

Schweizerisches Zentrum für Bienenforschung
Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM)
Liebelfeld, CH – 3003 Bern

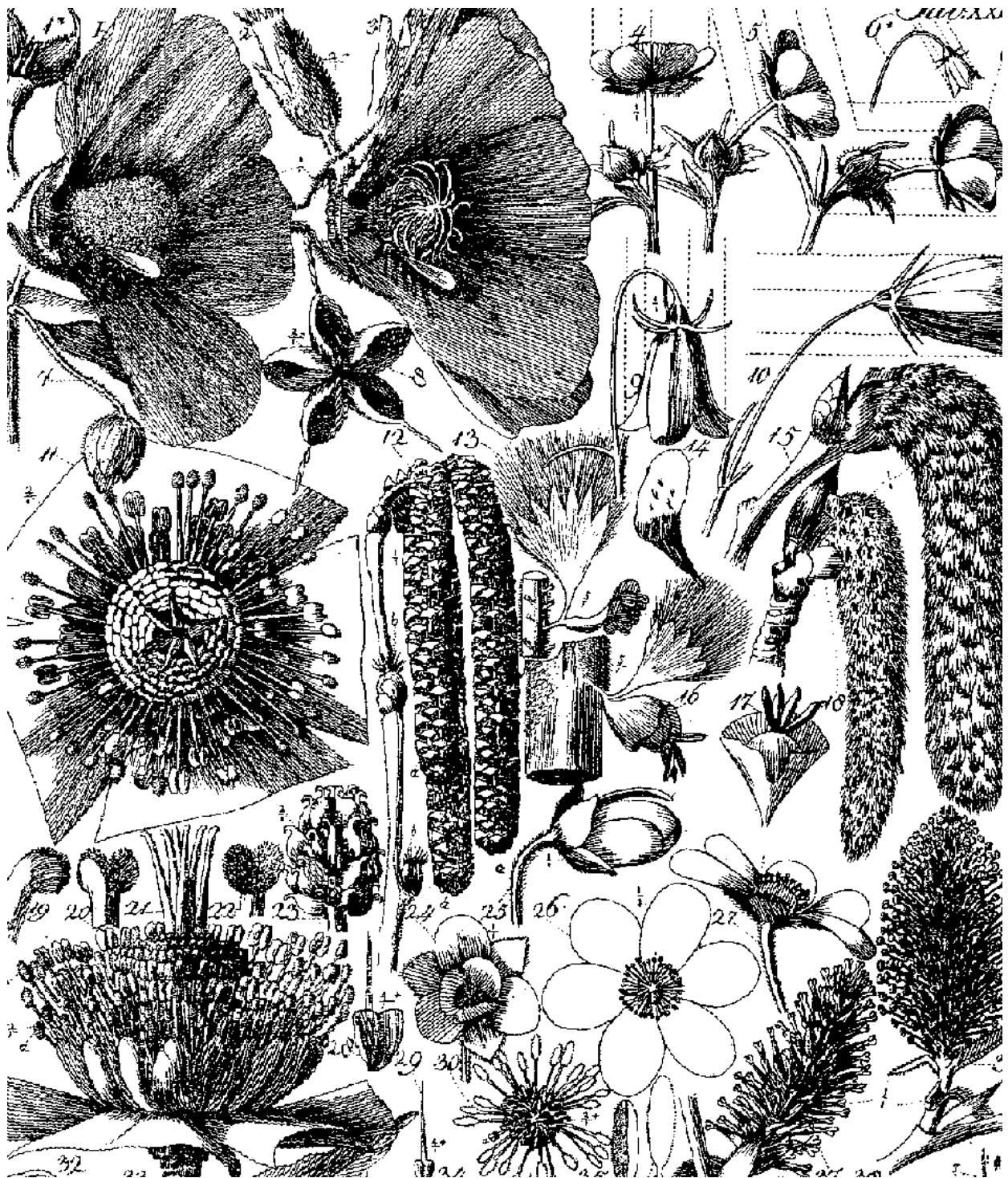


Die Bestäubung der Blütenpflanzen durch Bienen Biologie, Oekologie, Oekonomie

Anne Pickhardt und Peter Fluri

2000

Mitteilung Nr. 38



Kupfertafel von Friedrich Vieweg dem älteren, aus
Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der
Befruchtung der Blumen
Christian Conrad Sprengel, 1793

VORWORT

Kaum ein Tier ist mit dem Leben und Denken des Menschen so stark verknüpft wie die Honigbiene. Seit Jahrtausenden spielt sie und ihre Produkte in den unterschiedlichsten Kulturen, in Religion und Mythologie, aber auch in der Ernährung, der Medizin und vor allem in der Ökologie eine grosse Rolle. Ihren Bestäubungsdiensten verdanken wir nämlich unseren an Obst und Gemüse reich gedeckten Tisch, die Blumenvielfalt um uns herum und das jährlich in grossen Mengen produzierte Saatgut.

Es lohnt sich, einen genauen Blick auf diese das Tier- und Pflanzenreich verknüpfenden Geschehnisse zu werfen, die unser tägliches Leben prägen. Die Vielfalt der pollenproduzierenden Pflanzen, der pollenbewegenden Tiere und der Austauschmechanismen dazwischen ist verwirrend und faszinierend zugleich. Diese Broschüre soll einen Einblick in die Welt der Bestäubung geben, ihre Bedeutung im Obstbau und für andere landwirtschaftliche Kulturen und für Wildpflanzen aufzeigen. Ausserdem wird der volkswirtschaftliche Wert dieses biologischen Vorganges, dessen Hauptakteur die Biene ist, beleuchtet.

Schon in der Antike war bekannt, dass Pollen von männlichen auf weibliche Pflanzen übertragen werden muss, um Früchte ernten zu können. Dattelpalmen beispielsweise, wurden von Hand bestäubt.

Im antiken Griechenland galt die Biene als Symbol der Fruchtbarkeit, Honig als die Quelle der Weisheit, Beredsamkeit und Dichtkunst. Kein Wunder, dass der griechische Göttervater Zeus als Knabe mit Honig und Milch genährt und später Bienenkönig genannt wurde. Noch heute wird der Ausdruck "Land, in dem Milch und Honig fliesst" mit Reichtum an Naturgütern und Bodenschätzen in Verbindung gebracht.

Den Leitsatz zur Bedeutung der Bienenzucht hat Christian Conrad Sprengel 1811 in seinem Werk **"Die Nützlichkeit der Bienen und die Notwendigkeit der Bienenzucht"** formuliert:

"Die Bienenzucht befördert die Wohlfahrt aller Einwohner eines Landes. Der Hauptzweck der Bienenzucht ist nicht der Gewinn an Honig und Wachs, sondern die Befruchtung der Blumen und Beförderung reichlicher Ernten. Der Staat muss ein stehendes Heer von Bienen haben."

*Ein Blumenglöckchen vom Boden hervor
War früh gesprosset in lieblichem Flor;
Da kam ein Bienchen und naschte fein: -
Die müssen wohl füreinander sein.*

Johann Wolfgang von Goethe

Titelbild

Honigbiene im Flug. Die Pollenkörner in den Bürsten der Sammelbeine werden mit den Kämmen und den Schiebern in die Körbchen befördert (Hodges, 1952)

© Copyright 2000

by Forschungsanstalt für Milchwirtschaft,
Liebefeld, 3003 Bern.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Weitergabe von Inhalten ist in Absprache mit der Inhaberin des Copyrights erwünscht.

Inhaltsverzeichnis

1	Blütenbiologie	6
1.1	Über den Sinn von Blüten	6
1.2	Bestäubung und Befruchtung	8
1.3	Nacktsamige und bedecktsamige Blüten	10
1.4	Die Frucht	11
1.5	Stammesgeschichtliche Entwicklung der Bestäubung	12
1.6	Tierblütigkeit	14
1.7	Typische Eigenschaften wind-, insekten- und wirbeltierbestäubter Blüten	16
1.8	Anteil verschiedener Pollentransporteur am Bestäubungsgeschäft	20
1.9	Attraktionen für Insekten	22
1.9.1	Landeplatz Krone	22
1.9.2	Pollen - haltbare und nahrhafte Verlockung	22
1.9.3	Nektar	24
1.9.4	Saftmale	26
2	Bestäubungs- und Befruchtungsverhältnisse bei Obst und bei Raps	28
2.1	Bestäubung und Ertrag	28
2.2	Samenzahl und Fruchtentwicklung	32
2.3	Befruchtungsverhältnisse bei Obst	36
2.4	Befruchtungsverhältnisse bei Raps (<i>Brassica napus</i>)	40
3	Welche Rolle spielt die Honigbiene, welche andere Insekten bei der Bestäubung?	44
3.1	Vielfalt der Blütengäste	44
3.2	Bienen	44
3.3	Ausrüstung von Insekten zum Pollen- und Nektarsammeln	48
3.3.1	Pollensammeln	48
3.3.2	Nektarsammeln	50
3.4	Sammelverhalten von Bienen	52
3.4.1	Soziale Bienen	52
3.4.2	Solitäre Bienen	54
3.5	Konkurrenz von Bienen	56
4	Volkswirtschaftliche Bedeutung der Bienenbestäubung	58
4.1	EG-Kulturpflanzen und Bienenbestäubung	58
4.2	Bedeutung der Bestäubung von Wildpflanzen	60
4.3	Abschätzung der Wichtigkeit der Bestäubung durch Insekten	62
4.3.1	Wichtigkeit der Insektenbestäubung	62
4.3.2	Wichtigkeit einzelner Bestäuber	64
4.4	Einsatz von Bestäuberinsekten	66
4.5	Der ökonomische Wert der Honigbiene	68
5	Ausblick	72
	Literaturverzeichnis	74

1 BLÜTENBIOLOGIE

1.1 Über den Sinn von Blüten

Attraktion Blüte

Als an bestimmten Orten festgewachsene Organismen haben Pflanzen vielfältige Lockstrukturen entwickelt, um Bestäuber anzuziehen. Als Gegenleistung für den Blütenbesuch erhalten sie Nahrung, Schutz und ungestörte Fortpflanzungsorte.

'Auffallen heisst überleben' ist deshalb die Devise der Blütenpflanzen. Wie gross der Aufwand für die Anlockung ist, zeigt das Beispiel des stengellosen Frauenschuhes (*Cypripedium acaule*) (6): von diesen sehr auffälligen Blüten werden nur 2% erfolgreich bestäubt. Allgemein ist die Erfolgsrate recht variabel. Sie kann unter diesem Wert, aber auch deutlich darüber liegen. Der Aufwand, den die Pflanzen für die Bestäubung treiben, ist gross und bei spezialisierten Arten oftmals vergebens, wenn der entsprechende Bestäuber fehlt.

Warum ist Bestäubung nötig?

Erdbeeren bilden Ausläufer mit oberirdischen Tochterpflanzen, Kartoffeln unterirdische Knollen, aus denen Tochterpflanzen entstehen. Diese ungeschlechtliche Form der Vermehrung kommt verbreitet vor und erspart den Blühaufwand. Warum - kann man sich fragen - investieren Pflanzen so viel für die geschlechtliche Vermehrung durch Bestäubung?

Vorteile der geschlechtlichen Vermehrung

Vegetativ oder ungeschlechtlich entstandene Nachkommen sind prinzipiell genetisch mit ihrer Mutterpflanze identisch. Geschlechtlich entstandene Pflanzen dagegen vereinen Merkmale von zwei verschiedenen Elternpflanzen; durch Neukombination der Erbanlagen kann eine unermessliche Vielfalt von Merkmalskombinationen und Eigenschaften entstehen.

Erbliche Vielfalt ist für den Fortbestand einer Art sehr wichtig: Individuen, die genetisch für variable Umweltbedingungen (Klima, Nährstoffverhältnisse etc.) besser gerüstet sind, d.h. die geeigneten Merkmale mitbringen, haben einen Überlebensvorteil.



Abb. 1.
Stengelloser Frauenschuh
(*Cypripedium acaule*)
(The Botanical Magazine,
William Curtis, 1792)

Blühinvestition und Erholung beim Stengellosen Frauenschuh

Blühjahr

Blüten: 18% der Trockenmasse

erfolgreich bestäubt: 2% der Blüten

Folgejahr

Blühwahrscheinlichkeit: um 5-16%
verringert

Blattfläche: um 10-20% reduziert

Ungeschlechtliche
Fortpflanzung:

Fortpflanzung ohne Austausch von Erbmaterial

Geschlechtliche
Fortpflanzung:

Fortpflanzung mit Verschmelzung männlicher und weiblicher Geschlechtszellen, das Erbmaterial wird neu kombiniert

Blüten sind für Pflanzen aufwendige Gebilde, sie dienen der geschlechtlichen Vermehrung. Ungeschlechtliche Vermehrung garantiert identische (erbgleiche) Nachkommen. Geschlechtliche Vermehrung durch Bestäubung führt zu unterschiedlichen Nachkommen, die auch bei sich ändernden Umweltbedingungen eine Anpassung an neue Situationen erlauben.

1.2 Bestäubung und Befruchtung

Bestäubung:

Transport von Pollen auf die Narbe einer Blüte

Die Bestäubung erfolgt entweder durch Wind oder durch Tiere

Befruchtung:

Verschmelzung des Pollenkornes mit der Eizelle im Inneren des Fruchtknotens

Selbstbefruchtung: Pollenkörner derselben Blüte oder desselben Individuums keimen auf der Narbe.

Bei Obst: Pollenkörner der gleichen Sorte keimen auf der Narbe; die Pollenschläuche wachsen zu den Eizellen → Befruchtung

Fremdbefruchtung: Pollenkörner eines anderen Individuums derselben Art keimen auf der Narbe.

Bei Obst: Pollenkörner einer geeigneten fremden Sorte keimen auf der Narbe; die Pollenschläuche wachsen zu den Eizellen → Befruchtung

Pollenkörner der eigenen Sorte keimen zwar auf der Narbe, die Pollenschläuche sind im eigenen Gewebe aber nicht wachstumsfähig → keine Befruchtung

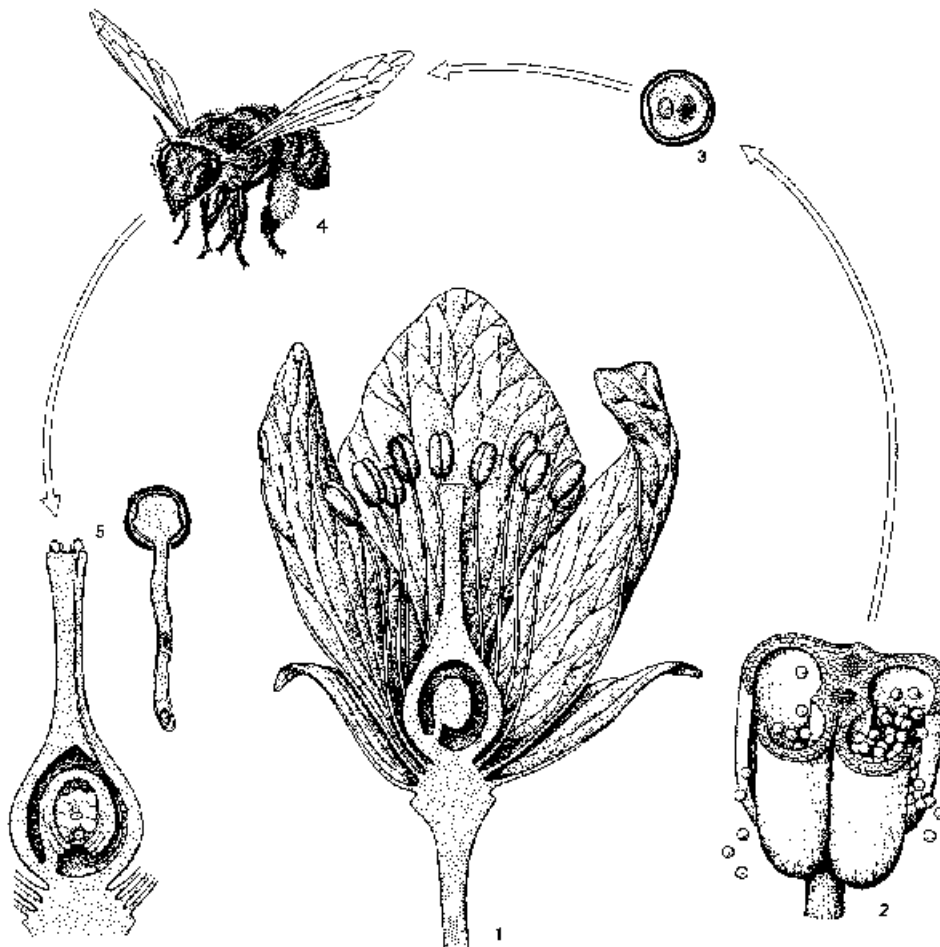


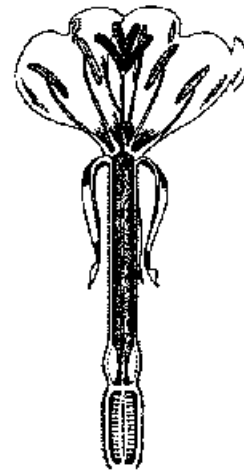
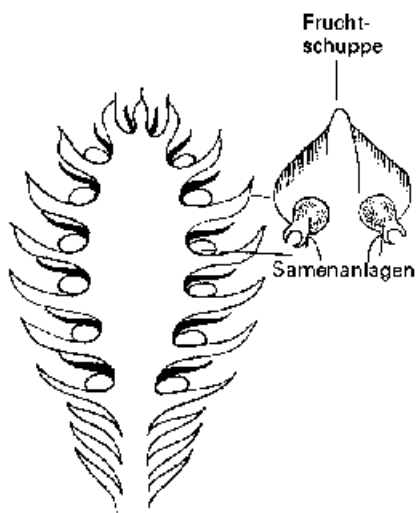
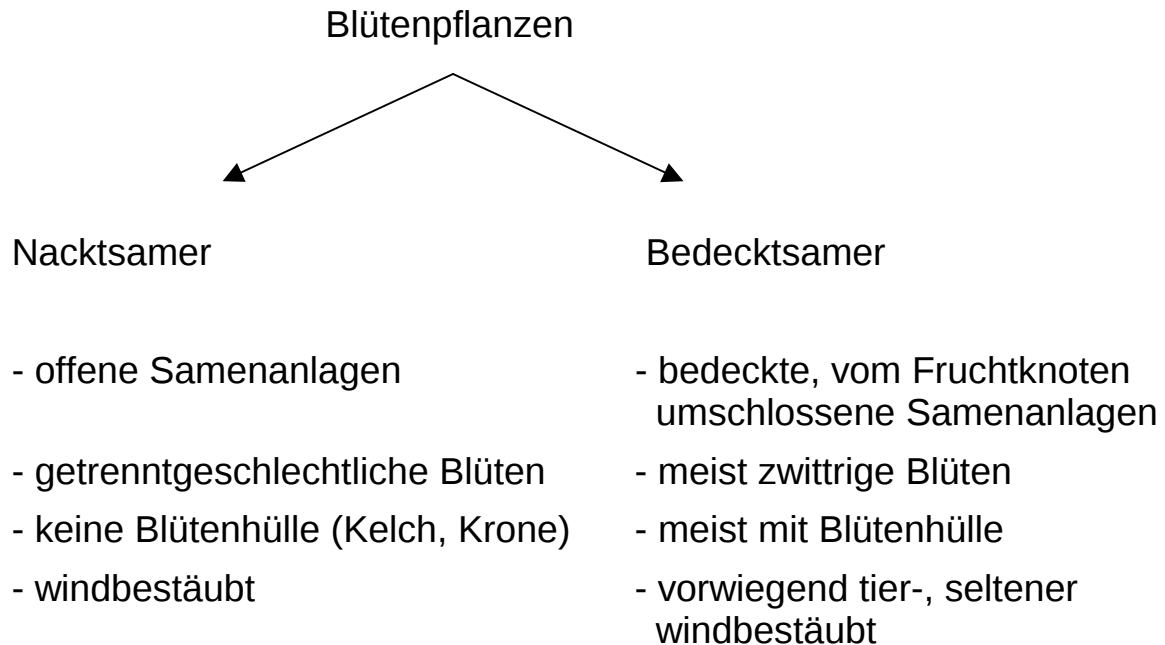
Abb. 2. Bestäubung und Befruchtung (Barth, 1982)

- 1 Blüte mit Staubgefäßen, Stempel, Blüten- und Kelchblättern
- 2 Reifer Staubbeutel im Querschnitt
- 3 Pollenkorn
- 4 Biene transportiert Pollen auf die Narbe einer anderen Blüte derselben Art
- 5 Ein Pollenschlauch erreicht die Eizelle

Nach der Übertragung des Pollenkornes auf die Narbe wächst der Pollenschlauch durch das Griffelgewebe zur Samenanlage. Vermutlich wird er durch chemische Substanzen aus der Eizelle geleitet. Einer der beiden männlichen Geschlechtskerne verschmilzt mit der Eizelle, woraus sich der Embryo entwickelt. Der zweite Geschlechtskern verschmilzt mit einem der Polkerne, aus dem Produkt entsteht das Nährgewebe des Embryos.

1.3 Nacktsamige und bedecktsamige Blüten

Die Art der Bestäubung richtet sich nach dem Bau der Blüte. Bei nacktsamigen Blüten liegen die Samenanlagen offen auf den Fruchtblättern, bei bedecktsamigen sind sie allseitig von den Fruchtblättern umhüllt.



1.4 Die Frucht

Frucht:

Blüte im Zustand der Samenreife

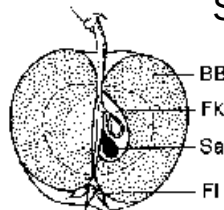
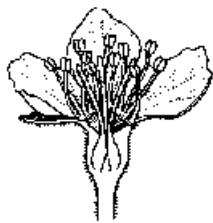
Blüte → Frucht

Fruchtknoten → Fruchtfleisch, Nussschale oder Kerngehäuse

Samenanlage → Samen → neue Pflanze

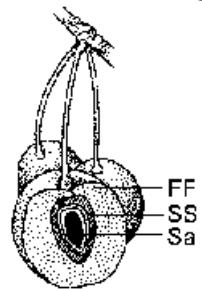
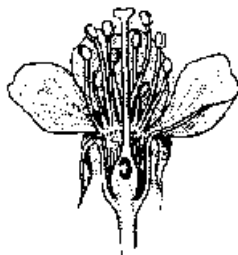
Fruchttypen

Aus sehr ähnlich aussehenden Blüten können recht unterschiedliche Früchte entstehen. Die grösste Fruchtvielfalt finden wir in der Familie der Rosengewächse: Apfel, Kirsche, Erdbeere, Mandel und Hagebutte sind Beispiele.



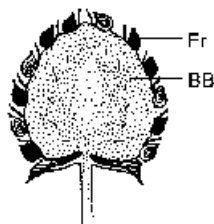
Kernobst oder
Scheinfrucht

aus dem Fruchtknoten (FK) entsteht das pergamentartige Kerngehäuse mit den Samen (Sa), aus dem Blütenboden (BB) das Fruchtfleisch, der Kelch wird zur Fliege (FI)



Steinobst

aus dem äusseren Teil des Fruchtknotens entsteht das saftige Fruchtfleisch (FF), die innerste Fruchtknotenschicht verholzt und bildet die harte Samenschale (SS)



Nuss

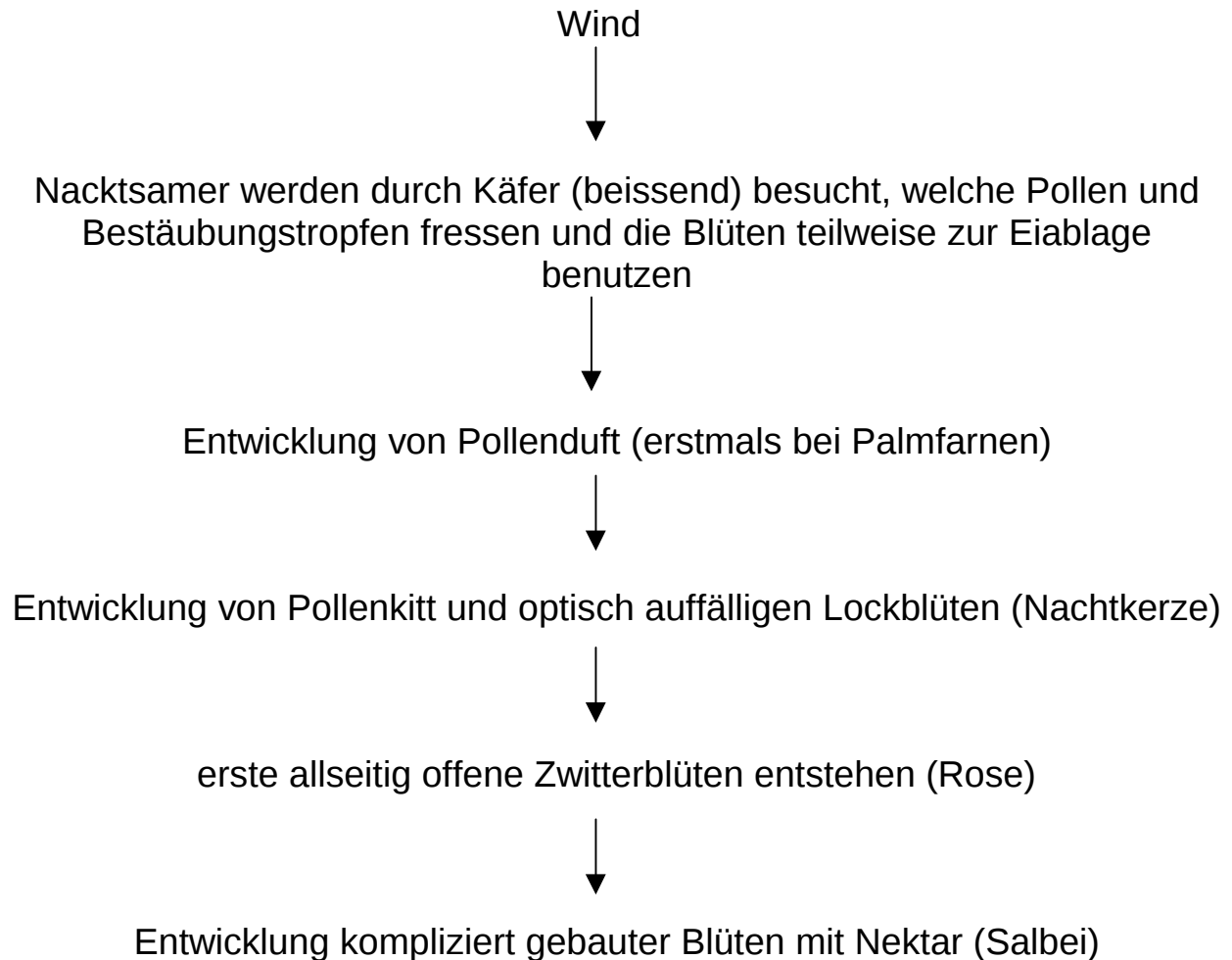
der Fruchtknoten verholzt und wird zur Nussschale, die den öligen Samen umschliesst; die Erdbeere ist eine Sammelfrucht, die Nüsschen (Fr) sitzen auf dem Fleisch des Blütenbodens

1.5 Stammesgeschichtliche Entwicklung der Bestäubung

Von der Wind- zur Tierbestäubung

Die Windbestäubung wird als ursprünglichste Form der Bestäubung angesehen. Unmengen von Pollenkörnern, bekannt ist der Schwefelregen der Nacktsamer, werden durch den Wind verfrachtet, einige landen erfolgreich auf den Narben einfach gebauter weiblicher Blüten. In der Evolution ist eine zunehmende Tendenz zum Pollensparen und zum Bau von komplizierten Blüten sichtbar. Zu den stammesgeschichtlich älteren Nacktsamern (Kapitel 1.3) kamen die bedecktsamigen Pflanzen: Die Samenanlagen befinden sich in einem von Fruchtblättern gebildeten Fruchtknoten. Empfindliche Teile wie Staubblätter und Narbe, später auch der Nektar, werden ins schützende Innere der Blüte verlegt, um Sonne, Wind, Regen und unqualifizierte Bestäuber fernzuhalten. Diese Entwicklung begann vor rund 130 Millionen Jahren. Parallel dazu entstand die Tierbestäubung.

Hypothetischer Verlauf der Entwicklung von wind- zu tierbestäubten Pflanzen:



Die Neuerung der Zwitterblüten bringt dem Bestäuber den Vorteil, dass beide Futterquellen (Nektar und Pollen) in einer Blüte vorkommen, und der Pflanze, dass eigener Pollen abgegeben und gleichzeitig fremder aufgenommen werden kann.

Abb. 3. Palmfarn (*Cycas circinalis*)



Abb. 4. Nachtkerze (*Oenothera biennis*)

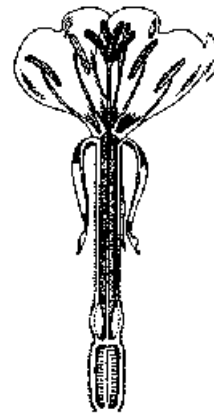
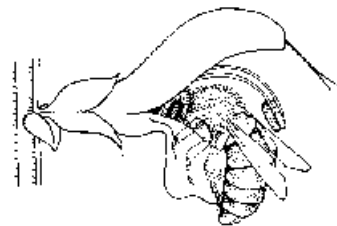


Abb. 5. Rose (*Rosa* sp.)



Abb. 6. Salbei (*Salvia pratensis*)



Im Laufe der Evolution der Pflanzen hat eine schrittweise Entwicklung von der Wind- zur Tierbestäubung stattgefunden. Die Pflanze kann einerseits dank gezielter Bestäubung auf die Massenproduktion von Pollen verzichten, andererseits wird ein Vorkommen an windgeschützten Orten möglich.

1.6 Tierblütigkeit

Parallele Evolution von Blütenpflanzen und Bestäuberinsekten

Die Entwicklung blütenbesuchender Insekten ist in ständigem Wechselspiel mit der Entfaltung der Pflanzen erfolgt. Fein abgestimmte Partnerschaften sind entstanden, hoch spezialisierte Blütenformen, passend zu ebenso spezialisierten Mundwerkzeugen wurden erfunden, aber auch die verrücktesten Formen gegenseitiger Abhängigkeiten; Feige und Feigenwespe sind ein solches Beispiel.

Grad der Abhängigkeit zwischen Pflanze und Tier

Nur die wenigsten Pflanzen- und Tierarten sind von einer einzigen sie bestäubenden oder ernährenden Art abhängig. Die Risiken dieser Überabhängigkeit wären für beide Partner zu gross. Trotzdem gibt es solche unbedingten Abhängigkeiten. Oftmals ist dann der gegenseitige Einfluss und die Spezialisierung der Pflanzen- und Tierstruktur ausgesprochen gross.

Die Sache mit der Feige

Die Abhängigkeit auf die Spitze getrieben haben Feige und Feigenwespe. Die meisten der rund 750 Feigenarten weltweit haben einen exklusiven Bestäuber. Gewisse Sorten unserer Kulturfeige hingegen sind selbstbefruchtend und daher nicht auf Bestäuber angewiesen.

Die Essfeige (*Ficus carica*) aus dem Mittelmeerraum:

Feigen sind botanisch gesehen keine Früchte, sondern Blütenstände- oder Blütenbehälter. Bei *Ficus carica* aus dem Mittelmeerraum gibt es zwei Baumtypen mit unterschiedlichen Feigen: der männliche Typus trägt ausschliesslich ungeniessbare Feigen mit männlichen und mit sterilen, kurzgriffligen weiblichen Blüten (Abb. 8D), der weibliche nur Essfeigen mit fruchtbaren, langgriffligen weiblichen Blüten (Abb. 8 C).

Das Weibchen der Feigenwespe (*Blastophaga quadriceps*) dringt in den engen Eingang einer männlichen Feige ein, oft fallen dabei sogar Flügel und Antennenteile ab, und legt Eier in die kurzgriffligen weiblichen Blüten, die deswegen Brut- oder Gallenblüten genannt werden. Sind die jungen Wespen entwickelt, schlüpfen die Männchen zuerst, begatten die jungen Weibchen, die noch geschützt in den Blüten harren, und beißen dann oben Löcher in die Feigen, durch die die begatteten Weibchen ins Freie gelangen, um mit einer Portion Pollen beladen die nächste Feige zur Eiablage aufzusuchen. Kriecht ein Feigenwespenweibchen in eine männliche Brutfeige, werden seine Bemühungen mit Nachkommen belohnt, verirrt es sich in eine weibliche Feige, werden die Blüten zwar grosszügig bestäubt, da die Griffel aber zu lang zur Eiablage sind, bleiben Nachkommen aus.

Schon die Römer nannten die männlichen Feigenbäume "Caprificus", wir nennen sie immer noch Bocksfeigenbäume - der ungeniessbaren Früchte wegen. Der Brauch, in die Baumkrone der weiblichen Essfeige Äste der männlichen Bocksfeigenbäume zu hängen, hat also durchaus seine Berechtigung.



Abb. 7. Honigbiene aus den 25 Millionen Jahre alten Schichten von Rott. Deutlich zu erkennen sind Pollenkörbchen und Pollenbürste (Ruttner, 1991).

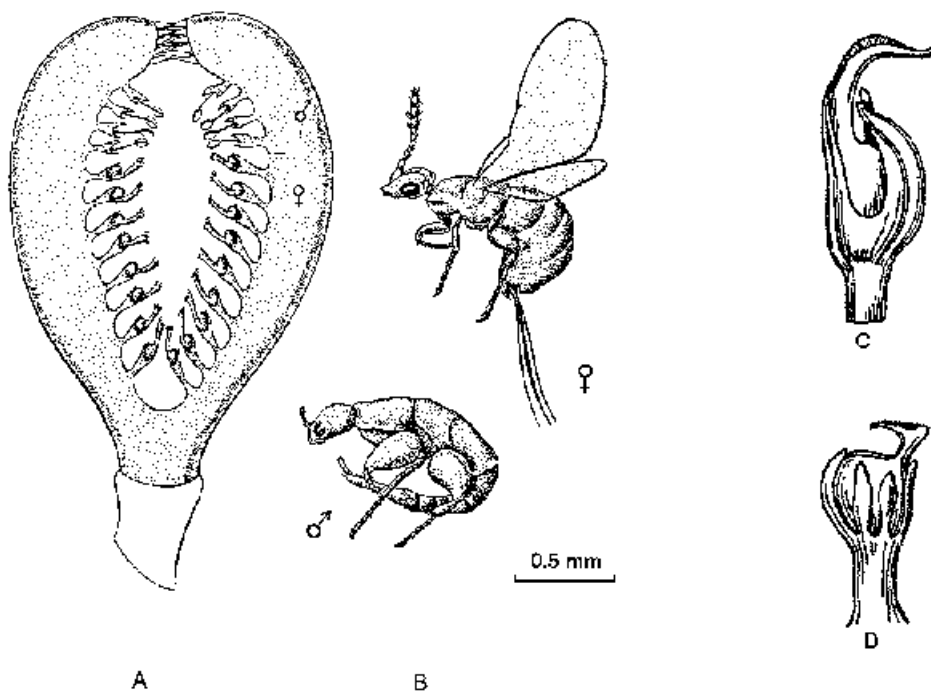


Abb. 8. Feige und Feigenwespen
A Blütenstand im Längsschnitt, B Feigenwespen, C langgrifflige weibliche Blüte, D kurzgrifflige weibliche Blüte (aus Barth, 1982; Benz, 1998)

Bei der Tierblütigkeit sind unterschiedlich enge Beziehungen zwischen Pflanze und Bestäuber bekannt: von der totalen Abhängigkeit beider Arten (am Beispiel der Feige und Feigenwespe illustriert) bis zu relativ unspezifischen Blüte - Bestäuber - Beziehungen kommen alle Übergänge vor.

1.7 Typische Eigenschaften wind- , insekten- und wirbeltierbestäubter Blüten

Merkmale windbestäubter Blüten

- Blütenhülle unscheinbar oder fehlend
- lange, oft hängende Staubblätter und grosse, fedrige Narben
- starke Pollenproduktion (mehrere Millionen Körnchen)
- Pollenausbildung: Vereinzelnung (kleine Pollenkörner mit glatter Oberfläche und Schwebevorrichtungen, z.B. Luftsäcke → Blütenstaub)
- kein Pollenkitt
- Pollen mit niedrigem Nährwert
- exponierte Position der Blüten am Zweigende
- Lage der Pflanzen an freien, windausgesetzten Standorten
- dichte Populationen
- grosse, gut zugängliche Narben
- Bestäubungstropfen an der Narbe als Pollenfänger

Merkmale insektenbestäubter Blüten

- Auffällige Blütenhülle mit Schauapparat (Farbe, Form, Saftmale, Oberfläche)
- Duft
- Nektar
- relativ schwache Pollenproduktion (einige 1'000 oder 10'000 Körnchen)
- Pollen mit grober Oberfläche oder Anhängseln (Rillen, Runzeln, Haken)
- Pollenkitt
Pollen mit hohem Nährwert (bis 30% Eiweiss und 10% Fett, bis 7% Stärke, Vitamine und Mineralsalze)
- an grossen, auffälligen Pflanzen (wirken aus Distanz als Überblume)

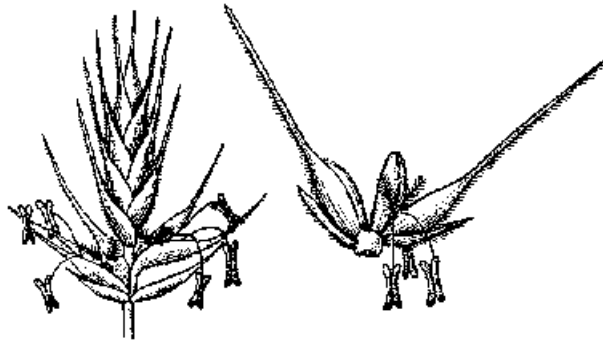


Abb. 9. Grasblüte

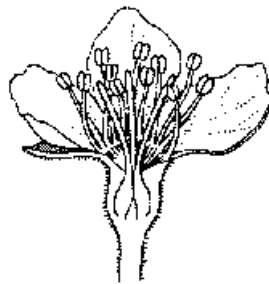


Abb. 10. Apfelblüte

Merkmale wirbeltierbestäubter Blüten

Vogelblütig:

- grosse Blüten
- allgemein helle Krone; grelles Rot, Orange, Gelbtöne, Weiss
- geruchlos
- lange Kronröhre
- sehr nektarreich
- Nektar kohlehydratreich, oft schleimhaltig

Fledermausblütig:

- robuste, nächtliche Blüten, oft an grossen Blütenständen
- auffallend wenig gefärbt, oft weiss oder grünlich
- starker, säuerlicher Geruch
- grosse Mengen Nektar und Pollen bildend
- Nektar und Pollen offen präsentierend
- Nektar kohlehydratreich, enthält gewisse Aminosäuren, speziell auf Fledermausdiät abgestimmt

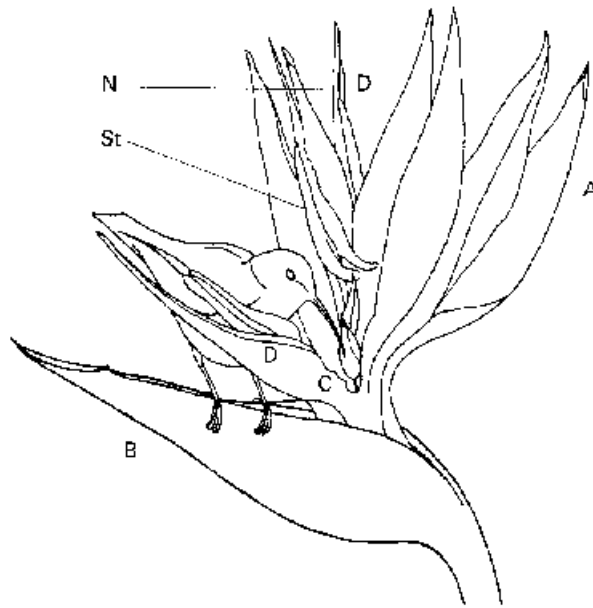


Abb. 11. Honigvogel bestäubt Strelizie

A orange, flammenförmige Blütenblätter, B Tragblatt, C Blütengrund mit Nektar, D blauer Staubgefässbehälter, St Staubgefässe, N Narbe (Fafri und Hegg, 1989)

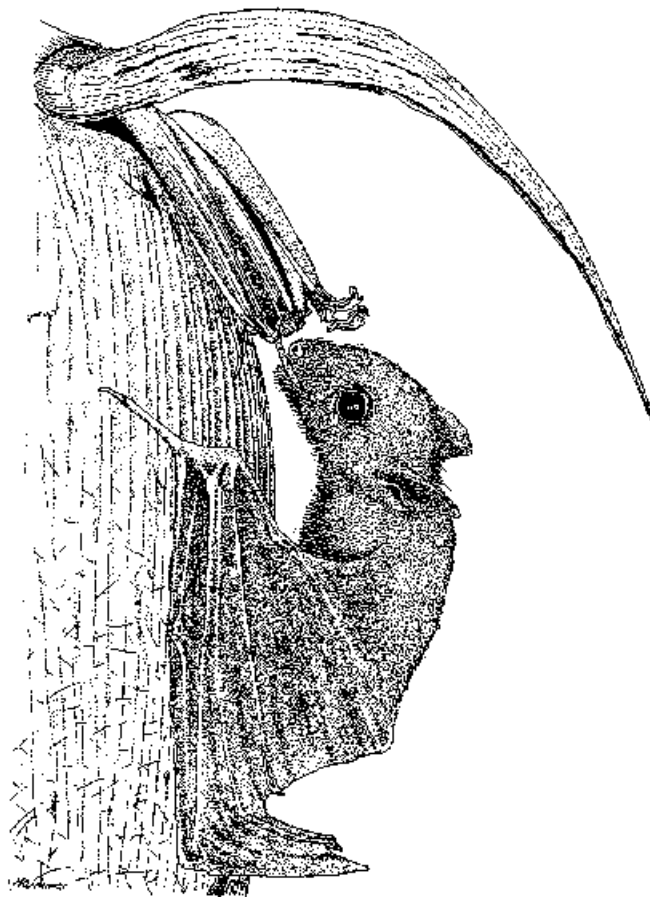


Abb. 12. Fledermaus bestäubt Banane (Dokumentation zum Rundgang "Blütenbestäubung", Botanischer Garten Bern)

1.8 Anteil verschiedener Pollentransporteur am Bestäubungsgeschäft

Wind

Windbestäubung hat sich für Millionen von Jahren als hoch erfolgreiche Fortpflanzungsstrategie erwiesen. Natürlich verpassen fast alle Pollen ihr Ziel und landen als verschwenderischer Überfluss auf Tischen, in Seen und Augen; trotzdem wenden auch heute noch erstaunlich viele moderne Nackt- und Bedecktsamer diese traditionelle Vermehrungsart an. Ihre Reichweite ist beachtlich: windverwehte Pollen sind in grossen Mengen in mehreren 100 Kilometern Entfernung von der Ursprungspflanze und in Höhen von 1000 - 1500 Metern über dem Erdboden (11) gefunden worden.

25% der Blütenpflanzenarten in Deutschland sind windbestäubt (25), auf den Halligen sind es sogar 47%. Die Pollen der grossen Weltkulturen Reis, Mais, Raps und Getreide werden ebenfalls durch Wind verfrachtet. Weltweit liegt der Anteil windbestäubter Arten bei 8.3%, dies entspricht rund 20'000 Pflanzenarten.

Insekten

Weitaus die meisten Pflanzenarten sind insektenbestäubt, der Anteil bienenbestäubter Blütenpflanzen wird auf 16.6% oder 40'000 Arten geschätzt, derjenige der falterbestäubten auf 8%. Erstaunen mag die Zahl der käferbestäubten Arten: 88.3% bedienen sich unter anderem dieser ältesten Form der Tierbestäubung (6). Viele Pflanzenarten können von mehr als nur einer Insektengruppe bestäubt werden.

Wirbeltiere

Immerhin 0.51% aller Blütenpflanzenarten unseres Planeten werden durch Wirbeltiere bestäubt. Wie die Tabelle zeigt, sind Vögel die wichtigsten Bestäuber dieser Gruppe, gefolgt von Fledermäusen und anderen Säugetieren. Weltweit sind etwa 2'000 Vogelarten aus 50 Familien an der Bestäubung von Pflanzen beteiligt, vor allem tropische und subtropische Arten aus den Gruppen der Kolibris, Honigvögel, Brillen- und Nektarvögel. Wirklich exotisch mutet ein bestäubendes Reptil an. Der Neuseeländische Flachs wird von einer Gecko-Art bestäubt, der mit seiner Zunge Nektar aus der Blütenröhre holt und dabei in speziell angepassten Halsschildern Pollen transportiert (6).

Windbestäubung wird als älteste Bestäubungsart auch heute noch von 8.3% aller Pflanzenarten angewandt. Ihr Vorteil ist die grosse Reichweite. Gut 90% der weltweit rund 250'000 Pflanzenarten sind insektenbestäubt; hauptsächlich durch Käfer, erst in zweiter Linie durch Bienen. Die wichtigsten Wirbeltierbestäuber sind Vögel und Fledermäuse

Pollenüberträger	Blütenpflanzenarten	Prozentualer Anteil der u.a. durch diesen Pollenüberträger bestäubten Blütenpflanzenarten
Wind	20'000	8.3%
Wasser	150	0.63%
Bienen	40'000	16.6%
Falter	19'310	8%
Fliegen	14'126	5.9%
Käfer	211'935	88.3%
Wirbeltiere	1'221	0.51%
Vögel	923	0.4%
Fledermäuse	165	0.07%

Tab. 1. Anteile verschiedener Pollenüberträger (Buchmann und Nabhan, 1996)

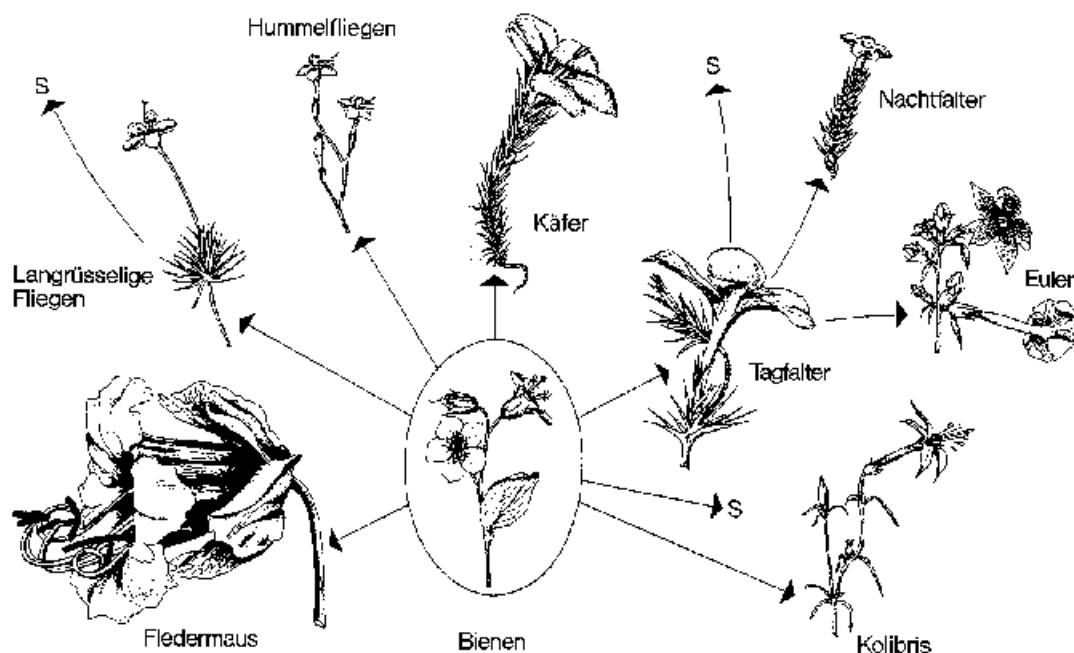


Abb. 13. Entwicklung der Blütenform des Phlox: an verschiedene Bestäuber angepasste Blütenformen; S Selbstbestäubung (aus Barth, 1982)

1.9 Attraktionen für Insekten

1.9.1 Landeplatz Krone

Die Hypothese, dass Kronblätter Landeplätze und Locksignale für Bestäuberinsekten sind, wird durch ihr rasches Welken nach der Bestäubung deutlich. Bei unterbliebener Befruchtung bleibt die Krone meist noch eine zeitlang erhalten. Teilweise ändert sich auch die Farbe der Saftmale oder der Staubbeutel nach erfolgter Befruchtung: befruchtete Kastanienblüten sind farblich weniger attraktiv für Insekten als unbefruchtete.

1.9.2 Pollen - haltbare und nährhafte Verlockung

Bemerkenswert ist die Dauerhaftigkeit der winzigen Pollenkörnchen, welche in Lager-schichten luftdicht verpackt mehrere Millionen Jahre erhalten bleiben und als kultur-historische und klimatische Zeugen beigezogen werden können. Die Pollenwand ist dank konservierender Substanzen, den sogenannten Sporopolleninen ausgesprochen dauerhaft.

Es gibt keine eindeutigen Grössentendenzen bei Wind- und Insektenpollen; klein sind sie alle: der Durchmesser von Vergissmeinnichtpollen beträgt 3 Mikrometer (3 Tausendstel Millimeter), von Kürbispollen 250 Mikrometer und bei den meisten Arten um 34 Mikrometer (Barth, 1982). Die Oberflächenstrukturen dieser winzigen Gebilde sind nicht weniger vielfältig als die sie produzierenden Blüten. Sie sind für bestimmte Pflanzengruppen und Arten charakteristisch. Pollenanalysen ermöglichen deshalb sehr genaue Honigherkunftsbestimmungen.

Pollenkörner sind Träger der männlichen Keimzellen der Pflanzen und Lockmittel und 'Kraftfutter' für Insekten. Eine Bienenlarve braucht ungefähr 130 mg Pollen für ihre Entwicklung, ein Volk jährlich 15 bis 30 kg. Meister der Pollenproduktion ist der Mohn: pro Blüte werden rund 2.6 Millionen Körner hergestellt.

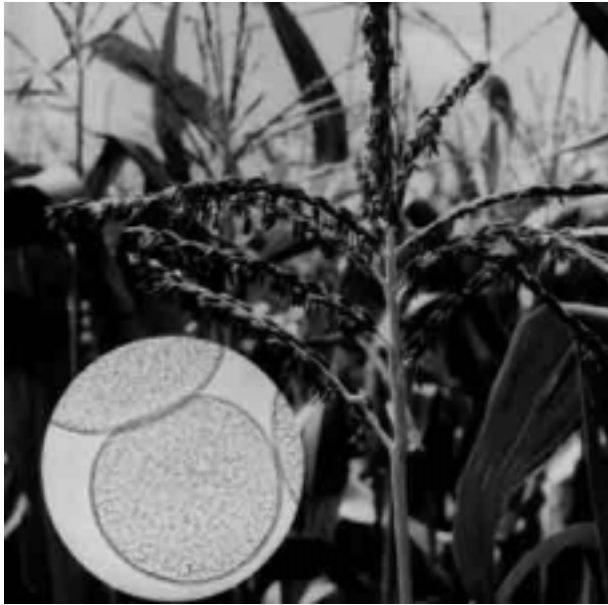


Abb. 14. Pollen einer typischen windbestäubten Pflanze: Mais

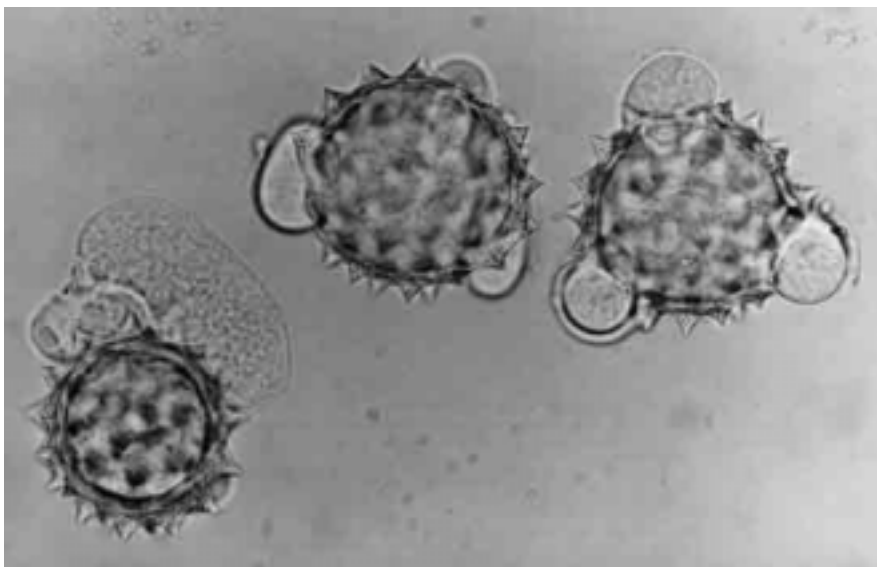


Abb. 15. Pollenkörner der Kratzdistel, einer insektenbestäubten Pflanze (200 x vergrössert)

Kronen unbefruchteter Blüten sind für Insekten farblich attraktiver als Kronen befruchteter Blüten. Pollen enthalten die männlichen Keimzellen der Pflanzen. Sie sind dauerhaft, nährstoffreich und artspezifisch und daher gut lagerbares Krafftutter für Insekten. Pollen sind ausserdem die Grundlage genauer Honiganalysen.

1.9.3 Nektar

Extrafloraler Nektar

Nektar selbst ist älter als die Blütenpflanzen. Bereits bei Farnen gibt es Nektarausscheidungen, weshalb Bienen auch Adlerfarn ab und zu einen Sammelbesuch abstatten. Auf Laubblättern und Blattstielen kann auch bei Blütenpflanzen weit abseits der Blüten sogenannter extrafloraler Nektar ausgeschieden werden. Es handelt sich um überschüssige Photosyntheseprodukte aus dem Siebteil der Leitgefässe. Nektarausscheidungen hat es unabhängig von und offenbar vor den Blüten gegeben. Das Prinzip ist von den Blüten lediglich weiterentwickelt worden.

Floraler Nektar

Nektar ist heute die Hauptbelohnung für den Blütenbesuch der meisten Bestäuber, Arbeiterinnen der Honigbiene können sogar ausschliesslich von Nektar leben. Die Nektarmenge, die pro Blüte sezerniert wird, kann je nach Art sehr unterschiedlich sein; Spitzenreiter ist der Kirschbaum: ein ausgewachsener Baum mit rund 60'000 Blüten produziert täglich etwa 1.9 kg Nektar (19).

Nektar enthält zwischen 5 und 80% Zucker (Saccharose, Fructose und Glucose), im Durchschnitt sind es 40%. Mengenmässig weniger bedeutend sind die anderen Inhaltsstoffe Aminosäuren, Eiweisse, organische Säuren, Vitamine und Enzyme. Die Qualität des extrafloralen Nektars unterscheidet sich von derjenigen des floralen Nektars, dem spezielle Nektardrüsen selektiv gewisse Stoffe entnehmen und andere hinzufügen.

Nektarqualität und Sekretion

Die Nektarsekretion und die Nektarqualität variieren mit dem Alter der Blüten und im Tagesverlauf. Der Zuckergehalt des Nektars der Winterlinde (*Tilia cordata*) beispielsweise sinkt während der Zeit der Blüte von 42% auf 26%. Winterlindennektar wird vor allem abends und nachts sezerniert, bei der Wegwarte (*Cychoricum intybus*) dagegen nur in der ersten Tageshälfte, von 7 bis ca. 12 Uhr (25).

Viel Nektar - kleine Ernte?

Reichlicher Nektarfluss kann zu schlechter Bestäubung führen, da für die potentiellen Bestäuber weniger Anlass zum Baumwechsel besteht.

Nektar wird nicht nur in Blüten produziert, sondern kann auch an Blättern und Blattstielen entstehen (extrafloraler Nektar). Die Nektarsekretion und der Zuckergehalt variieren von Art zu Art und mit dem Alter der Blüte. Generell sezernieren grössere Blüten mehr Nektar als kleine.

Nektarmengen (aus Mantinger, 1998; Kobel, 1942)

Blütentyp	Nektarmenge pro Tag
Birne	0.8 bis 2 mg
Apfel	2 bis 3 mg, maximal bis zu 7 mg
Kirsche	32 mg

Zuckerkonzentrationen von Nektar (aus Kugler, 1955; Mantinger, 1998)

Dost (<i>Origanum vulgare</i>)	76%
Zuchtapfel (<i>Malus domestica</i>)	55%
Raps (<i>Brassica napus</i>)	45%
Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>)	35%
Birne (<i>Pyrus communis</i>)	25%

Wahrnehmungsschwelle für Rohrzucker (aus Kugler, 1955; Barth, 1982)

Mensch	0.4%
Fliege	0.04%
Honigbiene	0.03%
Ameise	0.02%
Tagfalter	0.00034%

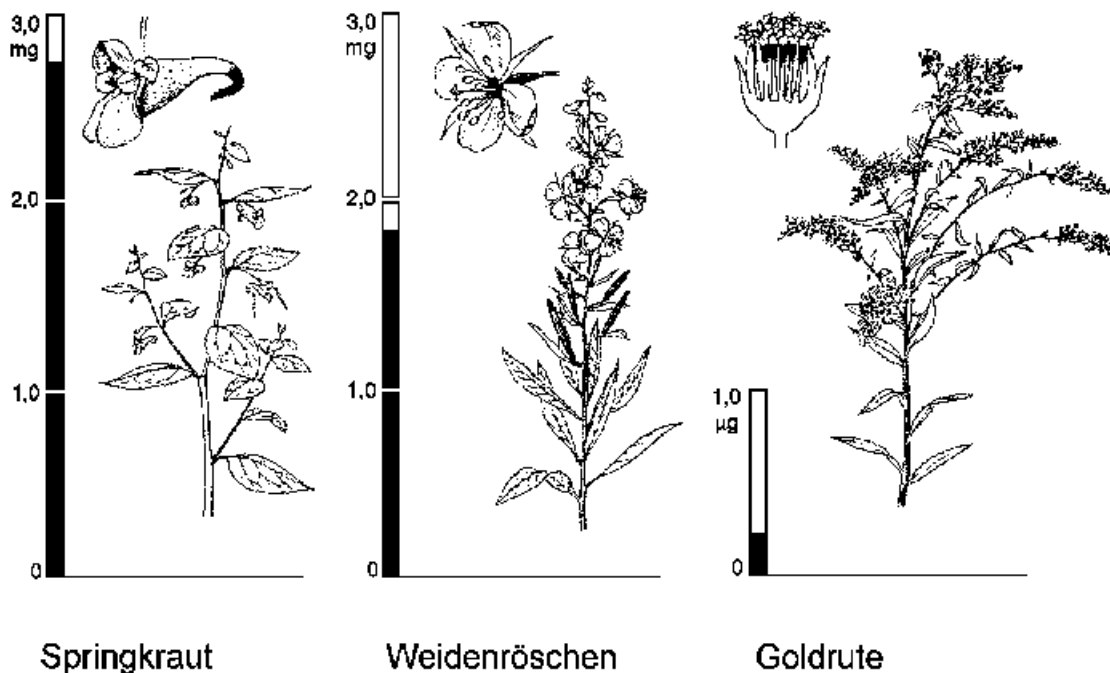


Abb. 16. Nektarsekretion in 24 Stunden (aus Barth, 1982)

1.9.4 Saftmale

Funktion

Die auf vielen Blüten auffallenden Farbmuster auf der Krone zeigen bei genauerem Hinsehen alle auf den Blüteneingang, den Ort der Pollen und Nektarien. Christian Conrad Sprengel hat vor 200 Jahren die Theorie der funktionalen Bedeutung der Saftmale aufgestellt und die oftmals auffälligen Farben, Strukturen, Linien oder Punkte (gut sichtbar beim Fingerhut) als optische Wegweiser auf der Blüte bezeichnet.

UV-Male

Viele der Blütenzeichnungen sind für uns nur im UV-Licht sichtbar (Goldregen, Nachtkerze, Sumpfdotterblume, Immergrün etc.). Insekten sehen auch im UV-Bereich, ihnen dienen die UV-Male der Kronblätter und die oft UV-aktiven Staubblätter, Pollen und Narben zur Nahorientierung.

Versuche zur Attraktivität der Blütenmale:

1. Hummeln besuchen violette Asten mit gelben Scheibenblüten weitaus häufiger als einfarbige (Kugler, 1955).
2. Knolls (1926) Versuche mit Taubenschwänzchen zur Wirksamkeit der Male des Leinkrautes zeigen deutlich die erhöhte Attraktivität der Male: Sie wurden auch dann noch angefliegen, wenn sie aus ihrer ursprünglichen Position in der Blüte herausgeschnitten und an eine andere Stelle der Blüte geklebt worden waren. Um geruchliche Orientierung auszuschliessen, sind die Blüten bei diesen Versuchen übrigens zwischen zwei Glasscheiben eingeklemmt worden.

Kopf - Rüssel - Reaktion

Entfernt man die Strahlenblüten einer Sonnenblume, welche an ihrem inneren Ende UV-Licht absorbieren, und setzt sie umgedreht, also das äussere Ende nach innen gerichtet, wieder zusammen, zeigen die das UV-Licht absorbierenden Stellen nach aussen. Setzt man sammelnde Bienen auf dieses Arrangement, laufen sie zielstrebig bis zum UV-Mal und strecken den Rüssel aus. Offensichtlich vermuten sie das Futter beim Saftmal. Dieses angeborene Verhalten unterstützt die 'Wegweiser-Theorie' der Saftmale für die Bestäuber.

Sind Saftmale Pollenattrappen?

Dafür spricht, dass sich Pollen und Staubbeutel oft durch Lage, Form und Farbe deutlich von der Krone abheben. Ausserdem ist Pollen die ursprünglichste Blütenkost für Insekten. Floral Nektar ist vergleichsweise modern und in erdgeschichtlich älteren Arten wie der Magnolie nicht zu finden. Wer den Trend zur Pollensparsamkeit befolgt - und das tun die meisten insektenbestäubten Blüten - muss sich etwas einfallen lassen, um für die Bestäuber attraktiv zu bleiben. Oftmals werden grosse Pollenmengen vorgetäuscht: die Königskerze lockt mit pollenähnlichen Haaren und Knoten an den Staubgefässen, andere Arten mit wirkungslosem Verköstigungspollen oder mit Pollenpulver aus Haaren der Krone.

Die auffällig bunten Muster auf Blüten werden als Saftmale bezeichnet. Teilweise heben sie sich, nur für Insektenaugen sichtbar, als UV-Male vom Rest der Blüte ab. Wahrscheinlich dienen die Saftmale nektarsuchenden Insekten als optische Wegweiser.

Pflanzenarten mit UV-Blüten-Malen (aus Kugler, 1955)

Anteil bei Scheiben, Trichter- und Glockenblumen	50 %
Anteil bei Lippenblumen	70 %
Anteil bei Schmetterlingsblumen	88 %



Abb. 17. UV-Male der Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*) (Holm, 1979)

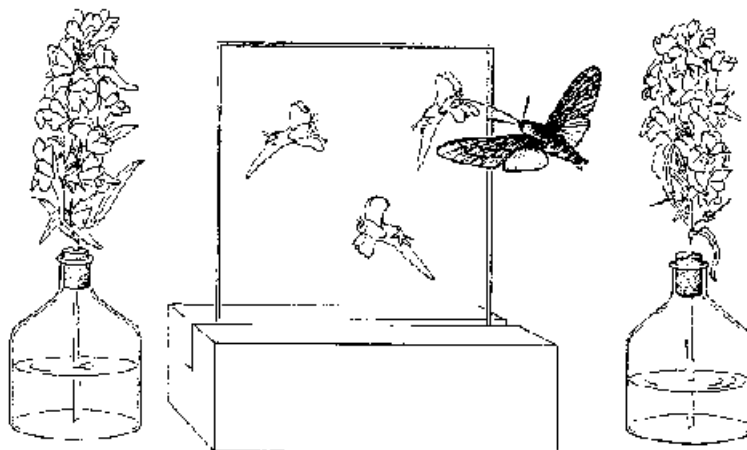


Abb. 18. Nachweis der Wirksamkeit der Saftmale beim Leinkraut (*Linaria vulgaris*) (Barth, 1982)

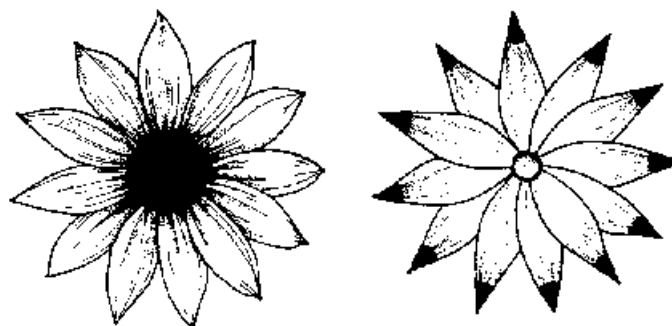


Abb. 19. Versuch zur Kopf-Rüssel-Reaktion; Schwarz: UV-Licht absorbierende Stellen (Barth, 1982)

2 BESTÄUBUNGS- UND BEFRUCHTUNGSVERHÄLTNISSE BEI OBST UND BEI RAPS

2.1 Bestäubung und Ertrag

1. Obst

Der Anteil des Windes an der Bestäubung von Apfelblüten in Obstanlagen ist minimal. Allenfalls könnte Wind bei sehr trockenem Wetter eine gewisse Rolle spielen. Bei Feuchtigkeit kleben die Pollenkörner zusammen und werden zu schwer, um erfolgreich durch den Wind transportiert zu werden. Untersuchungen zeigen, dass durch Windbestäubung ein viel geringerer Fruchtansatz als durch Insektenbestäubung erreicht wird. Kirschbäume am Kaiserstuhl brachten ohne Bienen keinen Ertrag, mit Bienen 12 Zentner (17). Diese Resultate zeigen deutlich, dass bei Obstblüten vor allem Insekten für die Pollenübertragung sorgen.

Ein Blick in die Früchte macht die Wichtigkeit der Bienenbestäubung ebenfalls deutlich: In zwei Apfelanlagen, einer mit und einer ohne Bienenvölker zur Blütezeit, wurden die Früchte auf ihre Anzahl Samen untersucht. 7.5% der Früchte aus der Anlage mit Bienen und 41.5% der Früchte aus der Anlage ohne Bienen waren samenlos, in der Anlage mit Bienen hatten die meisten Früchte 1 bis 3 Samen, in der Anlage ohne Bienen nur 0 oder 1 Samen (27).

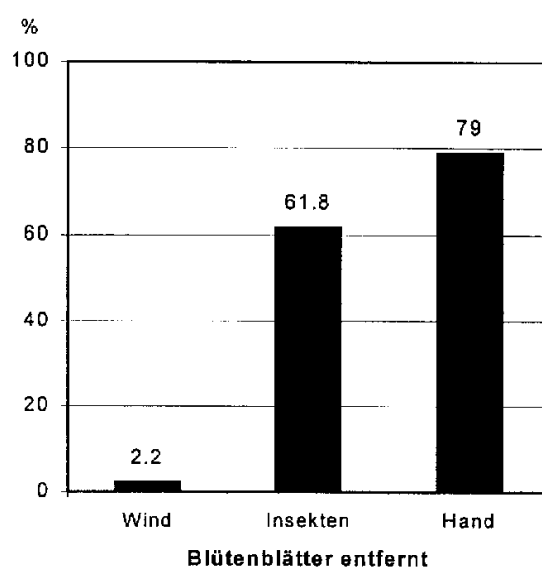
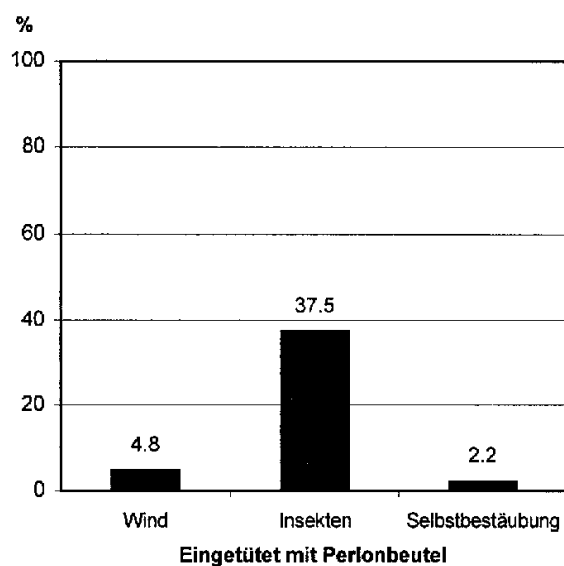


Abb. 20. Einfluss der Bestäubungsart auf den Fruchtansatz bei Äpfeln (Mantinger, 1998)

Anzahl Samen pro Frucht	% Anteil Früchte mit Samen	
	Anlage A 3 Bienenvölker	Anlage B Im Umkreis von 500 m keine Bienenvölker
0	7.5	41.5
1	15.5	42
2	23	12
3	30	3.5
4	18	1
5	6	0

Tab. 2. Einfluss der Bestäubungsintensität durch Bienen auf die Anzahl Samen pro Frucht (Mantinger, 1998)

2. Beeren

Tab. 3 zeigt die Wichtigkeit der Insektenbestäubung deutlich: bei roten und bei schwarzen Johannisbeeren hat das freie Abblühen mehr Samen pro Beere und einen bedeutend höheren Ertrag ergeben als das isolierte Abblühen ohne Insekten.

Auch die Qualität von Erdbeeren wird von der Tätigkeit der Bienen mitbeeinflusst: ohne Bienen ist der Anteil an kleinen, missgebildeten Früchten deutlich grösser. Mittel bis schlecht ausgebildete Erdbeeren sind schwer absetzbar, oft landen sie in der Konfitürenindustrie.

Durch Insekten bestäubte Obstblüten und Beeren ergeben einen deutlich höheren Fruchtansatz und bessere Samenbildung als durch Wind bestäubte.

Sorte	Bestäubung	Ertrag in t / ha	Anzahl Beeren pro Traube	Samen pro Beere
Jonkheer van Tets (Rote)	offen	15.5 (100%)	6.2	9
	Insekten ferngehalten	10.5 (68%)	4.6	7
Silvergieters Schwarze	offen	4.4 (100%)	5.5	30.9
	Insekten ferngehalten	1.6 (36%)	2.8	24.5

Tab. 3. Einfluss der Befruchtung auf den Ertrag bei Johannisbeeren
(aus Mantinger, 1998)

Sorte	Senga Sengana			Sivetta		
	Ausbildung der Früchte in %			Ausbildung der Früchte in %		
Bestäubung	gut	mittel	schlecht	gut	mittel	schlecht
offen, mit Bienen	68	20	12	61	29	10
im Zelt, mit Bienen	62	28	10	51	32	17
im Zelt, ohne Bienen	34	28	38	32	30	38

Tab. 4. Einfluss der Befruchtung auf die Fruchtausbildung bei Erdbeeren
(aus Drescher, 1986)

2.2 Samenzahl und Fruchtentwicklung

Je nach Obstart und Witterung liegen vier bis zwölf Tage zwischen Bestäubung (Pollentransfer auf Narbe) und Befruchtung (Verschmelzung von Pollenkorn und Eizelle).

Die Zahl der Samenanlagen ist unterschiedlich:

Steinobst: 2, nur eine befruchtungsfähig

Birne: 10

Apfel: 10 - 20

Quitte: grosse Anzahl

Beeren: grosse Anzahl

Obwohl nicht alle Samenanlagen befruchtet werden müssen, um die Fruchtbildung anzuregen, bei Steinobst genügt eine, bei Kernobst und Beeren mehrere, besteht ein enger Zusammenhang zwischen Samenbildung und Fruchtentwicklung. Früchte mit vielen Samen sind gross und symmetrisch ausgebildet, sie fallen im Juni seltener ab und sind haltbarer. Tab. 5 und Abb. 21 zeigen die deutliche Zunahme der durchschnittlichen Fruchtgrösse bei Äpfeln mit steigender Samenzahl.

Fruchtqualität

Auch für das Fruchtwachstum und die Qualität ist die Samenzahl entscheidend. Samen bilden in jungen Früchten Hormone der Gruppe der Gibberelline. Sie wandern durch den Fruchtsiel und verhindern an der Ansatzstelle des Stieles die Ausbildung einer Trennschicht zwischen Stiel und Trieb und somit ein Abstossen der Jungfrüchte. Je mehr Samenanlagen einer Frucht befruchtet sind, desto geringer ist die Chance, dass die Frucht abgestossen wird. Ausserdem fördern Gibberelline die Zellteilung, es entstehen Früchte mit mehr Zellen, sie sind fester und knackiger.

Samenzahl pro Frucht	Fruchtdurchmesser (mm)	Kalzium (ppm in Trockensubstanz)
0 - 1	67	174
2 - 3	70	208
4 - 5	71	215
<5	72	233

Tab. 5. Einfluss der Samenzahl pro Apfel auf Grösse und Kalziumgehalt (Mantinger, 1998)

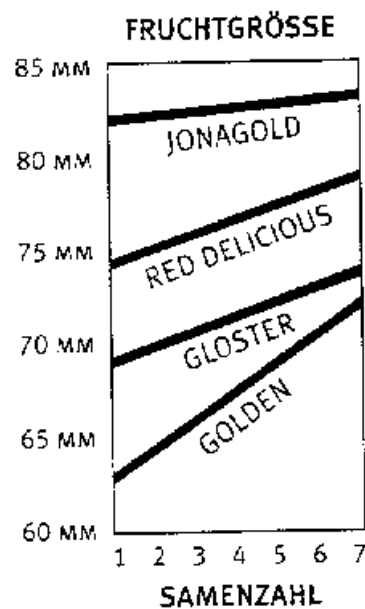


Abb. 21. Samenzahl und Fruchtgrösse (aus dem Sonderdruck zur Interpoma 1998 des Südtiroler Imkerbundes)

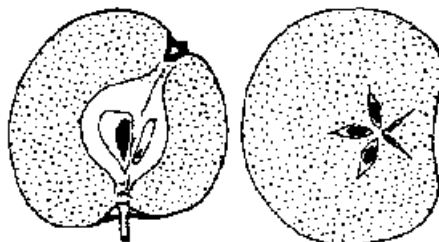


Abb. 22. Bei ungleichmässiger Befruchtung entstehen kleine oder einseitig deformierte Früchte (Leuenberger, 1933)

Haltbarkeit

Eine hohe Kernzahl führt zu einem höheren Kalzium-Gehalt der Frucht. Das Verhältnis Kalium / Kalzium ist für die innere Fruchtqualität verantwortlich und fördert die Haltbarkeit; Stippe, Glasigkeit und Fleischbräune treten bei kalziumreichen Früchten seltener auf (27; Tab. 5 und 6). Erhebungen aus dem Südtirol zeigen, dass Früchte schlecht behangener Bäume weniger gut haltbar sind: 34% Ausfälle durch Fäulnis und Morschwerden bei schlecht behangenen, gegenüber nur 1.6% bei gut behangenen Bäumen.

Junifall

Bei guter Befruchtungsrate wirkt die Zahl der Jungfrüchte der Fruchtgrösse allerdings wieder entgegen. Je mehr Früchte ein Baum ernähren muss, desto weniger Nährstoffe stehen dem einzelnen Apfel bzw. der einzelnen Birne zur Verfügung. Das sogenannte "Scheiden", wie der Junifall von Obstbauern auch genannt wird, reguliert die Fruchtzahl und damit auch die Fruchtgrösse eines gesunden Baumes auf natürliche Weise. Da nur nicht oder ungenügend befruchtete Früchte abfallen (Tab. 7), Früchte mit mehr als zwei Samen bleiben in der Regel am Baum, fördert der Junifall auch die Fruchtqualität.

	Guter Behang	Schwacher Behang
Kalium (mg/100g)	103.02	136.28
Kalium/Kalzium	34.9	46.6
% faule Früchte	1.3	29.2
% morsche Früchte	0.3	14.6

Tab. 6. Haltbarkeit von Jonagold bei gutem und bei schwachem Behang
(aus Mantinger, 1998)

Fruchtfall	Anteil abgefallener Früchte mit X Samen	X = Anzahl Samen pro abgefallene Frucht
Sofort nach Blüte	90 %	0
Junifall	40 %	0
	50 %	1
	10 %	2
Später Fall (bei 30 – 40 mm Fruchtgrösse)	90 %	0 – max. 2

Tab. 7. Anzahl Samen bei abgefallenen Jonagold-Früchten
(aus Mantinger, 1998)

Unzureichende Befruchtung führt zu Ertrags- und Qualitätsverlusten. Bei der Fruchtentwicklung ist die Samenzahl entscheidend: guter Samenansatz ergibt grosse, regelmässig ausgebildete und gut haltbare Früchte.

2.3 Befruchtungsverhältnisse bei Obst

Nicht jede Sorte passt

Fast alle Apfel-, Birnen- und Süsskirschensorten sind Fremdbefruchter, d.h. sorteneigener Pollen führt nicht zur Fruchtbildung. Die Zusammenhänge zwischen Inzuchtvermeidung und erfolgreicher Obstbefruchtung sind komplex, noch lange nicht jede Sorte eignet sich zur Befruchtung einer anderen.

Pollensterilität

Einige Apfel- und Birnensorten bilden kaum keimfähigen, nicht befruchtungsfähigen Pollen. Dies gilt zum Beispiel für Gravensteiner, Boskoop und Jonagold oder für Gelbmöstler und Alexander Lucas. Solche triploid genannte Sorten haben einen dreifachen Chromosomensatz von $3 \times 17 = 51$, was oft zu Störungen in der Chromosomenverteilung bei der Pollenbildung führt. Nur 5% des spärlich produzierten Pollens triploider Sorten sind keimfähig. Alle diploiden Sorten sind gute Pollenbildner. (Für genaue Angaben verweisen wir auf die Flugschrift Nr. 30 der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil, 1998).

Intersterilität

Ganze Gruppen von Sorten können sich untereinander nicht befruchten. Die Sorten innerhalb einer Gruppe verhalten sich wie Vertreter einer selbststerilen Sorte: die Pollenkörner keimen zwar, vermögen das Griffelgewebe aber nicht zu durchdringen. Intersterilität ist bei Süsskirschen bis auf die neueren Sorten fast die Regel (64 von 75 Sorten), zum Beispiel bilden die Riesenkirsche und die Berner Adlerkirsche eine der 17 bekannten Intersterilitätsgruppen, die Zweitfrühe, Seeländer Langstieler und Delta eine weitere. Bei Äpfeln und Birnen ist Intersterilität seltener; Golden Delicious und Maigold gehören einer Gruppe an, Sauergräuech und Goldparmäne einer anderen.

Blütezeit

Entscheidend bei der Wahl der Sorten sind aber nicht nur Pollen- und Intersterilität, sondern auch die entsprechende Blütezeit von Fruchtbaum und Pollenspender. Baumnuss, Fenchel, Koriander und Sonnenblumen wenden oft das Prinzip der zeitlichen Trennung der Reife weiblicher und männlicher Blütenteile an.

Kiwis sind ursprünglich zweihäusige Pflanzen: weibliche und männliche Blütenteile wachsen auf verschiedenen Pflanzen und sind daher räumlich klar getrennt.

Grundsätzliches zur Befruchtung

1. Fremdbefruchtung erhöht auch bei selbstfruchtbaren Arten den Frucht- und Samenanatz und somit den Ertrag.
2. Gute Tracht ist bei Obst noch kein Garant für gute Pollenübertragung, denn bei spärlicher Tracht muss länger gesucht und von Baum zu Baum geflogen werden.

Obst ist befruchtungsbiologisch äusserst vielfältig, zwischen selbst- und fremdbefruchtend kommen alle Übergänge vor. Äpfel, Birnen und Süsskirschen sind weitgehend Fremdbefruchter. Aufgrund von Pollensterilität, Intersterilität oder unterschiedlicher Blühzeiten sind nur gewisse Sorten miteinander kombinierbar.

Einrichtungen zur Verminderung von Inzucht:

1. genetische Inkompatibilität (Pollensterilität, Intersterilität)
2. räumliche Trennung von weiblichen und männlichen Blütenteilen
3. zeitliche Trennung der Reife weiblicher und männlicher Blütenteile

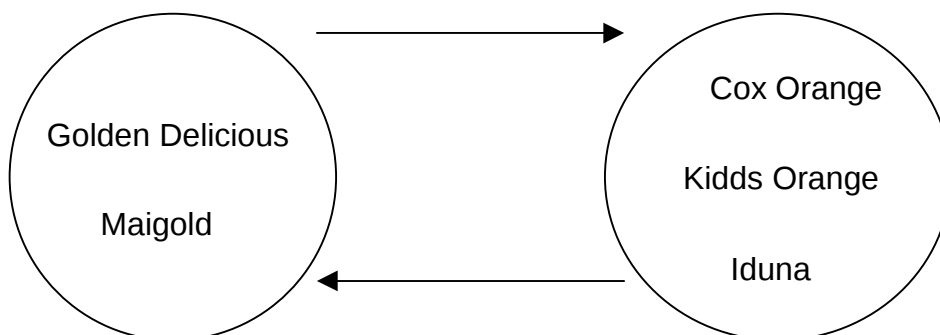


Abb. 23. Darstellung von zwei Intersterilitätsgruppen bei Äpfeln: innerhalb der Gruppen (Kreise) ist keine Befruchtung möglich, zwischen den Gruppen schon (→).

Obstart	Befruchtungstyp
Äpfel	selbststeril
Birnen	selbststeril, einige jungfernfrüchtig (Mostobst)
Süsskirschen	fast alle Sorten selbststeril
Sauerkirschen	meist selbstfruchtbar, 2 Sorten nur teilweise, 1 Sorte selbststeril (Koröser Weichsel)
Quitten	selbstfertil
Pfirsiche, Nektarinen	selbstfertil
Aprikosen	selbstfertil
Pflaumen, Zwetschgen, Mirabellen, Reineclauden	alle Übergänge von selbststeril bis selbstfruchtbar
Schwarze Johannisbeeren	weitgehend selbststeril
Andere Beeren	vollständig oder weitgehend selbstfruchtbar

Tab. 8. Befruchtung bei den Obstarten (aus der Flugschrift Nr. 30, 1998)

Gute Befruchtung

Folgende Massnahmen unterstützen eine gute Befruchtung:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Sinnvolle Sortenwahl | geeignete Pollenspenden: diploid, nicht triploid, nicht aus der selben Intersterilitätsgruppe, blühen zeitgleich mit Fruchtbaum |
| 2. Sinnvollen Bieneneneinsatz | zu achten ist auf Zeitpunkt, Menge und Verteilung |
| 3. Konkurrenztracht vermeiden | für Bienen attraktive Arten wie Möhren, Senf, Klee oder Löwenzahn eignen sich nicht als Untersaat oder müssen vor der Blüte gemäht werden |
| 4. Vorsichtige Schädlingsbekämpfung | striktes Respektieren der Empfehlungen der Hersteller hinsichtlich Bienenschutz, den Einsatz auf die Zeit vor und nach der Blüte verlegen |

Zitat eines Kirschbauern:

"die Aussicht auf eine gute Ernte ist günstiger, wenn es in die Blüten schneit, als wenn die Blüte bei schönem Wetter rasch vorüber geht."



Abb. 24. Akute Bienenvergiftung als Folge von unsachgemässer Anwendung eines Pflanzenschutzmittels. Solch schwerwiegende Fälle sind heute dank weniger gefährlichen Mitteln, gezielterer Anwendung und besserer Information der Anwender selten geworden.

2.4 Befruchtungsverhältnisse bei Raps (*Brassica napus*)

Geschichte

Seit dem 13. Jahrhundert wurde Raps besonders in Nordeuropa für Lampenöl kultiviert, bevor es von Petroleum abgelöst wurde. In England verwendete man Raps zur Trockenlegung von Mooren. Als typische Pionierpflanze bei der Urbarmachung galt er als "Vorbote des Wohlstandes". Nach dem 2. Weltkrieg stieg der Bedarf an Speiseöl in Europa und in den sechziger Jahren nahm der Trend zu pflanzlichen Fetten seinen Aufschwung; dementsprechend wurden die Raps-Anbauflächen vergrössert.

Doppel-Null-Raps Sorten

Als problematisch erwiesen sich zwei Inhaltsstoffe: die Eruca-Säure und das Glucosinolat, beides krebserregende, geschmacklich unerfreuliche Stoffe, die durch Züchten neuer Sorten auf ein Minimum reduziert werden konnten. Seit 1984 werden auch in Europa solche Doppel-Null-Raps Sorten angebaut.

Fremdbefruchtung ist wichtig

Ab Mitte Mai, je nach Witterung bis 4 Wochen lang, blüht der Raps in grossen, grellgelben Flächen. Raps ist windbestäubt und sowohl Selbst- als auch Fremdbefruchter. Der Rapspollen entsteht in den für Kreuzblütler typischen 2 kurzen und 4 langen Staubblättern; beide Pollenarten können Samenanlagen der eigenen oder einer anderen Blüte befruchten. Bei Untersuchungen ergab Fremdbefruchtung mit Pollen aus den kurzen Staubbeuteln die besten Resultate: die Samen waren um 19% schwerer als bei Selbstbefruchtung mit denselben Pollen.

Insektenbestäubung bei Raps

Oftmals erreicht der Wind nicht jede Blüte. Besonders Blüten, die nicht an der Oberfläche dicht bestandener Rapsfelder wachsen, sind auf das Pollenschütteln oder den Pollentransport durch Insekten angewiesen. Fruchtansatz und Ertrag sind bei Bienenbestäubung tatsächlich deutlich erhöht (Nowotnick, 1992). Nicht nur Honigbienen, sondern auch Hummeln und solitäre Sand-, Furchen- und Mauerbienen, einige Schmetterlinge und Fliegen besuchen Rapsblüten, welche viele typische Eigenschaften insektenbestäubter Blüten zeigen: flache Form, auffällige Farbe, Duft und grosse Mengen zuckerreicher Nektar (30 - 40%, teilweise sogar bis 60% Zucker).

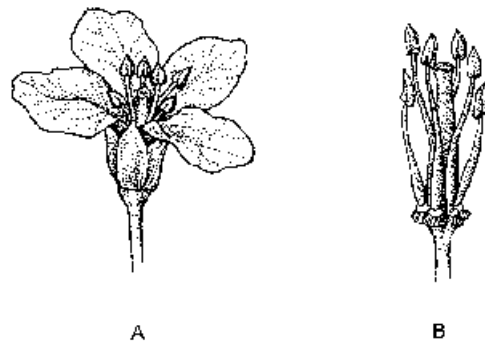


Abb. 25. Rapsblüte mit (A) und ohne (B) Kelch- und Kronblätter

Welche Vorteile bringt die Insektenbestäubung dem Raps?

- Schwerere Samen durch Fremdbestäubung
- Genetische Vielfalt
- Frühe Reife
- Gleichzeitigkeit der Reife (ungleichzeitiges Reifen führt zu Ernteverlusten, da die zuerst reifen Samen vor dem Erntetermin aus den Früchten kollern)

Raps ist windbestäubt, selbst- oder fremdbefruchtet. Zahlreiche Insekten besuchen die nektarreichen Rapsblüten, wodurch die Fremdbefruchtung verbessert und der Ertrag erhöht wird.

Bedeutung der Rapsblüte für die Honigbiene

Die Rapsblüte ist für die Honigbiene wichtig, da sie in die Zeit des grossen Populationswachstumes und somit in die Zeit des grössten Nahrungsbedarfes fällt. Versuche zeigen, dass die Menge des Pollens linear mit der Bienenbrut korreliert ist (30). Dies bestätigen auch Wille et al. (1985). Zitat: "Die Gegenüberstellung von Bruttätigkeit und Polleneintrag zeigt, dass trotz erheblicher Streuung beider Messgrössen eine hoch gesicherte Abhängigkeit besteht: Je höher die Brutproduktion, desto grösser ist die Pollenernte; für zusätzliche tausend Brutzellen wurden im Durchschnitt 135 Gramm mehr Pollen eingetragen."

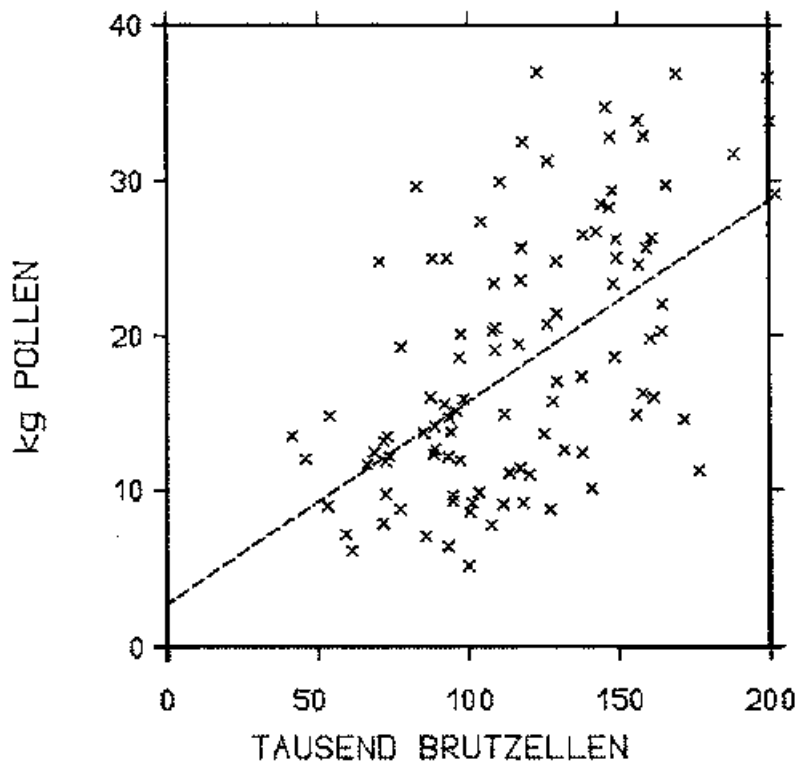


Abb. 26. Polleneintrag und Brutaufzucht von 102 Völkern aus acht Stationen 1980 - 1984 (aus Wille et al., 1985)

Erstaunlicherweise sind nur 5% aller rapsbesuchenden Bienen Pollensammlerinnen, 95% sind auf den gehaltvollen Nektar aus. Fast ein Viertel der Nektarsammlerinnen machen Seitenbesuche, d.h. sie berühren den Pollen nicht. Trotzdem kann Rapspollen einen grossen Anteil des des Polleneintrages ausmachen. In Untersuchungen am Oeschberg war er mit 51.2% die am häufigsten gesammelte Pollensorte (45).

50 WICHTIGSTE POLLENSORTEN

OESCHBERG

VOLK_15

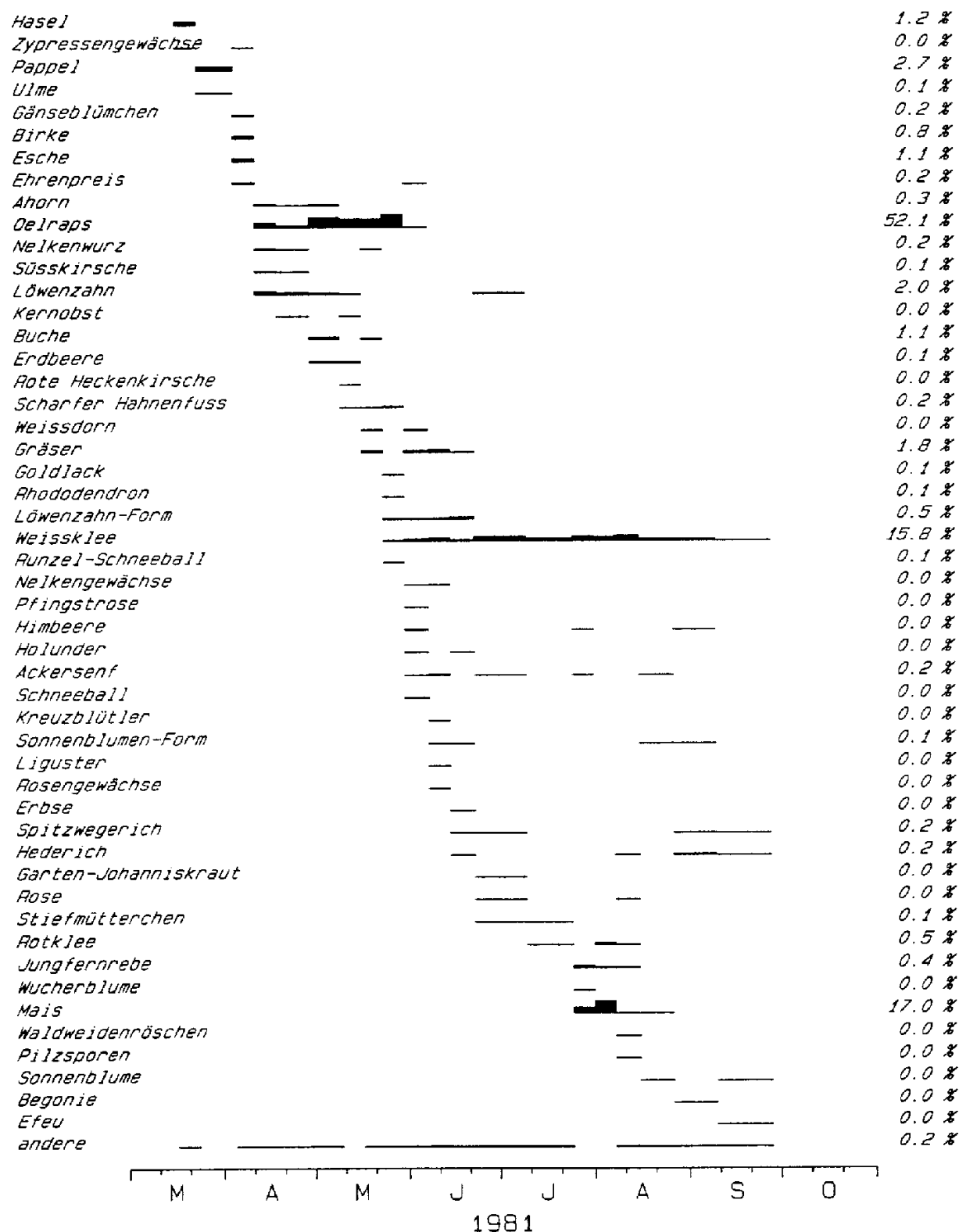


Abb. 27. Von Honigbienen gesammelte Pollensorten (aus Wille et al., 1985)

3 WELCHE ROLLE SPIELT DIE HONIGBIENE, WELCHE ANDERE INSEKTEN BEI DER BESTÄUBUNG?

3.1 Vielfalt der Blütengäste

Blütengäste einer Wiese

Was wäre eine sommerliche Blumenwiese ohne die sirrende Vielfalt ihrer Blütengäste? Im "Handbuch der Blütenbiologie" von 1889 (22) werden die prozentualen Anteile der verschiedenen Insektenfamilien, die sich den Blütentisch teilen, angegeben. Es sind in erster Linie Hautflügler, aber auch Fliegen, Schmetterlinge und Käfer.

Blütengäste eines Apfelbaumes

Auf einem Apfelbaum zeigt sich ein anderes Bild: allen voran ist dort die Honigbiene tätig. Mehrere neuere Untersuchungen, u.a. aus südtiroler Obstanlagen (36), ergaben einen Honigbienenanteil von 75 - 90%, gefolgt von Hummeln, Wildbienen (die Rote Mauerbiene *Osmia rufa* beispielsweise in einer Häufigkeit von 11%) und Schwebfliegen. Käfer und Schmetterlinge fallen in Obstkulturen kaum mehr ins Gewicht. Auch bei älteren Auszählungen an Obstblüten ist die Honigbiene mit Abstand der häufigste Gast (20).

3.2 Bienen

Bienenarten

Weltweit gibt es mehr als 40'000 Bienenarten (41). Weit über 1'000 kommen in Europa vor, allein für die Schweiz sind 580 Arten belegt (33). Da alle Bienen ihre Larven mit einem Gemisch aus Pollen und Nektar füttern, dem Drüsensekrete beigemischt werden können, sind alle Arten bestäubend.

Lebensweise

Die überwiegende Mehrheit aller Bienenarten lebt solitär, nur in wenigen Gruppen treten unterschiedliche Formen sozialer Lebensweise auf. Von hoch sozialen Arten mit mehrjährigen Staaten über primitiv soziale wie Hummeln und verschiedene Furchenbienen, quasisoziale, bei denen mehrere Weibchen ein gemeinsames Nest benutzen und gemeinsam Brutpflege betreiben bis zu rein solitär lebenden Arten gibt es alle Übergangsformen.

Vorteile sozialer Lebensformen für die Bestäubung

Die Bestäubungsvorteile sozialer Insekten gegenüber solitären liegen in ihrer höheren Individuenzahl, der langen Flugsaison und dem breiteren Blütenspektrum, das sie anfliegen.

Honigbiene und Hummeln

Vergleicht man in Europa das Vorkommen von Honigbienenrassen und von Hummelarten, fällt ein geographischer Unterschied auf: Honigbienen haben ihre grösste Vielfalt im mediterranen Raum, Hummeln dagegen im Norden und im Alpenraum. Durch ihr grösseres Volumen und Gewicht und ihre bessere Aufwärmkapazität sind Hummeln physiologisch besser an klimatisch ungünstige Bedingungen angepasst als Honigbienen. Sie können deshalb auch bei kühlerer Witterung und weiter über die Waldgrenze ausfliegen.

Blütengäste einer Wiese

(aus dem Handbuch der Blütenbiologie", Knuth, 1889)

Hautflügler (Bienen, Wespen, Ameisen)	47%
Fliegen	26%
Käfer	15%
Schmetterlinge	10%

Blütengäste eines Apfelbaumes

(aus Hooper, 1912)

Honigbienen	493 (77%)	Käfer	22 (3.4%)
Hummeln	49 (7.6%)	Wildbienen	16 (2.5%)
Fliegen	24 (3.7%)	Andere Insekten	13 (2%)
Ameisen	23 (3.6%)	Wespen	3 (0.5%)

Im Obstbau ist die Honigbiene bei weitem der wichtigste Pollenüberträger. Alle 580 Bienenarten der Schweiz sind bestäubend. Die soziale Lebensweise der Hummeln und Honigbienen ist allerdings gegenüber der solitären Lebensweise zahlreicher Wildbienen für die Bestäubung von Vorteil.

Vor- und Nachteile verschiedener Bienen für die Bestäubung

Honigbiene: Vorteile für die Bestäubung (+)

- + bereits im Frühling hohe Individuenzahl
- + blütenstet
- + hohe Sammelaktivität (eine Biene besucht ca. 2'000 bis 3'000 Blüten pro Tag, ein Volk um 12'000'000)
- + Fähigkeit zur Kommunikation (wirksame Mitteilungen ermöglichen schnelle Nutzung der Nahrungsquellen)
- + sitzend sammelnd (auch an Nektarsammlerinnen haften Pollen)
- + behaart
- + gute innere und äussere Sammeleinrichtungen
- + Völker sind verstellbar

Honigbiene: Nachteile für die Bestäubung (-)

- 'sideworker' Verhalten unter Nektarsammlerinnen (Honigbienen lernen bei bestimmten Blüten schnell, den Nektar seitlich zwischen den Staubblättern aufzunehmen, ohne dabei die Staubbeutel zu berühren)
- Sortenstetigkeit (reduzierte Kreuzbestäubung in Obstanlagen möglich)
- Pollentransport in Form von Pollenhöschen
- Flugaktivität ab Temperaturen von 12 °C

Hummeln: Vorteile für die Bestäubung (+)

- + sozial (mehrere 100 Individuen pro Volk)
- + gross, schwer (öffnen gewisse Blüten durch Gewicht, z.B. Löwenmäulchen)
- + hohe Sammelaktivität (eine Hummel besucht ca. 4'500 Blüten pro Tag, ein Volk um 90'000)
- + Flugaktivität ab Temperaturen von 7 °C
- + sitzend sammelnd (auch an Nektarsammlerinnen haften Pollen)
- + stark behaart
- + lange Rüssel
- + gute innere und äussere Sammeleinrichtungen
- + Völker sind verstellbar

Hummeln: Nachteile für die Bestäubung (-)

- nur Königinnen überwintern
- kleinere Volksstärke (100 - mehrere 100 Individuen)
- weniger blütenstet

Wildbienen (Mauerbienen *Osmia*, Sandbienen *Andrena*, Pelzbienen *Anthophora*): Vorteile für die Bestäubung (+)

- + angepasst an die Blühzeit der Pflanzen und die lokalen Bedingungen
- + hohe Sammelaktivität (Weibchen gewisser Arten besuchen bis 5000 und mehr Blüten pro Tag)
- + Trockentransport von Pollen (keine Höschen)

Wildbienen: Nachteile für die Bestäubung (-)

- solitäre Lebensweise, wenig Individuen
- zeitliche und räumliche Populationsschwankungen
- in der Regel nicht blütenstet, für Monokulturen weniger wirksam

Eigenschaften anderer Insekten

der Bestäubungswert dieser Insekten ist mit Ausnahme der Käfer gering

Wespen

- sammeln Nektar mit einer Ausnahme¹ nur für sich

Ameisen

- sozial
- nahezu haarlos
- klassische Nektardiebe, die Staubgefässe nicht berührend

Fliegen

- solitär
- wenig blütenstet (unregelmässige Blütenbesucher)
- teilweise langrüsslig (Mistfliege *Eristalis* 4 - 8 mm, *Rhingia* 11 - 12 mm)
- Schwebfliegen leben als erwachsene Tiere nur von Nektar und Pollen

Schmetterlinge

- nur Nektar sammelnd mit einer Ausnahme²
- ausgesprochen langrüsselig (0.5 - 30 mm)
- starke Behaarung

Käfer

- oft blütenzerstörend
- Nektar und Pollen fressend (Blütenböcke, einige Pracht-, Bunt- und Weichkäfer)

¹ Verwandte der Faltenwespen, sammelt Nektar und Pollen für ihre Nachkommen, eine wahrscheinlich sekundär entstandene Spezialisierung innerhalb der Wespen

² die stammesgeschichtlich ursprünglichen Urmotten sind Pollenfresser

3.3 Ausrüstung von Insekten zum Pollen- und Nektarsammeln

3.3.1 Pollensammeln

Haare

Auffallend stark behaart sind Hummeln (*Bombus*), Mauerbienen (*Osmia*), Blattschneiderbienen (*Megachile*) und, wie der Name sagt, Pelzbienen (*Anthophora*). Sie alle erscheinen äusserst wollig, bei genauem Hinschauen entpuppen sich ihre Haare als bizarre Gebilde mit allerlei Häkchen und Fiedern. Auch einige Schwebfliegen sind behaart, allerdings erkennt man die spärlichen Haare an Augen, Kopf und Beinen erst auf den zweiten Blick.

Die Kompaktausrüstung der Honigbiene

Am besten ausgerüstet sind zweifellos die Bienen. Die Honigbiene, von gewissen Bienenforschern als 'fliegendes Schweizer Taschenmesser' bezeichnet, verfügt über eine wohldurchdachte Ausrüstung: Der verbreiterte, muldenartig vertiefte Unterschenkel der Hinterbeine ist von einem Rand borstenförmiger Haare umgrenzt und formt so das Körbchen (Cubacula). Chitinzähne am Unterrand des Körbchens bilden den Pollenkamm, Borstenreihen an der Innenseite des ersten Fussglandes die Bürste. Am Mittelbein sitzt der Pollenschieber, am Vorderbein ein weiterer Kamm.

Sammeleinrichtungen anderer Bienen

Auch andere Bienen haben spezielle Pollensammeleinrichtungen. Gut die Hälfte unserer einheimischen Bienenarten sind Beinsammlerinnen. Etwa ein Sechstel sind Bauchsammlerinnen, sie verfügen über eine Bauchbürste, mit der gesammelt und eingetragen wird. Schlucksammlerinnen sind weitgehend unbehaart, sie schlucken den Pollen und würgen ihn zusammen mit dem Nektar in den Brutzellen wieder aus, daher sind sie am Bestäubungsgeschäft nicht wesentlich beteiligt.

Bienen, die nicht fleissig sind

Kuckucksbienen besitzen keine Sammeleinrichtungen. Sie verzichten auf Nestbau und Proviantbeschaffung und schmuggeln ihre Eier in die Brutzellen anderer Wildbienenarten, denen sie grosszügig die Arbeit der Aufzucht überlassen.

Käfer – emsige Pollenfresser

Käfer wie der Rosenkäfer oder Blütenböcke fressen Nektar und Pollen mit teilweise recht spezialisierten kauenden Mundwerkzeugen. Beim Rosenkäfer (*Cetonia aurata*) bilden Haarbüschel am Oberkiefer einen regelrechten Pollenbesen.

Verschiedenste Strukturen erleichtern das Pollensammeln der Insekten: befiederte Haare, hochspezialisierte Kämmе, Bürsten und Besen helfen beim Pollensammeln, Bauchbürsten, Körbchen oder Kröpfe beim Transport. Rund ein Viertel der einheimischen Bienenarten sind Kuckucksbienen, als Brutparasiten verfügen sie über keine Sammelausrüstung.



Abb. 28. Rechtes Sammelbein einer Honigbiene (Photo Peter Fluri)

Sammelart	Anteil	Arten oder Artengruppe
Beinsammlerinnen	53%	Honigbiene, Hummeln, Seiden-, Sandbienen
Bauchsammlerinnen	16%	Mauer-, Mörtel- und Blattschneiderbienen
Schlucksammlerinnen	7%	Maskenbienen, Holz- und Keulhornbienen
keine Sammeltätigkeit	24%	Kuckucksbienen

Tab. 9. Sammelarten einheimischer Bienen (aus Müller, 1991)

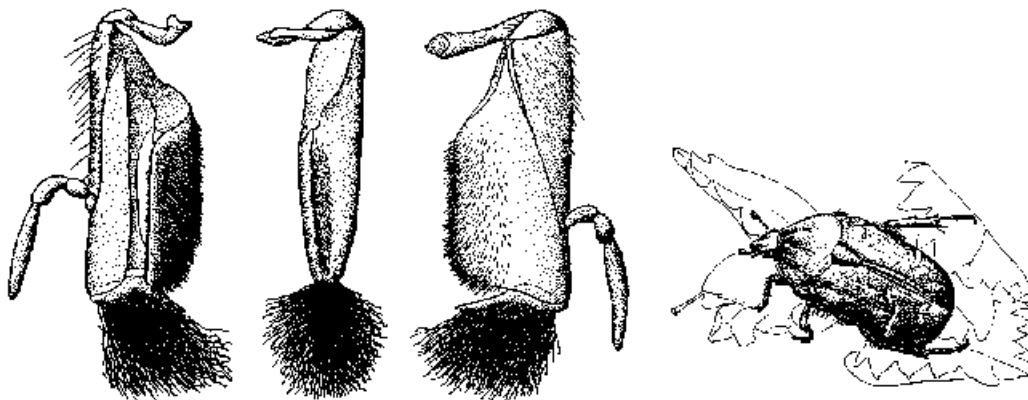


Abb. 29. Pollenbesen des Rosenkäfers (Barth, 1982)

3.3.2 Nektarsammeln

Auch der Nektarsammelapparat der Honigbiene wird seiner Aufgabe auf perfekte Weise gerecht: die unteren Mundwerkzeuge sind zu einem saugrohrähnlichen Rüssel umgeformt, am Ende der dicht behaarten Zunge ist ein Löffelchen angebracht, mit dem sich Nektar lecken lässt. Im Honigmagen, der bei der Honigbiene bis zu 70 mg Nektar fassen kann, wird auf einem Sammelflug Nektar von 80 - 100 Apfelblüten oder rund 1000 Kleeblüten transportiert.

Rüssellängen im Vergleich:

1. Hautflügler (Hymenoptera) - Arbeitstiere

Furchenbiene (<i>Halictus ssp.</i>)	1.5 - 6 mm
Honigbiene (<i>Apis mellifera</i>)	6.5 mm
Erdhummel (<i>Bombus terrestris</i>)	8 - 9 mm
Gartenhummel (<i>Bombus hortorum</i>)	14 - 16 mm
Pelzbiene (<i>Anthrophora pilipes</i>)	19 - 21 mm

2. Fliegen (Diptera)

Schwebfliege (<i>Syrphus</i>)	2 - 4 mm
Schlammfliege (<i>Eristalis</i>)	4 - 8 mm
Wollschweber (<i>Bombylius discolor</i>)	10 - 12 mm
Schwebfliege (<i>Rhingia rostrata</i>)	11 - 12 mm

3. Schmetterlinge (Lepidoptera)

Kohlweissling (<i>Pieris brassicae</i>)	16 mm
Taubenschwänzchen (<i>Macroglossum stellatarum</i>)	25 - 28 mm
Ligusterschwärmer (<i>Sphinx ligustri</i>)	37 - 42 mm
südamerikanischer Schwärmer (<i>Cocytius cluentis</i>)	250 mm

Die Mundwerkzeuge nektarsammelnder Insekten sind zu mehr oder weniger langen Saugrüsseln umgeformt. Rekordhalter ist ein süd-amerikanischer Falter mit 250 mm Rüssellänge. Bei Bienen hilft eine behaarte Zunge mit Löffelchen den Nektar aufzulecken.

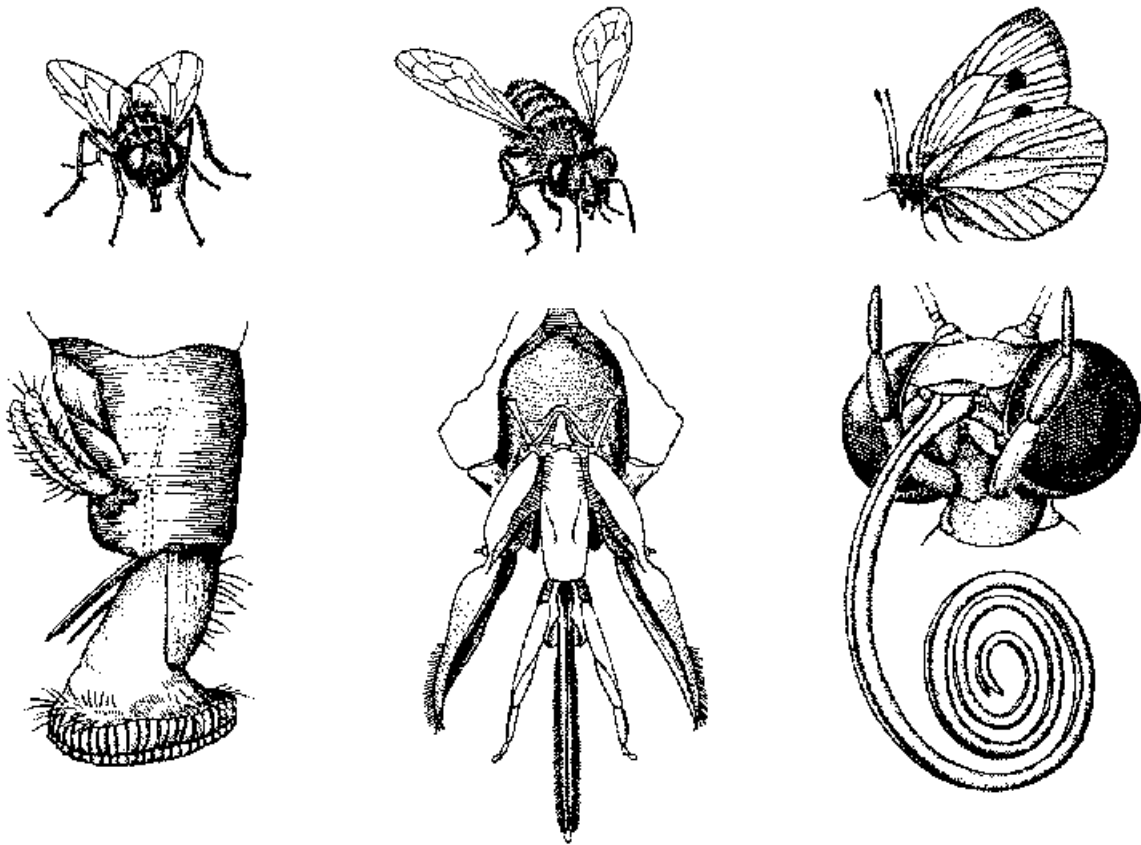


Abb. 30. Rüssel von Fliege, Biene und Schmetterling (Barth, 1982)

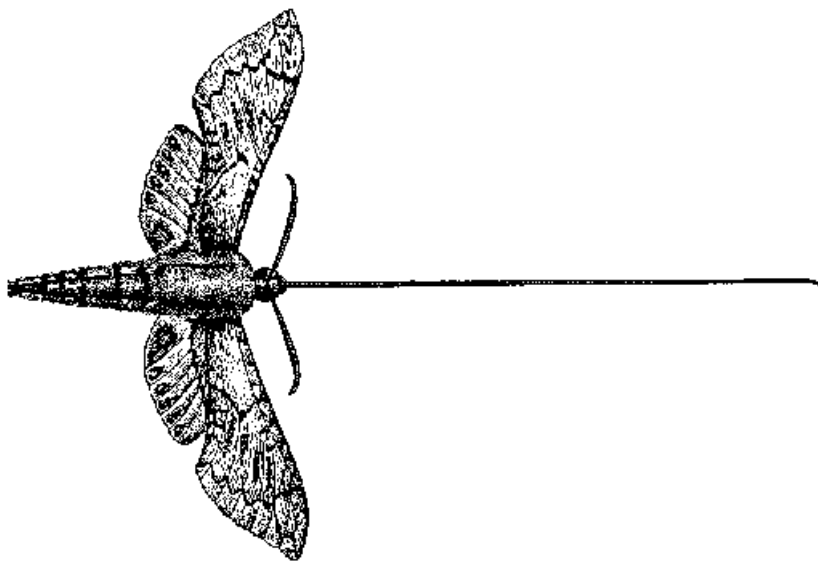


Abb. 31. Südamerikanischer Schwärmer (*Cocytius cluentis*) (Barth, 1982)

3.4 Sammelverhalten von Bienen

Herstellen von Pollenhöschchen

Ausschlaggebend für die Sammeltätigkeit der Bestäuber ist nicht nur ihr Werkzeugkasten, sondern auch ihr Verhalten und die Art und Weise, wie sie ihre Werkzeuge nutzen. Die sozialen Bienenarten, die ihre Brut mit Pollen und Nektar versorgen, sind ausdauernd und effizient: bereits im Flug bürsten sie die Pollenkörner aus dem Haarleid, reinigen die vollen Bürsten mit Kämmen und befördern den Pollen mit dem Schieber ins Körbchen. Die Mittelbeine klopfen und drücken die Pollenhöschchen fortwährend fest, bis sie gross genug sind und zum Stock transportiert werden (ein Pollenhöschchen enthält bis zu einer Million Pollenkörner und wiegt rund 10 mg).

Vibrationssammeln

Viele Bienenarten, unter ihnen einige Hummeln und Pelzbienen, nicht aber die Honigbiene, beherrschen das "Vibrationssammeln". Nachtschattengewächse wie Tomaten und Kartoffeln, aber auch andere Pflanzenfamilien, haben längliche Staubbeutel, die ihren Pollen durch eine kleine Öffnung am Ende entlassen. Die Biene umklammert die Staubbeutel und schüttelt sie, indem sie ihren Körper in Schwingungen versetzt (wie beim Schwänzeltanz oder der Temperaturregulation), dabei rieseln ihr die kleinen, glatten Pollenkörner auf den Bienenbauch.

3.4.1 Soziale Bienen

Honigbienen

Honigbienen sind äusserst blütenstet und pollentreu. In einer Untersuchung von Zander (1936) enthielten 91% der Pollenhöschchen nur eine Pollenart (46). Bei einer ausgiebigen und attraktiven Trachtquelle sammeln Bienen lange Zeit im selben kleinräumigen Gebiet von ca. 10 m². Auf einem Sammelflug wird entweder nur Pollen oder nur Nektar gesammelt; oft bleiben Bienen während mehreren Tagen oder gar während der ganzen Flugphase bei einer Sammelart. Dank dieser Verhaltenskonstanz ist die Dressur auf eine Pollenart möglich (14). Nur besonders attraktiven Verlockungen wie Rotklee oder Senf konnten dressierte Bienen nicht widerstehen.

Durch den Pollentransfer im Stock ist trotz der Blütenstetigkeit auch in sortenreinen Beständen ein gewisser Bestäubungserfolg zu verzeichnen.

Hummeln

Hummeln sind zuverlässige Schlechtwetterbestäuber und regelmässig an Obstblüten zu finden. Ihr Fleiss ist buchstäblich: eine Ackerhummel hat in 100 Minuten 2634 Blüten der Ochsenzunge besucht (16). Normalerweise sind Hummeln nicht ganz so blütenstet wie Honigbienen: mehr als 40 % ihrer Pollenhöschchen sind Mischhöschchen (14).

An gewissen Kulturen sind Hummeln häufiger als Honigbienen, weshalb sie neuerdings auch kommerziell eingesetzt werden. In holländischen und belgischen Gewächshäusern sind Erdhummeln (*Bombus terrestris*) seit 1986 im Bestäubungsdienst. Von Januar bis September (Bestäubungszeit der Tomaten) können die Völker durch trickreiche Zucht auf maximalem Bestand gehalten werden: begattete Königinnen werden mit CO₂ narkotisiert - so wird ihnen ein Winter vorgetäuscht. Nach dem Aufwachen beginnen sie unverzüglich mit dem Nestbau und der Eiablage.



Abb. 32. Honigbiene im Flug (Hodges, 1952)



Abb. 33. Vibrationssammeln: Hummel an Nachtschattengewächs (Barth, 1982)

Bienen zeigen sehr komplexe Verhaltensweisen wie das Pollenhöschenkneten oder das Vibrationssammeln. Honigbienen sind zahlreich, blütenstet und pollentreu und daher beste Bestäuber. Hummeln sind weniger blütenstet, aber gute Schlechtwetterbestäuber. Sie werden in Gewächshäusern kommerziell eingesetzt.

3.4.2 Solitäre Bienen

Blattschneider- und Schienenbienen

In Nordamerika werden Blattschneiderbienen (*Megachile*) oder Schienenbienen (*Nomia*), für den Bestäubereinsatz gezüchtet. Man lässt sie in eigens dafür angelegten "Bienenbeeten" nisten, direkt in der Kultur oder in transportierbaren Nistblöcken aus Erde. Bienenbeete von *Nomia melanderi* sind durch Pestizideinsatz aus der Luft bereits wieder stark dezimiert worden (6).

Mauerbienen

Wildpopulationen der nordostspanischen Gehörnten Mauerbiene *Osmia cornuta* sammeln in ihrer natürlichen Umgebung vor allem Mandelpollen (bis zu 99%). Zuchtpopulationen, die in Apfelanlagen freigelassen wurden, sammeln überwiegend Apfelpollen (97 - 99%). In der Steiermark ist *Osmia cornuta* tatsächlich für den Obstbau von grosser Bedeutung, da sie besonders früh ausfliegt und eine hohe Bestäubungsleistung erbringt.

Nördlich der Alpen laufen umfangreiche Versuche zum kommerziellen Einsatz von der Roten Mauerbiene *Osmia rufa* in Obst- und Erdbeeranlagen (41).

Sandbienen

Mehrere Sandbienenarten sammeln regelmässig an Obstblüten. *Andrena fulva*, die Fuchsröte, ist eine gute Johannis- und Stachelbeerbestäuberin. Sandbienen sind an den Hinterbeinen mit einem Haarbüschel als Transportspeicher, der sogenannten Scopa, ausgerüstet.

Pelzbienen

Häufig sind die wahrlich früh aktiven Frühjahrspeitzbienen (*Anthophora*); erste hungrige Männchen sind bereits Ende Februar unterwegs. Diese äusserst fleissige Gruppe ist an allen Obstgehölzen zu finden, und dies mit sagenhaften 8800 Blütenbesuchen pro Tag (41). Ihre langen Mundwerkzeuge machen die Pelzbienen zu wichtigen Bestäubern aller Blüten mit langen Kronröhren.

Wer bestäubt wen?

Welche Insekten bei welcher Pflanze die Bestäuberfunktion übernehmen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Blüteneigenschaften und Klima, aber auch Konkurrenz durch andere Bestäuber oder andere Kulturen können eine Rolle spielen.

Blütenbesuche verschiedener Bestäuber an einem optimalen Tag (Teppner, 1996)

Honigbiene	2000 - 3000
Hummel	4500 - 5600
Solitärbienen	
Gehörnte Mauerbiene	4500 - 5600
Frühjahrs-Pelzbiene	bis 8800

Folgende Faktoren beeinflussen die Wichtigkeit der einzelnen Bestäuberinsekten (nach Corbet et al. ,1991, Free, 1962)

- Kronröhrenlänge
- Beschaffenheit der Staubblätter
- Blütezeit
- Wetter
- geographische Lage
- lokaler Wettbewerb durch andere Kulturen
- lokale Individuenzahl und Verhalten anderer Bestäuber

Auch solitäre Bienen werden für den Bestäubungseinsatz gezüchtet: Mauerbienen eignen sich zur Apfel- und Erdbeerbestäubung, Sandbienen für Obst, Johannis- und Stachelbeeren, Pelzbienen als emsige Obstbesucher. Die Wichtigkeit einzelner Bestäuberarten hängt vom Klima und von der Konkurrenzsituation ab.

3.5 Konkurrenz von Bienen

Allgemein

Je nach vorkommenden Arten, ihrem Verhalten, ihren Ansprüchen und dem Angebot an Nahrungsquellen konkurrenzieren sich die einzelnen Arten unterschiedlich stark. Bienen weichen dominierenden Konkurrenten aus (beispielsweise weichen kleinere Hummelarten grösseren aus) oder meiden die von Konkurrenten besuchte Nahrungsquellen (43). An Beinwell wurde beobachtet, dass Hummeln kleinere Wildbienenarten verdrängten (43).

Honigbienen

Die Honigbiene konkurriert mit anderen Arten um Futter, bei begrenzten Trachten aber auch mit Artgenossinnen anderer Völker; sie gilt als die Art mit dem grössten Einfluss auf andere Arten (43). Durch ihr flexibles Sammelverhalten und die grosse Individuenzahl hat die Honigbiene tatsächlich erhebliche Wettbewerbsvorteile, besonders gegenüber solitären Bienenarten. Aber auch Hummeln werden durch die Honigbiene verdrängt: das Entfernen von Honigbienen von einem Rotkleefeld führte zu einer Zunahme der Hummeln mit kurzen und mittellangen Rüsseln (43).

Problematisches Verdrängen

Der Einfluss der Honigbiene auf Spezialisten ist vor allem dann hoch, wenn die von den Spezialisten benötigte Pollenquelle auch für Honigbienen attraktiv ist (z.B. *Campanula*, *Echium* und *Bryonia*) und keine Ausweichsmöglichkeiten für die eng spezialisierten Arten bestehen. In solchen Fällen kann der Konkurrenzdruck durch die Honigbiene zum starken Dezimieren oder Verschwinden der Wildbienenpopulationen führen. Problematisch ist der Einsatz von Honigbienen in Gebieten ohne Massentrachten und besonders in Lebensräumen und Rückzugsgebieten von Wildbienen. In Holland wiesen Gebiete, in denen nicht geimkert wird, eine artenreichere Wildbienenfauna auf als Gebiete mit intensiver Honigbienenhaltung.

Populationsgrössen

Die Grösse von Wildbienenpopulationen wird aufgrund natürlicher Mechanismen reguliert (Fressfeinde, Lebensraum- oder Futtermangel, Krankheiten, Parasiten). Die Bestände sind deshalb Schwankungen unterworfen. Bei der Honigbiene reduziert der Mensch die begrenzenden Faktoren so weit wie möglich. So kann diese Art regelmässig stabile Bestände erreichen.

Verschiedene Bienenarten können sich je nach Nahrungs- und Nistplatzangebot unterschiedlich stark konkurrenzieren. Honigbienen sind aufgrund ihres flexiblen Sammelverhaltens, ihrer grossen Individuenzahl und der Hegemassnahmen sehr erfolgreich. Sie können eng spezialisierte Wildbienenarten, aber auch Hummeln verdrängen.

Konkurrenz:

Wettbewerb von Organismen um einen bestimmten Umweltfaktor (Ressource)

z. B. um Nahrung oder geeignete Nistplätze

Empfehlungen für Imker:

1. Für den Einsatz von Bienenvölkern in naturnahen Lebensräumen gelten keine generellen Regeln. Die Vor- und Nachteile sollten von Fall zu Fall abgewogen werden.
2. In Naturschutzgebieten sollte ein Einsatz von Bienenvölkern nur vorübergehend und gezielt erfolgen und nur nach Einzelprüfung und Absprache mit den zuständigen Behörden.
3. Auf den Einsatz von Bienenvölkern sollte verzichtet werden, wenn das Trachtgebiet für eng spezialisierte Wildbienenarten und für Honigbienen attraktiv ist (wildbienenreiche Lebensräume wie Magerrasen, Kies-gruben und Ruderalflächen)

4 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER BIENENBESTÄUBUNG

4.1 EG-Kulturpflanzen und Bienenbestäubung

Einige wichtige Kulturpflanzenarten, welche grossflächig angebaut werden, sind auf die Bestäubung durch Bienen angewiesen oder führen bei Bienenbestäubung zu besserem Fruchtansatz.

An dreizehn EG-Kulturen sind ausschliesslich Honigbienen beobachtet worden:

Kirschen	Rote Johannisbeeren	Kastanie
Aprikose	Quitte	Bohnen
Pfirsich und Nektarine	Mango	Senf
Mandel	Melone	Olive
		Buchweizen

Kulturen, die nachweislich besser durch Wildbienen bestäubt werden:

1. Rotklee (*Trifolium pratense*)

Rotklee ist für die Samenproduktion auf Fremdbestäubung angewiesen. Der langen Kronröhre und dem versteckten Pollen, der regelrecht aus der Blüte getreten werden muss, werden langrüsselige Hummeln am besten gerecht. Honigbienen holen den Nektar zu 90% seitlich aus den Blüten, ohne die Staubbeutel zu berühren (15). Tatsächlich zeigen Rotkleefelder mit Hummelkolonien gegenüber solchen mit Honigbienen einen deutlich erhöhten Samenansatz (19). Da Bestäubungsprobleme die Saatgutproduktion in Europa erschweren, wird Rotkleesamen heute weitgehend aus Neuseeland importiert. Als Bestäuber werden europäische Hummeln eingesetzt.

2. Luzerne (*Medicago sativa*)

Fremdbestäubung erhöht den Samenansatz dieser selbstfertilen Art, bei der die Pollen ebenfalls 'ausgetreten' werden müssen, erheblich. Da Honigbienen bei Luzerne meist 'side workers' sind, eignen sich Solitärbienen besser zur Bestäubung (7). Sie zeigen eine stärkere Präferenz für Luzerne, treten die Blüten besser und sammeln häufiger Pollen. Wo Blattschneiderbienen (*Megachile rotundata*), oder Schienenbienen (*Nomia melanderi*) als Bestäuber im Einsatz sind, ist die Samenproduktion stark gestiegen.

3. Feldbohne (*Vicia faba*)

Der Nektar der Feldbohnenblüte ist nur wenigen langrüsseligen Hummeln (*Bombus ruderatus*, *B. hortorum*, *B. pascuorum*) zugänglich, kurzzüsselige Arten wie *Bombus terrestris* und *Bombus lucorum* beißen seitlich Löcher in die Blüte, die übrigens auch von Honigbienen benutzt werden. Obwohl nur die 15% Pollensammlerinnen unter den Honigbienen bestäubend wirken, sind sie bislang die einzigen kommerziell eingesetzten Bestäuber in Bohnenfeldern (7).

4. Tomate (*Lycopersicon esculentum*)

Tomaten sind zwar selbstfertil, die Pollen müssen aber durch einen äusseren mechanischen Reiz abgeschüttelt werden. Hummeln beherrschen das Vibrationssammeln im Gegensatz zu den Honigbienen, die ausserdem oft aus Gewächshäusern fliehen, um anderweitig Nektar zu suchen.

Kultur	Anbauggebiet in der EG 1 000 ha	Produktion in der EG in 1000 t	Bienen- bestäubung (Mc Gregor, 1976)	beobachtete Bestäuber (Free, 1970)
Apfel	338.8	9321	+++	H B S
Birne	130.9	2631	+++	H B
Kirsche	85.9	546	+++	H
Aprikose	63.0	599	++	H
Mandel	785.5	347	+++	H
Zitrone	109.4	1547	o	H B S
Orange	303.5	5165	o	H B S
Himbeere	5.8	61	++	H B
Erdbeere	50.1	710	+++	H S
Johannisbeere	7.8	180	+++	H B
Weintraube	4124.7	24236	+	H S
Bohnen	775.0	1499	++	H B S
Kastanie	387.6	119	++	H
Rotklee	?	?	+++	H B S
Luzerne	?	?	+++	H B S
Baumwolle	391	1041	++	H B S
Melone	116.4	1654	+++	H
Gurke	21.9	1372	+++	H S
Kürbis	28.3	782	+++	H S
Olive	4238.8	5878	+	H
Pfeffer	49.2	1246	-	H B
Raps	1806	5214	+	H B S
Soya	533	1658	o	H S
Sonnenblume	2142	3908	++	H B S
Tomate	250.3	11235	+	H B S

Tab. 11. Kulturen, deren Samenansatz von der Bestäubung durch Bienen abhängt oder durch Bienenbestäubung verbessert wird (Corbet et al., 1991, verändert).

Bienenbestäubung: +++ sehr wichtig, ++ wichtig, + förderlich, - keine Angaben, o nicht förderlich

Bestäuber: H: Honigbiene, B: Hummel, S: Solitärbiene, ?: keine Daten
- : nicht angebaut

Während gewisse Kulturpflanzen ausschliesslich durch die Honigbiene bestäubt werden, eignen sich bei Rotklee, Luzerne, Feldbohne und Tomate Wildbienen besser.

4.2 Bedeutung der Bestäubung von Wildpflanzen

Nicht nur Kulturpflanzen, sondern auch die Mehrheit der Wildpflanzen sind auf Insektenbestäubung angewiesen. Ein Rückgang der Bestäuberinsekten durch Lebensraummangel und Pestizideinsatz führt zu einer Abnahme der Bildung von Samen und Früchten und letztlich zu einem Rückgang der Vielfalt an Wildpflanzen und den von ihnen abhängigen Tieren.

Da alle Aussagen über die Abhängigkeit einzelner Pflanzenarten von der Insektenbestäubung nur aufgrund von Experimenten gemacht werden können, sind verhältnismässig wenige Daten vorhanden. Besonders lückenhaft sind Erhebungen über Wildpflanzen (Corbet et al., 1991).

Diese Aussage bestätigt Drescher (1986):

„... Bisher haben wir besser analysierte Beispiele aus dem Kulturpflanzenbereich vorgestellt. Eine ähnliche Quantifizierung der Wirkung der Bienenbestäubung bei Wildpflanzen wird schwieriger. Hier möchte ich pauschal einige Baum- und Straucharten vorstellen, deren Früchte bzw. Samen für die Erhaltung von Vögeln und Säugtieren von erheblicher Bedeutung sind. Die Bedeutung dieser Futterpflanzen ist natürlich von Landschaft zu Landschaft unterschiedlich, und auch der Bestäubungsanteil unserer Honigbiene schwankt von Art zu Art.“

Bäume und Sträucher, die zum Frucht- (Samen-) Ansatz auf Insektenbestäubung angewiesen sind	
Brombeere	Schwarzdorn
Eberesche	Stieleiche
Faulbaum	Traubeneiche
Gemeiner Schneeball	Traubenkirsche
Heidelbeere	Weissdorn
Himbeere	Wildrosen
Preiselbeere	Heidelbeeren

Tab. 12. Nahrung für Vögel und Kleinsäuger (Drescher, 1986).
Eine Mehrheit der Wildpflanzen ist für die Bildung von Samen
und Früchten auf das Vorkommen von blütenbestäubenden
Insekten angewiesen.

Zahlreiche Wildpflanzen sind für ihre Fortpflanzung auf die Bestäubung durch Insekten angewiesen. Da sich Vögel und Kleinsäuger teilweise von Wildpflanzen ernähren, ist ihr Überleben von der erfolgreichen Bestäubung dieser Pflanzen abhängig. Ein vielfältiges Vorkommen von Blüten-bestäubern ist für die natürliche Vielfalt der Flora und Fauna unentbehrlich.

4.3 Abschätzung der Wichtigkeit der Bestäubung durch Insekten

4.3.1 Wichtigkeit der Insektenbestäubung

Etwa 80% der Blütenpflanzen sind insektenbestäubt (6). Der Honigbiene werden gesamthaft 85% (7), bei Obstblüten sogar 90% der Insektenbestäubung zugeschrieben (27). Um das Ausmass der Abhängigkeit einer Pflanze von Insekten und die Eignung der existierenden Bestäuber abzuschätzen, wurde die Samenbildung bei offener Bestäubung, Windbestäubung (Insekten wurden durch ein engmaschiges Netz fern gehalten) und Handbestäubung verglichen (7).

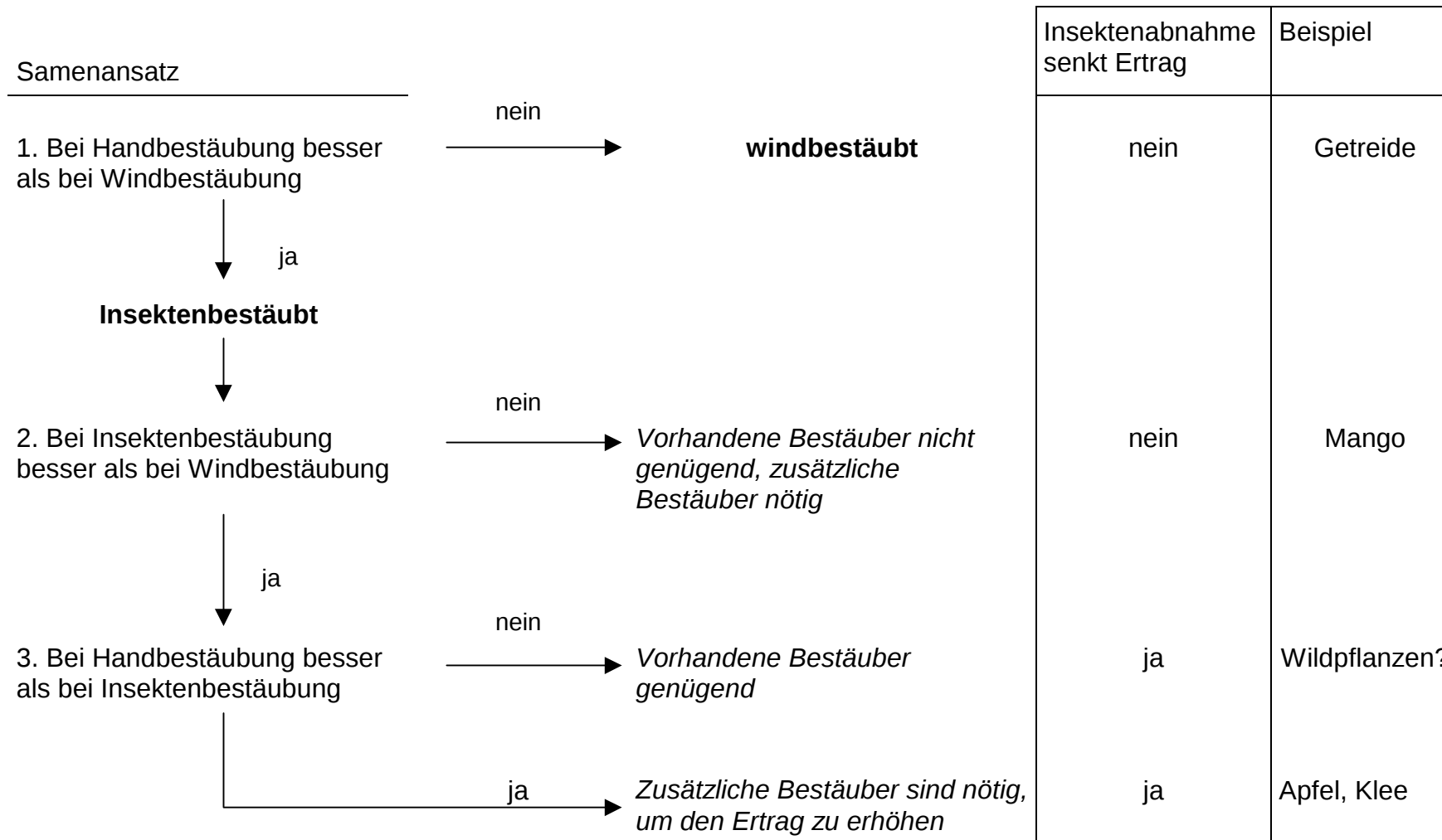


Abb. 34. Experimentelles Verfahren, um das Ausmass der Abhängigkeit von Insekten abzuschätzen
(aus Corbet et al., 1991)

4.3.2 Wichtigkeit einzelner Bestäuber

Welche Rolle unterschiedliche Bestäuber für eine Pflanzenart spielen, zeigen Vergleiche der Samenbildung bei offener Bestäubung, Windbestäubung (mit engmaschigem Netz), spezifischer Insektenbestäubung (mit Netz mit spezieller Maschenweite, welches nur eine Bestäuberart durchlässt) und Handbestäubung. Bei diesen Experimenten bleibt die Konkurrenzsituation unter den verschiedenen Bestäubern unberücksichtigt. Side worker müssen abgezogen werden, da sie nicht bestäubend wirken. Auf diese Weise kann die Wirksamkeit einzelner Bestäuber welche für verschiedene Kulturen in verschiedenen klimatischen Regionen abgeschätzt werden (6)

Samenansatz

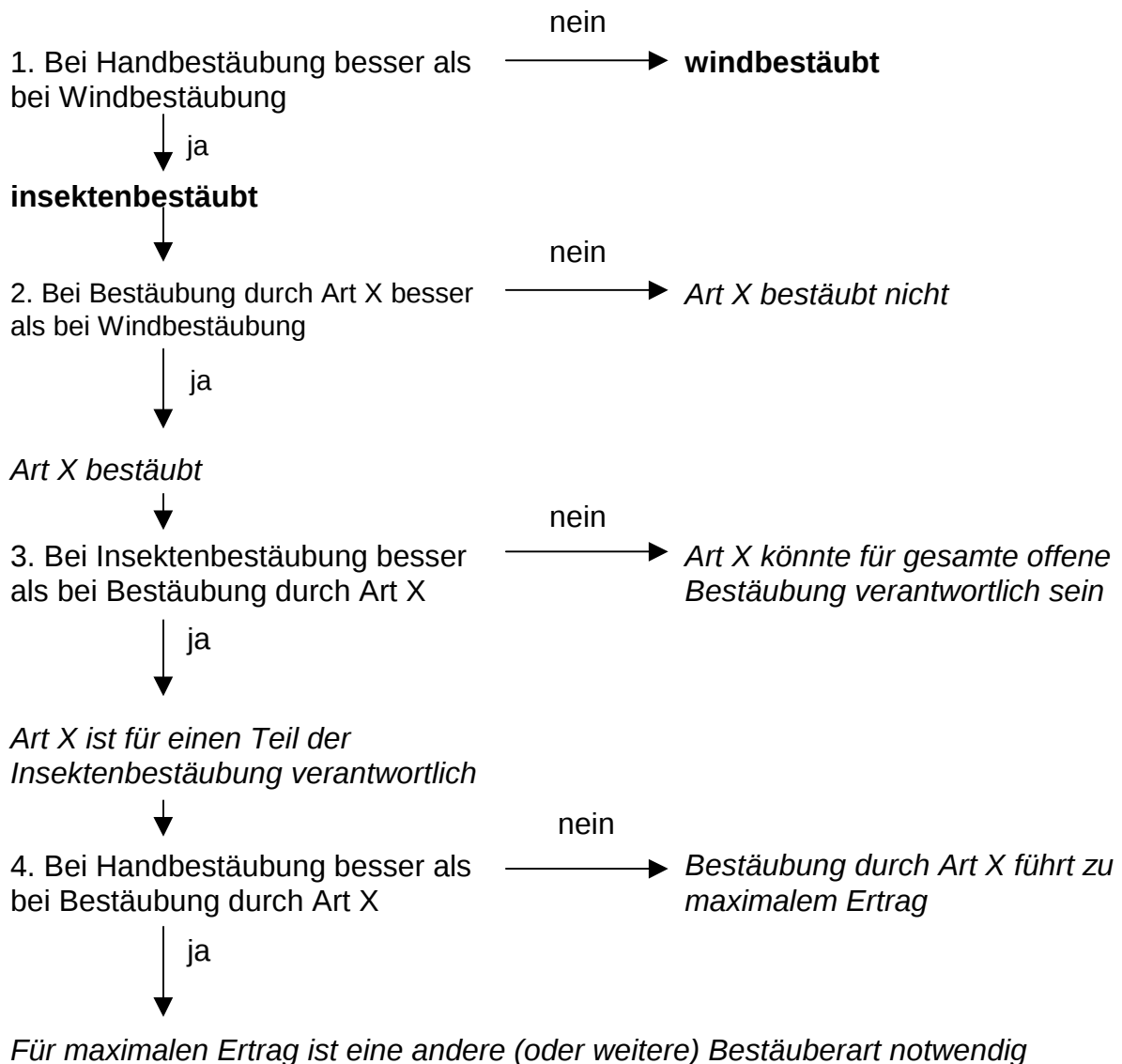


Abb. 35. Experimentelles Verfahren, um die Rolle einer spezifischen Insektenart X bei der Bestäubung einer Pflanzenart abzuschätzen (aus Corbet et al., 1991)

4.4 Einsatz von Bestäuberinsekten

1. Bestäuberdichte

Verschiedene Autoren geben bezüglich der Anzahl Bienenvölker, die pro Hektare in eine Apfelanlage gebracht werden sollen, sehr unterschiedliche Werte an:

- bis 0.2 Völker (Abteilung Bienenkunde, Freiburg, 1989)
- 0.6 bis 5 Völker (Corbet et al., 1991)
- 2 Völker (Mantinger, 1998)
- 2 bis 3 Völker (Kobel, 1942), nicht die Zahl, sondern die Leistungsfähigkeit der Völker sei wichtig.
- 2 oder mehr Völker (Crane & Walker, 1984)
- 2 bis 8 Völker (Bäschlin & Lehnherr, 1988)

Aufgrund weltweiter Erhebungen existieren für einige Kulturen offizielle Empfehlungen (Tab. 13).

2. Abstand und Ertrag

Je näher die Futterquelle beim Stock ist, desto mehr und stärker rekrutieren erfolgreiche Sammlerinnen neue. Daher verringert sich die Bestäubungsintensität mit zunehmender Entfernung vom Stock.

3. Verteilung der Völker in der Pflanzung

Es wird eine Verteilung der Völker in Vierergruppen empfohlen, dies ist praktischer als Einzeleinsatz und führt immer noch zu einer guten Verteilung der Bienen an den Bäumen (11).

4. Zeitpunkt des Einsatzes

Die Bienenvölker werden mit Vorteil nicht vor der Blüte, sondern wenn 10 bis 20% der Blüten geöffnet sind, eingesetzt, damit ein Anreiz besteht und die Insekten nicht zu attraktiveren Trachten wechseln (6).

5. Die Bestäubungsrate steigernde Massnahmen

- Zusatzfütterung: gefütterte Bienen bringen mehr Pollen ein als ungefütterte, da die Anzahl Pollensammlerinnen pro Volk höher ist. In Neuseeland sammelten gefütterte Bienen 7 bis 9 mal soviel Pollen wie ungefütterte (29).
- Abstreifen der Pollenhöschen mit Pollenfallen: mehr Sammelaktivität der Pollensammlerinnen (11).
- Duftdressur: bei dieser ursprünglich aus Russland stammenden Methode werden die Bienen nachts oder frühmorgens mit Zuckersirup gefüttert, der mit Blüten der betreffenden Trachtpflanze parfümiert wurde. Gute Erfolge sind bei Raps, Luzerne, Himbeeren und anderen Nutzpflanzen zu verzeichnen.
- Gegensätzliches wurde in Amerika erprobt: gesammelte, gefriergetrocknete pulverisierte Apfelpollen wurden mit Bärlappsporen gemischt und entweder per Flugzeug in die 1-Sorten Apfelanlage gebracht oder durch Bienen, die am Flugloch mit einer Vorrichtung mit dem Pollen eingepudert wurden (Büdel-Herold, 1960). Auch diese Methode führt zu einer guten Bestäubungsrate.

Kultur	empfohlene Anzahl Bienenvölker pro ha
Apfel	2 oder mehr
Birne	1 bis 5
Kirsche	2.5 bis 3
Mandel	5 bis 8
Schwarze Johannisbeere	6
Gurke	bis zu 10
Kürbis	2 bis 4
Luzerne	4 bis 8
Raps	2 bis 6
Sonnenblume	1 bis 4

Tab. 13. Empfohlene Bienenvölkerdichte für EG-Kulturpflanzen
(Crane & Walker, 1984)

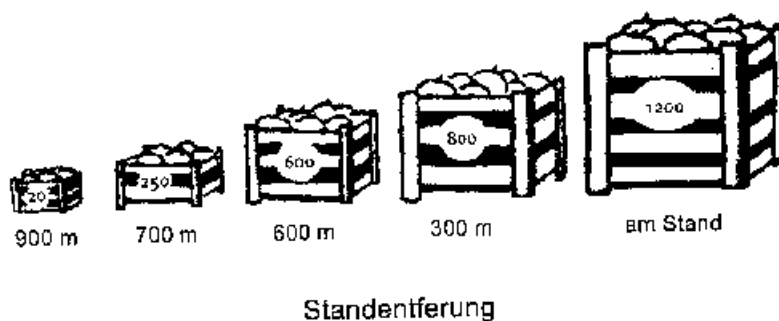


Abb. 36. Standentfernung und Ertrag (aus dem Südtiroler Imkerbund, 1997)

Für optimale Bestäubung sind folgende Faktoren beim Einsatz der Bestäuberinsekten wichtig: passende Dichte, geringer Abstand zur Kultur, Verteilung und Zeitpunkt. Durch Zusatzfütterung, Pollenfallen und Duftdressur kann die Bestäubungsrate erhöht werden.

4.5 Der ökonomische Wert der Honigbiene

Entwicklung des Bestäubungswertes, bezogen auf den Honigertrag

Kobel (1942) schätzt den Wert der Bestäubung auf den zehnfachen Wert des Honigs, neuere Schätzungen rechnen mit dem dreissigfachen Wert des Honigertrages (8). In den USA wurde der Bestäubungswert der Bienen Anfang des Jahrhunderts mit dem doppelten, 1933 mit dem fünffachen und 40 Jahre später dem 143-fachen Wert des Honigertrages angegeben, in Geldwert 18.9 Mia US\$ (31).

Bestäubungswert, berechnet nach Corbet et al. (1991)

1985 sind 9300 Millionen US\$ der Aktivität der Honigbiene zugeschrieben worden (37). Dies entspricht 31% des Erntewertes.

Der totale jährliche Marktwert der insektenbestäubten Kulturen in der EU wird auf 65'000 Millionen Ecu beziffert, die Insektenbestäubung trägt 5'000 Millionen Ecu (1/15 des Erntewertes) dazu bei, wovon 4'220 Millionen Ecu allein auf die Leistungen der Honigbiene entfallen (7) (85%).

Bestäubungswert eines Bienenvolkes

1931 war die Obstbestäubungsleistung eines Bienenvolkes knapp 300 Franken wert, heute sind es 1'156 Franken (berechnet nach Robinson et al., 1989). Während sich der Obsterntewert in den letzten 65 Jahren verdreifacht hat, ist die Bestäubungsleistung eines Bienenvolkes um das Vierfache gestiegen. Da der Bestäubungswert nur auf die Obsternte bezogen wurde, sind die Werte als bei weitem zu tief einzustufen. In einer europäischen Studie, welche verschiedenste Kulturen einbezieht, wird der Bestäubungswert eines Volkes mit 1590 DM angegeben (3).

Unterschätzung des ökonomischen Wertes der Honigbiene

Berechnungen des ökonomischen Wertes der Honigbiene sind sehr komplex und daher "mit Vorsicht zu geniessen" (3).

Aus folgenden Gründen werden sie tendenziell eher unterschätzt:

1. Ernteeinbussen durch unzureichenden Bienenbeflug (ob tatsächlich vermindertes Einkommen der Landwirte die Folge ist, hängt von der Reaktion der Nachfragemenge auf eine Preisänderung ab)
2. Qualitätssteigerung durch Bienenbeflug
3. Bessere Futter- und Wildpflanzenbestäubung durch Bienenbeflug

Landwirtschaftlicher Wert der Honigbiene

Honig ist in Deutschland mit 0.7% am Verkaufserlös der tierischen Erzeugnisse beteiligt, das macht die Biene zum viertwichtigsten Nutztier nach Rind, Schwein und Geflügel, ihre Bestäuberdienste noch nicht eingerechnet.

Schweiz	1931	1996
Anzahl Bienenvölker	300'000	250'000
Erntewert Honig	8 Mio Fr.	17 Mio Fr.
Erntewert Obst + Beeren	110 Mio Fr.	358 Mio Fr.
Bestäubungswert Obst + Beeren (ca. 85% des Erntewertes)	93.5 Mio Fr.	304 Mio Fr.
Wert der Bestäubungsleistung der Honigbiene (ca. 95% des Bestäubungswertes)	88.8 Mio Fr.	289 Mio Fr.
Bestäubungswert eines Bienen- volkes bezogen auf Obst + Beeren	296.- Fr.	1156.- Fr.
Volkswirtschaftlicher Wert eines Bienenvolkes (Honig und Bestäubung von Obst und Beeren)	322.70 Fr.	1224.- Fr.

Tab. 14. Wert der Honigernte und der Bestäubung (Obst und Beeren) der schweizer Bienen in den Jahren 1931 und 1996 (berechnet nach dem Ansatz von Robinson et al., 1989)

Tierische Erzeugnisse	Mio DM	Prozent
Rinder (Milch und Fleisch)	24'147	66.2
Schweine	8'193	22.4
Geflügel (Eier und Fleisch)	3'541	9.7
Bienen (Honig)	243	0.7
Schafe (Fleisch und Wolle)	196	0.5
Kaninchen	74	0.2
Pferde	61	0.2

Tab. 15. Landwirtschaftlicher Wert der Honigbiene in Deutschland 1994 (nach Bienefeld, 1996)

Der Bestäubungswert wird entweder als Vielfaches des Honigertrages (in der Schweiz zwischen dem 10 und 30-fachen) oder als Anteil am Ernte-wert der bestäubten Kultur angegeben. 85% der Insektenbestäubung, bei Obst sogar 95%, werden der Honigbiene zugeschrieben.

Bestäubungswert, berechnet nach Robinson et al. (1989)

Ein zweiter Ansatz, den Bestäubungswert von Insekten und denjenigen von Honigbienen zu erfassen, wird von Robinson et al. (1989) vorgeschlagen: für die zu beurteilende Kultur wird der Grad ihrer Abhängigkeit von der Insektenbestäubung (D) und der Anteil, den die Honigbiene an der Insektenbestäubung ausmacht (P), bestimmt. Aus dem jährlichen Marktwert der entsprechenden Kultur, multipliziert mit den beiden Abhängigkeitsfaktoren D und P ergibt sich der Marktwert, der der Honigbiene zugeschrieben werden kann.

Bestäuberwert der Honigbiene (nach Robinson et al., 1989)

$$V_{hb} = V \times D \times P$$

V_{hb} = jährlicher Marktwert der Ernte, der der Honigbiene zugeschrieben werden kann

V = Marktwert der Ernte des Jahres 1997 (Endproduktion)

D = Anteil des Ertrages, der der Insektenbestäubung zugeschrieben werden kann

$D = 1$; vollständig von Insektenbestäubung abhängig (McGregor, 1976)

P = Anteil der Honigbienenbestäubung an der gesamten Insektenbestäubung (McGregor, 1976)

Kultur	V 1997	D	P	V_{hb}
Äpfel	152.37	1	1	152.37
Birnen	46.49	0.7	0.9	29.39
Kirschen	32.94	0.9	0.9	26.68
Erdbeeren	41.68	0.4	0.8	13.34
Raps	82.68	1	0.9	74.41
Soja	10.02	0.1	0.5	0.50
Sonnenblumen	4.75	1	0.9	4.28
TOTAL	370.93			300.97
Ø pro Volk				1'204.- Fr.

Tab. 16. Jährlicher Marktwert der Ernte, der den Honigbienen in der Schweiz zugeschrieben werden kann (in Millionen Franken; unterste Zeile in Fr.)

Quelle V 1997: Sekretariat des Schweizerischen Bauernverbandes, Abteilung Statistik

5 AUSBLICK

Vergleicht man den **volkswirtschaftlichen Wert** der einzelnen Nutztierarten, so ist die Honigbiene heute in der Schweiz das **viertwichtigste Nutztier***, nach dem Rind, dem Schwein und dem Geflügel. Dies ergibt sich aufgrund des Wertes der verkäuflichen Produkte der Bienenvölker. Rechnet man noch den Wert der **Bestäubungsleistung** der Honigbienen bei Nutz- und Wildpflanzen dazu, steigt die volkswirtschaftliche Bedeutung der Bienenhaltung um ein Vielfaches an.

Ist die Bestäubungsleistung der Honigbienen auch in Zukunft wichtig?

Die meisten **Nutzpflanzensorten** unter den Leguminosen und Ölsaaten (Raps, Soja, Sonnenblumen) sowie beim Obst und den Beeren sind auf Insektenbestäubung angewiesen. Demgegenüber gibt es Bestrebungen von Saatgutfirmen, weitere **selbstfertile** Kultursorten zu selektionieren oder gentechnisch zu erzeugen und auf den Markt zu bringen. Sie können für die Bestäuberinsekten nachteilig sein, weil sie diese zwar anlocken, aber kaum Pollen und Nektar spenden. Es ist zu hoffen, dass der herrschende Trend zur Ökologisierung in der Landwirtschaft dieser Entwicklung Grenzen setzt. Bei der Insektenblütigkeit der **Wildpflanzen** wird sich kaum etwas ändern: Für die Bildung der Samen und Wildfrüchte und damit auch für die Erhaltung der Artenvielfalt bleiben die Bestäuberinsekten unentbehrlich.

Wird es in Zukunft noch genügend Bestäuberinsekten geben?

Die Antwort hängt auch hier von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von der Eignung unserer Landschaft für Bienen. Die Bemühungen für mehr **Ökologie** in der Landwirtschaft kommt den Lebensansprüchen der Bienen entgegen. Bei der Zulassung und Anwendung von **Pflanzenschutzmitteln** und von **genveränderten Kulturpflanzensorten** darf damit gerechnet werden, dass den Anliegen bezüglich **Nachhaltigkeit** und **Nützlichkeitschutz** weiterhin sehr hohe Priorität gegeben wird. Das bedeutet, insgesamt dürften sich die Angebote für Nahrung und Nistgelegenheiten im Landwirtschaftsgebiet eher verbessern als verschlechtern. Wie sich die Situation im Wald in Zukunft entwickeln wird, ist schwer voraussehbar. Es könnte sein, dass der sich verschlechternde Gesundheitszustand der Wälder negative Auswirkungen auf die Versorgung der Bestäuberinsekten hat. Die Aussichten auf **Nektartrachten** im Wald und im Landwirtschaftsgebiet wirken sich auf die Bienenhaltung aus: Imker werden allein über den **Verkaufserlös** der oft unregelmässig anfallenden Ernten entschädigt. Manche Jahre sind für die Imker Defizitjahre. **Bestäubungsprämien**, wie sie in manchen Ländern an die Imker bezahlt werden, sind in der Schweiz kaum bekannt.

Ob die Haltung der Honigbienen auch in Zukunft noch **flächendeckend** gewährleistet ist, ist unter diesen Bedingungen fraglich. Es könnten Zweifel aufkommen, wenn man bedenkt, dass die Bienenhaltung von einer durchschnittlich **älteren** Gruppe von Menschen erbracht wird. Zudem fehlt in der Schweiz immer noch eine offizielle Regelung für eine **Berufsausbildung** mit Anerkennung des Imkerhandwerks als Berufszweig. Eine solche könnte in Zukunft die Attraktivität der Bienenhaltung für junge Menschen steigern und das fachliche Niveau neu beleben.

* Dies gilt auch für Deutschland, siehe Seite 69

Kulturland:		Vegetationstyp	Wert als Bienenweide	Wert für Bienennester	Bedrohungen	Nutzen der Bienen
	intensiv bewirtschaftet	Getreide	0	-	Pestizide, Herbiziddrift	-
		Leguminosen	***	-	Intensivierung, Pestizideinsatz, Ersatz durch andere Kulturen	Verbesserter Samenansatz
		Ölsaaten	**	-		
		Obst	**	*		
		Kleemischung	*	*	Überweidung, zu frühe Mahd	-
		Kunstwiese	0	*		-
	extensiv bewirtschaftet	Ungedüngte Wiese	***	**	Intensivierung, zu frühe Mahd	Erhaltung der Diversität
		Hecken und Feldgehölze	**	***	Rodung, Pestiziddrift	
Natürliche Habitate:	Feuchtgebiete	Undrainierte Hoch- und Flachmoore	***	*	Drainage, Kultivierung, Verbuschung	Erhaltung der Diversität
	Wald	Nadelwald	*	*	Rodung, Pestizideinsatz	Erhaltung der Diversität
		Misch- und Laubwald	**	**	Rodung, Ersatz durch Fichten	
		Waldrand	***	***	Rodung, Beweidung, Pestiziddrift	

Tab. 17. Eignung der Landschaft für Bienen (nach Corbet et al., 1991)

Wert für Bienen: 0 keiner, - unbedeutend, * klein, ** mittel, *** gross

Literaturverzeichnis

- (1) Barth F.G. 1982: Biologie einer Begegnung. Die Partnerschaft der Insekten und Blumen. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.
- (2) Bäschlin R. & Lehnherr B. 1988: Die Biene als Bestäuberin von Obstblüten. Schweizerische Bienenzeitung 111 (11), 565 - 568.
- (3) Benz G. 1998: Wechselseitige Beziehungen zwischen Insekten und Pflanzen als Beispiele von Koevolution. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich.
- (4) Bienefeld K. 1996: Die Bedeutung der Bienenhaltung in Deutschland. Imkerfreund, Heft 9, 4 - 9.
- (5) Borneck R. & Merle B. 1989: Essai d'une evaluation de l'incidence economique de l'abeille pollinisatrice dans l'agriculture europeenne. Apiaca, XXIV, 33 - 38.
- (6) Buchmann S.L. & Nabhan G.P. 1996: The Forgotten Pollinators. Island Press / Shearwater Books, Washington D.C.
- (7) Corbet S.A., Williams I.H. & Osborne J.L. 1991: Bees and the population of crops and wild flowers in the European Community. Bee World 2/1991, 47 - 58.
- (8) Crane E. & Walker P. 1984: Pollination directory for world crops. IBRA, London.
- (9) Dörler A. 1992: Der Fleiss der Bienen wird auf über 1 Mrd Fr / Jahr geschätzt. Der biologische Land- und Gartenbau.
- (10) Drescher W. 1986: Biene und Imkerei, ihre Bedeutung für Ökologie und Ökonomie. Allgemeine deutsche Imkerzeitung 3/1986.
- (11) Ehrendorfer F. 1978: Spermatophyta; in Strasburger, Lehrbuch der Botanik, Fischer Verlag, Stuttgart.
- (12) Fafri P. & Hegg O. 1989: Ein Rundgang durch die Schauhäuser, Selbstverlag des Botanischen Gartens der Universität Bern.
- (13) Flugschrift Nr. 30, 1998: Befruchtung der Obstsorten. Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil.
- (14) Free J.B. 1962: The foraging behaviour of honeybees in relation to pollination. A lecture given to the Central Association of Bee-keepers, Rothamsted Experimental Station, Harpenden.
- (15) Free J.B. 1970: Insect pollination of crops. Academic Press Incorporation, London.
- (16) Hagen E. v 1986: Hummeln bestimmen, ansiedeln, vermehren, schützen. Neudamm Verlag.
- (17) Heimann C. 1995: Honigimport ersetzt Bestäubung nicht, Schweizerische Bienenzeitung 118 (2), 85 - 86.
- (18) Hodges D. 1952: The Pollen Loads of the Honeybee. The Bee Research Association, London.
- (19) Holm E. 1978: The biology of flowers. Penguin Books Ltd. England.
- (20) Hooper C.H. 1912: The pollination and setting of fruit blossoms and their insect visitors. Journal of the Royal Horticultural Society, 238 - 248.
- (21) Knoll F. 1956: Die Biologie der Blüte. Verständliche Wissenschaft Band 57, Springer Verlag, Berlin.
- (22) Knuth P. 1889: Handbuch der Blütenbiologie. Bd.I: Einleitung und Literatur. Verlag W. Engelmann, Leipzig.
- (23) Kobel F. 1926: Ursachen und Folgen der teilweisen Pollensterilität verschiedener Apfel- und Birnensorten. Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz 1926, 441 - 462.
- (24) Kobel F. 1942: Obstbau und Bienenzucht. Beiheft zur Schweizerischen Bienen-Zeitung, Heft 3, Band 1, 111 - 154.
- (25) Kugler H. 1955: Einführung in die Blütenökologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- (26) Leuenberger F. 1933: Die Volkswirtschaftliche Bedeutung der Bienenzucht. Schweizer landwirtschaftliche Monatshefte 1 / 6.

- (27) Mantinger H. 1998: Die Biene im Dienste des Obstbaues - volkswirtschaftlicher Nutzen. Vortrag am 80. Kongress deutschsprachiger Imker vom 14. bis 16. August, Luzern.
- (28) Maurizio A. 1960: Biene und Landwirtschaft; in Biene und Bienenzucht, Büdel A. & Herold E., Ehrenwirth Verlag, München.
- (29) McGregor S.E. 1976: Insect pollination of cultivated crop plants. Agricultural Handbook, US Department of Agriculture, No.46.
- (30) Mesquida J. & Renard M. 1981: Le Colza. Reproduction et pollinisation. Bulletin Technique Apicole 8 (4), 167 - 174.
- (31) Mesquida J. & Renard M. 1982: Le Colza. Reproduction et pollinisation (suite). Bulletin Technique Apicole 9 (1), 21 - 32.
- (32) Müller A. 1991: Wildbienen im Schaffhauser Randen. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen Nr. 43.
- (33) Müller A., Krebs A. & Amiet F. 1997: Bienen. Mitteleuropäische Gattungen, Lebensweise, Beobachtungen. Naturbuch Verlag, Augsburg.
- (34) Nowotnick K. 1992: Bienen und Raps. Die Biene 5/1992, 252 - 259.
- (35) Pechhacker H. 1990: Schweizerischer Bienenvater 1990, Heft 11, 401 - 403.
- (36) Pörnbacher H. 1990: Untersuchungen zur Bestäubung in Apfelanlagen. Auftragsarbeit des Assessorates für Land- und Forstwirtschaft der Provinz Bozen/Südtirol, Innsbruck.
- (37) Robinson W.S., Nowogrodski R. & Morse A. 1989: The value of honeybees as pollinators of u.S. crops. Part II. American Bee Journal 129, 477 - 487.
- (38) Ruttner F. 1992: Naturgeschichte der Honigbienen. Ehrenwirth Verlag, München.
- (39) Schley P. 1998: Stand der Gentechnik und mögliche Auswirkungen auf die Bienenhaltung. Allgemeine deutsche Imkerzeitung 4/1998.
- (40) Stone G.N. & Willmer P.G. 1989: Warm up and body temperatures in bees: the importance of body size, thermal regime and phylogeny. Journal of Experimental Biology 147, 303 - 328.
- (41) Teppner H. 1996: Bienen und Obstbaumbestäubung. Obst - Wein - Garten Nr. 5, 151 - 155.
- (42) Torchio P.F. 1990: Diversification of pollination strategies for U.S. crops. Environmental Entomology 19 (6): 1649 - 1656.
- (43) Westrich P. Die Wildbienen Baden-Württembergs. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 297 - 300.
- (44) Wille H. & Wille M. 1984: Die Pollenversorgung des Bienenvolkes: Die wichtigsten Pollenarten, bewertet nach ihrem Eiweissgehalt und ihrer Häufigkeit im Pollensammelgut. Schweizerische Bienen-Zeitung Nr. 7/84, 353 - 362.
- (45) Wille H., Imdorf A., Bühlmann G., Kilchenmann V. & Wille M. 1985: Beziehungen zwischen Polleneintrag, Brutaufzucht und mittlerer Lebenserwartung der Arbeiterinnen in Bienenvölkern (*Apis mellifica* L.). Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft 58, 205 - 214.
- (46) Zander E. 1936: Bienenkunde im Obstbau. Ulmer Verlag, Stuttgart.