

Birgit Nordt

Die Bestäubung

Blüten und Bienen und ... – eine Millionen Jahre alte Liebesgeschichte

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Die Blüte	6
Die Bestäubung	9
- der Angiospermen	9
<u>Anemophilie - Über Pflanzen, die mit dem Wind befreundet sind</u>	15
<u>Zoophilie – Freundschaft mit Tieren, aber mit welchen?</u>	20
Signale der Blüten	26
<u>Farbe („Ich sehe was, was Du nicht siehst“)</u>	26
<u>Geruch</u>	28
<u>Form (Gestalttypen)</u>	30
<u>Temperatur</u>	33
Täuschblumen und getäuschte Blumen	36
Woran erkennen Bestäuber ‚ihre‘ Blüten?	39
<u>Cantharophilie – Käferblumen</u>	39
<u>Psychophilie - Tagfalterblumen</u>	41
<u>Sphingophilie - Nachtfalterblumen</u>	41
<u>Melittophilie – Bienenblumen</u>	43
<u>Vespophilie - Wespenblumen</u>	44
<u>Myiophile - Fliegenblumen</u>	45
<u>Ornithophilie - Vogelblumen</u>	47
<u>Chiropterophilie - Fledermausblumen</u>	49
Hydrophilie – Ihr Freund ist das Wasser	50
Autogamie – Die Einzelkämpfer	51
Glossar	53
Literatur	56
Linksammlung	56

Einleitung

Die Geschichte der Bestäubung ist so alt wie die Samenpflanzen. Das sind gut 300 Millionen Jahre – zum Vergleich: die Gattung Homo (das sind wir Menschen im weiteren Sinne) kommt auf gerade 2,5 Millionen Jahre.

Die Zeitreise beginnt in den Steinkohlewäldern des frühen Karbon. Die Vegetation wird dominiert von baumförmigen Farnverwandten, Bärlappen und Schachtelhalmen. Daneben existieren bereits die ersten ertümlichen Samenpflanzen. Allerdings braucht es noch weitere 100 Millionen Jahre bis sich aus diesen primitiven ‚Progymnospermae‘ die Koniferen (Nacktsamer) entwickelt haben und noch mal 100 Millionen Jahre und wir stehen bereits den heutigen Angiospermen (= Bedecktsamer) gegenüber, der Pflanzengruppe, die gemeinhin als Blütenpflanzen bezeichnet wird.

Erstes Vehikel für den Pollen, noch heute bei den Gymnospermen (= Nacktsamern; in Mitteleuropa sind das vor allem die Nadelbäume) zu sehen, war der Wind. Das verwundert nicht, Insekten in ihrer heutigen Mannigfaltigkeit gab es im Karbon noch nicht. Die Arthropoden waren hauptsächlich durch primitive Collembolen (Springschwänze), aber auch schon durch Libellen, Skorpione, Spinnen und Tausendfüßer vertreten. An Vögel und Säugetiere war noch nicht zu denken, frühe Reptilien und Amphibien dominierten die Makrofauna (Großtiere).



Abb. 2: Mitteleuropäische Landschaft aus dem Karbon. Die Vegetation wird von Farnverwandten und den ersten primitiven Nacktsamern (Gymnospermen) dominiert. Diorama im Botanischen Museum Berlin-Dahlem.

Die Geschichte der Co-Evolution (der sich gegenseitig beeinflussenden und bedingenden Artentwicklung) zwischen Bestäubern und ‚Blütenpflanzen‘ begann erst zu Beginn der Kreide vor 135 Millionen Jahren, als die Angiospermen (= Bedecktsamer) anfangen sich auf der Erde auszubreiten und zur dominierenden Pflanzengruppe zu werden. Sicher hatten auch die Bestäuber, allen voran die Insekten, ihren Anteil an dieser Erfolgsgeschichte und verdanken gleichzeitig einen Teil ihres eigenen Erfolgs wiederum den Angiospermen. Die Gruppen der Schmetterlinge (Lepidoptera) und Schwebfliegen (Syrphidae) entstanden erst in der Kreide, die Hautflügler (Hymenoptera), zu denen Bienen gehören, erreichten bereits in dieser Zeit ihre größte Artenmannigfaltigkeit.

Die Blüte – somit eine der ‚Erfindungen‘ der Evolution, die das Gesicht der Erde maßgeblich verändert hat.

Erfahren Sie im ersten Kapitel dieser Broschüre mehr über die geniale ‚Erfindung‘ der Blüten. Im zweiten Kapitel lesen sie Grundlegendes und Erstaunliches über die Wechselbeziehungen zwischen Bienen (und anderen Bestäubern) und den Blumen, ihrer Lebensgrundlage.

Einige Seiten sind als Arbeitsbögen gestaltet, geeignet für Schüler ab Sekundarstufe I, Antworten liefert dieses Handbuch, oder auch die ergänzend angebotene Führung zum Thema.

An vielen Stellen werden weiterführende Versuche und kleinere Experimente vorgeschlagen, die sich leicht in der Schule, teilweise sogar zu Hause durchführen lassen. Im Anhang findet sich schließlich neben einem Literaturverzeichnis eine umfangreiche Liste mit verschiedenen Links zu den Themen Blüten, Insekten und Bestäubungsbiologie im World Wide Web.

Nehmen Sie an einer unserer Führungen zum Thema ‚Bestäubung‘ teil, lassen sie sich zurückversetzen, werden sie Zeuge der Co-Evolution und lernen sie die Tricks und Verlockungen der Blumen kennen, um auf sich aufmerksam zu machen.

Wer schon näheres über unseren Botanischen Garten erfahren möchte surft zu <http://www.bgbm.org/BGBM/pr/kurzinfo/kurzinfo/garten.htm>. Hier stellt sich der Botanische Garten Berlin kurz vor. Sie können auch an einer virtuellen Rundreise durch unsere Freilandanlagen und Gewächshäuser teilnehmen.

Zum besseren Verständnis unserer Schilder werden auf Abb. 3 die dort zu findenden Angaben kurz erläutert. Sollten Sie zusätzlich auf eine mehrstellige Zahl in der linken unteren Ecke oder auf dem Stiel des Schildes aufmerksam werden: hierbei handelt es sich um die Akzessionsnummer. Anhand dieser können wir zurückverfolgen, woher die Pflanze, bzw. das Saatgut stammt und wann, in welcher Form und durch wen sie in den Garten gekommen ist.



Abb. 3: So sehen unsere Schilder aus.

Einen Gattungsnamen teilen sich zumeist mehrere Pflanzen. Ein gemeinsamer Gattungsnamen beinhaltet eine nähere Verwandtschaft der dazugehörigen Arten. Ähnlich verhält es sich mit dem Familiennamen. Eine Gruppe von näher verwandten Gattungen wird zu einer Familie zusammengefasst. In unserem Beispiel sind es die Dipsacaceae (an der Endung –aceae erkennt man bereits, dass es sich um eine Familie handelt), die Kardengewächse. Zu diesen

zählen z. B. noch die Gattungen *Knautia* (Witwenblume), *Succisa* (Teufelsabbiss) und *Dipsacus* (Karde).

Wird eine neue Pflanzenart entdeckt, steht die Gattung zu der sie gehören wird (also der ‚Vorname‘) zumeist durch die verwandtschaftliche Zugehörigkeit schon fest. Natürlich können Botaniker darüber streiten, doch zunächst bestimmt derjenige, der die Art entdeckt hat. Dieser ist völlig frei bei der Wahl des sog. Epithetons (des ‚Nachnamens‘) der Pflanze, durch den die Art eindeutig definiert wird. Zumeist wählt er ein auffälliges Merkmal der Pflanze, einen geographischen Begriff oder den Namen eines Menschen, zu dem er oder die Pflanze in irgendeiner Beziehung stehen. Zusätzlich verewigt sich der Erstbeschreiber noch mit einer Abkürzung seines eigenen Namens. In unserem Beispiel ist es Carl von Linné, den Sie auf sehr vielen Schildern wieder finden werden und dem wir diese sog. **binäre Nomenklatur**, den zweiteiligen Artnamen verdanken, wodurch er eine bis dato nie erreichte Ordnung in ein Chaos von Namen gebracht hat.

Daher sind Wissenschaftler in der Regel sehr dankbar für die lateinischen Bezeichnungen, da nur diese Namen eindeutig sind, während deutsche Namen oft regionalen Unterschieden unterliegen, so dass in Extremfällen allein schon mehr als fünfzig deutsche Namen für ein und dieselbe Art existieren.

Die Blüte

Auch wenn man gemeinhin unter Blütenpflanzen die Angiospermen (= Bedecktsamer) versteht, haben diese die Blüte an sich nicht neu erfunden, auch bei Gymnospermen (= Nacktsamer) und einigen Farngruppen gab und gibt es bereits Blüten. Die revolutionären Neuheiten der Angiospermen jedoch waren:

1. die Erfindung der Blütenhülle, also den meist bunten Kronblättern, die Blüten für uns und auch potentielle Bestäuber so attraktiv machen. In dieser Erfindung ist demnach der Beginn der Erfolgsgeschichte durch die Zusammenarbeit von Blumen mit Insekten zu sehen;
2. der Einschluss der Samenanlagen in den Fruchtknoten, was zur Reifezeit schließlich zur Bildung der Frucht führt. Daraus folgt ein besserer Schutz für Samenanlage und Samen, u. a. auch vor den selbst herbeigelockten Bestäubern. Zudem leistet die Frucht oft hervorragende Dienste bei der Ausbreitung der Samen.

Folgendermaßen ist die durchschnittliche Blüte der Bedecktsamer aufgebaut.

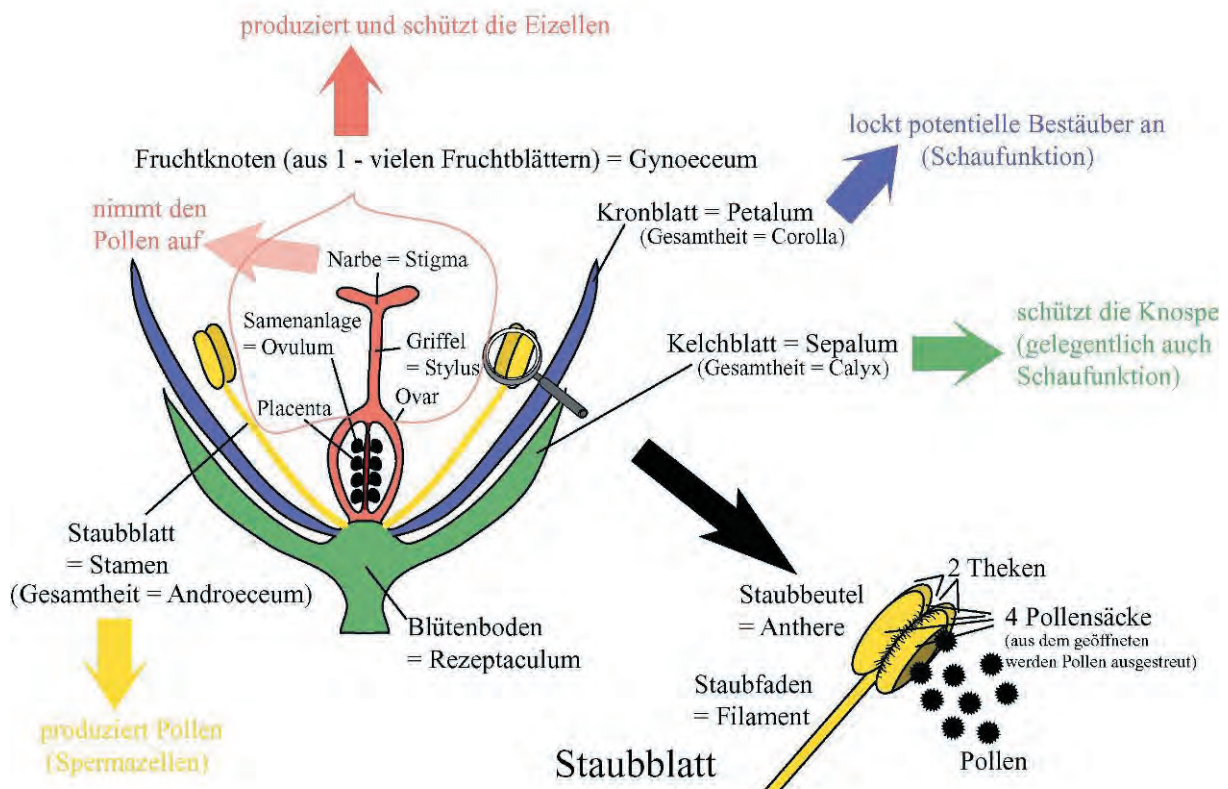


Abb. 4: Schematische Darstellung des Blütenaufbaus einer typischen Angiosperme. Die verschiedenen farbigen Pfeile und Beschriftungen geben Auskunft über die Funktionen der unterschiedlichen Blütenorgane.

Entsprechend der großen Formenmannigfaltigkeit bei den Angiospermen gibt es fast alle nur denkbaren Modifikationen, was Anzahl, Größe, Form, Farbe etc. der einzelnen Blütenteile betrifft.

Für Fortgeschrittene sei hier noch eine kurze Übersicht über den Lebenszyklus einer Blütenpflanze gegeben.

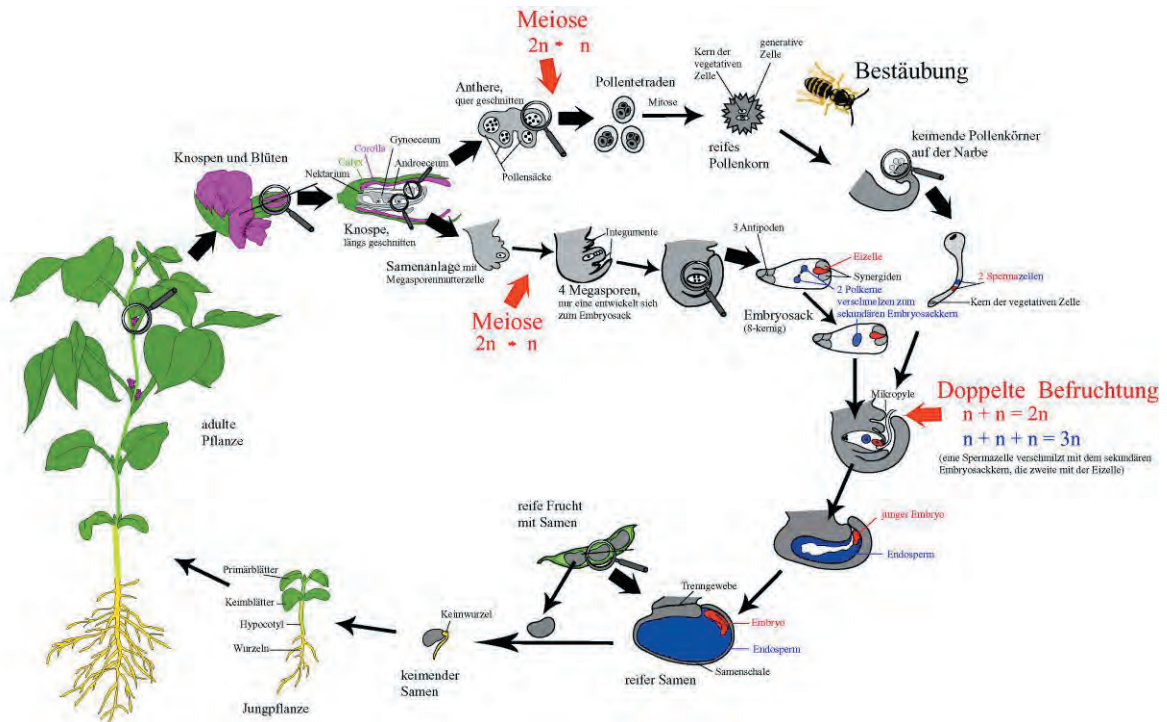


Abb. 5: Generationswechsel einer Angiosperme am Beispiel der Sojabohne. Verändert nach: Raven, P. H., R. F. Evert & S. E. Eichhorn (2000): Biologie der Pflanzen. 3. Aufl. De Gruyter.

Was sind nun Blüten und Blumen?

Zunächst einmal hört ein Botaniker den Begriff ‚Blume‘ meist nicht so gerne (Pflanzen haben Blüten und keine Blumen), es sei denn er beschäftigt sich mit Blütenökologie.

Unter der Blüte versteht der Biologe die morphologische Einheit, also den Teil der Pflanze aus Fruchtknoten, Staubblättern, Kronblättern und Kelchblättern, wie er in Abb. 4 dargestellt ist. Form, Farbe und Anzahl dieser Organe kann jedoch extrem variieren, so dass wir einer nahezu unendlich erscheinenden Vielfalt an Blüten gegenüberstehen. Hinzu kommt, dass oft viele dieser Einzelblüten auf unterschiedlichste Weise zu Blütenständen zusammengefasst sind.

Das bringt uns bereits dem Thema Blume näher. Manchmal sind die einzelnen Blüten so klein und stehen so dicht aneinander, dass es von weitem den Anschein hat, es handele sich um nur eine Blüte. Genauso sieht es auch das bestäubende Tier, das ja keinen Kurs in Blütenmorphologie hinter sich hat. Diese ökologische (funktionelle) Einheit, also aus den Augen des Bestäubers betrachtet, bezeichnet der Blütenökologe als Blume. Besteht diese aus mehreren Blüten, spricht man von einem Pseudanthium (griech. pseudo = Schein, anthos = Blüte \Rightarrow lat. anthium = Blume). Das kennzeichnet eine ganze Familie, nämlich die Asteraceae (= Compositae, = Korbblütler), zu der Margeriten, Gänseblümchen, Disteln, Flockenblumen und viele weitere bekannte Wiesenpflanzen gehören (Abb. 6).

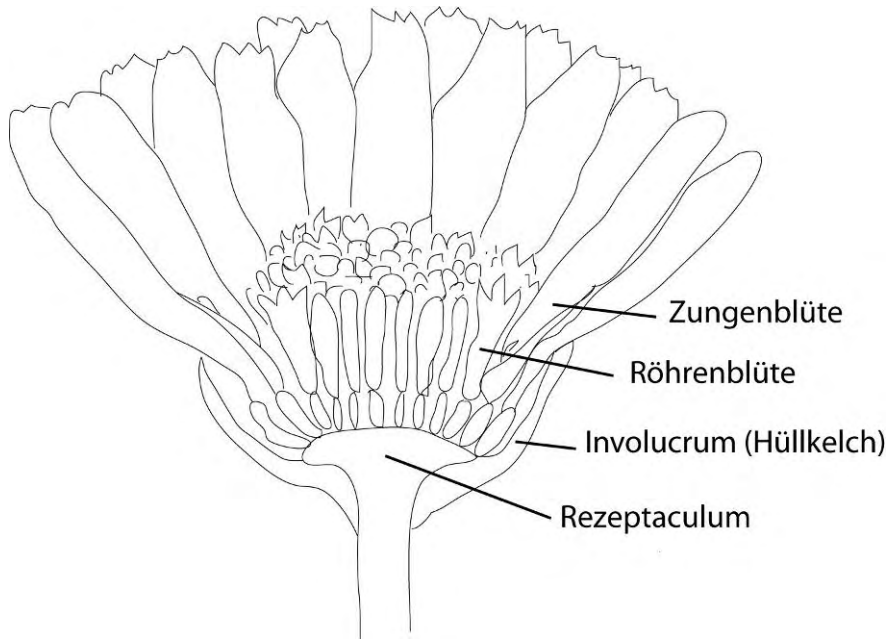


Abb. 6: *Calendula officinalis* (Ringelblume). Längs aufgeschnittenes Köpfchen - schematisch.

Sehr viel seltener gibt es den umgekehrten Fall, eine Blüte besteht aus mehreren Blumen. Wir sprechen von einem Meranthium. Verwirklicht ist es zum Beispiel bei Blüten der *Iris*. Hier muss der Bestäuber dreimal anfliegen, möchte er alle Nektarien der Blüte besuchen (Abb. 7).

Der Vollständigkeit halber sei noch das Euanthium erwähnt, der wohl häufigste Fall: Blüte und Blume sind identisch. Jeder kennt beispielsweise die Tulpe: das was der Laie für eine Blüte hält, ist auch funktionell tatsächlich eine solche. Das bestäubende Insekt kann mit einem Anflug alle Blütenteile erreichen.



Abb. 7: *Iris florentina*: Blüte aus drei Blumen bestehend \Rightarrow Meranthium. Die drei Blumen sind mit blauen Pfeilen gekennzeichnet. Der schwarze Pfeil deutet auf die Narbe der vorderen Teilblüte. Photo: Ingo Haas.

Die Bestäubung

- der Angiospermen

Bestäubung oder Befruchtung? Nicht verwechseln!

Unter Bestäubung ist die Übertragung des Pollens auf die Narbe zu verstehen. Von da an bis zur Befruchtung, also der Verschmelzung von Spermakern aus dem Pollen mit der tief in einer Samenanlage im Fruchtknoten verborgenen Eizelle ist es noch ein weiter Weg (Abb. 4). Zunächst muss der Pollen auf der Narbe keimen, das heißt einen Pollenschlauch ausbilden, der den Griffel durchwächst und die Spermakerne quasi vor der Tür der Samenanlagen entlässt. Nachdem sie den Eingang (Micropyle) passiert haben, verschmilzt einer von ihnen mit der Eizelle, der zweite mit dem bereits diploiden Endospermkern, aus dem nach etlichen Zellteilungen (Mitosen) schließlich das triploide Nährgewebe (= Endosperm) für den heranwachsenden Embryo entsteht. Wir sprechen von einer doppelten Befruchtung, die es so nur bei den Angiospermen gibt.

Versuch 1: Keimung von Pollenkörnern

Pollenkörner kann man auch außerhalb ihres natürlichen Lebensraumes zum Keimen bringen und das Wachstum beobachten. Man benötigt hierzu: Petrischalen mit Deckel, Filterpapier, Saccharose, Natrium-Borat, (Hohlsliff-)Objektträger, Pollen (z. B. Fleißiges Lieschen, Petunie, Fuchsie, Lilie)

Dauer: mind. 45 min.

Zunächst wird das Nährmedium aus 10 % Saccharose und 0,01 % Natrium-Borat hergestellt. Je ein Tropfen wird auf die Objektträger gegeben. Diese werden nun in die mit feuchtem Filterpapier ausgelegten Petrischalen gestellt, mit Pollen versehen und mit Deckeln verschlossen (luftdichtes Abschließen ist nicht nötig).

Nach spätestens einer halben Stunde sollte es zur Keimung gekommen sein. Das weitere Wachstum kann nun unter dem Mikroskop verfolgt werden.

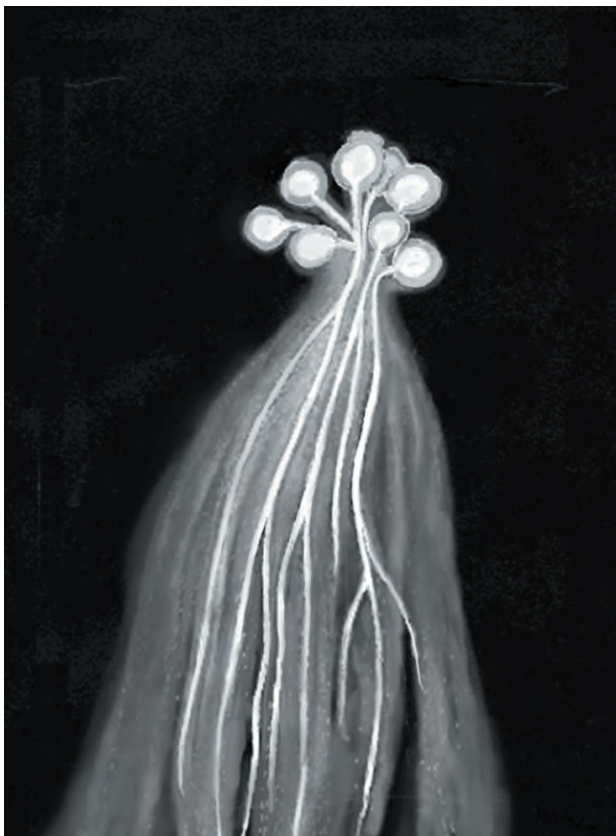


Abb. 8: Keimende Pollen/ Pollenschläuche auf dem Fruchtblatt von *Ranunculus adoneus* unter dem Fluoreszenzmikroskop. Zeichnung: Ingo Haas; verändert nach einem Photo von C. Galen in Galen, C. & M. K. Stanton (2003): Sunny-side up: flower heliotropism as a source of parental environmental effects on pollen quality and performance in the snow buttercup, *Ranunculus adoneus* (Ranunculaceae). Am. J. Bot. 90(5): 724-729.

Die überwiegende Mehrheit der Blüten ist zwittrig, verfügt also über Staubblätter und Fruchtknoten. Warum also nicht die Pollen auf die eigene Narbe fallen lassen und der erste Teil des Weges ist schon geschafft?

→ Richtig, es erfolgt keine genetische Rekombination. Die Nachkommen sind mit der Mutterpflanze annähernd identisch, schlimmer sogar, einige Allele fallen weg (vgl. Kapitel ‚Autogamie‘: S. 49). Das mag der Pflanze als Individuum egal sein. Auf lange Sicht jedoch ist eine Population mit so geringer genetischer Vielfalt dem Untergang geweiht, was natürlich im Extremfall auch ein paar Millionen Jahre dauern kann. Aber dass sich irgendwann die Umweltbedingungen für die Population ändern werden ist sicher. Die Anpassungsfähigkeit ist größer, wenn eine hohe genetische Vielfalt vorliegt. Zudem ist auch die Pflanzenwelt vor Inzuchtschäden nicht sicher. Daher hat sich bis heute in der Evolution die sexuelle Fortpflanzung im Wesentlichen durchgesetzt. Hierbei sollten wir natürlich nicht vergessen, dass wir nicht etwa an einem Endpunkt der Evolution stehen, sondern dass Evolution jetzt und in Zukunft stattfindet und stattfinden wird. Was aus menschlicher Sicht gerne als Endpunkt oder Ziel bezeichnet wird, ist nur eine Momentaufnahme.

Viele Pflanzen haben daher Mechanismen entwickelt, um **Selbstbestäubung** zu erschweren oder ganz zu **verhindern**. Selbstbestäubung findet gelegentlich nur als Notlösung statt, wenn sich gegen Ende der Blütezeit noch keine Bestäuber gefunden haben oder bei bestimmten klimatischen Faktoren.

Als effektivste Methode kann wohl die **Diöcie** (Zweihäusigkeit) gelten. Männliche und weibliche Blüten stehen auf verschiedenen Individuen → Selbstbestäubung ist absolut ausgeschlossen. Diese Geschlechterverteilung kommt in ganz verschiedenen Familien und Gattungen vor, oft aber nicht ausschließlich bei windbestäubten Pflanzen (vgl. Kapitel Anemophilie: S. 14). Betroffene Arten erkennt man gelegentlich schon an ihren Namen. Sie tragen dann das Epitheton ‚dioica‘. Wir finden Beispiele in den Gattungen *Bryonia* (Zaunrübe), *Silene* (Lichtnelke), *Urtica* (Brennnessel, vgl. Box 1, S. 18). Unter den Palmen gibt es sogar Arten, deren Geschlecht sich bei einzelnen Individuen im Laufe der Zeit ändern kann.

Ebenso extrem effizient ist die **genetische Inkompatibilität**.

Man stelle sich ein ‚Selbstinkompatibilitätsgen S‘ vor (Abb. 9). Das ist nun in einer Population in drei Allelen vorhanden, die zu drei verschiedenen Genprodukten führen (S1-S3). Trifft nun ein Pollenkorn auf die Narbe einer Pflanze, die dasselbe Allel besitzt, also dementsprechend bestimmte Proteine im Narbengewebe aufweist, kann der Pollenschlauch nicht eindringen. Für die in Abb. 9 schematisch dargestellten Blüten bedeutet das, dass Pollen mit dem Genprodukt/Protein S1 nicht durch den Griffel wachsen kann, egal von welcher der beiden Pflanzen er kommt und egal wie verschieden die sonstigen Gene die es trägt auch sein mögen.

Teilweise ist die Keimung auch nur erschwert, bzw. das Wachstum verlangsamt. Dann kann auch ein Pollen mit dem gleichen Allel zur Befruchtung führen, allerdings ist er in der Konkurrenz mit anderen Pollen benachteiligt.

Die ‚genetische Kontrolle‘ kann aber auch an anderen Stellen einsetzen, z. B. kann die Zygote, bzw. der Embryo frühzeitig absterben, wenn sie mit Spermazellen(-kernen) der gleichen Pflanze gezeugt wurde.

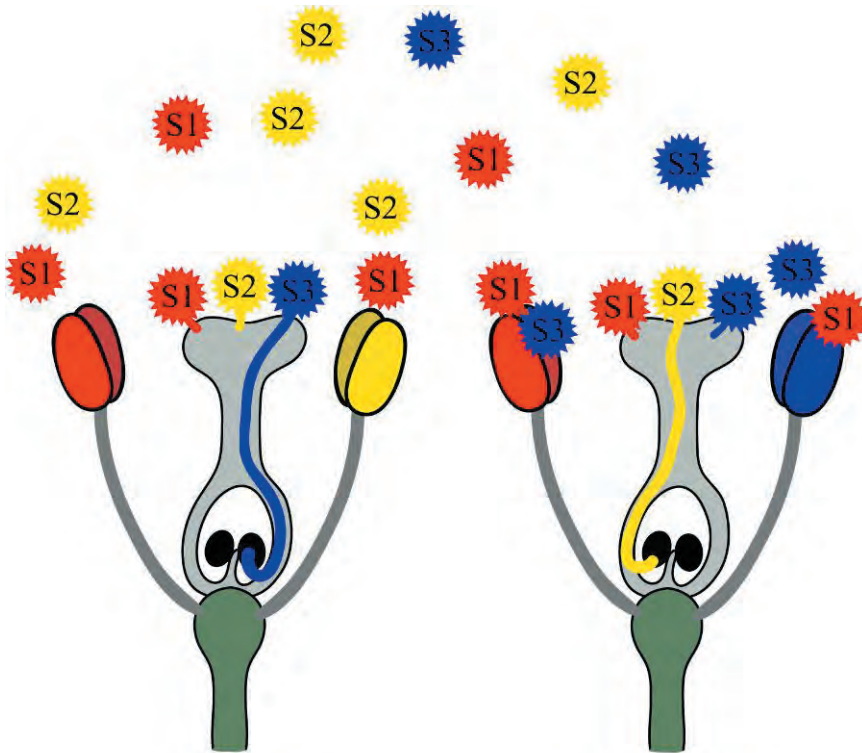


Abb. 9: Genetische Inkompatibilität – ein Modellbeispiel.

Zwei Pflanzen einer Art besitzen ein Selbstinkompatibilitäts-gen (S). Es liegt jedoch in unterschiedlichen Allelen vor: Links S1S2 (rot/gelb), rechts S1S3 (rot/blau). Da beide Pflanzen S1 besitzen, kann Pollen mit Gen S1 auf beiden nicht in das Narbengewebe eindringen, egal von welcher der beiden Pflanzen er stammt. In die rechte Narbe dringt nur Pollen mit dem Gen S2 ein, links nur S3. Die potentiellen Nachkommen werden alle heterozygot in Bezug auf das Gen S sein, die Genotypen S1S2 und S1S3 wie bei den Eltern sind möglich, dazu der ‚neue‘ Genotyp S2S3.

Sehr weit verbreitet ist eine **zeitliche Trennung** der Reife des Pollens und der Empfängnisbereitschaft der Narbe, die so genannte **Dichogamie**. Werden die Pollen zuerst entlassen, sprechen wir von Vormännlichkeit = Proterandrie, breiten sich zuerst die Narbenlappen aus, liegt die wesentlich seltenere Vorweiblichkeit = Proterogynie vor.

Gut zu beobachten ist die Proterandrie bei den Blüten vieler Malvengewächse (Abb. 10). Die mehrfach zerteilte Narbe wächst durch die Staubblattröhre hindurch und öffnet sich erst, wenn die Pollen bereits entlassen und die Pollensäcke vertrocknet sind.



Abb. 10: *Malva sylvestris*. Proteandrie: Zuerst (linkes Photo) reifen die Staubblätter → man sieht die aufgeplatzten Staubbeutel; die Narbe ist noch nicht zu erkennen: ♂ Phase. Erst wenn die Staubblätter vertrocknet sind, öffnet sich die Narbe (rechtes Photo): ♀ Phase.

Die Proterogynie scheint von beidem die sicherere Methode zu sein, da Fremdpollen auf die Narbe gelangt bevor sich die eigenen Pollensäcke öffnen. Den Vorsprung können nachträglich eintreffende eigene Pollen nicht mehr aufholen.

Warum ist nun aber Proterogynie die weitaus seltenere der beiden Methoden?

→ Sie ist schwieriger zu realisieren. Während die Proterandrie Ergebnis des normalen Reifungsprozesses in der Blüte ist, bzw. nur eine leichte Verlangsamung darstellt: die Organe reifen sowieso von außen nach innen (Staubblätter sind immer weiter außen), muss bei der Proterogynie ein Weg gefunden werden, die Reifung des Gynoeceums extrem zu beschleunigen. Das ist schlichtweg nicht so vielen Arten gelungen. Beispiele für vorweibliche Arten sind: Apfel (*Malus sylvestris*), Birne (*Pyrus communis*), Aronstab (*Arum maculatum*), Knotige Braunwurz (*Scrophularia nodosa*), Osterluzei (*Aristolochia clematitis*).

Wichtig ist auch, zu bedenken, dass diese Mechanismen nur innerhalb einer Blüte wirken. An einem Blütenstand können sich gleichzeitig Blüten in der männlichen und in der weiblichen Phase befinden. Wenn Pollen auf eine andere Blüte des gleichen Blütenstandes (also der gleichen Pflanze) gelangt, wäre das natürlich auch Selbstbestäubung.

An einem Blütenstand reifen die Blüten normalerweise von unten nach oben. Interessanterweise entspricht das auch der Richtung, in der die Bestäuber die Blüten besuchen. Für einige Beispiele, wie das Verhalten von Hummeln auf dem Eisenhut, ist das dokumentiert.

Oft mit Dichogamie verbunden ist die **Herkogamie**, die **räumliche Trennung** von Staub- und Fruchtblättern in einer Weise, dass Pollen und Narbe nicht von selbst und auch nicht durch Bestäuber zueinander gelangen können, bzw. das zumindest erschwert ist. Unmöglich ist es meist nicht.

Ein Spezialfall ist die **Heterostylie**. Hier gibt es innerhalb einer Art verschiedene Blütentypen, die sich hinsichtlich ihrer Griffel- bzw. Staubblattlänge unterscheiden. Bei einem ordnungsgemäßen Insektenbesuch bleiben die Pollen, wie in Abb. 11 gezeigt, nur an bestimmten Stellen des Körpers haften und können wiederum nur an Narben hängen bleiben, die sich in der entsprechenden Höhe befinden. Bekannte Beispiele für das Frühjahr sind die meisten Primelarten (*Primula*), im Sommer blüht der Blutweiderich (*Lythrum salicaria*), der sogar drei verschiedene Blütentypen zeigt.

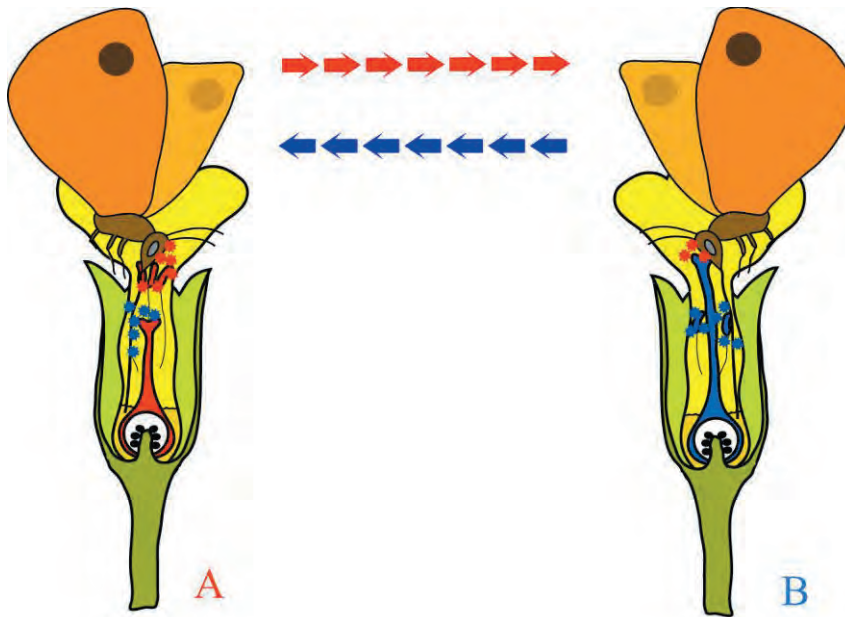


Abb. 11: Heterostylie bei Primel-Blüten (*Primula vulgaris*). Blüte A besitzt einen kurzen Griffel und lange Staubblätter, die langgriffelige Blüte B hingegen kurze Staubblätter. Zur besseren Unterscheidung sind Fruchtknoten, Staubbeutel und Pollen links rot und rechts blau dargestellt. Die linke Blüte wird von einem Schmetterling besucht, der mit seinem langen Rüssel den Nektar aus der Blütenbasis aufsaugt. Dabei berührt er mit seinem Kopf die langen Staubblätter. Hier bleiben also die ‚roten‘ Pollen hängen. War er vorher schon auf der ‚blauen‘ Blüte hängen an seinem Rüssel ‚blaue‘ Pollenkörner, die er von den kurzen Staubblättern mitgenommen hat. Diese kann er nun an der tiefer liegenden ‚roten‘ Narbe abstreifen. Pollen, die er evt. noch von einer anderen ‚roten‘ (= kurzgriffeligen) Blüte am Kopf trägt, berühren die Narbe nicht. Besucht er jetzt eine ‚blaue‘ (= langgriffelige) Blüte, berührt er genau mit dem Kopf die Narbe und kann dort ‚rote‘ Pollen abladen. Verändert nach Dobers 1999.

Auch können mehrere der geschilderten Möglichkeiten in beliebigen Kombinationen vorkommen. Viele proterandrische Pflanzen zeigen beispielsweise zusätzlich genetische Inkompatibilität.

Das alles können Blüten also tun, um Selbstbestäubung zu verhindern oder zu erschweren. Welche Möglichkeiten aber haben sie nun, die **Fremdbestäubung** gezielt **herbeizuführen**?

Einige verlassen sich auf abiotische Faktoren. Diese sind natürlich völlig ungerichtet, Bestäubung der richtigen Arten zufällig. Der Wind spielt hier die größte Rolle. Lesen Sie hierzu das Kapitel ‚Anemophilie‘: S. 14 (griech. philia = Liebe, Freundschaft; griech. ánemos = Winde). Weniger häufig wird Wasser als Medium genutzt, näheres im Kapitel ‚Hydrophilie‘: S. 48.

Am häufigsten bei den Blütenpflanzen, den Angiospermen, ist jedoch die Zoophilie (Bestäubung durch Tiere). Hier gibt es die unterschiedlichsten Anpassungen an verschiedene Bestäubergruppen. Meist sind es Insekten, aber auch Vögel (Abb. 12) und Fledermäuse, seltener sind Reptilien und Säugetiere beteiligt. Im Kapitel ‚Zoophilie‘: S. 19 sind die häufigsten Bestäuber mit ihren Anpassungen an die von ihnen bestäubten Blüten und die Anpassungen der Blüten an sie erläutert.



Abb. 12: Kolibri beim Anflug auf eine Blüte. Schaukasten, Botanisches Museum Berlin-Dahlem.

Anemophilie - Über Pflanzen, die mit dem Wind befreundet sind

Die nicht nur im Mesophytikum (Erdmittelalter, die Vegetation wird zunächst von Farnen, dann zunehmend von Nacktsamern dominiert), sondern auch heute noch sehr große Anzahl windbestäubter Pflanzen in den heimischen Gefilden ist sicher zumindest den Pollenallergikern unter uns wohl bewusst. Allerdings ist es heute eine vergleichsweise kleine Artenzahl, deren Pollen jedoch aufgrund Ihrer hohen Anzahlen überall präsent sind. Vor allem die vielen Kiefern im Berliner Raum sorgen im Mai stets für gelbgefärbte Pfützen.

Versuch 2: Welche Pollen liegen in der Luft?

Material: Objektträger, Deckgläschen, Glycerin, Mikroskop, Bestimmungsliteratur

Welche anderen Arten noch beteiligt sind, kann man unter dem Mikroskop herausfinden. An einem sonnigen Tag gibt es folgende Alternative zur Gewinnung der Probe. Man gebe einen Tropfen Glycerin auf einen Objektträger und lasse den für mindestens eine Stunde an einem gut exponierten Ort stehen. Lässt man den Objektträger einen ganzen Tag steht, wird man mit großer Wahrscheinlichkeit auch Pollen von Pflanzen einfangen, die sich mehrere Kilometer entfernt befinden. Anschließend kann man mit der entsprechenden Bestimmungsliteratur herausfinden um welche Arten es sich handelt oder sich einfach auf das Zählen verschiedener Pollentypen beschränken.

Erweiternd kann man mehrere Objektträger an einen Ort stellen und nach unterschiedlichen Zeiten zur Untersuchung hereinholen (die Präparate sind mehrere Tage haltbar, so dass Pollenfang und Auswertung nicht am selben Tage stattfinden müssen). Schließlich kann man Expositionsdauer im Verhältnis zur Anzahl der gefundenen Pollen(arten) graphisch auftragen. Auch die Entfernung der Pflanzen, von denen die Pollen stammen, kann mit einbezogen werden.



Abb. 13: Blütenstände windbestäubter Pflanzen, die als Auslöser für Pollenallergien („Heuschnupfen“) bekannt sind: A: *Alnus viridis*, B: *Corylus avellana*, C: *Betula pendula*, D: *Sesleria* spec. als Stellvertreter für die Gräser (Poaceae), E: *Pinus nigra*, E: *Artemisia absinthum*. Photos: Ingo Haas.

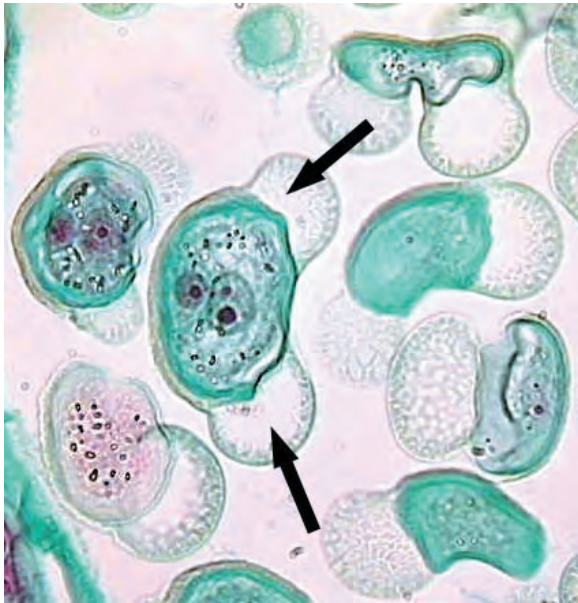


Abb. 14: Lichtmikroskopische Aufnahme von Kiefernpollen (*Pinus sylvestris*). Die Pfeile deuten auf die für Kiefernpollen typischen Luftsäcke des mittleren Pollenkorns. Aus <http://www.lima.ohio-state.edu/academics/biology/images/malecon4.jpg>

Welches die in Deutschland dominierenden windbestäubten Arten sind, kann man am besten an einem Pollenflugkalender ablesen. Hier ist erkennbar, welche Pflanzen wann ihre Hauptblütezeit haben. Dabei kann es natürlich je nach Wetterlage zu Verschiebungen kommen.

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Haselnuß	[Red bar]											
Birken	[Red bar]											
Seggen	[Red bar]											
Buchen	[Red bar]											
Eichen	[Red bar]											
Kiefern	[Red bar]											
Knäuelgras	[Red bar]											
Weizen	[Red bar]											
Goldhafer	[Red bar]											
Erlen		[Red bar]										
Lolch				[Red bar]								
Spitzwegerich					[Red bar]							
Brennessel					[Red bar]							
Roggen						[Red bar]						
Mais						[Red bar]						
Hafer						[Red bar]						
Kammgras						[Red bar]						
Honiggras						[Red bar]						
Linden						[Red bar]						
Gänsefuß						[Red bar]						
Beifuß						[Red bar]						
Goldruten						[Red bar]						
	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.

Abb. 15: Pollenflugkalender. Verändert nach <http://www.wetter.net/pollenkalender.html>.

Was macht nun eine Pflanze fit für die Windbestäubung?

1. Die Staubblätter müssen exponiert sein. → Es sind keine störenden Blütenhüllblätter vorhanden oder stark reduziert; die Blüten sind unscheinbar. Sie müssen genügend hoch und exponiert an der Pflanze stehen. Häufig sind sog. ‚Pendelantheren‘ an dünnen Filamenten.
2. Die Pollen müssen leicht sein. → Die Größe liegt meist $\pm 25 \mu\text{m}$ (d.h. 40 in einer Reihe ergeben 1 mm), Pollenkitt fehlt, die Oberfläche ist oft glatt. Kiefernpollen besitzen sogar Luftsäcke (s. Abb. 13b).
3. Pollen müssen in Massen produziert werden. → Da Wind kein zielgerichteter Bestäuber ist, landen die meisten Pollen schließlich am Boden.
4. Die Narben müssen für das Auffangen der Pollen geeignet sein. → Meist sind sie federartig aufgespalten, haben also eine stark vergrößerte Oberfläche, und hängen weit aus der Blüte heraus.
5. Selbstbestäubung zu verhindern wäre bei Zwitterblüten recht schwierig. → Die Blüten sind oft eingeschlechtig, die Pflanzen mon- oder diöcisch.

Neben einer Reihe von windbestäubten Taxa in verschiedenen Pflanzenfamilien, hat sich eine Familie entwickelt, die ausschließlich windbestäubte Arten hervorgebracht hat: Die Süßgräser oder Poaceae bzw. Gramineae.

Da diese wie auch die oben genannten heimischen Laubbäume zu den Bedecktsamigen Pflanzen (primär zoophil), den Angiospermen zählen, wissen wir, dass diese Anpassung sekundär ist, dass heißt die Gräser hatten irgendwann in der Erdgeschichte insektenbestäubte Vorfahren.

Schauen wir uns die Grasblüte genauer an (Abb. 16), was am besten unter dem Binokular oder zumindest mit Hilfe einer Lupe geschehen sollte, können wir die rudimentären (d.h. zurückgebildeten) Blütenhüllblätter in Form der beiden Lodiculae (= Schwellkörper) noch erkennen.

Die Blüten der Süßgräser sind stets in den für sie charakteristischen Ährchen angeordnet, deren Aufbau Abb. 16 zeigt.

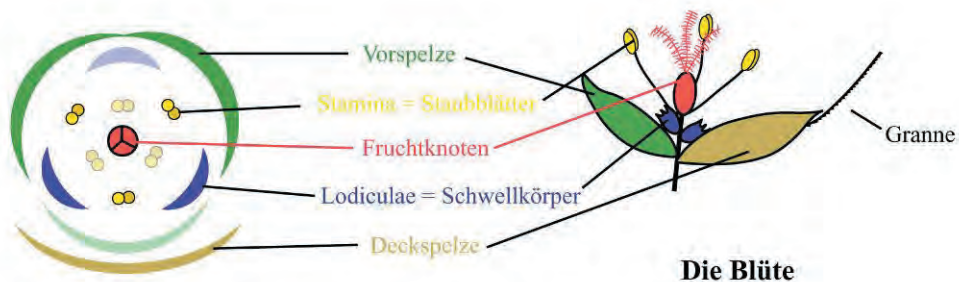
Nicht mehr wegzudenken aus unserer Ernährung („unser täglich Brot“) sind die Süßgräser seit der Mensch in der Jungsteinzeit die ersten Siedlungen gründete und sich Ackerbau und Viehzucht widmete. Älteste genutzte Gattung ist hier der Weizen (*Triticum*). Die Wildarten Emmer, Einkorn und Dinkel stammen aus Vorderasien und brachten Erträge hervor, die sich mit den heutigen Hochleistungssorten noch nicht vergleichen ließen.

Weitere Informationen und Fragen zum Weizen finden sich auf dem Arbeitsbogen ‚Triticum‘.

Der Blütenstand: die Ähre



Der Teilblütenstand: das Ährchen (hier aus 3 Blüten bestehend)



Blütendiagramm

(Alle Blütenteile sind schematisiert, ihre genaue Anordnung wird deutlicher erkennbar. Die bereits - in der Evolution - reduzierten - also in der 'modernen' Grasblüte gar nicht mehr vorhandenen Blütenteile sind durchscheinend dargestellt)

Abb. 16: Aufbau der Ähren, Ährchen und einzelnen Blüten der Süßgräser (Poaceae). Hüllspelze nennt sich bei den Gräser das Tragblatt des Ährchens, Deckspelze das Tragblatt der einzelnen Blüte. Die Vorspelze ist durch Verwachsung aus zwei Blütenhüllblättern (ehemalige Kelchblätter, bzw. äußerer Perigonkreis) entstanden. Also hat jedes Ährchen nur eine Hüllspelze, aber ebenso viele Deck- und Vorspelzen wie Blüten vorhanden sind. Klingt etwas verwirrend, ist aber gar nicht so schwer, wenn man so ein Ährchen in der Hand hat. Viele Studenten merken sich die Reihenfolge unter dem Namen HDV-Regel (H=Hüllspelze, D=Deckspelze, V=Vorspelze).

Box 1: *Urtica dioica* - Die Große Brennnessel

(dioica \Rightarrow diöcisch = zweihäusig, d. h. männliche und weibliche Blüten stehen auf verschiedenen Pflanzen)

\Rightarrow Sie hat sich damit die effektivste Methode zur Verhinderung von Selbstbestäubung einfallen lassen, die Diöcie. Vor allem bei windbestäubten Arten kommt diese Methode oft vor.

Gelegentlich macht die Brennnessel allerdings Ausnahmen: Die betroffenen Pflanzen haben zwittrige Blüten, die proterogyn (vorweiblich) sind, also auch in diesem Fall wird Selbstbestäubung minimiert.

Dass die heimische Große Brennnessel zu den windbestäubten Arten zählt, kann man durch Analyse der Blütenmerkmale unschwer feststellen.



Teil eines weiblichen Blütenstandes

Weit herausragende Narben erleichtern das Auffangen des Pollens

Brennesselblüten verfügen über einen Schleudermechanismus, um dem Pollen für seinen Flug einen guten Start zu verschaffen: Wenn sich die männlichen Blüten öffnen, sind die jungen Staubbeutel zunächst nach unten gebogen und fixiert. Schließlich schnellen sie mit einem Ruck nach oben, wobei sich die Staubbeutel öffnen und den enthaltenen Pollen fortschleudern.



männliche Blüte

Photo und Zeichnungen: Ingo Haas

Zoophilie – Freundschaft mit Tieren, aber mit welchen?

Wenn wir im Frühjahr in der Natur unterwegs sind, immer mehr Blütenpflanzen ihre Knospen öffnen, sind sie allgegenwärtig, ihr Summen nicht zu überhören – die Insekten, allen voran die Bienen. Aufgrund ihrer Position als beliebtes Haustier zahlenmäßig bei weitem überlegen: die Honigbiene (*Apis mellifera*). Daneben gibt es in Mitteleuropa allerdings noch viele weitere Bienenarten, die wir mit etwas Glück ebenfalls an Blüten beobachten können. Auch die Hummeln zählen zu den Bienen im weiteren Sinne (Apoidea = Bienenartige).

Die Bienen und die Blütenpflanzen sind im Laufe der Jahrtausende voneinander abhängig geworden, das Ergebnis einer sogenannten Co-Evolution. Beide ‚Partner‘ haben im Verlauf der Erdgeschichte immer mehr Eigenschaften entwickelt, die dem anderen nützen und eben dadurch auch ihnen selbst, es erfolgt eine gerichtete Selektion. In Box 2 (S. 20) ist das Prinzip an einem fiktiven Beispiel stark vereinfacht dargestellt.

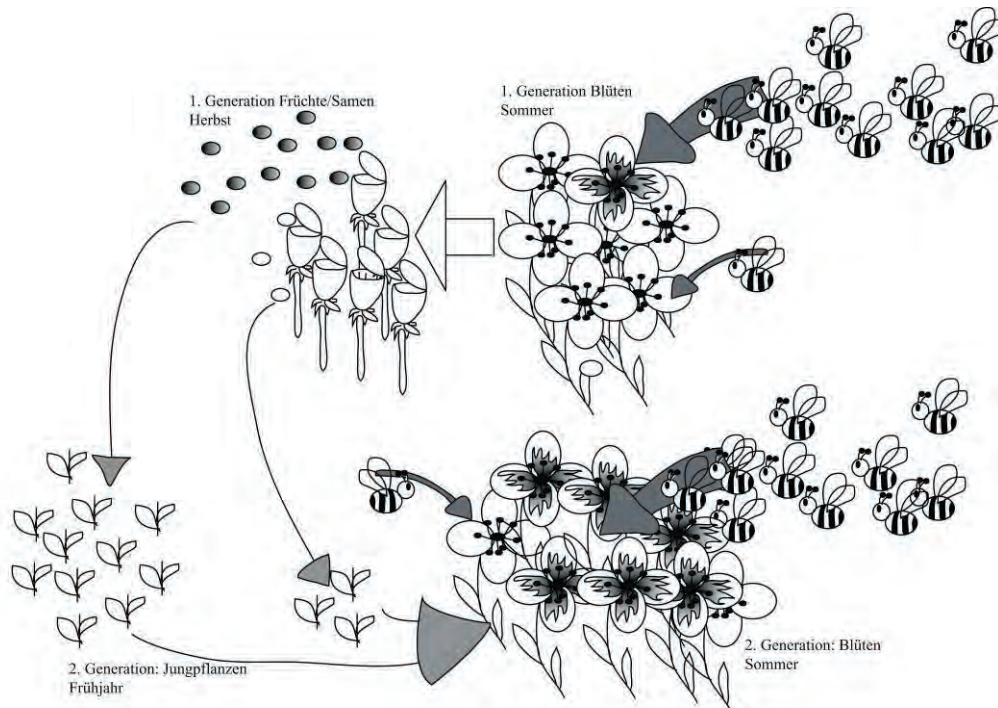
Beide Partnergruppen leben in einer mehr oder weniger starken Abhängigkeit voneinander. In den allermeisten Fällen sind bestimmte Insektenarten zwar generell von Nektar und Pollen als Nahrungsquelle abhängig, aber nicht von einer bestimmten Pflanzenart. Das betrifft natürlich nicht nur die Honigbiene, sondern auch viele andere Insekten und einer Reihe weiterer Tiere wie Vögel und Fledermäuse.

Ein sehr eindrucksvolles Beispiel für die Entwicklung von Anpassungen der Blüten an verschiedene Bestäuber bieten die nordamerikanischen Sperrkrautgewächse (Polemoniaceae). Hier hat sich aus wahrscheinlich bienenbestäubten Vorfahren auf einem geographisch eng begrenzten Raum eine Reihe von Arten entwickelt, die sich an verschiedene Bestäuber angepasst haben. Populationen der Ursprungsart besetzten also im Laufe der Zeit verschiedene ökologische Nischen, in diesem Fall bedeutet es vor allem, sie passten sich an unterschiedliche Bestäuber/Bestäubungsmodi an, zum Teil gleichzeitig mit der Besetzung unterschiedlicher Lebensräume. Einer Population, die ihr Habitat langsam in Richtung Hochgebirge verschiebt, stehen unter Umständen nicht die gleichen Bestäuber zur Verfügung wie Flachlandpopulationen. Dadurch kam es mit der Zeit zu reproduktiver Isolation voneinander, so dass voneinander getrennte Arten entstehen konnten. Wenn das in mehreren ökologisch unterschiedlichen Lebensräumen geschieht, bezeichnet man diesen Ablauf als adaptive Radiation. Eine bildliche Darstellung hierzu findet sich bei Heß 1990.

Box 2 Die Selektion – ein stark vereinfachtes Denkmodell

Man stelle sich folgendes Szenario vor:

In einer Population einer Blütenpflanzenart treten in einer Blüte erstmals UV-reflektierende Saftmale auf. → Sie ist auffälliger. → Sie wird von mehr Bienen besucht. → Die Wahrscheinlichkeit einer Bestäubung ist größer. → Sie produziert vergleichsweise mehr Nachkommen. → Irgendwann gibt es so viele ihrer Art, dass die Pflanzen ohne das Merkmal kaum noch beachtet werden und sich schließlich nicht mehr fortpflanzen. Die Pflanzen mit den Saftmalen haben sich also durchgesetzt



Bei der Co-Evolution spielt sich bei den Bienen ein ähnliches Szenario ab:

Wir nehmen an, ein hypothetischer ‚Bienenvorfahr‘ ist wie der Mensch UV-blind und lebt solitär. Eine zufällige Mutation führt zur Veränderung des Sehvermögens. Die Biene sieht die auffälligen UV-Male. → Diese Biene findet in einem Jahr mit geringem Futterangebot mehr Blüten und kann mehr Nektar sammeln. → Das Futter reicht für mehr Nachkommen. → Es gibt von Generation zu Generation mehr ‚UV-Bienen‘ im Vergleich zu den übrigen. Kommt gleichzeitig eine gerichtete Selektion bei den Blüten dazu beschleunigt das auch die Selektion bei den Bienen.

Das hier geschilderte Szenario ist rein fiktiv und stark vereinfacht, dient somit nur der Verdeutlichung des Prinzips. In nur einer Generation, wie auf der Zeichnung dargestellt, hat sich in der Realität sicher noch gar nichts verändert. In der realen Evolution spielen zudem noch viel mehr und andere Faktoren eine Rolle, die Zusammenhänge sind noch viel komplexer. Sonst hätte es auch nicht so lange gedauert.

Was aber macht nun eine Blüte für den Bestäuber so attraktiv? Was wollen sie voneinander?

Blüte ,möchte'	Bestäuber möchte
- Bestäubung → Früchte; Rekombination	- Nahrung
	- Schutz
	- Sex

Wie im Folgenden noch zu schildern seien wird, ist die Bandbreite möglicher Bestäuber sehr groß, dementsprechend unterschiedlich sind die Anpassungen der Blüten. Daher lässt sich nicht ganz so einfach wie bei den windbestäubten Blüten ein einheitliches Syndrom für die Zoophilie formulieren. Folgende Eigenschaften der Blüten sind relativ allgemeingültig und im nachfolgenden Text noch detaillierter beschrieben.

Was macht nun eine Pflanze fit für die Tierbestäubung?

1. Die Blüte muss den Bestäubern auffallen. → Blütenhülle groß, farbig und/oder Blüte duftend.
2. Den Bestäubern muss Nahrung angeboten werden. → Reichlich Pollen und/oder Nektar.
3. Pollen muss an den Bestäubern haften bleiben. → Skulpturierte Pollenoberfläche, viel Pollenkitt.
4. Selbstbestäubung kann/muss durch diverse Methoden verhindert werden (Zwitterblüten sind häufig). → Dichogamie, Herkogamie, Diöcie etc.

Box 3 Geschichte

Was heute jedem Kleinkind als selbstverständlich erscheint, dass nämlich Bienen Blüten bestäuben und dann erst die Früchte entstehen, war vor 200 Jahren eine geradezu revolutionäre neue These, die so recht noch niemand glauben wollte. "Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen" hieß das Werk des botanikbegeisterten Spandauer Gymnasiallehrers Christian Konrad Sprengel, das bei seinem Erscheinen 1793 für heftige Dispute sorgte, sofern es überhaupt Beachtung fand. Neu auch die Entdeckung, dass die Bienen es nicht umsonst tun: "daß der Saft dieser Blumen, wenigstens zunächst, um der Insekten willen abgesondert werde (...)". Prominenter Gegner damals war J.W. Goethe, der die Vorstellung einer derartigen Zielorientiertheit in der Pflanzenwelt als völlig unangebrachte Vermenschlichung abtat, ohne zu erkennen, dass hier schon das Prinzip der Co-Evolution erkannt wurde, lange bevor dieser Begriff überhaupt erfunden wurde. Erst 60 Jahre später sorgte Darwin für die gebührende Beachtung des Werkes. Für Sprengel persönlich war es zu spät, er verstarb bereits 1816. Heute tragen zwei Berliner Straßenzüge seinen Namen, ein Denkmal im Botanischen Garten erinnert ebenfalls an ihn.

Auch die Entdeckung des Zusammenhanges zwischen Bestäubung und Fruchtansatz im Allgemeinen liegt nicht viel länger zurück. Es war ein Berliner Botaniker, Johann Gottlieb Gleditsch, der 1749 zum Beweis seiner ‚Bestäubungstheorie‘ für die weibliche Zwergpalme (*Chamaerops humilis*) des Berliner Botanischen Gartens Pollen einer männlichen Pflanze aus Leipzig orderte. Erst nachdem er den Pollen auf die Narbe gebracht hatte, setzte die Pflanze zum ersten Mal Früchte an. Dieser Versuch ging als ‚Berliner Experiment‘ in die Wissenschaftsgeschichte ein. Die Zwergpalme lebte noch bis 1934 im Botanischen Garten und ziert heute im getrockneten Zustand die Eingangshalle des Botanischen Museums.

In den meisten Fällen sind die Besucher auf Suche nach Nahrung. Für diesen Fall haben die meisten Blüten **Nektar und/oder Pollen** im Angebot, seltener sind spezielle protein- und/oder kohlenhydratreiche Futtergewebe oder auch Öle.

Während die ersten Blütenpflanzen ihren Bestäubern noch einen Teil des wertvollen, proteinreichen Pollens als Nahrung anboten, dient heute dazu meistens der Nektar.

Auch Nektar ist mehr als Zuckerwasser, das aus speziellen Drüsen im Bereich der Blüte ausgeschieden wird. Die Süße des Nektars kann man durch einen einfachen Geschmackstest selber feststellen. VORSICHT ist jedoch geboten: Bei vielen Giftpflanzen ist auch der Nektar giftig!

Sehr häufig wird dieser in Nektarien produziert, die ringförmig die Basis des Fruchtknotens umfassen, manchmal sind es eigens zu diesem Zweck gebildete Honigblätter (häufig bei Hahnenfußgewächsen = Ranunculaceae, vgl. Arbeitsbogen ‚Aconitum‘). Werden kleine Insekten als Blütenbesucher erwartet, sind es oft kaum messbare geringe Nektarmengen, ist die Blüte auf Vögel eingestellt, tropft er milliliterweise. Bei der als Zierpflanze beliebten Fackellilie (*Kniphofia ensifolia*) kann man das gut demonstrieren.

Versuch 3: Nektar in den Blüten, Zucker im Nektar

Material: Glaskapillaren (5-20 µl), Handrefraktometer

Mit kleinen Glaskapillaren (je nach Blütengröße 5-20 µl) lässt sich der Nektar aus den Blüten entnehmen und gleichzeitig dessen Menge bestimmen. Für einen aussagekräftigen Wert sind mindestens 10-15 Messungen nötig. Schließlich schrumpft die Nektarmenge mit jedem Blütenbesucher. Bis genügend Nektar nachproduziert wird, kann es ein wenig dauern.

Mit einem Handrefraktometer kann man zusätzlich den Zuckergehalt des Nektars bestimmen. Wie aus der Tabelle unten hervorgeht, kann dieser sehr unterschiedlich sein. Grundsätzlich sind bei Bienenblumen viel höhere Zuckerkonzentrationen als bei Vogelblumen zu erwarten. Nach Möglichkeit sollte der Zuckergehalt unmittelbar nach der Nektarentnahme bestimmt werden.

Der Nachweis der verschiedenen Zucker (vor allem sind das Saccharose, Fructose, Glucose) kann mittels einer Dünnschichtchromatographie im Labor durchgeführt werden. Dieser Versuch verspricht durchaus interessante Ergebnisse, vor allem wenn man die Zusammensetzung des Nektars von Vogel- und Bienenblumen vergleicht, auch Korrelationen zwischen Blütenform und Nektarzusammensetzung sind bereits festgestellt worden. Heß (1990) empfiehlt die Verwendung einer Cellulose-Fertigfolie und Äthylacetat/Pyridin/Wasser (55:25:20) als Laufmittel.

Tabelle 1 : Nährstoffgehalt [%] von Pollen und Nektar im Vergleich

	Pollen	Nektar
Aminosäuren		+
Protein	16-30	
Stärke	1-7	
Zucker	0-15	5-80
Lipide	3-10	+
Mineralien	1-9	

Das Zeichen ‚+‘ steht für geringe Mengen, die nicht näher quantifiziert werden. Die Unterschiede zwischen einzelnen Arten können erheblich sein. Quelle: Heß 1990

Wo finden die Insekten den Nektar?

Häufig ist er mehr oder weniger tief in der Blüte verborgen. Schließlich soll er nicht:

- vom Regen verwässert oder weggespült werden.
- von Insekten aufgenommen werden, ohne dass diese an den Staubblättern bzw. der Narbe vorbei müssen.

Verbreitet sind Nektarien (d. h. ein Drüsengewebe, dessen Zellen Nektar sezernieren) an der Basis des Fruchtknotens. Auch spezielle Nektarblätter kommen vor (vgl. Arbeitsbogen Aconitum – Ranunculaceae)

Wie wir wissen, saugen Bienen Nektar und tragen Pollen ein. Letzterer lässt sich im Honig noch nachweisen. Wir können somit die Haupttrachtpflanzen des entsprechenden Bienenvolkes entlarven und feststellen, ob das, was auf der Verpackung steht, auch drin ist. Kunsthonig wird natürlich auch sofort erkannt.

Box 4 Der Bienenfleiß

Woher die Redewendung ‚bienenfleißig‘ kommt lässt sich leicht nachvollziehen, wenn man folgendes bedenkt:

Der Honigmagen einer Biene fasst ca. 30 µl.

→ Um ihn voll zupumpen, muss sie 3-30 Blüten anfliegen.

→ Sie muss 60mal vom Stock ins Feld fliegen, um einen Fingerhut zu füllen (berechnen wir diesen mit 2 ml Volumen).

→ 3-5 Millionen Blüten muss sie besuchen, um drei Kilogramm Nektar einzutragen

→ Aus den drei Kilo Nektar entsteht im Stock ein Kilo Honig.

Damit sollten sich die Bienen durchaus unseren Respekt verdient haben, bei den Honigliebhabern sowieso; alle anderen mögen sich vergegenwärtigen, dass viele unserer Nutzpflanzen (diverse Obst-, Gemüse-, Futterpflanzen) ohne die Bienen überhaupt keine Früchte ansetzen würden und unsere Nahrung um ein vielfaches eintöniger wäre. Kein Wunder, dass ein wichtiger Trend in der Nutzpflanzenzüchtung dahingeht, selbstbestäubte Rassen zu selektieren. Sicher ist sicher!

Versuch 4: Pollen im Honig!?

Material: Honig (evt. versch. Sorten), (Hand-)Zentrifuge, Reagenzgläser (passend für Zentrifuge), Becherglas, Pipetten, Objektträger, Deckgläschen, Mikroskop, warmes Wasser, Literatur zur Pollenbestimmung, ggf. Fuchsin- oder Safraninlösung zur Anfärbung.

Ca. 10 g Honig werden in ca. 20 ml warmem Wasser (30-40°C reichen) gelöst. Es folgt: 10 min. Zentrifugation bei 1000 x g. Der Überstand wird bis auf den unteren Milliliter verworfen. Aus dem unteren Bereich wird die Probe für die mikroskopische Untersuchung entnommen. Zur besseren Kontrastierung können die Präparate in gesättigter Fuchsinlösung oder auch mit Safranin gefärbt werden.

Versuch 5: Herstellung von Kunsthonig

Chemikalien: Haushaltszucker, Zitronensäure

Versuchsdurchführung: In einer Kristallisierschale werden 70 g Haushaltszucker in 100 ml dest. Wasser unter Rühren ge-löst. Nach Zugabe von 40 ml einer 10 %igen wässrigen Zitronensäure-Lösung erhitzt man ca. 60 Minuten unter Rühren und lässt die Lösung dann für ca. 20 Minuten abkühlen.

Versuchsbeobachtungen: Aus der zunächst farblosen Flüssigkeit entsteht nach und nach beim Erhitzen und anschließendem Abkühlen eine gelbe viskose Masse, die optisch Honig ähnelt.

⇒ An den Versuch kann man gut einen Geschmackstest anschließen: Wer erkennt den Kunsthonig? Arbeitshypothese sollte nachdem, was die Schüler über die Zusammensetzung des Nektars, der ja maßgeblicher Grundstoff für Honig ist, gelernt haben, sein: Jeder merkt den Unterschied.

Quelle:

http://www.senbjs.berlin.de/schule/informationen_fuer_lehrer/fachbriefe/fachbrief_2_chemie.pdf.

Seltener als Nektar oder Pollen steht fettes Öl auf der Speisekarte, das nur sehr wenige Blüten ihren Besuchern, meist solitär lebende Bienenarten, anbieten (z. B. die Pantoffelblume - *Calceolaria*). Diese kommen dafür umso lieber wieder, da sie das Öl als Bestandteil der Nährpaste für ihre Larven dringend benötigen.

Signale der Blüten

Im Folgenden sind nun die Tricks und Lockmittel der Blüten geschildert, die sie entwickelt haben, um potentiellen Bestäubern zu signalisieren: Ich habe das, was du suchst!

Sie reizen mit Farbe, Geruch, Form und sogar Temperatur. Diese sind manchmal exakt auf die Bedürfnisse einer bestimmten Gruppe von Bestäubern abgestimmt oder auch allgemein verständliches Signal für eine Reihe von Insekten. Lesen Sie Näheres über die Signale der Blüten in den folgenden Abschnitten.

Farbe („Ich sehe was, was Du nicht siehst“)

Hier muss zunächst beachtet werden: nicht alle Tiere sehen das, was wir sehen. Nur weil wir eine Blüte für Blau halten, ist sie noch lange nicht für jeden Blau. Farben, die wir Menschen unterscheiden können, kann nicht jeder unterscheiden. Das gibt es natürlich auch umgekehrt: zwei Blüten, die für uns völlig gleich gefärbt sind, könnten für Bienen gänzlich verschieden aussehen.

Das Farbsehen der Bienen ist tatsächlich recht gut untersucht. Wie auch wir besitzt sie drei verschiedene Farbrezeptoren, die jedoch ihr Maximum in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen haben (Abb. 17).

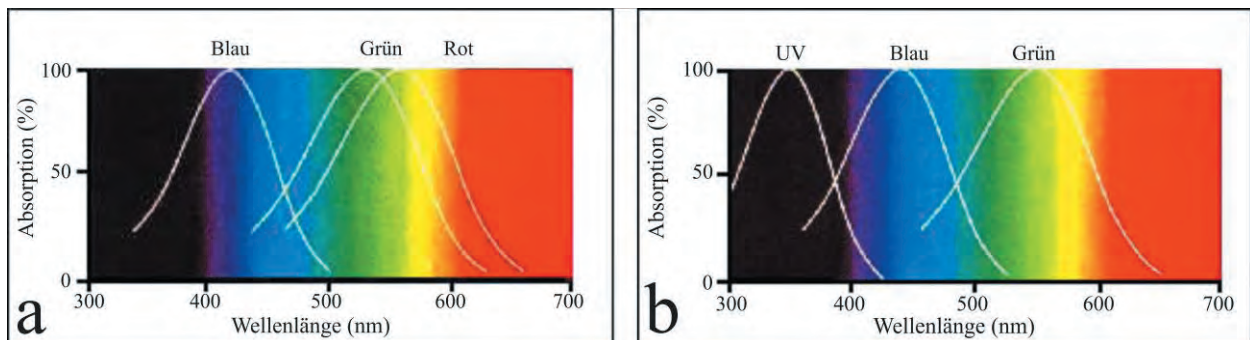


Abb. 17. Absorptionsspektren von Mensch und Biene im Vergleich \Rightarrow Beide haben drei Arten von Zapfen-Photorezeptoren, wobei diejenigen der Bienen deutlich weiter in den UV-Bereich verschoben sind. A: Mensch. B: Honigbiene.

Verändert nach <http://www.sinnesphysiologie.de/komplex/farbe.htm>

Es wird deutlich, dass das Sehen der Biene gegenüber unserer Wahrnehmungsfähigkeit deutlich in den Ultravioletten (UV-) Bereich verschoben ist. Wellenlängen um 350 nm können wir im Gegensatz zur Biene nicht wahrnehmen. Nur mit Hilfe von Aufnahmen mit einer Spezialkamera können wir uns diesen Bereich sichtbar machen (Abb. 18). Die langwelligeren Rottöne sehen Bienen nicht.

Die Frage „Warum gibt es in Mitteleuropa nur so wenig rot blühende Pflanzen?“ können wir nun also beantworten.



Abb. 18: *Ononis natrix* (Gelbe Hauhechel): Links mit einer normalen Kamera photographiert, rechts wurden die UV-Male sichtbar gemacht. Die Blüte hinterlässt demnach bei Bienen einen völlig anderen Farbeindruck als beim Menschen. Photos: Barbara Ditsch.

So hat jede Bestäubergruppe spezielle Farbpräferenzen, die sich natürlich auch am Sehvermögen der Tiere orientieren. Für Bienen sind gelb-violette Blüten mit UV-Malen besonders attraktiv.

Bienenfresser und andere Vögel, die besonders in tropischen Wäldern als Bestäuber eine große Rolle spielen, bevorzugen hingegen das im grünen Blätterdickicht sehr auffällige Rot. Rotblind, wie auch die Biene, sind hingegen wohl die meisten Insekten.

Die bevorzugten Blütenfarben einiger potentieller Bestäuber sind in Abb. 19 zusammengefasst.

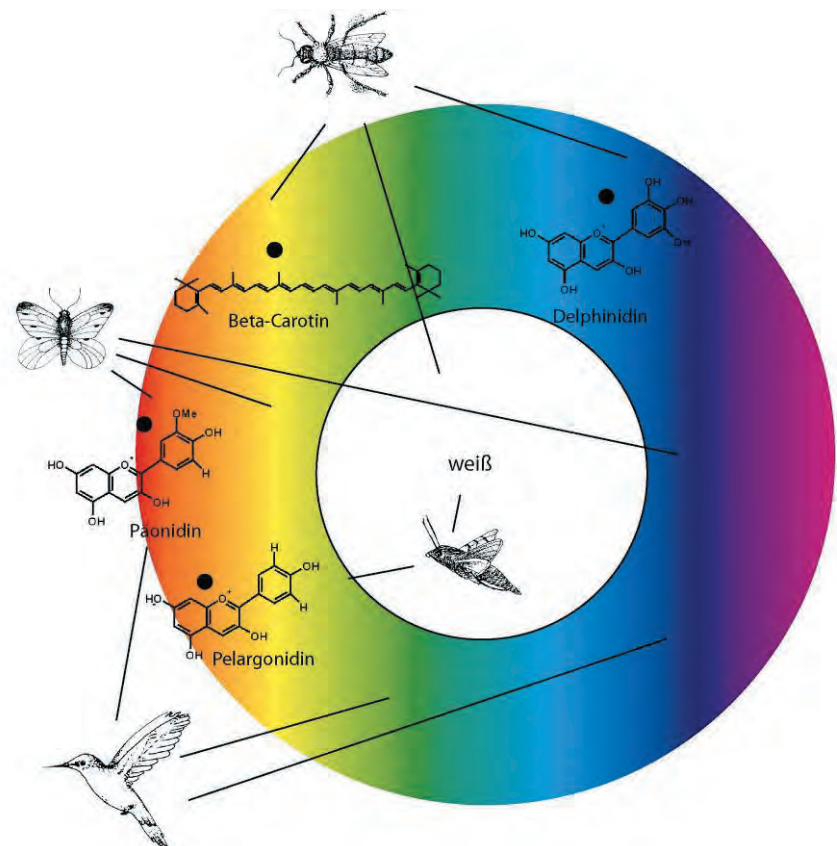


Abb. 19: Eine kleine Auswahl von Blütenfarbstoffen und die Farbpräferenzen einiger Bestäuber (Bienen, Vögel, Tagfalter, Nachtfalter)

Geruch

Viele potentielle Bestäuber orientieren sich mehr oder weniger stark am Geruch, besonders oft die nächtlichen Besucher. Blüten passen ihre Gerüche, nicht immer sind es aus unserer Sicht Düfte – für die Bestäuber jedoch schon -, den Tieren an, die sie locken wollen. Markant sind vor allem die Duftstoffe der Aasfliegenblumen, schließlich ahmen sie Kot oder verwesendes Fleisch nach. Auch Blüten, die Konsumenten von fauligem Obst anlocken, riechen eher kräftig. Sexualduftstoffe, die einige *Ophrys*-Arten aussenden, sind für uns gar nicht wahrnehmbar; Dolchwespenmännchen können kaum widerstehen. Diverse Fliegenarten können gar keine Düfte wahrnehmen, oder es spielt für sie bei der Attraktivität der von ihnen besuchten Blüten keine Rolle. Das haben Versuche mit dem Hummelschweber an der Traubenhyazinthe gezeigt. Natürlich ist dieses Ergebnis nicht ohne weiteres auf alle Fliegenarten übertragbar.

Sicher ist, dass Geruchswahrnehmung bei Tieren auch heute noch nicht allumfassend untersucht ist. Man bedenke, dass das Fachgebiet der Blütenökologie erst seit Darwins Zeiten (Mitte 19. Jahrhundert) existiert und man erst 1915 nachgewiesen hat, dass Bienen überhaupt Farben wahrnehmen können.

Duftstoffe bei Pflanzen sind in der Regel ätherische Öle, welche aus bis zu 100 Einzelkomponenten bestehen, die sie unverwechselbar und unnachahmlich machen, auch wenn meist nur wenige Komponenten für die Duftnote bestimmend sind.

In Blüten werden Duftstoffe in Duftdrüsen oder sog. Duftfeldern gebildet, die Teile der Kronblattoberflächen einnehmen (Abb. 20).



Abb. 20: Blüte einer Narzisse (*Narcissus pseudonarcissus*). Der Pfeil deutet auf die Nebenkrone, auf der auch die Duftfelder lokalisiert sind. Photo: Ingo Haas

Zu den Duftdrüsen/Duftfeldern und deren Lage empfehlen sich die folgenden Versuche:

Versuch 5: Anfärbung von Duftfeldern mit Neutralrot

Objekt: *Narcissus spec.* (weiß oder gelb-blühend), *Galanthus nivalis* (Schneeglöckchen) oder andere helle, duftende Blüten.

Chemikalien: Handelübliche konzentrierte Neutralrotlösung aus dem Laborchemikalienhandel, für den Versuch mit Wasser auf 1:1000 verdünnen.

Blüten werden für mehrere Stunden, gut auch über Nacht, in die Farblösung gelegt. Überschüssige Farbe wird am Ende mit Wasser abgespült. Die Färbung ist gut haltbar, das Ergebnis kann noch Tage in der Blumenvase bewundert werden.

Wer sich mit Origami versuchen möchte, findet auf dieser Seite <http://s89015200.onlinehome.us/thepaperfold/narcissus.htm> eine Faltanleitung für eine Narzissenblüte; für Fortgeschrittene und auf Englisch.

Versuch 6: Olfaktorischer Test

Objekt: *Convolvulus arvensis* (Ackerwinde)

Man teile alle Blüten quer und verteile obere und untere Hälften getrennt in gut schließende Behälter (Schnappdeckelglas, Marmeladenglas, o.ä.). Nach einer halben Stunde öffnet man die Gläser kurz! zum Riechen. Nur in dem Glas mit den unteren Blütenhälften sollte ein Geruch wahrnehmbar sein.

Versuch 7: Tag-/Nacht-Rhythmus

Objekt: *Lonicera caprifolia* (Geißblatt)

Blüten einiger Nachtfalterblumen verströmen ihren Geruch erst nachts. Man sammle blühende Zweige des Geißblattes und stelle sie ins Wasser. Beide Vasen sind mit einem großen Becherglas oder einem ähnliches Gefäß abzudecken. Eines davon wird komplett verdunkelt (z. B. in einen geschlossenen Schrank stellen, mit Pappkarton abdecken,...). Nach einer halben Stunde kann der erste Riechtest erfolgen. Nur die verdunkelten Blüten sollten Geruch verströmen.



Abb. 21: Versuchsaufbau für In-vivo-Anfärbung von Duftfeldern.

Zur Hilfestellung bei der für den Laien oft recht schwierigen Beschreibung von Düften hier eine Liste mit Begriffen aus der Fachsprache der Parfumeure zur Charakterisierung von Duftnoten (Quelle: <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/schwedes/text/febsinne.htm>). Nicht alle Gerüche

von Blüten sind nur einfach mit blumig zu beschreiben, selten reicht ein einziger Begriff zur Charakterisierung aus.

- | | | |
|------------------------------|----------------|--------------------------------|
| • alkoholisch | • fruchtig | • ranzig |
| • animalisch | • grün | • rauchig |
| • aromatisch | • harzig | • sauer |
| • ätherisch | • herb | • scharf |
| • balsamisch | • heuartig | • schwer |
| • bitter | • holzig | • sinnlich |
| • blumig | • jasminig | • speziell blumig
(Rose) |
| • blumig-fruchtig | • kampfrig | • speziell fruchtig
(Apfel) |
| • böckelnd oder
böckselnd | • krautig | • speziell würzig
(Zimt) |
| • brenzlig | • lauchig | • süß |
| • citrusartig | • ledrig | • tabakartig |
| • coniferig | • leicht | • verbrannt |
| • erdig | • minzig | • warm |
| • erogen | • moschusartig | • würzig |
| • fäkalisch | • muffig | • zart |
| • faulig | • naphthalisch | |
| • fettig | • narkotisch | |
| • frisch | • ölig | |
| | • penetrant | |

Form (Gestalttypen)

Neben Farbe und Geruch, die besonders für die Anlockung aus der Ferne wichtig sind, spielt auch die Form der Blüte/des Blütenstandes eine große Rolle.

Hier geht es allerdings nicht nur um die Schauwirkung durch die Blütenform, sondern vor allem um schiere Notwendigkeiten, das heißt um die Frage: Ist ein Insekt oder ein anderer Bestäuber mit einem bestimmten Körperbau überhaupt in der Lage die Nahrung in einer Blüte einer bestimmten Form zu erreichen. Mit einem speziellen Gestalttyp werden vor demnach u. U. einige Bestäubergruppen ausgeschlossen.

Betrachten wir die unterschiedlichen Mundwerkzeuge einiger möglicher Bestäuber. Abb. 22 zeigt Mundwerkzeuge typischer Fliegen, Bienen und Schmetterlinge im Vergleich. Auf die Länge kommt es also an, die Länge des Insektenrüssels oder Vogelschnabels oder Fledermauszunge im Vergleich zur Länge der Blütenröhre. Die meisten Fliegen können den tief verborgenen Nektar in Blumen, die speziell auf Schmetterlingsbestäubung angepasst sind, gar nicht erreichen.

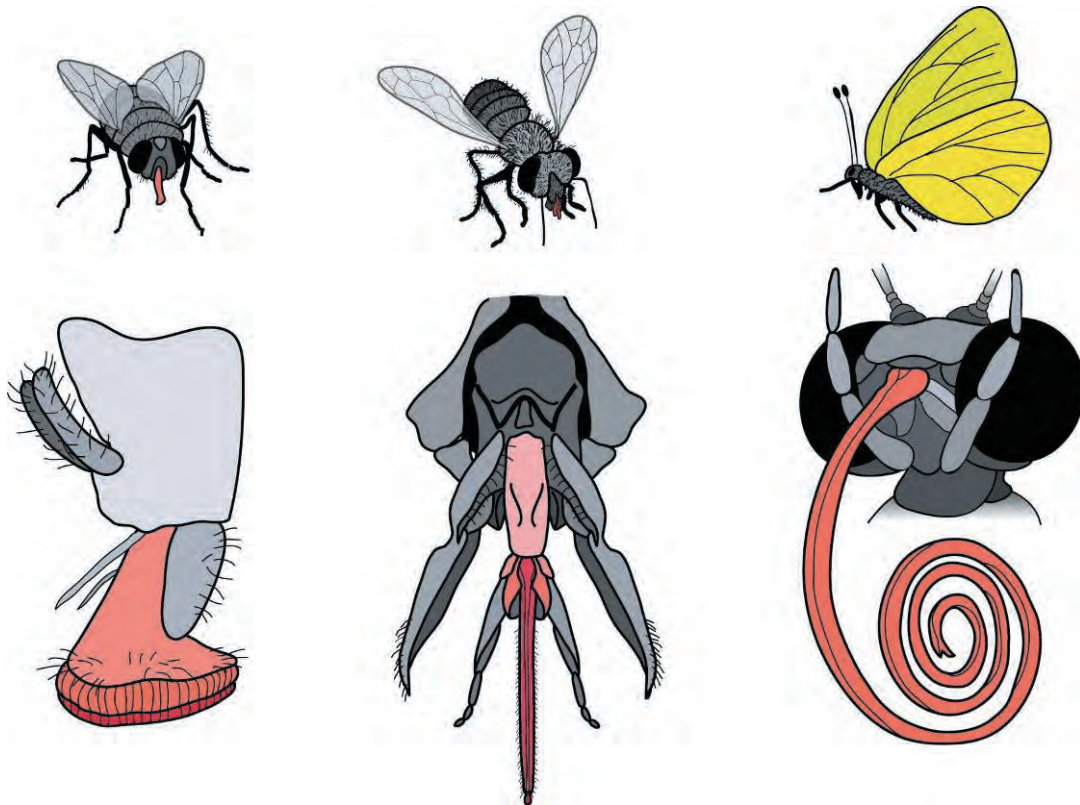


Abb. 22: Mundwerkzeuge von Fliege, Biene und Schmetterlingen im Vergleich. Die kurzen saugenden Werkzeuge der Fliegen können nur offen angebotene Nahrung erreichen. Bienenrüssel dringen in Blütenröhren bis zu 15 mm Tiefe ein. Schmetterlinge gelangen auch an Nektar, der weit über 10 cm tief verborgen sein kann, allerdings gibt es hier große Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten. Verändert nach Barth 1982 und Renner 1984.

Auch auf die Größe kommt es an. Ist die Blüte groß und stabil genug, dass sich ein schwereres Insekt wie z. B. eine Hummel überhaupt daran halten kann. Hummeln kann man gelegentlich bei vergeblichen Versuchen, sich an einer zu kleinen oder zarten Blüte festzuhalten, beobachten – Absturz inklusive. Zum Schwirrfly sind sie nicht fähig, ebenso wenig die Bienen im engeren Sinne. Sie brauchen einen Landeplatz. Kolibris brauchen den nicht.

Neben reinen Notwendigkeiten in der Blütenform, werden durch die Gestalt auch Signale für den Bestäuber gesetzt. Insbesondere bei Bienen gibt es eine Reihe von Untersuchungen, die nachweisen, dass Bienen bestimmte Gestalttypen bevorzugt anfliegen.

Auch die Form des Blütenstandes spielt für die Attraktivität einer Pflanze eine Rolle. Durch den Zusammenschluss von mehreren (oft kleineren) Blüten zu einer größeren Einheit, dem Blütenstand, fallen die (u. U. einzeln recht unscheinbaren) Blüten viel mehr auf und locken mehr Bestäuber an. Eindrucksvoll ist das bei den Korb- und Doldenblütlern verwirklicht, wo sich viele Blüten zu einer Blume, dem Pseudanthium (Abb. 6) zusammengeschlossen haben.

Im Folgenden sind die wichtigsten Gestalttypen der Blumen dargestellt, die die Blütenbiologen unterscheiden.



Bürstenblume:
Mittlerer Wegerich
(*Plantago media*)

Scheibenblume:
Apfel (*Malus sylvestris*)



Glockenblume:
Glockenblume (*Campanula spec.*)



Rachenblume:
Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea*)



Fahnenblume:
Besenginster (*Cytiscus scoparius*)



Stieltellerblume (Röhrenblume + Scheibe):
Weiße Lichtnelke (*Silene nutans*)



Lippenblume:
Geflecktes Labkraut (*Lamium maculatum*)

Abb. 23. Die Gestalttypen der Blütenpflanzen mit Beispielen aus der heimischen Flora. Photos: Ingo Haas.

Temperatur

Welche Rolle der Faktor Temperatur für die Bestäubung spielt, ist bis dato sicher noch unzureichend untersucht. Jedoch gibt es bereits Daten über eine Reihe von Blüten. Und sicher ist auch: keine Blüte stellt sich ohne zu erwartenden Nutzen für sich selbst eine Energie fressende ‚Heizung‘ hin.

Eine gut untersuchte Pflanze ist der heimische Aronstab (*Arum maculatum*). Dessen Blüten sind sehr unscheinbar. Lediglich das sie umrahmende Hochblatt, die sog. Spatha, fällt auf. Die Insekten und viele Menschen zunächst auch, nehmen den ganzen Blütenstand somit als Einheit war; es handelt sich um ein Pseudanthium (vgl. Kapitel ‚Die Blüte‘: S. 6). Am Grund dieses Blütenstandes ist die Temperatur um 15-20°C gegenüber dem Außenwert erhöht. Während zunächst angenommen wurde, die Wärmequelle als solche würde Insekten anlocken, ist man inzwischen zu der Erkenntnis gelangt, dass sie dazu dient, die Geruchsstoffe zu verdampfen und somit weiter zu verbreiten. Der harnartige Geruch lockt vor allem Schmetterlingsmücken und kleine Aasfliegen in die Fallenblume. Unter den Fallenblumen ist der Aaronstab jedoch harmloser Natur, da er seine Gäste nach einem Tag wieder in die Freiheit entlässt und für die Zeit des Aufenthaltes sogar Nahrung anbietet.

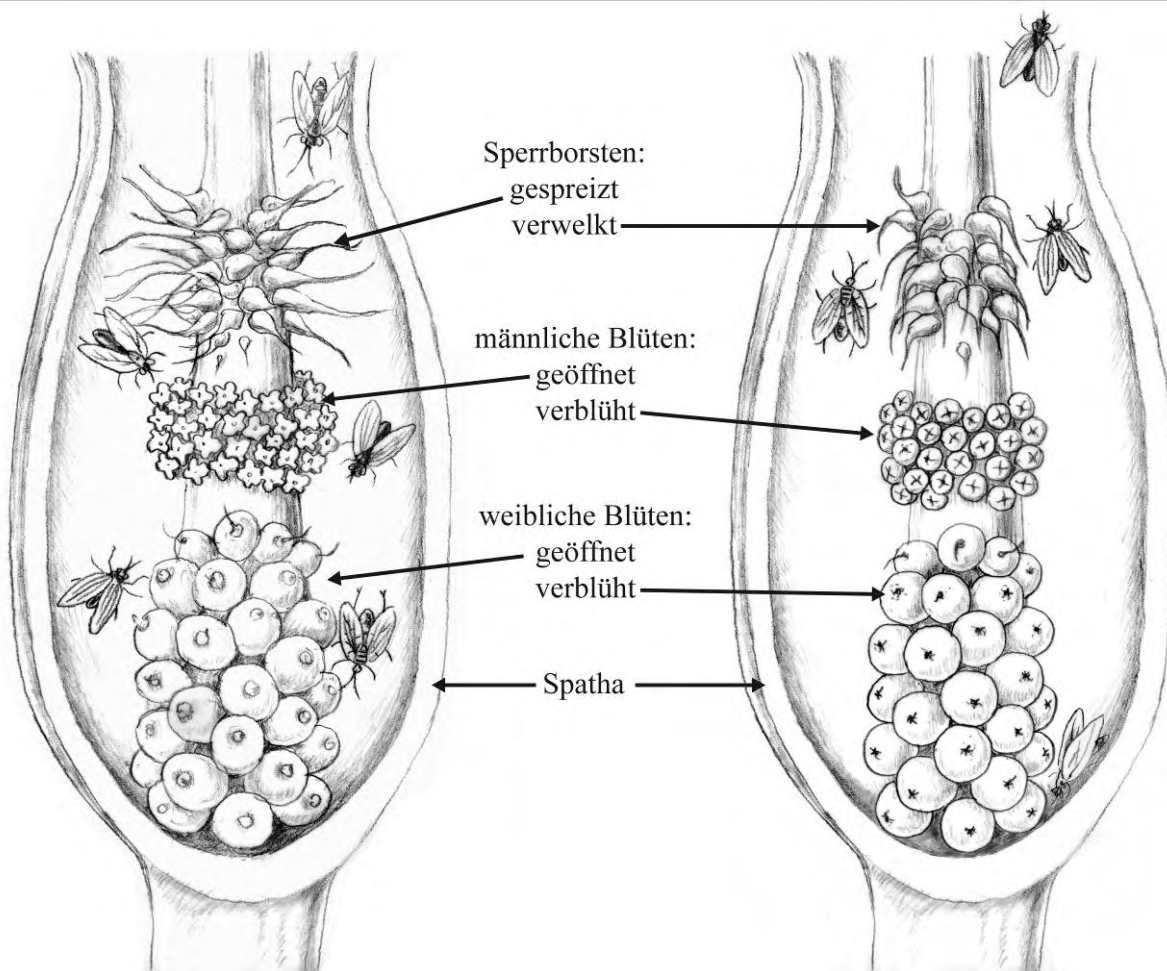


Abb. 24: Die Kesselfallenblume des Aronstabes (*Arum maculatum*). Im jungen Blütenstand links werden die Insekten durch glatte Wände und steife Borsten vom Herausklettern abgehalten. Im alten Blütenstand rechts - hoffentlich nach erfolgter Bestäubung - können die Tiere ungehindert und mit Pollen beladen herausklettern. Zeichnung: Ingo Haas; verändert nach Heß 1990.

Auch bei Blüten der Amazonas-Riesenseerose (*Victoria amazonica*) und bei den im Abschnitt ‚Täuschblumen‘ näher geschilderten Blüten von *Rafflesia* sind signifikante Temperaturerhöhungen

dokumentiert. Ebenso bei einigen käferbestäubten Winteraceae und Annonaceae. Die Temperatur in den Blütenständen von *Philodendron solimoesense* liegt stets ca. 4°C über der Umgebungstemperatur. Besonders für sehr kleine Käfer macht sich das als massive Energieersparnis bemerkbar.

In den geräumigen Blüten der *Victoria* finden Käfer nicht nur Schutz und Wärme, sondern auch noch Futter in Form eines speziellen Futtergewebes auf der Kronblattinnenseite. Die enormen Temperaturunterschiede innerhalb einer *Victoria*-Blüte zeigt das mit einer Wärmekamera aufgenommene Bild unten. Weitere Informationen zur Riesenseerose sind auf den Postern vor dem Eingang zum Victoria-Haus und in der Begleitbroschüre zur Victoria-Ausstellung zu finden.

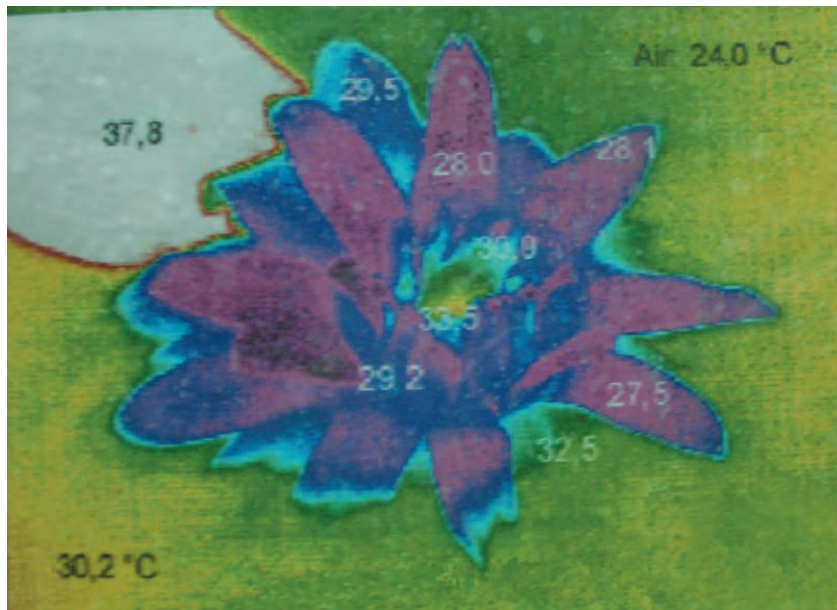


Abb. 25: Temperaturverteilung in der Viktoria Blüte, aufgenommen mit einer Wärmekamera.

Die kleine Palme *Bactris* zeigt einen mit dem Aufblühen der ♂ und ♀ Blüten korrelierten Temperaturverlauf (Abb. 26).



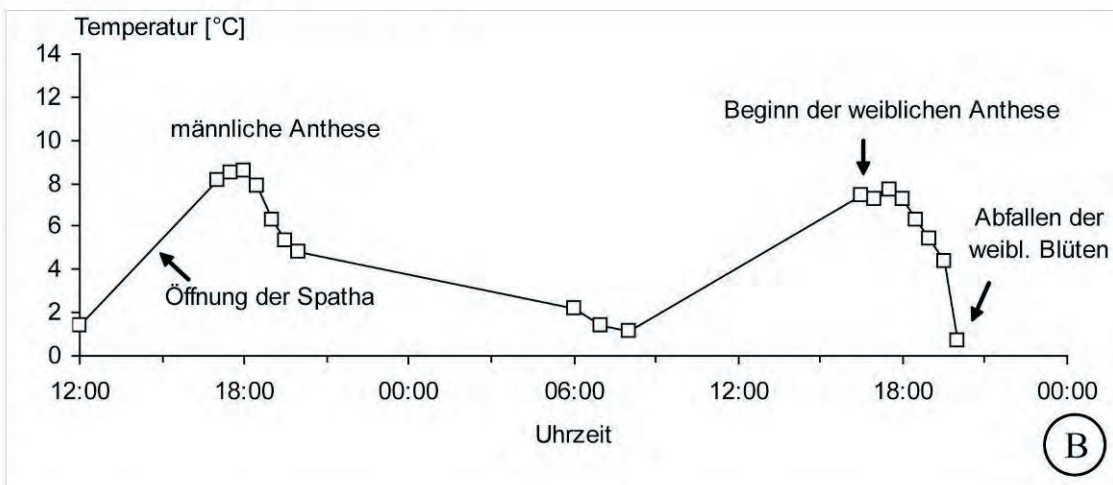
Abb. 26:

A: *Bactris simplicifrons*. Übersicht Blütenstand mit Spatha (grauer Pfeil).

Photo: Heike Küchmeister

B: Tageszeitlicher Temperaturverlauf in Korrelation mit dem Aufblühen am Beispiel der Palme *Bactris simplicifrons*. Auffällig ist die deutliche Erhöhung der Temperatur jeweils zu Beginn der Aufblühphase (Anthese).

Aus: Küchmeister, H. (1997): Reproduktionsbiologie neotropischer Palmen eines Terra firme-Waldes im brasilianischen Amazonasgebiet. - Dissertation Justus-Liebig-Universität, Gießen.



Täuschblumen und getäuschte Blumen

Bei den Nektar saugenden und Pollen fressenden Insekten stellt der spezifische Duft ein lebenswichtiges Signal dar: **ESSEN!!!**

Während der Anflug bei den meisten Blumen von Erfolg gekrönt ist, kommt es manchmal auch zur Enttäuschung. Die Blüte zeigt alle typischen Merkmale, die auf Nektar hinweisen, aber keinen Nektar. Das Insekt ist auf eine Täuschblume hereingefallen. Denen, die imstande sind zu lernen, passiert das nicht so leicht noch mal – anderen immer wieder.

Täuschblumen sind z. B. *Parnassia palustris* (Sumpferzblatt), *Paris quadrifolia* (Einbeere), *Verbascum* spec. (Königskerze), viele Orchideenarten. Vorteil für die Pflanze ist natürlich: sie spart Energie. Nektar- und noch mehr Pollenproduktion kosten wertvolle Reservestoffe, die anderswo effektiver eingesetzt werden könnten. Nachteil ist dabei: die in der heimischen Flora so wichtige Bestäubergruppe der stockbildenden Bienen fällt darauf nicht so oft rein. Die Tiere lernen, zudem zeigen Kundschafterbienen ihren Kollegen in Form von Schwänzeltänzen, wo sich lohnende Blüten befinden. Viele Fliegen dagegen besuchen Täuschblumen mit schöner Regelmäßigkeit.

Nicht alle von Blüten abgegebenen Duftstoffen wirken auf die Empfänger appetitanregend. Düfte, die dem Menschen signalisieren ‚Nase zu halten, weg hier‘, bedeuten besonders für einige Fliegenarten eher ‚rein hier und **EIER ABLEGEN**‘. Diese Pflanzen locken Insekten an, welche gewöhnlich ihre Eier in verwesendes Fleisch oder faulendes Obst legen. Die Nachkommen sind dem Tod geweiht, da die Pflanze keine geeignete Nahrung für sie hervorbringt.

Imposante Beispiele hierfür sind die Arten der tropischen Gattungen *Amorphophallus* und *Rafflesia*, welche die größten Blüten überhaupt bilden. In der Familie der Asclepiadaceae (Seidenpflanzengewächse) kommen häufig Aasfliegen-Täuschblumen vor. Das mildert beim Hobbysukkulentengärtner unter Umständen die Freude über die attraktive Blüte einer *Stapelia* oder *Caralluma* .



Abb. 27. *Amorphophallus* spec.. Der Aufbau des Blütenstandes ähnelt dem des weitläufig verwandten heimischen Aronstabes (*Arum maculatum*), die Pflanze ist aber um ein vielfaches größer und geruchsintensiver. Photos: W. Bartholott - Botanischer Garten, Bonn.

Einzigartig sind auch die Blüten der im Großen Tropenhaus gezeigten *Aristolochia arborea*, die Form und Geruch kleiner Pilze imitieren und so erfolgreich Pilzmücken zur Eiablage anlocken.



Abb. 28. *Aristolochia arborea*. Blüten, deren Narben und Staubblätter unter dem scheinbaren ‚Hut eines kleinen Pilzes‘ verborgen sind. Die Blüten befinden sich zudem direkt am Stamm (Cauliflorie) und zumeist in unmittelbarer Nähe des Erdbodens.

Unter den Orchideen ist ein weiterer Trick verbreitet. Sie versprechen **SEX**. Die Blüten von *Ophrys insectifera* (Fliegen-Ragwurz) täuschen nicht nur die Form einer potentiellen Partnerin für *Argogorytes* spec. (Sphecidae – Grabwespen) vor, sondern ahmen auch noch deren terpen- und fettsäurederivathaltigen Sexuallockstoff nach. Bei seinen Kopulationsversuchen bekommt das Männchen die beiden Pollenpakete auf die Stirn geklebt und kann sie bei seinem nächsten Versuch an der Narbe der Blüte abladen. Dolchwespen fallen gerne auf Blüten der mediterranen Orchidee *Ophrys speculum* (Spiegel-Ragwurz) herein

Teilweise geht die Täuschung soweit, dass Bienenmännchen der Gattung *Andrena* die entsprechenden *Ophrys*-Blüten sogar einem Weibchen vorziehen. Verhaltensforscher nennen das eine überoptimale Atrappe.

Ein derartiger Bestäubungsmodus birgt neben den offensichtlichen Vorteilen auch Risiken für die Pflanze: ist die eine Insektenart, die sie täuschen kann nicht in der Nähe, gibt es keine Samenbildung. Oft kommt es dann zur Notlösung: Selbstbestäubung. Viele Arten sind jedoch obligat fremdbestäubt.

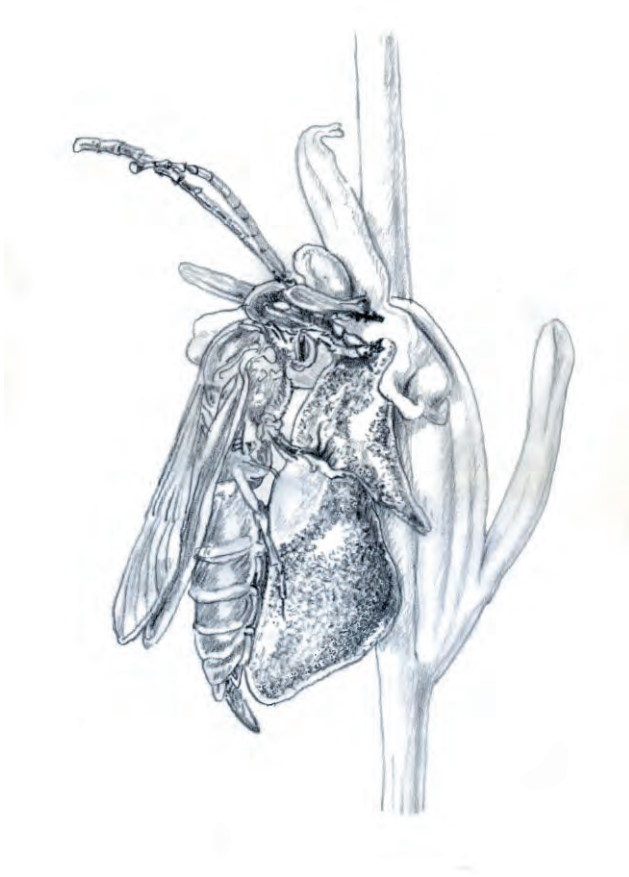


Abb. 29: Fliegenragwurz (*Ophrys insectifera*) mit Langhornbienen- (*Argogorytes*-) Männchen beim Begattungsversuch. Zeichnung: Ingo Haas; verändert nach einem Photo aus <http://www.guenther-blaich.de/argoins.htm>

Oft genug sind allerdings auch die Blumen die Getäuschten, wenn Insekten sich an ihrem Nektar laben ohne dafür Pollen mitzunehmen. Abb. 30 zeigt links eine Baumhummel beim mühsamen vorschriftsmäßigen Besuch einer Salbei-Blüte (*Salvia nubicola*) – die Kronröhre ist ziemlich eng. Deutlich zu sehen ist das Staubblatt (Pfeil), das ihr nachdem sie zwangsweise den Hebelmechanismus ausgelöst hat, den Rücken mit Pollen bedudert (vgl. Arbeitsbogen *Salvia*). Die Dunkle Erdhummel rechts macht es sich leichter: von außen ein kleines Loch in die Kronröhre gestochen, Nektar saugen, weiter fliegen.



Abb. 30: *Salvia nubicola* mit Hummeln, links eine Baumhummel bei vorschriftsmäßiger Bestäubung: legitimer Blütenbesucher (der Pfeil deutet auf die Staubbeutel, die sich auf den Rücken der Hummel gesenkt haben → offenbar hat sie den Hebelmechanismus richtig ausgelöst), rechts eine Erdhummel beim Nektarklau: illegitimer Blütenbesucher.

Woran erkennen Bestäuber ‚ihre‘ Blüten?

Im Folgenden ist abschließend zusammengefasst welche potentiellen Bestäuber auf welche Blütenmerkmale reagieren. Wer bevorzugt welche Farben? Wer kann überhaupt riechen?

Versucht man schließlich diese Kenntnisse in die Praxis umzusetzen, muss man besonders in Mitteleuropa feststellen, dass viele Arten Blüten mit nur wenigen spezifische Anpassungen ausgebildet haben und somit für eine ganze Reihe fakultativer Bestäuber attraktiv wirken. Man nennt diese Blüten allotrop.

Bei der oft großen Individuendichte mitteleuropäischer Wiesenlandschaften ist das eine offenbar Erfolg versprechende Strategie.

Anders sieht es in den Tropen aus, wo wir es häufig mit großen Artenzahlen pro Quadratkilometer, dafür aber einer sehr geringen Individuendichte zu tun haben. Möglicherweise steht der nächste Artgenosse kilometerweit entfernt. Hier ist es sicher von Vorteil einen Bestäuber an der Hand zu haben, der diesen ganz gezielt aufsucht und so den Weiterbestand der Art sicherstellt. So sind die Anpassungen hier oft viel spezifischer (diese Pflanzen werden als eutrop bezeichnet). Der Forscher muss sehr viel mehr Geduld mitbringen, wenn er tatsächlich Bestäuber bei der Arbeit beobachten möchte.

Auf den Wiesen im Botanischen Garten hingegen sind die meisten Blumen reichlich besucht. Jeder ist eingeladen mit Hilfe des Beobachtungsbogens im Anhang eigene Forschungen zur Bestäubung einiger heimischer Blütenpflanzen anzustellen.

Cantharophilie – Käferblumen

Form: Schalen-/Scheibenblumen mit offen dargebotenen Nektar/Pollen

Farbe: weiß, gelb-bräunlich

Geruch: stark – fruchtig oder aminoid (→ Aas bzw. Kot)

Besondere Kennzeichen: keine

Häufig besuchte Arten in Deutschland: Seerosen, Doldenblütler

Als erste Bestäuber im Verlauf der Erdgeschichte werden die Käfer angesehen. Sie waren bereits im Perm unterwegs, als die Vegetation noch von Farnen dominiert wurde.

Ihren zumeist beißenden Mundwerkzeugen entsprechend bevorzugen sie Pollen als Nahrungsangebot. Nektar ist in den meisten Fällen ohnehin zu tief in den Blüten verborgen und steht für sie somit nicht zur Verfügung. Im Allgemeinen interessieren sich Käfer besonders für stark duftende Schalenblumen. Wie z. B. bei den Doldenblütlern realisiert, kann hier der Nektar auch sehr offen zugänglich sein. Spezielle Anpassungen an Käferbestäubung weisen die Doldenblütler allerdings nicht auf, sie gehören eher zu den Generalisten. Die Blüten sind also allotrop und locken demnach eine Vielzahl von potentiellen Bestäubern an.

Auf Blüten richten Käfer häufig mehr Schaden als Nutzen an. Statt dort Pollen abzuladen, werden die Narben – ebenso wie anderen Blütenteile – einfach aufgefressen. Blüten werden als Sonnenplatz, Paarungsstätte und Nachtquartier genutzt. Hierbei kann es natürlich auch einmal zur Bestäubung kommen.

Spezielle Anpassungen finden sich kaum. Auf den oft von Käfern aufgesuchten Doldenblütlern finden sich noch eine ganze Reihe anderer Insekten, die wahrscheinlich mehr für die Bestäubung tun. Man kann sich also die Frage stellen, ob es Käferblumen überhaupt gibt.

Jedoch rechtfertigen einige Spezialfälle tapfer deren Existenz (vgl. auch Kapitel Temperatur): z. B. der Westliche Gewürzstrauch (*Calycanthus occidentalis*), er ist im Duft- und Tastgarten des BGBM zu sehen. Die Blüte stellt eine Kesselfalle, speziell für *Colopterus truncatus* dar. Zum Trost produziert die Blüte an Staminodien Futterkörper, die den nur 3 mm großen Glanzkäfer während seiner Gefangenschaft ernähren. Sobald die Staubblätter sich geöffnet und die gefangenen Käfer schön

eingepudert haben, entlässt die Blüte den Käfer in der Hoffnung, dass er beladen mit Pollen die nächste Blüte aufsucht.

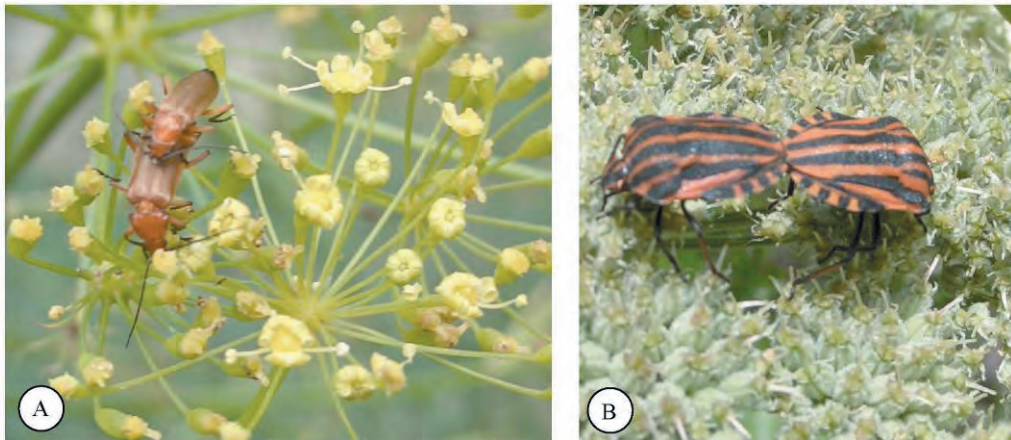


Abb. 31: Besonders auf Doldenblütengewächsen (Apiaceae, Umbelliferae) sind Käfer häufig zu beobachtende Gäste. Viele kommen nicht zum Essen, sondern auch zum Sonnenbaden oder, sehr beliebt, zur Paarung. So auch hier zu sehen: A: Der Rotgelbe Weichkäfer (*Rhagonycha fulva*) und ACHTUNG WANZE! (Wanzen gehören nicht zu den Käfern!); B: Die Streifenwanze (*Graphosoma lineatum*). Beide Arten und noch viele mehr sind im Botanischen Garten regelmäßig im Sommer zu beobachten.



Abb. 32: Eine ‚echte‘ Käferblume mit sehr ursprünglichen Blütenmerkmalen: Der Gewürzstrauch (*Calycanthus floridus*). Photo: Ingo Haas.

Psychophilie - Tagfalterblumen

Form: aufrechte Röhrenblumen, Nektar bis zu 4 cm tief geborgen, Landeplatz am Rand der Röhre nötig → Stieltellerblumen demnach bevorzugt.

Farbe: (weiß), rot, blau, gelb (oft artspezifisch), Farbmale

Geruch: schwach blumig/fruchtig

Besondere Kennzeichen: -

Häufig besuchte Arten in Deutschland: Nelkengewächse, Kardengewächse

Die Beobachtung von Schmetterlingen in Aktion erfordert ein wenig Geduld, da sie oft sehr schreckhaft reagieren und sich leicht verscheuchen lassen. Im Gegensatz zu dem recht breiten Gestaltspektrum an Blumen, die von Bienen und Hummeln aufgesucht werden, sind Schmetterlinge tatsächlich am häufigsten an weiß-rosa-violett blühenden, duftenden Stieltellerblumen zu finden. Die Spezialisierung fällt sofort ins Auge: besonders auf den Kardengewächsen (Dipsacaceae) finden sich Schmetterlinge stets in Massen ein. Der aus China stammende Sommerflieder (*Buddleya davidii*) scheint absolut unwiderstehlich. Folgende Schmetterlingsarten sind im Sommer (Juni-August) im Botanischen Garten häufig zu beobachten:

- *Gonepteryx rhamni* - Zitronenfalter
- *Pieris spec.* - Kohlweisling
- *Inachis io* - Tagpfauenauge
- *Maniola (=Hyponphele) jurtina* - Ochsenauge
- *Aglais urticae* - Kleiner Fuchs
- *Polyommatus icarus* – Heuhechelbläuling
- Hesperidae – Dickkopffalter



Abb. 33: Heimische Schmetterlinge bei der Arbeit: Das Tagpfauenauge (*Inachis io*) auf dem beliebten Sommerflieder (*Buddleya davidii*), der immer seltener werdende Zitronenfalter (*Gonepteryx rhamni*) und das Ochsenauge (*Maniola jurtina*) auf einer Nelke (*Dianthus pinifolius*).

In der Literatur wird zu den verschiedenen Schmetterlingen häufig eine bevorzugte Futterpflanze angegeben, manchmal findet man diese auch im Namen wieder (z.B. Kohlweisling). Das darf man nicht mit den von den Adulten bevorzugten Blüten verwechseln. Es handelt sich stets um die Futterpflanze der Raupen. Die Imagos einiger Arten nehmen sogar gar keine Nahrung mehr auf, ihr Leben ist entsprechend kurz. Brutpflege wird von Schmetterlingen nicht betrieben.

Sphingophilie - Nachtfalterblumen

Form: Röhrenblume, Spezialfall: Stieltellerblume, stehend oder hängend; Nektar bis 20 cm tief verborgen

Farbe: hell, ohne Farbmale

Geruch: stark, süßlich

Besondere Kennzeichen: Aufblühen: abends - nachts, Blüten tagsüber geschlossen; auch Duften oft nur nachts

Häufig besuchte Arten in Deutschland: *Lonicera caprifolium* (Jelängerjelier), *Silene nutans* (Nickendes Leimkraut), *Plantanthera bifolia* (Waldhyazinthe), *Calystegia sepium* (Zaun-Winde), *Datura stramonium* (Stechapfel)

Die amerikanische Wunderblumenart *Mirabilis longiflora* zeigt genau die klassischen Merkmale einer Nachtfalterblume: Die tagsüber nicht duftenden Blüten weisen eine fast 20 cm lange Kronröhre auf und schließen sich bereits am Morgen, weshalb auf dem um halb zwölf aufgenommenen Photo (Abb. 34) keine einzige geöffnete Blüte zu sehen ist.



Abb. 34: *Mirabilis longiflora*, hier ist Nomen Omen: die langblütige Wunderblume ist eine typische Nachtfalterblume, Gestalttyp: Stieltellerblume mit extrem langer Röhre und tagsüber geschlossenen Blüten. In der heimischen Fauna gibt es für die Amerikanerin keine geeigneten Bestäuber.

Um Nachtfalter bei der Bestäubungsarbeit zu beobachten, braucht man nicht zwingenderweise lange aufzubleiben. Es gibt sie nämlich wirklich: die tagaktiven Nachtfalter. Einer davon ist das heimische (zumindest im Sommer, den Winter verbringt er in südlicheren Gefilden) Taubenschwänzchen (*Macroglossum stellatarum*). Beobachtungen sind trotzdem Glücksache, der Schwärmer ist nämlich schnell: 194 Blütenbesuche in nicht ganz sieben Minuten sind schon gezählt worden.

Die Blüten, die von ihnen besucht werden, sind allerdings dieselben, die auch an Tagfalterbestäubung angepasst sind. Was nützt eine tagsüber geschlossene Blüte? Somit ist das Taubenschwänzchen nur systematisch ein Nachtfalter und ökologisch ein Tagfalter.

Es gibt zwei Gruppen von Nachtfaltern, die für die tatsächlich nächtliche Bestäubung in Frage kommen: die Schwärmer (Sphingidae) und die kleineren Eulen (Noctuidae). Neben ähnlichen Vorlieben was Farbe, Form und Geruch betrifft, gibt es einen wichtigen Unterschied:

Eulen brauchen einen Landeplatz, Schwärmer nicht. Sie sind wie auch Kolibris zum Schwirrflug befähigt. Der englische Name für das oben beschriebene Taubenschwänzchen wird ihm dementsprechend eher gerecht: Hummingbird Hawk Moth („Kolibri-Falken-Motte“).

Melittophilie – Bienenblumen

Form: alle Gestalttypen, solange der Nektar nicht mehr als ca. 1 cm (entsprechend der Rüssellänge der jeweiligen Bienen-/Hummelart) verborgen ist, Sitzplatz vorhanden

Farbe: gelb, blau, mit Farbmalen (besonders im UV-Bereich)

Geruch: schwach, angenehm honigartig (manchmal nur tagsüber)

Besondere Kennzeichen: Landeplatz für den Bestäuber mit häufig ‚rauher‘ (papillöser) Oberfläche

Häufig besuchte Arten in Deutschland: variiert nach Saison und Bienen-/Hummelart, bzw. -staat – zu viele, um sie hier aufzuzählen: sehr zahlreich sind sie oft auf vielen Lamiaceae, *Phacelia* spec. (Bienenbrot!) zu finden, im Frühjahr aber auch auf *Crocus*.

Die häufigsten Bestäuber in Mitteleuropa sind die sogenannten Bienenartigen (Apoidea) unter den Hautflüglern (Hymenoptera). Zu ihnen zählen allerdings noch weit mehr Arten als nur die allseits bekannte Honigbiene. Zunächst sind die Hummeln zu nennen. Weniger bekannt sind die teils Staaten bildenden, teils solitär lebenden Familien der Sandbienen, der Bauchsammlerbienen, der Kuckucksbienen u. a., gemeinhin oft unter dem Begriff Wildbienen zusammengefasst.

Abgesehen von unterschiedlichen Spezialisierungen einzelner Arten oder sogar einzelner Staaten haben sie alle ähnliche Vorlieben bezüglich Farbe, Form und Duft der Blüten. Die deutlich größeren Hummeln unterliegen hierbei natürlich gewissen Einschränkungen, was die Größe und Stabilität der besuchten Blüten betrifft. Dafür sind sie durch die kräftigeren Mundwerkzeuge befähigt gelegentlich durch regelwidriges Durchbeißen der Kronblätter an den Nektar zu gelangen. Die Blüte geht hierbei leer aus → keine Bestäubung. Oft nutzen im Nachhinein auch noch Bienen diesen meist einfacheren Zugang, so dass die betroffene Blüte in der Regel nicht mehr bestäubt wird.

Die unterschiedliche Farbwahrnehmung von Bienen und Menschen wurde bereits in Kap. ‚Farbe‘ geschildert (Abb. 17). Dementsprechend ist es für unsereins manchmal schwierig die attraktivsten Bienenblumen zu erkennen, da wir die besonders anziehenden UV-Male ohne Hilfsmittel einfach nicht sehen können (Abb. 18); die auch von Bienen wahrgenommenen Blau- und Gelbtöne jedoch schon. Zusammen mit dem leicht honigartigen Duft und der Form der Blüte können wir uns dennoch ein Bild machen.

Wichtig ist vor allem, die Rüssellänge der Bienen zu beachten (Abb. 22). Nektar, der tiefer als 1,5 cm verborgen ist, können sie nicht erreichen. Diese Blüten bleiben in der heimischen Flora den Schmetterlingen vorbehalten, die ihren Rüssel mehrere Zentimeter lang ausrollen können. Da Bienen zudem nicht zum Nektarernten während eines Schwirfluges im Stande sind, brauchen sie einen Landeplatz auf der Blüte bzw. dem Blütenstand.

Besonders bei Staaten bildenden Bienen wie der Honigbiene ist deren Lernfähigkeit ein wichtiger Faktor für die spezifischen Blütenpräferenzen. Da sich die Stockmitglieder gegenseitig mitteilen, welche Blüten gerade viel Nahrung versprechen, kommt es hier in der Regel zu stockspezifischen Unterschieden. Imker und Forscher können das auch ausnutzen, indem sie die Bienen regelrecht auf bestimmte Blüten (Form, Farbe, Geruch) dressieren.



Abb. 35: Bienen und Hummeln treffen sich auf dem Blütenstand von *Cirsium ligulare*. Kratzdisteln sind bei Bienen und Hummeln gleichermaßen beliebt.

Vespophilie - Wespenblumen

Form: Scheiben-, Glockenblumen

Farbe: bräunlich, aber relativ variabel

Geruch: unauffällig, nicht vorhanden

Besondere Kennzeichen: gut zugängliche Nektarien

Häufig besuchte Arten in Deutschland: *Scrophularia nodosa*, *Listera ovata*, *Epipactis helleborine* agg.; Apiaceae, *Thymus serpyllum*, *Frangula alnus*, *Hedera helix*, Campanulaceae, *Jasione montana*, *Rubus fruticosus*, *Calluna vulgaris*, *Solidago canadensis*

Neben den Bienen zählen auch die Wespen zu den Hautflüglern (Hymenoptera). Ähnlich wie diese gehören ebenso die Wespen verschiedenen Familien an, das sind in Mitteleuropa die Schlupfwespen (Ichneumonidae), die Grabwespen (Sphecidae) und die Echten Wespen (Vespidae). Zu letzteren gehören die allgemein bekannten Wespen, die sich im Sommer gerne einmal ein Stückchen von unserem Pflaumenkuchen oder Grillfleisch abschneiden.

Als Blütenbesucher sind sie eher selten, daher mag es vielleicht übertrieben erscheinen, ein eigenes Blütensyndrom für Wespenblumen zu beschreiben, da es kaum spezifische Anpassungen gibt. Besonders während der Brutzeit im Frühling und Sommer bevorzugen die meisten von ihnen proteinreiche tierische Nahrung und sind erst im Herbst auch gelegentlich an Blüten zu finden, das ist dann bei uns am häufigsten der Efeu (*Hedera helix*), der allerdings auch von Fliegen gerne aufgesucht wird und in seinen Merkmalen eher diesem Syndrom entspricht. Bei längerer Beobachtung von Wespen auf Blüten, stellt man meist fest, dass einige von ihnen nur gekommen sind, weil hier ein gutes Jagdrevier ist. Insbesondere die Gattung *Vespula* liegt oft zwischen gut besuchten Blüten auf der Lauer.

Zu den wenigen Pflanzen, denen man unterstellt eine Wespenblume zu sein, gehört die Knotige Braunwurz (*Scrophularia nodosa*) mit Blüten in der Wespenlieblingsfarbe braun, der es tatsächlich auch im Frühsommer schon gelingt neben anderen Bestäubern auch Wespen für sich zu interessieren.

Einige Orchideen (oft Arten der Gattung *Ophrys* – Ragwurz) zielen mit ihren Anlockungsmethoden eher auf den Sexualtrieb der Wespen ab und zählen somit zu den Täuschblumen (vgl. S. 34). Die möglicherweise bekannteste Wespenblume ist die Feige (*Ficus carica*) mit Blüten, die weniger dem oben geschilderten ‚Wespenschema‘ entsprechen. Sie haben es auch nur auf eine bestimmte Wespe abgesehen, auf *Blastophaga psenes*, eine kleine Gallwespe, deren Weibchen zur Eiablage Blüten der Wildfeige aufsuchen. Feigenblüten sind für den Laien nicht so leicht zu finden. Sie sind bereits zur Blütezeit komplett von einem Achsenbecher umschlossen, der später das Fruchtfleisch bildet. Niemand braucht sich allerdings zu sorgen, beim beherzten Hineinbeißen in eine reife Feige auch Wespenbrut zu verspeisen. Die Früchte der Kulturfeigen entstehen parthenokarp, d. h. ohne Befruchtung der weiblichen Blüten. Auch bei der Wildfeige sind es nur spezielle Blütenstände, die im Frühjahr gebildeten sog. Bocksfeigen, in denen die nächste Wespengeneration heranwächst.



Abb. 36: Längsschnitt durch einen *Ficus*-Blütenstand. Im oberen Teil befinden sich die männlichen, im unteren Teil die weiblichen Blüten. Der Pfeil deutet auf die kleine Öffnung, durch welche die Gallwespen in den Blütenstand eindringen können. Hier sind Blüten bereits am Abblühen und männliche und weibliche Blüten nicht gut zu unterscheiden. Photo: Ingo Haas.

Myiophile - Fliegenblumen

Form: Scheiben-/Schalenblumen, Glockenblumen, viele Fallenblumen

Farbe: weiß, gelb-bräunlich oder braunrot, fleischfarben, grüngelb

Geruch: schwach oder aminoid

Besondere Kennzeichen: offen zugänglicher Nektar oder Fallenblume

Häufig besuchte Arten in Deutschland: viele Doldenblütler und Korbblütler, *Sambucus nigra* (Holunder), Fallenblumen: *Arum maculatum* (Abb. 24), *Aristolochia clematitis* (Osterluzei), *Vincetoxicum hirundinaria* (Schwalbenwurz)

Die Blüten besuchenden Fliegenarten sind von ihrer Ökologie her sehr heterogen. Auf der einen Seite stehen die vor allem Nektar konsumierenden Schwebfliegen (Syrphidae), die Blüten nach ähnlichem Gesichtspunkten auswählen wie die Bienen. Dem gegenüber gibt es die Aasfliegen als wichtige Bestäubergruppe, die zum Zwecke der Eiablage oft sehr spezialisierte Blüten besuchen.

In der heimischen Flora tun sich verstärkt im Spätsommer die Schwebfliegen als Bestäuber hervor. Insbesondere auf Dolden- und Korbblütlern sind etliche Arten zu finden, die auf den ersten Blick gerne mit Wespen oder Bienen verwechselt werden aufgrund ihrer gelb/schwarzen Signalfärbung (Abb. 37), was ja beides zum in der Mehrzahl ‚bewaffnete‘ Gruppen sind. Die oft zwischen den Blütenständen jagenden Wespen können sie dadurch allerdings nicht täuschen.

Die Mundwerkzeuge der Fliegen sind meist kurz und leckend. Bei Betrachtung mit der Lupe zeigt sich die typische ‚Stempelform‘ (Abb. 22). Das unterscheidet sie deutlich von den beißenden Mundwerkzeugen der Wespen. Das vielleicht eindeutigste Unterscheidungsmerkmal taugt in der Praxis leider wenig: Schwebfliegen gehören zu den Dipteren = Zweiflügler, während Hymenopteren vier Flügel haben, die von den Tieren leider so ineinander gehakt werden, dass auch hier der Eindruck entsteht, es wären nur zwei Flügel (Abb. 37).



Abb. 37: Wer ist wer? Biene, Wespe, Fliege?

links oben: *Myathropa florea*

(Totenkopfschwebfliege)

Photo: Wolfgang Rutkies in

<http://www.rutkies.de/index.html>

rechts oben: *Anthidium manicatum* (Wollbiene)

Photo: Heinz Schneider in

<http://pages.unibas.ch/botimage/>

links: *Ectemnius lapidarius* (Grabwespen).

Photo: Wolfgang Rutkies in

<http://www.rutkies.de/index.html>

Auch die größten Blüten der Welt lassen sich von Fliegen bestäuben. Die tropische Gattung *Rafflesia* gaukelt Fliegen einen Eiablageplatz vor (vgl. auch Kapitel ‚Täuschblumen‘: S. 34). Sie und viele andere wenden sich an Aasfliegen.

Als noch relativ häufige heimische Fallenblume lockt im Frühjahr der hochgiftige Aronstab (*Arum maculatum*), vgl. auch Kap. ‚Temperatur‘: S. 31.



Abb. 38: *Ceropegia woodii*, eine Fallenblume aus den Trockengebieten Südafrikas im Botanischen Garten Berlin-Dahlem. Der Blütenaufbau und somit auch der ‚Fangmechanismus‘ dieses Seidenpflanzengewächses (Asclepiadaceae) ähnelt dem der einheimischen Schwalbenwurz (*Vincetoxicum hirundinaria*), die derselben Familie angehört.

Ornithophilie - Vogelblumen

Form: Röhrenblumen, Rachenblumen, Bürstenblumen, Kronblattzipfel sind häufig zurückgeschlagen; bei altweltlichen Arten: Sitzplatz außerhalb der Blüte; gut zugänglich, aus dem Blattwerk herausragend

Farbe: Rot, oft in Kombination mit Blau und Gelb oder auch Grün (Papageienfarben), Schwarz-violett
Geruch: schwach bis fehlend

Besondere Kennzeichen: recht derber Blütenbau, Nektar mit relativ geringem Zuckergehalt, dafür in größeren Mengen, nicht zu nah an den Fortpflanzungsorganen gelagert

Häufig besuchte Arten in Deutschland: keine, bzw. nur nicht heimische Zierpflanzen, die ihre Bestäuber nicht mitgebracht haben: *Hibiscus rosa-sinensis* (Hibiscus), *Fritillaria imperialis* (Kaiserkrone), *Callistemon citrinus* (Zylinderputzer), *Salvia splendens* (Feuersalbei), *Erythrina cristagalli* (Korallenstrauch), *Strelitzia reginae* (Strelitzie, Abb. 39)

Vogelblumen gibt es in Mitteleuropa nicht. Schaut man sich auf einer blühenden Wiese um, fehlt auch die Farbe Rot. Umso öfter holen wir uns rotblühende Zierpflanzen in unsere Gärten und Fensterbänke. Sie findet man vor allem in den Subtropen und Tropen. Hier finden sich auch die wichtigsten

Bestäubergruppen: Kolibris (Abb. 12) in Amerika, Nektarvögel mehrheitlich in Afrika und Bienenfresser vor allem in Asien und Australien. Die Familie der Bienenfresser kommen zwar fast weltweit vor (es gibt mit *Merops apiaster* auch einen deutschen Vertreter), aber nicht alle Arten bestäuben auch Blüten. Wenige Kolibriarten halten sich als Zugvögel saisonal in Nordkalifornien, gelegentlich sogar bis Kanada, auf und spielen auch dort als Bestäuber eine Rolle.

In einigen Gebieten sind die Vogelblumen sogar in der Überzahl. Das ist z. B. in Hawaii der Fall, wo höher entwickelte Bienen völlig fehlen und 61 % der zoophilen Blütenpflanzen von Vögeln bestäubt werden.

Die Paradiesvogelblume oder Strelitzie demonstriert ihren Bestäubungsmodus schon durch die Form des Blütenstandes, der einem Vogelkopf ähnelt. Man kann hier den bestäubenden Nektarvogel gut imitieren, indem man die Spatha (Sitzplatz) leicht herunterdrückt und mit einem Stift versucht den Nektar an der Blütenbasis zu erreichen. Hierbei wird ein Klappmechanismus ausgelöst, der klebrige Pollen an den ‚Schnabel‘ geheftet. Hier im Botanischen Garten haben Spatzen und Meisen diese Nektarquelle entdeckt und übernehmen gelegentlich die Bestäubung.

Namenspatin der Gattung *Strelitzia* ist übrigens eine deutsche Prinzessin (Charlotte von Mecklenburg-Strelitz), die als Gattin von Georg III. zur Königin von Großbritannien avancierte.



Abb. 39: Strelitzie (*Strelitzia reginae*) im Botanischen Garten Berlin-Dahlem. Der von orangenen Hüllblättern umgebene Blütenstand enthält mehrere der blauen Blüten. Mit ihrer papageienbunten Färbung zählt die Strelitzie zu den typischen Vogelblumen. Photo: Ingo Haas.

Chiropterophilie - Fledermausblumen

Form: Glockenblumen, seltener Scheiben-/Schalenblumen, Bürstenblumen

Farbe: schmutziggelb, weißlich, trübe Farben

Geruch: fruchtig, muffig, säuerlich, manchmal kohlsartig

Besondere Kennzeichen: große Nektarmengen, oft schleimige Konsistenz, teilweise tief verborgen; Blüten duften und öffnen sich ausschließlich nachts; Blüten frei zugänglich, oft cauliflor (= am Stamm sitzend), Blüten derb (oft fleischige Blütenhüllblätter), weite Öffnung,

Häufig besuchte Arten in Deutschland: keine

Ähnlich wie bei den Vögeln haben sich auch unter den Fledermäusen nur (sub-)tropische Arten auf Nahrungsaufnahme aus Blüten spezialisiert.

Auch hier sind einige bekannte Tropenpflanzen unter den Nektarspendern: *Adansonia digitata* (Affenbrotbaum), *Cobaea scandens* (Glockenrebe), *Musa spec.* (Banane).



Abb. 40: Blumenfledermaus. Zeichnung: Ingo Haas; verändert nach einem Photo von Prof. Dr. O. Helversen, Universität Erlangen.

Hydrophilie – Ihr Freund ist das Wasser

Obwohl es eine Reihe von Pflanzen gibt, die im oder am Wasser leben, ist die Anzahl derer, die auch ihren Pollen dem Wasser anvertrauen, sehr gering. Die meisten verlassen sich nach wie vor auf Insekten als zuverlässige Pollenüberträger. Echte Wasserbestäubung findet sich beim Hornblatt (*Ceratophyllum*) und beim Seegrass (*Zostera*), die tatsächlich ihren Pollen ins Wasser abgeben.

Etwas abgewandelt geschieht das bei einer beliebten Aquarienflechte, der Wasserschraube (*Vallisneria spiralis*). Wie die Abbildung demonstriert, lösen sich die kompletten männlichen Blüten vom Stiel, steigen auf zur Wasseroberfläche und werden dort (hoffentlich) zu einer weiblichen Blüte getrieben. Durch den spiraligen Blütenstiel wird die weibliche Blüte im voll aufgeblühten Zustand etwas tiefer gezogen, so dass ein ‚Tälchen‘ in der Wasseroberfläche entsteht, in dessen Richtung die ♂ Blüten mit dem Pollen getrieben werden.

Auch die in heimischen Gewässern weit verbreitete Wasserpest (*Elodea canadensis*) zeigt einen ähnlichen Mechanismus. Mit etwas Glück sind deren Blüten im Frühsommer im Wassergarten des Botanischen Gartens Berlin-Dahlem zu beobachten.

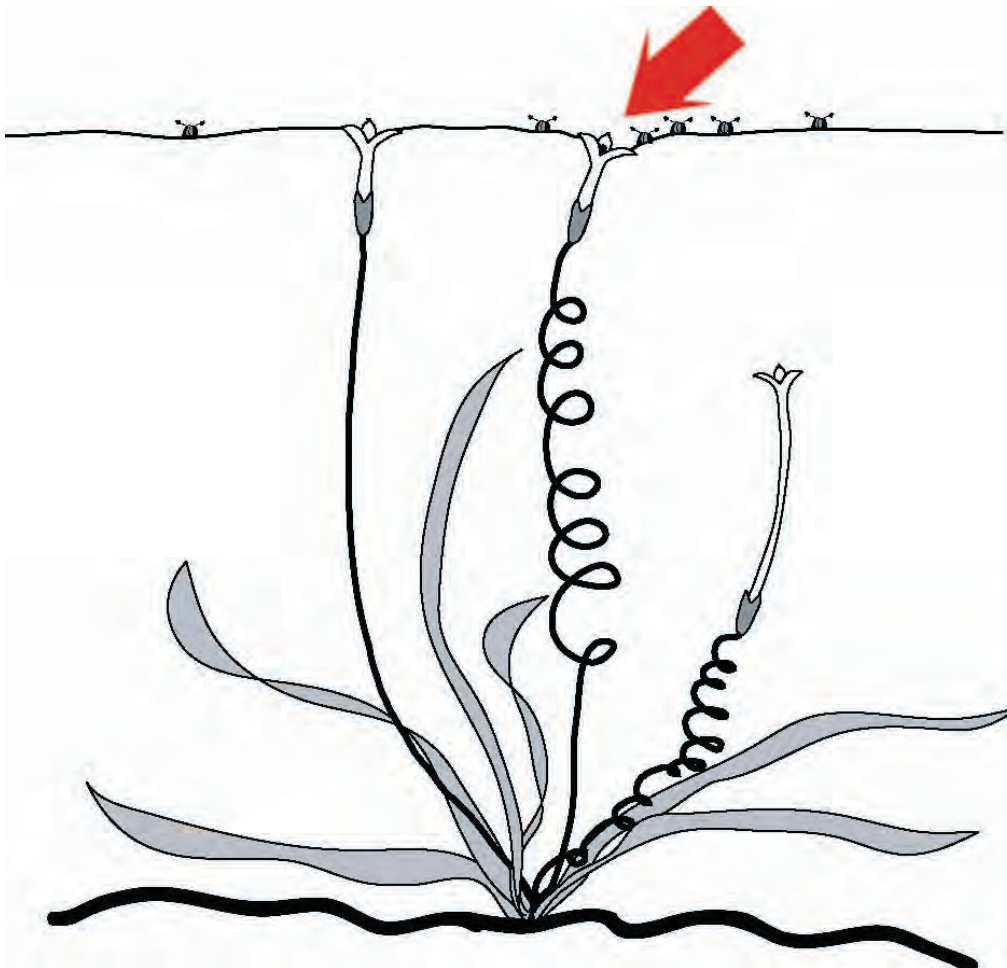


Abb. 41: Die Bestäubung der Wasserschraube (*Vallisneria spiralis*). Die männlichen Blüten haben sich vom Stiel gelöst und schwimmen an der Wasseroberfläche. Der sich spiralisierende Stiel der weiblichen Blüten zieht diese etwas nach unten, so dass eine leichte Depression der Wasseroberfläche erfolgt (roter Pfeil). Dadurch treiben die männlichen Blüten aus der Umgebung direkt auf die weibliche Blüte zu. Verändert nach Heß 1990.

Was macht nun eine Pflanze fit für die Bestäubung durch Wasser?

1. Die Pollen müssen gut schwimmen können. → Dünne, unbenetzbare Pollenwand, gelegentlich spezielle Schwimmgewebe oder fadenförmige Pollenkörner.
2. Die Blüten müssen an die Oberfläche gelangen. → Oft Luftgewebe im Stiel oder in der Blüte selbst. Blüten unscheinbar, nur mit den ‚nötigsten‘ Strukturen.
3. Pollen müssen in Massen produziert werden. → Wie auch der Wind, ist Wasser kein zielgerichteter Bestäuber.
4. Die Narben müssen die Pollenkörner auffangen können. → Vergrößerte Narbenoberflächen.
5. Selbstbestäubung zu verhindern ist recht schwierig. → Die Blüten sind oft eingeschlechtig, die Pflanzen mon- oder diöcisch.

Autogamie – Die Einzelkämpfer

Nun gibt es auch eine Reihe von Pflanzen mit zoophilen Vorfahren, die zumeist aufgrund widriger Umweltbedingungen, dazu übergegangen sind ihre Blüten selbst zu bestäuben.

Bei einigen ist es nur als Notfalllösung vorgesehen: Wenn sich zum Ende der Blütezeit immer noch keine Bestäuber gefunden haben, geht es auch ohne diese. Andere haben sich völlig auf Selbstbestäubung umgestellt, vermenschlicht gesagt: sie haben die Suche nach einem Partner aufgegeben.

Oft finden wir Selbstbestäuber unter den Kulturpflanzen, wie z.B. Weizen (*Triticum aestivum*) und Gerste (*Hordeum sativum*), Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris*), Erbse (*Pisum sativum*) und viele mehr. Das ist durchaus kein Zufall.

Selbstbestäubung über mehrere Generation führt dazu, dass die Nachkommen an immer mehr Genorten homozygot, also reinerbig, sind (s. Box 5). Je geringer der Prozentsatz heterozygoter ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass in einem schlechten Jahr mit wenig Nachkommen die Heterozygoten ganz weg fallen.

Hieraus lassen sich gut Mathematikaufgaben im Rahmen der Wahrscheinlichkeitsrechnung konstruieren. Man stelle sich vor: Durch eine Reihe später Nachtfröste wurde die Hälfte der Keimlinge der F4 (vgl. Modell in Box 5) vernichtet. In der F5 sind von 1024 Pflanzen nur noch 32 heterozygot (= 3,125 %). Die Wahrscheinlichkeit, dass die Homozygoten ausgerottet werden beträgt 0 %. Wie hoch aber ist die Wahrscheinlichkeit, dass es im nächsten Jahr keine Heterozygoten mehr geben wird?

Diese Art von Berechnungen wird sehr anschaulich in einem Skript für Biostatistik von Herrn Dr. Witte dargestellt (<http://www.mathezentrale.de/Beitrag%208/biostat.pdf>), S. 21, Satz 1.1.6 mit dem Beispiel Lottoziehung; Urnenmodell: wir greifen 512x in die Urne mit 992 weißen und 32 schwarzen Kugeln → wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass alle schwarzen Kugeln dabei sind? Das unter dem angegebenen Link verfügbare Skript umfasst 86 Seiten und gibt noch viele weitere Beispiele zur praktischen Anwendung.

In der Pflanzenzüchtung ist das durchaus erwünscht. Das Ergebnis sind die sogenannten Reinen Linien. Die Nachkommenschaft ist berechenbar, sie sieht genauso aus wie die Elterngeneration, es gibt keine unerwünschten Überraschungen durch Zutagetreten rezessiver Allele. Sind die Pflanzen obligat autogam, muss sich der Züchter auch keine Sorgen machen, dass seine Reine Linie durch fremden Pollen verunreinigt wird. Als kleinen Wermutstropfen macht das natürlich die erwünschte Fremdbestäubung zur Züchtung neuer Sorten deutlich schwieriger, aber nicht unmöglich. Zumindest im Reagenzglas gelingt es oft doch.

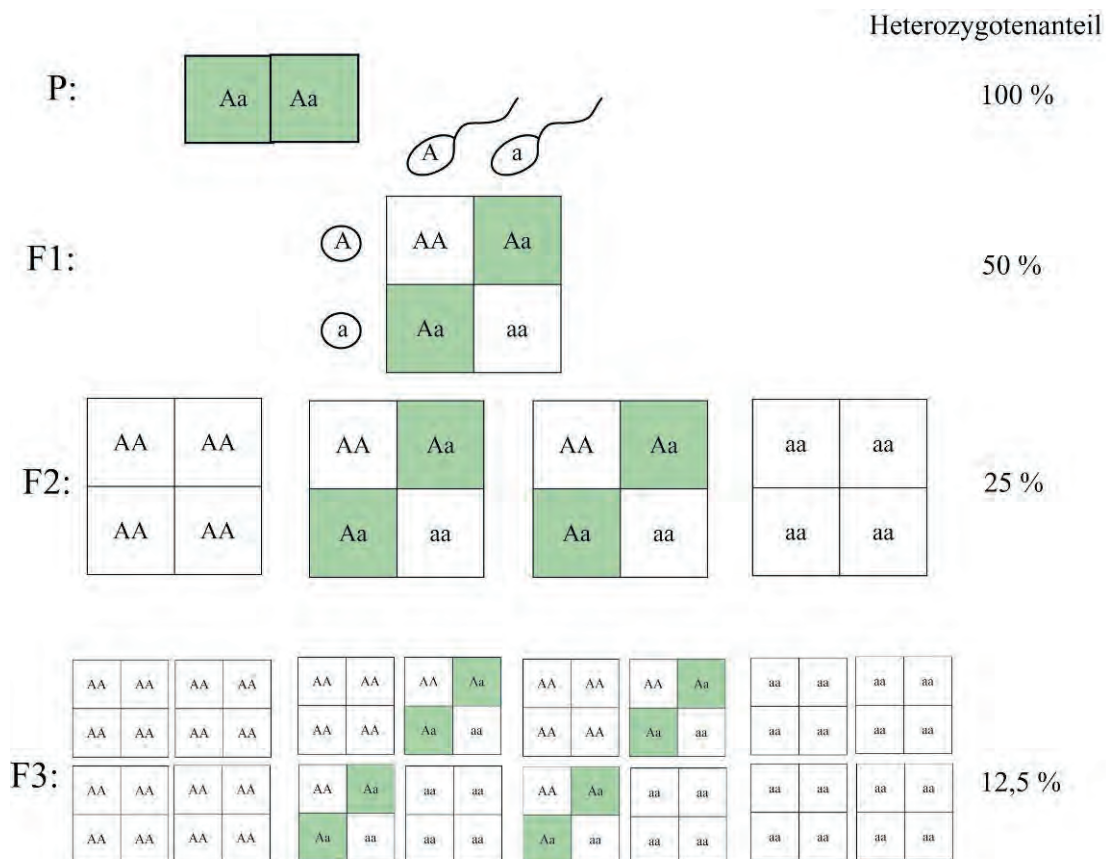
Box 5: Selbstbestäubung und deren Auswirkung auf die Reinerbigkeit der Nachkommen.

Bei Selbstbestäubung über Generationen hinweg, setzt sich Reinerbigkeit durch. Wir setzen voraus, dass die Fitness aller drei Genotypen gleich ist und alle gleichermaßen zur Fortpflanzung kommen. Das ist natürlich graue Theorie und stark idealisiert, ist vor allem nur auf ein einziges Merkmal, also einen Genort bezogen.

A und a symbolisieren jeweils ein Allel eines Genortes.

Für die heterozygote Elterngeneration (P) der F1 sind noch die Gameten a bzw. A dargestellt, für die weiteren Generationen wurde dies zur Vereinfachung weggelassen. Die Heterozygoten in jeder Generation wurden hellgrün unterlegt. Ihr Anteil halbiert sich von Generation zu Generation.

Für die genetische Vielfalt ist das mit Sicherheit eher als Nachteil zu betrachten.



Eine sehr effektive Methode zur Herbeiführung der Selbstbestäubung ist die **Kleistogamie** (griech. kleistos = verschlossen). Die Blüten öffnen sich nicht, Pollen und Samenanlage kommen im Verborgenen zur Reife, die Pollen erreichen nur die eigene Narbe. Vorteil: Bestäubung ist garantiert. Es gibt weniger Fraßschäden durch Insekten. Nachteil: Rekombination bleibt aus. Über Generationen kann es zu Inzuchtschäden kommen.

Einige Arten haben beide Möglichkeiten. Zum Beispiel bildet das Rührmichnichtan (*Impatiens noli-tangere*) im Flachland kaum kleistogame Blüten, in Hochlagen fast ausschließlich. Bei der Stengelumfassenden Taubnessel (*Lamium amplexicaule*) ist der Zusammenhang jahreszeitlich. Im Frühjahr und Herbst werden kleistogame Blüten gebildet, im Sommer fast ausschließlich offene Blüten. Andere haben kleistogame Sommerblüten, wie der Sauerklee (*Oxalis acetosella*) und das Wunderveilchen (*Viola mirabilis*).

Extrem ausgeprägt ist die Kleistogamie bei Arten, die ihre Blüten – zumindest einige davon – gleich unterirdisch anlegen, wie z. B. die Erdnuss (*Arachis hypogaea*) oder einige Orchideenarten.

Glossar

adaptive Radiation. Evolutionärer Prozess, bei dem sich eine meist recht unspezialisierte Ausgangsart in mehrere neue Arten, die sich auf unterschiedliche ökologische Nischen spezialisiert haben, aufspaltet. Dies geschieht meist in relativ kurzer Zeit auf relativ eng begrenztem Raum, der allerdings eine große Vielfalt an ökologischen Nischen bietet.

Angiospermen, Angiospermae. Gruppe der Bedecktsamigen Pflanzen (gemeinhin oft als Blütenpflanzen bezeichnet). Bilden zusammen mit den Gymnospermen die Samenpflanzen. Als exklusives Kennzeichen besitzt die Angiospermenblüte (eine) Samenanlage(n), die in einen Fruchtknoten eingeschlossen ist (sind) und zusammen mit diesem später die Frucht bildet(n). Zudem besitzen sie in den meisten Fällen eine mehr oder weniger auffällige Blütenhülle.

Allel. Zustandsform eines Gens. Stellen wir uns vor, Blütenfarbe wäre in einem einzigen Genort kodiert. Für das Gen ‚Blütenfarbe‘ gäbe es verschiedene Allele für die unterschiedlichen Farben. Also könnte eine Pflanze das Gen ‚Blütenfarbe‘ in den Allelen ‚Blau‘, ‚Rot‘, ‚Gelb‘ oder ‚Weiß‘ besitzen.

allotrop. In der Blütenbiologie spricht man von allotropen Blüten, wenn diese nicht auf bestimmte Bestäuber spezialisiert sind, sondern eine große Vielfalt an Blütenbesuchern anlocken. Dazu würde man viele Dolden- und Korbblütler zählen. Gegenteil: → eutrop.

Androeceum. Gesamtheit der männlichen Blütenorgane (Staubblätter) einer Blüte.

Arthropoden. Stamm der Gliedertiere. Zu ihnen zählen z.B. Krebstiere, Spinnen und Insekten. Gemeinsam haben sie einen gegliederten Körper (max. 1 Extremitätenpaar/Segment) mit Außenskelett (Chitinpanzer), offenem Blutkreislauf und Strickleiternnervensystem.

Autogamie, autogam. Selbstbestäubung.

Befruchtung. Verschmelzung der Spermazelle/-kern mit der Eizelle. Bei den Samenpflanzen findet die Befruchtung in der Samenanlage statt und führt schließlich zur Bildung des in Nährgewebe eingebetteten Embryos.

Bestäuber. Medium (oft ein Tier oder als abiotischer Bestäuber der Wind), welches Pollen einer Blüte auf die Narbe (einer anderen) Blüte überführt. Es ist also nicht zwangsläufig jeder Blütenbesucher ein Bestäuber. Viele kommen nur zum Essen, zur Paarung oder auch zum Sonnenbaden, ohne als Pollenüberträger zu dienen.

Bestäubung. Gelangen des Pollens auf die Narbe.

Blume. Bestäubungsbiologische Einheit, als ‚Blüte‘ aus Sicht des → Bestäubers definiert, die Einheit, die ein Insekt bei einem Besuch bestäuben kann. Oft sind Blüte und Blume identisch (→ Euanthium), manchmal auch nicht (→ Meranthium, → Pseudanthium)

Blüte. Spross begrenzten Wachstums, dessen Blätter im Dienste der Fortpflanzung stehen. Bei den Angiospermen (bedecktsamigen Blütenpflanzen) besteht sie meist aus Kelchblättern, Kronblättern, Staubblättern und Fruchtblättern. Es gibt allerdings unzählige vom Grundaufbau abweichende Variationen

Blütenhülle. Sterile Blütenblätter, die die fertilen Organe (Staub- und Fruchtblätter) umhüllen. In den meisten Fällen sind das die grünen Kelch- und die farbigen Kronblätter.

Cauliflorie, cauliflor. Stammblütigkeit. Die Blüten eines Baumes stehen direkt am Stamm und nicht wie meistens an dünneren Ästen in der Baumkrone. Beispiele hierfür gibt es vor allen in den Tropen: *Aristolochia arborea* (Baumförmige Pfeifenblume, Abb. 28), *Theobroma cacao* (Kakao).

Co-Evolution. Die evolutionäre Entwicklung zweier Arten ist eng miteinander verknüpft. Jede Art spielt als Selektionsfaktor für die andere Art (oder auch eine Gruppe von Arten) eine Rolle.

Schließlich entwickelt sich ein enges Zusammenspiel, wobei oft beide Partner voneinander abhängig sind. In der Blütenökologie gibt es viele solche Beispiele zwischen Bestäuber und bestäubter Pflanze.

Dichogamie. Die männlichen und weiblichen Organe einer Zwitterblüte reifen zu unterschiedlichen Zeiten, so dass Selbstbestäubung verhindert/erschwert wird.

Diöcie, diöcisch. Männliche und weibliche Blüten einer Art befinden sich auf verschiedenen Pflanzen. Gegenteil: → Monöcie, monöcisch.

Diploidie, diploid. Doppelt vorliegender Chromosomensatz in einer Zelle. Der Normalfall für die meisten pflanzlichen und tierischen Organismen.

Endosperm. Nährgewebe des Samens für den Embryo, aus dem sich die Jungpflanze entwickelt (Keimung).

Endospermkern. Kern aus dem sich schließlich das → Endosperm entwickelt. Bei den → Angiospermen ist dieser bereits → diploid und wird neben der Eizelle auch befruchtet (doppelte Befruchtung), so dass hier ein triploides → Endosperm entsteht (dreifacher Chromosomensatz).

Euanthium. → Blume, die einer → Blüte (morphologische Einheit) entspricht.

eutrop. In der Blütenbiologie spricht man von eutropen Blüten, wenn diese sich auf ganz bestimmte Bestäuber spezialisiert haben. Hierzu zählen Orchideen, deren Blüten Sexualpartner imitieren und die Feige (*Ficus carica*), welche nur die Feigengallwespe anlockt. Gegenteil: → allotrop.

Gymnospermen, Gymnospermae. Nacktsamer. Bereits im späten Karbon entstandene, ältere Gruppe der Samenpflanzen, deren Samen noch nicht in einen Fruchtknoten eingeschlossen sind (vgl. → Angiospermen). Zu den heute noch lebenden Gymnospermen gehören die Nadelbäume, die tropischen Palmfarne und der Ginkgo.

Gynoeceum. Gesamtheit der weiblichen Blütenorgane: Fruchtblätter, Fruchtknoten.

Herkogamie. Durch deren räumliche Anordnung wird ein Aufeinandertreffen von Staubbeuteln und Narbe in der Blüte verhindert.

Heterostylie. Spezialfall der → Herkogamie. Staubbeutel und Narbe sind durch die unterschiedliche Länge der Staubfäden bzw. Griffel voneinander getrennt. Es gibt innerhalb einer Art Typen mit langen Staubblättern und kurzen Griffeln und Typen mit langen Griffeln in kurzen Staubblättern, z. B. Schlüsselblume (*Primula*, Abb. 11)

Imago. Ausgewachsenes Individuum (bei den Insekten).

Kleistogamie, kleistogam. Blüten sind kleistogam, wenn sie sich nicht öffnen.

Meranthium. Eine → Blüte ist in mehrere → Blumen aufgeteilt, Bestäuber besuchen diese wie getrennte Blüten. Dieser Fall ist recht selten, ein bekanntes Beispiel ist die Blüte der Schwertlilie (*Iris*) (Abb. 7)

Micropyle. Kleine Öffnung in der Samenanlage für den Pollenschlauch/Spermakerne (Abb. 4)

Monöcie, monöcisch. Männliche und weibliche Blüten befinden sich auf derselben Pflanze. Gegenteil: → Diöcie.

Nacktsamer. → Gymnospermen.

Nektar. Zuckerhaltige Flüssigkeit, die viele Pflanzen in ihren Blüten potentiellen Bestäubern zur Verköstigung anbieten; somit also der Grund, aus dem diese Tiere die Blüten besuchen. Gebildet wird Nektar in einem speziellen Drüsengewebe (→Nektarium), das oft am Grund der Blüte, an der Basis des Fruchtknotens sitzt.

Nektarium. Gewebe, in dem → Nektar gebildet wird. Meist in der Blüte lokalisiert, am häufigsten an der Basis des Fruchtknotens oder diesen ringförmig umgebend. Es gibt allerdings auch extraflorale Nektarien, z. B. an Blättern.

Ökologische Nische. Die ökologische Nische wird durch die verschiedenen Umweltfaktoren bestimmt die es einer Art erlauben zu überleben und ihre Fortpflanzung zu gewährleisten. Hierzu zählen Biotische Faktoren, wie z. B. Art der Nahrungsquelle oder Größe der Nahrung, und abiotische Faktoren, wie Temperatur, Salinität, Lichtintensität etc. Unter der ökologischen Nische versteht man also weniger den Raum, in dem eine Art lebt, als vielmehr die funktionelle Beziehung in der eine Art zum Ökosystem steht, also welche Aufgabe sie in diesem erfüllt.

Perm. Erdzeitalter (Abb. 1), zwischen Karbon und Trias, vor 270 – 225 Mill. Jahren. Zeitalter der Entfaltung der → Gymnospermen, Entstehung der Käfer und Fliegen.

Pollen. Blütenstaub. Er wird in speziellen Behältern, den Pollensäcken der Staubblätter gebildet und enthält den Spermakern, der später mit der Eizelle zur Zygote verschmelzen und zum Embryo heranwachsen soll.

Proterandrie. Vormännlichkeit. Die Staubblätter gelangen vor der Narbe zur Reife. Die Narbe öffnet sich erst, wenn die Staubblätter bereits vertrocknet sind. Dieser Mechanismus hilft Selbstbestäubung zu verhindern.

Proterogynie. Vorweiblichkeit. Die Narbe öffnet sich vor den Staubbeuteln. Erst wenn die Narbe vertrocknet, also nicht mehr empfängnisbereit ist, öffnen sich die Staubbeutel. Dieser Mechanismus hilft Selbstbestäubung zu verhindern.

Pseudanthium. Viele → Blüten sind zu einer → Blume zusammengefasst. Die Blüten sind in der Regel sehr klein und stehen so dicht zusammen, dass ein Bestäuber mit nur einem Besuch gleich mehrere Blüten bestäuben kann. Pseudanthien sind relativ häufig, die gesamte Familie der Korbblütler zeichnet sich durch den Besitz von Pseudanthien aus (Abb. 6 + 35).

Rekombination. Neuordnung/Durchmischung des genetischen Materials in der Folgegeneration. Zu Rekombination kommt es nur bei sexueller Fortpflanzung, beim Verschmelzen von Keimzellen, die unterschiedliche genetische Informationen enthalten. Vegetative Vermehrung erzeugt hingegen gleichartige Individuen, es findet also keine Rekombination statt.

Saccharose. (Haushalts-)Zucker. In der Natur sehr häufiges Disaccharid (Zweifachzucker), zusammengesetzt aus den Einfachzuckern (Monosacchariden) Glucose und Fructose, die durch die sog. glycosidische Bindung zusammengehalten werden. Neben Fructose und Glucose ist auch Saccharose ein wichtiger Bestandteil des Nektars.

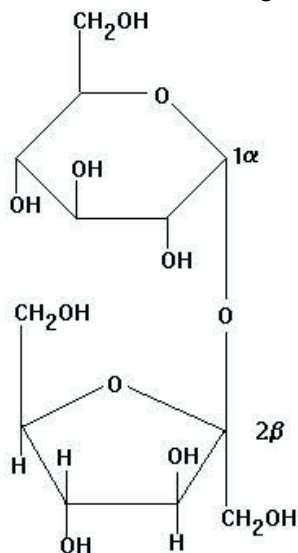


Abb. 42: Chemische Formel der Saccharose, oben der Glucose-, unten der Fructose-Baustein.

Selbstinkompatibilität. Selbststerilität. Selbstbefruchtung (also Verschmelzung der Eizelle mit einem Spermakern aus dem Pollen derselben Pflanze) wird durch diverse Mechanismen verhindert oder die entstehende Zygote stirbt, ohne sich zu einem Embryo zu entwickeln.

Selektion, selektieren. (Natürliche) Auslese. In der freien Natur kommen nur die bestangepassten/stärksten Individuen zur Fortpflanzung. In der Pflanzenzüchtung hingegen

übernimmt der Mensch die Selektion und setzt meist andere Kriterien, z. B. Blütenfarbe, Ertrag, Geschmack der Früchte etc.

Spatha. Hochblatt, das den Blütenstand der Aronstabgewächse umhüllt.

Staminodium. Staubblatt, das seine Fähigkeit zur Pollenproduktion verloren hat. In manchen Fällen übernehmen Staminodien Schaufunktion, locken also potentielle Bestäuber an.

Sukkulenz, Sukkulente, sukkulent. Sukkulente Pflanzen bilden massive Wasserspeichergewebe in Blättern und/oder Sprossen, selten in Wurzeln, wodurch die betreffenden Organe verdickt sind. Häufige Anpassung an trockene Lebensräume, z. B. bei den Cactaceae (Kakteengewächse) sehr deutlich ausgebildet.

Taxon, Taxa. Rangstufe in der systematischen Einteilung der Organismenwelt. Dazu gehören Art, Gattung, Familie, Ordnung, Reich, etc.

Triploidie, triploid. Dreifach vorhandener Chromosomensatz. Diese Individuen sind nur eingeschränkt fortpflanzungsfähig.

Literatur

Barth, F. (1982): Biologie einer Begegnung: Die Partnerschaft der Insekten und Blumen. Dt. Verlags-Anstalt. Stuttgart.

Dobat, K. (1985): Blüten und Fledermäuse: Bestäubung durch Fledermäuse und Flughunde (Chiropterophilie). Kramer. Frankfurt. Senckenberg-Buch 60.

Dobers, J. (1999): Erlebnis Biologie: ein Lehr- und Arbeitsbuch. Bd. 1 (Schuljahr 5/6). Schroedel. Hannover.

Heß, D. (1990): Die Blüte: Eine Einführung in Struktur und Funktion, Ökologie und Evolution der Blüten. Mit Anleitungen zu einfachen Versuchen. 2. Aufl. Ulmer. Stuttgart.

Meeuse, B. J. D. (1961): The story of pollination. Ronald Press. New York.

Leins, P. (2000): Blüte und Frucht: Aspekte der Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie. Schweizerbart. Stuttgart.

Raven, P. H., R. F. Evert & S. E. Eichhorn (2000): Biologie der Pflanzen. 3. Aufl. De Gruyter.

Renner, M. (1984): Kükenthal's Leitfaden für das zoologische Praktikum. 19. Aufl. Fischer. Stuttgart – New York.

Steinecke, I. & I. Meyer (2005): Kleine botanische Experimente. Verlag Harri Meyer.

Zizka, Georg (ed.) 1999: Blütenökologie: faszinierendes Miteinander von Pflanzen und Tieren. Kramer. Frankfurt. Palmengarten-Sonderheft 31.

Linksammlung

Als Ergänzung zur den oben genannten Literaturquellen findet sich auch im Internet eine Fülle von Seiten, die sich mit dem Thema Blütenbiologie beschäftigen. Eine kleine Auswahl, die keinen Anspruch auf auch nur annähernde Vollständigkeit erhebt, wird hier aufgeführt. Dazu kommen noch Seiten, die Hilfestellung bei der Bestimmung von Insektenarten geben und/oder umfangreiches Bildmaterial dazu zeigen.

Auch nützliche Quellen, die sich speziell an Kinder wenden und neben Informationen noch Rätsel und Spiele enthalten, werden genannt.

Zu jedem Link wird eine kurze Erläuterung zum Inhalt der Seiten gegeben. Stand: Oktober 2005.

Da ich keinen Einfluss auf den Inhalt der verlinkten Seiten habe, distanzieren mich hiermit ausdrücklich von deren Inhalten.

<http://www.rutkies.de/index.html>

Private Gartenseite von Herrn Wolfgang Rutkies. Enthält viele hervorragende Photos mit einem Schwerpunkt auf den Schwebfliegen.

<http://www.michls.de/wiese/wiese.html>

Private Dokumentation der Wiese hinter dem eigenen Haus (Jahr 2000). Enthält einen phänologischen Kalender, d. h. es gibt Hinweise zu den Blütezeiten → dadurch sehr hilfreich beim Planen einer blütenökologischen Exkursion. Zudem sind die wichtigsten blühenden Pflanzen dort alle fotografiert - inkl. der Gräser.

Zusätzlich gibt es noch einen Link zu eigenen Photos, nach lateinischen Artnamen sortiert.

<http://www.naturschule.com/>

Homepage von Hans-Wilhelm Grömping, des Begründers der Wildparkschule Anholter Schweiz (Niedersachsen, Nähe niederländ. Grenze). Wichtig ist hier der Blühkalender, der u. a. auch viele in Deutschland häufige Wiesenpflanzen enthält. Alle sind photographisch dokumentiert.

<http://www.kreu-fleuch.de/index.html>

Photos und ausführliche Beschreibungen vieler einheimischer Insektenarten. Die Großgruppen lassen sich auch für Anfänger anhand der Photos bestimmen.

<http://www.pflanzenbestimmung.de>

Online-Bestimmung von Pflanzen, entweder nach Merkmalen (es müssen auf dem Weg verschiedene Fragen beantwortet werden → die Merkmale sind so gewählt, dass jeder Anfänger die Fragen beantworten kann) oder nach Blütenfarbe → man bekommt dann eine größere Auswahl und muss sich anhand eines Photos für eine Art entscheiden. Ein größeres Photo und eine Kurzbeschreibung mit Link zur Systematik erscheinen. Zur Zeit (Oktober 2005) ist die Artenauswahl noch (?) recht gering, so dass Fehlbestimmungen sicher häufig sind.

<http://www.botanik.ch/bluetenbiol.htm>

Botanikportal der Schweiz. Linksammlung zur Blütenbiologie. Zur Zeit meiner Recherche (Oktober 2005) etwas veraltet. Mehrere verlinkte Seiten existierten nicht mehr, aber das kann sich ja jederzeit ändern.

<http://www.hswieselburg.ac.at/cyberschool/e-learning/biologie/blumenquiz/blumenquiz.htm>

Blumenquiz. 50mal müssen Wiesenblumen u.a. nach einem Photo erkannt werden (gute Photoqualität), es stehen jeweils drei Antwortmöglichkeiten zur Verfügung.

Interessanter Selbsttest zum Thema (heimische) Blütenpflanzen.

<http://www.eduhi.at/intra/bilder/juniwiese>

Zugang nur für registrierte Nutzer des education highways. Zielgruppe ist vorwiegend die Lehrerschaft.

Vielversprechender Link, der die Planung und Durchführung einer kompletten Unterrichtseinheit zur Juniwiese enthält.

<http://vs.schule.at>

Die Seite richtet sich vor allem an Lehrer und bietet Unterrichtsmaterial zu verschiedenen Fächern und viele weitere Links unter ‚Sachunterricht‘ → ‚Natur‘. Da die Seiten häufig aktualisiert werden, erfolgt hier keine Auflistung der Links. Einige der Links richten sich auch an Kinder und bieten einfache Versuche, Spiele und Bastelvorschläge.

<http://www.cbs-sn.de/blumenrezepte.htm>

Nicht unbedingt lehrreich, aber bestimmt spannend, Rezepte mit Blumen auszuprobieren. Pflanzen sollten zur Vermeidung von Fehlbestimmungen zur Sicherheit aus dem Garten kommen.

<http://www.zzzebra.de>

Lern-Web-Magazin für Kinder. Spiele, Basteln und vieles mehr zu unterschiedlichen Themen, auch einiges zur Natur.

<http://www.lesa21.de/lernen/p/pflanzen/versuche/index.html>

Auflistung von verschiedenen Natur-Experimenten, die größtenteils von Kindern ohne viel Aufwand alleine durchgeführt werden können.

<http://www.digitale-folien.de>

Unter der Überschrift ‚Pflanzen‘ auch eine schöne Seite über Bestäubungsbiologie. Einige gute Photos und Übersichtszeichnungen. Kopiervorlagen und nähere Informationen sind allerdings nicht frei zugänglich. Die vollständige Datenbank ist auf CD käuflich zu erwerben.

<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d00/inhalt.htm>

Botanisches Grundwissen. Wird ständig aktualisiert und ergänzt.

<http://www.br-online.de/kinder/fragen-verstehen/wissen/>

Wissenslexikon des Bayerischen Rundfunks, das sich an die Kinder im Grundschulalter richtet. Alphabetisches Verzeichnis der verschiedenen Themen (allgemein, nicht nur Biologie). Enthält auch eine Seite zur Bestäubungsbiologie: ‚Blumen, warum sie duften und stinken‘.

http://www.g-o.de/index.php?cmd=focus_detail2&f_id=106&rang=4

Geoscience - Das Magazin für Geo- und Naturwissenschaften. Sammlung von populärwissenschaftlichen Kurzartikeln zu verschiedenen botanischen und anderen Themen, u. a.: Von wegen wehrlos - die fiesen Tricks der Pflanzen.

http://www.geo.de/GEOLino/tiere_pflanzen/2004_01_GEOLino_wissensquiz_tiere_pflanzen_2/index.html?linkref=geolinode_teaser_archive_text&SDSID=97669500000021123058564

Wissensquiz der Zeitschrift ‚Geolino‘ über Pflanzen und Tiere für Kinder. Weitere Wissenstests sind verfügbar. Ständig wechselnde Inhalte.

<http://pages.unibas.ch/botimage/>

Sehr umfangreiche Bilddatenbank mit qualitativ absolut hochwertigen Photos, herausgegeben von der Universität Basel.

Hier kann man nicht nur zu den unterschiedlichsten Pflanzen Bilder suchen, sondern auch in der Spezialdatenbank Bestäuber recherchieren. Man hat die Möglichkeit entweder nach Pflanzen oder nach Insekten sortiert, Bilder von Blüten mit ihren Bestäubern zu finden. Kenntnis der lateinischen Namen ist von Vorteil.

<http://www.schmetterling-raupe.de/>

Abbildungen und Kurzinfos zur vielen Schmetterlingsarten.

<http://www.biokurs.de/skripten/13/bs13-52.htm>

Allgemeines zur Evolution im Paläozoikum: Pflanzen, Tiere, Geologie, schöne Abbildungen. Umfangreich verlinkt mit weiteren Seiten zur Evolution und anderen Themen.

Die homepage selbst <http://www.biokurs.de/> enthält Biologiethematik für die Klassen 11-13 (nach Lehrplänen von 2003) mit Infos, Abbildungen, Test etc. zu den verschiedenen Bereichen.

<http://nsm1.nsm.iup.edu/rgendron/EvolutionOnTheWeb.shtml>

Wesentliche Fakten zum Thema Evolution, umfangreich verlinkt. Englisch.

http://zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/photo_album/

Sammlung wunderbarer Photos von Hymenopteren (Bienen, Hummeln, Wespen, Ameisen), ohne weitergehende Erläuterungen; häufig auf Blüten fotografiert.

<http://www.wildbienen.de/index.htm>

Umfangreiche Informationen zu Bienen und Hummeln: Verbreitung, Lebensweise, Taxonomie, ein Großteil der heimischen Arten als Farbphoto.

<http://www.pollinator.com/gallery/gallery.htm>

Photogalerie: Bestäuber auf Blüten. Artauswahl nicht sehr groß, mittlere Auflösung, umfangreiche Linkliste mit weiteren blütenbiologischen Photodatenbanken. Englisch.

<http://www.hymenoptera.de/html/arten/wespebiene.php#Bienen>

Gute Übersicht zur Unterscheidung von Bienen, Wespen, Hummeln mit vielen weiteren Informationen und Zeichnungen.

http://www.whatis.tv/How_to_tell_bees_from_wasps.html

Übersichtliche Darstellung der Merkmale zur Unterscheidung von einigen Bienen- und Wespenarten mit Betonung der grundsätzlichen Unterschiede zwischen Bienen und Wespen. Englisch.

<http://www.sinnesphysiologie.de/komplex/farbe.htm>

Informationen zum Farbsehen verschiedener Tiere (auch Mensch und Biene) mit farbigen Abb. der Absorptionsspektren, Abb. zum UV-Sehen.

<http://www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/umat/bluetenfarbstoff/bluetenfarbstoff.htm>

Sehr gute allgemeinverständliche Zusammenfassung zum Thema Blütenfarbstoffe mit Strukturformeln und Beispielphotos.

<http://www.rbgekew.org.uk/ksheets/index.html>

Informationsblätter des Botanischen Gartens in Kew, bereits viele davon online verfügbar. Allgemeine Informationen zum Blütenaufbau, Blätter zu einzelnen Pflanzen (z. B. *Amorphophallus*), viele Nutzpflanzen. Englisch.

<http://www.eduvinet.de/mallig/default.htm#biod>

Interaktive Selbstlernkurse zu verschiedenen biologischen Themen. Schwerpunkte liegen z. Zt. auf Humanbiologie und Genetik. Für das Thema Blütenökologie ist höchstens die Einheit zum Körperbau der Bienen von Bedeutung. Allerdings ist diese Seite ständig im Aufbau und lässt auf weitere interessante Themen hoffen.

<http://www.fundus-biologie.de/>

Hier gibt es eine Seite, die Bestäubergruppen und ihre bevorzugten Blüten in einer tabellarischen Übersicht zeigt. Außerdem gibt es noch weitere Seiten zur botanischen und zoologischen Themen.

<http://www.digitalefolien.de/index.html>

Arbeitsblätter und viele weitere Materialien für Lehrer (und Schüler) zu verschiedenen biologischen Themen, auch zum Thema Bestäubung.

http://www.faunistik.net/DETINVERT/introduction_fr.html

Eine scheinbar unerschöpfliche Informationsquelle zu Insekten, mit reichlich Bildmaterial und grundlegenden Informationen – dadurch auch für Anfänger zugänglich.

<http://www.bio.uni-frankfurt.de/didaktik/unterrichtsmaterialien.html>

Verschiedene Unterrichtsmaterialien zu biologischen Themen des Institutes für Didaktik der Biologie der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt, u. a. eine kindgerechte Bestimmungshilfe für Laubbäume.

<http://aktion-hummelschutz.de/>

Viel Wissenswertes über Hummeln, populär aufgemacht, sorgfältig recherchiert, auch Einbeziehung von wissenschaftlichen Arbeiten. Antworten auf viele Fragen, z. B. Warum liegen im Juli so viele tote Hummeln unter den Silberlinden? Spezielle Seiten für Lehrer und Kinder.

<http://nafoku.de/flora/familien.htm>

Pflanzenphotos nach Familien geordnet.

<http://www.ruhr-uni-bochum.de/boga/Morphologie2.html>

Bildersammlung zur Morphologie der Blütenpflanzen. Enthält u. a. Abbildungen der verschiedenen Blumentypen, Blütenstände und nach Bestäubungsmodi sortierte Blütenphotos. Kaum zusätzliche Informationen, aber die Bilder allein machen den Besuch der Seite unbedingt lohnend.

<http://www.uni-bayreuth.de/departments/planta2/teaching/Bluetenoekologie/bluetenintro.html>

Sehr knappe aber prägnante Einführung in das Thema Blütenökologie.

<http://www.uni-bayreuth.de/departments/planta2/teaching/fsommer>

Praktikumsskript/-protokoll aus dem ‚Blütenökologischen Spezialpraktikum‘ der Uni Bayreuth. Enthält viele Graphiken und Photos, Beschreibung und Auswertung von Versuchen/Beobachtungen zur Blütenbiologie im Ökologisch-botanischen Garten Bayreuth. Viele der Fragestellungen sind auch mit Schülern und ohne großen Materialaufwand bearbeitbar.

<http://biology.clc.uc.edu/courses/bio303/coevolution.htm>

Co-Evolution und Bestäubung, dargestellt von der Universität Cincinnati. Knappe Erläuterungen mit vielen Beispielen und Bildern. Englisch.

<http://online-media.uni-marburg.de/biologie/nutzpflanzen/sylvia/index.htm>

Bestäubungsbiologie und Kulturgeschichte der Feige (*Ficus carica*).

<http://www.botanik.uni-bonn.de/botgart/arisarb.htm>

Ausführliche Beschreibung zur Ökologie von *Aristolochia arborea* (Baumförmige Pfeifenblume), mit Photos der Pflanze, aber nicht der Pilzmücke. Enthält auch Angaben (Photos) zur Ausbreitung.

<http://www.fundus-biologie.de/>

Wie schon der Name verspricht, enthält diese Seite Kapitel zu verschiedenen biologischen Themen, dabei ist auch eine Tabelle mit einer Übersicht welche Blütenmerkmale welche Bestäuber ansprechen.

Ich hoffe, hiermit dem geneigten Leser einen kleinen Einblick in das riesige, komplexe Fachgebiet der Blütenbiologie gegeben zu haben. Auch möchte ich mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mir freundlicherweise Ihre Photos zur Verwendung in diesem Skript überlassen haben. Sie sind in der entsprechenden Abbildungsunterschrift namentlich erwähnt.

Zum Thema Blütenbiologie (und zu vielen anderen natürlich auch) können Sie im Botanischen Garten jederzeit auch Führungen buchen.

Für Kommentare, Anregungen, Fragen etc. von jedermann bin ich stets dankbar.

Berlin, Februar 2007

Birgit Nordt

Diplom-Biologin

Email: b.nordt@bgbm.org

Tel. 030/ 768 044 68

Soweit nicht anders angegeben, liegt das Copyright für Texte und Abbildungen bei Birgit Nordt. Eine Vervielfältigung oder Verwendung im Ganzen oder auszugsweise in anderen elektronischen oder gedruckten Publikationen oder im Internet ist ohne ausdrückliche Zustimmung der Autorin nicht gestattet

