



Plant Science Discovery Workshops: Lerneinheit #6 Adaptive Evolution. Zurich-Basel Plant Science Center

Educational Material**Author(s):**

Faller, Patrick; [Paschke, Melanie](#) ; Rapo, Carole; Schumacher, Ralph; [Dahinden, Manuela](#) 

Publication date:

2020

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000431653>

Rights / license:

[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

Originally published in:

Lerneinheit 6



Universität
Zürich ^{UZH}

ETH zürich

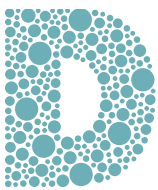


Universität
Basel

Lerneinheit #6

Adaptive Evolution

MINT-Lernzentrum der ETH Zürich
Zurich-Basel Plant Science Center



Plant Science
DISCOVERY
WORKSHOPS

- 1 Klimawandel
- 2 3D-Mikroskopie
- 3 Moderne Pflanzenzucht
- 4 Stärkemetabolismus
- 5 Biokommunikation
- 6 Adaptive Evolution**
- 7 Symbiose
- 8 Genome Editing

Inhalt

Aufbau der Lerneinheit Adaptive Evolution	3
Teil 1: Adaptive Evolution	4
Thema, Lernziele und Vorwissen	4
Verlaufsplanung Lektion 1	5
Einstiegsaufgabe: «Gene, Umwelt oder beides?»	6
1.1 Phänotypische Plastizität	7
1.2 Phänotypische Plastizität bei Pflanzen	8
1.3 Polyploidisierung	9
Teil 2: Discovery Workshop	10
Teil 3: Polyploidie	11
Thema, Lernziele und Vorwissen	11
Verlaufsplanung Lektion 2	11
Einstiegsaufgabe «Gibt es in der Zukunft nur noch polyploide Pflanzenarten?»	12
3.1 Polyploidisierung kann zu neuen Arten führen	13
3.2 Vor- und Nachteile der Polyploidisierung bei Pflanzen	14
3.3 Forschungsbeispiele zur Polyploidisierung	15
3.3.1 Polyploidie beeinflusst die Genregulation von Kulturweizen	15
3.3.2 Polyploidisierung ging der Domestikation voraus	15
3.3.3 Beobachtbare Evolution in der Schweiz	16
Metakognitionsaufgaben	19
Abbildungsverzeichnis	20
Literaturverzeichnis	21
Weiterführende Links für Lehrpersonen	21
Vor- und Nachtest zum Thema	22
Lösungen	25

Aufbau der Lerneinheit Adaptive Evolution

Die Lerneinheit «Adaptive Evolution – Was können wir von der Evolution für die Pflanzenzucht lernen?» besteht aus drei Teilen. Der erste und dritte Teil sind theoretische Lektionen, welche den zweiten praktischen Teil thematisch einbetten und die Relevanz des Themas verdeutlichen.

Teil 1: Adaptive Evolution

In Lektion 1 wird der Begriff «Adaptive Evolution» definiert. Phänotypische Plastizität wird an verschiedenen Beispielen diskutiert. Zusätzlich wird der Begriff Polyploidisierung eingeführt. Diese Lektion dient zur Vorbereitung des Workshops, damit sichergestellt ist, dass die Schülerinnen und Schüler das Experiment verstehen.

Teil 2: Discovery Workshop

Der halbtägige Workshop wird vom Zurich-Basel Plant Science Center angeboten. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten mit der Pflanzengattung der Schaumkräuter (*Cardamine*). Im Kurs wird anhand zweier diploider *Cardamine*-Arten (Behaartes Schaumkraut (*C. hirsuta*) und Bitteres Schaumkraut (*C. amara*)) sowie dem polyploiden Wald-Schaumkraut (*C. flexuosa*), die phänotypische Plastizität untersucht. In Vorbereitung für den Workshops, wurden Klone dieser drei Pflanzenarten unter verschiedenen Umweltbedingungen aufgezogen. Die Schülerinnen und Schüler bestimmen die Stomatadichte der verschiedenen Versuchspflanzen und stellen eine Hypothese zur phänotypischen Plastizität auf.

Eine Führung durch das Labor von Professor Kentaro Shimizu an der Universität Zürich und das Functional Genomics Center Zürich gibt zudem einen Einblick in die moderne Genomforschung. Zum Abschluss wird über die polyploide Artenbildung in der Pflanzenzucht und deren gesellschaftliche Relevanz diskutiert.

Teil 3: Polyploidie

Lektion 2 nimmt die Resultate des praktischen Teils auf und vertieft das Wissen bezüglich Polyploidie bei Pflanzen. Es werden die Vor- und Nachteile von Polyploidie diskutiert. Zudem werden Forschungsbeispiele aus den Bereichen der Evolutionsbiologie und Pflanzenzüchtung diskutiert.

Eine begleitende Powerpoint-Präsentation steht den Lehrpersonen unter folgendem Link zur Verfügung:

www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/discovery.html

Teil 1: Adaptive Evolution

Thema

Die Anpassung der Organismen an ihre Umwelt ist eine der wichtigsten Grundeigenschaften des Lebens. Eine besondere Form der Anpassung ist die phänotypische Plastizität. Darunter versteht man das bei vielen Pflanzen, Tieren und Bakterien, auftretende Phänomen, dass Individuen mit dem gleichen Genotyp (Erbinformation) unterschiedliche Phänotypen ausbilden, je nach den gerade vorherrschenden Umweltbedingungen. Wenn Umwelteinflüsse eine starke Variabilität des Phänotyps hervorrufen können, spricht man von hoher phänotypischer Plastizität. Ist der Phänotyp jedoch weitgehend durch seinen Genotyp vorherbestimmt, deutet dies auf geringe Plastizität hin. D. h. der Genotyp setzt die Grenzen, die es dem Phänotyp ermöglichen, sich durch seine Plastizität, den Umweltbedingungen anzupassen. Wird der Genotyp so verändert, dass sich die Grenzen des Phänotyps verschieben, also dessen Plastizität erweitert wird, findet adaptive Evolution statt. Eine Möglichkeit dieser genotypischen Veränderung ist die Polyploidisierung, bei der eine grössere Anzahl von Allelen als genetische Grundlage zur Verfügung steht, um sich unter den verschiedensten Umweltbedingungen zu behaupten.

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler können erläutern, wie phänotypische Plastizität zustande kommt.
- Die Schülerinnen und Schüler können anhand von Beispielen aufzeigen, dass bei den meisten Merkmalsverteilungen sowohl genetische als auch modifikatorische Anteile eine Rolle spielen.
- Die Schülerinnen und Schüler können die Begriffe Polyploidisierung und polyploid erklären.

Vorwissen

- Grundlegende Begriffe der Genetik. Folgende Begriffe werden kurz repetiert bzw. erklärt: Gen, Allel, Genotyp, Phänotyp, Erbgut, Genom, DNA, Mitose, Meiose, Chromosom, Chromosomensatz.
- Grundlegende Begriffe der Ökologie: Umweltfaktor.
- Anatomie und Physiologie der Pflanze: Bau und Funktion des Laubblattes, Spaltöffnungen, Transpiration.

Verlaufsplanung Lektion 1

Arbeitsform, Zeit	Themen	Material
Kognitive Aktivierung: Lösen der Einstiegsaufgabe (Aufgabe 1) <i>5 Minuten</i>	«Gene, Umwelt oder beides?»	Seite 6
Vortrag von der Lehrperson <i>5 Minuten</i>		Präsentation
Lektüre Kapitel 1.1 sowie 1.2 und Lösen der Aufgaben 2–6 <i>10 Minuten</i>	1.1 Phänotypische Plastizität 1.2 Phänotypische Plastizität bei Pflanzen	Seiten 7–8
Besprechung der Aufgaben 2–6 <i>5 Minuten</i>	1.1 Phänotypische Plastizität 1.2 Phänotypische Plastizität bei Pflanzen	Seiten 7–8
Lektüre Kapitel 1.3 und Lösen der Aufgaben 7 und 8 <i>5 Minuten</i>	1.3 Polyploidisierung	Seite 9
Besprechung Aufgaben 7 und 8 <i>5 Minuten</i>	1.3 Polyploidisierung	Seite 9

Einstiegsaufgabe (Aufgabe 1)

Gene, Umwelt oder beides?

Betrachte die Bilder und lies die Beschreibungen dazu. Entscheide dann, ob eher die Gene, die Umwelt oder eine Mischung aus beidem für das Aussehen (= für den Phänotyp) verantwortlich sind. Schreibe deine Lösungen in das jeweilige Feld.

Abb. 1: Auf der nebenstehenden Abbildung siehst du je eine Blüte und ein Laubblatt von zwei verschiedenen Wassermelonpflanzen der gleichen Art. Beide Pflanzen wurden unter denselben Umweltbedingungen aufgezogen. Die rechte Pflanze besitzt doppelt so viele Chromosomen wie die linke Pflanze. Bei bestimmten Pflanzenarten ist die Anzahl der Chromosomensätze sehr variabel.



Abb. 2: Die Zwillinge Bernd und Reiner Methe waren beide Handballschiedsrichter.

Fotograf: Armin Kübelbeck, CC-BY-SA, Wikimedia Commons.



Abb. 3: Laubblätter von jungen Efeupflanzen sind gelappt, während ältere Efeupflanzen Laubblätter besitzen, die so aussehen wie auf der Abbildung.



1.1 Phänotypische Plastizität

Schau dich im Klassenzimmer um und betrachte deine Mitschülerinnen und Mitschüler. Jede Person sieht anders aus und du kannst sie problemlos unterscheiden und mit dem richtigen Namen ansprechen. Auch Kühe auf einer Kuhweide unterscheiden sich. Vielleicht hast du etwas mehr Mühe, aber wenn du dir Zeit nehmen würdest, dann könntest du sie bald ebenso problemlos unterscheiden. Dasselbe gilt auch für Pflanzen. Bei Baumindividuen ist dir das wohl klar, aber dies gilt auch für die Einzelpflanzen von Grasarten. Vielleicht musst du ein Messband, eine Lupe oder ein Mikroskop nehmen, aber dann kannst du Unterschiede, z. B. in der Grösse, Blattbreite, Anzahl der Blätter etc. finden. Individuen einer Art besitzen verschiedene Merkmale, die von zwei Komponenten bestimmt werden: dem **Genotyp** und den vorherrschenden Umweltfaktoren. Wird ein Phänotyp durch Umweltfaktoren verändert, so wird von **Modifikation** gesprochen. Meist besitzt eine Merkmalsverteilung sowohl genetische wie auch modifikatorische Anteile. Ein gutes Beispiel ist die Körperpigmentierung des Menschen. Auf Grund der Pigmentierung der Eltern kannst du die Pigmentierung der Kinder einschätzen. Man kennt mehrere Gene, welche eine Auswirkung auf die Körperpigmentierung besitzen. Auch die Umwelt hat einen grossen Einfluss auf die Körperpigmentierung: Unter hoher Sonneneinstrahlung werden mehr dunkle Hautpigmente gebildet. Bei vielen Merkmalen wie zum Beispiel der Körperpigmentierung gibt es fließende Übergänge. Bei diesen wird von kontinuierlichen oder fluktuierenden Merkmalen gesprochen. Seltener gibt es umschlagende Übergänge oder diskontinuierliche Merkmale, bei denen es keine stetigen Unterschiede gibt. Ein Beispiel ist der Rhesusfaktor beim Menschen, entweder ist man positiv oder negativ. Zwischenformen sind nicht möglich.

Aufgabe 2

Nenne je ein Beispiel eines Merkmals beim Menschen, das vorwiegend von den Genen bzw. von der Umwelt bestimmt wird.

Aufgabe 3

Nenne bitte je 2 weitere Merkmale des Menschen, die kontinuierlich bzw. diskontinuierlich sind.

Aufgabe 4

Wann wird eine Veränderung des Phänotyps an die nächste Generation weitervererbt?

1.2 Phänotypische Plastizität bei Pflanzen

Auch bei Pflanzen gilt, dass die phänotypische Plastizität durch den Genotypen und durch die Umwelt bestimmt wird. Ein gutes Beispiel ist die Dichte der Stomata, mit welcher du im Workshop experimentieren wirst.

Exkurs: Stomata

Stomata sind Spaltöffnungen des Abschlussgewebes (Epidermis), die dem Gasaustausch einer Pflanze dienen. Durch die Spaltöffnungen kann Kohlendioxid für die Photosynthese in die Pflanze aufgenommen werden und Wasserdampf und Sauerstoff an die Umgebungsluft abgegeben werden. Eine Spaltöffnung (Stoma) besteht aus zwei Schliesszellen, die meist bohnenförmig in der Blattunterseite angeordnet sind. In Abb. 4 siehst du oben eine offene Spaltöffnung und unten eine geschlossene Spaltöffnung.

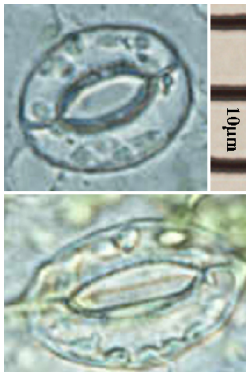


Abb. 4: Offene (oben) und geschlossene (unten) Spaltöffnung eines Arabidopsis-Blattes.

Die Dichte der Stomata ist zwischen den Arten sehr unterschiedlich und kann von 20 bis über 1000 Spaltöffnungen pro Quadratmillimeter betragen. Bei Arten, die in trockenen Gebieten wachsen, ist die Zahl der Spaltöffnungen meist geringer – als Schutz gegen zu hohe Wasserverluste. Auch innerhalb einer Art kann man beträchtliche Unterschiede finden, je nachdem an welchem Standort eine Pflanze wächst.

Aufgabe 5

Wo würdest du eine Pflanze der gleichen Art suchen, wenn du eine mit einer höheren Dichte und eine mit einer geringeren Dichte von Spaltöffnungen finden müsstest?

Neben der Dichte der Stomata gibt es noch unzählige Merkmale, welche von den Umweltbedingungen abhängen. Ein sehr eindrückliches Beispiel sind die Blätter des Schild-Wasserhahnenfusses. Bei dieser Pflanze sind die Tauchblätter, welche sich unter der Wasseroberfläche befinden, haarförmig geteilt (Abb. 5). Das gleiche Individuum besitzt auch Schwimmblätter auf der Wasseroberfläche, welche drei- bis siebenlappig sind und ein ganz anderes Aussehen besitzen.



Abb. 5: Schild-Wasserhahnenfuss (*Ranunculus peltatus*) mit Schwimmblättern (links) und Tauchblättern (rechts).

Aufgabe 6

Benötigen Pflanzen oder Tiere im Allgemeinen eine höhere phänotypische Plastizität? Begründe bitte deine Antwort.

1.3 Polyploidisierung

Viele Lebewesen, so auch der Mensch, besitzen einen doppelten oder diploiden (griech. *diplos* = doppelt) Chromosomensatz. In den meisten deiner Zellen ist also jedes Chromosom bzw. jedes Gen doppelt vorhanden. Ein Allel hast du von deiner Mutter geerbt, das andere Allel von deinem Vater. Bakterien besitzen nur einen einfachen oder haploiden (griech. *haplos* = einfach) Chromosomensatz. Auch deine Keimdrüsenzellen (Ei- oder Spermienzellen) besitzen nur einen haploiden Chromosomensatz. Wenn dann bei der Befruchtung der haploide Chromosomensatz des Spermiums mit dem haploiden Chromosomensatz der Eizelle verschmilzt, entsteht eine diploide Zelle, aus der sich später der Embryo entwickelt. Damit in den Keimdrüsen (Eierstock oder Hoden) haploide Zellen entstehen, teilt sich eine diploide Zelle in zwei Reifeteilungen (Meiose) so, dass genetisch unterschiedliche haploide Keimzellen entstehen. Trifft eine solche haploide Keimzelle bei der Befruchtung auf eine diploide Keimzelle, entsteht eine befruchtete Eizelle mit drei Chromosomensätzen, welche auch triploid (griech. *tri* = drei) genannt wird. Würde eine diploide Spermienzelle per Zufall auf eine ebenfalls diploide Eizelle treffen, dann gäbe es eine befruchtete Eizelle mit einem tetraploiden (griech. *tetra* = vier) Chromosomensatz. Auch ein hexaploider (griech. *hex* = sechs) Chromosomensatz und noch weitere wären denkbar. In allen Fällen, bei drei oder mehreren Chromosomensätzen, spricht man von Polyploidie (griech. *poly* = mehrere, viel). Der Vorgang, der zur Polyploidie führt, wird Polyploidisierung genannt. Im Gegensatz zu polyploiden Pflanzen sind polyploide Tiere und Menschen meist nicht überlebensfähig. Polyploide Embryonen sterben in der Regel während der Frühschwangerschaft ab. Das Down-Syndrom oder auch Trisomie 21 zeichnet sich durch erhebliche Beeinträchtigungen (z. B. geistige Behinderung, häufig Herzprobleme, schwächeres Immunsystem) aus, obwohl nur ein einziges Chromosom zu viel vorhanden ist.

Aufgabe 7

In Abb. 6 siehst du drei verschiedene Zellen. Die Zelle links unten ist eine diploide Zelle. Was für Chromosomensätze besitzen die beiden anderen Zellen?

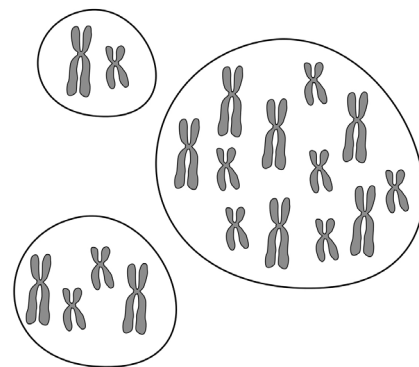


Abb. 6: Zellen mit verschiedenen Chromosomensätzen.

Aufgabe 8

In Abb. 7 siehst du einen speziellen Chromosomensatz. Was fällt dir dabei auf?

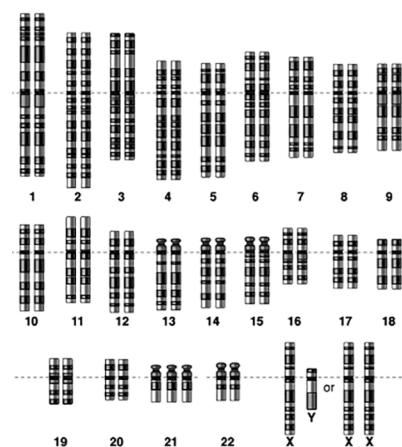


Abb. 7: Chromosomensatz von Trisomie 21.

Teil 2: Discovery Workshop

Der Workshop wird vom Zurich-Basel Plant Science Center im Labor von Professor Kentaro Shimizu angeboten. Als Begleitmaterial wurde ein Forschungsheft entwickelt, welches die Schülerinnen und Schüler durch den Workshop begleitet.

Das Forschungsheft ist als PDF unter folgendem Link erhältlich:

www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/discovery.html

Workshopinhalt

In diesem halbtägigen Kurs arbeiten die Schülerinnen und Schüler mit der Pflanzengattung der Schaumkräuter (Cardamine). Ziel ist es zu verstehen, wann und wie Adaptive Evolution stattfindet und wie Unterschiede im Genotyp und im Phänotyp zu erkennen sind. Die Pflanzengattung Cardamine umfasst mehr als 200 Arten, wobei mehr als ein Drittel davon polyploid sind. Im Workshop wird anhand der beiden diploiden Cardamine-Arten, Behaartes Schaumkraut (*C. hirsuta*) und Bitteres Schaumkraut (*C. amara*) und des polyploiden Wald-Schaumkrauts (*C. flexuosa*), die phänotypische Plastizität untersucht. Klone derselben Pflanzenart werden unter verschiedenen Umweltbedingungen aufgezogen. Die Schülerinnen und Schüler bestimmen die Stomatadichte dieser drei Arten und schätzen die phänotypische Plastizität ab. Eine Führung durch das Functional Genomics Center Zürich gibt einen Einblick in die moderne Genomforschung. Zum Abschluss wird über die polyploide Artenbildung in der Pflanzenzucht und deren gesellschaftliche Relevanz diskutiert.

Lernziele

- Die Experimente ermöglichen ein Verständnis von polyploider Artenbildung und phänotypischer Plastizität.
- Die Schülerinnen und Schüler erhalten einen Einblick in die Forschungsbereiche der Evolutionsbiologie und Pflanzenzüchtung.
- Die Schülerinnen und Schüler haben ein vertieftes Verständnis von natürlicher Variation, Adaptation und Artenbildung.
- Die Schülerinnen und Schüler können den Begriff Polyploidie erklären und erkennen deren Potenzial für die Artenbildung und Pflanzenzüchtung.

Vorwissen

- Doppelstrangstruktur der DNA
- Gene, Chromosomen, Genommutationen
- Hybride, Polyploidie, Genomverdoppelung
- Phänotypische Plastizität

Teil 3: Polyploidie

Thema

Viele Sorten von Nutzpflanzen sind polyploid und für die Ernährung von Mensch und Tier wichtig. Eine Polyploidisierung kann Vorteile oder Nachteile mit sich bringen. In der Evolution spielt die Polyploidie eine wichtige Rolle bei der Artenbildung. So konnten Forschende zeigen, dass polyploide Nachkommen sich besser an neue Umweltbedingungen anpassen können als ihre Eltern. Die heutige Genomforschung ermöglicht den Forschenden, die molekularen Grundlagen die zur Entstehung und Ausbreitung von neuen Arten führen, besser zu verstehen. Das Wissen kann für die Züchtung von Kulturpflanzen genutzt werden.

Lernziele

- Die Schülerinnen und Schüler können erläutern, warum Polyploidisierung zu neuen Arten führen kann.
- Die Schülerinnen und Schüler können Vor- und Nachteile der Polyploidisierung bei Pflanzen nennen.
- Die Schülerinnen und Schüler lernen Forschungsprojekte zum Thema Polyploidisierungen kennen.

Vorwissen

- Wissen aus Lektion 1.

Verlaufsplanung Lektion 2

Arbeitsform, Zeit	Themen	Material
Kognitive Aktivierung: Lösen der Einstiegsaufgabe (Aufgabe 9) 5 Minuten	«Gibt es in der Zukunft nur noch polyploide Pflanzenarten?»	Seite 12
Lektüre Kapitel 3.1 sowie Lösen der Aufgaben 10 und 11 5 Minuten	3.1 Polyploidisierung kann zu neuen Arten führen	Seite 13
Besprechung der Aufgaben 10 und 11 5 Minuten	3.1 Polyploidisierung kann zu neuen Arten führen	Seite 13
Lektüre Kapitel 3.2 und Lösen der Aufgaben 12 und 13 5 Minuten	3.2 Vor- und Nachteile der Polyploidisierung bei Pflanzen	Seite 14
Besprechung der Aufgaben 12 und 13 5 Minuten	3.2 Vor- und Nachteile der Polyploidisierung bei Pflanzen	Seite 14
Partnerarbeit 10 Minuten Ev. als Hausaufgabe	3.3 Forschungsbeispiele zur Polyploidisierung	Seiten 15–18
Eventuell: Besprechung Aufgaben 14–18	3.3 Forschungsbeispiele zur Polyploidisierung	Seiten 15–18

Einstiegsaufgabe (Aufgabe 9)

**Gibt es in der Zukunft nur noch polyploide Pflanzenarten?
Lies den Text und betrachte die Bilder. Diskutiere die Frage in der Gruppe.**

Aus dem Botanischen Institut der Universität Kiel

ÜBER DAS VERHALTEN DER POLYPLOIDEN ARTEN HÖHERER
PFLANZEN BEI DER BESIEDLUNG VON BRACHLAND.

von Gertrud Hermann, 1946

"Aus den neueren Arbeiten von Tischler und einigen seiner Schüler, in denen die Ergebnisse der zytologischen Forschung mit pflanzengeographischen und ökologischen Fragen verknüpft werden, ergab sich ganz allgemein, daß die polyploiden Arten eine höhere Lebens- und Kampfkraft besitzen als die diploiden."

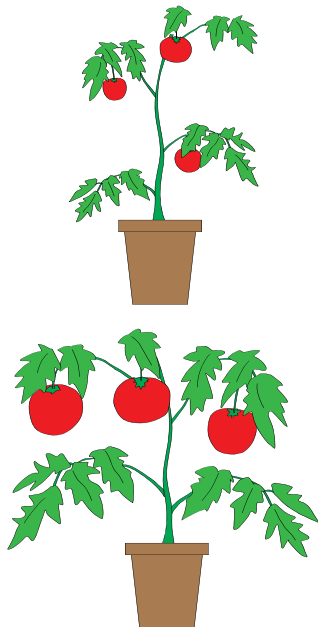


Abb. 8: Tomatenfrüchte.
Oben: diploid; unten: tetraploid.



Abb. 9: Maissorten.
Links: diploid; rechts: triploid.

3.1 Polyploidisierung kann zu neuen Arten führen

Polyploidie kommt bei vielen Tieren (z. B. bei Fischen, Insekten, und Amphibien) und Pflanzen (z. B. bei Farnen und Moosen) vor, ist aber besonders bei den Bedecktsamern (Angiospermen) verbreitet. Etwa ein Drittel der Blütenpflanzen verfügt über einen polyploiden Chromosomensatz. Dazu gehören auch Nutzpflanzen wie triploide Melonen, tetraploide Kartoffeln, hexaploide Weizen, hexaploide Kiwis und oktaploide Kulturerdbeeren. Ein faszinierender Aspekt der Polyploidie ist, dass sie dazu führen kann, dass eine neue Art in kürzester Zeit entstehen kann. Häufig dauern Artenbildungsprozesse sehr lange und sind mit einer langen, andauernden geographischen Trennung verbunden. Bei der Polyploidisierung ist eine Artbildung ohne geographische Isolation möglich. Wie funktioniert das genau? Nehmen wir an, dass per Zufall bei einer Art mehrere tetraploide Individuen entstanden sind. Die Keimzellen (Pollen oder Eizellen) sind dann diploid. Würden diese Keimzellen sich mit der haploiden Keimzelle einer normalen diploiden Pflanze kreuzen, gäbe es triploide Nachkommen. Diese triploiden Nachkommen sind sehr häufig steril und können keine Samen bilden. Kreuzen sich die diploiden Keimzellen aber mit ebenfalls diploiden Keimzellen, so können tetraploide, fertile Nachkommen gebildet werden.

Man geht heute davon aus, dass alle Lebewesen in ihrer Stammesgeschichte mindestens einmal eine Polyploidisierung erfahren haben. Häufig entwickelten sich anschliessend die Genkopien z. B. durch Mutationen auseinander oder es gingen ganze Chromosomen wieder verloren. Mit den heutigen DNA-Sequenzieretechnologien und bioinformatischen Methoden ist es möglich Pflanzengenome innerhalb einer Art oder auch zwischen den Arten zu vergleichen. Anhand der Daten werden phylogenetische Verwandtschaftsbeziehungen erstellt. So wird unter anderem der elterliche Ursprung von Sequenzen bestimmt. Solche Untersuchungen geben Aufschluss über die Evolution von Pflanzen und welche Gene oder Genregionen zur Bildung von neuen Arten beigetragen haben und gegebenenfalls zur Anpassung der Pflanzen an spezifische Umweltbedingungen entscheidend waren.

Quelle: Leitch A. R. and Leitch I. J. (2008).

Aufgabe 10

Welche Probleme treten bei triploiden Pflanzen auf, wenn sie Keimzellen bilden möchten?

Aufgabe 11

Wie viele Generationen sind mindestens nötig, damit durch Polyploidisierung eine neue Art entsteht?

Exkurs: Allopolyploidie und Autopolyploidie

Bei der Polyploidisierung kann zwischen der Autopolyploidie und der Allopolyploidie unterschieden werden. Bei der Autopolyploidie (griech. *auto* = selbst) werden die arteigenen Chromosomen vervielfacht. Bei der Allopolyploidie (griech. *allo* = fremd) werden artfremde Chromosomen vervielfacht. Ein bekanntes Beispiel der Allopolyploidie ist der Saatweizen, der hexaploid ist und Chromosomensätze von drei verschiedenen Arten enthält. Eine Form von Autopolyploidie kommt auch in dir vor. Die Megakaryozyten gehören zu den blutbildenden Zellen in deinem Knochenmark. Nach mehreren Mitosen ohne nachfolgende Zellteilungen, sind Megakaryozyten polyploid, wobei sie 64 (statt den üblichen zwei) Chromosomensätze enthalten.

3.2 Vor- und Nachteile der Polyploidisierung bei Pflanzen

Einerseits gibt es heute viele Pflanzen, die polyploid sind, andererseits sind heute wieder viele Pflanzen diploid, welche in der Stammesgeschichte einmal polyploid waren. Daraus lässt sich schliessen, dass je nach Umweltbedingungen einmal die diploiden und einmal die polyploiden Pflanzen einen selektiven Vorteil besitzen. In diesem Kapitel gehen wir den Vor- und Nachteilen nach, welche für Pflanzen durch Polyploidisierung entstehen.

Vorteile einer Polyploidisierung:

- Die sofortige Entstehung einer neuen Art kann bei sich schnell ändernden Umweltbedingungen ein Vorteil sein. Eine Rückkreuzung mit den diploiden Eltern ist nicht möglich.
- Die höhere Anzahl Allele führt zu einer grösseren genetischen Variation, aber auch zu einer höheren phänotypischen Variation, so dass polyploide Arten häufig eine grössere Toleranz gegenüber Umweltfaktoren besitzen.
- Durch die höhere Anzahl Allele kann die Proteinbiosynthese parallel erfolgen, so dass die Produktion von einzelnen Enzymen beschleunigt wird. Dadurch können wichtige Stoffwechselprozesse beschleunigt werden.

Dem stehen aber auch Nachteile gegenüber:

- Häufig sind polyploide Pflanzen steril, d. h. es erfolgt keine Ausbildung von Pollen und / oder Samen.
- Vor jeder Zellteilung müssen mehr Chromosomen verdoppelt werden, was energetisch ungünstig ist.
- Betrachtet man nicht einzelne Enzyme, sondern den ganzen Stoffwechsel, so ist dieser im Vergleich zu diploiden Pflanzen meist verlangsamt.

Polyploidie kann dazu führen, dass Selbstbefruchtung möglich wird, was je nach Umweltbedingungen Vor- und Nachteile mit sich bringt. **Beispiel.**

Quelle: Comai, L. (2005).

Aufgabe 12

Erwartest du im Hinblick auf die Klimaerwärmung, dass die Bedeutung polyploider Kulturpflanzen in der Nahrungsmittelversorgung zu- oder abnehmen wird? Begründe deine Ansicht.

Aufgabe 13

Lies bitte die untenstehenden Aussagen durch, in welcher Merkmale von polyploiden und diploiden Pflanzen beschrieben werden. Leite aus jeder Aussage einen Vor- oder Nachteil der Polyploidie ab und überlege dir, unter welchen konkreten Umweltbedingungen es ein Vor- oder Nachteil ist.

1. Polyploide Pflanzen besitzen meist grössere Zellen. Mit zunehmender Zellgrösse steigt der Wassergehalt (oder als Fachbegriff: der osmotische Wert sinkt).
2. Die Zellteilungsrate von polyploiden Pflanzen ist häufig vermindert.
3. Bestimmte Organe sind vergrössert, ihre Proportionen zueinander sind verändert. Eine Grössenzunahme der Pflanzen korreliert nicht mit dem Polyploidiegrad. Sie durchläuft ein Optimum. Tetraploide sind meist grösser als Triploide, die wieder grösser als die Diploiden sind. Pflanzen eines höheren Polyploidiegrads zeichnen sich aber oft durch Zwergwuchs aus.
4. Die Zeitspanne bis zur Blütenbildung sowie die sich anschliessende Blütenperiode ist verlängert.

Quelle: <http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d12/12a.htm>

3.3 Forschungsbeispiele zur Polyploidisierung

Aufgabe 14

In Partnerarbeit wirst du nun Forschungsbeispiele kennenlernen. Ihr sollt folgendermassen vorgehen: Zu zweit erhaltet ihr zwei Texte (3.3.1 und 3.3.2), welche Forschungsprojekte im Bereich Polyploidisierung aufzeigen. Ihr lest je einen Text durch. Danach berichtet ihr euch gegenseitig, was ihr gelesen habt und diskutiert bei Bedarf darüber. Zum Abschluss löst ihr gemeinsam das Forschungsbeispiel unter 3.3.3.

3.3.1 Polyploidie beeinflusst die Genregulation von Kulturweizen

Bereits um 7000 vor Chr., so belegen Funde aus alten Gräbern, versuchte der Mensch den Weizen durch Züchtung zu verbessern. Der ursprüngliche Wildweizen trug nur eine einzeilige Kornreihe und sein Korn war von harten Spelzen umgeben, die durch einen zusätzlichen Arbeitsschritt entfernt werden mussten. Wegen seiner brüchigen Ährchengabel, liessen sich die ursprünglichen Weizenarten nicht dreschen. Die reife Wildweizenähre zerfiel stattdessen in die einzelnen Körner. Durch Selektion und Züchtung entstand der ertragreiche Weichweizen, *Triticum aestivum*. Dieser ist die weltweit am häufigsten angebaute Weizenart und wird als Brotweizen verwendet. Seine Anpassungsfähigkeit und ertragreichen Eigenschaften verdankt der Weichweizen einigen genetischen Besonderheiten. Durch Kreuzung zwischen dem Hartweizen und dem Ziegengras, verschmolzen die Chromosomensätze zweier Weizenarten und es entstand der hexaploide Weichweizen mit 42 Chromosomen ($2n=6x=42$, AABBDD).

Die zusätzlich gewonnenen Genkopien konnten sich im Laufe der Evolution durch Mutationen auf neue Aufgaben spezialisieren und der Pflanze auf diese Weise neue Eigenschaften verleihen.

Eine wichtige Rolle bei der Entstehung neuer Eigenschaften spielt die Genregulation. Das Q-Gen verschlüsselt die genetische Information für einen Genregulator, der Gene aktiviert, die wichtige Eigenschaften des Weizens steuern.

Moderne Weizenarten haben in dem Q-Gen eine Mu-

tion. Diese Mutation und die damit verbundene Veränderung des Genregulators verleiht dem Weichweizen die Eigenschaften, die ihn für das maschinelle Dreschen so geeignet machen. Obwohl nur die Q-Gene auf dem Chromosomensatz A die typische Weizenmutation tragen, scheinen auch die Genkopien auf den Chromosomensätzen B und D für die leichte Dreschbarkeit des Weichweizens entscheidend zu sein.

Zu diesem Ergebnis kamen die Pflanzenforschenden, als sie die Q-Gene des Chromosomensatzes A, B, oder D nacheinander aus dem Weizengenom deletierten. Bei allen drei Genorten (A, B oder D) führte das Fehlen der Q-Gene zu einer Verhinderung der leichten Dreschbarkeit. Erstaunlicherweise galt dies auch für das Q-Gen des Chromosomensatzes B, obwohl das Q-Gen dort durch einen fehlenden Genabschnitt keinen funktionstüchtigen Genregulator mehr produzieren kann. Aus ihrer Studie folgern die Forschenden, dass die bekannte Mutation des Q-Gens auf dem Chromosomensatz A nicht die einzige Ursache der typischen Weichweizeneigenschaften sein kann, wie bislang angenommen wurde, sondern eine komplexe Genregulation verantwortlich ist. Dies würde erklären, warum die leichte Dreschbarkeit nur in polyploiden Weizenarten vorkommt, obwohl die Q-Gen-Mutation auch in diploiden Weizenpflanzen vorhanden sein kann.

Quelle: Text gekürzt nach Pflanzenforschung.de (2011).

Original Publikation: Zhang, Z. *et al.* (2011).

3.3.2 Polyploidisierung ging der Domestikation voraus

Viele höhere Pflanzen, insbesondere wichtige Kulturarten bzw. -sorten sind polyploid. Zu ihnen zählen Weizen und Hafer, Baumwolle, Zuckerrohr und Kartoffel und verschiedene Obst- und Gemüsearten.

Die Frage, ob der Domestizierung einst eine Phase mehrerer Polyploidisierungsereignisse vorausging oder umgekehrt, beschäftigt Pflanzenforschende seit Jahrzehnten. Dass dem so ist, verwundert nicht. Schliesslich sind die Unterschiede oft selbst für Laien mit blossem Auge erkennbar, weshalb ihnen vermutlich auch unsere Vorfahren bei der Selektion den Vorzug gaben. So sind polyploide Pflanzen häufig grösser, kräftiger und vitaler als ihre diploiden Verwandten, tragen grössere Samen, kommen besser mit verschiedenen, teils widrigen Umweltbedingungen zurecht und halten auch einem höheren Schädlingsdruck stand. Es ist nicht nur das Mehr eines Genprodukts durch die Vervielfachung der Genome, sondern auch der grössere und über die Zeit diversere Genpool.

Gemeinsam mit ihren Kolleginnen verglich Ayelet Salman

Minkov die Sequenzierungsdaten von 297 Kulturlinien mit denen von 2836 wilden Verwandten. Ihr Ansatz basierte darauf, die Zahl der Chromosomen zu vergleichen, um signifikante Veränderungen im Laufe der Evolution bzw. Domestizierung aufzuspüren und den wesentlichen Domestikationsschritten gegenüberzustellen. Am Ende galt es, insgesamt 474 Polyploidisierungsereignisse mit 197 Domestikationsschritten in eine chronologische Reihenfolge zu bringen. Man kann sich das Ergebnis wie einen Stammbaum vorstellen, dessen Linien nicht mehr nur die Verwandtschaftsverhältnisse zeigten, sondern auch, ob und wann sich der Chromosomensatz vervielfacht hatte. Während insgesamt 30% der untersuchten Nutzpflanzen polyploid waren, waren es bei den wilden Verwandten 24%. In Bezug auf die Frage, welcher der beiden Prozesse nun dem anderen vorausgegangen war, steht nun fest, dass die Mehrheit der 474 Polyploidisierungsereignisse vor der Domestizierung stattgefunden hatten. Genau genommen in 448 Fällen, also 95%. Die lang ersehnte Bestätigung für die Befürworter der «Polyploidization First»-Hypothese.

Quelle: Text gekürzt nach Pflanzenforschung.de (2016).
Original Publikation: Salman-Minkov, A. et al. (2016).

Exkurs: Genomforschung und Arbeiten mit polyploiden Pflanzen

Eine besondere Hürde ist nach wie vor die Sequenzierung polyploider Genome. Problematisch ist dabei die Kürze der sequenzierten Fragmente. Sie erschwert es, die Sequenz dem Ursprungsort zuzuordnen, da polyploide Genome aufgrund der vervielfachten Chromosomen zum einen grösser sind als diploide, und sich die Chromosomen darüber hinaus ähneln. Mit der Weiterentwicklung der Sequenziertechnologien werden nun immer grössere Fragmente sequenziert. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit den richtigen Ursprungsort zu finden und Verwechslungen zu vermeiden.

In einem weltweiten Sequenzierprojekt, dem Earth BioGenome Projekt, werden unter anderem 10'000 Pflanzengenome sequenziert. Die Sequenzen werden in Datenbanken gespeichert und mithilfe von Algorithmen analysiert. Ein Ziel ist es neue Genome mit umfangreichen Annotationen – also Vermerken – zu versehen, die Rückschlüsse über die Bedeutung der Sequenzabschnitte (=Gene) erlauben. Wo der Phänotyp bekannt ist, wird dieser direkt mit der entsprechenden Gensequenz verknüpft – beispielsweise ob ein Gen für eine Krankheitsresistenz relevant ist.

Quelle: Exposito-Alonso, M. et al. (2019).

3.3.3 Beobachtbare Evolution in der Schweiz

In der Schweiz, genauer gesagt auf dem Urnerboden, hat sich in den letzten 100 Jahren Spektakuläres ereignet. Betroffen davon sind verschiedene Arten von Schaumkräutern (*Cardamine sp.*). Das bittere Schaumkraut (*Cardamine amara*) bevorzugt feuchtere Standorte als das Gebirgs-Wiesen-Schaumkraut (*Cardamine rivularis*). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Landschaft des Urnerbodens stark vom Menschen beeinflusst, indem Wald gerodet, Wiesen gemäht und Boden entwässert wurde. So kamen die Populationen der beiden diploiden Elternarten in Kontakt und ein triploides Schaumkraut (*Cardamine insueta*) entstand. Diese triploide Pflanze ist teilweise fortpflanzungsfähig. Vor 50 Jahren wurde dann zum ersten Mal ein hexaploides Schaumkraut (*Cardamine schulzii*) gefunden und beschrieben. Vor 20 Jahren wurde eine weitere Art entdeckt (*Cardamine pratensis*), welche tetraploid ist.

Siehe auch UZH Medienmitteilung vom 06.10.2020.

<https://www.media.uzh.ch/de/medienmitteilungen/2020/Urnerboden.html>

Aufgabe 15

Die Forschenden nehmen an, dass sich die tri-, tetra- und hexaploiden Arten auf dem Urnerboden halten konnten, da dieser immer noch durch menschliche Tätigkeiten beeinflusst wird.

Stelle eine Hypothese auf, warum dies so sein könnte.

Die beiden diploiden Schaumkrautarten (*C. amara* und *C. rivularis*) besitzen je 16 Chromosomen. Die Forschenden wollten nun untersuchen, von welchem Elternteil die triploide Pflanze, welche 24 Chromosomen besitzt, ihr Erbgut vererbt bekommen hat. Die Forscher haben dazu die Chromosomen der triploiden Pflanzen (*Cardamine insueta*) mit einem Fluoreszenzfarbstoff markiert und zwar so, dass die von *C. amara* rot leuchten, während die von *C. rivularis* grün leuchten.

Quelle: Mandáková T. *et al.* (2013).

Aufgabe 16

Betrachte die mikroskopische Aufnahme von Chromosomen des triploiden Schaumkrautes (*C. insueta*) in Abb. 10. Haben die beiden Elternarten (*C. amara* und *C. rivularis*) gleich viel genetisches Material beigetragen?

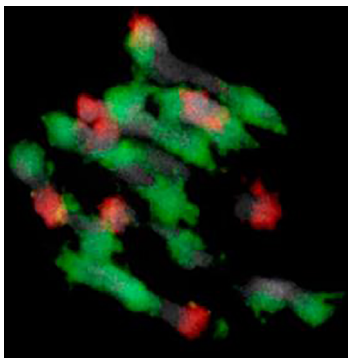


Abb. 10: Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH)-Färbung der Chromosomen von *C. amara* (rot) und *C. rivularis* (grün) in der Metaphase I.

Bei den tetraploiden Pflanzen (*C. pratensis*) wurden auch die Chromosomen untersucht. Es wurde festgestellt, dass keiner der vier Chromosomensätze von *C. amara* und *C. rivularis* stammen. Fassen wir die bisherigen Erkenntnisse zusammen:

- *C. rivularis*, diploid, 16 Chromosomen, Chromosomensatz RR
- *C. amara*, diploid, 16 Chromosomen, Chromosomensatz AA
- *C. insueta*, triploid, 24 Chromosomen, Chromosomensatz RRA
- *C. pratensis*, tetraploid, 30 Chromosomen, Chromosomensatz PPPP

Sicherlich hast du bemerkt, dass die tetraploide Art nicht 32 sondern 30 Chromosomen besitzt.

Aufgabe 17

Stelle eine Hypothese auf, wie *C. pratensis* zu ihren 30 Chromosomen gekommen ist.

Von wem stammen die Chromosomensätze des hexaploiden Schaumkrautes (*C. schulzii*)? Lange ging man davon aus, dass es sich um einen verdoppelten Satz der triploiden Pflanze (*C. insueta*) handelt. Untersuchungen zeigten jedoch, dass die hexaploide *C. schulzii* 46 Chromosomen hat und mindestens einen A, einen R und einen P Chromosomensatz besitzt.

Aufgabe 18

Wie sieht der Chromosomensatz von *C. schulzii* aus?

Aufgabe 19

Versuche das folgende Schema auszufüllen, dass gleichzeitig eine Zusammenfassung des ganzen Kapitels ist.

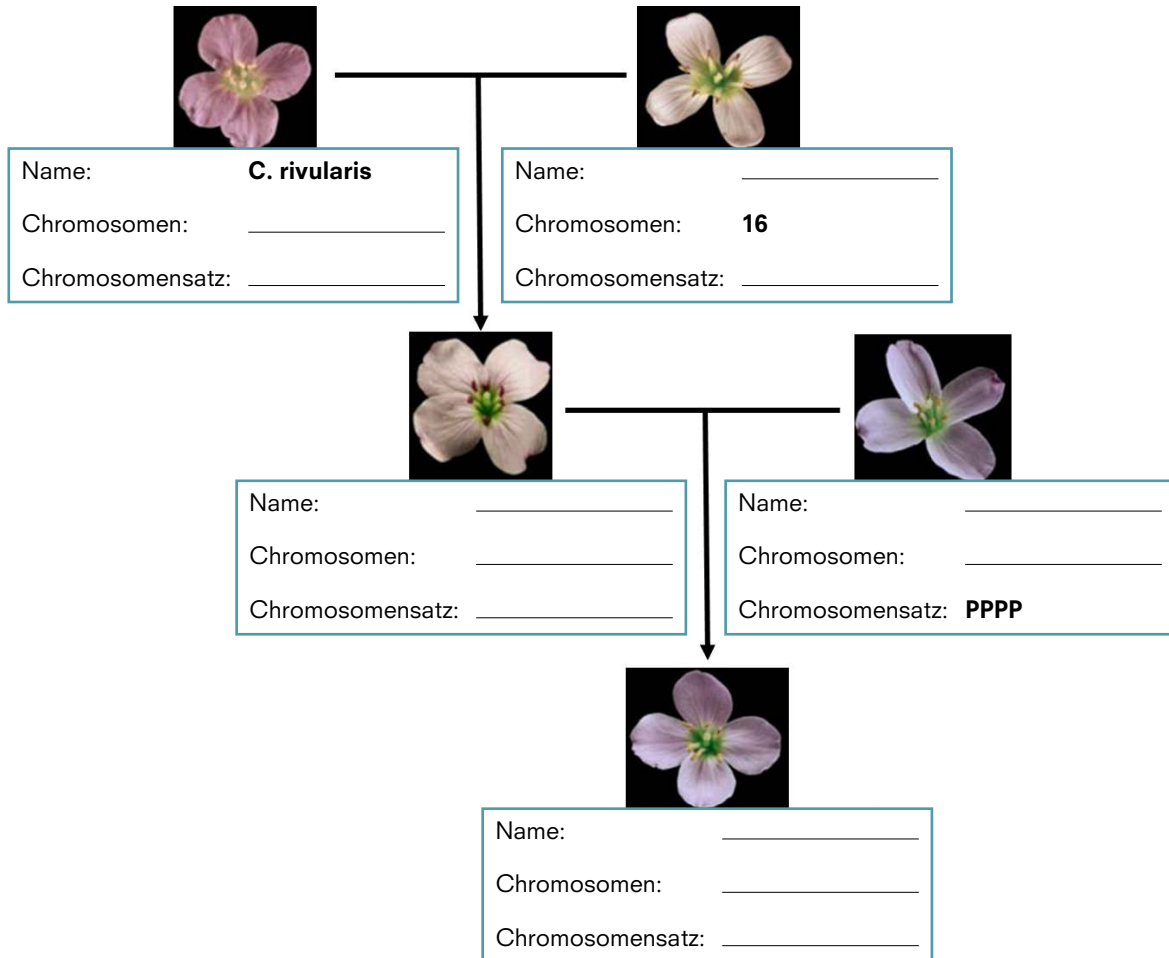


Abb. 11: Evolution von *Cardamine schulzii*.

Zusatzaufgabe

Gib bei allen fünf oben beschriebenen Pflanzen an, ob diese allopolyploid, autopolyploid oder weder das Eine noch das Andere sind.

Metakognitionsaufgaben

- 1** Hast du verstanden, was die Vor- und Nachteile der Polyploidie für eine Pflanze sind? Erkläre es deiner Banknachbarin oder deinem Banknachbarn, die / der dir am Ende ein Feedback zu deiner Erklärung gibt.
- 2** Hast du verstanden, warum die Polyploidisierung eng mit Kulturpflanzen verbunden ist? Schreibe einen Miniaufsatz in drei Sätzen, der diesen Punkt thematisiert.
- 3** Gibt es einen Punkt, der dir noch nicht klar ist? Welche Möglichkeiten gibt es, die dir helfen könnten, diesen Punkt besser zu verstehen? Wie könntest du die nötigen Informationen beschaffen?

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Diploide und tetraploide Wassermelone (Laubblatt und Blüte). http://plantbreeding.coe.uga.edu/index.php?title=File:5_5.jpg in: Meru, G. (2012). Polyploidy and its implications in plant breeding. https://www.researchgate.net/figure/A-comparison-between-the-leaf-and-flower-of-a-A-diploid-and-B-induced-tetraploid_fig3_256199268 (Aufgerufen 28.9.20), CC BY-NC-SA 3.0

Abb. 2: Eineiige Zwillinge. Fotograf: Armin Kübelbeck, CC-BY-SA, Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Methe_Methe_Pritschow_Pritschow_01.jpg (Aufgerufen 10.8.20)

Abb. 3: Efeu. Carl Axel Magnus Lindmann / Wikimedia Commons, gemeinfrei, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Hedera_helix_murgr%C3%B6na.jpg (Aufgerufen 10.8.20)

Abb. 4: Offene und geschlossene Spaltöffnung. KuriPop / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stomata_open_close.jpg (Aufgerufen 10.8.20)

Abb.5: Schild-Wasserhahnenfuss (*Ranunculus peltatus*). Christian Fischer / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0 <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:RanunculusPeltatus2.jpg>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:RanunculusPeltatus3.jpg>
(Aufgerufen 10.8.20)

Abb. 6: Zellen mit verschiedenen Chromosomensätzen. Talos / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polyploidie.svg> (Aufgerufen 10.8.20)

Abb. 7: Chromosomensatz von trisomie 21. National Human Genome Research Institute / Wikimedia Commons, gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Trisomie_21_Genom-Schema.gif (Aufgerufen 10.8.20)

Abb. 8: Diploide und tetraploide Tomate. Illustration von Alexandra Rosakis

Abb. 9: Diploider und triploider Mais. Bild von Edward T. Himmelblau, California Polytechnic State University

Abb. 10: Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH)-Färbung der Chromosomen von *C. amara* (rot) und *C. rivularis* (grün) in der Metaphase I. Ausschnitt der Abbildung 2 in: Mandáková, T. *et al.* (2013). The more the merrier: Recent hybridization and polyploidy in Cardamine. *Plant Cell* 25: 3280–3295. Copyright American Society of Plant Biologists; www.plantcell.org (Aufgerufen 10.8.20)

Abb. 11: Evolution von *Cardamine schulzii*. Adaptiert nach Mandáková, T. *et al.* (2013). The more the merrier: Recent hybridization and polyploidy in Cardamine. *Plant Cell* 25: 3280–3295. Copyright American Society of Plant Biologists; www.plantcell.org (Aufgerufen 10.8.20)

Literaturverzeichnis

Comai, L. (2005). The advantages and disadvantages of being polyploid. In: Nature Reviews Genetics 6: 836–846. <https://www.nature.com/articles/nrg1711>

Exposito-Alonso, M. *et al.* (2019). The Earth BioGenome project: opportunities and challenges for plant genomics and conservation. In: The Plant Journal. <https://doi.org/10.1111/tpj.14631>

Fang, Z. and Morell, P. (2016). Domestication: Polyploidy boosts domestication. In: Nature Plants, Vol. 2 (Art. Nr. 16116). <https://www.nature.com/articles/nplants2016116>

Hermann, G., *Planta*, 35. Bd., 1./2. H. (1947), pp. 177-187. <http://www.jstor.org/stable/23363071> (19.10.20)

Leitch A. R. and Leitch I. J. (2008). Genomic plasticity and the diversity of polyploid plants. In: Science, Vol. 320: 481–483. <https://doi.org/10.1126/science.1153585>

Mandáková T. *et al.* (2013). The more the merrier: Recent hybridization and polyploidy in Cardamine. In: Plant Cell 25: 3280–3295. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.114405>

Redaktion Pflanzenforschung.de (2011): Genetische Vielfalt: Polyploidie beeinflusst die Genregulation von Kulturweizen. <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/genetische-vielfalt-polyploidie-beeinflusst-die-genregu-1576> (10.8.2020)

Redaktion Pflanzenforschung.de (2016): «Polyploidization First»: Polyploidisierung ging der Domestikation voraus. <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/polyploidization-first-polyploidisierung-ging-der-domes-10678> (10.8.2020)

Salman-Minkov, A. *et al.* (2016). Whole-genome duplication as a key factor in crop domestication. In: Nature Plants, Vol. 2 (Art. Nr. 16115). <https://www.nature.com/articles/nplants2016115>

UZH Medienmitteilung vom 06.10.2020. Evolution in Aktion: Neue Pflanzenart im Urnerboden <https://www.media.uzh.ch/de/medienmitteilungen/2020/Urnerboden.html>

Zhang, Z. *et al.* (2011). Duplication and partitioning in evolution and function of homoeologous Q loci governing domestication characters in polyploidy wheat. In: PNAS, 108 (46): 18737–18742. <https://doi.org/10.1073/pnas.1110552108>

Weiterführende Links für Lehrpersonen

Schürmann-Kälin, I., Rosakis, A., Schumacher, R., Dahinden, M., (2020). **Plant Science Discovery Workshops: Lerneinheit #8 Genome editing**. Zurich-Basel Plant Science Center. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000406048>

Die Lerneinheit «Genome Editing – Zur Erzeugung von genetischer Vielfalt im landwirtschaftlichen Anbau» thematisiert die Bedeutung von genetischer Diversität in der Pflanzenzucht. Es werden die verschiedenen Züchtungsmethoden vorgestellt. Dazu gehören: Konventionelle Kreuzungszüchtung, Präzisionszüchtung, Mutationszüchtung, Gentechnologie mit: a. Cisgenetik und b. Transgenetik sowie Genome Editing mit CRISPR/Cas9.

Film, der die Diplohaploidität bei Mais erklärt <https://www.youtube.com/watch?v=V2jOEuZjjrg> (10.8.2020)

Was hält das Brot zusammen? In: **Pflanzenwissenschaftliche Experimente für Familien und Schulklassen**. Manuela Dahinden und Melanie Paschke (Hrsg.). Zurich-Basel Plant Science Center (2019). Zürich: ISBN: 978-3-906327-05-1. <https://www.plantsciences.uzh.ch/de/experimente/forschungsbasierteslernen.html>

Vor- und Nachtest zum Thema Adaptive Evolution

Name:

Datum:

Klasse / Schule:

weiblich

männlich

Wichtige Hinweise

Lesen Sie die folgenden Aufgaben sorgfältig durch, ohne sich zu lange bei einer einzelnen Aufgabe aufzuhalten. Bei den folgenden Fragen können jeweils **mehrere** Antworten richtig sein. Kreuzen Sie die richtigen Antworten an. Versuchen Sie, alle Aufgaben zu lösen.

© MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

1. Evolution ...

- greift am Phänotypen an.
- bevorzugt direkt bestimmte Mutationen der DNA.
- findet beim Menschen kaum mehr statt.
- ist eher bei diploiden Organismen zu beobachten als bei haploiden.
- ist eng mit dem Polyploidisierungsgrad verknüpft.

2. Das Aussehen einer Pflanze hängt ...

- von den Genen der Pflanze ab.
- von der Umwelt ab, in der die Pflanze wächst.
- sowohl von den Genen wie auch von der Umwelt ab.
- nur von den Genen ab.
- nur von der Umwelt ab.

3. Unter welchen Umständen kann in einer einzigen Generation eine neue Art entstehen?

- Wenn eine geografische Isolation gegeben ist.
- Wenn es sich um eine sehr grosse Population handelt, die über ein weites Gebiet verstreut ist.
- Wenn eine Veränderung in der Chromosomenzahl eine Fortpflanzungsbarriere schafft.
- Wenn eine Mutation die Geschlechtschromosomen betrifft.
- Wenn eine Mutation ein wichtiges Merkmal wie die Schnabellänge betrifft.

4. Auf einer Wiese wachsen viele Pflanzen der gleichen Art. Nach einem regenreichen Monat folgt eine sehr trockene Zeit. Welche Aussagen treffen für eine einzelne Pflanze zu:

- Um die trockene Zeit zu überleben ist sowohl die genotypische Variation wie auch die phänotypische Plastizität wichtig.
- Es werden nur die Pflanzen überleben, welche die passenden Allele an ihre Nachkommen weitervererben werden.
- Um die trockene Zeit zu überleben, ist nur die genotypische Variation wichtig.
- Um die trockene Zeit zu überleben, ist nur die phänotypische Plastizität wichtig.
- Es werden nur die Pflanzen überleben, welche spezielle Gene von ihren Eltern erhalten haben.

5. Polyploidie...

- kommt nur bei Pflanzen vor.
- kommt nur bei Tieren vor.
- kommt bei Pflanzen und Tieren vor.
- kommt nur beim Menschen vor.
- kommt weder bei Pflanzen noch bei Tieren vor.

6. Pflanzenart A hat eine Diploidzahl von 12, Pflanzenart B von 16. Über Allopolyploidisierung von A und B entsteht eine neue Art C. Die Diploidzahl dieser Art C ist wahrscheinlich

- ... 12
- ... 14
- ... 16
- ... 28
- ... 56

7. Es gibt heptaploide Pflanzen, welche einen siebenfachen Chromosomensatz besitzen. Für diese Pflanzen ist typisch, ...

- dass sie sehr viel Pollen produzieren.
- dass sie sich vorwiegend mit Pflanzen kreuzen, die einen vierfachen Chromosomensatz besitzen.
- dass sie evolutiv ohne geographische Trennung entstanden sind.
- dass sie aus der Kreuzung einer hexaploiden (sechs Chromosomensätze) und einer oktaploiden (acht Chromosomensätze) Pflanze der gleichen Art entstanden sind.
- dass sie aus der Kreuzung von zwei Arten aus verschiedenen Pflanzenfamilien entstanden sind, welche ebenfalls oft heptaploid sind.

8. Betrachte den Chromosomensatz. Welche Aussagen dazu sind korrekt?



- Der Chromosomensatz ist haploid.
- Der Chromosomensatz stammt von einer menschlichen Frau.
- Der Chromosomensatz enthält eine Trisomie.
- Der Chromosomensatz enthält eine Mutation.
- Der Chromosomensatz ist triploid.

9. Nicht weniger als 500 neue Buntbarsch-Arten sind im ostafrikanischen Viktoriasee in den letzten 15'000 Jahren entstanden. Welche Aussagen könnten zutreffen?

- Durch die komplette Durchmischung zweier eingewanderten Buntbarsch-Arten wären viele Neukombinationen von Genvarianten möglich.
- Die neuen Arten prägen ihrerseits selber ihr Umfeld, so dass neue ökol. Nischen entstehen.
- Die neuen Arten könnten andere Arten verdrängt haben.
- Die Vielzahl der Arten entstand wahrscheinlich durch wiederholte Polyploidisierung.
- Die Änderung eines Umweltfaktors (z. B. Wassertemperatur) könnte dies möglich gemacht haben.

Lösungen

Aufgabe 1

1. Hauptsächlich genetische Ursachen (= doppelter Chromosomensatz) führen zum unterschiedlichen Aussehen, da die Umweltbedingungen, wenn auch nicht identisch, sicher sehr ähnlich waren.
2. Da es sich um eineiige Zwillinge handelt, besitzen sie dieselben Erbanlagen. Jedoch trägt auch die Umwelt (z. B. Ernährung oder UV-Strahlung) zum Phänotyp bei.
3. Da die Laubblätter derselben Pflanzen sehr unterschiedlich aussehen können, wird dies durch die Umwelt induziert. Jedoch muss die Information, das Programm für den unterschiedlichen Bau, genetisch vorgegeben sein.

Aufgabe 2

Vorwiegend von den Genen bestimmt: Geschlecht des Menschen, Blutgruppe, Haar-, Augenfarbe, ...
Vorwiegend von der Umwelt bestimmt: Anfälligkeit für Infektionskrankheiten, Körpergewicht des Menschen, ...

Aufgabe 3

Kontinuierlich: Hautfarbe des Menschen, Grösse des Menschen, Intelligenz, ...
Diskontinuierlich: Geschlecht, Blutgruppen, ...

Aufgabe 4

Eine Veränderung des Phänotyps wird meist an die nächste Generation vererbt werden, wenn die Ursachen im Erbgut (Genotyp) zu finden sind. Modifikatorische bzw. umweltbedingte Veränderungen können im Normalfall nicht an die nächste Generation weitervererbt werden, da diese keine dauerhaften Auswirkungen auf die DNA besitzen.

Anmerkung: Zusätzliche Möglichkeiten wie Epigenetik usw. werden hier vernachlässigt.

Aufgabe 5

Die Dichte der Spaltöffnungen ist vor allem wichtig, um den Wasserhaushalt einer Pflanze zu regulieren. Daher ist eine hohe Dichte von Spaltöffnungen an einem feuchteren Standort zu erwarten und eine geringere Dichte an einem trockeneren Standort.

Aufgabe 6

Pflanzen benötigen eine höhere phänotypische Plastizität, da sie weniger mobil sind. Sie brauchen Toleranz gegenüber verschiedenen Umweltfaktoren. Derselbe Genotyp kann in verschiedenen Umwelten ganz verschiedene Phänotypen entwickeln.

Aufgabe 7

Links oben: haploid
Rechts: hexaploid

Aufgabe 8

(Diploider) Chromosomensatz, wobei das Chromosom 21 im Gegensatz zu allen anderen Chromosomen dreifach vorhanden ist.

Aufgabe 9

Die Schüler werden mit plakativen Bildern und Texten so beeinflusst, dass auf den ersten Blick die Vorteile der Polyploidie überwiegen. Hilfe der Lehrperson oder durch Aussagen kritischer Schülerinnen und Schüler, werden auch die negativen Aspekte der Polyploidie thematisiert. Diese werden innerhalb der Lektion 2 erneut aufgegriffen und vertieft. Es geht bei diesem Einstieg nicht darum, schon alle Vor- oder Nachteile von Polyploidie zu benennen, jedoch sollten alle Schülerinnen und Schüler verstehen, dass Polyploidie sowohl Vor- als auch Nachteile besitzt.

Ebenso ist es der Lehrperson überlassen, hier bereits eine Differenzierung zwischen Wild- und Kulturpflanzen zu treffen.

Aufgabe 10

In den Reifeteilungen der Meiose, die zu Keimzellen führt, wird der Chromosomensatz halbiert. Bei einer geraden Anzahl von Chromosomensätzen ist dies problemlos möglich. Bei einer ungeraden Anzahl von Chromosomensätzen ist eine Halbierung nicht möglich. Oft können Pflanzen mit ungeraden Chromosomensätzen deshalb keine Keimzellen bilden.

Aufgabe 11

Eine Generation reicht aus, da dann der Genpool zwischen den tetraploiden und diploiden Nachkommen schon getrennt ist. Aus den diploiden Individuen entstehen haploide Keimzellen, die sich nicht mit den diploiden Keimzellen der tetraploiden Individuen kreuzen können. Damit ist die Voraussetzung der Artbildung erfüllt. Die Individuen der beiden Arten können sich nicht mehr kreuzen.

Annahme: Die Triploiden sind steril und die Häufigkeit, dass es zu erneuter Polyploidisierung kommt, ist gering.

Aufgabe 12

Da polyploide Arten aufgrund der erhöhten Allelzahl in der Regel besser an schwankenden Umweltfaktoren angepasst sind, ist anzunehmen, dass sie für die Nahrungsmittelversorgung eine (noch) wichtige(re) Rolle spielen werden.

Aufgabe 13

1. Wenn der osmotische Wert sinkt, verlieren die Zellen z. B. ihre Frostresistenz. Die Riesenfrüchte vieler Kulturpflanzen schmecken wässriger als entsprechende Wildformen.
2. Dies führt zu verminderten Wachstumsraten.
3. Grössere Pflanzen haben bei der Konkurrenz um Licht Vorteile. Zwergwuchs bringt in dieser Hinsicht Nachteile.
4. Für spätblühende Arten kann die Verzögerung bedeuten, dass sie die Samenbildung nicht vor einem Kälteeinbruch abschliessen können.

Aufgabe 15

Durch die menschlichen Tätigkeiten werden neue ökologische Nischen geschaffen, welche von den Nischen der Elternarten abweichen und gegebenenfalls auch stärkeren Schwankungen unterworfen sind. Unter diesen Bedingungen ist es von Vorteil, wenn die Nachkommen die Gene bzw. Allele beider Elternarten zur Verfügung haben, so dass diejenigen exprimiert werden, die unter den aktuellen Umweltbedingungen vorteilhaft sind.

Aufgabe 16

Nein, es können exakt acht rot und zirka 16 grün gefärbte Chromosomen gezählt werden. Daher stammen 16 Chromosomen von *C. rivularis* und acht von *C. amata*.

Aufgabe 17

Es sind je nach Wissenstand verschiedene Hypothesen denkbar. Korrekt ist: Zwei Chromosomen haben sich verbunden. Als weiteres Beispiel kann das Chromosom 2 des Menschen angeführt werden, dass auch aus einer Fusion entstanden ist, daher hat der Mensch $2n=46$ während die anderen Menschenaffen $2n=48$ Chromosomen besitzen.

Aufgabe 18

Man würde annehmen, dass *C. schulzii* 48 Chromosomen besitzen würde mit dem Chromosomensatz RRRRAA. Mit kleiner Wahrscheinlichkeit könnte natürlich auch hier eine oder mehrere Fusionen von Chromosomen stattgefunden haben.

Zusatzaufgabe

C. rivularis, diploid; daher keine Polyploidisierung, also weder noch.

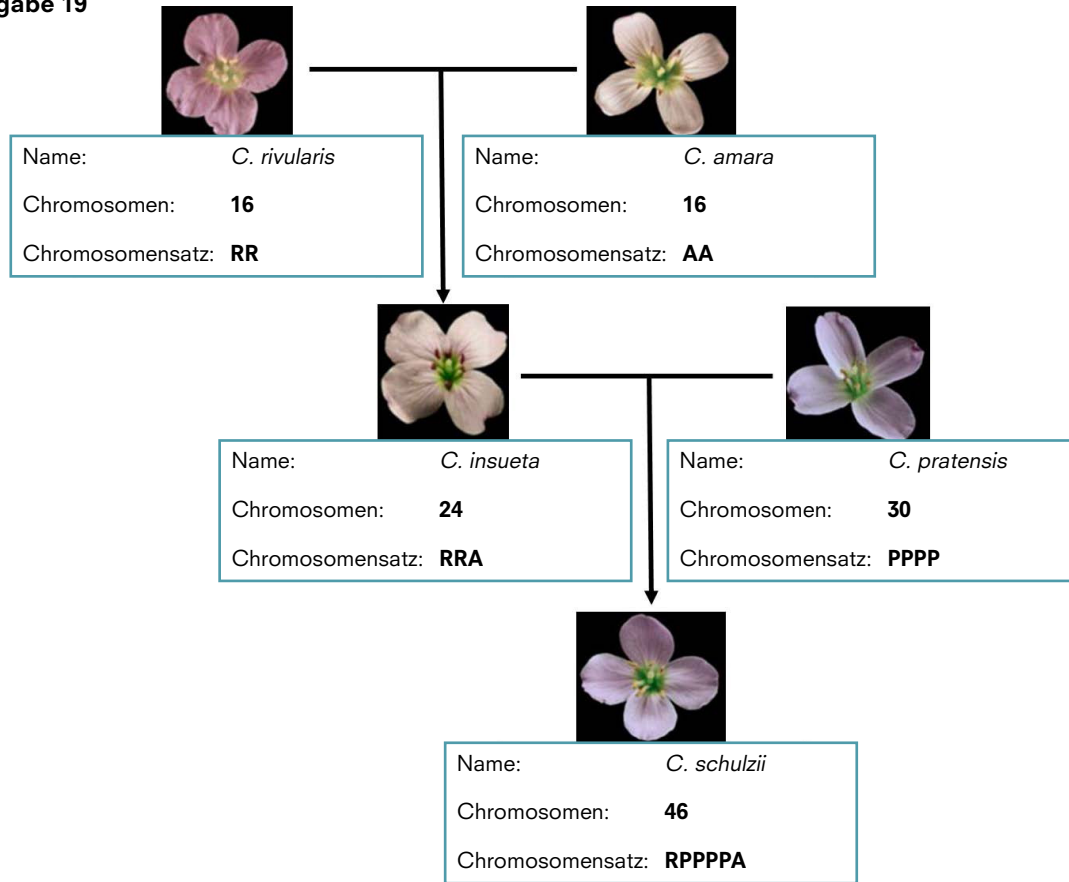
C. amara, diploid; daher keine Polyploidisierung, also weder noch.

C. insueta, triploid; allopolyploid RRA.

C. pratensis, tetraploid ; autopolyploid PPPP.

C. schulzii, hexaploid ; allopolyploid RPPPPA.

Aufgabe 19



1. Evolution ...

- greift am Phänotypen an.
- bevorzugt direkt bestimmte Mutationen der DNA.
- findet beim Menschen kaum mehr statt.
- ist eher bei diploiden Organismen zu beobachten als bei haploiden.
- ist eng mit dem Polyploidisierungsgrad verknüpft.

2. Das Aussehen einer Pflanze hängt ...

- von den Genen der Pflanze ab.
- von der Umwelt ab, in der die Pflanze wächst.
- sowohl von den Genen wie auch von der Umwelt ab.
- nur von den Genen ab.
- nur von der Umwelt ab.

3. Unter welchen Umständen kann in einer einzigen Generation eine neue Art entstehen?

- Wenn eine geografische Isolation gegeben ist.
- Wenn es sich um eine sehr grosse Population handelt, die über ein weites Gebiet verstreut ist.
- Wenn eine Veränderung in der Chromosomenzahl eine Fortpflanzungsbarriere schafft.
- Wenn eine Mutation die Geschlechtschromosomen betrifft.
- Wenn eine Mutation ein wichtiges Merkmal wie die Schnabellänge betrifft.

4. Auf einer Wiese wachsen viele Pflanzen der gleichen Art. Nach einem regenreichen Monat folgt eine sehr trockene Zeit. Welche Aussagen treffen für eine einzelne Pflanze zu:

- Um die trockene Zeit zu überleben ist sowohl die genotypische Variation wie auch die phänotypische Plastizität wichtig.
- Es werden nur die Pflanzen überleben, welche die passenden Allele an ihre Nachkommen weitervererben werden.
- Um die trockene Zeit zu überleben, ist nur die genotypische Variation wichtig.
- Um die trockene Zeit zu überleben, ist nur die phänotypische Plastizität wichtig.
- Es werden nur die Pflanzen überleben, welche spezielle Gene von ihren Eltern erhalten haben.

5. Polyploidie...

- kommt nur bei Pflanzen vor.
- kommt nur bei Tieren vor.
- kommt bei Pflanzen und Tieren vor.
- kommt nur beim Menschen vor.
- kommt weder bei Pflanzen noch bei Tieren vor.

6. Pflanzenart A hat eine Diploidzahl von 12, Pflanzenart B von 16. Über Allopolyploidisierung von A und B entsteht eine neue Art C. Die Diploidzahl dieser Art C ist wahrscheinlich

- ... 12
- ... 14
- ... 16
- ... 28
- ... 56

7. Es gibt heptaploide Pflanzen, welche einen siebenfachen Chromosomensatz besitzen. Für diese Pflanzen ist typisch, ...

- dass sie sehr viel Pollen produzieren.
- dass sie sich vorwiegend mit Pflanzen kreuzen, die einen vierfachen Chromosomensatz besitzen.
- dass sie evolutiv ohne geographische Trennung entstanden sind.
- dass sie aus der Kreuzung einer hexaploiden (sechs Chromosomensätze) und einer oktaploiden (acht Chromosomensätze) Pflanze der gleichen Art entstanden sind.
- dass sie aus der Kreuzung von zwei Arten aus verschiedenen Pflanzenfamilien entstanden sind, welche ebenfalls oft heptaploid sind.

8. Betrachte den Chromosomensatz. Welche Aussagen dazu sind korrekt?

- Der Chromosomensatz ist haploid.
- Der Chromosomensatz stammt von einer menschlichen Frau.
- Der Chromosomensatz enthält eine Trisomie.
- Der Chromosomensatz enthält eine Mutation.
- Der Chromosomensatz ist triploid.

9. Nicht weniger als 500 neue Buntbarsch-Arten sind im ostafrikanischen Viktoriasee in den letzten 15'000 Jahren entstanden. Welche Aussagen könnten zutreffen?

- Durch die komplette Durchmischung zweier eingewanderten Buntbarsch-Arten wären viele Neukombinationen von Genvarianten möglich.
- Die neuen Arten prägen ihrerseits selber ihr Umfeld, so dass neue ökol. Nischen entstehen.
- Die neuen Arten könnten andere Arten verdrängt haben.
- Die Vielzahl der Arten entstand wahrscheinlich durch wiederholte Polyploidisierung.
- Die Änderung eines Umweltfaktors (z. B. Wassertemperatur) könnte dies möglich gemacht haben.

MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

Das MINT-Lernzentrum ist Teil des ETH-Kompetenzzentrums für Lehren und Lernen, EducETH. Das Ziel des MINT-Lernzentrums der ETH Zürich besteht darin, das schulische Lernangebot in den MINT-Bereichen nachhaltig zu optimieren. Dazu werden in Zusammenarbeit mit erfahrenen Lehrpersonen Unterrichtseinheiten und -materialien zu wichtigen und anspruchsvollen Themenbereichen entwickelt sowie an den Schulen implementiert.

Aktuelle Angebote finden Sie hier:

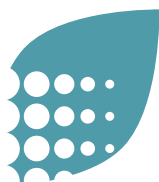
www.educ.ethz.ch/lernzentren/mint-lernzentrum/ueber-das-mint-lernzentrum.html

Zurich-Basel Plant Science Center

Das Zurich-Basel Plant Science Center ist ein Kompetenzzentrum für Pflanzenwissenschaften an den drei Hochschulen ETH Zürich, Universität Zürich und Universität Basel. Es umfasst 40 Forschungsgruppen mit rund 600 Forschenden. Das Zentrum fördert sowohl Grundlagenforschung, wie auch angewandte Forschung in den vielseitigen Disziplinen der Pflanzenwissenschaften. Das Zurich-Basel Plant Science Center bietet ein breites Angebot an Workshops, Exkursionen und Freizeitaktivitäten für LehrerInnen, Familien, Schulklassen und interessierte Personen an, mit der Möglichkeit, Pflanzenforschung zu erleben und mit WissenschaftlerInnen vor Ort zu diskutieren.

Aktuelle Angebote finden Sie hier:

www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach



SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG

Unterstützung

Die Plant Science Discovery Workshops wurden unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds.

Agora Grant Nr. 158542: PSC Discovery Programm für Jugendliche.

Copyright

© Zurich-Basel Plant Science Center
Discovery Workshop: Adaptive Evolution, 2020

Die Inhalte der Lerneinheit sind unter CC BY-NC-SA 4.0 verfügbar.

Zitiervorschlag

Faller, P., Paschke, M., Rapo, C., Schumacher, R., Dahinden, M. (2020). Plant Science Discovery Workshops: Lerneinheit #6 Adaptive Evolution. Zurich-Basel Plant Science Center.
<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000431653>

Herausgeber

Zurich-Basel Plant Science Center
Geschäftstelle, ETH Zürich, TAN D 5.2
Tannenstrasse 1
8092 Zürich
Schweiz
+41 44 632 23 33
info-plantscience@ethz.ch
www.plantsciences.ch

Autorenschaft

Patrick Faller (Fachdidaktiker für Biologie am MINT-Lernzentrum an der ETH Zurich), Dr. Manuela Dahinden and Dr. Melanie Paschke (Zurich-Basel Plant Science Center)

Beitragende

Dr. Ralph Schumacher (ETH MINT-Lernzentrum), Dr. Carole Rapo (Zurich-Basel Plant Science Center)

Weitere Lernmaterialien

www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/atschool/discovery