

Das „Blue-Sky-Luxushotel“ am Waldesboden

Feinstrukturen und Bestäuber im Blütenstand des gefleckten Aronstabs (*Arum maculatum* L.)

Sarah Paulmann, Ralf Stelzer & Albert Melber



Zusammenfassung

Die Untersuchung beschäftigt sich mit Struktur und Funktionsweise des Gleitkesselfallenblütenstands des Aronstabs. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die komplizierten Wechselwirkungen zwischen Pflanze, Bestäuber und dem jeweils herrschenden Mikroklima gerichtet. Zur Klärung der Frage, welche Tierarten dem Aronstab als Bestäuber zur Verfügung stehen, wurden im stadtnahen Gebiet der Landeshauptstadt Hannover die „Fänge“ von 448 Blütenständen ausgezählt und die darin enthaltenen Arten bestimmt. Insgesamt

wurden 3385 Individuen aus unterschiedlichsten Arthropodentaxa ermittelt. Durch den Vergleich zwischen 8 Standorten kommen aufgrund ihrer Häufigkeit und Stetigkeit praktisch nur die Weibchen der Schmetterlingsmücke *Psychoda phalaenoides* L. (Dipt.: *Psychodidae*) als regelmäßige Bestäuber in Frage. Die Vertreter der übrigen Arthropodentaxa sind als so genannte „Zufallsfänge“ für die Arterhaltung des Aronstabs von untergeordneter Bedeutung.

Summary

The paper deals with the structure and function of the flower-flytrap of the

cuckoo pint or Lords-and-Ladies respectively. Our interests were focussed on

correlations between the plant, its pollinators and the microclimate at the natural habitat. The captures by 448 inflorescences taken from 8 different sites in the green areas of Hannover were analysed in order to find out the number and names of species being present in the pints. Altogether 3385 individuals from different taxa of arthropods were found. According

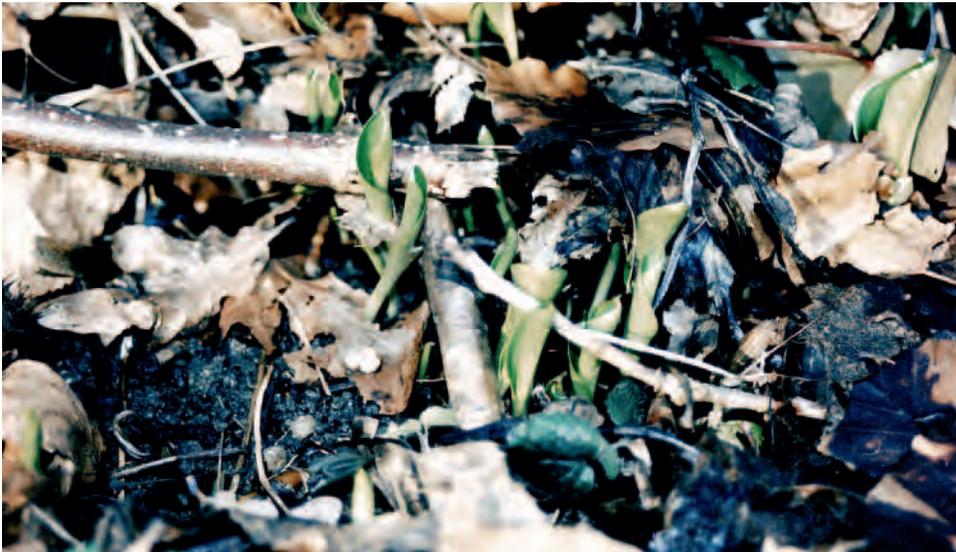
to their degree of their presence and/or abundance in the pints it was reasonable to conclude that exclusively the females of the moth fly (*Psychoda phalaenoides* L.; Dipt.: *Psychodidae*) are the most steady pollinators. The species of all other arthropod taxa being also found in the trap were, if at all, more accidental pollinators.

Einführung

Es ist Vorfrühling. In der bodennahen Zone des Auenwaldes ist das ausgeglichene Klima mit dem grünen Dämmerlicht unter dem Blätterdach der Bäume noch nicht zurückgekehrt, und so gibt es überall gleich viel Licht und ein sehr wechselhaftes Mikroklima. Der letzte Schnee ist geschmolzen und auf dem Teppich abgestorbener Blätter, die der Herbst hinterlassen hat, fallen raschelnd und völlig ungehindert Regentropfen und manchmal

auch massive Hagelkörner aus vorüberziehenden Schauern. Am Rhizom des Gelfleckten Aronstabs im Boden werden die Knospen aktiv. Als bald bohren sich seine zu spitzen Tüten zusammen gerollten jungen Blattspreiten durch die zahlreichen Lagen des langsam vermodernden Laubes (Abb. 1). Mit der allmählich beginnenden Erwärmung des Bodens und dem Auftauchen des ersten Grüns zahlreicher Kräuter werden auch die in der Streuaufgabe

Abb. 1 Das erste Erscheinen der Aronstabblätter im Vorfrühling Ende Februar/Anfang März.



überwinternden Insekten zu neuem Leben erweckt. Jetzt entrollt der Aronstab bereits seine sattgrünen, glänzenden Blätter mit ihren purpurvioletten Sprenkeln auf der pfeilförmigen Spreite (Abb. 2). Für den Aronstab ist das die Zeit des vegetativen Wachstums mit hoher Fotosyntheseleistung wobei viel Zucker und Stärke produziert werden. Bleiben während der zweiten Frühlingshälfte die Temperaturen tagsüber im zweistelligen Bereich, und sinken sie bei Nacht deutlich spürbar ab, beginnt die Blühsaison des Aronstabs. Vom aufgerollten Blütenhüllblatt, der Spatha, wird nur der obere Bereich entfaltet. Daraus entsteht der gelblich-weiße Schapparat, nämlich der Helm, während der verbleibende, untere Bereich der Spatha zu einer Art Kessel heranwächst (Abb. 3). Dieser Kessel wird bald „durchreisenden“ Arthropoden insbesondere einigen Insekten zum Nachtquartier.

Beinahe zeitgleich mit dem Öffnen des Blütenstands sind bereits einige Arthropoden-Arten geschlechtsreif. Ähnlich wie der Aronstab, haben sich diese Insekten kurz nach der Winterruhe hauptsächlich damit beschäftigt die aufgebrauchten Energiereserven wieder aufzufüllen, so z. B. mit frischem Grün oder mit den sich zersetzenden organischen Komponenten aus ihrem Lebensraum. Danach sind sie entweder auf der Suche nach ihren Geschlechtspartnern und/oder nach optimal geeigneten Plätzen für ihre Eiablage. Das „Blue-Sky-Luxushotel“ am Waldesboden hat geöffnet.

Wie viele und welche Gäste besuchen dieses „Hotel“? Welche Art der Werbung und Investitionen tätigt der „Hotelier“, welchen Nutzen zieht er daraus und wie ist letztendlich auch die Antwort auf die Frage nach der geographischen Lage des „Hotels“ einzuschätzen? Derartige Fragen erregen unser Interesse und waren Gegenstand der nachfolgenden Untersuchungen.

Abb. 2 Die fertigen Laubblätter des Gefleckten Aronstabs im April noch vor dem Erscheinen der Blütenstände.



Die Pflanzenart: Der Gefleckte Aronstab

Der Gefleckte Aronstab ist Namensgeber für eine Familie einkeimblättriger Pflanzen mit ca. 2500 Arten, den Aronstabgewächsen (*Araceae*). Ein gemeinsames Merkmal der *Araceae* ist der von einem insgesamt flachen oder flach-kesselförmigen Hochblatt umgebene Blütenkolben. Zu ihnen gehören einige Vertreter tropischer Gebiete mit sehr auffälligen und z. T. äußerst farbenprächtigen Hochblättern, so zum Beispiel die Flamingoblume (*Anthurium*), die Blattfahne (*Spathiphyllum*) und die Titanenwurz (*Amorphophallus titanum*) mit ihren bis zu 200 cm hohen Blütenständen. Einige der selten, weil spät blühenden „Grünpflanzen“ auf den

Fensterbänken der Büros und Wohnanlagen, so z. B. das Fensterblatt (*Monstera*), *Dieffenbachia*, *Scindapsus* und *Philodendron*, gehören genauso dazu. Die seltene einheimische Schlangenzunge (*Calla*) wächst auf nassen Torfschlammböden, und die mediterrane Drachenwurz (*Dracunculus*) mit ihrer purpurroten, schwarz schimmernden Spatha runden das Spektrum bekannterer Aronstabgewächse ab. Genannt werden muß noch „Taro“ (*Colocasia esculenta*), eine wichtige, weil Stärke liefernde Nutzpflanze der Tropen (SITTE et al. 1998; FROHNE & JENSEN 1998).

Die Blütenstände von *Arum maculatum* gehören zu den Täuschblumen (LÜTTGE et al. 2005). Die im oberen Teil blass-gelbe Spatha bildet im unteren Teil einen bauchigen Kessel mit einer engen Öffnung, durch die der an seinem Grund entspringende Blütenkolben (Spadix) hindurch tritt (Abb. 3, 4, 5). Dieser im Kessel steckende Teil, ist an seiner Basis mit mehreren Kreisen weiblicher Blüten bestückt. Die Narben sind sitzend. Darüber folgen mehrere Kreise männlicher Blüten mit jeweils 3–4 Staubblättern. Die Staubbeutel sind ebenfalls sitzend und springen bei der Reife mit eiförmigen Löchern auf. Beim Gefleckten Aronstab wird die Narbe vor der Pollenreife empfängnisfähig, und sie ist bereits vertrocknet, wenn der eigene Pollen reif ist; auf diese Weise wird eine Selbstbestäubung ausgeschlossen. Über den weiblichen und männlichen Blüten liegen jeweils sterile Blüten mit Borsten deren Spitzen zum Kesselgrund hinweisen und somit eine Art Reuse bilden (Abb. 4, 5). So können kleinere Tiere zwar problemlos in den Kessel gelangen, die nach innen gerichteten Borstenhaare verhindern jedoch, dass sie entweichen können (BENZ 1998). Der Blütenkolben ist an seinem oberen Ende zu einer

Abb. 3 Empfangsbereiter Blütenstand mit reifer, helmförmiger Spatha.



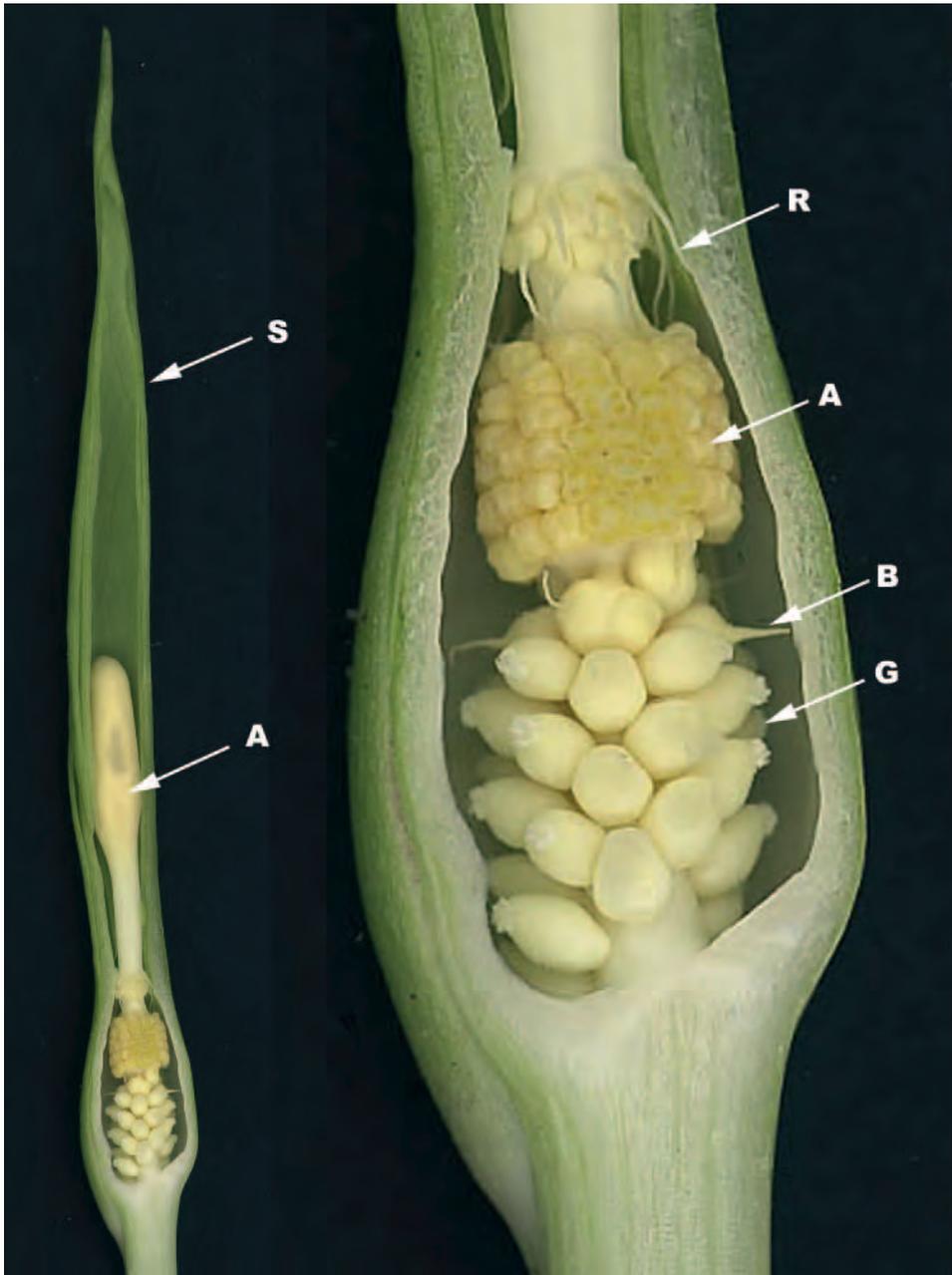


Abb. 4 Reifender Blütenstand des Aronstabs mit längs aufgeschnittener Spatha. Der obere Teil der Spatha (links) um den noch hellgelben und somit unreifen Appendix (A) ist noch tütenförmig zusammengerollt (S). Die Ausschnittvergrößerung (rechts) zeigt die zurück gekrümmten Reusenhaare (R) am Kesselhals,

den männlichen Blütenstand (A), die sterilen, waagrecht abstehenden Borstenhaare (B) und den weiblichen Blütenstand mit den rundlichen Fruchtknoten und den Narben mit ihren Haarbüscheln (G). Alle Teile sind hellgelb/weißlich gefärbt, als Indiz dafür, dass sie noch nicht ausgereift sind.



Abb. 5 Blick in die Kesselfalle eines reifen Aronstab-Blütenstands mit seinen Bestäubern.

nackten, braun-violetten oder grünlichen Keule (Appendix) verdickt, die dem helmförmigen Hochblatt gegenüber liegt (Abb. 3, 4). Die obere Hälfte der Spatha öffnet

sich nachts, wodurch der Appendix freigelegt wird (Abb. 3). Für pflanzliche Verhältnisse ist im Kolben die Atmungsaktivität extrem hoch. Anders als sonst wird

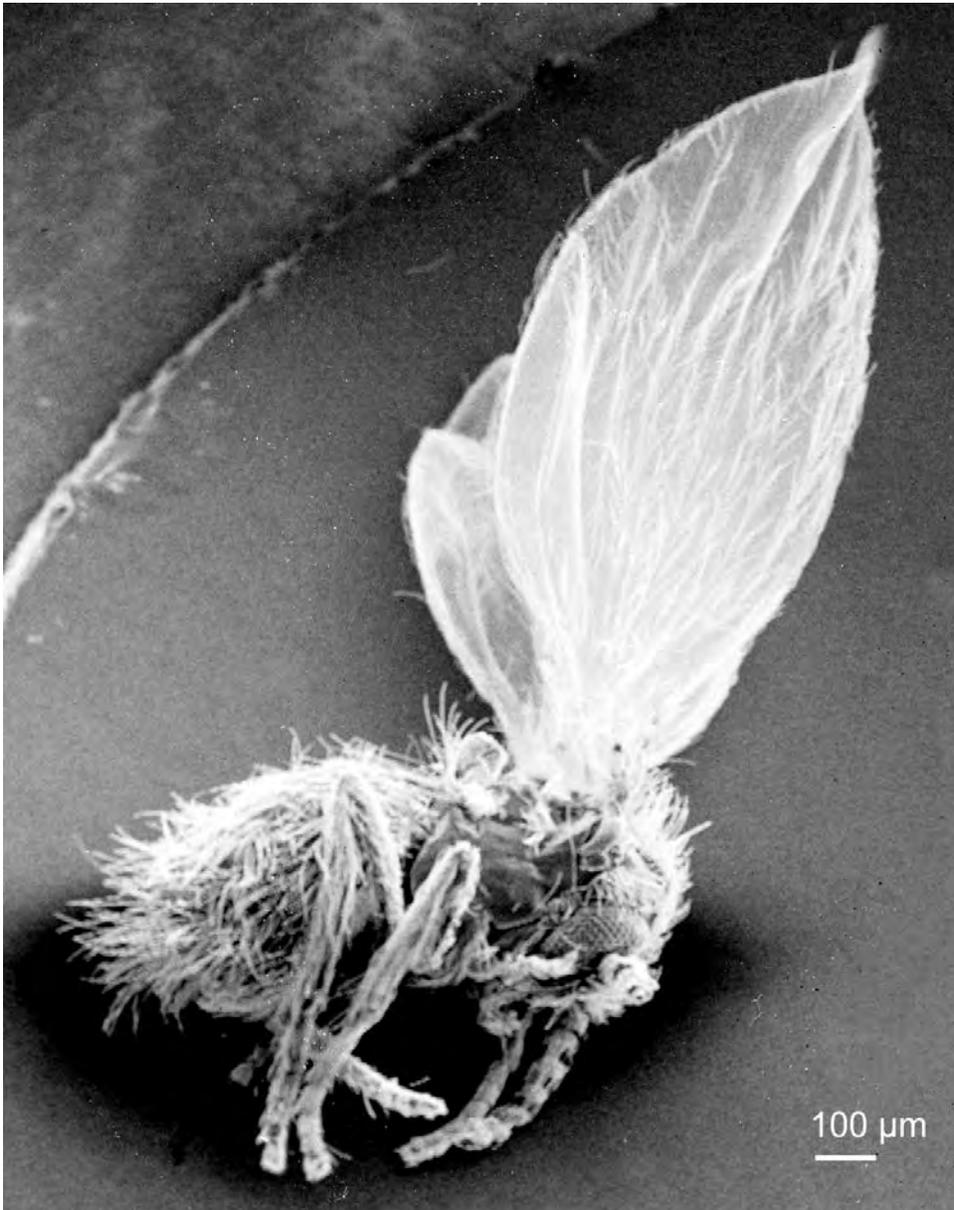


Abb. 6 Sekundär-Elektronenbild (SE) des wichtigsten Bestäubers des Aronstabs, der Schmetterlingsmü-

ckenart *Psychoda phalaenoides* L. Charakteristische Merkmale sind die pelzig behaarten Körperteile.



Abb. 7 Befruchteter Blütenstand des Aronstabs in der ersten Maihälfte; Spatha aufgeschnitten. Der obere Teil der Spatha erscheint flach und welk. Der Hals des oberen Kesselrands ist deutlich erweitert, die Reusenhaare sind erschlafft und geben

die Verbindung zwischen Kessel und Außenwelt frei. Die Staubblätter sind braun und runzlig und auf den wachsenden Früchten erkennt man die vernarbten Ansatzstellen der ehemaligen Narbenhaare als braune Flecken.



Abb. 8 Zwei Fruchtstände des Aronstabs mit reifen Beerenfrüchten im Juli.

die Atmungsenergie nicht für Synthesen genutzt, sondern nur zur Erzeugung von Wärme. Und so kommt es, dass sich dabei der Appendix auf etwa 30 °C erwärmt und so das Verdampfen der dort produzierten, nach Aas riechenden Amine, wie z. B. Putrescin und Isobutylamin begünstigt (HARBORNE 1995; SEYMOUR 1997). Der intensive Aas-/Fäkalgeruch seinerseits lockt offensichtlich bestimmte Arthropoden an. Diese Tiere landen meist auf dem Hochblatt, welches so glatt ist, dass sie darauf keinen Halt finden können und rutschen bald durch den Kesselhals und die darunter liegenden Reusenhaare in Richtung Kesselgrund (Abb. 5; BERTSCH 1975; KNOLL 1926). Die Epidermis der inneren Kesselwand ist zu dieser Zeit mit kleinen Öltröpfchen benetzt, sodass die Arthropoden letztlich auf dem Kesselboden ausharren müssen. Die Narben der weiblichen Blüten am Kesselgrund sondern ein zähflüssiges Sekret ab, wo der von den Arthropoden mitgebrachte Fremdpollen festkleben kann. Dieses klebrige Narbensekret fördert einerseits die Keimfähigkeit des Pollens, andererseits dient es auch den gefangenen Arthropoden zur Nahrung (BERTSCH 1975; DIAZ & LACK 1991). Nach erfolgter Befruchtung platzen noch während derselben Nacht die männlichen Blüten auf und bedudern die gefangenen Arthropoden auf dem Kesselgrund mit dem eigenen, frischen Pollen. Sodann verschwinden die Öltröpfchen auf der Epidermis und der Appendix stellt die Produktion und Versendung seiner Lockstoffe ein. Die Reusenhaare und der Kolben im Bereich der Engstelle sowie auch die helmförmige Spatha werden welk, sodass die gefangenen Arthropoden jetzt ungehindert den Blütenstand verlassen dürfen (Abb. 7). Offenbar war der Aufenthalt in der Kesselfallenblüte des Aronstabs für die Arthropoden eine „angenehme Erfahrung“, weshalb

sie bald, vielleicht auch nur um die nächste Nacht wieder in wohliger Umgebung zu verbringen, einen neu eröffneten Blütenstand aufsuchen werden. Denn inzwischen sind ca. 24 Stunden vergangen und ein neuer Blütenstand hat sich bereits auf Arthropoden-Besuch vorbereitet.

Regelmäßige Gäste sind unter anderem die Schmetterlingsmücken (*Psychodidae*), die zur Ordnung der Zweiflügler (*Diptera*) gehören, die auch die Mücken (*Nematoce-
ra*) mit einschließt. Ihre 1 bis 5 mm langen Körper und Flügel sind stark behaart und dienen so zum Schutz vor Benetzung in ihrem fakalreichen und deshalb ständig feucht/klebrigen Lebensraum (Abb. 5, 6). Die verhältnismäßig großen Flügel werden in Ruheposition leicht angehoben, dachförmig auf den Rücken gelegt und

geben so den Tieren das Aussehen winziger Schmetterlinge. Die Weibchen der häufig vorkommenden Art *Psychoda phalaenoides* L. (Abortfliege) werden durch fäkal- und urinähnliche Gerüche angelockt, da sie ihre Eier bevorzugt in Kot ablegen. Deshalb ist es nicht überraschend, dass sie oft in den ähnlich „duftenden“ Blütenständen des gefleckten Aronstabs zu finden sind und als seine wichtigsten Bestäuber gelten (JACOBS & RENNER 1998; GIBERNAU 2003). Im Frühsommer entwickeln sich aus den befruchteten weiblichen Blüten am Kolben eiförmige, zuerst grüne, dann scharlachrote, glänzende Beeren, die dicht gedrängt stehen (Abb. 8), die anderen Bestandteile des Blütenstandes sterben ab (HEGI et al. 1931).

Material und Methoden

a) Einsammeln der Blütenstände, Bestimmung der Tiere und Individuenzahlen

Untersucht wurden die Blütenstände des Gefleckten Aronstabs (*Arum maculatum* L.) aus drei verschiedenen Blühperioden (2003–2005). Dazu wurden überwiegend „reife“ Blütenstände an 8 verschiedenen Standorten in der Umgebung des Stadtkerns der Landeshauptstadt Hannover entnommen (Tab. 1). Während für die morphologisch-histologischen Untersuchungen nur wenige Blütenstände unterschiedlicher Reifestadien genommen wurden, diente die überwiegende Anzahl an gesammelten, reifen Blütenständen dazu, die darin vorkommenden Tierarten zu bestimmen und ihre Individuenzahl festzustellen. Für den Transport ins Labor wurden sicherheitshalber die Öffnungen der

Blütenstände mit einem Klebeband verschlossen, um ein Entkommen der darin gefangenen Tiere zu verhindern. Im Labor wurde die Spatha mit einer Schere vorsichtig geöffnet und durch leichtes Verbiegen der Reusenhaare festgestellt, ob Arthropoden in der Falle waren. Um vorhandene Arthropoden zu inaktivieren bzw. abzutöten wurde der Kessel durch die Reuse hindurch mit 70-%igem Ethanol ausgespült. Danach wurden die Individuen ausgezählt und die Arten bestimmt. Als Hilfsmittel dienten eine 16/40-fach vergrößernde Stereolupe und das Bestimmungsbuch „Bromer-Fauna von Deutschland“ (SCHAEFER 2000).

Tab.1 Entnahmepunkte der Blütenstände von *Arum maculatum* L. und charakteristische Standortparameter im Bereich der Landeshauptstadt Hannover.

Standort	Beschreibung
Gaim Nähe A7 bei der Raststätte Wülferode	Feuchter Eichen-Hainbuchenwald Dominierende Pflanzenarten: <i>Luzula</i> -Arten (Hainsimsen), <i>Galium odoratum</i> L. (Waldmeister), <i>Urtica dioica</i> L. (Große Brennnessel), <i>Anemone nemorosa</i> L. (Buschwindröschen)
Bockmer Holz nördlicher Teil in Richtung Kronsberg	Feuchter Eichen-Hainbuchenwald Dominierende Pflanzenarten: <i>Aegopodium podagraria</i> L. (Giersch), <i>Galeobdolon luteum</i> HUDS. (Goldnessel), <i>Rubus fruticosus</i> agg. L. (Brombeere), <i>Urtica dioica</i> L. (Große Brennnessel)
Tiergarten südwestlicher Bereich	Sehr feucht. Eichen, Hainbuchen, Kastanien (Aronstab meist auf Rasenfläche frei stehend)
Benther Berg Waldstück zw. Badenstedt und Benthe	Sehr feuchter Eichen-Hainbuchenwald Dominierende Pflanzenarten: <i>Urtica dioica</i> L. (Große Brennnessel), <i>Aegopodium podagraria</i> L. (Giersch), <i>Leontodon spec.</i> , <i>Taraxacum officinale</i> WIGGERS (Löwenzahn), <i>Sambucus nigra</i> L. (Schwarzer Holunder)
Bornumer Holz	Feuchter Eichen-Hainbuchenwald Dominierende Pflanzenarten: <i>Urtica dioica</i> L. (Große Brennnessel), <i>Galeobdolon luteum</i> HUDS. (Goldnessel), <i>Aegopodium podagraria</i> L. (Giersch), <i>Anemone nemorosa</i> L. (Buschwindröschen)
Eilenriede Nähe „Alte Bult“	Mäßig feucht. Eichen, Hainbuchen, Eschen, Birken Dominierende Pflanzenarten: <i>Aegopodium podagraria</i> L. (Giersch), <i>Urtica dioica</i> L. (Große Brennnessel), <i>Rubus fruticosus</i> agg. L. (Brombeere), <i>Anemone nemorosa</i> L. (Buschwindröschen)
Seelhorst östlich der B6	Feucht. Eichen, Hainbuchen, Eschen, Ahorn Dominierende Pflanzenarten: <i>Urtica dioica</i> L. (Brennnessel), <i>Anemone nemorosa</i> L. (Buschwindröschen), <i>Luzula</i> -Arten (Hainsimsen), <i>Galeobdolon luteum</i> HUDS. (Goldnessel)
Kirchrode „Westfalenhof“, TiHo-Gelände am Bünteweg	Mäßig feucht. Parkanlage mit Rotbuchen-, Eichen- und Koniferenbestand. Häufig vertretene Kräuter: <i>Urtica dioica</i> L. (Brennnessel), <i>Galeobdolon luteum</i> HUDS. (Goldnessel), <i>Galium odoratum</i> L. (Waldmeister)

b) Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Es wurden insgesamt 4 Blütenstände unterschiedlichen Reifezustandes in jeweils 2×10 Teilstücke zerlegt, die bei den nachfolgenden Prozessen separat behandelt wurden. Die Positionen innerhalb des Blütenstands, wo die Proben entnommen wurden, sind in Abb. 9 mit grau unterlegten Ziffern markiert. Die abgetrennten Teile des Blütenstands wurden sofort für 2 Stunden in eine gepufferte Fixierungslösung gebracht (2 % Glutaraldehyd in 25 mmol/l Piperazin-NN-bis-Ethansulfonsäure-Dinatriumsalz; pH 6,8; Roth, Karlsruhe). Anschließend wurden die Gewebe dreimal für jeweils 30 Minuten mit Pufferlösung gewaschen und dann für 2 Stunden in einer gepufferten (pH 6,8) 1-%igen Osmiumtetroxid-Lösung (OsO_4) nachfixiert. Die Proben wurden danach dreimal in Abständen von 30 Minuten mit destilliertem Wasser gewaschen und schrittweise mit Aceton entwässert: 10 % über Nacht dann 20 %, 30 %, 50 %, 70 % und 80 % für jeweils eine Stunde. Letztere Konzentration diente außerdem für eine Aufbewahrungsdauer von bis zu einigen Monaten bei 4 °C im Kühlraum. Die endgültige Trocknung erfolgte mit der Erneuerung der zuletzt erreichten Acetonstufe für 1 bis 2 Stunden und danach für je 1 Stunde in 90 % und 100 % Aceton. Vor der Trocknung über den kritischen Punkt des CO_2 wurden die Proben nochmals mit „getrocknetem“ Aceton (Molekularsiebtrocknung) restlos wasserfrei gemacht. Die Kritisch-Punkt-Trocknung erfolgte in einer regelbaren Druckkammer (Polaron, Watford, England) zunächst durch Austausch von Aceton gegen flüssiges CO_2 . Der kritische Punkt des ausgetauschten CO_2 (31 °C / 73,8 bar) wurde in der Apparatur bei einer gewählten Heiztemperatur von 38 °C deutlich überschritten. Bei den sich dann einstellenden Temperatur-/

Druckbedingungen wurde das gesamte CO_2 vorsichtig aus der Kammer abgelassen ohne, dass es dabei zur Rekondensation des CO_2 kam. Die so getrockneten Proben wurden dann auf spezielle Al-Objektträger mit graphithaltigen Klebefolien (Leitabs; Plano GmbH, Wetzlar) fixiert, für 3 Minuten bei 10–15 mA in einer Argon-Flamme mit Gold beschichtet (Hummer V; Technics, München) und bis zur Mikroskopie über trockenem Silica-Gel im Exsikkator aufbewahrt. Die morphologischen Untersuchungen der Probenoberflächen erfolgten in der Probenkammer eines Rasterelektronenmikroskops (Etec-Autoscan; Hayward, Calif. U.S.A.). Die benutzten Beschleunigungsspannungen waren 12,5/20 kV, der Restdruck in der Säule 2×10^{-5} Torr, der Strahlstrom 175 μA , der Arbeitsabstand 12–15 mm. Die gewählte Objektivblende hatte einen Durchmesser von 200 μm . Die fotografischen Aufnahmen der Sekundärelektronenbilder (SE) wurden mit einer 6x9 Rollfilmkamera (Linhoff) auf schwarz/weiß Rollfilm (Ilford Pan F) angefertigt, für 10 Minuten in der Dunkelkammer (ohne Sicherheitslicht!) entwickelt (Rodinal, Agfa, Leverkusen), anschließend für 20 Minuten fixiert (Tetenal, Norderstedt) und für 30 Minuten unter fließendem Leitungswasser gespült. Um Kalkflecken zu vermeiden, wurden die entwickelten Filme mit dem Reinigungsmittel „Mirasol“ (Tetenal, Norderstedt) kurz gespült und dann für ca. 1 Stunde bei 30 °C im Umluft-Trockner getrocknet. Von den Negativen wurden entweder in der Dunkelkammer Vergrößerungen (Papierabzüge) angefertigt oder die Negative wurden mit einem Durchlicht-Flachbettscanner (ScanMaker 5; Microtek, Taiwan) digitalisiert und mit einem Bildverarbeitungsprogramm (Photoshop 7.0; Adobe) auf einem Rechner (Windows XP; Microsoft) in die endgültige Fassung gebracht.

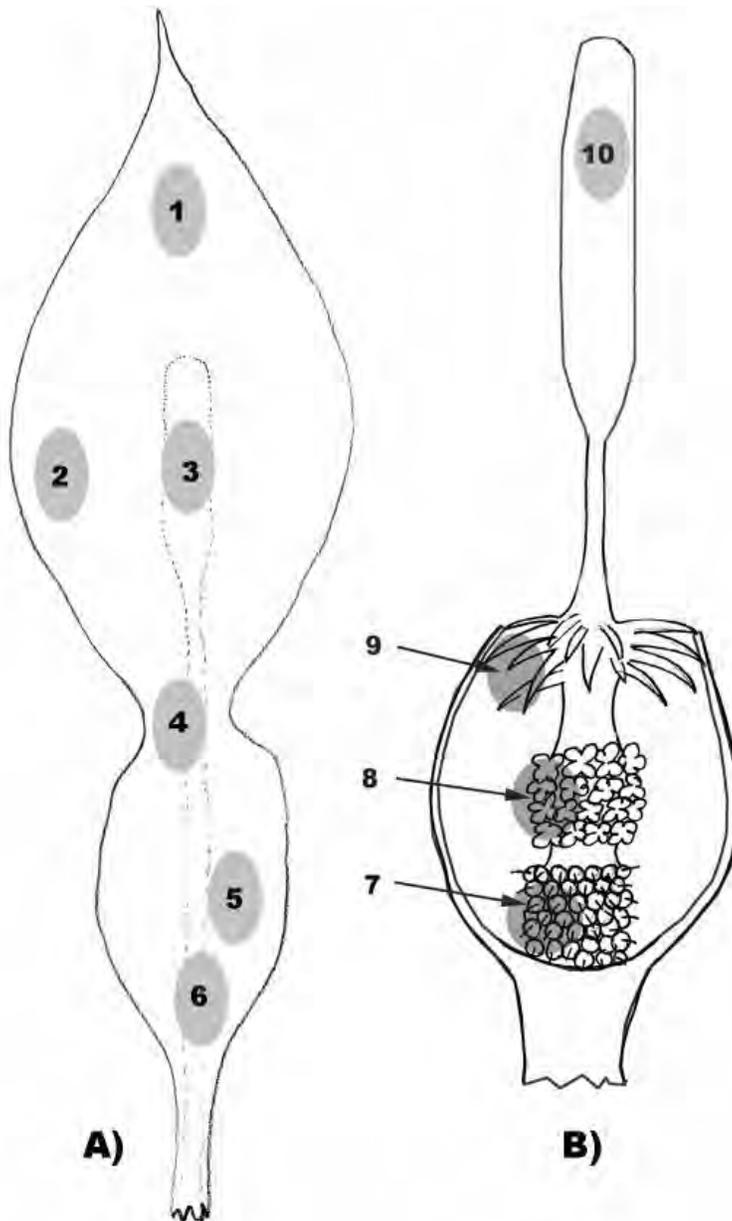


Abb. 9 Bereiche der Probenentnahme im Blütenstand des Aronstabs für die raster-elektronenmikroskopischen Untersuchungen. Bei der Spatha wurden sowohl die dem Spadix zugewandte adaxiale, als auch die dem Spadix abgewandte abaxiale Seite untersucht.

A) Gewebe des Hüllblattes (Spatha) mit Orientierung zur Lage des Kolbens (Spadix).

1-3: Helm der Spatha; 4: Kesselhals; 5-6: Kesselwand.

B) Gewebe des Kolbens (Spadix).

7: weiblicher Blütenstand; 8: männlicher Blütenstand (Staubblätter); 9: Reusenhaare; 10: Keule (Appendix). Anm.: Die sterilen Borstenhaare zwischen 7 und 8 wurden nicht eingezeichnet.

Ergebnisse und Diskussion

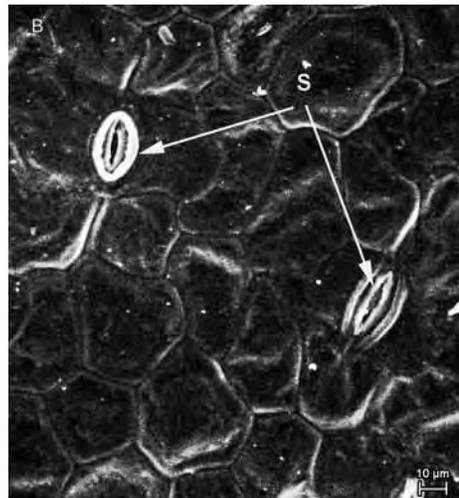
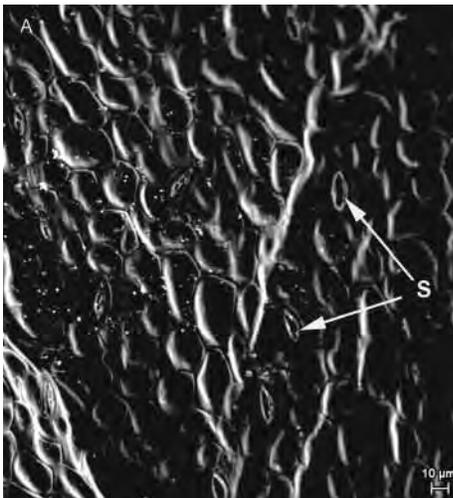
Sobald die ungeöffnete, spitz aufgerollte Spatha anhand ihrer charakteristischen Verdickung am Grunde die Entwicklung einer Infloreszenz verrät, kann man nach vorsichtigem Aufschneiden in Längsrichtung die charakteristische Anordnung ihrer noch hellgelb aussehenden Bestandteile erkennen (Abb. 4). Besonders eng erscheint dabei die Halsregion des noch relativ schlanken Kessels. Dabei weisen die Reusenhaare im Halsbereich immer in Richtung Kesselboden. Diese Vorzugsrichtung der Haare könnte so entstanden sein: Der Spadix mit den Reusenhaaren streckt sich erst nachdem das Längenwachstum des Kessels abgeschlossen ist; danach beginnt auch der Kolben (Spadix) sich zu strecken wobei der Teil mit den Reusenhaaren durch den bereits fertigen Schlund des Kessels geschoben wird, mit dem Ergebnis, dass die Spitzen der Reusenhaare in Richtung auf den Kesselboden zeigen. Setzt nun die Umfangserweiterung

des Kessels ein, veranlasst der Binnendruck (Turgor) die Haarzellen dazu den sich bildenden Zwischenraum zwischen Spadix und Spatha auszufüllen, wegen ihrer Länge bleiben sie jedoch mit der Wand in Berührung, und folglich werden sie in Richtung Kesselgrund abgebogen. Die sterilen Borstenhaare oberhalb des weiblichen Blütenstandes (B in Abb. 4) werden bei der Umfangserweiterung der Kesselwand anscheinend genauso durch ihren Binnendruck gestreckt. Weil diese Haare aber kürzer als die Reusenhaare sind, berühren sie im gestreckten Zustand nicht die Innenwand des Kessels, sondern weisen meist senkrecht darauf und lassen oft sogar einen kleinen Spalt zwischen Wand und Haarspitze frei.

Die Spaltöffnungen (Stomata) sind nur auf der abaxialen Seite, d. h. der morphologischen Blattunterseite der Spatha, zu finden (Abb. 10). Daneben gibt es auf der Blattunterseite neben rundlichen auch

Abb. 10 Ansichten der abaxialen Spatha-Oberflächen mit Spaltöffnungen (S), was der morphologischen Blattunterseite entspricht.

- A) Außenansicht der Spatha-Oberfläche im Helmbereich.
B) Außenseite des Kessels.



noch längliche Epidermiszellen, wobei die letzteren in ihrer Gesamtheit den Verlauf der darunter liegenden Leitungsbahnen markieren (Abb. 10A). Auf der morphologischen Blattoberseite, nämlich der adaxialen Seite, findet man nur gleich gestaltete, so genannte isodiametrische Epidermiszellen

(Abb. 10B). Bei den Spatha-Geweben aus der Kesselhalsregion (Punkt 4 in Abb. 9) sind häufig Zellen zu sehen, bei denen der zentrale Wandbereich etwas blasenartig gewölbt ist (Pfeile in Abb. 11). Dabei handelt es sich wahrscheinlich um die frühe erkennbare Entwicklungsstufe für eines



Abb. 11 Die adaxialen Ansichten von der Spatha-Oberfläche (ohne Stomata) entsprechen der morphologischen Blattoberseite.

A) Übersicht vom Helmbereich (Entnahmepunkt 3 in Abb. 9).

B) Die zentralen Bereiche der Wände sind blasig aufgewölbt (Pfeile).

Abb. 12 SE-Aufnahmen von Papillenhaaren am Kesselhals (A) und im oberen Teil des Kessels (B). Die Pfeile deuten in Richtung Kesselgrund.

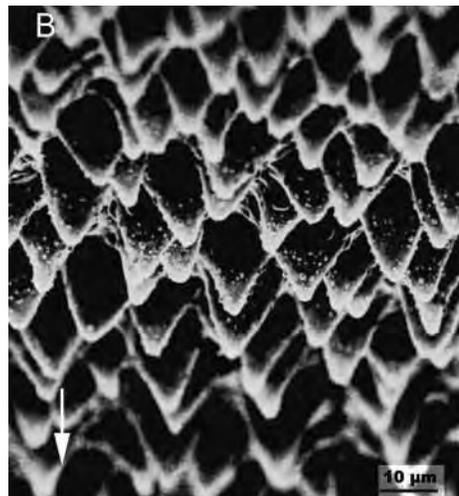
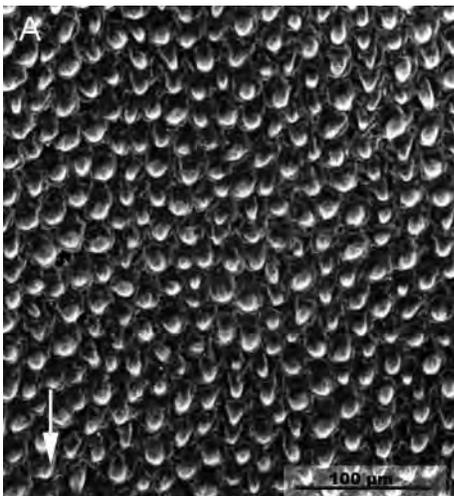


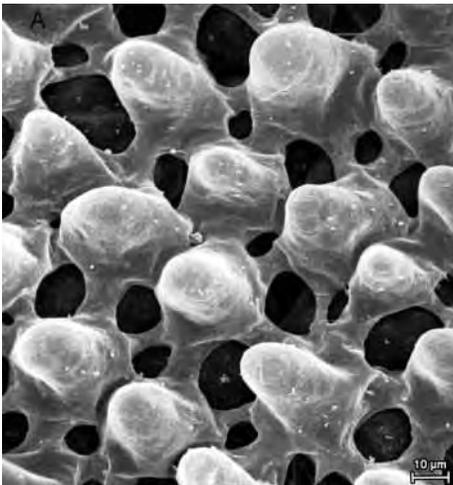


Abb. 13 Ansicht von der adaxialen Oberfläche der Spatha in der unteren Kesselregion (Entnahmepunkt 6 in Abb. 9) mit den Papillenhaaren der Lückenepidermis. Der Pfeil deutet in Richtung Kesselgrund.

Abb. 14 Detailaufnahmen von der Lückenepidermis.

A) Übersicht; die zu Papillenhaaren ausgewachsenen Epidermiszellen stehen durch schlanke Zellfortsätze untereinander in Verbindung. Zwischen den Zellfortsätzen erkennt man die Interzellularräume als Lücken, die mit dem Interzellularen der inneren Blattgewebe (Mesophyll) ein Kontinuum bilden.

B) Blick durch eine Interzellulare der Epidermis ins Blattinnere.



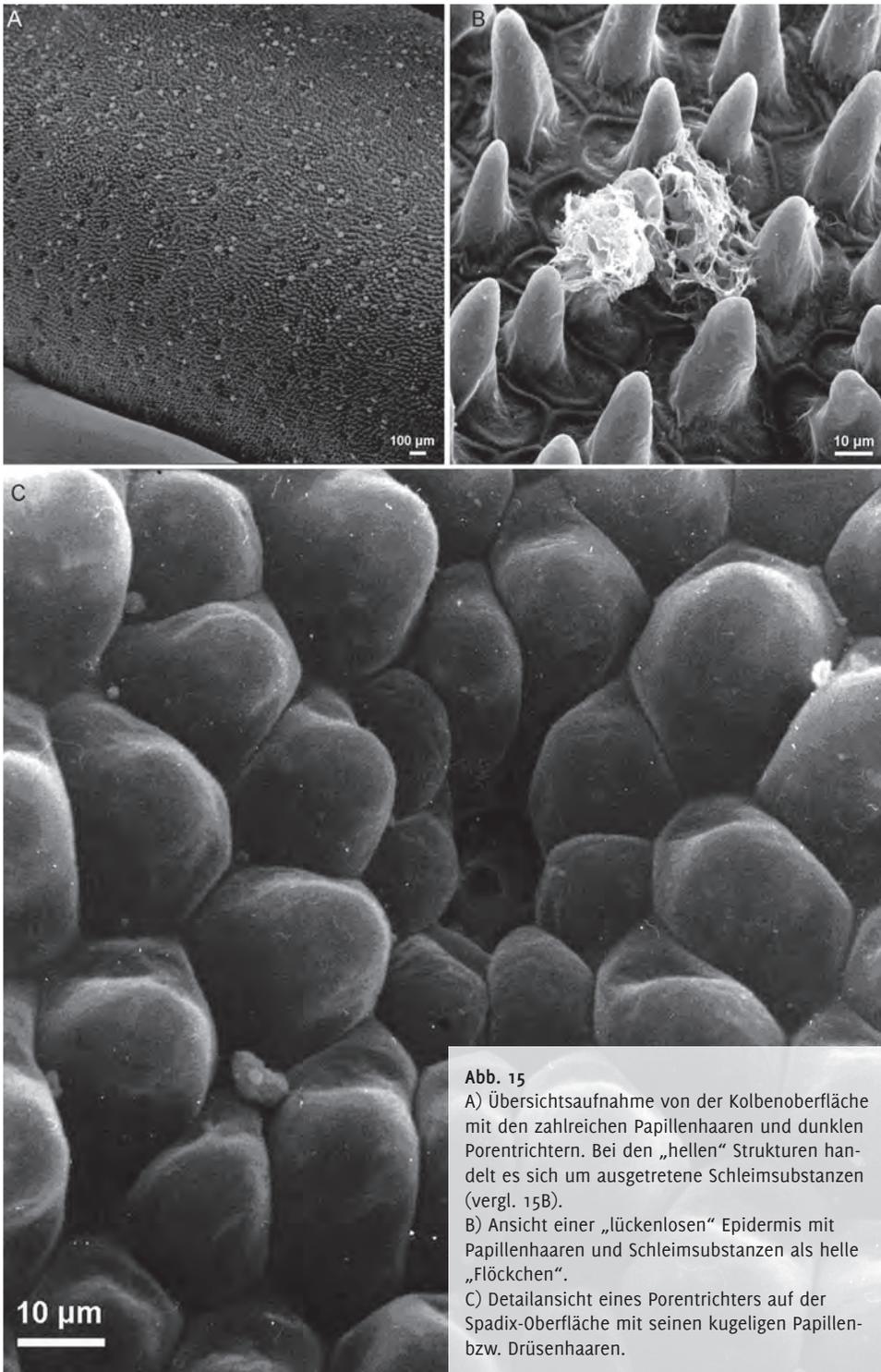
der später zahlreichen Papillenhaare. Die Wölbung entsteht offenbar durch lokal gefördertes Wachstum im zentralen Bereich der Außenwand einer Epidermiszelle. Derartige Strukturen findet man erstmals im mittleren Teil der oberen Spatha (Entnahmepunkt 3 in Abb. 9) während ihre endgültige Form am Kesselhals und bei der tiefer liegenden Innenwand des Kessels zu sehen ist (Abb. 12). Besonders charakteristisch sind die spitzkegeligen Zellwandfortsätze, die mit ihren Spitzen stets in Richtung Kesselgrund zeigen (Abb. 12, 13). Die Gleitzzone im Innern der Fangblätter carnivorer Pflanzen, u. a. bei *Sarracenia*, ist mit ähnlich gestalteten Zellen ausgerüstet; auch dort sollen sie die Flucht gefangener Insekten verhindern (SITTE et al., 1998; LÜTTGE et al., 2005; SLACK, 1985). Bei *Arum* sind diese Papillenhaare in ihrer ausgereiften Form sowohl im Kesselgrund in Verbindung mit einer Lückenepidermis (Abb. 13, 14) aber auch als Strukturen eines lückenlosen Abschlußgewebes auf dem Kolben zu finden (Abb. 15B). Im Falle des Kolbens dienen sie wahrscheinlich der Oberflächenvergrößerung für die

Verbreitung der Lockstoffe. Diese werden in den kugeligen Drüsenzellen produziert und anfangs in den Porentrichtern angehäuft (Abb. 15A, C). Mit zunehmender Produktion in Verbindung mit der vertikalen Lage werden auch die Papillenhaare (Abb. 15B) mit den Sekreten benetzt. Durch die stoffwechselbedingte Wärmeproduktion der Spadixzellen werden diese großflächig verteilten Lockstoffe schließlich verdampft und in die Atmosphäre abgegeben (HESS, 1983; RICHTER, 1998). Im Falle des Kesselbodens und in Kombination mit der Lückenepidermis zielt die Funktion dieser Haare wahrscheinlich in eine etwas andere Richtung: Hier könnten nämlich die Papillenhaare dazu beitragen die Erwärmung des Kesselinnenraumes zu fördern. Die zahlreichen Interzellularverbindungen zwischen Mesophyll und Kesselraum erscheinen durchaus in der Lage zu sein, den Wärmefluss in Richtung Kesselinnenraum zu verbessern (KNOLL, 1926). Im Hinblick auf das Hotel Aronstab ließe sich daraus eine Form biologischer Fußbodenheizung ableiten. Anders als am äußeren Kolben, wo die flüchtigen „Lockstoffe“ in die Atmosphäre abgegeben werden, können flüchtige Substanzen den Kessel nur schwer verlassen. So können Substanzen, die im unteren, wärmeren Teil des Kessels verdampft werden, bereits im oberen, etwas kühleren Teil rekondensieren. Die Kondensate wiederum, laufen über die Papillenhaare der Kesselwand gerichtet zum Boden ab, wo sie großflächig zerfließen und an den „heizenden“ Mesophyll- und Epidermiszellen relativ rasch wieder verdampft werden. Ein Indiz dafür ist, dass die Papillenhaare ständig mit Öltröpfchen geschmiert werden, wodurch das Abgleiten der Arthropodenfüße von den Wänden deutlich begünstigt wird (KNOLL, 1922; BERTSCH, 1975). Es wäre auch vorstellbar, dass diese Dämpfe aus ätherischem

Öl außerdem stimulierend auf die Gäste wirken, weshalb sie gerne und freiwillig in ihrem „Gefängnis“ bleiben, bzw. nach ihrer Freilassung sehr bald in ein neues einkehren, wodurch diese „Kesselfalle“ eigentlich erst zum „Hotel“ wird. Im Hinblick auf die Funktion der Papillenhaare ließe sich zusätzlich auch der Aspekt einer Nährstoffresorption ablesen wobei hauptsächlich wasserlösliche Stickstoffverbindungen, z. B. aus den Exkrementen der Blütenbesucher, in Frage kämen. Dies wäre neben dem Fangprinzip eine zweite Analogie zu den fleischfressenden Pflanzen, die ihre Blätter für ihre spezielle Stickstoffernährung zu Kesselfallen umgewandelt haben (BARTHOLOTT et al., 2004).

Auf dem Kesselboden findet man erwartungsgemäß eine größere Anzahl von Pollenkörnern, wobei die Frage nach ihrer Herkunft hier nicht untersucht wurde. Die äußere Hülle der Aronstabpollen ist stark warzig und verbessert dadurch die Oberflächenhaftung. Überraschend ist die enorme adhäsive Wirkung des Pollenkitts. Denn durch die anfangs gründliche Behandlung der frischen Proben mit den verschiedensten Lösungsmitteln bzw. Chemikalien bei der Fixierung und Entwässerung wurden die Pollen nicht gewaschen, sondern es blieben zahlreiche, miteinander verklebte Pollenkörner auf dem Kesselgrund haften (Abb. 16). Die rasterelektronenmikroskopische Außenansicht der aus jeweils vier Pollensäcken (Theken) bestehenden Staubblätter ist in Abb. 17 zu sehen. Die Epidermiszellen sind lückenlos miteinander verbunden, weshalb sie pflasterartig erscheinen. Vereinzelt findet man auch Stomata, womit sich die Abstammung dieser Staubblätter von hypostomatischen Laubblättern belegen lässt (Abb. 17B).

An der Basis des Spadix stehen in spiraler Anordnung die weiblichen Blüten (G in Abb. 4). Sie sind hüllenlos und bestehen



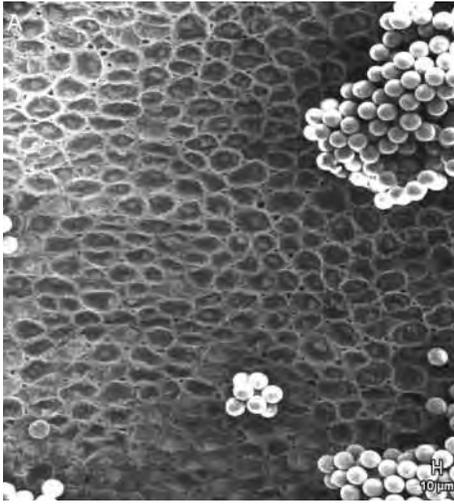
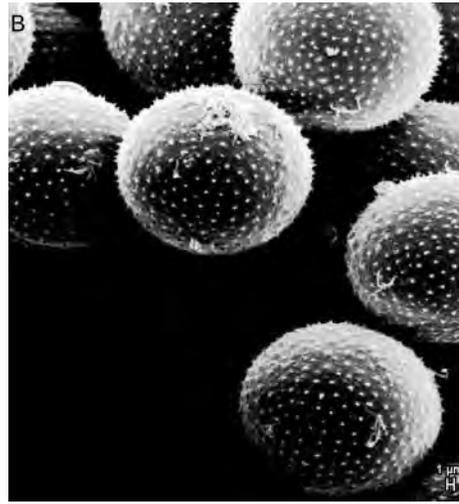


Abb. 16

A) Aufsicht auf die Epidermiszellen im Kesselgrund (= adaxiale Seite der Spatha). Die Interzellularräume, d.h. die Lücken zwischen den Zellen und die Papillen sind weniger ausgeprägt als in den



darüber liegenden Wandregionen (vergl. Abb. 14). Pollencluster sind auf dem Kesselgrund verstreut. B) Detailaufnahme der Pollenkörner von *A. maculatum* mit ihrer warzig/rauen Oberfläche.

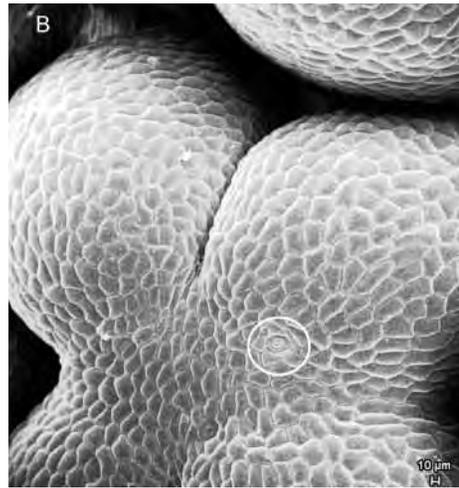
aus je einem einzigen Fruchtblatt dessen Ovar (Fruchtknoten) nur wenige Samenanlagen enthält. Die Narbe ist ungestielt, weshalb nur ein Büschel rundlich röhrenförmiger Narbenhaare am apikalen Pol des Fruchtblattes zu erkennen sind (Abb. 18).

Das unbestritten interessanteste Phänomen des Aronstabblütenstandes ist die starke Wärmeentwicklung in Appendix und Blütenkessel. BERMADINGER-STABENTHEINER und STABENTHEINER (1995) untersuchten mittels Infrarot-Thermographie die zeitliche Dynamik sowie die räumliche Verteilung der Wärmeproduktion im Blütenstand von *Arum maculatum* L.. Dabei entdeckten sie zwei Zentren für die Wärmeproduktion, nämlich den Appendix und die sterilen männlichen Blüten (Reusenhaare). Außerdem konnten sie drei verschiedene „Erwärmungsphasen“ feststellen, die hintereinander in einem Zeitraum von 24 Stunden ablaufen. Demnach beginnt die Blühphase des *Arum maculatum*

L., nicht wie ursprünglich angenommen, erst mit der Entfaltung der Spatha und der Erwärmung des Appendix, sondern schon vorher, sobald die sterilen Blüten mit der Wärmeentwicklung beginnen. In dieser ersten Erwärmungsphase erreichen die Temperaturen ähnliche Werte wie der Appendix in der zweiten Phase, nämlich bis zu 40 °C. Vermutlich initiiert die Wärmeentwicklung im geschlossenen Blütenstand erst seine Öffnung. Die Erwärmung des Appendix stellt die zweite Phase dar und beginnt kurz nach der vollen Entfaltung der Spatha. Dadurch wird der Fäkalgeruch verströmt und Arthropoden werden angezogen. Die dritte Erwärmungsphase geht erneut von den sterilen Blüten aus und löst vermutlich das Aufplatzen der Pollensäcke aus. Zu diesem Zeitpunkt hat die Bestäubung bereits stattgefunden und die Narbenhaare der weiblichen Blüten sind vertrocknet. Die Papillen der Epidermiszellen des Appendix und der adaxialen Spatha-Seite



Abb. 17
A) Übersichtsaufnahme vom männlichen Blütenstand mit Aufsichten auf die 4 Theken der Staubblätter.



B) Die Ausschnittvergrößerung zeigt im hell umrandeten Bereich einen Spaltöffnungsapparat.

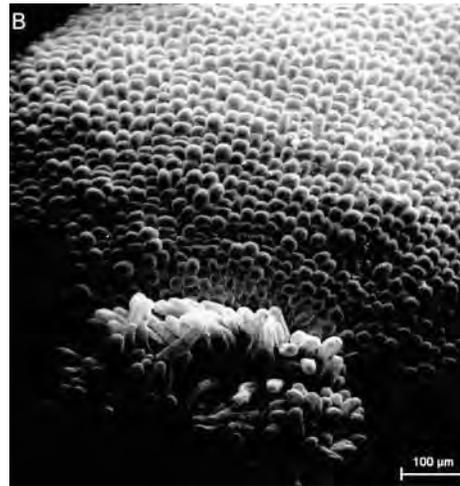
(einschließlich des Kessels), welche zu Beginn der Blühphase turgeszent und von glatter Oberfläche waren, schrumpfen während der letzten Erwärmungsphase (BERMADINGER-STABENTHEINER und STABENTHEINER, 1995), weshalb dies eine natürliche Ursache für die beobachtbaren Zellschrumpfungen auf einigen Abbildungen sein könnte (Abb. 14A, 15B, C). Nach der letzten Erwärmungsphase, verschwinden die Öltröpfchen auf der Gleitzone und im Kessel, die Reusenhaare werden welk und die Bestäuber können dann die Sperre ungehindert passieren (SCHMUCKER, 1925). Dabei verlassen die Tiere den Kessel anscheinend bevorzugt über den Spadix (KNOLL, 1926). Ein möglicher Grund dafür wäre, dass in dieser Phase die Spadix-Zellen vor den Zellen der Kesselwand schrumpfen. Nur die Zellen der Spatha-Innenseite bleiben nach der dritten Erwärmungsphase unverändert und sind für Arthropoden unbegehrbar.

Der Aronstab erzeugt seine Wärme

durch aeroben Kohlenhydratabbau im Rahmen der Atmung, d. h. letztendlich bei der Endoxidation. Jedoch erfolgt der Elektronentransport über Redoxsysteme, die nicht mit einer ATP-Bildung gekoppelt sind, sondern eigens der Wärmeproduktion dienen. Die Elektronen und der Wasserstoff werden von einer alternativen Oxidase übernommen und direkt, ohne ATP-Bildung auf Sauerstoff übertragen (LÜTTGE et al., 2005). Mit 0,4 Watt pro verbranntem Gramm Stärke besitzt der Aronstab die leistungsfähigsten Gewebe im Pflanzenreich, welche den tierischen nur geringfügig nachstehen (SEYMOUR, 1997). Alle Gewebe, die an der Wärmeproduktion beteiligt sind, haben große Stärkespeicher. So haben die Reusenhaare viele Stärke speichernde Zellen und auch unter der Epidermis des Spadix liegt ein kräftiger Mantel Stärke speichernder Zellen; der Stärkeanteil im gesamten Spadix beträgt bis zu 64 % (SCHMUCKER, 1925). Insgesamt unterliegt der Heiz-Mechanismus des



Abb. 18
A) Weiblicher Blütenstand mit flach liegenden Büscheln von Narbenhaaren auf den rundlichen Fruchtknoten.



B) Detailansicht von der Oberfläche eines Fruchtknotens mit seinen kurzen, prallgefüllt erscheinenden Narbenhaaren am unteren Bildrand.

Aronstabs einer physiologischen Kontrolle, der so genannten Thermoregulation. Ein Indiz dafür ist, dass die Kessel-Temperatur von 40 °C unabhängig von der Außentemperatur eingestellt werden kann (SEYMOUR, 1997). Über den Nutzen der Wärmeproduktion gibt es verschiedene Meinungen. Zum einen könnten die bestäubenden Insekten davon profitieren indem sie auch in kühlen Nächten ohne eigenen Energieaufwand ihre optimale Betriebstemperatur behalten. Zum anderen wird vermutet, dass sowohl die Blütenentwicklung als auch der Fang- und Befreiungsmechanismus durch die drei Erwärmungsphasen zeitlich geregelt werden (SEYMOUR, 1997). Und auch die Fortpflanzungsorgane des Blütenstandes benötigen offenbar für ihre Entwicklung, wie oben beschrieben, ein bestimmtes Temperaturmilieu.

Die Auszählungen der in den Gleitkesselfallenblüten aufgefundenen Arthropodentaxa und Individuenzahlen sind in den Tabellen 2 und 3 aufgeführt.

Zusammengefasst sind in Tab. 2 die Untersuchungen von insgesamt 3 Jahren von allen Standorten. Die Individuenzahl pro Blütenstand variierte zwischen 0 und 252 ausgezählten Tieren sehr stark. Soweit nicht als „Larve“ oder „juvenil“ gekennzeichnet, handelte es sich ausschließlich um adulte Tiere. Wegen der Vorbehandlung mit Alkohol konnte eine Unterscheidung zwischen toten oder lebendigen Individuen nicht vorgenommen werden. Anhand der gefundenen Individuenzahlen eines speziellen Taxons sind hier grundsätzlich 2 Gruppen unterschiedlicher Häufigkeiten zu beobachten: eine Gruppe, die statistisch in jeder untersuchten Falle mindestens einmal zu finden ist (>1 Individuum/Falle), und eine andere Gruppe, die nicht in allen Blütenständen vorkommt (<1 Individuum/Falle). Zur ersten Gruppe gehört zweifelsfrei die Schmetterlingsmückenart *Psychoda phalaenoides* L., die auch im Stadtgebiet Hannovers der wichtigste Bestäuber des Aronstabs ist. Bemerkenswert ist, dass

ausschließlich weibliche Tiere den Aronstab besuchen. Anscheinend wurden sie auf dem Weg zu einem geeigneten Eiablageplatz, z.B. in Kuhdung oder anderen Fäkalien, durch die fäkalähnlichen Duftstoffe des Aronstabs getäuscht und so in die Kesselfallen gelockt (KNOLL, 1926; KUGLER, 1970; JACOBS und RENNER, 1998; GIBERNAU, 2003). Alle übrigen Taxa gefundener Arthropoden sind deutlich weniger vertreten, d.h. sie waren maximal in 26 % der Fallen präsent bzw. lag dieser Wert oftmals deutlich darunter (Tab. 2). Als potentielle Bestäuber kommen in dieser Häufigkeitsgruppe offenbar nur die wenigen Taxa mit einer hohen Prozentzahl in Frage, es sei denn, dass die Anzahl der besuchten Blütenstände pro Individuum sehr hoch wäre, was allerdings durch das Fallenprinzip und der relativ kurzen Lebenserwartung äußerst fraglich ist.

Im Hinblick auf den Vergleich der Artenzahlen zwischen den Standorten wurden im Bereich „Tiergarten“ mit 42 und „Gaim“ mit 22 verschiedenen Taxa die größte Vielfalt festgestellt. In den Fallen der übrigen Standorte wurden durchschnittlich 16 verschiedene Arthropodengruppen gefunden. Gemessen am gesamten Spektrum (64), das in den Fallen vorgefunden wurde, gibt es große Varianzen zwischen den einzelnen Standorten, was zusätzlich darauf hindeutet, dass die meisten der gefundenen Tiere keine „echten“ Bestäuber des Aronstabs sind, sondern wohl mehr Zufalls-Fänge. Neben den Schmetterlingsmücken, die in allen Fallen präsent waren, kommen noch die nachfolgenden zwei Mückenfamilien, nämlich die *Ceratopoginidae* (Gnitzen) und die *Sciariidae* (Trauermücken), auf der Besucherliste als potentielle Bestäuber in Frage (Tab. 2). Diese waren an allen Standorten zu finden, wenn auch nicht in jeder Falle. Bei den übrigen der aufgelisteten Arten war

die Präsenz mehr zufällig und mitunter sehr lückenhaft, besonders in Bezug auf den jeweiligen Standort. Die überwiegende Anzahl der in den Fallen vertretenen Arten, ist wohl rein zufällig dort hinein gelangt, sei es aus Gründen des Beutefangs oder bei der Suche nach Pflanzennahrung, oder vielleicht wurden sie auch „nur“ durch die „nächtliche“ Wärme angelockt? Welche Gründe auch immer eine Rolle dabei gespielt haben mögen, es erscheint unwahrscheinlich, dass diese Besucher als regelmäßige Bestäuber in Frage kommen. Man kann also insgesamt schließen, dass der Blütenstand des Aronstabs im Hinblick auf seine potentiellen Bestäuber einen hohen Grad an Spezialisierung erreicht hat, sodass beim Ausbleiben des Hauptbestäubers, nämlich der Schmetterlingsmücken, der Fortpflanzungserfolg des Aronstabs drastisch reduziert sein dürfte. Welche Einflüsse dabei wirksam werden, erkennt man bereits, wenn man die Standorte im stadtnahen Bereich Hannovers im Hinblick auf die Zahl gefangener Schmetterlingsmücken pro Falle (Tab. 3) miteinander vergleicht. Dabei zeigt der Standort „Benther Berg“ ein signifikantes Maximum. Bei allen übrigen Standorten ist die Individuendichte deutlich niedriger und indifferent untereinander, d. h. sowohl die Anzahl pro Falle als auch die Abweichungen zwischen den Standorten sind gering. Eine Ursache für den Ausnahmestandort „Benther Berg“ kann darin zu sehen sein, dass dies der einzige Standort war in dessen Nähe sich eine Rinderweide befand. Vielleicht war die Populationsdichte an Schmetterlingsmücken dort insgesamt höher als an den übrigen Standorten, was allerdings nicht untersucht wurde. Auch an den übrigen Standorten, so zum Beispiel im „Tiergarten“ oder durch nahe gelegene Reitwege (Eilenriede), Spazierwege, Dunghaufen (Westfalahof) usw., dürften

tierische Fäkalien als Eiablageplätze für die Schmetterlingsmücken ausreichend vorhanden gewesen sein. Vielleicht reflektiert dies die Präferenz der Schmetterlingsmücken für den Dung einer bestimmten Tierart, nämlich für Rinderkot. Außer am „Benther Berg“ fehlte für die Schmetterlingsmücken in den übrigen beprobten

Gebieten eine solche „Attraktion“ weshalb dort die Fangquoten deutlich niedriger ausfielen. Aus ökologischer Sicht wird dadurch das Wechselspiel zwischen den einzelnen Partnern dieses kleinen, eng begrenzten Lebensraums nochmals um eine Nuance reicher.

Tab. 2 Liste der Tierarten und Anzahl an Individuen, die in den Jahren 2003–2005 in insgesamt 448 Blütenständen des Aronstabs gefunden wurden (100 % entspr. 448 gefundene Individuen in 448 Blütenständen, d. h. 1 Individuum/Blütenstand).

Arthropoden-Taxa	Anzahl gefundener Individuen [n]	Relative Häufigkeit des Auffindens in den Fällen [%]
<i>Diptera, Nematocera, Psychodidae, Psychoda phalaenoides</i> L. (Schmetterlingsmücken)	2776	619
<i>Diptera, Nematocera, Ceratopoginidae</i> (Gnitzen)	120	26
<i>Diptera, Nematocera, Sciaridae</i> (Trauermücken)	105	23
<i>Arachnida, Acarina</i> (Milben)	91	20
<i>Collembola, Sminthuridae</i> (Springschwänze)	47	10
<i>Diptera, Cyclorhapha, Sphaeroceridae</i> (Dungfliegen)	41	9
<i>Collembola, Isotomidae</i> (Springschwänze)	23	5
<i>Diptera, Nematocera, Cecidomyiidae</i> (Gallmücken)	22	5
<i>Diptera, Nematocera, div.</i> (Mücken)	18	4
<i>Heteroptera, Miridae, Psallus</i> sp. (Larve) (Weichwanzen)	17	4
<i>Heteroptera, Miridae, Rhabdimiris striatellus</i> (FABR.) (Larve) (Weichwanzen)	7	2
<i>Lepidoptera, Geometridae</i> (Larve) (Spanner)	7	2
<i>Thysanoptera</i> (Larve) (Blasenfüße; Thripse ; Fransenflügler)	7	2
<i>Arachnida, Araneida, Linyphiidae</i> (Baldachinspinnen)	6	1
<i>Arachnida, Araneida, Linyphiidae</i> (juvenil) (Baldachinspinnen)	5	1
<i>Thysanoptera</i> (Blasenfüße; Thripse ; Fransenflügler)	5	1
<i>Heteroptera, Lygaeidae, Kleidocerys resedae</i> (Panzer) (Larve) (Langwanzen, Bodenwanzen)	5	1
<i>Diptera, Brachycera, div.</i> (Fliegen)	5	1
<i>Coleoptera, Hydrophilidae, Ceryon</i> sp. (Wasserfreunde)	4	1
<i>Coleoptera, Nitidulidae</i> (Glanzkäfer)	4	1
<i>Coleoptera, Staphylinidae, Tachyporus</i> sp. (Kurzflügler)	4	1

Arthropoden-Taxa	Anzahl gefundener Individuen [n]	Relative Häufigkeit des Auffindens in den Fällen [%]
<i>Hymenoptera, Cynipoidea</i> (Gallwespen)	3	<1
<i>Hymenoptera, Chalcidoidea</i> (Erzwespen)	3	<1
<i>Coleoptera, Staphylinidae, Autalia rivularis</i> (GRAV.) (Kurzflügler)	3	<1
<i>Diptera, Cyclorrhapha</i> (Zweiflügler)	3	<1
<i>Myriapoda, Diplopoda, Julidae</i> (juvenil) (Doppelfüßler)	3	<1
<i>Sternorrhyncha, Aphidina, Aphididae</i> (alat) (Röhrenblattläuse)	3	<1
<i>Sternorrhyncha, Aphidina, Aphididae</i> (apter) (Röhrenblattläuse)	2	<1
<i>Hymenoptera, Ichneumonidae</i> (Schlupfwespen)	2	<1
<i>Hymenoptera, Formicidae, Lasius niger</i> (L.) (Ameisen)	2	<1
<i>Coleoptera, Staphylinidae</i> (Kurzflügler)	2	<1
<i>Coleoptera, Staphylinidae, Phyllodrepa</i> sp. (Kurzflügler)	2	<1
<i>Diptera, Brachycera, Phoridae</i> (Fliegen)	2	<1
<i>Heteroptera, Miridae, Lygocoris</i> sp. (Larve) (Weichwanzen)	2	<1
<i>Homoptera, Auchenorrhyncha, Cicadellidae</i> (Larve) (Zikaden)	2	<1
<i>Dermaptera, Forficulidae, Apterygidia media</i> (Hagenbach) (Ohrwürmer; Gebüschohrwurm)	2	<1
<i>Saltatoria, Ensifera, Leptophyes punctatissima</i> (Bosc.) (Larve) (Langfühlerschrecken; Zartschrecken)	2	<1
<i>Arachnida, Araneida, (juvenil)</i> (Radnetzspinnen)	2	<1
<i>Arachnida, Araneida, Philodromidae</i> (Radnetzspinnen)	1	<1
<i>Arachnida, Araneae, Thomisidae</i> (juvenil) (Krabbenspinnen)	1	<1
<i>Arachnida, Araneida, Clubionidae</i> (Sackspinnen)	1	<1
<i>Arachnida, Araneida, Linyphiidae, Erigoninae</i> (Zwergspinnen)	1	<1
<i>Auchenorrhyncha, Cicadellidae</i> (Kleinzikaden)	1	<1
<i>Auchenorrhyncha, Cicadellidae</i> (Larve) (Kleinzikaden)	1	<1
<i>Heteroptera, Miridae, Liocoris tripustulatus</i> (FABR.) (Weichwanzen)	1	<1
<i>Heteroptera, Miridae, Cyllocoris histrionius</i> (L.) (Larve) (Weichwanzen)	1	<1
<i>Heteroptera, Miridae, Dryophilocoris flavoquadrimaculatus</i> (DEGEER) (Weichwanzen)	1	<1
<i>Heteroptera, Miridae, Anthocoridae</i> (Larve) (Weichwanzen)	1	<1
<i>Heteroptera, Miridae, Harpocera thoracia</i> (Fallen) (Larve) (Weichwanzen)	1	<1
<i>Heteroptera, Anthocoridae, Orius</i> sp. (Blumenwanzen)	1	<1
<i>Coleoptera, Curculionidae, Trachodes hispidus</i> (L.) (Rüsselkäfer)	1	<1

Arthropoden-Taxa	Anzahl gefundener Individuen [n]	Relative Häufigkeit des Auffindens in den Fällen [%]
<i>Coleoptera, Curculionidae, Phyllobius</i> sp. (Rüsselkäfer)	1	<1
<i>Coleoptera, Mordellidae</i> (Stachelkäfer)	1	<1
<i>Coleoptera, Staphylinidae, Anotylus tetracarinatus</i> (THOMSON) sp. (Kurzflügler)	1	<1
<i>Collembola, Poduridae</i> (Springschwänze)	1	<1
<i>Lepidoptera, Gracillariidae, Cameraria ohridella</i> (DESCHKA & DIMIC) (Miniermotten)	1	<1
<i>Lepidoptera</i> (Larve) (Schmetterlinge)	1	<1
<i>Diptera, Nematocera, Psychodidae</i> (Männchen) (andere Art als <i>Psychoda phalaenoides</i> L.) (Schmetterlingsmücken)	1	<1
<i>Diptera, Nematocera, Psychodidae</i> (Weibchen) (andere Art als <i>Psychoda phalaenoides</i> L.) (Schmetterlingsmücken)	1	<1
<i>Diptera, Cyclorrhapha (Tachinidae)</i> (Larve) (Raupenfliegen, Schmarotzerfliegen)	1	<1
<i>Dermaptera, Forficula auricularia</i> L. (Ohrwürmer; gemeiner Ohrwurm)	1	<1
<i>Homoptera, Auchenorrhyncha, Cercopidae</i> (Blutzikaden)	1	<1
<i>Homoptera, Auchenorrhyncha</i> (Larve) (Zikaden)	1	<1
<i>Saltatoria, Ensifera, Mecoma thalassinum</i> (DEGEER) (Larve) (Langfühlerschrecken; Eichenschrecke)	1	<1

Tab. 3 Individuenzahlen der festgestellten Arthropoden insgesamt und speziell von *Psychoda phalaenoides* L. an den verschiedenen Standorten.

Standort	Anzahl entnommener Blütenstände	Anzahl Arthropoden insgesamt	Anzahl Arthropoden pro Blütenstand Ø	Anzahl <i>Psychoda phalaenoides</i> L. insgesamt	Anzahl <i>Psychoda phalaenoides</i> L. pro Blütenstand Ø
Tiergarten	140	1017	7,3	747	5,3
Gaim	77	437	5,7	337	4,4
Bockmer Holz	69	218	3,2	173	2,5
Eilenriede	67	223	3,3	181	2,7
Benther Berg	30	1121	37,4	1037	34,6
Bornumer Holz	30	229	7,6	193	6,4
Seelhorst	25	134	5,4	99	4
Westfalenhof	10	19	1,9	11	1,1

Literaturverzeichnis

- BARTHLOTT, W., POREMBSKI, S., SEINE, R. & THEISEN, I.: Karnivoren. Biologie und Kultur Fleischfressender Pflanzen. Stuttgart 2004.
- BENZ, G.: Wechselseitige Beziehungen zwischen Insekten und Pflanzen als Beispiele von Koevolution. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich auf das Jahr 1999, Heft 2019, Alpnach-Dorf 1998.
- BERMADINGER-STABENTHEINER, E. & STABENTHEINER, A. (1995): Dynamics of thermogenesis and structure of epidermal tissues in inflorescences of *Arum maculatum*. *New Phytologist* 131, 1995, 41–50.
- BERTSCH, A.: Blüten-lockende Signale. Ravensburg 1975.
- DIAZ, A. & LACK, A. J.: The pollination of *Arum maculatum* L. – a historical review and new observations. *Watsonia* 18, 1991, 333–342.
- FROHNE, D. & JENSEN, U.: Systematik des Pflanzenreichs unter besonderer Berücksichtigung chemischer Merkmale und pflanzlicher Drogen. 5. Aufl., Stuttgart 1998.
- GIBERNAU, M.: Pollinators and Visitors of Aroid Inflorescences. *Aroideana*, 26, 2003, 73–91.
- HARBORNE, J. B.: Ökologische Biochemie – Eine Einführung. Heidelberg-Berlin-Oxford 1995.
- HEGI, G., DUNZINGER, G. & MARZELL, H.: Illustrierte Flora von Mittel-Europa. Band II, München 1931, 132–133.
- HESS, D.: Die Blüte. Eine Einführung in Struktur und Funktion, Ökologie und Evolution der Blüten, mit Anleitungen zu einfachen Versuchen. Stuttgart 1983.
- JACOBS, U. & RENNER, M.: Biologie und Ökologie der Insekten. 3. Aufl., überarbeitet von KLAUS HONOMICHL, Stuttgart 1998.
- KNOLL, F.: Die *Arum*-Blütenstände und ihre Besucher. Abhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien 1926, 379–481.
- KNOLL, F.: Fettes Öl auf den Blütenepidermen der *Cypripedilinae*. *Österreichische Botanische Zeitschrift* (1922), 120–129.
- KUGLER, H.: Blütenökologie. 2. Aufl., Jena 1970.
- LÜTTGE, U., KLUGE, M. & BAUER, G.: Botanik. 5. Aufl., Weinheim 2005.
- RICHTER, G.: Biochemie der Pflanzen. 6. Aufl., Stuttgart, New York 1998.
- SCHAEFER, M.: Bromer-Fauna von Deutschland. 20. Aufl., Wiebelsheim 2000.
- SCHMUCKER, T.: Beiträge zur Biologie und Physiologie von *Arum maculatum*. *Flora*, 18/19, 1925, 460–475.
- SEYMOUR, R. S.: Pflanzen mit Wärmeproduktion. *Spektrum der Wissenschaft* 5, 1997, 72–77.
- SITTE, P., ZIEGLER, H., EHRENDORFER, F. & BRESINSKY, A.: Strasburger Lehrbuch der Botanik. 34. Aufl., Stuttgart 1998.
- SLACK, A.: Karnivoren. Stuttgart 1985.

Arbeit eingereicht: Mai 2008

Arbeit angenommen: 01.04.2009

Anschriften der Autoren:

Sarah Paulmann, Dr. Albert Melber,

Dr. Ralf Stelzer

Stiftung Tierärztliche Hochschule

Hannover, Institut für Tierökologie und

Zellbiologie, Arbeitsgruppen Entomologie,

Botanik und Elektronenmikroskopie

Bünteweg 17d

D-30559 Hannover

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Naturhistorica - Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover](#)

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: [151](#)

Autor(en)/Author(s): Paulmann Sarah, Stelzer Ralf, Melber Albert

Artikel/Article: [Das „Blue-Sky-Luxushotel“ am Waldesboden Feinstrukturen und Bestäuber im Blütenstand des gefl eckten Aronstabs \(*Arum maculatum* L.\) 69-94](#)