



Lissy Jäkel
Susanne Rohrmann

Versuchs mal mit Pflanzen!

Botanik lernen und lehren





Versuchs mal mit Pflanzen!

Botanik lernen und lehren

Von
Lissy Jäkel
Susanne Rohrmann

2. korrigierte Auflage



Schneider Verlag Hohengehren GmbH

Titelbild:

Wassernuss *Trapa natans*

Bildautorinnen:

Die Zeichnungen einzelner Samen in der Tabelle im Kapitel 5 sowie die Zeichnung der Baumwollfaser im Kapitel 9 stammen von Frau Rohrmann. Alle übrigen Zeichnungen sowie die Farbfotos stammen von Lissy Jäkel.

Gedruckt auf umweltfreundlichem Papier (chlor- und säurefrei hergestellt).

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8340-2063-5 2. korrigiert Auflage

Schneider Verlag Hohengehren, Wilhelmstr. 13, 73666 Baltmannsweiler

Homepage: www.paedagogik.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis zu § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne vorherige schriftliche Einwilligung des Verlages öffentlich zugänglich gemacht werden. Dies gilt auch bei einer entsprechenden Nutzung für Unterrichtszwecke!

© Schneider Verlag Hohengehren, 73666 Baltmannsweiler 2020

Printed in Germany – Format Druck, Stuttgart

Vorwort

Die botanischen Kenntnisse der Kinder und Jugendlichen sowie der Schulabgänger sind ein sehr deutlicher Spiegel des unterrichtlichen Arrangements und Engagements der Biologielehrerinnen und -lehrer. Und sie sind bei lediglich pflichtgemäßer und fantasieloser Abarbeitung der Lehrplanvorgaben leider nachweislich schlecht. Nicht nur Naturschützer beklagen defizitäre Kenntnisse heimischer Organismen. Trotz einer nationalen und internationalen Strategie zur Erhaltung der Biodiversität ist der Rückgang von Arten nicht gestoppt.

Grund genug also, um sich der didaktischen Herausforderung zu stellen, interessanten und motivierenden Unterricht über Pflanzen zu gestalten. Schließlich gäbe es ohne Pflanzen kein tierisches Leben auf unserer Erdoberfläche, und auch jeder heute lebende Mensch wäre ohne die Produktion der Pflanzen verloren. Der Umgang mit Pflanzen ist Teil menschlicher Kultur.

Kompetenzentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht zielt auf die Kenntnis von Organismen, aber auch auf das Ordnen, Klassifizieren, Vergleichen und Systematisieren ab. Andererseits stellt die Kompetenzstufe des konzeptionell-funktionalen Verstehens auch deutlich anwendungsbezogene Qualitäten des Umgangs mit Organismen in den Erwartungshorizont. Einen Managementplan zum Erhalt bestimmter Organismen und Biotope aufzustellen erfordert wesentlich mehr als nur Ordnen, Klassifizieren und an Kriterien geleitetes Vergleichen, setzt dies aber als eine Vorbedingung voraus. Nur was man kennt, das schätzt man auch.

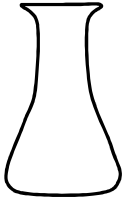
Vorliegendes Buch versucht, Lebensphänomene der Pflanzen in begründeter Reihenfolge zu beleuchten.

1. Wir beginnen in Kapitel 1 mit der Frage, ob die Keimung eines Samens mit einer Geburt vergleichbar ist. Damit wird der Entwicklung der Pflanzen besondere Aufmerksamkeit zuteil. Neben Quellung und Keimung verdienen hier die Keimblätter besonderes Augenmerk.
2. Auch Pflanzen haben Organe. Mit deren Entwicklung und Wachstum befasst sich Kapitel 2. Hier geht es um den grundlegenden Aufbau pflanzlicher Strukturen, um Zellen und Gewebe. Dabei wird auch beleuchtet, wie diese Strukturen funktionieren, um die Pflanzen mit Wasser und Mineralstoffen zu versorgen.
3. Ernähren sich Pflanzen ganz anders als Mensch und Tier? Der Trick der Pflanzen, aus Lichtenergie energiereiche organische Stoffe aufzubauen, um sich zu ernähren, steht im Zentrum pflanzlichen Lebens und zugleich im Mittelpunkt von Kapitel 3 unter dem Motto: Die Zuckermacher. Dabei spielen auch Eigenschaften der Wassermoleküle eine besondere Rolle, denn schließlich beginnt die Fotosynthese mit der Spaltung des Wassers. Schauplatz dieser energetischen und stofflichen Meisterleistung der Wasserspaltung und Kohlenstoffbindung ist das grüne Blatt. Welche

Schatzkästchen verbergen sich im Pflanzeninneren? Dieser Frage wendet sich Kapitel 3 auch unter besonderer Berücksichtigung sekundärer Pflanzenstoffe zu.

4. Dem Entwicklungsgedanken folgend, befasst sich Kapitel 4 mit der Sicherung des Fortbestehens von Arten oder Pflanzenpopulationen. Dabei spielen natürlich die sexuelle Fortpflanzung und der Blütenbau, aber auch die vegetativen Techniken eine Rolle.
5. Vorsorge für die nächste Generation bedeutet auch, den Nachkommen einen entsprechenden Nährstoffvorrat mit auf den Weg zu geben. Dieses Problem lösen Frühblüher etwas anders als Pflanzen anderer Lebensformen. In dem Kapitel 5 geht es auch darum, wie sich der Mensch die Inhaltsstoffe aus Samen und Früchten zunutze macht.
6. Alt und grau? Gibt es das auch bei Pflanzen? Wie schließen sich die Kreisläufe des Lebens? Für solche Betrachtungen ist der Wald ein geeigneter Schauplatz. Hier begegnen wir auch Pflanzen, die sich zwar sexuell, jedoch ohne Blüten fortpflanzen. Der Bogen wird gespannt zwischen Kompost und Küche, Käse und Kuchenflechte. Da Pilze in diesen Stoffkreisläufen eine besondere Rolle spielen, dürfen sie hier, auch wenn sie keine Pflanzen sind, ihren Platz einnehmen.
7. Nachdem die Vielschichtigkeit der Stoffkreisläufe und Organismen am Beispiel der Wälder vorgestellt wurde, kommen wir in Kapitel 7 noch einmal auf das Wasser zurück. Es dient als Auftakt für die Vorstellung weiterer Organismenarten mit besonderen Anpassungen sowie zur Ordnung der Vielfalt.
8. Kapitel 8 befasst sich mit der anscheinend so angestaubten, aber hochmodernen Systematik und der Gewinnung von Erkenntnissen über das versteckte Leben der Pflanzen.
9. Da Menschen trotz aller Biotechnik noch keine Fotosynthese leisten können, werden die Begehrlichkeiten der Menschen auf die Produkte von Pflanzen in Kapitel 9 an weiteren Beispielen erläutert. Dabei wird der menschliche Umgang mit diesen stillen Schätzen der Evolution durchaus kritisch reflektiert.

Besonders eindrucksvoll sind Bildungsangebote dann, wenn sie Handlungsanregungen bieten und zum Forschen anregen. Untersuchungen haben gezeigt, dass Pflanzen dann besonders interessant für Kinder sind, wenn sie gefährlich oder aber genießbar sind und wenn man mit ihnen etwas anstellen kann, wenn sie Überraschungen offenlegen. Das Springkraut wird von allen Kindern wertgeschätzt, die damit ganz wörtlich in Berührung kamen. Auch die Brennnessel merkt man sich. Machen wir die anscheinend harmlosen Pflanzen zu etwas „Merk - Würdigem“.



Versuchsangebote oder Experimente sind im Text durch einen Erlenmeyerkolben symbolisiert. Was man in der Fachdidaktik und der Naturwissenschaft unter einem Experiment versteht, erfährt man in Kapitel 3.

Beobachtungshinweise sind durch eine Lupe gekennzeichnet.



An manchen Stellen findet man exemplarisch fachliche Vertiefungen unter dem Stichwort Exkurs.

Eine positive Seite der Pflanzen ist, dass sie auch nach Jahren der intensiven Erkundung immer noch bisher Unbekanntes und subjektiv Neues offenbaren. Wir laden Sie ein, sich den Pflanzen zu nähern und dabei, Schritt für Schritt, eine Bereicherung durch Kennerschaft zu erleben.

Das Buch wendet sich an Studierende und Lehrende, die sich nicht gleich mit einem dicken Fachbuch wie dem „Strasburger“ (Kadereit u. a. 2014) an die für sie bisher wenig bekannte Botanik annähern wollen. Als Einsteigerbuch macht es hoffentlich Lust auf eine Beschäftigung mit unseren grünen Mitbürgern.

In dieser vorliegenden zweiten überarbeiteten Auflage wurden Fortschritte der botanischen Forschung berücksichtigt. Dies zeigt sich insbesondere in Kapiteln über die Einteilung von Pflanzen und Methoden systematischer Forschung, aber natürlich auch in der Literaturliste.

Heidelberg im Mai 2020

Lissy Jäkel und Susanne Rohrmann

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1. KLEIN ANFANGEN – KEIMUNG	11
BAU DES SAMENS AM BEISPIEL EINER EICHE	11
WARUM WIRD DER EICHELHÄHER ALS <i>LE PLANTEUR</i> BEZEICHNET, DAS EICHHÖRNCHEN ABER NICHT?	12
SALATFRÜCHTE MIT LICHTSENSOR	15
EXKURS: WIE KANN EIN MOLEKÜL LICHT „SEHEN“?	16
WAS GEHT DER REIHE NACH IN EINEM SAMENKORN VOR SICH?	17
QUELLUNG – REINE PHYSIK?	17
EINBAHNSTRASSE OHNE RÜCKWEG	18
MOBILISIERUNG VON RESERVESTOFFEN	19
WARUM KEIMEN TOMATENSAMEN NICHT IN DER TOMATE?	22
EXKURS: BINÄRE NOMENKLATUR	23
OHNE KEIMUNG KEIN BIER – BRAUMEISTER BRAUCHEN BIOLOGISCHES VERSTÄNDNIS	24
FASSEN WIR ZUSAMMEN	25
EXOTEN KEIMEN LASSEN	26
 KAPITEL 2. HOCH HINAUS – WACHSTUM BEI PFLANZEN, AUFBAU VON BIOMASSE UND STRUKTUREN	 32
LÄNGENWACHSTUM – DICKENWACHSTUM	32
MITOSESTADIEN IN ZELLEN DER ZWIEBELWURZELSPITZE	33
WAS BEDEUTET WACHSTUM?	34
DAS „STRICKMUSTER“ DER PFLANZENGEWEBE - PARENCHYM	34
GRENZEN NACH AUßEN - ABSCHLUSSGEWEBE	35
EXKURS: GEWEBEKULTUR	36
STABILITÄT UND LEICHTBAUWEISE - FESTIGUNGSGEWEBE	36
VERKEHRSWEGE IN PFLANZEN - LEITGEWEBE	38
TRACHEEN UND TRACHEIDEN – DIE WASSERROHRE DER PFLANZEN	38
SIEBRÖHREN – DIE ZUCKERLEITUNGSBAHNEN	40
OHNE WASSER KEINE PFLANZEN - WASSERHAUSHALT	40
EXKURS: DIPOL WASSER	41
MOBIL MIT WASSER – DIFFUSION OHNE GRENZEN?	43
OSMOSE – GEBREMSTE MOBILITÄT	44
„ZWIEBELSALAT“ - PLASMOLYSE	45
ORDNUNG DER VIELFALT - LEITBÜNDELTYPEN	45
ZUM STEIN ERWEICHEN - FEST VERWURZELT	48
„ZOLLKONTROLLE“ IN DER WURZEL	49
ALLORHIZIE UND HOMORHIZIE	49
WIE KOMMEN DIE WURZELN AN WASSER UND MINERALSALZE?	50
WURZELN KÖNNEN VERSCHIEDEN GESTALTET SEIN	50
BAU VON LUFTWURZELN	51
MÄRCHENHAFTE LEIBSPEISE DES HASEN – RÜBEN UND KNOLLEN	51
STELZEN ODER TAUCHERGLOCKEN – WURZELN BEI SUMPFPFLANZEN	52
HOCH HINAUS – DER SPROSS	52
BAU EINES TYPISCHEN SPROSSES	53
STOFFTRANSPORT IN SPROSSACHSEN	54
STYROPOR IM PFLANZENSTÄNGEL?	54
DORNRÖSCHEN ODER STACHELRÖSCHEN?	55
DER ANSCHEIN TRÜGT – METAMORPHOSEN VON SPROSSEN UND BLÄTTERN	56

PROBLEME DURCH ZUVIEL SONNE – NICHT NUR IM URLAUB	57
BLÜTEN UND FRÜCHTE AUF BLÄTTERN?	59
EXKURS: WIE KOMMT DAS WASSER IN DAS BLATT BZW. IN DIE NADEL?	59
WARUM WACHSEN BÄUME NICHT BIS IN DEN HIMMEL?	60
DIE TAUTROPFEN IM GRAS – AUS PFLANZLICHER PRODUKTION	60
EXKURS: WIRD DAS WASSER DURCH DRUCK ODER DURCH SOG ZU DEN BLÄTTERN TRANSPORTIERT? INDIZIEN ODER FAKTEN?	61
DAS BLATT – EIN PFLANZENORGAN ALS VORBILD FÜR KULTUR UND KUNST	62
BLÄTTER ALS VERDUNSTUNGSFLÄCHEN – HIER MÜNDEN DIE FERNTRANSPORTWEGE.....	63
WIE GELANGT DAS WASSER AUS DEM BLATT IN DIE ATMOSPHERE?	64
ÖKOLOGISCHE BLATTTYPEN.....	65
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	67

KAPITEL 3. GRÜNE BIOFABRIKEN – NÄHRSTOFFPRODUKTION IM BLATT UND NATURSTOFFSYNTHESE 68

DIE ZUCKERMACHER.....	68
DIE „KUNST“ DES ZUCKERMACHENS - PRIMÄRSTOFFWECHSEL FOTOSYNTHESE.....	69
WAS IST EIGENTLICH EIN EXPERIMENT?	71
TREPPEN STEIGEN IN DEN CHLOROPLASTEN?	73
KOHLE(NSTOFF) VERWANDELN IN ZUCKER.....	73
KREISVERKEHR ZUR KOHLENSTOFFFIXIERUNG - CALVINZYKLUS.....	74
WOZU BRAUCHEN PFLANZEN EIGENTLICH DÜNGER?	75
WIE KOMMEN DIE ASSIMILATE ZU DEN „BAUSTELLEN“ BZW. IN DIE „LAGERSTÄTTEN“ DER PFLANZEN?	77
EXKURS: DETAILS DES PHLOEMTRANSPORTS.....	78
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	80
SEKUNDÄRSTOFFWECHSEL – VIELFALT DER INHALTSSTOFFE	80
WER ENTHÄLT AM MEISTEN CAROTIN?.....	80
DROGEN – IMMER NUR GEFÄHRLICH?	82
AUCH NATURSTOFFE HABEN EINE „CHEMIE“	84
WIE BAUT MAN TERPENOIDE?	84
WORAN ERKENNT MAN PHENOLE?.....	85
KANN MAN VERWANDTSCHAFT SCHMECKEN?.....	90
VOM HOLZ ZUM DUFT - LIGNIN	92
TIERHÄUTE UND TINTE - GERBSTOFFE	94
UNENDLICHE VIELFALT SEKUNDÄRER PFLANZENSTOFFE.....	94
PFLANZLICHE MUNTERMACHER - ALKALOIDE.....	96
COFFEIN – DER LEISTUNGSFÄHIGSTE MUNTERMACHER	96
WIE KOMMT DIE ROTE FARBE IN DEN HAGEBUTTENTEE?.....	98
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	101
ZAUBER DER DRUIDEN	101

KAPITEL 4. SEXUALITÄT UND FORTPFLANZUNG..... 104

EIN PFLANZENORGAN AUS VIELEN BLÄTTERN – DIE BLÜTE	104
GELBE BLÜTEN – SCHARFER GESCHMACK.....	105
KOHLVERWANDTSCHAFT - KREUZBLÜTENGEWÄCHSE	107
ROSENGEWÄCHSE -ROMANTISCHE LIEBLINGSBLUMEN?	111
ZUNGENBRECHER ALS NAMEN UND EINE EINFACHE RECHNUNG – ZUR SYSTEMATIK DER ROSENGEWÄCHSE ...	113
GEMEINSAM IST MAN EFFEKTIVER – EINZELBLÜTEN ODER BLÜTENSTÄNDE	115
MIKROSKOPIE VON POLLEN.....	115

LIPPENBLÜTENGEWÄCHSE: ALLES NESSELN?	117
SCHMETTERLINGSBLÜTENGEWÄCHSE	119
DIE FEUERBOHNE – EINE GEEIGNETE ART FÜR UNTERSUCHUNGEN	124
DOPPELHOCHZEIT – WER IST DIE ZWEITE BRAUT?	124
WER HAT DAS „PATENT“? WURDE DIE FRUCHT DOPPELT ERFUNDEN?	127
GIBT ES AKAZIENHONIG?	128
SÜßE VERLOCKUNGEN IM DIENSTE DER BESTÄUBUNG	129
EINE UNSCHENNBARE BIENENTRACHT	132
JOHANNISBROT	134
KORBBLÜTENGEWÄCHSE	135
BLAUE SCHÖNHEIT AM WEGESRAND	136
SCHATZKAMMERN UNTER DER BLÜTENHÜLLE – VON UNTERSTÄNDIGEN FRUCHTKNOTEN, KAPSELN UND FALSCHEN UND ECHTEN NÜSSEN	138
VEGETATIVE FORTPFLANZUNG	140
KLONEN, FÜR VIELE PFLANZEN GANZ EINFACH	140
WELCHE FORMEN VEGETATIVER FORTPFLANZUNG GIBT ES?	141
VORTEILE DER VEGETATIVEN VERMEHRUNG FÜR PFLANZE UND MENSCH	147
KAPITEL 5. VORSORGE FÜR DIE NÄCHSTE GENERATION	149
FRÜHBLÜHER	149
LEBENSFORMEN DER PFLANZEN	154
SCHNELLER BLÜHEN ALS DIE BÄUME GRÜNEN – FRÜHBLÜHER	155
SAMEN UND FRÜCHTE ALS PROVIANZ	158
DIE ERFINDUNG DES ANKERS	158
FLUGHILFEN VON SAMEN ALS KLEIDUNG VON MENSCHEN	160
IST DIE MAULBEERE EIGENTLICH EINE FRUCHT?	161
SAMEN (UND FRÜCHTE) ALS GEWÜRZE	164
MÖHRENVERWANDTSCHAFT - DOLDENBLÜTLER	165
KLEINE NÄGELCHEN MIT DUFT - NELKEN	168
VIelfALT AUCH BEI SAMEN UND FRÜCHTEN	169
VERBREITUNG VON SAMEN UND FRÜCHTEN ÜBER SCHWIMMEN	172
VERBREITUNG ÜBER „KLEBSTOFFE“	172
VERBREITUNG ÜBER HAKEN UND ÖSEN (KLETTVERBREITUNG)	173
WINDVERBREITUNG UND SELBSTVERBREITUNG	173
FALSCHER FRÜCHTE – GALLEN	174
KAPITEL 6. DER EWIGE KREISLAUF – LEBEN, ALTERN UND TOD	175
LAUBFALL	175
WER SCHAUT DA AUF DEN KALENDER?	178
KREISLAUFWIRTSCHAFT IN DER LAUBSTREU	179
HUMUS – GOLD FÜR DEN BODEN	180
MANCHE MÖGEN ES HEIß!	181
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	181
GRÜNE ZWERGE – MOOSE	182
LEBERMOOSE UND LAUBMOOSE	182
VITALE FRISCHPRÄPARATE ZUM MIKROSKOPIEREN – GANZ OHNE SKALPELL	182
SEXUELLE FORTPFLANZUNG OHNE BLÜTEN	184
„SICHERE VERSCHLUSSSACHE“	187
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	188

LEBERMOOSE – MOOSE OHNE BLÄTTCHEN?	188
DOPPELWESEN MIT GENERATIONSWECHSEL - FARNE	190
ZINNKRAUT.....	192
SCHACHTELHALME SIND GEFÄßPFLANZEN	194
LYCOPODIUM	194
ECHTE UND FALSCH E FARNE	195
PALMFARNE.....	198
PROTHALLIEN WACHSEN LASSEN	200
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	201
GIBT ES EINEN GENERATIONSWECHSEL BEI SAMENPFLANZEN?	202
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	203
DER GINKGO – EIN LEBENDES FOSSIL	203
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	205
ZWISCHEN ALLEN STÜHLEN - EIN EIGENES REICH FÜR DIE PILZE?	205
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	207
VOM PFERDEMIST IN DIE KÜCHE	208
SCHLAUCHPILZE – PILZE ZUR BROTHEIT (BROT, CAMEMBERT UND BIER...)	208
SCHIMMELPILZE AUF LEBENSMITTELN – UNERWÜNSCHT ODER SEHR WILLKOMMEN?	210
BRAUCHEN STÄNDERPILZE IMMER EINEN HUT UND STIEL?	212
FASSEN WIR ZUSAMMEN (PILZE, SCHIMMELPILZE UND HEFEN):	213
WIRKLICH KEINE PFLANZEN: HETEROTROPHE LEBENSWEISE VON PILZEN	214
DIE EWIG LANGSAMEN.....	215
„EXTREMISTEN“ - BESONDERE EIGENSCHAFTEN VON FLECHTEN	216
WUCHSFORMEN UND BESTIMMUNG VON FLECHTEN.....	217
FLECHTEN GENAUER UNTER DIE LUPE NEHMEN	217
VON LACKMUSPAPIER BIS ZUM PARFUM - FLECHTENINHALTSSTOFFE	218
HOLZ – NATURPRODUKT UND KULTUROBJEKT	218
HOCH HINAUS MIT HOLZ	219
BAST	221
LIGNIN SICHTBAR MACHEN - PRÄPARATION VON HOLZ	222
HOLZ WACHSEN LASSEN - NACKTSAMER WELTHEIT	223
ERKENNTNISSE AM KIEFERNREGAL - NADELHOLZ	226
KOSTBARE UND GELUNGENE SCHNITTE AUFBEWAHREN – DAUERPRÄPARATE HERSTELLEN.....	227
VOM HOLZ ZUM WALD - WALDGESELLSCHAFTEN IN MITTELEUROPA	227

KAPITEL 7. AUS DEM WASSER – AN DAS WASSER?..... 231

SPUREN ERSTEN LEBENS ODER TOTOER STEIN - STROMATOLITHEN?	231
ALGEN	231
TELOMTHEORIE – DER WEG AUS DEM WASSER.....	236
„FALSCH E „GRÄSER“	237
BLÜTENPFLANZEN AM WASSER - SCHILF UND SÜBGRÄSER.....	239
BEKANNTLICH GIBT ES SÜBGRÄSER. GIBT ES EIGENTLICH AUCH SALZGRÄSER?	241
MIT DEN WURZELN IM WASSER	243
EINIGE PFLANZEN DER SEEUFER UND MOORE	245
BEDECKTSAMIGE BLÜTENPFLANZEN	247
LECKERER EXOT MIT PROMINENTEN VERWANDTEN EDLER ABSTAMMUNG	247
EINTEILUNG BEDECKTSAMIGER BLÜTENPFLANZEN	249
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	250
ERFOLGREICHE BETRÜGER - ORCHIDEEN	251

BIODIVERSITÄT UND SYSTEMATIK	252
STRUKTURELLE SYSTEMATIK	255
FAMILIENGESCHICHTEN – DIE RACHENBLÜTLER AUF DEM PRÜFSTAND	256
BIODIVERSITÄT, EIN SCHLÜSSELBEGRIFF MODERNER BIOLOGISCHER FORSCHUNG	257
WIE SIND BIOLOGISCHE ARTEN ÜBER DIE WELT VERTEILT?	258
KAPITEL 8. ENTWICKLUNG DER PFLANZENKENNTNIS	260
FLORA – EIN SYMBOL FÜR EINE REICHE VIelfALT VON PFLANZEN	260
FLORENÄUMLICHE GLIEDERUNG DER ERDE	261
VEGETATION UND KLIMA.....	262
URLAUBSBLÜTEN UND PALMENTRÄUME	264
ÄHNLICH, ABER NICHT GLEICH - HÜLSENFRÜCHTLER	265
KLEINER EXKURS - WAS IST EIGENTLICH MANNA?	266
GESCHICHTE DER PFLANZENKENNTNIS.....	267
SYSTEMATIK – EINE „ANGESTAUBTE“ WISSENSCHAFT?	270
WAS BEDEUTET EIGENTLICH DAS WORT TAXONOMIE?	270
WIE KANN MAN MIT MODERNEN METHODEN ZUR SYSTEMATIK FORSCHEN?	271
DIE CHEMIE DER PFLANZEN VERRÄT IHRE VERWANDTSCHAFT:	273
PHYTOCHEMIE, CHEMOTAXONOMIE	273
FASSEN WIR ZUSAMMEN:	273
MODERNE BOTANISCHE FORSCHUNG - GRÜNE BIOTECHNOLOGIE	274
ZÜCHTUNG – EINE JAHRHUNDERTALTE KUNST.....	275
EINE HOCHSEEINSEL UND DIE GESCHICHTE DES GEMÜSEKOHLS	278
KAPITEL 9. NUTZUNG VON PFLANZEN, PFLANZENBAU UND WIRTSCHAFT.....	280
VON FASERN UND HAAREN - BIOLOGISCHE MATERIALKUNDE.....	280
STABILITÄT IN LEBEWESEN DURCH VERSCHIEDENE MATERIALIEN.....	282
WAS SIND NUN EIGENTLICH FASERN?.....	283
WEDER BAUM NOCH WOLLE – BAUMWOLLE	284
HASPELN UND SPINNEN – LEINFASERN	285
SEIDE - TIERISCHE FASER AUF PFLANZLICHER BASIS.....	286
EDLES GELB	287
STÄRKEPFLANZEN.....	288
EXOTENGARTEN AUS DEM SUPERMARKT	291
FRÜCHTE, AN DENEN MAN SICH DIE ZÄHNE AUSBEIßT	291
PFLANZENANBAU - KONVENTIONELL ODER ÖKOLOGISCH PRODUZIEREN?	293
DÜNGUNG – MINERALISCH ODER ORGANISCH?	294
ÜBERFALL MIT POSITIVEN FOLGEN – SYMBIOSEN MIT STICKSTOFFBINDUNG	295
KRAPP, KAFFE UND WALDMEISTER – RÖTEGEWÄCHSE	298
NICHT ALLE PFLANZEN MIT TIEREN IM NAMEN DIENEN ALS VIEHFUTTER	300
STICHWORTVERZEICHNIS	301
LITERATUR.....	317

Kapitel 1. Klein anfangen – Keimung

?

Warum keimen die Samen nicht in der Tomate oder im Apfel?
Was hat der Vorgang der Keimung mit der Bierbrauerei zu tun?
Wie keimen Bäume, z. B. die Eiche? Hat die Eiche Keimblätter?
Was essen wir, wenn wir Bohnensamen oder Erdnüsse essen?
Wie viel wiegen die größten Samen? 6 g, 20 g oder 60 g?
Wie wenig wiegen die kleinsten Samen? 10 mg, 10 ng, 1 ng?
Kartoffelknollen keimen nicht, sie treiben aus – warum eigentlich?

Jahrelang können Samen von Pflanzen im Samentütchen lagern, ohne dass sie anfangen zu keimen. Auch im Boden liegen Samenvorräte, die offenbar genau „wissen“, wann es losgehen kann mit der Keimung. Welche Voraussetzungen und Bedingungen müssen also gegeben sein, damit dieser Prozess anläuft, der aus einem Samenkorn mit einer Masse von weniger als 1 g zunächst ein Keimpflänzchen und schließlich einen ganzen Baum wachsen lässt?

Bau des Samens am Beispiel einer Eiche

Vielleicht lässt sich die Keimung mit einer Geburt vergleichen.

Auch Bäume wie die Stieleiche, die eine Höhe bis über 40 m erreichen können, haben klein angefangen. Die Samen der Eiche gehören allerdings mit etwa 3 g Gewicht schon zu den größeren Samen.

Nehmen wir zunächst eine Eichel auseinander. Am Baum sitzt die Eichel in einem halbkugeligen Fruchtkbecher, der aus der Blütenstandsachse hervorgegangen ist. Ein bis drei solcher Fruchtkbecher sind an einem Stiel zu einem Fruchtstand zusammengefasst. Die Eichel selbst ist eine einsamige Nuss. Ihre Fruchtwand ist trocken, im Inneren befindet sich ein Same („trockene, einsamige Schließfrucht“). Diesen Samen nehmen wir nun genauer unter die Lupe – aus welchen Teilen besteht er eigentlich?

Wenn man die Fruchtwand entfernt hat, stellt man fest, dass der Same aus zwei auffallenden Hälften besteht. Klappt man diese Hälften auseinander, so findet man an einem Ende ein kleines Gebilde. Der Blick mit der Lupe zeigt, dass es sich um den Embryo handelt, bei dem man die Keimwurzel und auch die winzigen Blattanlagen mit ihren Blattadern erkennen kann. Aber wo verstecken sich nun die Keimblätter?

Sie machen einen Großteil des Samens der Eiche aus, denn sie sind prall gefüllt mit Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten und dienen dem Embryo als Vorratskammern. Damit kann er zunächst das Wachstum starten.

Vergleichen Sie die Eichel mit einem einige Wochen alten Keimpflänzchen der Eiche. An welcher Stelle finden Sie die beiden bohnenartigen Hälften des Samens wieder und wie sehen sie jetzt aus?

Oberirdisch ist meist nichts davon zu sehen. Wenn man den Keimling vorsichtig ausgräbt, dann findet man die Reste der beiden Keimblätter der Jung-Eiche noch im Boden vor.

Wie der Embryo sich in seinen Vorratskammern bedient, soll weiter unten noch genau geklärt werden. Wenn die ersten Laubblätter, die Primärblätter entfaltet und ergrünt sind, übernehmen sie die Versorgung des Pflänzchens mit Kohlenhydraten, die sie dann mit dem Prozess der Fotosynthese aus Kohlenstoffdioxid, Wasser und Sonnenlicht selbst herstellen.

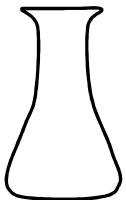
Die Zahl der Keimblätter ist übrigens ein systematisches Merkmal. Bei den Angiospermen (den Bedecktsamern) gibt es entweder *ein* Keimblatt oder *zwei* Keimblätter. Das hat zur Einteilung in Mono- und Dicotyledonen, also Ein- und Zweikeimblättrige Pflanzen geführt. Heute unterteilt man die Zweikeimblättrigen Pflanzen in zwei Untergruppen und bedient sich dabei zusätzlicher genetischer Merkmale: es gibt basale und echte Zweikeimblättrige (Heinisch & Paululat 2016), siehe auch Kapitel 7.

Bei den Nacktsamern (Gymnospermen), zu denen die Nadelbäume gehören, variiert die Zahl der Keimblätter zwischen 2 und 18.

Die Abbildung zeigt den Keimling einer Fichte.



Warum wird der Eichelhäher als *le planteur* bezeichnet, das Eichhörnchen aber nicht?



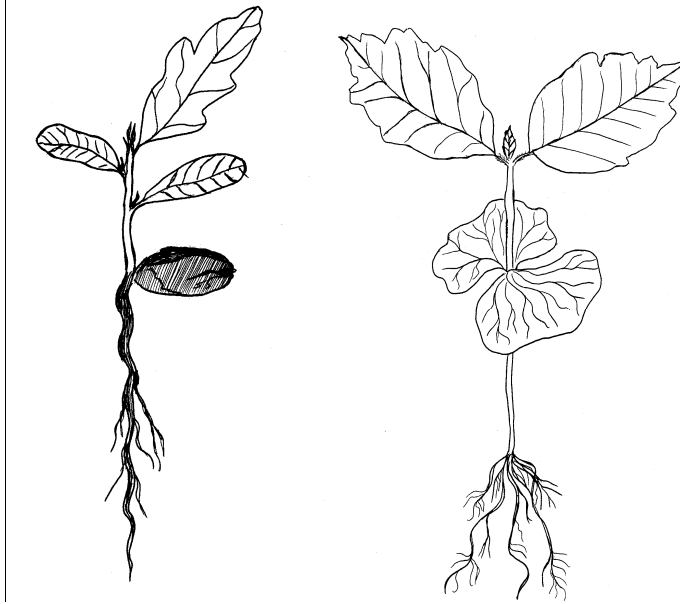
Ritzt man die Eichen-Keimblätter an und träufelt einen Tropfen Iodkaliumiodidlösung darauf, färbt sich der helle Inhalt der Keimblätter mit dem Reagens dunkellila. Dies ist ein Nachweis des Reservestoffs Stärke. Es handelt sich also um Speicher-Keimblätter (Cotyledonen).

Die Eichenfrüchte mit ihren nahrhaften Keimblättern haben den Menschen allerdings nur in extremen Notzeiten als Nahrung gedient, denn sie enthalten Bitterstoffe (Tannine). Dagegen spielten sie in der Haltung von Schweinen eine wichtige Rolle vom Mittelalter bis in die Neuzeit. Hausschweine wurden in der so genannten Waldweide auch mit Baumfrüchten gemästet. Die Waldweide zeigte nach Jahrzehnten unbeabsichtigte Folgen, denn die natürliche Verjüngung des Waldes geriet in Gefahr, der Wald vergreiste und wurde lichter. Ab dem 17. Jahrhundert nahm die Waldweide ab. Sie wurde in Baden mit der Einführung des „Badischen Forstgesetzes“ im Jahre 1833 endgültig verboten, ist in Bergregionen der Alpen oder in Spanien aber teilweise immer noch üblich.

Die Eiche ist eine Pflanze aus der Familie der Rotbuchengewächse (die Familie ist benannt nach der Rotbuche *Fagus sylvatica*). Während der Eichelhäher

Keimblattreste der jungen Eichenpflanzen (linke Abbildung) abzapfen kann, ohne das weitere Wachstum der Bäume zu gefährden, sind von Eichhörnchen verbissene Eicheln meist nicht mehr keimfähig. Eichhörnchen legen Vorräte von Eicheln für ihre Winterruhe an. Die Keimblätter der Rotbuche sind ebenfalls für viele Tiere nahrhaft.

Keimen jedoch die Bucheckern, entfalten sich diese Keimblätter und werden zu beachtlich großen Blättern (rechte Abbildung). Sie sind oberseits sattgrün und unterseits weißlich und erinnern in der Form in keiner Weise an die für Rotbuchen typischen Folgeblätter.



Oftmals sind es überwiegend Keimblätter, die wir als kohlenhydrat-, fett- oder proteinreiche Nahrung zu uns nehmen. Das trifft nicht nur für Früchte und Samen von Bäumen zu.



Untersuchen Sie, ob die folgenden Pflanzen Speicher-Keimblätter besitzen: Erbse, Feuerbohne, Linse, Kaffee, Weizen, Mais, Apfel.

Kommen wir nun zu den Außenfaktoren und Umweltbedingungen, die Keimungsvorgänge beeinflussen können.

- dass bereits in der Antike das Phänomen der Sprengwirkung von quellenden Samen genutzt wurde, um Steine zu brechen. Wenn die alten Ägypter große Felsbrocken teilen wollten, bohrten sie Löcher in den Stein und drückten Erbsen oder trockene Holzstückchen hinein. Danach brachten sie die Samen bzw. das Holz zum Quellen, indem sie Wasser über die Steinblöcke gossen. Durch den entstehenden Druck wurden die Felsen in kleinere Steine zerlegt.
- dass man diese Sprengwirkung quellender Erbsen und Bohnen auch mit Gips ausprobieren kann. Versenkt man in frisch angerührtem Gips einige Samen und lässt den Gips erhärten, scheinen die Samen keine Chance mehr zu haben. Nach wenigen Tagen jedoch wird durch die Quellung der Samen im angefeuchteten Gipsblock ein solcher Druck entwickelt, dass der Gipsblock aufbricht und die Pflanzen ans Licht wachsen können.

Der wichtigste Außenfaktor für die Keimung ist sicher das Vorhandensein von genügend Feuchtigkeit. Trockene Samen keimen nicht, und so verwundert es nicht, dass die Samen den geringsten Wassergehalt aller Pflanzenteile haben (ausgereifte Bohnensamen: ca. 10% Wassergehalt).

Wassergehalte von Pflanzenteilen (nach Sitte u. a. 2002, S. 240 bzw. Kadereit u. a. 2014, S. 340):

Pflanze	Wassergehalt (% Frischgewicht)
Kopfsalat (Blätter)	94,8
Tomate (Frucht)	94,1
Apfel (Fruchtfleisch)	84
Kartoffel (Sprossknolle)	78
Holz (frisch)	ca. 50
Bohnen (Samen)	10

Zusätzlich modifizieren oft Faktoren wie Licht und Temperatur die Keimung. So keimen Klatschmohnsamen im Boden erst dann, wenn ein Lichtreiz zeigt, dass die Bodenoberfläche „gestört“ wurde und Platz für die Pflanze sein wird. Deshalb überziehen sich frisch aufgerissene Straßenböschungen innerhalb kurzer Zeit wie von Zauberhand mit leuchtendem Mohn. Viele Pflanzen zeigen auch das Phänomen einer Keimruhe (Dormanz von lateinisch: dormire, schlafen). Diese wird z. B. gebrochen, wenn auf eine kalte Phase (Winter) eine Temperaturerhöhung folgt und damit das Frühjahr als günstige Jahreszeit

gekommen ist. Man kann die Jahreszeiten auch überlisten und die Keimruhe von Samen dadurch brechen, dass man die sie einige Zeit in die Tiefkühltruhe legt und sie dann zur Aussaat wieder hervorholt.

Sauerstoff ist für die Keimung wichtig. Wenn man z. B. Erbsen vor der Aussaat quellen lässt, um die Keimung zu beschleunigen, dann dürfen die Erbsen nicht „unter Wasser“ verbleiben. Wenn der Sauerstoff fehlt, dann können die Zucker aus den Reservestoffen der Erbse nicht im Citratzyklus und der Atmungskette zur Energiegewinnung genutzt werden – der Keimling „verhungert“ sozusagen!

Auch Licht ist bei etlichen Pflanzen ein wichtiger Faktor für die Keimung. Es kann sich fördernd oder hemmend auf die Keimung auswirken. Bei manchen Pflanzen spielt auch die Dauer der Lichteinwirkung, also die Tageslänge eine Rolle.

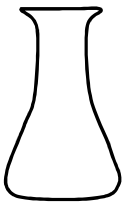
Salatfrüchte mit Lichtsensor

Wenn Sie die Empfehlungen zur Aussaat auf den Samentütchen von Kopfsalat, Tagetes (Studentenblume) und Kürbis vergleichen, so werden Sie feststellen, dass man die beiden erstgenannten Pflanzensamen bei der Aussaat nicht mit Erde bedecken soll, der Kürbiskern jedoch zentimetertief in die Erde gesteckt werden sollte. Man unterscheidet Licht und Dunkelkeimer.

Kopfsalat und Tagetes sind (wie Mistel, Tabak, Blutweiderich, Baumwolle, Salat, Kiwi u. v. a.) Lichtkeimer. Ihre Samen müssen im *gequollenen* Zustand Licht erhalten. Dabei ist die Wellenlänge des Lichts nicht beliebig, denn nur hellrotes Licht (Wellenlänge etwa 660 nm) führt zur gewünschten Keimung.

Den Versuch, der 1952 zur Entdeckung des Lichtsensors im Salat geführt hat, kann man heute noch nachvollziehen:

Man braucht Achänen der Kopfsalat-Sorte „Grand Rapids“. Der Begriff „Achäne“ ist der Fachausdruck für die Früchte der Korbblütler, zu denen Kopfsalat gehört. Achänen sind dadurch gekennzeichnet, dass Fruchtwand und Samenschale eng miteinander verbunden oder verwachsen sind, so dass die zarten länglichen Gebilde aus der Samentüte genau genommen Früchte sind.



Die Salat - Achänen werden zwei Stunden im Dunklen gequollen. Dann belichtet man mit monochromatischem Licht, also Licht einer bestimmten Wellenlänge, hier der Wellenlänge 660 nm. Dieses Licht ist hellrot. Nur fünf Minuten „Hellrot-Bestrahlung“ führen zu einer Keimrate von 90% der Salat - Achänen. Wenn man nach fünf Minuten Hellrot anschließend fünf Minuten lang dunkelrotes Licht verabreicht (730 nm), dann keimen nur noch 10% der Salat - Achänen. Der Hellrot-Effekt wird vollständig aufgehoben, denn auch bei den Kontroll – Salat - Achänen, die nach dem Quellen in der Dunkelheit stehen gelassen wurden, keimen etwa 10%. Man kann nun mit der abwechselnden Belichtung etwas herumspielen

und wird dabei feststellen, dass sich die Salat - Achänen offenbar die jeweils letzte Wellenlänge „merken“ und dann entsprechend keimen oder auch nicht.

Aus diesen Beobachtungen kann man ableiten, dass es ein Sensorpigment gibt, welches je nach Belichtung in zwei verschiedenen Formen vorliegt. Man nennt diese Formen P_{660} und P_{730} . Wenn im gequollenen Samen überwiegend P_{660} vorhanden ist, kommt es nicht zur Keimung. Erst wenn mit Hilfe von hellrotem Licht P_{660} in P_{730} übergeführt wird, beginnt die Keimung. Der Buchstabe P bezieht sich auf den Begriff „Phytochrom“. Phytochrom A ist das Keimlingsphytochrom und absorbiert Licht im roten Bereich. Andere Sensorpigmente reagieren z. B. auf UV-Licht (ein Flavoprotein, das die Blütenbildung beeinflusst) oder Blaulicht (das so genannte Phototropin (oder moderner *Fototropin*), das Fototropismus bewirkt, also die Hinwendung von Pflanzen zum Licht).

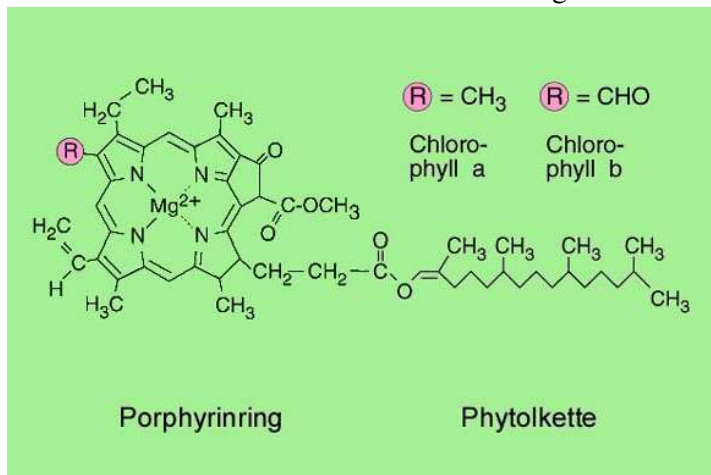
Exkurs: Wie kann ein Molekül Licht „sehen“?

Was für ein Molekül ist eigentlich Phytochrom? Da es Licht bestimmter Wellenlängen absorbiert, liegt die Vermutung nahe, dass es in dem Molekül ausgedehnte Bereiche mit konjugierten Doppelbindungen geben muss.

Inzwischen hat man das Phytochrom isoliert. Die Lösung des Pigments (blau) zeigt eine deutlich sichtbare Farbänderung je nach Belichtung. Einen ähnlichen Effekt kennt man von sauerstoffreichem (hellrot) und sauerstoffarmem (dunkelrot) Blut. Und wie das Hämoglobin-Molekül besteht auch das Phytochrom aus einem Teil, der für die Lichtabsorption zuständig ist (Chromophor, griechisch: Farbträger), und einem Proteinanteil. Das Chromophor ist ein Tetrapyrrol-Derivat (ein Ring aus 4 Untereinheiten), ganz ähnlich wie bei Hämoglobin und Chlorophyll (vgl. Abbildung Chlorophyll a, b). Im Unterschied zu diesen beiden Farbstoffen ist das Ringsystem nicht geschlossen und es gibt kein Metall - Kation als Zentralatom (vergleiche Hämoglobin und Eisen, Chlorophyll und Magnesium). Wenn man das Phytochrom P_{660} , bei dem der vierte Pyrrolring zum ersten Ring zeigt, mit hellrotem Licht bestrahlt, so klappt der vierte Ring einfach vom ersten Ring weg, das Ringsystem öffnet sich. Das Ringsystem selbst verfügt über eine große Zahl konjugierter Doppelbindungen (zählen Sie selbst!); in der geöffneten Form absorbiert es nun Licht der Wellenlänge 730 nm am stärksten. Heute sind die

Forschungen noch damit beschäftigt, zu klären, mit welchem Mechanismus das „Umklappen“ des vierten Pyrrolrings (es handelt sich um eine cis-trans-Isomerisierung) vor sich geht.

Wie wirkt Phytochrom eigentlich? Aktiviert es Enzyme, schaltet es bestimmte Gene an oder aus?



Erste Hinweise erhielt man, als man bald nach der Entdeckung des Phytochroms herausfand, dass die Belichtung mit hellrotem Licht ersetzt werden kann durch die Zugabe eines Phytohormons, der Gibberellinsäure GA3. Erst 1998 konnte man dann zeigen, dass tatsächlich die Bildung des Pflanzenhormons Gibberellin im Samenkorn durch die Hellrot-Bestrahlung angeregt wird.

Damit ist die erste Frage geklärt: Das Phytochrom P_{730} fördert also die Biosynthese eines Phytohormons, welches dann als second messenger (als stellvertretender Bote) die Keimung auslöst.

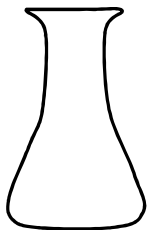
Wie nun aber P_{730} die Bildung des Gibberellins auslöst oder fördert, ist ebenfalls ein interessanter Gegenstand der Forschung. Details zur Wirkung von Phytohormonen findet man bei Heldt & Piechulla, 2015.

Wir haben es hier mit einem der vielen Beispiele zu tun, bei denen wir von einem Alltagsphänomen, einem Hausfrauen- oder Gärtnertipp ausgehen (die Früchte und Samen mancher Salatsorten und Blumen darf man nicht mit Erde bedecken, sonst keimen sie nicht) und nach eingehender Recherche an der vorderen Linie der aktuellen botanischen Forschung landen!

Was geht der Reihe nach in einem Samenkorn vor sich?

Die Vielfalt der Hülsenfrüchte im Supermarkt bietet nicht nur kulinarische Genüsse, sondern ist auch unter biologischen Aspekten spannend. Dabei stellt sich zuerst die Frage, was denn da eigentlich als „Erbse“, „Bohne“ oder „Linse“ abgepackt ist. Es handelt sich dabei nämlich nicht um die Früchte verschiedener Schmetterlingsblütler, sondern um die getrockneten Samen, die hier ganz oder auch nur teilweise für die Nahrungszubereitung verkauft werden. Leben diese Samen eigentlich noch? Kann man aus ihnen wieder Erbsen-, Bohnen- und Linsenpflanzen ziehen? Reicht es etwa, nachzuprüfen, ob die Samen noch aufquellen, wenn man sie in Wasser legt? Welche Versuche könnten Sie durchführen, um diese Fragen zu beantworten?

Quellung – reine Physik?



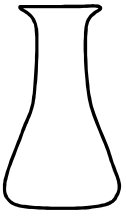
Material zur Quellung: Verschiedene getrocknete Samen von Hülsenfrüchten, Erbsen- oder Bohnensamen aus dem Gärtnerbedarf, Blumenerde, Waage, Gips, Plastikgefäße



Lassen Sie die verschiedenen Samen in Wasser 1 bis 2 Tage quellen; stellen Sie dabei fest, wie viel Wasser die Samen (z. B. 10 Stück) aufgenommen haben!

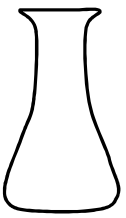
Untersuchen Sie die gequollenen Samen mit der Lupe oder dem Binokular! Welche Teile müssen Sie an dem Objekt finden, die zur Keimung notwendig sind?

Legen Sie die gequollenen Samen auf nasses Papier oder säen Sie sie in Blumenerde aus! Bei welchen Samen kommt es zur Keimung?



Rühren Sie handelsüblichen Gips mit Wasser an und füllen Sie ein Wegwerfgefäß (Joghurtbecher) zur Hälfte mit Gips! Verteilen Sie darauf trockene Erbsen und bedecken Sie diese mit Gips! Lassen Sie den Gipsblock trocknen und legen ihn dann in ein Gefäß, dessen Boden mit Wasser bedeckt ist! Setzen Sie eine passende Kontrolle an! Zeigen Sie mit Hilfe von Erbsen, die Sie über Nacht bei ca. 100° C im Trockenschrank gelagert haben, dass Quellung ein rein physikalischer Prozess ist und nichts über die Keimfähigkeit von Samen aussagt! (Kleiner Lösungshinweis: Leben die Erbsen noch, nachdem sie bei 100 °C gelagert wurden, quellen sie noch, keimen sie noch?)

Der Keimungsvorgang beginnt mit Quellung des Samenkorns, also der Volumenvergrößerung durch Wasseraufnahme. Die Quellung ist einige Zeit reversibel. Biologisch gesehen ist das von Vorteil, da nicht jeder kleine Wasserguss sofort zu einer Samenkeimung führt, sondern der Feuchtigkeitsschub zumindest einige Zeit anhalten muss.



Diese Zeitverzögerung der Keimung lässt sich mit einem hübschen Versuch demonstrieren, der noch dazu geeignet ist, ein bisschen Gespensteratmosphäre zu verbreiten. Füllen Sie ein Trinkglas bis zum oberen Rand mit Erbsen! Gießen Sie nun auch bis zum oberen Rand Wasser auf! Stellen Sie dieses gefüllte Glas auf einen Unterteller aus Porzellan!

Wie lange dauert es, bis Sie rätselhafte Geräusche hören? Nachts ist dieser Versuch besonders effektiv.

Einbahnstraße ohne Rückweg

Im Lauf von einigen Stunden nach Beginn der Wasseraufnahme beginnt die eigentliche Keimung; sie ist dann nicht mehr umkehrbar. Wenn sich jetzt die Bedingungen so verändern, dass das Samenkorn wieder austrocknet, stirbt der Keimling ab. Als erstes von außen sichtbares Zeichen der erfolgreichen Keimung sieht man die Spitze der Keimwurzel (Radicula), die die Samenschale (Testa) durchbricht. Sie bedient sich dabei der Hilfe von Enzymen, die die Zellwände der Samenschale auflösen. Die Bildung dieser Enzyme wird durch ein Phytohormon aus der Gruppe der Gibberelline ausgelöst. Im Inneren des Samenkorns ist zu diesem Zeitpunkt schon die Bildung von Enzymen induziert worden, die die Reservestoffe wie Stärke und Proteine mobilisieren. Diese hochmolekularen Reservestoffe sind als Speicherstoffe gut geeignet, weil sie als unlösliche Substanzen nicht osmotisch wirksam sind. Sie werden in Form von Stärkekörnern abgelagert, die im Mikroskop gut zu erkennen sind. Allerdings können sie in dieser „körnigen“ Form nicht in den Leitungsbahnen der Pflanzen transportiert werden

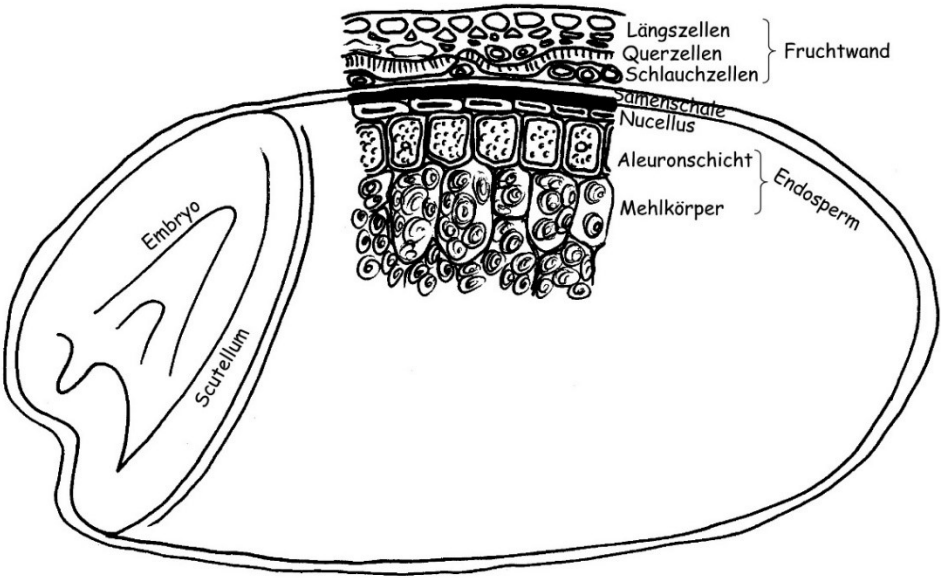
und als Makromoleküle auch nicht durch Zellmembranen ins Innere von Zellen gelangen. Die Speicherstoffe werden durch die Wirkung von Enzymen in lösliche, also mobile Substanzen überführt. Aus der Stärke entstehen Mono- und Disaccharide, die Proteine werden in Aminosäuren zerlegt. Wenn man die Stärkekörner aus dem Nährgewebe gekeimter und ungekeimter Getreidekörner mit dem Mikroskop betrachtet und vergleicht, sieht man, dass die Stärkekörner während der Keimung regelrecht „korrodieren“, also Masse und Struktur verlieren.

Mobilisierung von Reservestoffen

Der Vorgang der Mobilisierung von Reservestoffen wurde intensiv bei verschiedenen Getreidearten, z. B. bei der Gerste untersucht. Hier schaltet ein bestimmtes Gibberellin, das GA3 genannt wird, die Aktivität von Genen an, die (für) hydrolytische Enzyme codieren. Unter Hydrolyse versteht man eine chemische Aufspaltung, bei der Wasser verbraucht wird, indem es in Moleküle eingelagert wird. Hydrolytische Enzyme sind zum Beispiel α -Amylase und Proteasen. Dieses Phytohormon Gibberellinsäure zur Aktivierung der Enzyme wird im Gerstenkorn vom Embryo gebildet. Zwischen dem Embryo und dem Nährgewebe liegt eine schildförmige Struktur, das Scutellum oder Schildchen. Es ist nichts anderes als das Keimblatt der Gerste. Wie alle Süßgräser gehört die Gerste zu den *einkeimblättrigen* Pflanzen. Das Keimblatt hat nun die Funktion einer „Schaltstelle“ zwischen Embryo und Nährgewebe: Es leitet zunächst die im Keimling gebildeten Hormone in die Schicht lebender Zellen des Nährgewebes, die das stärkereiche Speichergewebe umschließt. Dort liegen viele Enzymeiweiße in Bereitschaft, die nun aktiviert werden. Diese Schicht heißt Aleuronschicht. Von dort aus machen sich die wasserlöslichen Enzyme daran, Stärke zu Maltose und Proteine zu Aminosäuren zu spalten. Diese löslichen Nährstoffe werden nun über das Schildchen zum Embryo geleitet und dienen dort während der Keimung zur Energiegewinnung und zum Bau von Proteinen, Zellwandmaterial etc.

Bei den Getreidekörnern handelt es sich nicht um Samen, sondern um komplette Früchte. Das ist im Längsschnitt eines Korns gut zu erkennen, die äußeren Zellschichten des Korns entsprechen hier der Fruchtwand, die aus der Wand des Fruchtknotens entstanden ist. Bei der Frucht der Gräser ist nun die Fruchtwand mit der Samenschale verwachsen; eine Gräserfrucht, die auch Karyopse genannt wird, enthält also jeweils einen Samen mit Embryo, Schildchen und Nährgewebe (= Endosperm). Einen ähnlichen Fruchttyp haben wir mit den Salat - Achänen bereits kennen gelernt. Man fragt sich, warum zwei verschiedene Begriffe für diesen Fruchttyp benötigt werden. Der Grund ist, dass die Achänen der Korbblütler aus einem unterständigen Fruchtknoten entstehen, die Karyopsen der Süßgräser sich dagegen aus einem oberständigen Fruchtknoten entwickeln (siehe dazu Kapitel 4).

Die folgende Abbildung zeigt den Bau des Weizenkorns, also der Frucht von *Triticum aestivum*.



Wenn man Gerste oder Weizen aussät, bekommt man also das Keimblatt nicht zu sehen. Auch bei anderen Pflanzen ist es durchaus verschieden, ob die Keimblätter bei der Keimung über die Erdoberfläche „mitgenommen“ werden oder ob sie in der Erde verbleiben. Sie werden nur dann über der Erdoberfläche sichtbar, wenn sich der Stängel zwischen Keimblättern und Keimwurzel streckt (Hypokotyl). Das Sprossstück zwischen den Keimblättern und den Primärblättern dagegen heißt Epikotyl.

Epigäische Keimung	Hypogäische Keimung
Keimblätter entfalten sich und ergrünen	Keimblätter bleiben unter der Erdoberfläche
Buschbohne Mango Rotbuche Ahorn Tomate Radieschen Kürbis	Feuerbohne Erbse Eiche Erdnuss Linse

Es gibt drei Möglichkeiten der Nährstoffspeicherung im Samen. Bei der ersten Variante steckt der Hauptteil der Nährstoffe in den Keimblättern, die daher auch fast den gesamten Samen ausfüllen. Bohne, Erbse, Avocado, Mango sind hier nur einige von zahlreichen Beispielen.

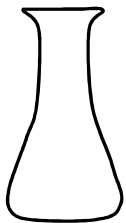
Die Abbildung zeigen einen Bohnensamen mit Embryo und zwei Keimblättern aufgeklappt.



Die zweite Variante ist die Speicherung der Nährstoffe im Nährgewebe (Endosperm), das Keimblatt oder die Keimblätter übernehmen andere Funktionen. Zum Beispiel werden sie zum Saugorgan für den Keimling. Weizen und Gerste sind hier bekannte Beispiele. Warum dieses Nährgewebe triploid ist, wird im Kapitel Befruchtung näher erklärt.

Eine dritte Variante bevorratet Nährstoffe hauptsächlich im so genannten Perisperm, ein Beispiel ist der Pfeffer. Das Perisperm entsteht aus einem Teil der Samenanlage, dem so genannten Nucellus.

Nach soviel physiologisch-chemischen Einzelheiten zurück zu den Pflanzen:



Warum keimen die Samen des Apfels nicht schon im Apfel – feucht genug wäre es doch!

Vielleicht ist einfach die braun glänzende glatte Samenschale „wasserdicht“ und verhindert dadurch die Keimung? Oder hat das Nährgewebe (Endosperm), welches zum Vorschein kommt, wenn man die Samenschale vorsichtig entfernt, etwas mit der Keimhemmung zu tun?



Man braucht 12 – 15 Apfelsamen, Petrischalen, saugfähiges Papier, Messer oder Skalpell. Untersuchen Sie zuerst den Bau eines Apfelsamens!

Man entfernt mit den Fingern oder dem Messer von 4 Apfelnkernen die dunkelbraune, glatte Samenschale, von 4 weiteren Apfelnkernen die Samenschale samt dem darunterliegenden hellbraunen Nährgewebe (Endosperm). 4 Kerne bleiben ungeschält. Nun legt man die geschälten Kerne und die ungeschälten Kerne auf ein nasses Papiertuch in je eine kleine Schale und deckt die Schale mit einem durchsichtigen Deckel ab. Nach 1 bis 2 Wochen wird ausgewertet, ob die Keimung erfolgt ist.

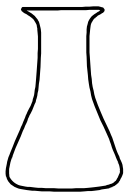
Wenn Sie diesen Versuch nachvollziehen, werden Sie bei den ungeschälten Kernen keine Keimpflänzchen erhalten, bei den Kernen ohne Samenschale wird die Keimung nicht oder mit einigen Tagen Verzögerung stattfinden. Einzig die

Kerne ohne Nährgewebe keimen schnell und es entwickeln sich innerhalb einer Woche bereits Pflänzchen mit grünen Blättern.

Dieses Versuchsergebnis zeigt, dass man die erste Hypothese verwerfen muss – allein das Entfernen der Samenschale führt noch nicht zum idealen Keimerfolg. Des Rätsels Lösung ist ein chemisch sehr einfacher, aber auch sehr giftiger Stoff: Blausäure. Die Blausäure entsteht im Apfeln aus Amygdalin, einem Glycosid. Glycoside sind Moleküle, die mit einem oder mehreren Zuckern verknüpft sind. Von diesem Amygdalin werden zunächst die beiden Glucosemoleküle abgespalten, dann wird der Rest zerlegt in Benzaldehyd und die Blausäure HCN. Blausäure verhindert die Keimung, indem sie die Atmung des Apfelembryos blockiert. Erst wenn die Blausäure entweichen kann, beginnt die Keimung. Im Boden passiert dies durch Mikroorganismen, im Versuch haben wir das Endosperm, das für die Blausäure nicht durchlässig ist, selbst entfernt. Der Name Amygdalin weist auf die Mandel hin, deren Samen ebenfalls Blausäure enthalten können.

Warum keimen Tomatensamen nicht in der Tomate?

Eigentlich sitzen sie ja mitten im besten Nährboden, und feucht ist es auch. Könnte auch das Fruchtfleisch der Tomate Stoffe enthalten, die die Keimung verhindern? Überlegen Sie sich einen Versuch, mit dem Sie diese Hypothese untersuchen könnten.



Man braucht eine reife Tomate, Messer, Petrischalen und Filterpapier. Die Tomate wird in Scheiben geschnitten. Man vergleicht nun drei Ansätze: Tomatensamen eingebettet in das Fruchtfleisch der Tomate, Tomatensamen einzeln mit der daran hängenden Hülle aus Fruchtfleisch sowie Tomatensamen, von denen man das Fruchtfleisch entfernt hat. Alle drei Proben werden in getrennte Petrischalen auf nasses Filterpapier gelegt und mit einem durchsichtigen Deckel abgedeckt. Die Keimung wird nach 3 Tagen und nach einer Woche protokolliert.

Nach einer Woche kann man die Beobachtung machen, dass die Samen, die völlig vom Fruchtfleisch befreit wurden, gekeimt sind; die beiden Keimblätter sind ergrünt und liefern dem Keimling bereits energiereiche Zucker mit Hilfe der Fotosynthese. Die Samen, an denen eine Hülle aus Tomaten-Fruchtfleisch verblieben ist, konnten nicht keimen; hier verhindern Hemmstoffe wie die Kaffeesäure und die Ferulasäure das Auskeimen sehr effektiv.

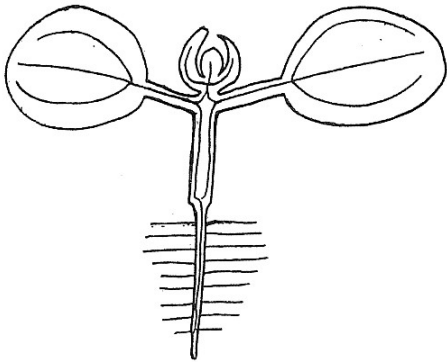
Wir nehmen also Kaffeesäure zu uns, wenn wir eine Tomate essen? Was ist Kaffeesäure genau? Hat sie etwas mit Coffein zu tun?

Nur indirekt, die Kaffeesäure gehört zu den Polyphenolen und kommt in vielen Pflanzenextrakten vor, auch im Kaffee.

Wenn Samen keimen, sobald man das Fruchtfleisch rundherum entfernt, dann müsste man im Saft des Fruchtfleischs keimungshemmende Stoffe nachweisen können. Lassen Sie sich Versuche dazu einfallen!

Ihre Tomatenkeimpflanzen können Sie in Töpfen auf dem Balkon oder im Garten weiter kultivieren. Sie werden in Töpfe vereinzelt (pikiert), sobald sie außer den Keimblättern noch weitere grüne Blätter haben. Sind sie zu kräftigen Jungpflanzen herangewachsen, kommen sie nun an ihren endgültigen sonnigen Platz in humusreiche Gartenerde.

Die Abbildung zeigt schematisch eine Keimpflanze einer zweikeimblättrigen Pflanze mit entfalten Keimblättern. Keimblätter kann man als Kotyledonen bezeichnen, ebenso häufig findet man die Beschriftung Cotyledonae (in lateinischer Form). Der Name leitet sich vom schalenförmigen Trinkgefäß mit dem Namen Cotyle (griechisch) ab.



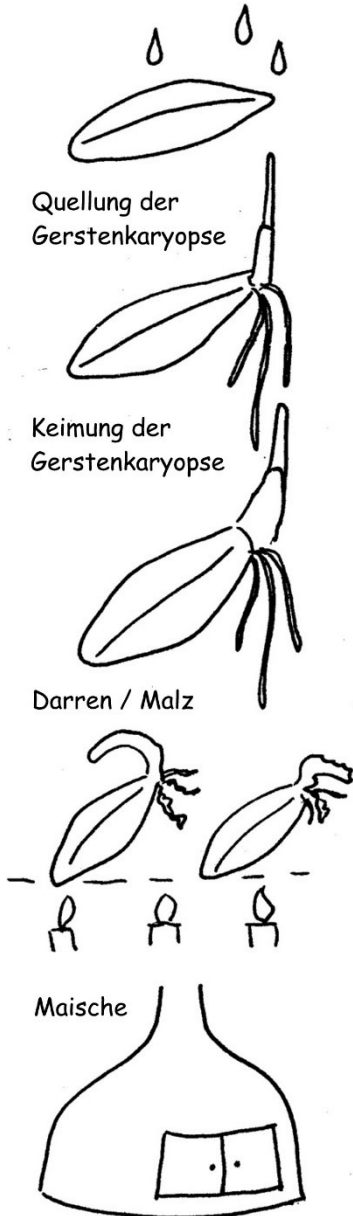
Exkurs: Binäre Nomenklatur

Um sich international eindeutig verständigen zu können, haben alle Arten von Lebewesen einen wissenschaftlichen Doppelnamen bekommen. Er setzt sich aus dem Namen der Gattung und einem Zusatz (Epitheton) zusammen. Die Rote Taubnessel heißt z. B. *Lamium purpureum*, die Weiße Taubnessel *Lamium album* und die im Walde lebende Rotbuche heißt z. B. *Fagus sylvatica*. Diese international übliche Art der Benennung wurde 1735 von Carl von Linné eingeführt, vgl. Kapitel 7. Diese Regel gilt also auch für Pilze oder Tiere.

Ohne Keimung kein Bier – Braumeister brauchen biologisches Verständnis

Bier wird hauptsächlich aus Gerste oder Weizen hergestellt. Dabei liefern die Getreidekörner das Ausgangsmaterial für die alkoholische Gärung durch Bierhefen wie *Saccharomyces cerevisiae* oder *Saccharomyces carlsbergensis*. Die Hefepilze können jedoch nicht die Stärke verwerten, die im Korn gespeichert ist;

sie brauchen Einfachzucker wie die Glucose. Wie verwandelt man nun am günstigsten die Stärke im Weizen- oder Gerstenkorn in Glucose? Man bedient sich der Enzyme, die das Korn schon für die Keimung bereithält.



Der biotechnische Prozess der Bierherstellung beginnt also mit der Keimung der angelieferten Gerste in der Mälzerei. Die Körner werden gequollen und beginnen bei optimalen Temperaturen um 12 bis 16°C bald zu keimen – Stärke wird zu Maltose umgewandelt. Zur Erinnerung: Phytohormone aus der Gruppe der Gibberelline induzieren die Bildung von Amylasen; diese wiederum spalteten den Reservestoff Amylose in Häppchen aus Di- und Oligosacchariden, die dann als Energiespender in Zellen aufgenommen werden können.

Der Keimungsprozess darf also nicht zu lange dauern, denn sonst würde der Keimling die Maltose, mit denen der Braumeister die Hefepilze füttern möchte, selbst verbrauchen. Nach einigen Tagen unterbricht der Braumeister den Keimungsvorgang durch das Darren, also Erhitzen und Trocknen, welches das Wasser aus den keimenden Geweben entzieht. Die Enzyme werden inaktiviert, der Keimling stirbt. Das Produkt nennt man Malz.

Nun muss man nur noch die Zucker aus den Körnern herauslösen. Das Malz, also die getrockneten zerkleinerten Körner, wandern in den Maischebottich und werden dort extrahiert. Einige Enzyme überleben das Darren. Die noch vorhandenen Enzyme setzen im Maischebottich ihr Werk fort und bauen auch Reststärke noch zu Maltose und Glucose ab.

Die Maische ist eine zähe, sehr nährhafte Flüssigkeit, eine ideale Nährlösung für die Hefepilze. Sie wird filtriert (geläutert) und ergibt die Stammwürze. Die Konzentration dieser wässrigen Lösung von Nährstoffen wird in % auf der Bierflasche angegeben. Der

Wert liegt etwa bei 12%, d.h. die Stammwürze besteht zu 12% aus Kohlenhydraten und anderen organischen Stoffe.

Nun kommt endlich die Hefe ins Spiel, denn jetzt stehen ihr die für die Gärung geeigneten Zucker zur Verfügung. Je nachdem, welches Bier man brauen möchte, kommen verschiedene Hefen zum Einsatz. *Saccharomyces cerevisiae*, die Bäckerhefe, ist für die obergärigen Biere wie Weizenbier oder Altbier zuständig. Diese Hefe mag es etwa zimmerwarm (15 – 25°), sie bildet Zellverbände, die durch das bei Gärung entstehende Kohlenstoffdioxid nach oben steigen und sich auf der Oberfläche des Bieres absetzen. Mit Hilfe von *Saccharomyces carlsbergensis* stellt man untergärige Biere her, z. B. Pils, Export und Bockbier. Diese Hefe fühlt sich bei 5 bis 10°C wohl, ihre Zellen bleiben einzeln, sie setzen sich während des Gärvorgangs im Gärkeller am Boden des Gärbottichs ab. Im Gärkeller oder modernen Reaktor wird die Temperatur passend eingestellt. Nun sind die Hefepilze in ihrem „Element“ und produzieren Alkohol.

Die Bierherstellung ist ein klassisches biotechnologisches Verfahren, also ein Produktionsverfahren, das unter Beteiligung von Lebewesen abläuft.

Nach dem Reinheitsgebot von 1516 darf neben den bereits erwähnten Bestandteilen Wasser und Malz nur noch Hopfen ins Bier. Der Hopfen sorgt für den angenehm bitteren Geschmack. Dabei werden die Blütenstände der weiblichen Hopfenpflanzen verwendet. Von der Systematik her gehört der Hopfen *Humulus lupulus* übrigens zur Familie der Hanfgewächse *Cannabinaceae*. Hopfen enthält östrogenartige Stoffe; bei den Hopfenzupferinnen wirkt sich die Aufnahme dieser Stoffe durch die Haut auf den Menstruationszyklus aus (er verschiebt sich oder bleibt aus). Auch im Bier können die Spuren an Hormonen durchaus ihre Wirkung entfalten; die bei übermäßigem Biergenuss zu beobachtenden Brustbildungen und Aufschwämmung des Körpers bei Männern können auf das Konto dieser „Hopfenhormone“ gehen.

Fassen wir zusammen

- Der Keimungsprozess benötigt Wasser und wird durch weitere Faktoren wie Licht, Temperatur und Keimungshemmstoffe beeinflusst.
- Die Keimung selbst läuft unter Beteiligung von Phytohormonen wie Gibberellinsäure ab, die wiederum die Bildung von Enzymen induzieren und kontrollieren.
- Die Zahl der Keimblätter ist ein systematisches Merkmal. Die Samenpflanzen werden unterteilt in Einkeimblättrige (Monokotyledonen) und Echte Zweikeimblättrige (Eudikotyledonen) sowie ein paar basale Gruppen. Die Pollen der Zweikeimblättrigen können drei oder mehr Furchen haben. Die Pollen der basalen und der einkeimblättrigen Bedecktsamer haben eine Furche (Kadereit u. a. 2014, S. 651-653).