Tuexenia 34: 205–232. Göttingen 2014.
doi: 10.14471/2014.34.003, available online at www.tuexenia.de

Die Einfache Mondraute (*Botrychium simplex*, *Ophioglossaceae*) in Deutschland

The Least Moonwort (*Botrychium simplex*, *Ophioglossaceae*) in Germany

H. Wilfried Bennert[1,*], Irmgard Sonneborn[2] & Karsten Horn[3]

[1]*Plessenweg 28, 58256 Ennepetal, Germany, wilfried.bennert@rub.de;*
[2]*Kürschnerweg 24, 33659 Bielefeld, Germany,emess@web.de*
[3]*Büro für angewandte Geobotanik und Landschaftsökologie (BaGL), Frankenstraße 2, 91077 Dormitz, Germany, info@karstenhorn-bagl.de*
**Korrespondierender Autor*

Diese Arbeit widmen wir dem Mykologen und Floristen Willi Sonneborn (1924–2011).

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit liefert ein Kurzportrait von *Botrychium simplex* und beschreibt zunächst die biologischen Besonderheiten und die Verbreitung in Deutschland. In einem dritten Teil wird eine demographische Studie vorgestellt und über Langzeitbeobachtungen an der aktuell einzigen deutschen Population (in der Senne, Nordrhein-Westfalen) berichtet.

Wie bei allen Mondrauten keimen bei *B. simplex* die Sporen im Boden, und die Gametophyten entwickeln sich nur weiter, wenn sie von einem arbuskulären Mykorrhizapilz infiziert wurden; auch die Sporophyten sind mykotroph. Typisch sind ein- oder auch mehrjährige Ruheperioden, in denen bei einzelnen Pflanzen keine oberirdischen Organe gebildet werden. Als kleinwüchsige und konkurrenzschwache Art ist *B. simplex* auf lückige und kurzrasige Pflanzengesellschaften angewiesen.

Die morphologische Variabilität der Blätter ist ungewöhnlich groß, und vor allem die Form des sterilen Abschnitts ist vielgestaltig. Von den mehreren in Nordamerika unterschiedenen Varietäten kommt neben der häufigeren var. *simplex* auch var. *tenebrosum* in Mitteleuropa vor.

Botrychium simplex ist eine Art der gemäßigten bis kühl-gemäßigten Zone mit einem Areal, das Europa, Nordamerika sowie Indien und Japan einschließt. In Deutschland sind Vorkommen aus 3 Jahrhunderten und auf 12 Messtischblättern belegt. Die Funde konzentrieren sich auf das 19. Jahrhundert; aus dem 20. Jahrhundert stammen lediglich 5 Angaben.

Bei dem Vorkommen in der Senne wurde die Populationsentwicklung seit 1994 alljährlich untersucht. Zum Zeitpunkt ihrer Entdeckung (1993) war die Population offenbar optimal entwickelt und umfasste drei nahe beieinander liegende Teilpopulationen; in späteren Jahren wurden drei weitere entdeckt. Lediglich auf einer Fläche erschienen durchgängig Pflanzen (mit Ausnahme eines Jahres). Bereits nach einem Jahr wurde eine deutlich Abnahme der Blattzahl registriert, eine Entwicklung, die sich in den Folgejahren fortsetzte. Ähnliche negative Veränderungen wurden für die Blattlängen, den Anteil fertiler Blätter sowie die Anzahl der pro Blatt gebildeten Sporangien beobachtet. Der Sporophyt ist bei Arten der Untergattung *Botrychium*, zu der auch *B. simplex* gehört, sehr kurzlebig. Auch die Halblebenszeit ist gering und beträgt nur wenige Jahre. Die in der Senne beobachtete Abnahme der Populationsgröße stimmt sehr gut mit dem bei einer 3-jährigen Halblebenszeit vorhergesagten Verlauf überein. Als weitere Faktoren, welche den Rückgang mit gefördert haben könnten, werden verschiedene biotische Faktoren sowie mögliche indirekt oder direkt vom Menschen verursachte Beeinträchtigungen diskutiert.

Manuskript eingereicht am 23. Januar 2014, angenommen am 04. März 2014
Koordinierender Editor: Erwin Bergmeier

Vermutlich existieren im Boden außer einer Sporenbank auch Gametophyten, sporophytische Jungpflanzen oder ältere Rhizome, die zukünftig zur Blattbildung beitragen könnten. Es werden daher für den Bestand in der Senne länger andauernde Schutz- und Pflegemaßnahmen vorgeschlagen mit dem Ziel, eine Verjüngung der Population oder eine Populationsneubildung aus der Sporenbank zu erreichen.

Abstract

This paper provides a brief portrait of *Botrychium simplex* and starts by describing its biological characteristics and distribution in Germany. In the third part, a demographic study is presented reporting on long-term observations of the only presently known German population (Senne area, North Rhine-Westphalia).

As with all moonworts, the spores of *B. simplex* germinate in the soil, and the gametophytes start developing only if they are infected by an arbuscular mycorrhizal symbiont. The sporophytes are mycotrophic as well. Sporophytes can remain dormant for one or more years without producing aboveground leaves. As a low growing plant and a weak competitor *B. simplex* is dependent on an open and low plant vegetation cover.

The leaves are morphologically highly variable with the form of the sterile portion being particularly diversified. Of the several varieties distinguished in North America, var. *tenebrosum* occurs in Central Europe, in addition to the more common var. *simplex*.

Botrychium simplex is a species inhabiting the north temperate to cool-temperate zone with a range that includes Europe, North America, India, and Japan. In Germany, localities from the past three centuries and 12 ordnance survey maps (German TK 25) are known. The majority of findings date back to the 19th century, only 5 have been reported for the 20th century.

The dynamics of the population in the Senne area (North Rhine-Westphalia) were examined every year since 1994. At the time of its discovery (1993), the population appeared to be at an optimum stage and included three closely spaced sub-populations; in later years three more sub-populations were discovered. Only one sub-population produced leaves permanently (with the exception of one year). After just one year, a clear decrease in leaf number was registered, a trend that continued in subsequent years. Similar negative changes were found with regards to leaf length, the proportion of fertile leaves, and the number of sporangia formed per leaf. The sporophyte is very short-lived in species of subgenus *Botrychium*, which includes *B. simplex*; the half-life is short as well and amounts to a few years only.

The decrease in population size observed in the Senne agrees very well with the one predicted assuming a 3-year half-life. Additional factors, which could have been involved in the decline, various biotic factors and possible impairments, indirectly or directly caused by human activities are discussed as well. It is likely that, in addition to a spore bank, gametophytes, sporophytic juveniles or older rhizomes exist in the soil, which could contribute to leaf formation in the future. Therefore, long lasting conservation elements and management regimes are proposed for the population in the Senne to achieve the possibility of a rejuvenation of the population or a restoration of the population from the spore bank.

Keywords: distribution map, half-life, historical records, leaf morphology, monitoring, population biology

1. Einleitung

Die Arten der Gattung *Botrychium* (Mondraute) gehören in Deutschland zu den ausgesprochenen Seltenheiten, wenn man von der Echten Mondraute (*B. lunaria*) absieht, die noch in nahezu allen Teilen des Landes vorkommt. Im Gegensatz zu *B. matricariifolium* (Ästige Mondraute), *B. multifidum* (Vielteilige Mondraute) und *B. virginianum* (Virginische Mondraute), die mit mehreren, teilweise seit langer Zeit bekannten Vorkommen zu den festen Bestandteilen der heimischen Flora gehören, ist *B. simplex* (Einfache Mondraute) an allen

früher bekannten Fundorten ausgestorben oder verschollen und wurde jahrzehntelang in Deutschland nicht beobachtet. Die meisten Fundmeldungen stammen aus dem 19. Jahrhundert (vgl. LUERSSEN 1889, ASCHERSON & GRAEBNER 1899, DOSTÁL 1984); lediglich vier Beobachtungen, von denen allerdings eine zweifelhaft erscheint, sind aus dem 20. Jahrhundert bekannt. Die vorliegende Arbeit gibt im ersten Teil einen Überblick über die früheren Funde dieser Art in Deutschland, wobei neben publizierten Daten auch Nachweise berücksichtigt wurden, die in Form von Herbarbelegen dokumentiert sind. Einer dieser Herbarnachweise hat bislang keinen Eingang in die floristische Literatur gefunden.

Im Jahre 1993 gelang dem Ehepaar Sonneborn ein sensationeller Neufund auf dem Truppenübungsplatz „Sennelager" in Nordrhein-Westfalen (SONNEBORN & SONNEBORN 1994), der insofern völlig überraschend war, als *B. simplex* in diesem Bundesland nie zuvor beobachtet wurde. In der Folgezeit (seit 1994) wurden die Populationsentwicklung und die standörtlichen Veränderungen an dieser Stelle alljährlich untersucht und dokumentiert (zumeist durch das Ehepaar Sonneborn und H.W. Bennert, teilweise unter Beteiligung von K. Horn). Dieses nunmehr fast 20 Jahre andauernde kontinuierliche Monitoring wurde lediglich in einem Jahr (2010) unterbrochen, in dem keine Geländeuntersuchungen möglich waren. In einer ersten Publikation wurden die Beobachtungen zur Bestandsdynamik, Ökologie und Vergesellschaftung von *B. simplex* aus dem Zeitraum von 1994 bis 2001 dokumentiert (BENNERT et al. 2003). Die vorliegende Arbeit berichtet über die weitere Entwicklung des Bestandes in dem darauf folgenden Jahrzehnt (also von 2002 bis 2011), wobei die älteren Daten mit einbezogen wurden, um einen Überblick über die Populationsdynamik für den gesamten Beobachtungszeitraum geben zu können.

Botrychium simplex ist eine Art des Anhangs II der FFH-Richtlinie (COUNCIL OF EUROPE 1992), deren Bestände regelmäßig (alle sechs Jahre) hinsichtlich ihres Erhaltungszustandes überprüft und bewertet werden müssen (vgl. RÜCKRIEM & ROSCHER 1999, SCHNITTER et al. 2006). Solche Berichte sind im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) bereits dreimal, 2003 (BENNERT 2003), 2008 (HORN & BENNERT 2008) sowie 2012 (BENNERT 2012), angefertigt worden. Wesentliche Teile der darin enthaltenen populationsbiologischen Daten werden im zweiten Teil dieser Arbeit referiert.

Die Art wird in der Roten Liste Deutschlands als „stark gefährdet" (Kategorie 2) eingestuft (KORNECK et al. 1996), muss aber nach neuerem Kenntnisstand „als vom Aussterben bedroht" (Kategorie 1) bewertet werden (vgl. BENNERT 1999). Eine entsprechende Einstufung in die Kategorie 1 erfolgte bereits in der aktuellen Fassung der Roten Liste der Farn- und Blütenpflanzen Nordrhein-Westfalens (RAABE et al. 2011). Das Land Nordrhein-Westfalen trägt derzeit die alleinige Verantwortung für den Erhalt der Art auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

2. Material und Methoden

Um die frühere Verbreitungssituation von *Botrychium simplex* in Deutschland möglichst vollständig darstellen zu können, wurde im Zeitraum 1992 bis 2010 durch einen der Autoren (K. H.) in den Beständen einiger größerer deutscher Herbarien (BREM, ER, GOET, HAL, HAN, HBG, KIEL, KR, OLD, OSN, REG; Akronyme nach HOLMGREN et al. 1990) gezielt nach Belegen der Art aus Deutschland in seinen heutigen Grenzen gesucht. Die Sammlungen in B, JE, GFW, M, MSTR, STU, TUB und ROST wurden auf unsere Bitte hin durch die jeweiligen Kuratoren bzw. deren Kollegen auf das Vorhandensein von *B. simplex*-Belegen hin überprüft. Die Fundortangaben in der einschlägigen floristischen Literatur wurden an Hand der Primärquellen überprüft.

Der Bestand von *B. simplex* in der Senne (NRW) wurde jeweils im Frühjahr aufgesucht, wobei nach Möglichkeit der phänologisch günstigste Zeitpunkt (gerade einsetzende Sporenreife) ausgewählt wurde; je nach Witterungsverlauf war dies der Zeitraum zwischen Mitte Mai und Mitte Juni. Danach verwelken die Blätter rasch, vor allem bei Trockenheit, und bereits im Juli sind die Pflanzen oberirdisch nicht mehr aufzufinden. Die Bestandsgröße wurde durch Auszählen der Blätter ermittelt, wobei auch sterile Blätter mit gezählt wurden. Die Blattzahl liefert allerdings kein genaues Maß für die Anzahl der Individuen, da in einer Vegetationsperiode von einem unterirdischen Rhizom vermutlich mehrere Blätter (bis zu 10) gebildet werden können (BENNERT et al. 2003).

Die Zählungen sind insofern mit Fehlern behaftet, als vor allem die kleineren Blätter (die bestenfalls eine Länge von 15 mm erreichen) in der Vegetation selbst in gebückter Haltung nur schwer auszumachen sind und leicht übersehen werden können. MELZER (1990) hat die Art trefflich als Pflanze charakterisiert, die man nur „auf allen Vieren" zu Gesicht bekommen kann. Die Zahlenangaben stellen daher die unterste Grenze der tatsächlichen Verhältnisse dar. Um Mehrfachzählungen auszuschließen, wurden die Pflanzen vorübergehend markiert (mit Streichhölzern oder Plastikspießchen). Weiterhin wurden die Blattgröße ermittelt (in den ersten Jahren näherungsweise durch Ausmessen der größten und kleinsten Blätter sowie einiger Blätter mit mittlerer Größe) und Angaben zur Sporenproduktion notiert. Ab 2004 wurden sämtliche Blätter einzeln vermessen und bei jedem fertilen Blatt die Anzahl der Sporangien unter Zuhilfenahme einer Handlupe ermittelt.

Seit 2003 wurde außerdem vermerkt, ob es sich um ein isoliert wachsendes Einzelblatt oder um eine eng zusammen stehende Gruppe (Abstand < 1 cm) von zwei oder mehreren Blättern handelt. Im letzteren Fall kann vermutet werden, dass die Blätter an ein und demselben Rhizom entspringen, also zu einem Individuum gehören.

3. Biologische Besonderheiten

3.1 Keimungsbiologie

Botrychium simplex weist einige reproduktions- und populationsbiologische Besonderheiten auf. Wie die anderen Natternzungengewächse gehört die Art zu den obligaten Dunkelkeimern, deren Sporen im Boden ohne Licht und nur bei Anwesenheit eines spezifischen Pilzes keimen und chlorophyllfreie, mykotrophe Gametophyten ausbilden (SCHMID & OBERWINKLER 1994, JOHNSON-GROH et al. 2002). Diese wachsen wesentlich langsamer als die grünen, photosynthetisch aktiven Prothallien der Lichtkeimer. Auch die Produktion neuer (oberirdisch in Erscheinung tretender) Sporophyten erfordert längere Zeiträume, je nach Art bis zu 10 Jahren (MULLER 1993, JOHNSON-GROH et al. 2002). Vermutlich haben die unterirdisch lebenden Prothallien und sporophytischen Jugendstadien eine ähnliche reproduktionsbiologische Funktion wie die Samenbanken der Angiospermen (LESICA & AHLENSLAGER 1996, JOHNSON-GROH et al. 2002). Bei verschiedenen nordamerikanischen Arten wurden im Boden sowohl Gametophyten als auch juvenile Sporophyten nachgewiesen, wobei die Dichten je nach Art stark schwanken können: zwischen 10 und über 700 pro m^2 bei den Gametophyten bzw. zwischen 0 und nahezu 300 pro m^2 bei den jungen Sporophyten (JOHNSON-GROH 1998, JOHNSON-GROH et al. 2002).

3.2 Populationsbiologie

Typisch für *Botrychium*-Arten sind einjährige oder seltener auch mehrjährige Ruheperioden, in denen keine oder nur eine verminderte Anzahl oberirdischer Organe gebildet werden (JOHNSON-GROH 1998, BENNERT 1999, JOHNSON-GROH et al. 2002). Auslöser hierfür sind oft natürliche Umweltbelastungen, vor allem Trockenstress (LESICA & STEELE 1994, LESICA & AHLENSLAGER 1996). Vermutlich ist dafür eine verminderte Leistungsfähigkeit

der Mykorrhiza verantwortlich (JOHNSON-GROH 1998). In Skandinavien ist *B. simplex* offenbar noch unbeständiger, als dies bei Mondrauten generell der Fall ist. Mancherorts kann die Art jahrzehntelang ausbleiben, um dann am gleichen Wuchsort erneut zu erscheinen (ØLLGAARD & TIND 1993). Es ist durchaus möglich, dass sich solche Vorkommen mit Hilfe von Sporen, die aus der erloschenen Population stammen und Jahre zuvor in den Boden gelangt sind, neu etablieren können. Bei Pflanzen in Südgrönland wurde beobachtet, dass einige fertile Sporophyten noch mit den Gametophyten verbunden waren (ØLLGAARD & TIND 1993); möglicherweise ist der Gametophyt von *B. simplex* besonders langlebig.

3.3 Vergesellschaftung und Standorte

Als kleinwüchsige und damit auch konkurrenzschwache Art ist *B. simplex* auf lückige und kurzrasige Vegetation angewiesen. Im Gegensatz zu *B. lunaria* ist sie azidophil und bevorzugt deutlich feuchtere Stellen als andere *Botrychium*-Arten. Typischerweise werden nährstoffarme und wechselfeuchte bis anmoorige oder sogar quellige Standorte bevorzugt. Als Vegetationstypen werden bodensaure, wechselfeuchte Magerrasen, Heiden, feuchte Wiesen, kurzrasige Triften an Fluss- und Seeufern, Borstgras-Rasen, bodensaure Flachmoore und alpine Rieselfluren über Silikatgestein besiedelt (DOSTÁL 1984, MELZER 1990, BENNERT 1999, BENNERT et al. 2003, HORN & KORNECK 2003). Vereinzelt werden auch grasige (vermutlich anmoorige) Dünentäler (Norderney, Ostfriesische Inseln; BUCHENAU 1896) sowie Sekundärstandorte wie Sandgruben, Bahnböschungen und alte Bergwerkshalden angegeben (SCHNEIDER 1877, HERGT 1906, BERTSCH 1951, BENKERT 1982). Selbst für Trockenrasen mit thermophiler Flora im Brandenburger Havelland wird die Art genannt (GÖRZ 1913), wurde hier möglicherweise aber mit kleinwüchsigen Formen von *B. lunaria* verwechselt.

3.4 Morphologische Variabilität

Typisch für alle Mondrauten sind dreidimensional verzweigte Raumwedel, die aus einem photosynthetisch aktiven Abschnitt (Trophophor) und einem spreitenlosen, fertilen Abschnitt (Sporophor), an dem die kugeligen Sporangien gebildet werden, bestehen. *Botrychium simplex* ähnelt *B. lunaria*, ist aber kleinwüchsiger und auffällig blau- oder gelbgrün gefärbt. Eindeutig zu unterscheiden sind beide Arten durch die Länge des gemeinsamen Blattstiels, an dem Trophophor und Sporophor inserieren. Bei *B. lunaria* trennen sich beide Abschnitte erst in der Mitte des Blattes oder auch weiter oben, während bei *B. simplex* der gemeinsame Stiel normalerweise sehr kurz ist und sich beide Blattabschnitte bereits in Bodennähe (0,5–2 cm oberhalb der Stielbasis), wenn nicht sogar unter der Bodenoberfläche aufteilen. Im Vergleich mit den übrigen mitteleuropäischen Arten ist die morphologische Variabilität der Blätter ungewöhnlich groß (vgl. MILDE 1859, Tafeln 49 und 50; 1869). Vor allem der ± deutlich gestielte sterile Abschnitt ist sehr vielgestaltig. Die Spreite kann ungeteilt und nahezu ganzrandig sein (im Umriss rundlich-eiförmig, elliptisch oder spatelförmig) oder aber schwach gekerbt und stärker eingeschnitten bis dreiteilig oder (bei größeren Blättern) sogar ein- bis zweifach fiederteilig. Der fertile Wedelabschnitt ist lang gestielt und überragt den sterilen bei Weitem. Bei kleinen Formen ist er unverzweigt und trägt ährenartig angeordnete Sporangien, bei größeren kann er auch ein- bis zweifach gefiedert sein. Die Anzahl der Sporangien pro Sporophor schwankt zwischen 2 und ca. 24.

In Nordamerika ist die Blattmorphologie noch vielfältiger, und es werden mehrere Varietäten (auch als Formen bewertet) unterschieden (ANDERSON 2006). Eine davon ist var. *tenebrosum*, die durch einen langen gemeinsamen Stiel gekennzeichnet ist. Diese Sippe, die mit Zwergformen von *B. lunaria* verwechselt werden kann, wird gelegentlich auch als eigenständige Art angesehen (ANDERSON 2006). Diese Varietät kommt auch in Mitteleuropa vor (so aus Österreich belegt, Abb. 3a; vgl. auch DOSTÁL 1984) und wurde in einem einzelnen Exemplar sogar in der Senne beobachtet (Abb. 5c), allerdings nur in einem einzigen Jahr. Dies spricht eher dagegen, dass es sich um eine eigenständige Art handelt.

Das im Boden überdauernde Rhizom (*B. simplex* ist ein Geophyt) kann in einer Vegetationsperiode bisweilen mehrere Blätter ausbilden. So schreibt bereits MILDE (1869): „Ein einziges Mal fand ich ein gabeliges Rhizom, dessen 2 Gabeläste je ein Individuum der var. *incisum* trugen".

4. Die Verbreitung von Botrychium simplex

4.1 Allgemeine Verbreitung

Botrychium simplex ist eine Art der gemäßigten bis kühl-gemäßigten Zone mit einem Areal, das Europa, Nordamerika sowie Japan einschließt (CLAUSEN 1938, MEUSEL et al. 1965, OHWI 1965, JALAS & SUOMINEN 1972, HULTÉN & FRIES 1986, WAGNER & WAGNER 1993). Erst kürzlich wurde sie auch aus dem indischen Teil des Himalaya gemeldet (KHOLIA 2012). In Europa umfasst das Verbreitungsgebiet Deutschland, Polen, das Baltikum, Nordwestrussland sowie Skandinavien (Dänemark, Südschweden, Norwegen, Finnland) und Island. Weitgehend isolierte Teilareale liegen in den Alpen (als floristische Rarität nur an wenigen Stellen in Österreich, der Schweiz, in Frankreich, Italien und Slowenien; HORN & KORNECK 2003, HORN et al. 2005), im französischen Zentralmassiv, auf Korsika und in den Pyrenäen (MEUSEL et al. 1965, JALAS & SUOMINEN 1972, PIGNATTI 1982, WELTEN & SUTTER 1982, PRELLI & BOUDRIE 1992, LAASIMER et al. 1993, BENNERT 1999, JONSELL 2000, PRELLI 2001, ZAJĄC & ZAJĄC 2001). Zwei isolierte Fundpunkte sind ferner aus der Tschechischen Republik (Altvatergebirge [= Hohes Gesenke] und Böhmerwald) bekannt (MILDE 1859, SLAVÍK 1986, CHRTKOVÁ 1988). In diesen Gebieten wird *B. simplex* als Glazialrelikt gedeutet.

4.2 Verbreitung in Deutschland

Beobachtungen von *B. simplex* in Deutschland sind aus drei Jahrhunderten dokumentiert und verteilen sich auf 12 Messtischblätter; für ein weiteres Blatt (MTB 3541) liegt eine zweifelhafte Meldung vor (Abb. 1, Tab. 1). Nur für wenige Angaben konnten Herbarbelege bzw. Zeichnungen von Herbarexemplaren gefunden werden (Abb. 2, Abb. 3b–c). Vermutlich waren früher Belege im Botanischen Museum Berlin-Dahlem (B) – insbesondere solche der brandenburgischen Fundstellen – vorhanden, die aber alle im 2. Weltkrieg verbrannt sein dürften. Der überwiegende Teil der Funde stammt aus dem nordöstlichen Teil Deutschlands (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, mittleres Sachsen-Anhalt). Weitere Vorkommen sind aus Niedersachsen, dem nordöstlichen Nordrhein-Westfalen, Thüringen und Baden-Württemberg bekannt geworden (Abb. 1). Der älteste Nachweis stammt aus dem Jahr 1847 aus dem Raum Rostock in Mecklenburg-Vorpommern. Mit insgesamt 10 Nachweisen konzentrieren sich die Funde auf das 19. Jahrhundert, während im 20. Jahrhundert lediglich fünf

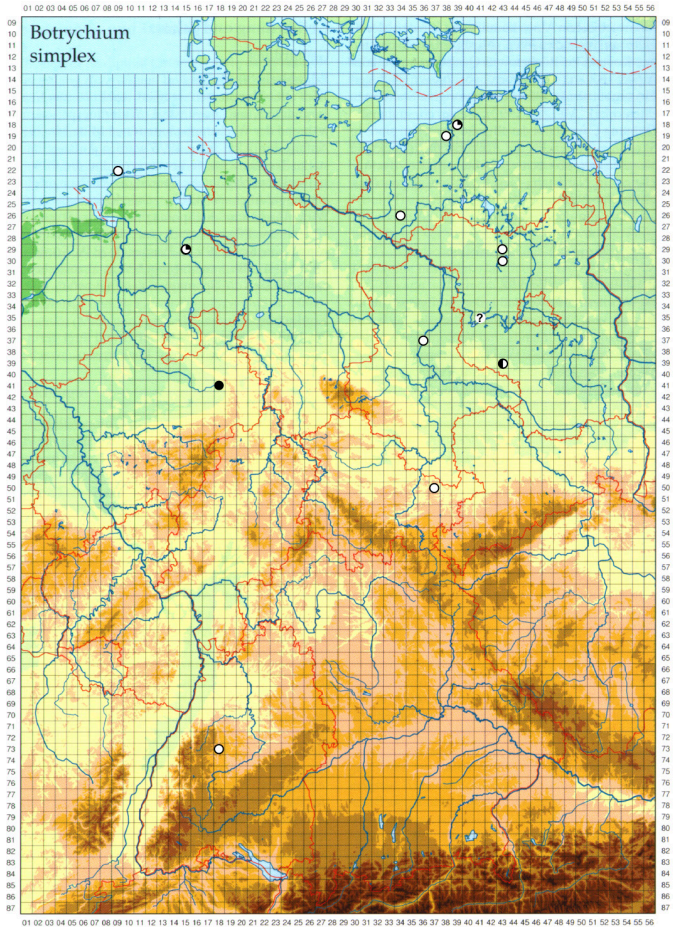


Abb. 1. Die Verbreitung von *Botrychium simplex* in Deutschland; es bedeuten: ○ = Nachweis vor 1900, ◔ = Nachweis im Zeitraum 1900–1949, ◐ = Nachweis im Zeitraum 1950–1999, ● = Nachweis ab 2000, ? = ungesicherte Angabe.

Fig. 1. The distribution of *Botrychium simplex* in Germany; symbols indicate: ○ = record before 1900; ◔ = record from 1900 to 1949, ◐ = record from 1950 to 1999, ● = record since 2000, ? = uncertain record.

Beobachtungen gemeldet wurden. Zu letzteren gehören die Beobachtungen aus Niedersachsen (Barneführer Holz bei Oldenburg, 1912), Mecklenburg-Vorpommern (Rövershagen bei Rostock, 1932; ein bislang in der floristischen Literatur nicht dokumentierter Fundpunkt, siehe PANKOW 1967 sowie FUKAREK & HENKER 2006) und Brandenburg (Treuenbrietzen, ca. 1962; vermutlich Neufund in der Nähe eines bereits 1865 entdeckten Vorkommens, BENKERT 1982).

Eine weitere Angabe (Langmatenberg bei Brandenburg a. H., TK 3541/2, GÖRZ 1913) muss als zweifelhaft angesehen werden; möglicherweise liegt hier eine Verwechslung mit kleinwüchsigen Formen von *B. lunaria* vor. Der jüngste Bestand wurde 1993 in der Senne (Nordrhein-Westfalen) entdeckt (SONNEBORN & SONNEBORN 1994) und repräsentiert gleich-

Tabelle 1. Derzeit bekannte Nachweise von *Botrychium simplex* aus Deutschland; bei den Abkürzungen für die Bundesländer bedeuten: BB – Brandenburg, BW – Baden-Württemberg, MV – Mecklenburg-Vorpommern, NDS – Niedersachsen, NRW – Nordrhein-Westfalen, ST – Sachsen-Anhalt, TH – Thüringen; Abkürzungen der Herbarien nach HOLMGREN et al. (1990).

Table 1. Currently known records of *Botrychium simplex* from Germany; the abbreviations for the federal states mean: BB – Brandenburg, BW – Baden-Württemberg, MV – Mecklenburg-Vorpommern, NDS – Lower Saxony, NRW – North Rhine-Westphalia, ST – Sachsen-Anhalt, TH – Thuringia; abbreviations of the herbaria according to HOLMGREN et al. (1990).

Datum	Fundort	MTB/Q, ggf. geografische Unschärfe	Bundesland	Quelle	Bemerkungen
22.6.1847	Nördlicher Rand der Barnstorfer Tannen bei Rostock	1938/1; O	MV	ROEPER (1859)	Einzelexemplar, zusammen mit *B. lunaria* und *B. matricariifolium*, von J. Roeper ursprünglich als *B. lunaria* gesammelt und erst später als *B. simplex* erkannt.
1865	Am Fuße der Hellberge bei Treuenbrietzen	3943/1	BB	ASCHERSON & HOFFMANN (1905)	Von H. Pauckert gefunden.
1869	Norderney	2209/3	NDS	BUCHENAU in FOCKE (1891), Beleg in BREM	Von C. Rutenberg in zwei Exemplaren aufgesammelt.
Vor 1877	Sandgrube neben den Chausseekienen bei Burg	3737/1	ST	SCHNEIDER (1877)	
7.1879	Wiesen bei Zippelsförde	3043/1	BB	WARNSTORF (1880)	
7.1881	Sandige, kurzgrasige Stellen vor Krangensbrück	2943/3	BB	WARNSTORF (1882)	„Krangensbrück“ war ein Forsthaus bei Krangen, welches später in Forsthaus „Fristow“ umbenannt wurde; zusammen mit *Ophioglossum vulgatum*, *Botrychium lunaria* und *B. matricariifolium* (vgl. auch WARNSTORF 1892).
1885	Beim Barneführer Holz auf einer Rieselwiese	2915/4	NDS	MEYER et al. (1937)	Von I. Huntemann in einigen Exemplaren entdeckt.
9.6.1892	Bahneinschnitt westlich Bahnhof Bad Klosterlausnitz	5037/3	TH	TORGES (1893), Beleg in JE	Einzelpflanze, von C. Haussknecht gefunden.
3.6.1893	Bergwerkshalde am alten Weg zwischen Neubulach und Liebelsberg, Waldteil Stratzel	7318/1	BW	BERTSCH (1951), Belege in STU und TUB	Insgesamt 13 Exemplare (BERTSCH 1951) fanden sich in einer aus 18 Pflanzen bestehenden, als *B. lunaria* determinierten Aufsammlung von J. Herrmann zusammen mit dieser Art.

Datum	Fundort	MTB/Q	Bundesland	Quelle	Bemerkungen
1897	Laascher Brücke bei Ludwigslust	2634/2	MV	KRAMBEER (1962)	1897 von H. Richtstieg gefunden (det. Dr. Heiden); das in den heutigen Kartenwerken nicht mehr aufgeführte Toponym „Laascher Brücke“ bezieht sich auf die Brücke über den Ludwigsluster Kanal nördlich von Ludwigslust direkt östlich der B 106 an der Abzweigung der K 38 nach Osten in Richtung Groß Laasch (U. Jueg, in litt.).
6.1899	Pörtner’s Heide (Rieselwiese) am Südrand des Barneführer Holzes südlich Sandkrug	2915/4	NDS	Beleg in BREM	Laut BUCHENAU (1906) wurden von I. Huntemann 1899 fünf Exemplare beobachtet.
vor 1913	Auf der Kuppe des Langmatenberges bei Brandeburg a. H.	3541/2	BB	GÖRZ (1913)	Auf Grund des Standortes (Trockenrasen mit thermophiler Flora) erscheint eine Verwechselung mit kleinwüchsigen Formen von *B. lunaria* wahrscheinlich.
10.6.1912	Pörtner’s Heide (Rieselwiese) am Südrand des Barneführer Holzes südlich Sandkrug	2915/4	NDS	Beleg in BREM	Letzter bekannter Nachweis der Art aus Niedersachsen.
5.7.1932	Am Seeufer bei Roe[ö]vershagen gegen Rostock	1839/1	MV	Beleg in STU	Von J. Plankenhorn in einem Einzelexemplar aufgesammelt, bislang in der einschlägigen Literatur nicht dokumentierte Fundstelle.
ca. 1962	Treuenbrietzen	3943/2	BB	G. Hudziok, in litt. (BENKERT 1982)	Von G. Hudziok entdeckt, laut W. Pietsch (mdl. Mitt.) im heutigen NSG „Der Zarth“; letzte bekannte Angabe aus Brandenburg.
29.5.1993	TrÜbPl Senne nördlich Paderborn	4118/3	NRW	SONNEBORN & SONNEBORN (1994)	Einziges aktuelles Vorkommen in Deutschland.

zeitig auch das einzige aktuell in Deutschland bekannte Vorkommen. Der im kürzlich publizierten „Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands“ (NETZWERK PHYTODIVERSITÄT DEUTSCHLAND & BUNDEAMT FÜR NATURSCHUTZ 2013) dargestellte Nachweis im Messtischblatt 2451 bezieht sich auf einen Fundpunkt in Polen (Ostseite des Schloss-Sees von Stolzenburg [Stolce], TK 2451/2), wie bereits FUKAREK & HUSE (1985) dargestellt haben, und ist daher zu streichen.

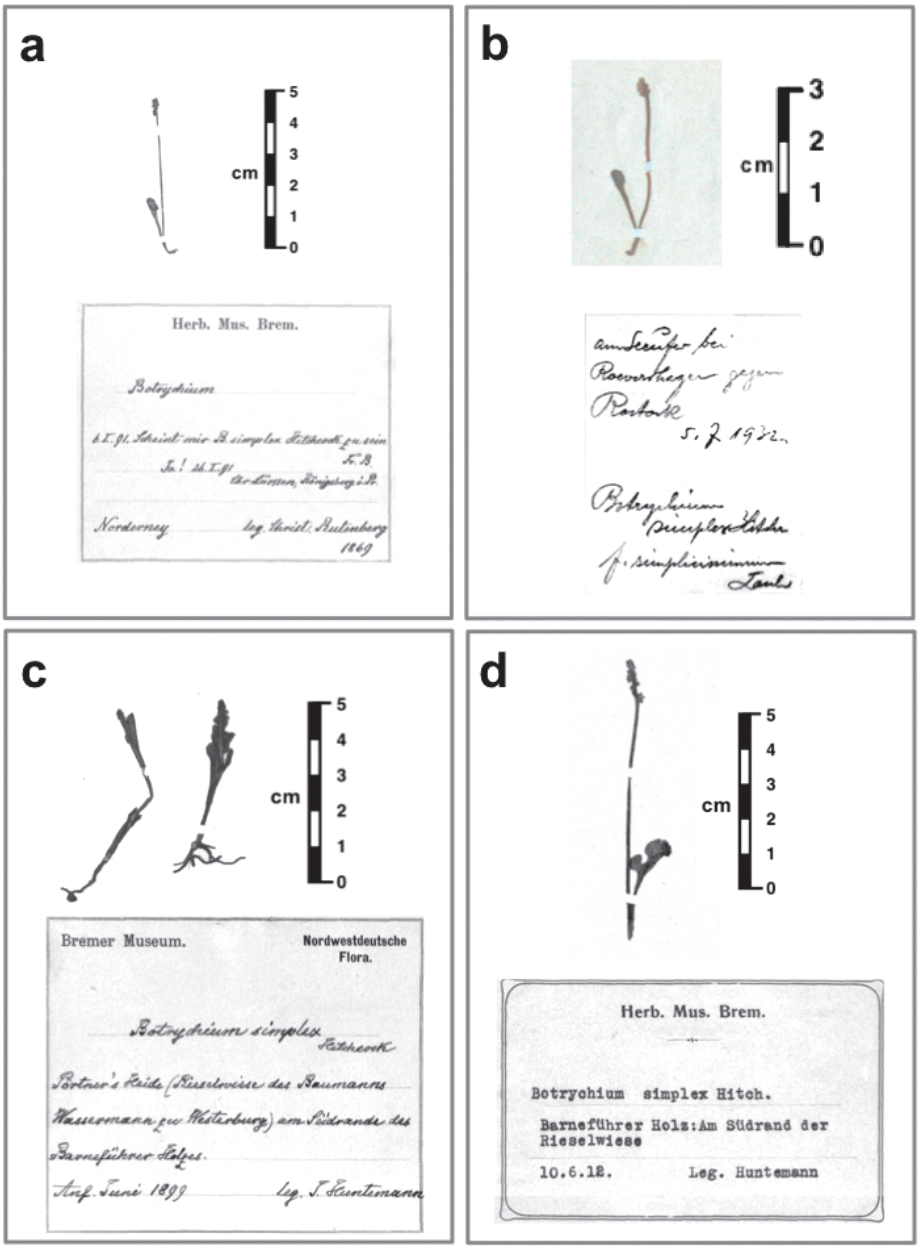


Abb. 2. Herbarbelege von *Botrychium simplex* aus Deutschland; a: Norderney, Ostfriesische Inseln, Niedersachsen, 1869, BREM; b: Rövershagen bei Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, 5.7.1932, STU; c und d: Barneführer Holz bei Oldenburg, Niedersachsen, 6.1899 und 10.6.1912; BREM; Fotos: V. Griener, SMNK (a, c, d); M. Engelhardt, SMNS (b).

Fig. 2. Herbarium specimens of *Botrychium simplex* from Germany; a: Norderney, East Frisian Islands, Lower Saxony, 1869, BREM; b: Rövershagen near Rostock, Mecklenburg-Western Pomerania, 7.5.1932, STU; c and d: Barneführer Holz near Oldenburg, Lower Saxony , 6.1899 and 6.10.1912; BREM; photographs: V. Griener, SMNK (a, c, d); M. Engelhardt, SMNS (b).

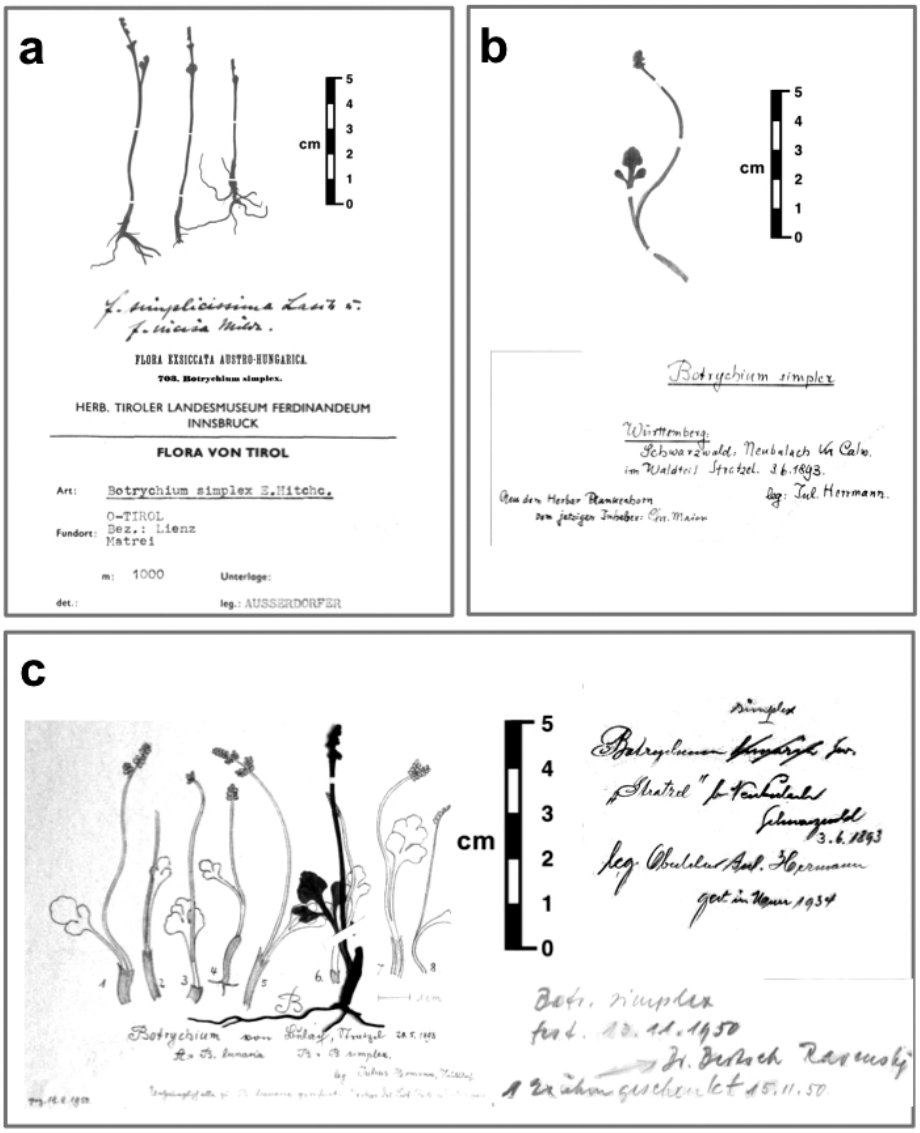


Abb. 3. Herbarbelege und Zeichnungen von *Botrychium simplex* aus Österreich und Deutschland; a: *B. simplex* var. *tenebrosum* aus der Gegend von Matrei in Osttirol, Österreich, IBF; b und c: *B. simplex* aus der Gegend von Neubulach im Schwarzwald, Baden-Württemberg, Deutschland, Belege und Zeichnungen in STU; Fotos: V. Griener, SMNK (a); M. Engelhardt, SMNS (b, c).

Fig. 3. Herbarium specimens and drawings of *Botrychium simplex* from Austria and Germany; a: *B. simplex* var. *tenebrosum* from the area of Matrei in East Tyrol, Austria, IBF; b and c: *B. simplex* from the area of Neubulach, Black Forest, Baden-Württemberg, Germany, specimens and drawings in STU; photographs: V. Griener, SMNK (a); M. Engelhardt, SMNS (b, c).

5. Das aktuelle Vorkommen in der Senne

5.1 Die Bestandesentwicklung seit 1994

5.1.1 Das Verhalten der Teilpopulationen

Der Bestand umfasste 1994 drei räumlich nahe beieinander liegende Teilpopulationen (TP 1, TP 2 und TP 3), die sich in der Größe der besiedelten Fläche und der Anzahl von Pflanzen (gezählt als Blätter) deutlich unterschieden: eine Teilpopulation mit etwa 50 Pflanzen (auf 40 m^2) sowie zwei Teilpopulationen mit je etwa 200 Pflanzen (auf 180 m^2 bzw. 234 m^2). Der anfangs bekannte Gesamtbestand belief sich also auf etwa 450 Pflanzen, die auf eine Fläche von 454 m^2 verteilt waren. Bei intensiven Nachsuchen wurden in späteren Jahren drei weitere Teilpopulationen entdeckt: im Jahr 2002 zwei neue, eng benachbarte Bestände (TP 4 und TP 5) mit insgesamt 53 Blättern sowie im Jahr 2008 ein kleinerer, etwas abseits liegender Bestand (TP 6) mit 10 Blättern.

Die zeitliche Präsenz der Pflanzen variiert sehr stark. Auf den meisten Flächen traten Blätter nur innerhalb eines begrenzten Zeitraumes in Erscheinung: 7 bzw. 10 Jahre (bei TP 1 und TP 3); bei den erst später entdeckten Teilbeständen waren es jeweils 5 Jahre (bei TP 4 und TP 5) sowie lediglich 1 Jahr (bei TP 6). Die einzige Fläche, auf der durchgängig (mit Ausnahme des Jahres 2007) Pflanzen erschienen, ist der Wuchsort von TP 2. Hauptursache für diese günstige Bilanz dürfte der nach wie vor ungestörte, lückige Bewuchs mit geringer Vergrasung sein. Hier wurde auch zu Beginn mit ca. 200 Blättern auf etwa 40 m^2 die höchste Individuendichte beobachtet.

Die Fläche von TP 1 wurde mehrfach, erstmalig 1997, von Wildschweinen durchwühlt. In den Folgejahren wurden hier nur noch einzelne Pflanzen gefunden, zum letzten Mal im Jahr 2000. Der Bewuchs der Fläche hat sich durch anschließende Vergrasung so stark geändert, dass ein Wiederauftreten von *Botrychium simplex* auf dieser Fläche ausgeschlossen erscheint. Der Wuchsort von TP 3 war ursprünglich ein kaum genutzter, aber regelmäßig gemähter kleiner Weg, auf dem im ersten Beobachtungsjahr ca. 200 Blätter auf einer Fläche von etwa 180 m^2 beobachtet wurden. In der Folgezeit wurde dieser Weg von einem Kettenfahrzeug befahren und dabei regelrecht umgepflügt. Danach wurden *Botrychium*-Pflanzen nur noch sporadisch (letztmalig im Jahr 2003) und in geringer Zahl (maximal 5) gefunden. Das frühe Erlöschen der Teilpopulationen auf den übrigen Flächen (TP 4 bis TP 6) kann nicht schlüssig erklärt werden. Möglicherweise spielt eine zunehmende Trockenheit des gesamten Gebietes eine Rolle, worauf das weitgehende Ausbleiben der in früheren Jahren beobachteten Feuchtezeiger wie *Juncus squarrosus* und *Pedicularis sylvatica* (s. BENNERT et al. 2003) in neuerer Zeit hindeuten. Allerdings darf bei solchen Erklärungsversuchen die arteigene Populationsdynamik nicht außer Acht gelassen werden (s. Abschnitt 5.2.1).

5.1.2 Blattzahl und Bestandesdynamik

Wie bereits erwähnt, umfasste der Gesamtbestand im ersten Beobachtungsjahr (1994) etwa 450 Blätter, eine Zahl, die in den Folgejahren nicht wieder erreicht wurde (Abb. 4a). Die beobachteten Fluktuationen treten deutlicher zutage, wenn man die Veränderungen durch einen paarweisen Vergleich zweier aufeinander folgender Jahre darstellt, in absoluten Zahlen (Abb. 4b) oder auch relativ in % (Abb. 4c). Die Abnahme der Populationsgröße verlief nicht linear, sondern wellenförmig, wobei der größte Einbruch mit einem Verlust von 50 % (also der Hälfte aller Blätter) bereits im zweiten Beobachtungsjahr (1995) eintrat.

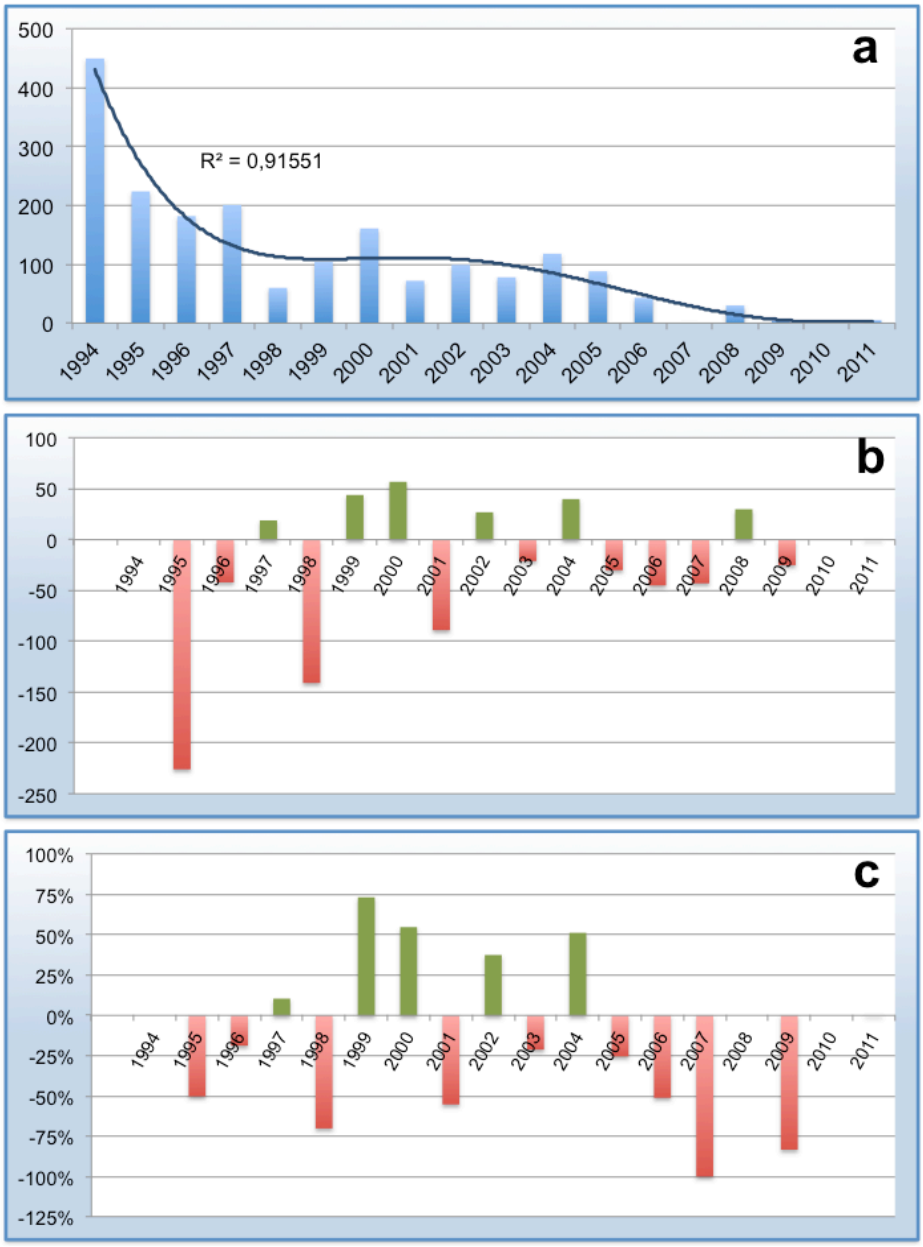


Abb. 4. Veränderung der Blattanzahl (Summe aller Teilpopulationen) bei *Botrychium simplex* im Beobachtungszeitraum von 1994–2011 (oben) sowie jährliche Schwankungen (b: absolut; c: relativ) berechnet durch paarweisen Vergleich zweier aufeinander folgender Jahre. Da 2010 keine Daten erhoben wurden, können für 2011 keine Veränderungen gegenüber dem Vorjahr angegeben werden.

Fig. 4. Change in leaf number (sum of all sub-populations) in *Botrychium simplex* in the period 1994-2011 (top) and annual fluctuations (b: absolute; c: relative) calculated by pairwise comparison of two consecutive years. As 2010 no data were gathered, no changes can be specified for 2011 compared to the previous year.

Weitere Rückgänge bei der Populationsgröße gab es in den Jahren 1998 (Abnahme um 141 Blätter) und 2001 (Abnahme um 89 Blätter). In den jeweils folgenden Erholungsphasen konnten die voran gegangenen Verluste nicht kompensiert werden. Die bedeutendsten relativen Verluste sind in jüngerer Zeit zu verzeichnen; 2007 betrugen sie sogar 100 %, da in diesem Jahr zum ersten Mal keine Blätter nachgewiesen werden konnten. Im Jahr 2009 trat ein weiterer Verlust um 83 % ein (Abnahme der Blattzahl von 30 auf 5). Diese Entwicklung muss als Zeichen für einen bevorstehenden Zusammenbruch der Population gewertet werden.

5.1.3 Blattzahl und Individuenzahl

Die Blattzahl kann zwar als Maß für die Vitalität des Bestandes, nicht hingegen für die genaue Anzahl der Individuen verwendet werden. Das im Boden überdauernde Rhizom (*B. simplex* ist ein Geophyt) bildet vermutlich in einer Vegetationsperiode eine unterschiedlich große Zahl von Blättern aus, die zwischen 1 und 10 schwanken kann (BENNERT et al. 2003).

Seit 2003 wurde auch protokolliert, ob es sich um Einzelblätter oder eng benachbarte Blattgruppen handelt, die zu einem Individuen gehören könnten. Während in den Anfangsjahren Blattgruppen mit 2 bis zu 10 Blättern (vgl. Abb. 5a) zahlreicher waren und im Jahr 2003 immerhin noch 10 davon vorkamen, traten solche Gruppen in den Folgejahren nur noch ganz vereinzelt auf. Beispielhaft wurde im Jahr 2002 das Blatt-Verteilungsmuster auf zwei jeweils 1 m^2 große Flächen in den Teilpopulationen 2 und 4 kartiert (BENNERT 2012). Es war deutlich zu erkennen, dass die Blätter unregelmäßig auf der Fläche verteilt sind, es aber in Einzelfällen zu einer Gruppenbildung („Clustering“) aus 2 bzw. 4 Blättern kommt, die eng benachbart sind. Die erreichten Blattdichten waren auf diesen Flächen mit 15 bzw. 23 pro m^2 extrem hoch. Für 8 nordamerikanische Arten werden im Mittel 6 oberirdische Sporophyten pro m^2 angegeben, wobei 2 Arten mit 13 bzw. 16 pro m^2 die höchsten Dichten erreichten (JOHNSON-GROH et al. 2002). Gruppen mit mehr als 2 Blättern wurden in den letzten 8 Jahren nicht mehr beobachtet, ein weiteres Indiz für eine Vitalitätsabnahme und ein altersbedingtes Schrumpfen der Population.

5.1.4 Blattlängen

Zu Beginn des Monitorings waren die Pflanzen optimal entwickelt; die Blätter erreichten Längen von durchschnittlich 6 cm und Spitzenwerte von 15 cm. Danach folgte ein stetiger Rückgang, der ab 2002 durch die seit diesem Jahr regelmäßig erfolgten Messungen aller Blätter genauer belegt werden kann (Abb. 6). In diesem Zeitraum waren die Blätter mit durchschnittlich 3 cm nur noch halb so groß wie zu Beginn. Im Jahr 2008 wurde nur noch eine mittlere Länge von 1,5 cm gemessen (niedrigster Wert im gesamten Beobachtungszeitraum). In den Folgejahren wurden wieder etwas größere Werte ermittelt, dennoch wird ein abnehmender Trend deutlich: Der mehrjährige Durchschnitt der Blattlängen sinkt von 2,5 cm (2002–2006) auf 2,0 cm (2008–2011).

5.1.5 Fertilität der Blätter und Sporenproduktion

Da die Blätter von *B. simplex* kleiner sind als die anderer Mondrauten-Arten, ist auch die Anzahl der pro Blatt gebildeten Sporangien geringer. Sie schwankt nach unseren Untersuchungen zwischen 2 und etwa 40 und ist mit der Blattgröße korreliert, wie eine exemplari-

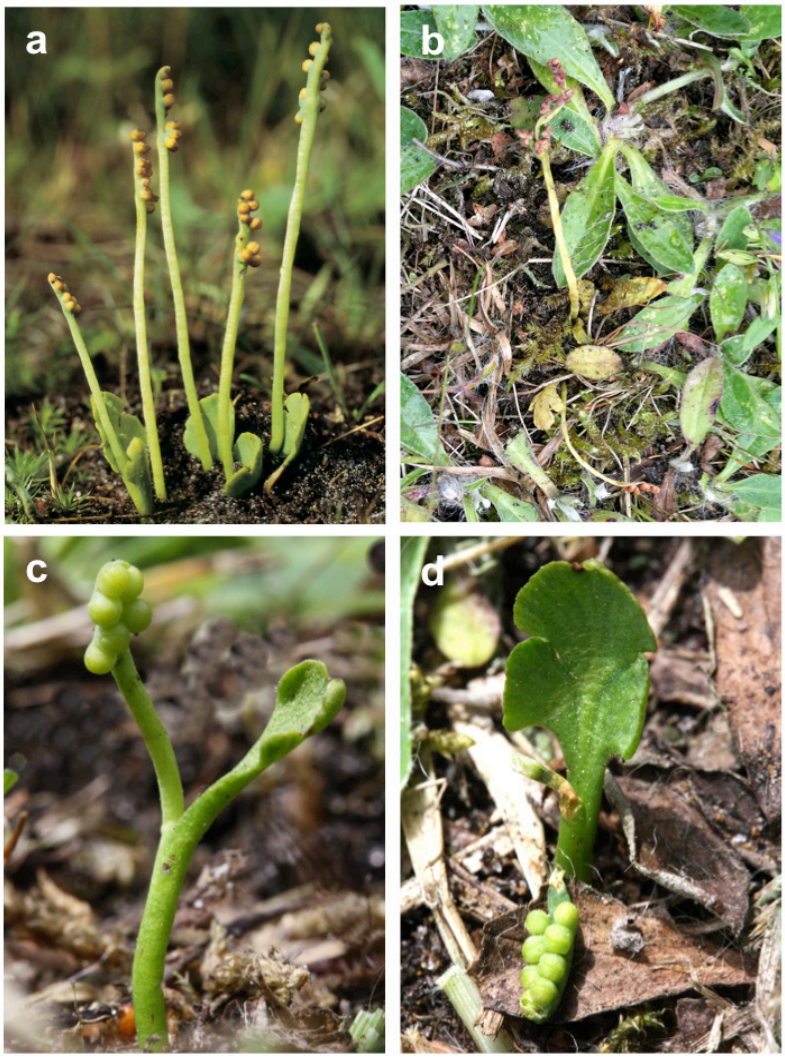


Abb. 5. Fotos verschiedener Pflanzen von *Botrychium simplex* aus der Senne (NRW); a: Gruppe von 5 eng zusammen stehenden Blättern im ersten Erhebungsjahr (1994); b: zwei durch Trockenheit im Frühjahr geschädigte Blätter; c: Einzelexemplar von *B. simplex* var. *tenebrosum* mit einem erst in der oberen Blatthälfte abzweigenden sterilen Abschnitt (Trophophor); d: Blatt, bei dem der fertile Abschnitt (Sporophor) durch Tierfraß abgetrennt wurde (Fotos: H.W. Bennert).

Fig. 5. Photographs of various plants of *Botrychium simplex* from the Senne area (NRW); a: group of five closely spaced leaves in the first year of observations (1994); b: two due to drought in spring damaged leaves; c: single specimen of *B. simplex* var. *tenebrosum* with the sterile portion (trophophore) branching off in the upper half of the leaf; d: leaf with the fertile portion (sporophore) detached by herbivores (Photos: H.W. Bennert).

sche Auswertung der im Jahr 2002 ermittelten Daten ergab (Abb. 7a). Diesem Diagramm kann entnommen werden, dass beispielsweise eine Reduktion der Blattlänge von 5 cm auf 1 cm statistisch gesehen einen Rückgang der Sporangienanzahl von 22 auf 4 zur Folge hat.

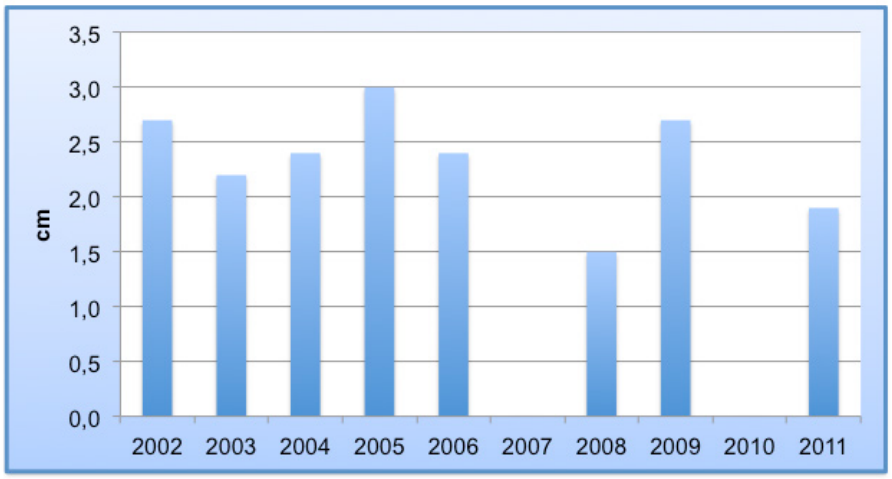


Abb. 6. Mittlere Blattlänge bei *Botrychium simplex* im Zeitraum von 2002–2011.

Fig. 6. Mean leaf length in *Botrychium simplex* in the period 2002–2011.

Die mittlere Sporangienanzahl pro Blatt dürfte zu Beginn des Monitorings, als auch die größten Blattlängen beobachtet wurden, am höchsten gewesen sein. Im Zeitraum von 2004 bis 2006 war sie bereits verringert und lag in etwa zwischen 10 und 12, danach nahm die Anzahl tendenziell weiter ab (Abb. 7b). Dieser Trend wurde jedoch durch die hohe Anzahl (annähernd 11) im Jahr 2009 unterbrochen. Im Jahr 2008 wurde mit lediglich vier Sporangien pro Blatt der niedrigste Wert im Beobachtungszeitraum ermittelt. Ein Vergleich der Dreijahreszeiträume ergibt für 2004–2006 einen Durchschnittswert von 11, während für die drei folgenden Beobachtungsjahre lediglich 7 ermittelt wurde.

Auch sterile Blätter, also solche, die keinen fertilen Abschnitt (Sporophor) ausbilden, kommen vor. Sie fehlten in den Anfangsjahren weitgehend und wurden zum ersten Mal 1998 in größerer Zahl beobachtet. Ihr Anteil stieg in späteren Jahren an und lag zwischen 2004 und 2006 bei 10–20 %. Im Jahr 2011 war mit 60 % sogar der überwiegende Anteil der Blätter (3 von 5) steril (Abb. 7c).

Da *B. simplex* nach bisheriger Kenntnis keine unterirdischen Gemmen bildet (im Unterschied zu anderen Mondrauten, FARRAR & JOHNSON-GROH 1990, CAMACHO & LISTON 2001, JOHNSON-GROH et al. 2002), kann die Art sich nicht vegetativ vermehren. Daher schränkt der dargestellte Rückgang bei den sporenbildenden Strukturen das Reproduktionsvermögen deutlich ein. Wie stark die Sporenproduktion abgenommen hat, lässt sich überschlagsmäßig abschätzen. Wenn man annimmt, die Blattzahl habe im Jahr 1994 (einschließlich der damals noch unbekannten Teilpopulationen 4 bis 6) 500 betragen und jedes dieser Blätter habe durchschnittlich 25 Sporangien produziert, ergibt sich eine Anzahl von 12.500 Sporangien. Da die Anzahl der pro Sporangium bei der Gattung *Botrychium* gebildeten Sporen mit etwa 2.000 angegeben wird (GIFFORD & FOSTER 1988), dürfte die gesamte Population im Jahr 1994 etwa 25 Millionen Sporen produziert haben. Im Jahr 2011 waren lediglich 2 der registrierten 5 Blätter fertil und trugen insgesamt 12 Sporangien, was einer Produktion von etwa 24.000 Sporen entspricht. Damit hätte sich die Anzahl freigesetzter Sporen im Beobachtungszeitraum um 99,9 % verringert.

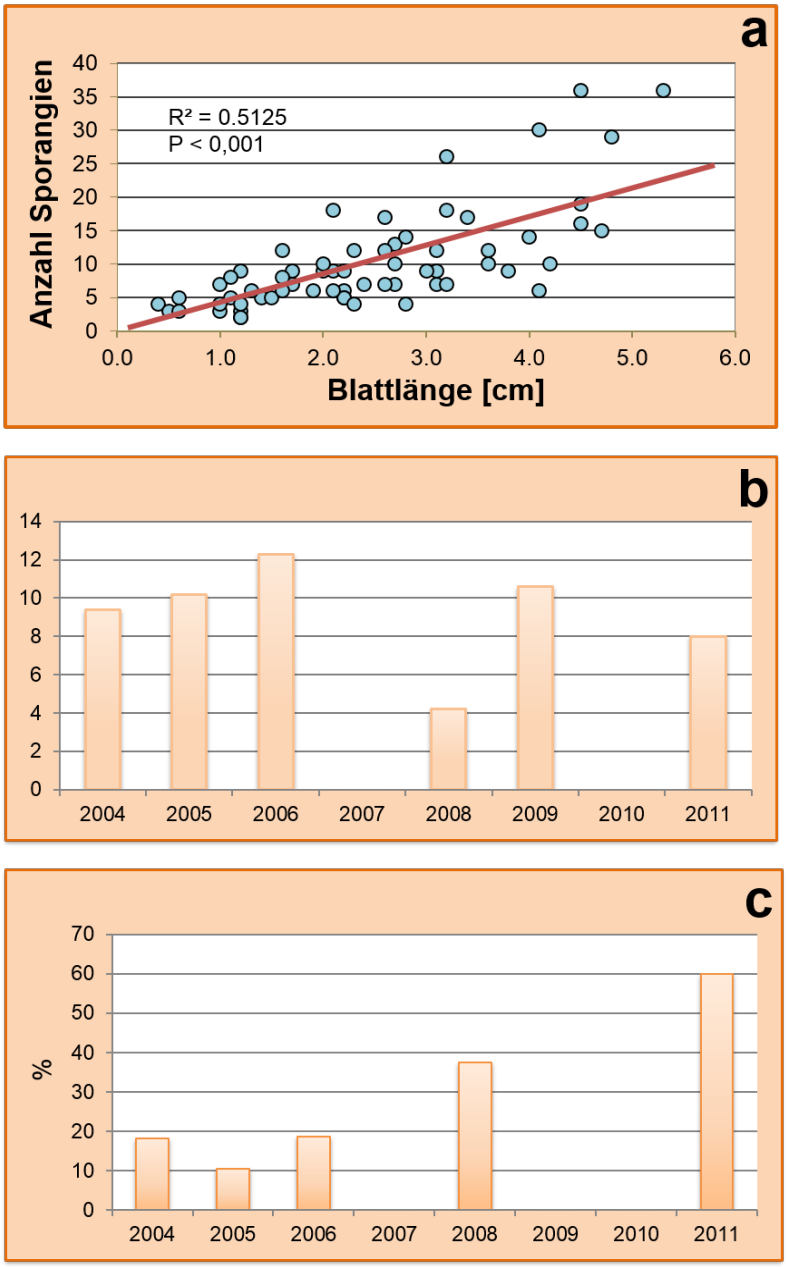


Abb. 7. Ausmaß der Fertilität von *Botrychium simplex*; a: lineare Korrelation zwischen Blattlänge und Anzahl der Sporangien im Jahr 2002; b: mittlere Anzahl von Sporangien pro Blatt seit 2004; c: Anteil steriler Blätter seit 2004; zu beachten ist, dass im Jahre 2009 alle 5 Blätter fertil waren, der Anteil steriler Blätter also 0 % betrug.

Fig. 7. Level of fertility in *Botrychium simplex*; a: linear correlation between leaf length and number of sporangia in 2002; b: mean number of sporangia per leaf since 2004; c: proportion of sterile leaves since 2004; it should be noted that in the year 2009, all 5 leaves were fertile, thus, the proportion of sterile leaves was 0%.

Wie gering diese Mengen sind, wird erst klar, wenn man sie mit Angaben für leptosporangiate Farne vergleicht. Wie der Name andeutet, ist bei diesen Farnen die Sporangienwand einschichtig (im Gegensatz zu den Natternzungengewächsen, welche eine mehrschichtige Wand besitzen), allerdings sind die Sporangien kleiner und produzieren lediglich 64 Sporen pro Sporangium. Da letztere in großer Zahl in kompakten Sori angeordnet sind, wird dennoch eine riesige Sporenproduktion erreicht (vgl. PAGE 1979; aus dieser Arbeit stammen auch die im Folgenden genannten Zahlen). Ein etwa 20 cm großer Wedel von *Asplenium trichomanes* (Brauner Streifenfarn) erzeugt bereits 750.000 Sporen (also rund 30-mal so viel wie der Bestand von *B. simplex* im Jahr 2011), zwei etwa 60 cm lange Wedel von *Dryopteris dilatata* (Breitblättriger Dornfarn) produzieren 27 Millionen Sporen und damit mehr als die gesamte Population von *B. simplex* im optimalen anfänglichen Zustand 1994.

5.1.6 Indikatoren, die auf ein baldiges Erlöschen der Population hindeuten

Die sich nunmehr über 18 Jahre erstreckenden Beobachtungen zeigen, dass bei *B. simplex* beträchtliche Schwankungen der Blattanzahl und anderer populationsbiologischer Größen auftreten können. Der Bestand dürfte im ersten Beobachtungsjahr (1994) auf dem Höhepunkt seiner Entwicklung gewesen sein. Der aus der jüngeren Zeit belegte dramatische Einbruch des Bestandes mit einem Rückgang auf etwa 1 % der ursprünglichen Populationsgröße kann nur als Indiz dafür gewertet werden, dass die Population kurz vor dem Zusammenbruch steht. Indikatoren dafür sind:

- Erlöschen von 5 der insgesamt 6 Teilpopulationen,
- drastische Abnahme der Blatt- und Individuenzahl,
- Blattproduktion weitgehend reduziert auf 1 Blatt pro Individuum,
- Blattgröße verringert,
- Anzahl der Sporangien reduziert,
- starke Abnahme der Sporenproduktion.

Allerdings beziehen sich diese Verluste nur auf die oberirdischen Pflanzenteile, und es ist nicht ausgeschlossen, dass im Boden ältere Rhizome, sporophytische Jungpflanzen oder Gametophyten existieren, die zukünftig wieder zur Blattbildung beitragen könnten. Auch eine vermutlich im Boden vorhandene Sporenbank könnte zu einer Populationserneuerung führen.

5.2 Ursachen für den Rückgang

5.2.1 Artspezifische Populationsdynamik

Die Lebensdauer der ausgewachsenen Sporophyten und der Populationen ist bei *Botrychium* sehr unterschiedlich (LESICA & AHLENSLAGER 1996). Die blattbildende sporophytische Generation ist bei Arten der Untergattung *Botrychium*, zu der auch *B. simplex* gehört, sehr kurzlebig. Individuen von *B. mormo* werden lediglich etwa 2 Jahre und solche von *B. campestre* (beides nordamerikanische Arten) etwa 4 Jahre alt (JOHNSON-GROH 1998). Aus der unterschiedlichen Lebensdauer der Individuen resultieren auch divergierende Werte der Halblebenszeit. Darunter versteht man die Zeit, in der die Anzahl von Pflanzen in einer Population, die sich nicht (mehr) in der anfänglichen Wachstumsphase befindet, um die Hälfte abgenommen hat. Die Größe wird bevorzugt zur demographischen Charakterisierung kurzlebiger Arten verwendet, sie kann aber auch auf Kohorten (Individuen gleichen Alters)

innerhalb einer Population beschränkt angewendet werden (HUTCHINGS 2010). *Botrychium matricariifolium* beispielsweise besitzt eine Halblebenszeit von 1,3 Jahren (MULLER 1993), das nordamerikanische *B. hesperium* von etwa 3 Jahren (LESICA & AHLENSLAGER 1996). Zur Untergattung *Sceptridium* gehören hingegen Arten mit langlebigen Sporophyten. So wird die Halblebenszeit für das australische *B. australe* mit 11 bis 20 Jahren (KELLY 1994), für das nordamerikanische *B. dissectum* sogar mit 43 Jahren angegeben (MONTGOMERY 1990).

Wenn man die bei *B. simplex* beobachtete Abnahme der Individuen mit den Veränderungen vergleicht, die sich mathematisch bei einer anfänglichen Populationsgröße von 450 Pflanzen für unterschiedlichen Halblebenszeiten (1, 2 und 3 Jahre) ergeben, zeigt sich eine deutliche Übereinstimmung mit dem bei einer 3-jährigen Halblebenszeit vorhergesagten Verlauf (Abb. 8). Die zu Grunde liegende mathematische Formel ist identisch mit derjenigen, welche den radioaktiven Zerfall beschreibt und kann in der Form

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

auch für populationsbiologische Zwecke verwendet werden; dabei bedeuten $N(t)$ die Individuenzahl zum Zeitpunkt t, N_0 die anfängliche Individuenzahl (im vorliegenden Fall 450) und $t_{1/2}$ die (angenommene) Halblebenszeit. Angewandt auf die Senne-Population prognostiziert die Formel für das Jahr 2011 eine Anzahl von 7 Pflanzen, beobachtet wurden 5 Pflanzen. *Botrychium simplex* verhält sich also populationsbiologisch ähnlich wie andere Arten von Subgen. *Botrychium* und bildet kurzlebige Bestände aus.

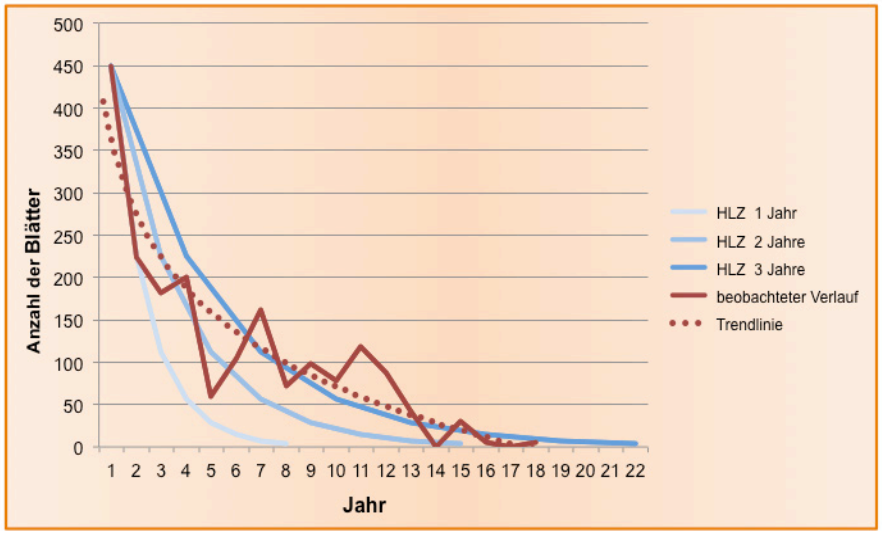


Abb. 8. Vergleich der seit 1994 bei *Botrychium simplex* beobachteten Veränderungen der Blattzahl mit 3 verschiedenen demographischen Verläufen; zu Grunde gelegt wurden eine Ausgangsgröße von 450 Blättern im ersten Jahr sowie 3 unterschiedliche Halblebenszeiten (HLZ 1, 2 und 3 Jahre).

Fig. 8. Observed changes in leaf number of *Botrychium simplex* since 1994 compared with 3 different demographic histories, calculated on the basis of an initial leaf number of 450 in the first year and 3 different half-lives (HLZ 1, 2 and 3 years).

5.2.2 Beeinträchtungen

Auch wenn für den Einbruch der Population von *B. simplex* in erster Linie die artspezifische Populationsdynamik verantwortlich sein dürfte, sollen einige weitere Faktoren erwähnt werden, welche am Rückgang mit beteiligt gewesen sein könnten. Generell kommen hierfür mehrere natürliche Ursachen in Frage: Beeinträchtigung der Mykorrhiza, fehlende Verjüngung sowie Schäden durch Tiere oder Krankheiten.

Beeinträchtigung der Mykorrhiza

Keimung der Sporen und Wachstum der Gametophyten werden nur initiiert, wenn der entsprechende Pilzpartner zugegen ist (JOHNSON-GROH 1998, IMHOF et al. 2013). Da auch die Wurzeln der sporophytischen Generation mykorrhiziert sind und Wurzelhaare fehlen, ist der Sporophyt ebenfalls vom Pilz abhängig und wird durch ihn vollständig mit Wasser und Mineralstoffen versorgt (GIFFORD & FOSTER 1988, JOHNSON-GROH et al. 2002, WINTHER & FRIEDMAN 2007). Offenbar liefert der Pilzsymbiont dem voll entwickelten Sporophyten aber auch organische Verbindungen. Anders sind das Vorkommen von Albinos sowie Pflanzen, die sich vollständig unterhalb der Laubstreu bei weitgehendem Lichtentzug entwickeln, nicht zu erklären (JOHNSON-GROH 1998, JOHNSON-GROH & LEE 2002, JOHNSON-GROH et al. 2002). Nach neueren Untersuchungen sind bei *Botrychium* Vertreter der Gattung *Glomus* als Symbionten beteiligt (WINTHER & FRIEDMAN 2007; vgl. auch KOVÁCS et al. 2003, 2007). Sie umfasst eine große Gruppe arbuskulärer Mykorrhizapilze, die mit zahlreichen Landpflanzen, darunter auch Farnen und Bärlappen, assoziiert sind (SCHWARZOTT et al. 2001, WINTHER & FRIEDMAN 2008, WINTHER & FRIEDMAN 2009). Möglicherweise besteht sogar ein von *Glomus* gebildetes Netzwerk aus Hyphen, das *Botrychium*-Pflanzen mit benachbarten photosynthetisch aktiven Blütenpflanzen verbindet und über das fixierter Kohlenstoff auf den Farn übertragen werden kann (WINTHER & FRIEDMAN 2007). Eine ähnliche Beziehung wird bei den ebenfalls mykotrophen Gametophyten von *Diphasiastrum alpinum* vermutet, die über einen zur Sebacinales Gruppe B gehörenden Pilz mit den Wurzeln benachbarter Pflanzen von *Calluna vulgaris* verbunden sein könnten (HORN et al. 2013). Es wird vermutet, dass auch Zusammenbruch und Wiedererscheinen von *Botrychium*-Populationen maßgeblich von der Funktion des assoziierten Pilzes abhängen könnten (JOHNSON-GROH et al. 2002, CHADDE & KUDRAY 2003). Über diese Aspekte ist bei *B. simplex* nichts bekannt, und in dem Bestand in der Senne wurden bisher keine diesbezüglichen Untersuchungen durchgeführt.

Fehlende Verjüngung

Warum in der Senne keine Stabilisierung der Population durch Jungwuchs oder auch Neuansiedlungen auf angrenzenden Flächen auftrat, ist völlig unklar. Ein Zeitraum von fast 2 Jahrzehnten müsste selbst bei niedrigen Keimraten sowie verzögertem Wachstum von Gametophyt und Sporophyt für die Etablierung neuer Pflanzen ausreichend gewesen sein, zumal die Sporenproduktion bereits für das erste Beobachtungsjahr auf 25 Millionen Sporen geschätzt wurde. Berücksichtigt werden muss allerdings auch die Mortalität, die bei *Botrychium* offenbar sehr hoch ist. Für nordamerikanische Arten wird eine durchschnittliche Sterblichkeitsrate von 73 % bei dem Übergang von Gametophyt zu juvenilem Sporophyt angegeben und eine weitere von 93 % bei der Weiterentwicklung vom juvenilen Sporophyt im Boden zum oderirdisch erscheinenden Sporophyten (JOHNSON-GROH et al. 2002).

Beeinträchtigungen durch Tiere oder Krankheiten

Es wurde bereits erwähnt, dass die Fläche von TP 1 mehrfach von Wildschweinen durchwühlt wurde. Bereits wenige Jahre später war der Bestand hier erloschen. Wühlaktivitäten von Wildschweinen beeinträchtigen auch das Wachstum von *B. australe* (KELLY 1994).

In einzelnen Jahren (so vor allem 1996 und 1998) wurden erhebliche Fraßschäden durch Kleintiere (vermutlich Schnecken oder Käfer) beobachtet; ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 5d dargestellt. Bei manchen Pflanzen waren gezielt die Sporangien tragenden Abschnitte abgefressen. Herbivorie gilt als häufig bei Mondrauten (JOHNSON-GROH & LEE 2002). Nach Befunden an *B. mormo* haben weder Tierfraß noch Blattentnahmen oder Feuer einen negativen Effekt auf das Wiedererscheinen von Blättern im Folgejahr (JOHNSON-GROH 1998, JOHNSON-GROH et al. 2002).

Es liegen keine Berichte über Krankheiten oder Parasiten bei *Botrychium*-Arten vor (ANDERSON & CARIVEAU 2003).

Klimatische Veränderungen

In dem ersten Zustandsbericht (BENNERT 2003) wurde an Hand von Klimadaten umliegender Messstationen festgestellt, dass es in der Senne im Zeitraum von 1990–2001 keinen statistisch abzusichernden Trend bei den jährlichen Werten der Niederschläge und Temperaturen gegeben hat. Auffällig war lediglich die Aufeinanderfolge von drei niederschlagsärmeren Jahren (1995–1997), die vermutlich für den in diesem Zeitraum zu verzeichnenden Rückgang der Grundwasserstände verantwortlich war.

In jüngerer Zeit (so 2007, 2009 und 2011, aber auch 1998) traten vor allem im April oder auch in der zweiten Maihälfte länger anhaltende Schönwetterlagen auf, die zu ungewöhnlich warmem Temperaturen (bis zu 30 °C) und länger anhaltenden Trockenperioden führten. In diesen Jahren zeigten die Pflanzen deutliche Trockenschäden (Abb. 5b), was ihr Auffinden zusätzlich zu ihrer in jüngerer Zeit sehr geringen Blattgröße erschwerte. Damit ließe sich zwar die niedrige Anzahl registrierter Blätter im jeweiligen Jahr erklären, nicht jedoch der gesamte, seit Jahren anhaltende Rückgang.

Andererseits hemmt kühle und zu niederschlagsreiche Witterung die Sporangienreifung. So stand ein Teil der Pflanzen nach einer längeren Regenperiode im Juni 1995 im Wasser und begann bereits abzusterben, ohne dass sich die Sporangien geöffnet hatten. Vermutlich wurden in diesem Jahr zwar keine Sporen durch den normalen Öffnungsprozess der Sporangien freigesetzt, die Sporangienwand dürfte aber am Boden rasch durch Mikroorganismen zersetzt worden sein. Das Freisetzen der Sporen direkt an einem zum Wachstum geeigneten Ort, an dem auch der benötigte Pilz zugegen ist, wird sogar als vorteilhaft eingeschätzt (JOHNSON-GROH & LEE 2002); bei nicht sofort erfolgender Keimung würde wenigstens die Sporenbank aufgestockt.

Welchen Einfluss die Klimaverhältnisse des aktuellen Jahres oder vorangegangener Jahre auf die Populationsdynamik haben, insbesondere auf das Ausbleiben von Sporophyten in einzelnen Jahren, wird kontrovers diskutiert (MULLER 1993, LESICA & AHLENSLAGER 1996). Da das Aussterberisiko mit zunehmender Fluktuation der Populationsgröße ansteigt (LESICA & AHLENSLAGER 1996), sind vor allem kleine Populationen vom Aussterben bedroht. Mehr-

jährige Beobachtungen an einer größeren Population von *B. matricariifolium* in den Nordvogesen zeigten, dass trotz der von Jahr zu Jahr schwankenden klimatischen Verhältnisse keine erheblichen Veränderungen in der Populationsgröße auftraten (MULLER 1993).

Rückgang der Bodenfeuchte

Botrychium simplex ist stärker als andere *Botrychium*-Arten auf eine hohe Bodenfeuchte angewiesen (HORN & BENNERT 2008). Bodentrockenheit tritt (vor allem in Sandböden) bei Regenmangel auf, kann aber auch durch einen absinkenden Grundwasserspiegel verursacht werden. Bereits für einen früheren Zeitraum (von April 1994 bis Oktober 1998) wurde nachgewiesen, dass Regenarmut eine deutliche Absenkung der Grundwasserstände in der Senne bewirkt hat (BENNERT 2003). Vermutlich wird dieser Effekt durch Entnahme von Grundwasser zur Trinkwassergewinnung durch die Bielefelder Stadtwerke noch verstärkt. Diese Schwankungen sind aber vermutlich für die Wasserversorgung von *B. simplex* unerheblich, da der Grundwasserspiegel zumindest an den beobachteten Messbrunnen tiefer als 1 m unter Flur liegt. In einem Sandboden kann ausgeschlossen werden, dass bei einer solchen Grundwassertiefe Wasser durch kapillaren Aufstieg den Wurzelbereich von *B. simplex* (Durchwurzelungstiefe 2–5 cm) erreicht.

Da der vorhandene grobporige Sandboden (Sandanteil > 99 %) eine sehr schlechte Wasserhaltefähigkeit aufweist, kann die Beobachtung, dass Pflanzen nach Starkregen in kleinen wassergefüllten Senken standen (BENNERT 2003) nur dadurch erklärt werden, dass lokale Bodenverdichtungen (durch Befahren mit militärischem Gerät?) vorhanden gewesen sein müssen. Solche Bodenverdichtungen können sich durch Temperaturschwankungen im Laufe der Zeit wieder auflockern mit der Folge, dass die Wasserdurchlässigkeit des Bodens wieder zunimmt.

Das Ausbleiben von Feuchtezeigern (v. a. *Juncus squarrosus* und *Pedicularis sylvatica*; s. die Vegetationsaufnahmen in BENNERT et al. 2003) in den letzten Jahren liefert einen deutlichen Hinweis auf eine zunehmende Bodentrockenheit.

Militärischer Übungsbetrieb

Der bei der Entdeckung von *B. simplex* vorgefundene Zustand der Population war sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch Größe und Fertilität der Individuen optimal. Mehrere Faktoren dürften die ungestörte Entwicklung eines solchen Bestandes auf dem Truppenübungsplatz gefördert haben. Die besiedelten Flächen werden zum Teil seit vielen Jahren gemäht und überwiegend nur sporadisch militärisch genutzt. Wichtig ist aber vor allem, dass sie – wie alle anderen Bereiche abseits der Fahrstraßen – nicht ohne besondere Erlaubnis betreten werden dürfen. Ohne diesen Schutz vor „Liebhabern“ und Raritätenjägern hätte der Bestand die ersten Jahre nach seiner Entdeckung vermutlich nicht überlebt (vgl. HORN & STOOR 1995). Zu der weitgehend natürlichen Populationsentwicklung hat auch beigetragen, dass die genaue Lage des Wuchsortes geheim gehalten wurde.

Das Befahren des Wuchsortes von Teilpopulation 3 durch schwere Kettenfahrzeuge (vermutlich im Jahr 1996) war das einzige katastrophale Ereignis im Beobachtungszeitraum. Dabei wurde die Fläche völlig umgepflügt und offenbar alle Pflanzen vernichtet. An anderen Stellen wurde mehrfach beobachtet, dass einzelne Pflanzen durch Tritteinwirkung beschädigt waren. Um den normalen militärischen Übungsbetrieb zu gewährleisten und gleichzeitig

Schäden an den Pflanzen weitgehend zu verhindern, wurden in den letzten 10 Jahren mehrfach erfolgreiche Absprachen mit dem zuständigen britischen Platz-Kommandanten getroffen.

6. Schutz- und Pflegemaßnahmen

Zwar ist die Zahl der oberirdisch erscheinenden Blätter stark zurückgegangen, eine mehrere Jahre anhaltende Periode ohne Blattfunde ist bisher jedoch nicht aufgetreten. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die Population, wenn auch deutlich geschrumpft, in Form oberirdisch sichtbarer Pflanzenteile weiterhin erhalten bleiben wird. Mit großer Wahrscheinlichkeit sind im Boden Strukturen vorhanden (frühe Keimstadien, voll entwickelte Gametophyten und junge Sporophyten mit Blattanlagen), die ebenfalls zur Population gehören. Schließlich ist davon auszugehen, dass *Botrychium simplex*, ähnlich wie andere Arten (JOHNSON-GROH et al. 2002), eine Sporenbank ausbildet, also im Boden ein Reservoir von ungekeimten Sporen vorhanden ist. Letztere dürften vermutlich über einen mehrjährigen Zeitraum keimfähig bleiben und könnten zukünftig zu einer Wiederbelebung des oberirdischen Blattbestandes beitragen (JOHNSON-GROH et al. 2002).

Es ist daher unbedingt erforderlich, ein langfristiges Schutzkonzept für den Bestand von *B. simplex* in der Senne zu entwickeln, dies um so mehr, als eine zukünftige Weiternutzung des Gebietes als Truppenübungsplatz nicht sicher ist. Als Kernzone mit höchster Schutzpriorität sollte ein Areal ausgewiesen werden, das die Flächen aller Teilpopulationen umfasst, umsäumt von einer großzügig bemessenen Pufferzone.

Empfehlenswert ist außerdem, weitere Flächen mit für das Wachstum von *B. simplex* geeignet erscheinenden standörtlichen Qualitäten ausfindig zu machen und hinreichende Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Diese könnten über den gesamten Truppenübungsplatz verteilt sein, sollten aber nur ausgewählt werden, wenn eine erhöhte Bodenfeuchte zu vermuten ist.

Für die Kernzone am derzeitigen Wuchsort ist als Pflegemaßnahme eine regelmäßige Mahd (einmal pro Jahr) mit Entfernen des Mähgutes vorzusehen. Der militärische Fahrbetrieb sollte hier auf die befestigten Wege begrenzt und auf ein Minimum reduziert werden. Zu unterbinden sind jegliche bauliche Maßnahmen (auch Wegebau) sowie forstliche Eingriffe auf den Flächen und in ihrer Umgebung. Eine Regulierung des örtlichen Wildschweinbestandes wäre wünschenswert. Diese Flächen sind langfristig (mindestens 10 Jahre lang) zu schützen und zu pflegen.

Vorzusehen ist ein wissenschaftliches Begleitprogramm, in dem das bisher erfolgte Monitoring fortgesetzt werden sollte und auch das Auftreten des Farns auf anderen Schutzflächen zu prüfen ist. Wünschenswert wären auch Untersuchungen über den Wassergehalt im Boden, mögliche Bodenverdichtungen sowie die Grundwasserpegelstände.

Danksagung

Für die Ausleihe von Herbarmaterial bzw. für die Möglichkeit, vor Ort Herbarstudien durchführen zu können, danken wir den Kustoden folgender Sammlungen: BREM (H. Kuhbier), ER (Prof. Dr. W. Nezadal), GOET (K. Lewejohann), HAL (Prof. Dr. U. Braun), HAN (Prof. Dr. R. Pott), HBG (Dr. H.-H. Poppendieck), IBF (Mag. W. Neuner), KIEL (Prof. Dr. K. Dierßen), KR (Prof. Dr. G. Philippi †), OLD (Dr. P.U. Klinger), OSN (Herr Reichensberger), REG (Prof. Dr. P. Schönfelder). Folgende Personen unterstützten uns durch Recherchen in den nachfolgend genannten Sammlungen: Frau Susanne

Starke (GFW), Frau Cornelia Dilger-Endrulat (TUB) und Frau Renate Seemann (Müritzmuseum Waren) sowie die Herren Dr. R. Hand (B), Dr. H. Korsch (JE), Dr. H.-J. Esser (M), Dr. B. Tenbergen (MSTR), Dr. M. Engelhardt (STU, TUB) und Dr. D. Götze (ROST).
Den Herren M. Engelhardt (Stuttgart) und V. Griener (Karlsruhe) gilt unser Dank für das Anfertigen von Herbarfotos. Bei der Lokalisierung älterer Fundortangaben unterstützten uns U. Raabe (Marl), Dr. H. Korsch (Jena), Dr. A. Krumbiegel (Halle), Dr. H. Henker (Neukloster) sowie U. Jueg (Ludwigslust). Ein besonderer Dank gebührt Herrn Dr. H. Korsch für die Hilfe beim Erstellen der Raster-Verbreitungskarte sowie Herrn U. Raabe für die Unterstützung bei Literaturrecherchen.
Das jährliche Bestandsmonitoring in der Senne wurde teilweise im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV, Recklinghausen) durchgeführt und finanziell unterstützt.
A. Leonhard (Waterlooville, England) danken wir für die Durchsicht und sprachliche Verbesserung der in Englisch abgefassten Textteile.

Literatur

ANDERSON, D.G. (2006): *Botrychium simplex* E. Hitchcock (little grapefern). A technical conservation assessment. USDA Forest Service, Rocky Mountain Region, Species Conservation Project, Fort Collins, CO: 76 pp.

ANDERSON, D.G. & CARIVEAU, D. (2003): *Botrychium campestre* W.H. Wagner & Farrar (Iowa moonwort): a technical conservation assessment. USDA Forest Service, Rocky Mountain Region, Fort Collins, CO: 47 pp.

ASCHERSON, P. & GRAEBNER, P. (1899): Flora des Nordostdeutschen Flachlandes (ausser Ostpreussen). – Gebrüder Borntraeger, Berlin: XII, 875 pp.

ASCHERSON, P. & HOFFMANN, F. (1905): Bericht über die achtzigste (sechsundvierzigste Frühjahrs-) Hauptversammlung des Botanischen Vereins der Provinz Brandenburg in Treuenbrietzen am 29. Mai 1904. – Ver. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 46: I–XV.

BENKERT, D. (1982): Verbreitungskarten brandenburgischer Pflanzenarten. 1. Reihe. *Ophioglossaceae* und *Pyrolaceae*. – Gleditschia 9: 77–107.

BENNERT, H.W. (1999): Die seltenen und gefährdeten Farnpflanzen Deutschlands – Biologie, Verbreitung, Schutz. Unter Mitarbeit von HORN, K., BENEMANN, J. & HEISER, T. – Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 381 pp.

BENNERT, H.W. (2003): Bericht über die durchgeführten Geländeerhebungen zur Populationsdynamik, Ökologie und Gefährdung von *Botrychium simplex* in Nordrhein-Westfalen (Senne). Unter Mitarbeit von SONNEBORN, I., SONNEBORN, W., HORN, K., PLASSMANN, P. & BENNERT, N. – Unveröff. Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrhein-Westfalen (LÖBF), Recklinghausen: 25 pp.

BENNERT, H.W. (2012): Geländeerhebungen zur Populationsdynamik, Ökologie und Gefährdung von *Botrychium simplex* in Nordrhein-Westfalen (Senne). Unter Mitarbeit von SONNEBORN, I. – Unveröff. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Recklinghausen: 22 pp.

BENNERT, H.W., SONNEBORN, I., SONNEBORN, W. & HORN, K. (2003): Bestandsdynamik, Ökologie und Soziologie von *Botrychium simplex* in der Senne (Nordrhein-Westfalen). – Abh. Westf. Mus. Naturk. 65 (1/2): 31–42.

BERTSCH, K. (1951): Kritische Pflanzen unserer Flora. – Jh. Ver. Vaterl. Naturk. Württ. 106: 46–68.

BUCHENAU, F. (1891): *Botrychium simplex* Hitchcock. – In: FOCKE, W.O.: Beiträge zur nordwestdeutschen Flora. Abh. Naturwiss. Ver. Bremen 12(1): 89–95.

BUCHENAU, F. (1896): Flora der Ostfriesischen Inseln (einschliesslich der Insel Wangeroog). 3. Aufl. – Engelmann, Leipzig: VIII, 205 pp.

BUCHENAU, F. (1906): Flora von Bremen und Oldenburg. Zum Gebrauch in Schulen und auf Exkursionen. 6. Aufl. – M. Heinsius Nachf., Leipzig: XII, 337, (3) pp.

CAMACHO, F.C. & LISTON, A. (2001): Population structure and genetic diversity of *Botrychium pumicola* (*Ophioglossaceae*) based on inter-simple sequence repeats (ISSR). – Amer. J. Bot. 88: 1065–1070.

CHADDE, S. & KUDRAY, G. (2003): Conservation assessment for false Daisy-leaf Moonwort (*Botrychium pseudopinnatum*). – USDA Forest Service, Eastern Region. Milwaukee WI: 31 pp.

CHRTKOVÁ, A. (1988): *Ophioglossaceae* Agardh – hadilkovité (*Ophioglossaceae* Agardh – Natternzungengewächse). – In: HEJNÝ, S. & SLAVÍK B. (Eds.): Květena ČSR, Vol. 1. (Flora der ČSR, Vol. 1.) [in Tschechisch]: 223–228. Academia, Praha.

CLAUSEN, R.T. (1938): A monograph of the *Ophioglossaceae*. – Mem. Torrey Bot. Club 19(2): 1–177.

COUNCIL OF EUROPE (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 206 vom 22.7.1992: 7–50.

DOSTÁL, J. (1984): Familie *Ophioglossaceae*, Rautenfarngewächse. – In: KRAMER, K.U. (Ed.): Illustrierte Flora von Mitteleuropa, Band 1, Teil 1, Pteridophyta. 3. Aufl.: 84–98. Parey, Berlin, Hamburg.

FARRAR D.R. & JOHNSON-GROH, C.L. (1990): Subterranean sporophytic gemmae in moonwort ferns, *Botrychium* subgenus *Botrychium*. – Amer. J. Bot. 77: 1168–1175.

FUKAREK, F. & HENKER, H. (2006): Flora von Mecklenburg-Vorpommern. Farn- und Blütenpflanzen. Herausgegeben von HENKER, H. & BERG, C. – Weissdorn-Verlag, Jena: 425 pp.

FUKAREK, F. & HUSE, M. (1985): Verbreitungskarten zur Pflanzengeographie Mecklenburgs. 10. Reihe. Ausgestorbene Arten. – Nat. Naturschutz Mecklenbg. 21: 3–59.

GIFFORD, E.M. & FOSTER, A.S. (1988): Morphology and evolution of vascular plants. 3rd ed. – W.H. Freeman and Company, New York: 626 pp.

GÖRZ, R. (1913): Die Hügelflora um Brandenburg a. H. Ein Beitrag zur Charakteristik und Entwicklung der pontischen Flora des Havellandes. – Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 54: 182–217.

HERGT, B. (1906): Die Farnpflanzen Thüringens. – Mitt. Thüring. Bot. Ver. N. F. 21: 1–50.

HOLMGREN, P.K., HOLMGREN, N.H. & BARNETT, L.C. (Eds.) (1990): Index Herbariorum, Part I: The herbaria of the world. 8. ed. – New York Botanical Garden, Bronx, New York: X, 693 pp.

HORN, K. & BENNERT, H.W. (2008): Populationsmonitoring von *Botrychium simplex* und *B. matricariifolium* auf dem Truppenübungsplatz Senne im Jahr 2008. – Unveröff. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Recklinghausen: 17 pp.

HORN, K., FRANKE, T., UNTERSEHER, M., SCHNITTLER, M. & BEENCKEN, L. (2013): Morphological and molecular analyses of fungal endophytes of achlorophyllous gametophytes of *Diphasiastrum alpinum* (*Lycopodiaceae*). – Amer. J. Bot. 100: 2158–2174.

HORN, K. & KORNECK, D. (2003): Die Einfache Mondraute (*Botrychium simplex* E. Hitchcock) in Tirol. – Wulfenia 10: 145–169.

HORN, K., SACKWITZ, P. & WILHALM, T. (2005): Die Verbreitung seltener Mondrauten (*Botrychium* spp., *Ophioglossaceae*, *Pteridophyta*) in Südtirol und dem angrenzenden Trentino (Italien). – Gredleriana 5: 59–83.

HORN, K. & STOOR, A.M. (1995): Pflanzensammeln contra Artenschutz – drei Fallbeispiele. – Ber. Bayer. Bot. Ges. 65: 143–146.

HULTÉN, E. & FRIES, M. (1986): Atlas of North European vascular plants north of the tropic of cancer, Vol. 1. – Koeltz, Königstein: XVI, (2), 498 pp.

HUTCHINGS, M.J. (2010): The population biology of the early spider orchid *Ophrys sphegodes* Mill. III. Demography over three decades. – J. Ecol. 98: 867–878.

IMHOF, S., MASSICOTTE, H.B., MELVILLE, L.H. & PETERSON, R.L. (2013): Subterranean morphology and mycorrhizal structures. – In: MERCKX, V.S.F.T. (Ed.): Mycoheterotrophy: The biology of plants living on fungi: 157–214. Springer, New York.

JALAS, J. & SUOMINEN, J. (Eds.) (1972): Atlas Florae Europaeae. Vol. 1: Pteridophyta (*Psilotaceae* to *Azollaceae*). – The Committee for Mapping the Flora of Europe and Societas Biologica Fennica Vanamo, Helsinki: 121 pp.

JOHNSON-GROH, C.L. (1998): Population demographics, underground ecology and phenology of *Botrychium mormo*. – In: BERLIN, N., MILLER, P, BOROVANSKY, J., SEAL, U.S. & BYERS, O. (Eds): Population and habitat viability assessment (PHVA) for the goblin fern (*Botrychium mormo*), Final Report: 103–108. Conservation Biology Specialist Group, Apple Valley, Minnesota, USA.

JOHNSON-GROH, C.L. & LEE, J.M. (2002): Phenology and demography of two species of *Botrychium* (*Ophioglossaceae*). – Amer. J. Bot. 89: 1624–1633.

JOHNSON-GROH, C., RIEDEL, C., SCHOESSLER, L. & SKOGEN, K. (2002): Belowground distribution and abundance of *Botrychium* gametophytes and juvenile sporophytes. – Amer. Fern J. 92: 80–92.
JONSELL, B. (2000): *Ophioglossaceae*. – In: JONSELL, B. (Ed.): Flora Nordica, Vol. 1: *Lycopodiaceae* to *Polygonaceae*: 29–38. – Bergius Foundation, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.
KELLY, D. (1994): Demography and conservation of *Botrychium australe*, a peculiar, sparse mycorrhizal fern. – New Zeal. J. Bot. 32: 393–400.
KHOLIA, B.S. (2012): *Botrychium simplex* E. Hitchcock: a new moonwort for the Indian Himalayan Mountains. – Amer. Fern J. 102: 86–90.
KORNECK , D., SCHNITTLER, M. & VOLLMER, I. (1996): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. – Schriftenr. Vegetationskd. 28: 21–187.
KOVÁCS, G.M., BALÁZS, T. & PÉNZES, Z. (2007): Molecular study of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing the sporophyte of the eusporangiate rattlesnake fern (*Botrychium virginianum*, *Ophioglossaceae*). – Mycorrhiza 17: 597–605.
KOVÁCS, G.M., KOTTKE, I. & OBERWINKLER, F. (2003): Light and electron microscopic study on the mycorrhizae of sporophytes of *Botrychium virginianum* – Arbuscular structure resembling fossil forms. – Plant Biol. 5: 574–580.
KRAMBEER, R. (1962): Flora des Kreises Ludwigslust. – Päd. Rundbr. Abt. Volksbildung Päd. Kreiskabinetts Gewerkschaft Unterricht Erziehung Kreises Ludwigslust 2(5/6): 1–111, 23 unpag. Tafeln.
LAASIMER, L., KUUSK, V., TABAKA, L. & LEKAVIČIUS, A. (Eds.) (1993): Flora of the Baltic countries. Compendium of vascular plants, Vol. 1. – Estonian Academy of Sciences, Institute of Zoology and Botany; Latvian Academy of Sciences, Institue of Biology; Lithuanian Academy of Sciences, Institute of Botany, Tartu: 362 (15) pp.
LESICA, P. & AHLENSLAGER, K. (1996): Demography and life history of three sympatric species of *Botrychium* subg. *Botrychium* in Waterton Lakes National Park, Alberta. – Can. J. Bot. 74: 538-543.
LESICA, P. & STEELE, B.M. (1994): Prolonged dormancy in vascular plants and implications for monitoring studies. – Nat. Areas J. 14 (3): 209–212.
LUERSSEN, C. (1889): Die Farnpflanzen Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz. Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz, Band 3., 2. Aufl. – Kummer, Leipzig: XII, 906 pp.
MELZER, H. (1990): *Botrychium simplex* Hitchcock, die Einfache Mondraute – auch in der Steiermark. – Not. Flora Steiermark 11: 1–6.
MEYER, W., DIEKEN, J. VAN & LEEGE, O. (1937): Pflanzenbestimmungsbuch für Oldenburg-Ostfriesland und ihre Inseln. – Littmann, Oldenburg: 144 (2) pp.
MEUSEL, H., JÄGER, E. & WEINERT, E. (Eds.) (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora, Band. 1, Kartenteil, Textteil. – VEB Fischer, Jena: 583 pp./283 pp.
MILDE, J. (1859 „1858"): Die Gefäss-Cryptogamen in Schlesien preussischen und österreichischen Antheils. – Nova Acta Acad. Caes. Leop.-Carol. German. Nat. Cur. 26 (2): 369–753, Tab. 31–54.
MILDE, J. (1869): *Botrychiorum* Monographia. – Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien 19: 55–190, Taf. VII–IX. [als Buch gesondert gedruckt unter dem Titel „Monographia Botrychiorum" – Typis Caroli Ueberreuter (M. Salzer), Vindobonae: 136 pp., 3 Taf.]
MONTGOMERY, J.D. (1990): Survivorship and predation changes in fife populations of *Botrychium dissectum* in eastern Pennsylvania. – Amer. Fern J. 80: 173–182.
MULLER, S. (1993): Population dynamics in *Botrychium matricariifolium* in Bitcherland (Northern Vosges Mountains, France). – Belg. J. Bot. 126: 13–19.
NETZWERK PHYTODIVERSITÄT DEUTSCHLAND e.V. (NETPHYD) & BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (Eds.) (2013): Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Unter Mitarbeit der GESELLSCHAFT ZUR ERFORSCHUNG DER FLORA DEUTSCHLANDS e.V. (GEFD). – Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg: 912 pp.
OHWI, J. (1965): Flora of Japan. – Smithsonian Institution, Washington D.C.: IX, 1067 pp.
ØLLGAARD, B. & TIND, K. (1993): Scandinavian ferns. A natural history of the ferns, clubmosses, quillworts, and horsetails of Denmark, Norway, and Sweden. – Rhodos, Copenhagen: 317 pp.
PAGE, C.N. (1979): Experimental aspects of fern ecology. – In: DYER, A.F. (Ed.), The experimental biology of ferns: 551–589. – Academic Press, London.
PANKOW, H. (Ed.) (1967): Flora von Rostock und Umgebung. – Verlag der Universität Rostock, Rostock: 359 pp.

PIGNATTI, S. (1982): Flora d' Italia, Vol. 1. (Flora Italiens, Vol. 1.) [in Italienisch]. – Edagricole, Bologna: 790 pp.
PRELLI, R. (2001): Les fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale. Avec la collaboration de BOUDRIE, M. (Die Farne und Farnverwandten von Frankreich und Westeuropa. In Zusammenarbeit mit M. BOUDRIE) [in Französisch]. – Belin, Paris: 432 pp.
PRELLI, R. & BOUDRIE, M. (1992): Atlas écologique des fougères et plantes alliées. (Ökologischer Atlas der Farne und Farnverwandten) [in Französisch]. – Lechevalier, Paris: 272 pp.
RAABE, U., BÜSCHER, D., FASEL, P., FOERSTER, E., GÖTTE, R., HAEUPLER, H., JAGEL, A., KAPLAN, K., KEIL, P., KULBROCK, P. LOOS, G.H., NEIKES, N., SCHUMACHER, W., SUMSER, H. & VANBERG, C. (2011): Rote Liste und Artenverzeichnis der Farn- und Blütenpflanzen – Spermatophyta et Pteridophyta – in Nordrhein-Westfalen. 4. Fassung, Stand Dezember 2010. – In: LANUV (Ed.): Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in Nordrhein-Westfalen, 4. Fassung, Band 1: Pflanzen und Pilze. LANUV-Fachbericht 36: 49–183.
ROEPER, J. (1859): Zur Systematik und Naturgeschichte der *Ophioglossceae*. (Ende der ersten Abtheilung). – Bot. Z. 17 (2): 9–17.
RÜCKRIEM, C. & ROSCHER, S. (1999): Empfehlungen zur Umsetzung der Berichtspflicht gemäß Artikel 17 der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Ergebnisse des Life-Projekts „Beurteilung des Erhaltungszustandes natürlicher Lebensräume gemäß der FFH-Richtlinie" des Bundesamtes für Naturschutz von 1996–1998. – Angewandte Landschaftsökologie 22: XXXVI, 456 pp.
SCHMID, E. & OBERWINKLER, F. (1994): Light and electron microscopy of the host-fungus interaction in the achlorophyllous gametophyte of *Botrychium lunaria*. – Can. J. Bot. 72: 182–188.
SCHNEIDER, L. (1877): Beschreibung der Gefäßpflanzen des Florengebiets von Magdeburg, Bernburg und Zerbst. Mit einer Uebersicht der Boden- und Vegetations-Verhältnisse. – Julius Springer, Berlin: XIV, 60, 353 pp.
SCHNITTER, P., EICHEN, C., ELLWANGER, G., NEUKIRCHEN, M. & SCHRÖDER, E. (Eds.) (2006): Empfehlungen für die Erfassung und Bewertung von Arten als Basis für das Monitoring nach Artikel 11 und 17 der FFH-Richtlinie in Deutschland. – Ber. Landesamtes Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderh. 2: 370 pp.
SCHWARZOTT, D., WALKER, C. & SCHÜSSLER, A. (2001): *Glomus*, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is non-monophyletic. – Molec. Phylogen. Evol. 21: 190–197.
SLAVÍK, B. (1986): Fytokartografické syntézy ČSR. Vol. 1. (Phytokartografische Synthese der ČSR. Vol. 1.) [in Tschechisch] – Botanický ústav ČSAV, Průhonice: 199 pp.
SONNEBORN, I. & SONNEBORN, W. (1994): *Botrychium simplex* Hitchcock – Einfache Mondraute: Der Fund einer verschollenen oder ausgestorbenen Pflanzenart auf dem Truppenübungsplatz „Sennelager". – Natur u. Heimat 54 (1): 25–27.
TORGES, E. (1893): Bericht über die Frühjahrs-Hauptversammlung in Gera am 7. und 8. Juni 1892. – Mitt. Thüring. Bot. Ver. 3/4: 1–18.
WAGNER, W.H. Jr. & WAGNER, F.S. (1993): *Ophioglossaceae* C. Agardh. Adder's-tongue family. – In: FLORA OF NORTH AMERICA EDITORIAL COMMITTEE (Ed.): Flora of North America North of Mexico, Vol. 2: Pteridophytes and Gymnosperms: 85–106. – Oxford University Press, New York.
WARNSTORF, C. (1880): Zwei Tage in Havelberg und ein Ausflug nach der Ostpriegnitz. Ein Beitrag zur Flora der Mark. Mit Zusätzen, betreffend die Flora der Umgegend von Putlitz von E. KOEHNE. – Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 21: 144–170.
WARNSTORF, C. (1882): Botanische Wanderungen durch die Mark im Jahre 1881 mit besonderer Berücksichtigung der im Auftrage des Botanischen Vereins ausgeführten Exploration der Umgegend von Berlinichen bei Soldin. – Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 23: 110–127.
WARNSTORF, C. (1892): Beiträge zur Ruppiner Flora mit besonderer Berücksichtigung der Pteridophyten. – Schriften Naturwiss. Ver. Harzes Wernigerode 7: 63–90.
WELTEN, M. & SUTTER, R. (1982): Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz, Vol. 1. – Birkhäuser, Basel: 716 pp.
WINTHER, J.L. & FRIEDMAN, W.E. (2007): Arbuscular mycorrhizal symbionts in *Botrychium* (*Ophioglossaceae*). – Amer. J. Bot. 94: 1248–1255.
WINTHER, J.L. & FRIEDMAN, W.E. (2008): Arbuscular mycorrhizal associations in *Lycopodiaceae*. – New Phytol. 177: 790–801.
WINTHER, J.L. & FRIEDMAN, W.E. (2009): Phylogentic affinity of arbuscular mycorrhizal symbionts in *Psilotum nudum*. – J. Plant Res. 122: 485–496.

ZAJĄC, A. & ZAJĄC, M. (Eds.) (2001): Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce (Distribution atlas of vascular plants in Poland) [in Polnisch]. – Nakładem Pracowni Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego i Fundacji dla Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków: XII, 714 pp.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: NS_34

Autor(en)/Author(s): Bennert Herbert Wilfried, Sonneborn Irmgard, Horn Karsten

Artikel/Article: Die Einfache Mondraute (Botrychium simplex, Ophioglossaceae) in Deutschland 205-232