

Erstnachweis von *Equisetum* × *meridionale* (*E. ramosissimum* × *E. variegatum*, *Equisetaceae*) für Nordrhein-Westfalen und weitere bemerkenswerte Vorkommen von Schachtelhalmen in einem stillgelegten Steinbruch bei Hagen*

MARCUS LUBIENSKI, CHRISTOPH GERBERSMANN & DARIO WOLBECK

Kurzfassung

Es wird über den Erstnachweis der sehr seltenen Schachtelalmhybride *Equisetum* × *meridionale* (*E. ramosissimum* × *E. variegatum*) für Nordrhein-Westfalen in einem ehemaligen Kalksteinbruch bei Hagen berichtet. Die Verbreitung der Hybride für Deutschland wird anhand einer Verbreitungskarte illustriert. Der Steinbruch beherbergt mit u. a. *E. variegatum* und *E. ×moorei* darüber hinaus weitere für das Bundesland sehr bemerkenswerte *Equisetum*-Sippen. Diese werden vorgestellt und in Hinblick auf ihre Ansiedlung und Verbreitung diskutiert. Alle aus NRW bekannten Vertreter der Untergattung *Hippochaete* werden in einer Merkmalstabelle gegenübergestellt.

Abstract: First record of *Equisetum* × *meridionale* (*E. ramosissimum* × *E. variegatum*, *Equisetaceae*) for North Rhine-Westphalia (Germany) and other remarkable occurrences of horsetails in an abandoned quarry near Hagen.

The present paper reports on the first record of the very rare horsetail hybrid *Equisetum* × *meridionale* (*E. ramosissimum* × *E. variegatum*) in North Rhine-Westphalia in an abandoned limestone quarry near Hagen. The distribution of the hybrid in Germany is illustrated on a distribution map. Additionally the quarry harbours very remarkable *Equisetum* taxa for the federal state (e.g. *E. variegatum* and *E. ×moorei*), which are discussed with respect to their establishment and distribution. All taxa within the subgenus *Hippochaete* known in NRW are compared in a character table.

1 Einleitung

Die Schachtelalmflora Nordrhein-Westfalens (*Equisetaceae*) umfasste bis vor Kurzem sechs Arten der Untergattung *Equisetum* (*E. arvense* L., *E. palustre* L., *E. fluviatile* L., *E. telmateia* EHRH., *E. sylvaticum* L., *E. pratense* EHRH.) und zwei Arten der Untergattung *Hippochaete* (*E. hyemale* L., *E. ramosissimum* DESF.) (HAEUPLER & al. 2003, RAABE & al. 2011). Erst kürzlich gelang der Erstnachweis einer dritten *Hippochaete*-Art (*E. variegatum* SCHLEICH. ex WEB. & MOHR) für das Bundesland auf einer Rekultivierungsfläche im Braunkohletagebauegebiet der Inde (MOHL & al. 2012). Damit waren zugleich alle Arten der Flora Deutschlands für NRW nachgewiesen (vgl. JÄGER 2011). Gelegentlich aus Anpflanzung verwildert findet sich zusätzlich eine nicht einheimische Unterart des Winter-Schachtelhalms (*E. hyemale* subsp. *affine* [ENGELMANN] CALDER & ROY L. TAYLOR), die natürlicherweise in Nordamerika und im östlichen Asien verbreitet ist und im Gartenhandel vertrieben wird sowie in der Floristik Verwendung findet.

Auch einige Hybriden wurden für die Flora NRWs bekannt. Für die Untergattung *Equisetum* sind dies das zerstreut vorkommende *E. ×litorale* KÜHLEW. ex RUPR. (*E. arvense* × *E. fluviatile*) und das bestimmungskritische *E. ×dycei* C. N. PAGE (*E. fluviatile* × *E. palustre*), von dem bislang nur ein einziges Vorkommen in NRW gemeldet wurde (BENNERT & PETERS 1986). In der Untergattung *Hippochaete* sind ebenfalls zwei Hybriden für NRW nachgewiesen: *E. ×moorei* NEWM. (*E. hyemale* × *E. ramosissimum*) und das triploide *E. ×ascendens* LUBIENSKI & BENNERT (*E. hyemale* × [*E. ×moorei*]) (LUBIENSKI & al. 2012). Bestimmungsschlüssel für alle Arten und Hybriden und genaue Merkmalsbeschreibungen finden sich bei LUBIENSKI (2011 & 2013).

* Außerdem erschienen am 23.12.2018 als Veröff. Bochumer Bot. Ver. 10(4): 52–71.

In einem ehemaligen Kalksteinbruch in Hagen-Else (Nordrhein-Westfalen, MTB 4611/144) konnten nun mehrere Schachtelhalmsippen gefunden werden, deren Vorkommen interessante Fragen aufwerfen, die im Folgenden diskutiert werden sollen. Es handelt sich um *Equisetum telmateia*, *E. hyemale* subsp. *affine*, *E. variegatum*, *E. ×moorei* und *E. ×meridionale* MILDE (*E. ramosissimum* × *E. variegatum*). Der Riesen-Schachtelhalm (*E. telmateia*) gehört in NRW zu den selteneren Arten (HAEUPLER & al. 2003), die nicht einheimische Unterart des Winter-Schachtelhalm (*E. hyemale* subsp. *affine*) kommt selten verwildert vor, der Bunte Schachtelhalm (*E. variegatum*) bis auf eine Ausnahme gar nicht. Moores Schachtelhalm (*E. ×moorei*) war bislang nur aus dem Rheinland bekannt (HAEUPLER & al. 2003, LUBIENSKI & al. 2012) und wurde im westfälischen Landesteil noch nie gefunden, während das Vorkommen von *E. ×meridionale* den Erstnachweis der Hybride für Nordrhein-Westfalen darstellt.

2 Zur Biologie der Schachtelhalme

Die Schachtelhalme (*Equisetum* L., *Equisetaceae*) sind Gefäßsporenpflanzen mit einer charakteristischen Sprossanatomie und -morphologie (alternierend ineinander geschachtelte Internodien von Haupt- und Seitensprossen, Blätter zu Zähnen reduziert und an den Knoten zu sog. Blattscheiden angeordnet) und einer Fortpflanzung über Sporen. Sie bilden die artenarme Restgruppe einer im späten Paläozoikum erfolgreichen und sehr diversen Pflanzengruppe (*Sphenopsida*) (STEWART & ROTHWELL 1993, TAYLOR & al. 2009).

Die Sporen der Schachtelhalme sind grün und enthalten Chlorophyll, sie verfügen daher nur über eine zeitlich begrenzte Keimfähigkeit (HAUKE 1963 & 1990, KRAMER & al. 1995, WADA 2008, HUSBY 2013). Deshalb ist die Bildung von Sporenbänken bei *Equisetum* ausgeschlossen. Die kurzlebigen *Equisetum*-Sporen benötigen offene und feuchte Rohböden, um zu keimen und die Gametophyten in der Folge konkurrenzarme Bedingungen, um sich etablieren zu können. Solche Wuchsorte wie z. B. freigeschobene Straßengräben, Steinbrüche oder Tagebauflächen können daher gemischte Gametophytenkolonien gleich mehrerer *Equisetum*-Arten beherbergen, was die Bildung von Hybriden an solchen Stellen erleichtert (HAUKE 1978, PAGE & BARKER 1985, HUSBY 2013).

Equisetum ist isospor, d. h. die Morphologie der Sporen lässt keine Differenzierung nach Geschlechtern erkennen. Gleichwohl keimen aus den Sporen entweder männliche Gametophyten mit Antheridien oder weibliche Gametophyten mit Archegonien. DUCKETT (1972) und DUCKETT & DUCKETT (1980) konnten jedoch zeigen, dass die ursprünglich eingeschlechtlichen Gametophyten unter bestimmten Umweltbedingungen (z. B. der Anhäufung von Stoffwechselprodukten) zweigeschlechtlich werden können. Derartige Prozesse sind aber unter natürlichen Wuchsbedingungen von *Equisetum*-Gametophyten sehr selten (DUCKETT & DUCKETT 1980) und folglich ist Bisexualität innerhalb natürlicher Gametophytenkolonien die Ausnahme (DUCKETT & DUCKETT 1974 & 1980, DUCKETT 1979). Eine solche Reproduktionsbiologie macht die intergametophytische Fremdbefruchtung bei *Equisetum* zu einer sehr erfolgreichen Fortpflanzungsmethode. Die Bildung von Hybriden innerhalb der Gattung *Equisetum* wird also durch zwei Eigenschaften begünstigt: die Reproduktionsbiologie und die ökologischen Anforderungen der Gametophyten.

Alle Schachtelhalme verfügen über ein ausgedehntes unterirdisches Rhizomnetz, das innerhalb der Untergattung *Equisetum* zusätzlich durch stärkehaltige Knollen aus gestauchten Rhizomabschnitten verstärkt wird. Daher ist die Fähigkeit zu vegetativer Vermehrung und Ausbreitung über Rhizombruchstücke bei allen Vertretern sehr stark ausgeprägt. Zusätzlich sind die oberirdischen, grünen Sprosse bei fast allen Arten und Hybriden leicht in der Lage,

Adventivwurzeln an den Knoten zu bilden, was die Ausbreitung durch abgebrochene Sprosse, insbesondere entlang von Flusssystemen, ermöglicht (Abb. 1 & 2). Dieses Potenzial zu vegetativer Vermehrung ist besonders für die Ausbreitung der zahlreichen Hybriden von Bedeutung, da diese nur abortiertes und nicht keimfähiges Sporenmaterial produzieren. Die nicht selten existierenden autonomen Hybridpopulationen (= ohne Anwesenheit der Elternarten) werden hierdurch erklärbar.

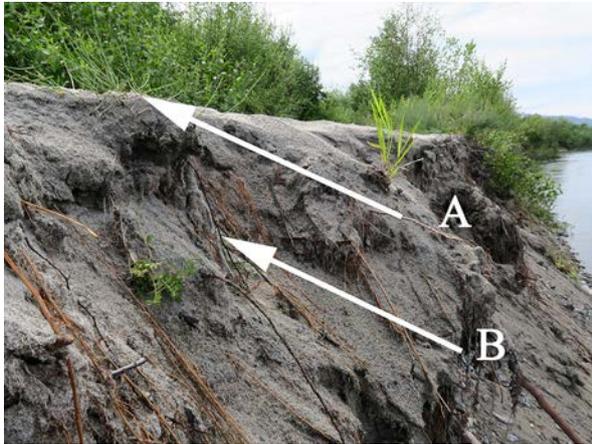


Abb. 1: Pflanze von *Equisetum variegatum* (A) mit freigespülten Rhizomen (B) an einem Flussufer in Lappland (Altaelva, Alta, Finnmark, Norwegen, 25.07.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 2: Schachtelhalm-Rhizome (*Equisetum* spec.) angeschwemmt im Ufergebüsch eines Flusses in Lappland (Altaelva, Alta, Finnmark, Norwegen, 25.07.2018, M. LUBIENSKI).

3 Der Steinbruch Rolloch I in Hagen-Elsey

Für die weitere Betrachtung der Vorkommen der hier vorgestellten Schachtelhalme im Steinbruch Rolloch I in Hagen-Elsey ist die Geschichte des Steinbruches von besonderer Bedeutung. Die nachfolgende Darstellung ist im Wesentlichen aus einem Artikel von MATTHIAS LANGE in den Hohenlimburger Heimatblättern (LANGE 2012) und eigenen Beobachtungen des Zweitautors seit den 1980er Jahren zusammengetragen.

Der heute etwa 300 m im Durchmesser umfassende, ehemalige Steinbruch sowie die ihn umgebenden Wälder in der kreisfreien Stadt Hagen sind als Naturschutzgebiet Steltenberg geschützt (LANUV 2013). Der Steinbruch entstand durch Abgrabung des Mühlenberg zwischen den Ortsteilen Hohenlimburg-Elsey im Norden und Hohenlimburg-Oege mit dem Fluss Lenne im Süden. Die Sohle des eher südlich exponierten Steinbruchkessels liegt auf etwa 160 m ü. NN. Er ist eingegraben in mittel- bis oberdevonischen Kalkstein der Givet- bis Adorf-Stufe (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE 2018). Es handelt sich um bis zu 700 m mächtige Schichten des Massenkalkes überwiegend aus Korallen- und Stromatoporenkalk, der kleinteilig auch dolomitisiert ist.

Kalksteinabbau hat in diesem Gebiet eine lange Tradition. In den 1920er Jahren begann der maschinelle Abbau im Bereich des heutigen Steinbruches. 1926 wurde von der tiefer liegenden Mühlenbergstraße ein nahezu waagerechter Stollen in den Berg getrieben. Dieser wurde mit einem vertikalen Schacht zur Oberfläche verbunden. Um den Schacht herum begann der Abbau im sog. Rollochverfahren. Die mit Pressluft- und Sprengtechnik gebrochenen Steine wurden durch den Schacht in den Stollen gerollt. Dadurch weitete sich der Schacht zunächst kegelförmig, später auch in gesamter Breite auf. Am tiefsten Punkt des Schachtes wurden die Steine zerkleinert, vorsortiert und schließlich mit einer Schmalspurbahn aus dem Stollen heraustransportiert. So entstand im Lauf der Jahrzehnte ein Krater von etwa 300 m Durchmesser mit nahezu senkrechten Wänden ohne jede Zufahrt von der Oberfläche. Wegen des

besonderen Abbauverfahrens trägt der Bruch auch betriebsintern den Namen Rolloch I. Der Bruch wurde bis Anfang der 1960er Jahre betrieben.

Ab 1969 wurde der ehemalige Steinbruch dann als Klärteich für die Abwässer der Gesteinswäsche des neuen Steinbruches genutzt, der weiter östlich liegt. Das dort gewonnene Material wurde in Sieben und Waschtrommeln von anhaftenden lehmigen Bestandteilen gereinigt. Zur Abdichtung des Klärteiches wurde der Stollen mit Beton verschlossen. Das Spülverfahren wurde in einem nahezu geschlossenen Wasserkreislauf über lange Rohrleitungen betrieben. Das sedimenthaltige Spülwasser wurde am sog. Spülstrand in den Rolloch I eingespült. Ein Bild im Artikel von LANGE (2012) aus dem Jahr 1980 zeigt, dass dieser Spülstrand am südlichen Ende des Bruches zur Mühlenbergstraße lag. Nach Absetzen der Sedimente wurde das Wasser an der gegenüberliegenden, nördlichen Seite des Bruches abgepumpt und erneut zur Gesteinswäsche verwendet. Der Teich speiste sich nur aus Niederschlagswasser, da er keinen Zulauf hatte. Wasserverluste wurden durch Tiefbrunnen oder Lennewasser ausgeglichen.

Die Nutzung als Klärteich erfolgte bis 1999, danach wurden alle Betriebsteile abgebaut und der ehemalige Steinbruch im Rahmen der Renaturierung sich selbst überlassen. Bei Stilllegung wurde der Steinbruch zu mehr als zwei Dritteln vom Spülstrand eingenommen, lediglich im Norden an der ursprünglichen Entnahmestelle verblieb ein erst tiefer, später mit sinkendem Wasserstand flacher Weiher. Die Wasser- und Schlammoberfläche orientierte sich am topografisch niedrigsten Punkt, der Steinbruchkante bei etwa 160 m ü. NN. Im Laufe von etwa fünf Jahren verfestigten sich die zunächst sehr instabilen Schlammflächen. Anfangs erfolgte die Verfestigung ähnlich dem Prinzip von Eisschollen nur an der Oberfläche, später auch in der Tiefe. LANGE (2012) zeigt ein Bild aus dem Jahr 2007, auf dem die Sohle zwar schon sporadisch bewachsen, mithin weitgehend verfestigt, jedoch noch vollkommen baumfrei ist. In den letzten 10 Jahren siedelten sich zunehmend Gehölze (vor allem Birken) an und begannen die wertvolle Pioniervegetation einzuschränken. Daher wurden diese Gehölze etwa auf 40 % der Fläche in Handarbeit entfernt.

Bedingt durch die Spültechnik erfolgte eine auch heute noch erkennbare Sortierung der Sedimente im Steinbruch. Im Süden finden sich gröbere, oft sandige und mit Kies durchsetzte Sedimente, während im Norden Richtung Weiher die Sedimente zunehmend feiner und lehmiger werden. Dadurch entstand eine Abfolge aus eher trockenen bis hin zu dauerfeuchten und in der Umgebung des Weihers auch nassen Verhältnissen. Entsprechend vielfältig ist die heutige Vegetation.

Die Sedimente entstammen nach mündlichen Informationen des Betreibers aus dem Jahr 2018 ausschließlich aus der Gesteinswäsche, mithin aus örtlichem Material. Hinweise für ortsfremdes Material ergeben sich nicht, da der Steinbruch nie eine Zufahrt hatte und die Steinbruchsohle auch heute weder durch einen Weg oder eine Zufahrt zu erreichen ist.

Das NSG Steltenberg besteht größtenteils aus Kalk-Buchenwäldern (Waldmeister-Buchenwald mit typischen Arten wie *Carex montana*, *Cephalanthera damasonium*, *Epipactis microphylla*, *Galium odoratum*, *Neottia nidus-avis* und *Sanicula europaea*). Der Steinbruch liegt hierin eingebettet und zeichnet sich aus durch seine lückigen Felsrasengesellschaften mit Dominanz von *Sesleria caerulea* entlang der Steinbruchwände.

Die flache, vom Spülschlamm bedeckte Sohle kann hauptsächlich in zwei Habitats gegliedert werden (Abb. 3–5). Im nördlichen Teil befindet sich ein staunasser Bereich mit einem flachen Weiher, der besonders von *Phragmites australis* und untergeordnet *Typha latifolia* umgeben ist. Der größere, südlichere Teil des Kessels wird von lückiger, krautiger Vegetation – auch mit Erdmoosen und Erdflechten – geprägt. Dieser Bereich wurde noch im Jahr 2017 durch

Entbuschung gepflegt (siehe oben). Als Pioniergehölze kommen besonders *Betula pendula* und *Salix* spp. sowie *Pinus sylvestris* und *Robinia pseudoacacia* vor. Die im Folgenden beschriebenen *Equisetum*-Sippen haben hier ihren Wuchsort, der bis hinein in den Übergangsbereich zum staunassen, nördlichen Teil reicht. Nach jahrelanger Beobachtung der Autoren kommen hier auch weitere Pflanzenarten von regionaler Bedeutung vor, so z. B. *Aquilegia vulgaris* (indigen), *Dianthus armeria*, *Erysimum cheiri*, *Euphrasia* cf. *nemorosa*, *Misopates orontium*, *Polygala vulgaris*, *Primula veris*, *Pyrola rotundifolia* (Erstnachweis für Hagen) und *Vincetoxicum hirundinaria*. *Potamogeton berchtoldii* wurde in der Vergangenheit im Weiher gefunden. Der Freiwasserbereich ist allerdings nicht mehr zu erreichen, so ist das Vorkommen innerhalb des dichten Schilfröhrichts unklar.

Besonders bemerkenswert ist auch das Vorkommen von etwa 3000 blühenden Orchideen, die in zwei verschiedenen Hybridschwärmen auftreten. Die früh blühenden Pflanzen sind eine optisch von *Dactylorhiza incarnata* dominierte Hybride mit *Dactylorhiza majalis*. Die spätblühenden Hybriden haben *Dactylorhiza majalis* und *Dactylorhiza maculata* agg. als Elternarten. Unklar ist, ob einige wenige reine Formen der beiden letztgenannten Elternarten vorkommen. Sicher ist aber, dass *Dactylorhiza incarnata* weder im Steinbruch selbst, noch im Hagener Raum überhaupt vorkommt oder in den letzten 100 Jahren vorkam. Die nächsten aktuellen Populationen dieser Art liegen im Kreis Warendorf mehr als 50 km entfernt (AHO NRW 2018). Insofern stellt sich auch für die hier wachsenden Knabenkräuter – analog zur weiter unten beschriebenen Fragestellung bei den Schachtelhalmen – die Frage, wie diese in den Steinbruch gelangten.



Abb. 3: Steinbruch Rolloch I in Hagen-Else, die Gliederung in einen heute mit Schilf bewachsenen nördlichen Teil und einen mit lückiger, krautiger Vegetation bewachsenen südlichen Teil zeigend (Luftbild, Google Earth ©, Google Inc., 22.10.2018).

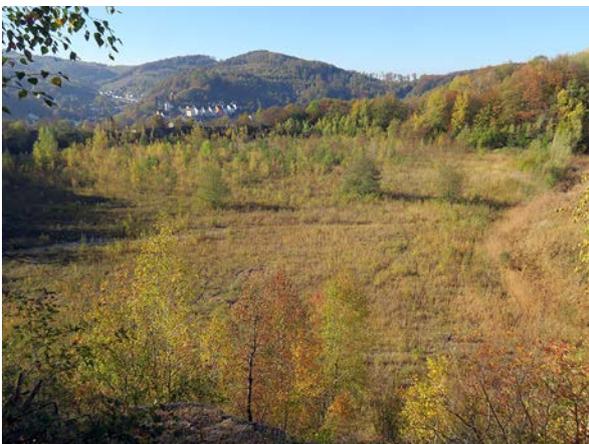


Abb. 4: Steinbruch Rolloch I, Blick nach Südwesten (Hagen-Else, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 5: Steinbruch Rolloch I, Blick nach Nordosten auf den Schilfbestand und die Felswand (Hagen-Else, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).

Tab. 1: Merkmalstabelle aller in Nordrhein-Westfalen vorkommenden Schachtelhalmsippen der Untergattung *Hippochaete*

	<i>E. hyemale</i> subsp. <i>affine</i>	<i>E. xascendens</i>	<i>E. xmoorei</i>	<i>E. xmoorei</i> Hagen-Elsley HR ?	<i>E. ramosissimum</i>	<i>E. xmeridionale</i>	<i>E. variegatum</i>	
Genomformel	HH	HHR	HR	HR ?	RR	RV	VV	
Größe und Wuchsform	Pflanzen groß, selten 1 m überschreitend	Pflanzen sehr groß, 1,70–2,10 m erreichend	Pflanzen groß, selten 1,20 m überschreitend	Pflanzen groß, 1,00–1,20 m	Pflanzen gewöhnlich groß, bis zu 1,70 m	Pflanzen klein bis mittig groß, bis zu 0,50 m	Pflanzen klein, bis ca. 0,30 m	
Sprossfarbe	gerade aufrecht	aufrecht, später oft niederliegend	aufrecht, später oft niederliegend	gerade aufrecht	aufrecht, später oft niederliegend	aufrecht bis niederliegend	aufrecht bis niederliegend	
Phänologie der Pflanzen	dunkel blaugrün, junge Sprosse manchmal rötlich überlaufen	dunkel blaugrün, junge Sprosse manchmal rötlich überlaufen	hell blaugrün, junge Sprosse gelblich grün	hell blaugrün bis gelblich grün	hell gelblich grün bis hell graugrün	variabel, hell gelblich grün bis hell graugrün, auch dunkel blaugrün	dunkel blaugrün	
Verzweigungsmuster der Sprosse	vollständig überwinternd	vollständig überwinternd	meist nicht vollständig überwinternd, die obersten Sprossabschnitte absterbend	meist nicht vollständig überwinternd, die obersten Sprossabschnitte absterbend	meist nicht vollständig überwinternd	meist nicht vollständig überwinternd, die obersten Sprossabschnitte absterbend	vollständig überwinternd	
Blattscheide (Längen-Breiten-Verhältnis)	unverzweigt, selten mit Seitenästen, nur bei verletzter Sprossspitze	meist ohne Seitenäste im 1. Jahr, unregelmäßig verzweigt im 2. Jahr, manchmal mit Seitenästen 2. Ordnung	bereits im 1. Jahr meistens mit +/- regelmäßig-quirlständigen Seitenästen, manchmal ohne Seitenäste	meist unverzweigt, gelegentlich mit +/- regelmäßig-quirlständigen Seitenästen	regelmäßig mit quirlständigen Seitenästen, kleine Sprosse auch unverzweigt	unregelmäßig mit Seitenästen	unverzweigt, selten mit Seitenästen, nur bei verletzter Sprossspitze	
Blattscheide (oberer Rand)	gleich lang wie breit oder länger als breit	länger als breit	länger als breit	länger als breit, bei großen Sprossen +/- gleich lang wie breit	deutlich länger als breit (bis zu 2 mal)	deutlich länger als breit (bis zu 2 mal)	länger als breit	
Blattscheide (Färbung)	schwarze Knorpelwulst am oberen Rand der Scheide deutlich	schwarze Knorpelwulst am oberen Rand der Scheide meistens deutlich	schwarze Knorpelwulst am oberen Rand der Scheide meistens undeutlich	schwarze Knorpelwulst am oberen Rand der Scheide meistens undeutlich	Scheiden meist vollständig grün (junge Sprosse) oder vollständig hellgrau (ältere Sprosse) mit einem schmalen schwarzen Saum am Grund	Scheiden meist vollständig schwarz, manchmal mit unerschiedlich großen weiß-grauen Saum am oberen Rand der Scheide	schwarze Knorpelwulst am oberen Rand der Scheide fehlend	
Blattscheide (Zähne)	sich meist während des Längenwachstums ablösend und eine typische pagodenförmige Kappe auf der Sprossspitze bildend	an den obersten Scheiden junger Sprosse selten vordringend oder sich während des Längenwachstums ablösend und eine typische pagodenförmige Kappe auf der Sprossspitze bildend	lang, dunkelbraun, ohne weißen Hautrand, die Spitzen gelegentlich zusammenhängend	lang, dunkelbraun, mit weißen Hautrand, die grannenähnlichen Spitzen gelegentlich zusammenhängend	durchgängig bleibend, falls an den untersten Scheiden abgefallen, dann ihre Basis einen dunklen gekerbtgezähnten Rand bildend	durchgängig bleibend, die Basis im zweiten Jahr noch vorhanden	durchgängig bleibend, die hellbraune-weißliche Granne früh verfallend	kurz, sich plötzlich in eine hinfällige Granne verjüngend, mit einem schmalen schwarzen Zentrum und einem breiten weißlichen Hautrand, manchmal nur weißlich-häutig
Mikromorphologie der Sprossrippen	mit glatter Oberfläche, vereinzelt mit dornen- oder hakentförmigen Silikatauflagerungen	mit glatter Oberfläche, selten mit vereinzelt dornen- oder hakentförmigen Silikatauflagerungen	mit glatter Oberfläche	mit glatter Oberfläche	mit glatter Oberfläche	mit glatter Oberfläche	mit zerstreuten haken-ähnlichen Silikatauflagerungen auf der hinfälligen Granne	
Sporen	ohne zu Querspangen zusammenfließende Silikathöcker, mit zwei Reihen einzeln stehender Silikatknöpfchen	ohne zu Querspangen oder undeutlichen zu Querspangen zusammenfließenden Silikathöckern	regelmäßig mit deutlichen zu Querspangen zusammenfließenden Silikathöckern	regelmäßig mit deutlichen zu Querspangen zusammenfließenden Silikathöckern	regelmäßig mit deutlichen zu Querspangen zusammenfließenden Silikathöckern	regelmäßig mit deutlichen zu Querspangen zusammenfließenden Silikathöckern	gut ausgebildet (grün, rund, mit zwei Hapterenbändern), keimfähig	
	gut ausgebildet (grün, rund, mit zwei Hapterenbändern), keimfähig	abottert (farbios, unregelmäßig krümelig, ohne oder mit verkümmerten Hapteren)	abottert (farbios, unregelmäßig krümelig, ohne oder mit verkümmerten Hapteren)	abottert (farbios, unregelmäßig krümelig, ohne oder mit verkümmerten Hapteren)	abottert (farbios, unregelmäßig krümelig, ohne oder mit verkümmerten Hapteren)	abottert (farbios, unregelmäßig krümelig, ohne oder mit verkümmerten Hapteren)	gut ausgebildet (grün, rund, mit zwei Hapterenbändern), keimfähig	

4 Bemerkenswerte Schachtelhalmstippen in Hagen-Elsey

Die im Steinbruch Rolloch I in Hagen-Elsey vorkommenden Schachtelhalmstippen werden im Folgenden vorgestellt. Neben diesen ist fast die gesamte Steinbruchsohle mit dem häufigen Sumpf-Schachtelhalm (*Equisetum palustre*) besiedelt.

Das Vorkommen von *Equisetum telmateia* (subgen. *Equisetum*)

Der Riesen-Schachtelhalm (*Equisetum telmateia*, Abb. 6–9) gehört zur Untergattung *Equisetum*, die im Unterschied zur Untergattung *Hippochaete* gekennzeichnet ist durch einjährige, quirlästige und nicht raue oberirdische Sprosse, auf deren Oberfläche die Spaltöffnungen in der Ebene der Epidermis liegen und deren fertile Sprosse eine stumpfe Strobilusspitze aufweisen (vgl. LUBIENSKI 2011).



Abb. 6: *Equisetum telmateia* im Steinbruch Rolloch I, Bestand (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 7: *Equisetum telmateia* im Steinbruch Rolloch I, Bestand (Hagen-Elsey, NRW, 25.11.2017, M. LUBIENSKI).



Abb. 8: *Equisetum telmateia* im Steinbruch Rolloch I, steriler Spross (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 9: *Equisetum telmateia* im Steinbruch Rolloch I, fertiler Spross, ungewöhnliche Sporenreife im November (Hagen-Elsey, NRW, 25.11.2017, M. LUBIENSKI).

Equisetum telmateia ist zugleich der größte Vertreter dieser Gruppe und erreicht unter optimalen Bedingungen Wuchshöhen von bis zu 1,50 m. Die Art gehört zusammen mit *E. arvense*, dem Acker-Schachtelhalm, zur Gruppe der dimorphen Arten, deren chlorophyllfreie fertile Sprosse im Frühjahr vor den sterilen grünen Sprossen erscheinen und nach der Sporenreife absterben (Abb. 9). Der Riesen-Schachtelhalm wächst typischerweise in

beschatteten Quellfluren und Waldsümpfen, aber auch in Flachmooren auf sickernassen, kalkreichen, humosen Ton- und Mergelböden. Sekundär findet sich die Art an Straßenböschungen und Eisenbahndämmen, aber auch in Steinbrüchen (DOSTÁL 1984).

In Nordrhein-Westfalen ist die Art insgesamt eher selten, Schwerpunkte der Verbreitung liegen im Raum Siebengebirge, Mettmann/Düsseldorf, im Bereich der Emschermergel im nördlichen Ruhrgebiet sowie entlang des Teutoburger Waldes und des Eggegebirges (HAEUPLER & al. 2003). Ein standörtlich sehr ähnliches Vorkommen befindet sich im nördlichen Sauerland bei Eisborn (Balve) in einem verlandeten Schlammteich eines ehemaligen Kalksteinbruches (MIEDERS 2006). Für das Hagener Florenggebiet nennen KERSBERG & al. (2004) lediglich drei aktuelle Vorkommen: das Hasselbachtal, „Zillertal bei Wetter“ und das Quellgebiet des Wannebachs.



Abb. 10: *Equisetum telmateia*, ungefähr besiedelte Fläche im Steinbruch Rolloch I (Hagen-Elsey, NRW; Luftbild, Google Earth ©, Google Inc., 22.10.2018).



Abb. 11: *Equisetum hyemale* subsp. *affine*, ungefähr besiedelte Fläche im Steinbruch Rolloch I (Hagen-Elsey, NRW; Luftbild, Google Earth ©, Google Inc., 22.10.2018).

Das Vorkommen von *Equisetum hyemale* subsp. *affine* (subgen. *Hippochaete*)

Eine ebenfalls sehr große, aber nicht vollständig zusammenhängende Fläche im Innenbereich des Steinbruchs Rolloch I wird von *Equisetum hyemale* subsp. *affine*, der nicht einheimischen Unterart des Winter-Schachtelhalms besiedelt (Abb. 11). Die Art bildet am Wuchsort regelmäßig Sporophyllstände (Strobili, Abb. 12) aus und produziert damit reichlich Sporen.



Abb. 12: *Equisetum hyemale* subsp. *affine* im Steinbruch Rolloch I, fertiler Spross (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 13: *Equisetum hyemale* subsp. *affine* im Steinbruch Rolloch I, sterile Sprosse mit bleibenden Scheidenzähnen (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 14: *Equisetum hyemale* subsp. *affine* im Steinbruch Rolloch I, sterile Sprosse mit bleibenden Scheidenzähnen (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 15: *Equisetum hyemale* subsp. *affine* im Steinbruch Rolloch I, Sprosse von ca. 1,40 m Höhe und 1 cm Durchmesser (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).

Diese in allen Dimensionen größere Unterart des Winter-Schachtelhalm stammt aus Nordamerika und Ostasien und wird bei uns im Gartenhandel und in der Floristik verwendet. Sie unterscheidet sich von der einheimischen subsp. *hyemale* nicht nur durch den größeren Wuchs (Sprosshöhe, Sprossquerschnitt), sondern auch dadurch, dass die stärker weiß hautrandigen Zähne der Blattscheiden vollständig oder zumindest länger, besonders an den unteren Blattscheiden, erhalten bleiben (Tab. 1, Abb. 13–14).

An kleinen Sprossen von *Equisetum hyemale* subsp. *affine* ist die sichere Unterscheidung zum einheimischen *E. hyemale* subsp. *hyemale* nicht immer möglich. Innerhalb des sehr großen Bestands im Steinbruch Rolloch I finden sich aber auch sehr große Sprosse (Abb. 15; bis ca. 1,40 m Höhe und 1 cm Sprossdurchmesser, die an den unteren Blattscheiden Zähne tragen). Solche Pflanzen sind sicher der nicht einheimischen Unterart zuzuordnen.

Equisetum hyemale subsp. *affine* findet sich gelegentlich verwildert, so auch in Nordrhein-Westfalen (vgl. z. B. R. THEBUD-LASSAK in BOCHUMER BOTANISCHER VEREIN 2016, M. LUBIENSKI in BOCHUMER BOTANISCHER VEREIN 2017).

Das Vorkommen von *Equisetum variegatum* (Subgenus *Hippochaete*)

Der Bunte Schachtelhalm, *Equisetum variegatum*, besiedelt im Steinbruch Rolloch I ebenfalls eine nicht kleine Fläche in einem dichten und reichlich Sporen bildenden Bestand (Abb. 16).

Es handelt sich um eine lichtliebende Pionierpflanze, die sich in Flachmooren, an Ufern, in Kiesgruben und Gräben auf nassen, kalkhaltigen, humosen oder moorigen Sand- und Tonböden, seltener in Quellfluren findet (DOSTÁL 1984, Abb. 17–19). Die Art ist in Europa arktisch-alpin verbreitet und kommt in Deutschland daher hauptsächlich im Alpenraum und entlang der von dort kommenden Flüsse (Rhein, Lech, Isar, Inn) vor (NETPHYD & BFN 2013). Sie war in historischer Zeit nie Bestandteil der Flora Nordrhein-Westfalens, ist aber kürzlich auf einer Rekultivierungsfläche im Braunkohletagebauegebiet der Inde aufgetaucht (MOHL & al. 2012). Das Vorkommen ist mittlerweile wieder erloschen (R. MOHL, schriftl. Mitt.). Damit handelt es sich bei dem hier beschriebenen Vorkommen um den Zweitnachweis für Nordrhein-Westfalen und zugleich um das einzige aktuelle Vorkommen.



Abb. 16: *Equisetum variegatum*, ungefähr besiedelte Fläche im Steinbruch Rolloch I (Hagen-Else, NRW; Luftbild, Google Earth ©, Google Inc., 22.10.2018).



Abb. 17: *Equisetum variegatum* im Steinbruch Rolloch I, sterile Sprosse (Hagen-Else, NRW, 25.11.2017, M. LUBIENSKI).



Abb. 18: *Equisetum variegatum* im Steinbruch Rolloch I, fertiler Spross (Hagen-Else, NRW, 15.08.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 19: *Equisetum variegatum* im Steinbruch Rolloch I, fertiler Spross (Hagen-Else, NRW, 15.08.2018, M. LUBIENSKI).

Das Vorkommen von *Equisetum* × *moorei* (*E. hyemale* × *E. ramosissimum*) (Subgenus *Hippochaete*)

Moores Schachtelhalm (*Equisetum* × *moorei*) findet sich im Steinbruch Rolloch I hauptsächlich entlang eines von Südwesten nach Nordosten verlaufenden schmalen Streifens, der inmitten der von *E. hyemale* subsp. *affine* besiedelten Fläche liegt. Im Südwesten der Fläche existiert noch ein kleiner, scheinbar isolierter Flecken beider Sippen (Abb. 20).

Obwohl bislang keine Strobili beobachtet werden konnten, um die Hybridnatur der Pflanzen zu verifizieren, zeichnen sie sich durch ihre Makro- und Mikromorphologie (längliche Blattscheiden, Ausbildung von Seitenästen, zu Querspangen zusammenfließende Silikathöcker auf den Sprossrippen; vgl. Tab. 1 und Abb. 29 C) eindeutig als Hybride zwischen *E. hyemale* und *E. ramosissimum* aus.



Abb. 20: *Equisetum x moorei*, ungefähr besiedelte Fläche im Steinbruch Rolloch I (Hagen-Elsey, NRW; Luftbild, Google Earth ©, Google Inc., 22.10.2018).



Abb. 21: *Equisetum x moorei*, sterile Sprosse mit Seitenästen (Hagen-Elsey, NRW, 25.11.2017, M. LUBIENSKI).



Abb. 22: *Equisetum x moorei*, sterile Sprosse mit starker Bezahnung an den unteren Blattscheiden (Hagen-Elsey, NRW, 15.08.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 23: *Equisetum x moorei*, sterile Sprosse mit starker Bezahnung an den unteren Blattscheiden (Hagen-Elsey, NRW, 15.08.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 24: *Equisetum x moorei*, sterile unverzweigte Sprosse mit weiß-hautrandigen Zähnen an den Blattscheiden (Hagen-Elsey, NRW, 15.08.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 25: *Equisetum x moorei*, sterile unverzweigte Sprosse mit weiß-hautrandigen Zähnen an den Blattscheiden (Hagen-Elsey, NRW, 15.08.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 26: *Equisetum* \times *moorei*, morphologisch normale Form (Salmorth, Rhein, Kleve, NRW, Deutschland, 03.09.2011, M. LUBIENSKI).



Abb. 27: *Equisetum* \times *moorei*, morphologisch normale Form (Nonnenwerth, Rhein, Rheinland-Pfalz, Deutschland, 20.09.2014, M. LUBIENSKI).



Abb. 28: *Equisetum* \times *moorei*, Blattscheiden, unterer (A), mittlerer (B) und oberer Sprossbereich (C) bei der normalen Form (links) und der Form aus Hagen-Elsey (rechts). Zu erkennen ist die deutlich stärkere Bezahnung der Blattscheiden und die weiß-hautrandigen Zähne bei der Form aus Hagen-Elsey (M. LUBIENSKI).

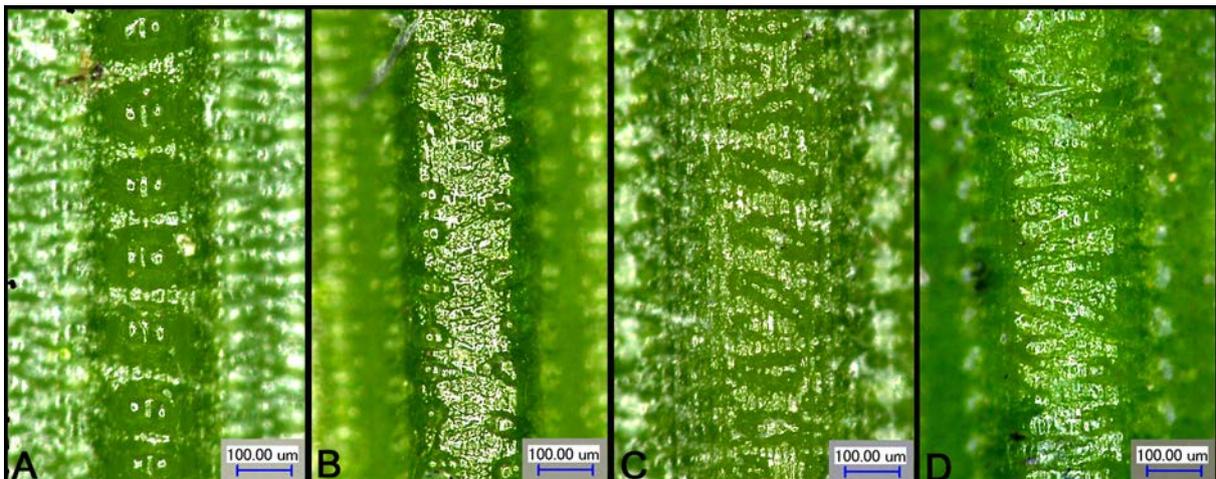


Abb. 29: Mikromorphologie der Sprossrippen aller im Steinbruch Rolloch I vorkommenden Sippen der Untergattung *Hippochaete*. Zu erkennen sind bei *Equisetum hyemale* subsp. *affine* (A) und *E. variegatum* (B) jeweils zwei Reihen einzeln stehender Silikathöcker und bei *E. x moorei* (C) und *E. x meridionale* (D) zu Querspannen verschmolzene Silikatauflagerungen (Abbildung V. M. DÖRKEN & M. LUBIENSKI).

Das Vorkommen der Hybride ist aus zweierlei Gründen bemerkenswert. Erstens wurde *Equisetum* \times *moorei* in Nordrhein-Westfalen noch nie außerhalb des Rheintals beobachtet, wo die Hybride als Teil eines natürlichen, zusammenhängenden und sich über mehrere Hundert Kilometer vom Oberrhein bis zur Mündung in den Niederlanden erstreckenden Areals vorkommt (LUBIENSKI & al. 2010 & 2012, DE WINTER & LUBIENSKI 2012, LUBIENSKI & GORISSEN 2015). Zweitens kommt *E.* \times *moorei* im Steinbruch Rolloch I in einer sehr auffälligen und morphologisch von typischem *E.* \times *moorei* abweichenden Form vor. Diese ist gekennzeichnet durch eine geringere Tendenz, Seitenäste auszubilden, etwas breitere Sprossquerschnitte und eine durchgehend stärkere Tendenz zu persistierenden Scheidenzähnen an den Blattscheiden, die ferner einen deutlich ausgeprägten weißen Hautrand zeigen (Tab. 1, Abb. 21–25).

Diese morphologischen Merkmale sowie das spezielle Sippenspektrum im Steinbruch Rolloch I könnten darauf hindeuten, dass es sich hierbei um die Kreuzung zwischen *E. hyemale* subsp. *affine* und *E. ramosissimum* handelt, eine Hybridkombination, die so in der Natur nicht vorkommen würde, da sich die Areale der Eltern nicht überschneiden. Dass bei einer solchen Hybride morphologisch durchaus deutliche Unterschiede zu normalem *E.* \times *moorei* (Abb. 26–28) zu erwarten wären, belegen die Untersuchungen von HAUKE (1963) an nordamerikanischem und europäischem Material von *E. \times trachyodon* (A. BRAUN) W. D. J. KOCH (*E. hyemale* \times *E. variegatum*). *E. ramosissimum* ist kein Bestandteil der nordamerikanischen Flora (HAUKE 1963 & 1993), sondern kommt dort nur selten eingeschleppt vor (HAUKE 1979 & 1993). Lediglich in Japan, Korea, am östlichen Rand Russlands und in den nordöstlichen Provinzen Chinas überschneiden sich die Areale beider Arten. Dort könnte also eine solche Hybride existieren. Zu bedenken dabei ist aber, dass *E. hyemale* subsp. *affine* bereits innerhalb seines großen nordamerikanischen Areals morphologisch so deutlich variiert, dass sogar unterschiedliche Namen vorgeschlagen wurden (var. *affine/pseudohyemale*, var. *robustum/elatum/prealtum*, var. *californicum*, HAUKE 1963) und dass für die Pflanzen Ostasiens wiederum andere Namen existieren (*E. japonicum*, *E. camtchatcense*, *E. komarovii*). Wie diese Variabilität von *E. hyemale* subsp. *affine* zu bewerten ist, ob Hybriden mit *E. ramosissimum* aus Ostasien bereits beschrieben worden sind und ob es sich bei der *E. \times moorei*-Form aus Hagen tatsächlich um eine solche Sippe handelt, muss Gegenstand weiterer Untersuchungen bleiben.

Das Vorkommen von *Equisetum* \times *meridionale* (*E. ramosissimum* \times *E. variegatum*) (Subgenus *Hippochaete*)

Der Südliche Schachtelhalm, *Equisetum* \times *meridionale*, kommt im Steinbruch Rolloch I auf einer Fläche von ca. 20 m² zerstreut vor (Abb. 30). Die Pflanzen bilden vereinzelt Strobili, deren Sporangien sich aber nicht öffnen, was bei vielen Hybriden nicht selten vorkommt (Abb. 31–33). Eine Untersuchung des enthaltenen Sporenmateriels zeigte die für Hybriden typischen abortierten, unregelmäßig großen und weißlich-krümeligen Sporen (Abb. 34).

Die Hybride wurde in der Vergangenheit mit *Equisetum variegatum* verwechselt und nicht von *E. \times trachyodon* unterschieden. Daher wurden in den letzten Jahrzehnten im Rahmen von Revisionsarbeiten an Lebend- und Herbarmaterial zahlreiche bislang nicht bekannte Vorkommen entdeckt (LUBIENSKI & al. 2010, JEPSON & al. 2013). Sie ist insgesamt *E. variegatum* ähnlicher als *E. ramosissimum*, die sehr unterschiedliche Erscheinung beider Eltern ermöglicht aber ein sehr breites morphologisches Spektrum



Abb. 30: *Equisetum* × *meridionale*, ungefähr besiedelte Fläche im Steinbruch Rolloch I (Hagen-Elsey, NRW; Luftbild, Google Earth ©, Google Inc., 22.10.2018).



Abb. 31: *Equisetum* × *meridionale*, sterile und fertile Sprosse mit unregelmäßigen Seitenästen, länglichen Scheidenzähnen und verkümmerten Strobili (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 32: *Equisetum* × *meridionale*, sterile und fertile Sprosse mit unregelmäßigen Seitenästen, länglichen Scheidenzähnen und verkümmerten Strobili (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).



Abb. 33: *Equisetum* × *meridionale*, sterile und fertile Sprosse mit unregelmäßigen Seitenästen, länglichen Scheidenzähnen und verkümmerten Strobili (Hagen-Elsey, NRW, 21.10.2018, M. LUBIENSKI).

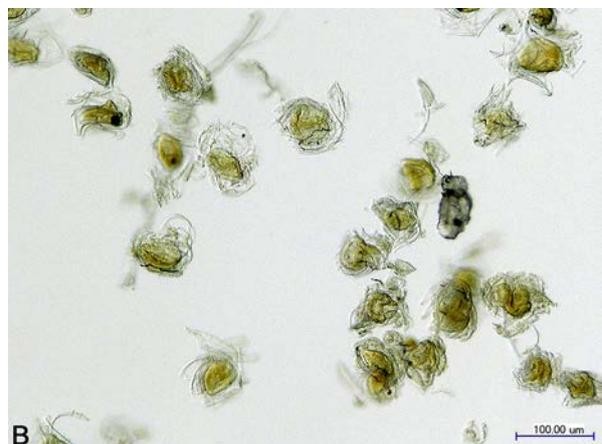
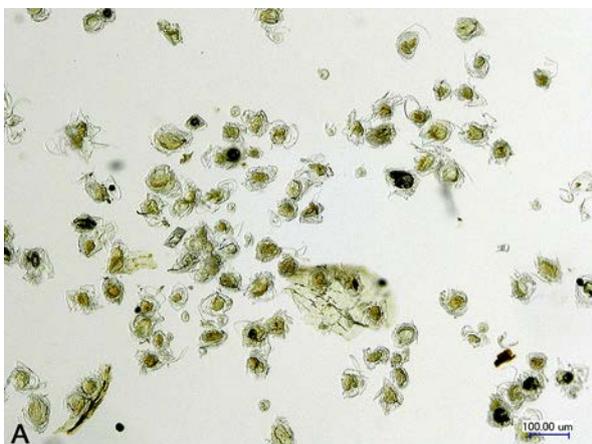


Abb. 34 A & B: Abortierte Sporen von *Equisetum* × *meridionale* aus dem Steinbruch Rolloch I bei verschiedenen Vergrößerungen. Die Sporen sind unregelmäßig geformt, weißlich und besitzen keine oder verkümmerte Hapterenbänder, im Unterschied zu den normal entwickelten Sporen der Arten (rund, grün mit zwei Hapterenbändern) (Abbildung V. M. DÖRKEN).

Makromorphologisch sind längere Sprosse mit unregelmäßig auftretenden Seitenästen, längliche Scheidenzähne ohne Grannenspitzen und mit durchgehendem schwarzem Zentrum und weißem Hautrand Unterscheidungsmerkmale zu *E. variegatum* (vgl. Tab. 1 und Abb. 35 A & B).

Mikromorphologisch ist das Auftreten von zu Querspangen zusammenfließenden Silikatauflagerungen auf den Sprossrippen ein unerlässliches Kriterium, um die Hybride von *E. variegatum* und auch *E. ×trachyodon* unterscheiden zu können (vgl. Tab. 1 und Abb. 29 B & D). Von Letzterem unterscheidet sie sich auch durch das Fehlen von hakenförmigen Silikatauflagerungen auf dem Rücken der Scheidenzähne. Bei kleinen Sprossen ist die sichere Unterscheidung zu solchen von *E. ramosissimum* manchmal nicht möglich, da das Querspangenmerkmal ausfällt. Hier kann nur die Beschaffenheit der Sporen, sofern fertile Sprosse vorliegen, Klarheit bringen. Tab. 1 stellt die Merkmale aller in Nordrhein-Westfalen bekannten Sippen der Untergattung *Hippochaete* gegenüber.

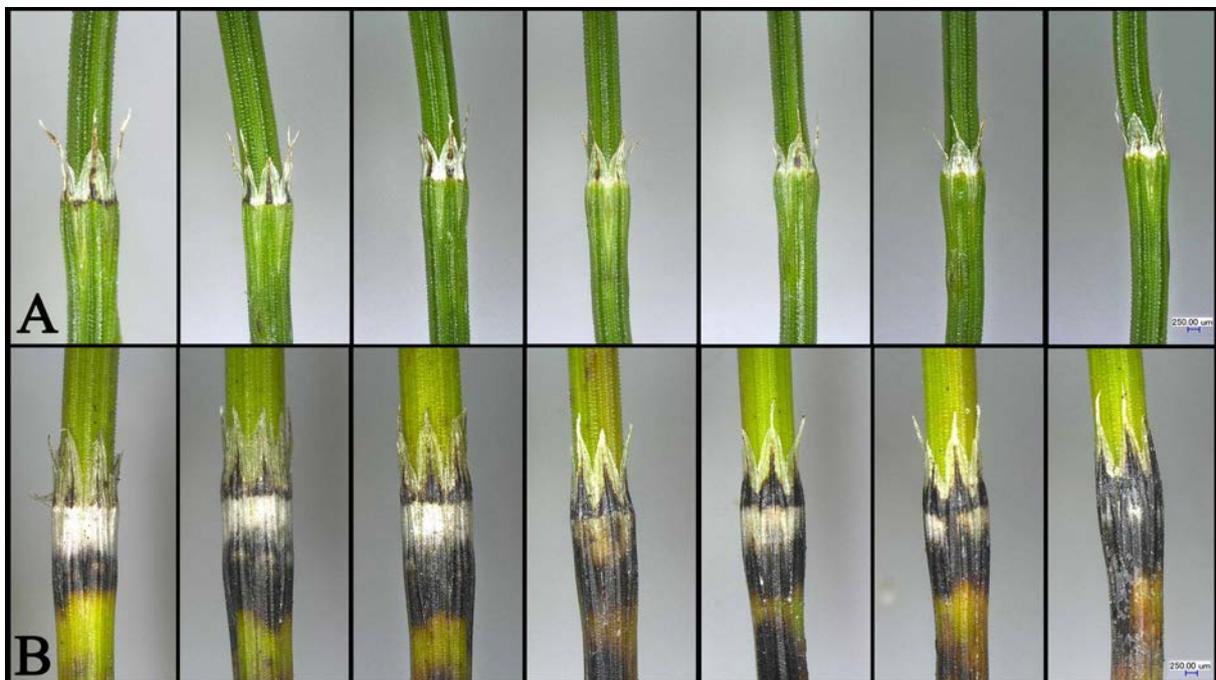


Abb. 35 A & B: Blattscheiden von *Equisetum variegatum* (A) und *E. ×meridionale* (B) aus dem Steinbruch Rolloch I im Vergleich. Scheidenzähne mit schmalen dunklem Zentrum und breitem weißem Hautrand, sich plötzlich verjüngend und eine hinfallige Granne tragend (*E. variegatum*), mit breitem dunklem Zentrum und schmalen weißem Hautrand, sich allmählich verjüngend und keine deutliche Granne tragend (*E. ×meridionale*) (Abbildung v. M. DÖRKEN & M. LUBIENSKI).

Equisetum ×meridionale kommt in Mitteleuropa gelegentlich dort vor, wo sich die Areale des arktisch-alpinen *E. variegatum* und des wärmeliebenden *E. ramosissimum* überschneiden, also schwerpunktmäßig im Bereich der Alpen und Pyrenäen und ihrer jeweiligen Vorländer (LUBIENSKI & al. 2010). In Deutschland sind Vorkommen im Alpenvorland sowie am Hoch- und Oberrhein bekannt (LUBIENSKI & al. 2010). Der Erstnachweis gelang in einer ehemaligen Braunkohletagebaufläche in Thüringen (JESSEN 1984). Die in Deutschland bekannten Vorkommen sind auf der Verbreitungskarte dargestellt (Abb. 36), wobei deutlich wird, wie weit außerhalb des natürlich zu erwartenden Verbreitungsschwerpunkts das hier vorgestellte Vorkommen liegt.

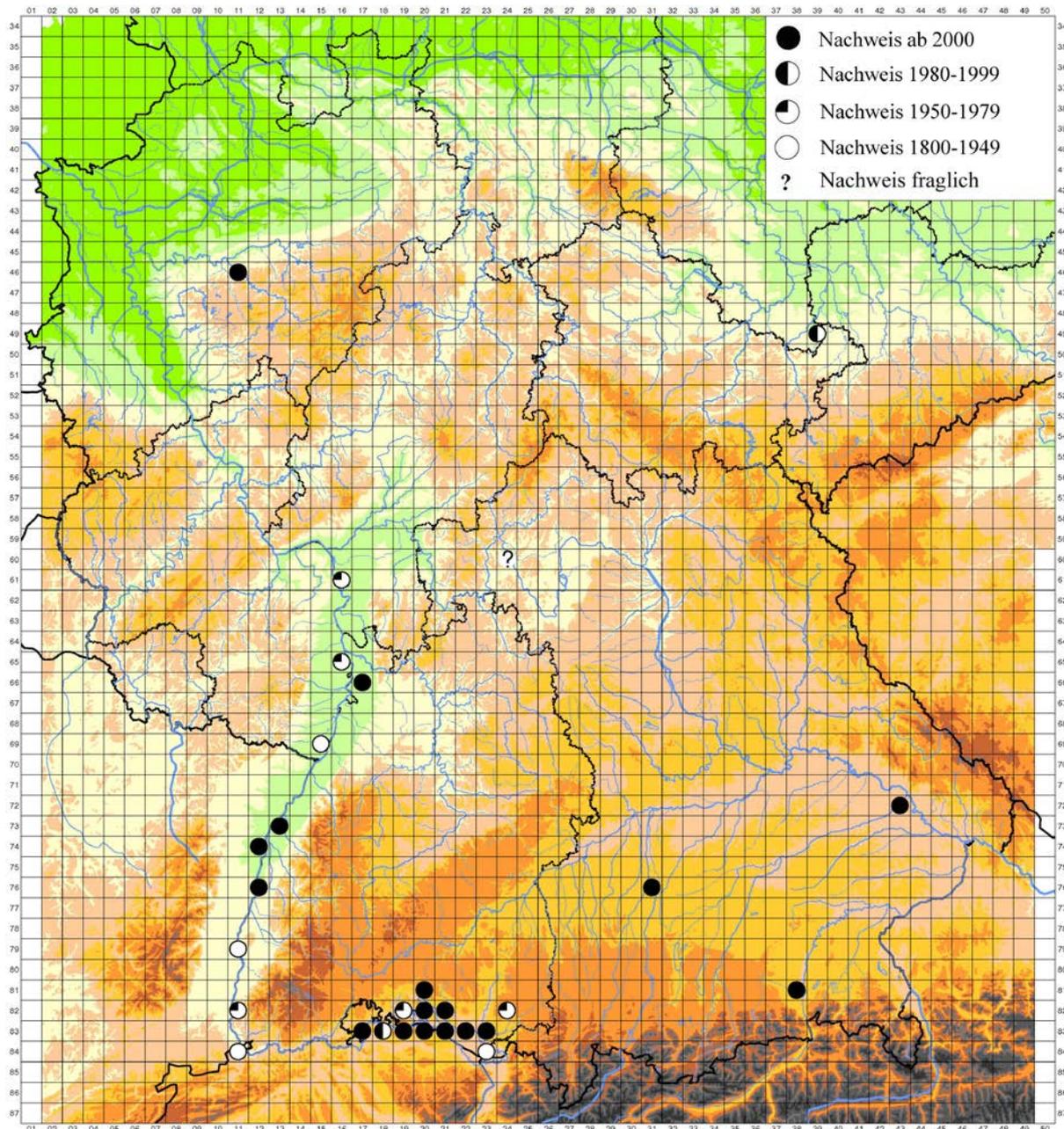


Abb. 36: Verbreitung von *Equisetum* \times *meridionale* in Deutschland und grenznahen Gebieten Frankreichs (7412, 7911, 8411) und der Schweiz (8319, 8321 z. T.) (Original, Kartengrundlage FLOREIN).

5 Diskussion

Das Phänomen des Auftretens gleich mehrerer *Equisetum*-Arten in ehemaligen Steinbrüchen und Tagebauflächen, von denen einige in der näheren Umgebung sehr selten oder gar nicht bekannt sind, ist nicht neu. So stammt z. B. der Erstdnachweis von *E. x meridionale* für Deutschland (JESSEN 1984) aus einer ehemaligen Braunkohletagebaufäche in Thüringen. Dort wuchsen *E. hyemale*, *E. ramosissimum*, *E. variegatum*, *E. x moorei* und *E. x meridionale*. Auch die Tatsache, dass sich an solchen Standorten seltene Hybriden finden, von denen oft nur eine Elternart ebenfalls am Wuchsort als Sporophyt vorhanden ist, ist nicht außergewöhnlich. In einem ehemaligen Steinbruch im südlichen Belgien konnten BIZOT & PÉTREMENT (2009 & 2010) *E. hyemale*, *E. variegatum*, *E. x moorei* und *E. x trachyodon* nachweisen, allerdings nicht die fehlende Elternart *E. ramosissimum*. Beide Beispiele ähneln auf bemerkenswerte Weise der Situation im Steinbruch Rolloch I in Hagen-Elsey.

Eine Kernfrage im Hinblick auf die hier vorgestellten Schachtelhalmvorkommen ist daher die nach den möglichen Wegen der Ansiedlung. Dabei ist die Herkunft von *Equisetum telmateia* über Sporenanflug von benachbarten natürlichen Vorkommen noch leicht nachvollziehbar. Nächstgelegene Vorkommen der Art befinden sich z. B. im Hasselbachtal bei Hohenlimburg oder am Harkortsee zwischen Wetter und Herdecke (= Zillertal bei Wetter). Allerdings bereitet diese Erklärung für *E. variegatum* und *E. hyemale* subsp. *affine* schon Schwierigkeiten und muss für die sterilen *E. ×moorei* und *E. ×meridionale* ausgeschlossen werden. Daher liegt es zunächst nahe, eine vegetative Ansiedlung über Rhizom- oder Sprosstücke durch gebietsfremden Erdaushub zu vermuten. Aufgrund der besonderen Situation im Steinbruch Rolloch I, die oben ausführlich beschrieben wurde, ist dieser Ansiedlungsweg jedoch auszuschließen. Im Gegenteil: Durch die allmählich verlandende und austrocknende Schlammfläche existierten (und existieren z. T. noch heute) offene, vegetationsfreie Flächen, die als ideal für die Keimung von *Equisetum*-Sporen angesehen werden (HAUKE 1967, PAGE 1967, DUCKETT & DUCKETT 1974 & 1980, MESLER & LU 1977, DUCKETT 1985). Lediglich die Einbringung von kleineren Mengen Gartenabfall aus den unmittelbar benachbarten Kleingärten und Gärten erscheint möglich. Dieses müsste aber unter größerem Aufwand kletternd geschehen sein, da es keinen fußläufigen Zugang zum Felsenkessel gibt. Daher erscheint auch das unwahrscheinlich.

Für *Equisetum variegatum* und *E. hyemale* subsp. *affine* muss daher wohl eher eine generative Ansiedlung angenommen werden und die Hybriden *E. ×moorei* und *E. ×meridionale* müssen im Steinbruch auf ebensolche generative Art und Weise entstanden sein. Damit ergibt sich aber die nicht unwesentliche Frage nach der Herkunft der Sporen. Wie bereits erwähnt, ist die Existenz von alten Sporenbänken bei *Equisetum* nicht anzunehmen. Diese dürften bei anderen Farnpflanzen und Bärlappen sicher für das Auftreten lange verschollener Arten an Wuchsorten, bei denen der Oberboden verletzt oder entfernt wurde, verantwortlich sein. Sporenfernflug über sehr weite Entfernungen (auch über mehrere 1000 km) und in sehr großen Höhen (obere Troposphäre bis zur Stratosphäre) ist für Farnpflanzen nachgewiesen (MORAN 2008). Die in Frage kommenden Entfernungen dürften aber bei *Equisetum*-Sporen aufgrund der begrenzten Lebensfähigkeit der Sporen limitiert sein. Bei entsprechend günstigen Wetterverhältnissen und einer angenommenen Lebensdauer von 1–2 Wochen (in Abhängigkeit von der vorhandenen Luftfeuchte) (HAUKE 1963 & 1990, HUSBY 2013) ist aber ein Radius von mehreren 100 Kilometern realistisch. Damit kommen für *E. variegatum* Vorkommen im niedersächsischen Tiefland (GARVE 2007), in den angrenzenden Niederlanden (TE LINDE & VAN DEN BERG 2003) und in Belgien (BIZOT & PÉTREMENT 2009) in Frage. Zumindest erwähnt werden muss auch die Tatsache, dass die Art Bestandteil des Gartenhandels ist (häufig fälschlicherweise als *E. scirpoides* bezeichnet) und sich daher auch hier und da als Teichrandbepflanzung in Privatgärten finden dürfte, die folglich auch als Sporenquelle dienen könnten. Dieses gilt analog für *E. hyemale* subsp. *affine*, für das zahlreiche Synonyme existieren (*E. robustum*, *E. japonicum*, *E. camtchatcense*, *E. komarovii*, *E. californicum*, *E. prealtum*, vgl. auch HAUKE 1963), von denen einige den im Handel verwendeten Namen entsprechen und das ebenfalls zur Teichrandbepflanzung angeboten wird.

Komplizierter stellt sich die Situation im Hinblick auf das Auftreten der Hybriden dar, weil hier Sporenanflug einer weiteren Art, *Equisetum ramosissimum*, angenommen werden muss. Nächstgelegene natürliche Vorkommen der Art finden sich entlang des Rheins in NRW (HAEUPLER & al. 2003, LUBIENSKI & al. 2012). Da sich die Art im Steinbruch Rolloch I aber nicht findet, müsste angeflogenes Sporenmaterial vor Ort lediglich über Fremdbefruchtung mit *E. hyemale*- bzw. *E. variegatum*-Gameten zu einer Hybridisierung mit jenen Arten geführt haben, jedoch nicht zu regulärer innerartlicher Befruchtung, Sporophytenbildung und Etablierung von *E. ramosissimum*. Die oben beschriebene Reproduktionsbiologie der Gattung

würde ein solches Fremdbefruchtungseignis durchaus erklären. Sollten Sporen von *E. ramosissimum* über größere Entfernung angefliegen sein, dann dürfte es sich um nur sehr wenige, wenn nicht sogar nur um einzelne Sporen gehandelt haben. Diese wären auf den offenen schlammigen Böden im Steinbruch Rolloch I in unmittelbarer Nachbarschaft von *E. hyemale*- und *E. variegatum*-Gametophyten herangewachsen und hätten sich mit diesen (in Ermangelung weiterer *E. ramosissimum*-Gametophyten) gekreuzt. Für die Entstehung von *E. ×moorei* und *E. ×meridionale* in Hagen hätte sogar eine einzige *E. ramosissimum*-Spore ausgereicht, da auf einem Gametophyten die Eizellen mehrerer Archegonien befruchtet werden können.

Equisetum ramosissimum ist nicht Bestandteil des Gartenhandels, deshalb müssten die natürlichen Vorkommen im Westen des Bundeslandes als potenzielle Sporenquelle favorisiert werden. Andererseits wird die Art aber wohl neuerdings mit Kübelpflanzen aus mediterranen Baumschulen eingeschleppt, wo sie häufig als Unkraut zu finden ist, da sie mit ihrem ausgedehnten unterirdischen Rhizomsystem der oberirdischen Unkrautbekämpfung mit Herbiziden trotzt. In Nordrhein-Westfalen sind in den letzten Jahren zwei Vorkommen bekannt geworden, deren Auftreten zumindest in einem Fall so erklärt werden muss: in einem Pflanzbeet vor einem Einkaufszentrum in Bielefeld (I. SONNEBORN in BOCHUMER BOTANISCHER VEREIN 2015) und im Kübel einer Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei*) wachsend in Hagen-Hohenlimburg (M. LUBIENSKI in BOCHUMER BOTANISCHER VEREIN 2015).

Zumindest nicht unerwähnt bleiben soll abschließend eine weitere Theorie zur Ansiedlung von *Equisetum ×moorei* und *E. ×meridionale* in Hohenlimburg. KRAHULEC & al. (1996) konnten nachweisen, dass Hybriden der Untergattung *Hippochaete* gelegentlich Diplosporen bilden (Sporen mit nicht reduziertem Chromosomensatz), die sogar zu Gametophyten auskeimten. Diese Fähigkeit wird von BENNERT & al. (2005), LUBIENSKI & BENNERT (2006) und LUBIENSKI & al. (2010) als Erklärung für die Bildung triploider Hybriden in der Untergattung herangezogen.

Am Beispiel von *Equisetum ×moorei* (HR) sei im Folgenden erklärt, was im Steinbruch Rolloch I passiert sein müsste. Demnach wäre es theoretisch denkbar, aber zugleich sehr unwahrscheinlich, dass eine solche unreduzierte, also diploide Diplospore von *E. ×moorei* (HR) (aus dem Rheingebiet) in Hohenlimburg angefliegen wäre, zu einem diploiden Gametophyten (HR) ausgekeimt wäre und es mit einem zweiten diploiden Gametophyten derselben Hybride (HR) (der auf gleichem Weg entstanden wäre) zur Befruchtung gekommen wäre. Daraus müsste freilich ein tetraploider Sporophyt entstehen, der, da er je zwei Genome *E. hyemale* (HH) und *E. ramosissimum* (RR) enthalten würde, durch eine reguläre Meiose mit guten, keimfähigen Sporen gekennzeichnet wäre. Eine solche Pflanze würde eine neue allotetraploide Art (HHRR) repräsentieren, ein Artentstehungsprozess, der bei den meisten einheimischen Farnpflanzen stattgefunden hat, für die *Equisetaceae* aber gänzlich neu wäre. Wäre dieses bereits an einem anderen Ort passiert, dann wäre es auch möglich, dass ein allotetraploides „*E. ×moorei*“ in Hagen direkt aus Sporenanflug von einer woanders existierenden Population dieser neuen Art hervorgegangen ist. Dieses Szenario ist theoretisch in analoger Weise auf die Entstehung von *E. ×meridionale* (RV) übertragbar. Für das Hagener Vorkommen muss es aber ausgeschlossen werden, da die Pflanzen abortierte Sporen haben (Abb. 34 A & B), es sich also nicht um ein allotetraploides „*E. ×meridionale*“ handeln kann.

Literatur

- AHO NRW (ARBEITSKREIS HEIMISCHE ORCHIDEEN NORDRHEIN-WESTFALEN) 2018: Die Orchideen Nordrhein-Westfalens. LWL-Museum für Naturkunde. – Münster.
- BENNERT, H. W., LUBIENSKI, M., KÖRNER, S. & STEINBERG, M. 2005: Triploidy in *Equisetum* subgenus *Hippochaete* (*Equisetaceae*, *Pteridophyta*). – Ann. Bot. 95: 807–815.

- BENNERT, H. W. & PETERS, U. 1986: First record of *Equisetum* × *dycei* in continental Europe. – Fern Gaz. 13: 122.
- BIZOT, A. & PÉTREMENT, B. 2009: Découverte d'*Equisetum* × *trachyodon* (A. BRAUN) KOCH (*Equisetaceae* – *Pteridophyta*) en Belgique à Etalle et modifications du taxonyme. – Adoxa 61: 14–21.
- BIZOT, A. & PÉTREMENT, B. 2010: Encore un nouvel hybride d'*Equisetum* du subg. *Hippochaete* mis en évidence dans une carrière à Etalle (Belgique – Province du Luxembourg): *Equisetum* × *moorei* NEWMAN. – Adoxa 64: 1–5.
- BOCHUMER BOTANISCHER VEREIN 2015: Beiträge zur Flora Nordrhein-Westfalens aus dem Jahr 2014. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 6: 141–174.
- BOCHUMER BOTANISCHER VEREIN 2016: Beiträge zur Flora Nordrhein-Westfalens aus dem Jahr 2015. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 7: 115–151.
- BOCHUMER BOTANISCHER VEREIN 2017: Beiträge zur Flora Nordrhein-Westfalens aus dem Jahr 2016. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 8: 190–237.
- BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE 2018: GEOportal.nrw: Geologische Übersichtskarte 1:500.000 – Geologische Schichten. – www.geoportal.nrw [23.11.2018].
- DE WINTER, W. & LUBIENSKI, M. 2012: *Equisetum* × *ascendens* LUBIENSKI & BENNERT: de eerste triploïde paardestaartbastaard in Nederland. – Gorteria 36: 1–17.
- DOSTÁL, J. 1984: *Equisetaceae*. – In: HEGI, G.: Illustrierte Flora von Mitteleuropa, 3. Aufl., Bd. I/1: 54–79. – Berlin, Hamburg.
- DUCKETT, J. G. 1972: Sexual behavior of the genus *Equisetum* subgenus *Hippochaete*. – Bot. J. Linn. Soc. 65: 87–108.
- DUCKETT, J. G. 1979: An experimental study of the reproductive biology and hybridization in the European and North American species of *Equisetum*. – Bot. J. Linn. Soc. 79: 205–229.
- DUCKETT, J. G. 1985: Wild gametophytes of *Equisetum sylvaticum*. – Amer. Fern J. 75: 120–127.
- DUCKETT, J. G. & DUCKETT, A. R. 1974: The ecology of *Equisetum* gametophytes. – Amer. J. Bot. 61 Suppl.: 36.
- DUCKETT, J. G. & DUCKETT, A. R. 1980: Reproductive biology and population dynamics of wild gametophytes of *Equisetum*. – Bot. J. Linn. Soc. 80: 1–40.
- GARVE, E. 2007: Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. – Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachsen 43: 1–507.
- HAEUPLER, H., JAGEL, A. & SCHUMACHER, W. 2003: Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen in Nordrhein-Westfalen. Hrsg.: Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW. – Recklinghausen.
- HAUKE, R. L. 1963: A taxonomic monograph of the genus *Equisetum* subgenus *Hippochaete*. – Beih. Nova Hedwigia 8: 1–123.
- HAUKE, R. L. 1967: Sexuality in a wild population of *Equisetum arvense* gametophytes. – Amer. Fern J. 57: 59–66.
- HAUKE, R. L. 1978: A taxonomic monograph of *Equisetum* subgenus *Equisetum*. – Nova Hedwigia 30: 385–455.
- HAUKE, R. L. 1979: *Equisetum ramosissimum* in North America. – Amer. Fern J. 69: 1–5.
- HAUKE, R. L. 1990: *Equisetaceae*. – In: KUBITZKI, K. (ed.): The Families and Genera of Vascular Plants, Vol. I. *Pteridophyta* and Gymnosperms: 46–48. – Berlin u. a.
- HAUKE, R. L. 1993: *Equisetaceae* MICHAUX ex DECANOLLE – Horsetail family. – In: FLORA OF NORTH AMERICA EDITORIAL COMMITTEE (ed.): Flora of North America. North of Mexico, Vol. 2. Pteridophytes and Gymnosperms: 76–84. – New York/Oxford.
- HUSBY, C. 2013: Biology and functional ecology of *Equisetum* with emphasis on the Giant Horsetails. – Bot. Rev. 79: 147–177.
- JÄGER, E. J. (Hrsg.) 2011: Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband, 20. Aufl. – Heidelberg.
- JEPSON, P., LUBIENSKI, M., LLEWELLYN, P. & VIANE, R. 2013: Hybrids within *Equisetum* subgenus *Hippochaete* in England and Wales. – New J. Bot. 3: 47–58.
- JESSEN, S. 1984: Beitrag zur Kenntnis der einheimischen Pteridophytenflora. – Mitt. flor. Kart. 10: 76–92.
- KERSBERG, H., HORSTMANN, H. & HESTERMANN, H. 2004: Flora und Vegetation von Hagen und Umgebung. – Nümbrecht-Elsenroth.
- KRAHULEC, F., HROUDA, L. & KOVÁŘOVÁ, M. 1996: Production of gametophytes by *Hippochaete* (*Equisetaceae*) hybrids. – Preslia 67: 213–218.
- KRAMER, K. U., SCHNELLER, J. J. & WOLLENWEBER, E. 1995: Farne und Farnverwandte. Morphologie – Systematik – Biologie. – Stuttgart, New York.
- LANGE, M. 2012: Aufschluss und Renaturierung der Kalksteinlagerstätte „Rolloch I“ am Mühlenberg in Hohenlimburg. – Hohenlimburger Heimatblätter 4/2012: 1–9.
- LANUV-NRW (LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN) 2013: Naturschutzgebiete und Nationalpark Eifel in NRW. – nsg.naturschutzinformationen.nrw.de [23.11.2018].
- LUBIENSKI, M. 2011: Die Schachtelhalme (*Equisetaceae*, *Pteridophyta*) der Flora Deutschlands – ein aktualisierter Bestimmungsschlüssel. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 2: 68–86.

- LUBIENSKI, M. 2013: Hybriden der Gattung *Equisetum* (*Equisetaceae*, *Equisetopsida*, *Monilophyta*) in Europa. – Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim, Beih. 22: 91–124. Hohenheim.
- LUBIENSKI, M. & BENNERT, H. W. 2006: *Equisetum ×alsaticum* (*Equisetaceae*, *Pteridophyta*) in Mitteleuropa. – *Carolina* 64: 107–118.
- LUBIENSKI, M., BENNERT H. W. & KÖRNER, S. 2010: Two new triploid hybrids in *Equisetum* subgenus *Hippochaete* for Central Europe and notes on the taxonomic value of „*Equisetum trachyodon* forma *Fuchsi*“ (*Equisetaceae*, *Pteridophyta*). – *Nova Hedwigia* 90: 321–341.
- LUBIENSKI, M. & GORISSEN, I. 2015: Der Aufsteigende Schachtelhalm (*Equisetum ×ascendens*) erstmals am Mittelrhein nachgewiesen. – *Jahrb. Bochumer Bot. Ver.* 6: 47–53.
- LUBIENSKI, M., JÄGER, W. & BENNERT, H. W. 2012: *Equisetum ×ascendens* LUBIENSKI & BENNERT (Subg. *Hippochaete*, *Equisetaceae*), eine neue Schachtelhalm-Sippe für die Flora Nordrhein-Westfalens. – *Jahrb. Bochumer Bot. Ver.* 3: 7–20.
- MESLER, M. R. & LU, K. L. 1977: Large gametophytes of *Equisetum hyemale* in northern California. – *Amer. Fern J.* 67: 97–98.
- MIEDERS, G. 2006: Flora des nördlichen Sauerlandes. – *Der Sauerländische Naturbeobachter* 30: 1–608.
- MOHL, R., PATZKE, E. & MERTENS, H. 2012: *Equisetum variegatum* SCHLEICH. neu in Nordrhein-Westfalen. – *Decheniana* 165: 33–35.
- MORAN, R. C. 2008: Diversity, biogeography, and floristics. – In: RANKER, T. A. & HAUFLE, C. H. (eds.): *Biology and evolution of ferns and lycophytes*: 367–394. – Cambridge.
- NETPHYD & BfN (NETZWERK PHYTODIVERSITÄT DEUTSCHLAND & BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) (Hrsg.) 2013: *Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands*. – Bonn.
- PAGE, C. N. 1967: Sporelings of *Equisetum arvense* in the wild. – *Br. Fern Gaz.* 9: 335–338.
- PAGE, C. N. & BARKER, M. 1985: Ecology and geography of hybridization in British and Irish horsetails. – *Proc. Roy. Soc. Edinb.* 86b: 265–272.
- 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, *Pteridophyta* et *Spermatophyta*, in Nordrhein-Westfalen, 4. Fassg. – *LANUV-Fachber.* 36(1): 51–183.
- STEWART, W. N. & ROTHWELL, G. W. 1993: *Paleobotany and the evolution of plants*, ed. 2. – Cambridge.
- TAYLOR, T. N., TAYLOR, E. L. & KRINGS, M. 2009: *Paleobotany. The biology and evolution of fossil plants*, ed. 2. – Amsterdam u. a.
- TE LINDE, B. & VAN DEN BERG, L.-J. 2003: *Atlas van de Flora van Oost-Gelderland*. – Ruurlo.
- WADA, M. 2008: Photoresponses in fern gametophytes. – In: RANKER, T. A. & HAUFLE, C. H. (eds.): *Biology and evolution of ferns and lycophytes*: 3–48. – Cambridge.

Danksagungen

Wir bedanken uns herzlich bei Dr. VEIT M. DÖRKEN (Universität Konstanz) für die Anfertigung der Abbildungen zur Mikromorphologie (Abb. 29, 34 & 35). REGINA LUBIENSKI (Hagen) half bei den Geländearbeiten. Darüber hinaus bedanken wir uns beim Eigentümer, der Hohenlimburger Kalkwerke GmbH (HKW), für das Einverständnis zur Veröffentlichung, aber auch für die Genehmigung zu den Pflegemaßnahmen durch den BUND und die tatkräftige Mithilfe. Den Geschäftsführern Dr. CHRISTIAN LANGE und vor allem Dr. MATTHIAS LANGE verdanken wir viele weitergehende Auskünfte zur Geschichte des Bruches. Herr STEFAN JESSEN (Chemnitz) steuerte wichtige Informationen zum Vorkommen von *Equisetum ×meridionale* in Thüringen bei.

Anschriften der Autoren

MARCUS LUBIENSKI
Am Quambusch 25
58135 Hagen
m.lubienski@gmx.de

CHRISTOPH GERBERSMANN
Steubenstraße 19a
58097 Hagen
gerbersmann@web.de

DARIO WOLBECK
Bremger Weg 74
57439 Attendorn
wolbeck.dario@web.de