungen in Bremen. Abh. Naturw. Verein Bremen 39: 185-261.
- BERNHARDT, K.-G. (1991): Zur aktuellen Verbreitung von *Azolla filiculoides* Lam. (1783) und *Azolla caroliniana* Willd. (1810) in Nordwestdeutschland. Flor. Rundbr. 25(1): 14-19.
- BEUKER, E. (1994): Long-term effects of temperature on the wood production of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. in old provenance experiments. Scand. J. Forest Res. 9(1): 34-45.
- BONETTO, C., DE CABO, L., GABELLONE, N., VINOCUR, A., DONADELLI, J. & UNREIN, F. (1994): Nutrient dynamics in the deltaic flood plain of the Lower Parana River. Arch. Hydrobiol. 131(3): 277-295.
- BRZEZIECKI, B., KIENAST, F. & WILDI, O. (1995): Modelling potential impacts of climate change on the spatial distribution of zonal forest communities in Switzerland. J. Veg. Sci. 6(2): 257-268.
- CASPARI, S. (1993): *Lemna turionifera* LANDOLT in Thüringen. Inform. Florist. Kartierung Thüringen 5: 11-13.
- CASPER, S. JOST & KRAUSCH, HEINZ-DIETER (1980/1981): Pteridophyta und Anthophyta. 1. und 2. Teil. Süßwasserflora von Mitteleuropa 23-24. Fischer, Stuttgart, New York.
- CHAPIN, F.S. III, RINCON, E. & HUANTE, P. (1993): Environmental responses of plants and ecosystems as predictors of the impact of global change. J. Biosciences (Bangalore) 18(4): 515-524.
- CHAPIN, F.S. III, SHAVER, G.R., GIBLIN, A.E., NADELHOFFER, K.J. & LAUNDRE, J.A. (1995): Response of arctic tundra to experimental and observed changes in climate. Ecology 76(3): 694-711.
- COATES, M. & FERRIS, J. (1994): The radiatively driven natural convection beneath a floating plant layer. Limnol. Oceanogr. 39(5): 1186-1194.
- COCKS, P.S. (1994): Colonization of a South Australian grassland by invading mediterranean annual and perennial pasture species. Austral. J. Agricult. Res. 45(5): 1063-1076.
- CORDES, H. (1967): Moorkundliche Untersuchungen zur Entstehung des Blocklandes bei Bremen. Abh. Naturw. Verein Bremen 37: 147-196.
- CORDES, H. (1980): Bericht über die Tagung der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Bremen vom 30.06. bis 03.07.1978. Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. 22: 169-173.
- DIEKJOBST, H. (1983): Ein vorübergehendes Vorkommen von *Wolffia arrhiza* in Westfalen. Natur und Heimat 43(3): 65-73.
- DOWLING, P.M., MILNE, B.R. & KELSO, H.G. (1992): Post-control regeneration of *vulpia*. Plant Protect. Quarterly 7(3): 139.
- FIRBANK, L.G., WATKINSON, A.R., NORTON, L.R., ASHENDEN, T.W. (1995): Plant populations and global environmental change: The effects of different temperature, carbon dioxide and nutrient regimes on density dependence in populations in *Vulpia ciliata*. Functional Ecology 9(3): 432-441.
- FORNI, C. & CAIOLA, M.G. (1993): *Azolla*: An efficient N₂-fixing association with three components. Giorn. Bot. Ital. 127(3): 422-427.
- FRIEDLINGSTEIN, P., MUELLER, J.F. & BRASSEUR, G.P. (1994): Sensitivity of the terrestrial biosphere to climatic changes: Impact on the carbon cycle. Environmental Pollution 83(1-2): 143-147.
- GARVE, E. (1993): Rote Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. Inform. Naturschutz Niedersachs. 13(1): 1-37.

- GARVE, E. (1994): Atlas der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. Kartierung 1982-1992. Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachs. 30(1-2).
- GARVE, E. & LETSCHERT, D. (1991): Liste der wildwachsenden Farn- und Blütenpflanzen Niedersachsens. Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachs. 24: 1-152.
- HÄTTENSWILER, S. & KÖRNER, C. (1995): Response to recent climate warming of *Pinus sylvestris* and *Pinus cembra* within their montane transition zone in the Swiss Alps. *J. Veg. Sci.* 6(3): 357-368.
- HAEUPLER, H. & SCHÖNFELDER, P. (1988): Atlas der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland. Ulmer, Stuttgart, 768 S.
- HANNINEN, H. (1995): Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: An ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology. *Canadian J. Bot.* 73(2): 183-199.
- HARTE, J. & SHAW, R. (1995): Shifting Dominance Within a Montane Vegetation Community: Results of a Climate-Warming Experiment. *Science* 267(5199): 876-880.
- HECKMANN, C.W. (1984): Erstfund von *Lemna turionifera* Landolt 1975, in Europa: Haseldorfer Marsch. *Kieler Not. Pflanzenkde. Schleswig-Holstein* 16(1-2): 1-3.
- HEGI, G. (1909): Illustrierte Flora von Mitteleuropa, Bd.II, 1. Aufl., Lehmanns, München und Berlin.
- HEGI, G. (1980): Illustrierte Flora von Mitteleuropa, Bd.II, 3. Aufl., Parey, Berlin und Hamburg.
- HEINEMANN, H.-J. (1994): Homogenisierung der Säkularreihe der Jahresmitteltemperaturen von Bremen. *Meteorol. Z.* 3: 35-38.
- HERZOG, R. (1938): Geographische Verbreitung der Gattungen *Salvinia* und *Azolla*. *Bot. Arch.* 39: 219-225.
- HORST, K. (1978/79): Die Zwerg-Wasserlinse (*Wolffia arrhiza*) - kleinste Blütenpflanze der Welt im Maujahn bei Danneberg. *Hannoversches Wendland* 7: 9-18.
- HUR, J.S. & WELLBURN, A.R. (1994a): Effects of atmospheric NO₂ on *Azolla-Anabaena symbiosis*. *Ann. Bot.* 73(2): 137-141.
- HUR, J.S. & WELLBURN, A.R. (1994b): Effects of atmospheric O₃ on *Azolla-Anabaena symbiosis*. *Ann. Bot.* 73(2): 205-209.
- HUSÁK, S. & OTAHELOVÁ, H. (1982): *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimmer na Slovensku. *Biologia* 37(9): 933-935.
- JÄGER, E. (1964): Zur Deutung des Arealbildes von *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. Und einiger anderer ornithochorer Wasserpflanzen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 77: 101-111.
- KELLOMÄKI, S. & KOLSTRÖM, M. (1994): The influence of climate change on the productivity of Scots pine, Norway spruce, Pendula birch and Pubescent birch in southern and northern Finland. *Forest Ecol. Management.* 65(2-3): 201-207.
- KESEL, R. (1983): Wasser- und Sumpfpflanzengesellschaften im Bremer Blockland - Verbreitung und Gefährdung an unterschiedlich belasteten Standorten. *Dipl. Arbeit Universität Bremen*. 152 S.
- KESEL, R. (1994): Vegetationskundliche Untersuchungen am Werdersee. Abschlußbericht zu den Vegetationsveränderungen 1989-1994. i.A. Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung Bremen, unveröff.
- KESEL, R. & CORDES, H. (1985): Verbreitung und Gefährdung von Wasserpflanzengesellschaften im Bremer Blockland. *Verh. Ges. Ökol.* 13: 183-189.
- KORDUS-WALANKIEWICZ, B. (1978): The new stands of *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. on Wysockyna Siedlecka. *Fragm. Flor. Geobot.* 24(2): 273-275.
- KRAJNCIC, B. (1989): Distribution of Lemnaceae in the region of Istria (Istra) and first discovery of flowering *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm. in Yugoslavia. *Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich* 55, 81-88.

- KÜSEL, H. (1955): Die Entenlinse (*Wolffia arrhiza* Wimm.), eine neue Pflanze der nordwest-deutschen Flora. Mitteilungen 1955/1: 10-11.
- KÜSEL, H. (1969): Bemerkenswerte floristische und pflanzensoziologische Forschungsergebnisse aus dem Bremer Beobachtungsgebiet. Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. 14: 47-67.
- LAMB, H.H. (1989): Klima und Kulturgeschichte. Der Einfluß des Wetters auf den Gang der Geschichte. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 448 S.
- LANDOLT, E. (1982): Distribution pattern and ecophysiological characteristics of the European species of the Lemnaceae. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 49: 127-145.
- LANDOLT, E. (1986): The family of Lemnaceae - a monographic study. Vol.1. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 71: 566 p.
- LANDOLT, E. (1989): Geographisch-ökologisches Vorkommen der Lemnaceae-Arten in der Schweiz im Rahmen ihrer Gesamtverbreitung. Flora 182: 87-98.
- LANDOLT, E. (1994): Taxonomy and ecology of the section *Wolffia* of the genus *Wolffia* (Lemnaceae). Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 60: 137-151.
- LANDOLT, E. & KANDELER, R. (1987): The family of Lemnaceae - a monographic study. Vol.2. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 95: 638 p.
- LANDOLT, E. & ZARZYCKI, K. (1994): Ecological field investigations of duckweed (Lemnaceae) in Argentina. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 60: 62-109.
- LAPPALAINEN, H. (1994): Examples of plant phenological events in Finland and their relation to temperature. Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica 70(4): 105-121.
- LÜÖND, A. (1983): Das Wachstum von Wasserlinsen (Lemnaceae) in Abhängigkeit des Nährstoffangebots, insbesondere Phosphor und Stickstoff. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 80: 116 S.
- MANG, F. C.W. (1991): Neues und Altes zur Flora von Hamburg. Ber. Bot. Verein Hamburg 12: 41-56.
- MEINEKE, T. (1991): *Vulpia bromoides* (L.) S.F. Gray in Niedersachsen wiedergefunden. Flor. Rundbr. 25(1): 6-9.
- MENKE, B. (1952): Neues über die Verbreitung einiger seltener Pflanzen im Oldenburger Lande. Beitr. Naturkde. Niedersachsens 5: 14-22.
- MOORE, A.W. (1969): *Azolla*: Biology and Agronomic Significance. Bot. Rev. 35(1): 17-34.
- MITCHELL, J.M. (1963): On the World-wide Pattern of Secular Temperature Change. Proc. Rome Symp. 1961, UNESCO, Paris.
- NAGLER, A. & CORDES, H. (1993): Atlas der gefährdeten und seltenen Farn- und Blütenpflanzen im Land Bremen mit Auswertung für den Arten- und Biotopschutz. Abh. Naturwiss. Verein Bremen 42(2)161-580.
- NEILSON, R. P. (1993): Vegetation redistribution: A possible biosphere source of CO₂ during climatic change. Water Air Soil Pollut. 70(1-4): 659-673.
- OBERDORFER, E. (1991): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 6. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- ORTLAM, D. (1984): Die geohydrologischen Verhältnisse im Hollerland (Bremen). Abh. Naturwiss. Verein Bremen 40: 155-164.
- PIETERSE, A.H., DE LANGE, L. & VAN VLIET, J.P. (1977): A comparative study of *Azolla* in the Netherlands. Acta Bot. Neerl. 26(6): 433-449.
- PRÜGER, R. (1994): Untersuchungen zur Ökologie von Lemnetae- und Potametea-Gesellschaften im Bremer Blockland. Dipl. Arbeit Universität Bremen, 143 S.
- ROCHOW, M. VON (1952): *Azolla filiculoides* im Interglazial von Wunstorf bei Hannover und das wahrscheinliche Alter dieses Interglazials. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 65: 315-318.
- SAMAL, K.C. & KANNAIYAN, S. (1994): Nitrogen fixation and pigment contents of the symbiont *Anabaena azollae* from *Azolla*. Photosynthetica 30(2): 301-305.
- SCHNEIDER, S.H. (1994): Detecting Climatic Change Signals: Are There Any "Fingerprints"? Science 263 (5145): 341-347.

- SCHWAAR, J. (1990): Natur und Vergangenheit - Bremen und sein Umland in den letzten 12000 Jahren. Abh. Naturw. Verein Bremen 41(2): 49-86.
- SINGH, M.P. & VERMA, B.N. (1993): Interactions amongst abiotic factors of a fresh-water lake. Indian Bot. Contactor 10(2): 63-68.
- SIROIS, L., BONAN, G.B. & SHUGART, H.H. (1994): Development of a simulation model of the forest-tundra transition zone of northeastern Canada. Canadian J. Forest Res. 24(4): 697-706.
- SPARKS, T.H. & CAREY, P.D. (1995): The responses of species to climate over two centuries: An analysis of the Marsham phenological record, 1736-1947. J. Ecol. 83(2): 321-329.
- STELZIG, V. & BERNING, A. (1984): Ein neues Vorkommen der Zwerglinse (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) im südliche Emsland. Natur und Heimat 44(2): 54-55.
- STRASBURGER, E., NOLL, F., SCHENCK, H. & SCHIMPER, A.F.W. (1991): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 33. Aufl., Fischer, Jena.
- TRALAU, H. (1959): Extinct Aquatic Plants of Europe. On the Fossil and Recent Distribution of *Azolla filiculoides*, *Dulichium arundinaceum*, *Brasenia Schreberi*, and *Euryale ferox*. Bot. Not. 112(4): 385-406.
- TÜXEN, R. & LOHMEYER, W. (1957): Bericht über die Exkursion der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in der Umgebung von Lüchow und Dannenberg am 11./12. Aug. 1956. Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. 6/7: 392-398.
- WALLÉN, C. C. (1977): Climates of central and southern Europe. World Survey of Climatology 6. Elsevier, Amsterdam, 248p.
- WALTER, H. (1973): Vegetationszonen und Klima. 2. Aufl., Ulmer, Stuttgart, 253 S.
- WEBER, H. E. (1995): Flora von Südwest-Niedersachsen und dem benachbarten Westfalen. H.Th.Wenner, Osnabrück, 770 S.
- WEBER-OLDECOP, D.W. (1973): Anmerkung zur Entdeckungsgeschichte von *Wolffia arrhiza* in Niedersachsen. Göttinger Florist. Rundbr. 2: 29-30.
- WOIKE, S. (1968): *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm., die Zwerglinse, auch heute noch am Niederrhein. Niederrhein. Jb. 10: 35-38.
- WOLEK, J. (1974): A preliminary investigation on interaction (competition, allelopathy) between some species of *Lemna*, *Spirodela*, and *Wolffia*. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 42: 140-162.
- WOLFF, P. (1978): Die Merkmale der häufigsten *Vulpia*-Sippen Mitteleuropas. Gött. Flor. Rundbr. 12(2): 41-60.
- WOLFF, P. (1991): Die Zierliche Wasserlinse, *Lemna minuscula* Herteer: Ihre Erkennungsmerkmale und ihre Verbreitung in Deutschland. Flor. Rundbr. 25(2): 86-98.
- WOLFF, P., DIEKJOBST, H. & SCHWARZER, A. (1994): Zur Soziologie und Ökologie von *Lemna minuta* H., B. & K. in Mitteleuropa. Tuexenia 14: 343-380.
- WOLFF, P. & LANG, W. (1993): Die Rote Wasserlinse, *Lemna turionifera* LANDOLT - neu für Österreich. Linzer biol. Beitr. 25(1): 347-354.
- WOLFF, P. & MANG, F. W.C. (1991): *Lemna turionifera* Landolt in und um Hamburg - Neues zur Verbreitung, Soziologie und Ökologie. Ber. Bot. Verein Hamburg 12: 69-76.
- WOLFF, P. & ORSCHIEDT, O. (1993): *Lemna turionifera* LANDOLT - eine neue Wasserlinse für Süddeutschland, mit den Erstdnachweisen für Europa. Caroleinea 51: 9-26.
- WOLFF, P. & RAABE, U. (1991): *Lemna turionifera* Landolt in Westfalen. Ber. Naturwiss. Ver. Bielefeld u. Umgegend 32: 381-385.
- ZAKOVA, Z., PALAT, M., KOCKOVA, E. & TOUFAR, J. (1994): Is it realistic to use water hyacinth for wastewater treatment and nutrient removal in Central Europe? Water Sci. Technol. 30(8): 303-311.
- ZENTRALSTELLE FÜR DIE FLORISTISCHE KARTIERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (HRSG.) (1993/ 1995): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik

Deutschland (vorläufige Fassung). Flor.Rundbr.Beih.3; Korrekturen und Nachträge,
Flor. Rundbr. 29(2): 212-246.

ZIMMERMANN, M.-A. (1981): Einfluss von Calcium und Magnesium auf das Wachstum von mitteleuropäischen Lemnaceen-Arten. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 48: 120-160.

Anschrift der Verfasser:

Raimund Kesel

Thomas Gödeke

Institut f.Ökologie u.Evolutionsbiologie, Abt.Geobotanik&Naturschutz

FB 2 / NW 2, Universität Bremen

D - 28334 Bremen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [43](#)

Autor(en)/Author(s): Kesel Raimund, Gödeke Thomas

Artikel/Article: [Wolffia arrhiza, Azolla filiculoides, Lemna turionifera und andere wärmeliebende Pflanzen in Bremen - Boten eines Klimawandels? 339-362](#)