

The background features a close-up of a blue microscope on the left and a smartphone with a Wi-Fi symbol on the right. A large red arrow points upwards from the bottom right towards the smartphone. The text 'MEHR ERFAHREN' is written in white on a dark green banner that is tilted upwards.

**MEHR  
ERFAHREN**

**ABITUR-TRAINING**

Gymnasium · Gesamtschule

**Biologie 2**

NRW

Angewandte Genetik  
Evolutionsbiologie

**STARK**

# Inhalt

Vorwort

<b>Angewandte Genetik</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Gentechnik – Organismen, Werkzeuge und Methoden</b> .....	<b>2</b>
1.1 Werkzeuge und Methoden der Gentechnik .....	3
1.2 Gewinnung eines Gens und sein Transfer in Bakterienzellen .....	5
1.3 Suche nach spezifischen Bakterienzellen mittels Stempeltechnik .....	9
1.4 Kultivierung von Bakterienzellen mittels Verdünnungsreihen .....	11
 1.5 Polymerase-Kettenreaktion (PCR) .....	12
1.6 Elektrophorese – ein Verfahren zur Molekültrennung .....	15
1.7 Sequenzierungsmethoden .....	16
1.8 DNA-Chips .....	20
1.9 Der genetische Fingerabdruck .....	21
 Zusammenfassung .....	24
 Aufgaben .....	24
<b>2 Chancen und Risiken der Gentechnik und -diagnostik</b> .....	<b>30</b>
2.1 Einsatz der Gentechnik bei Mikroorganismen und Viren .....	30
2.2 Transgene Pflanzen und Tiere .....	33
2.3 Gendiagnostik – Chancen und Risiken .....	36
2.4 Gentherapie beim Menschen .....	39
 Zusammenfassung .....	40
 Aufgaben .....	41
<b>3 Biologisch-medizinische Reproduktionsverfahren</b> .....	<b>43</b>
3.1 Verfahren .....	43
3.2 Ethische und juristische Fragen und Probleme .....	44
 Zusammenfassung .....	45
 Aufgaben .....	45
<b>4 Aspekte der Zytogenetik in der Humanbiologie</b> .....	<b>46</b>
4.1 Stammzellen .....	46
4.2 Meiose und Befruchtung .....	48
4.3 Rekombinationen .....	51
Exkurs: Methoden der klassischen Genetik .....	53

4.4	Stammbaumanalyse und Erbgänge in der humangenetischen Beratung .....	57
	Zusammenfassung .....	66
	Aufgaben .....	67
<b>Evolution .....</b>		<b>69</b>
1	<b>Vielfalt und systematische Ordnung der Organismen .....</b>	<b>70</b>
1.1	Die Art als Grundeinheit des natürlichen Systems .....	70
1.2	Hierarchische Gliederung der Organismen .....	71
1.3	Progressionsreihen .....	75
	Zusammenfassung .....	77
	Aufgaben .....	77
	<b>2 Artenstehung nach den Theorien von LAMARCK und DARWIN – ein Vergleich .....</b>	<b>80</b>
2.1	LAMARCKS Theorie der Evolution .....	80
2.2	DARWINS Theorie der Evolution .....	82
2.3	Vergleich der Evolutionstheorien von LAMARCK und DARWIN .....	84
	Zusammenfassung .....	85
	Aufgaben .....	85
3	<b>Belege für die Evolution .....</b>	<b>89</b>
3.1	Belege aus der Paläontologie .....	89
	3.2 Belege aus der vergleichenden Anatomie .....	94
3.3	Belege aus der vergleichenden Zytologie .....	101
3.4	Belege aus der vergleichenden Molekularbiologie .....	103
	Zusammenfassung .....	110
	Aufgaben .....	111
4	<b>Synthetische Theorie der Evolution .....</b>	<b>120</b>
4.1	Populationsgenetische Grundlagen .....	120
4.2	Mutation als Evolutionsfaktor .....	124
4.3	Rekombination als Evolutionsfaktor .....	125
4.4	Selektion als Evolutionsfaktor .....	126
4.5	Gendrift als Evolutionsfaktor .....	137
4.6	Isolation als Evolutionsfaktor .....	139

4.7	Die Gegenposition: nicht naturwissenschaftliche Positionen zur Entstehung von Artenvielfalt .....	139
	Zusammenfassung .....	141
	Aufgaben .....	141
<b>5</b>	<b>Artenstehung durch Zusammenwirken von Evolutionsfaktoren .....</b>	<b>151</b>
	5.1 Allopatrie – Artenstehung durch geografische Isolation .....	153
	5.2 Sympatrie – Artenstehung ohne geografische Trennung .....	157
	5.3 Mechanismen der reproduktiven Isolation .....	158
	5.4 Artumwandlung .....	159
	5.5 Einnischung .....	160
	5.6 Adaptive Radiation .....	160
	Zusammenfassung .....	164
	Aufgaben .....	165
<b>6</b>	<b>Grippeviren und ihre evolutiven Veränderungsmöglichkeiten .....</b>	<b>169</b>
	6.1 Bau der Grippeviren und Abwehr durch das Immunsystem .....	169
	6.2 Möglichkeiten evolutiver Veränderungen des Influenza-A-Virus .....	171
	Zusammenfassung .....	172
<b>7</b>	<b>Verhalten, Fitness und Anpassung .....</b>	<b>173</b>
	7.1 Kosten-Nutzen-Prinzip bei Konkurrenz um Ressourcen .....	173
	7.2 Fortpflanzungsstrategien .....	175
	7.3 Verhaltensbeobachtungen .....	180
	Zusammenfassung .....	182
	Aufgaben .....	182
<b>8</b>	<b>Stammesgeschichte des Menschen .....</b>	<b>184</b>
	8.1 Stellung des Menschen im natürlichen System .....	184
	8.2 Vergleich der Anatomie des Menschen und der übrigen Menschenaffen .....	186
	8.3 Zytologische und molekularbiologische Merkmale .....	192
	8.4 Fossilgeschichte des Menschen .....	193
	8.5 Kulturelle Evolution .....	204
	Zusammenfassung .....	205
	Aufgaben .....	205

Lösungen ..... 213

Stichwortverzeichnis ..... 267

Bildnachweis

**Autoren:** Rolf Brixius, Dr. Werner Bilz

**Hinweise:**

- Die entsprechend gekennzeichneten Kapitel enthalten ein **Lernvideo**. An den jeweiligen Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, den Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.



Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens wird empfohlen, dass Sie sich beim Ansehen der Videos im WLAN befinden. Haben Sie keine Möglichkeit, den QR-Code zu scannen, finden Sie die Lernvideos auch unter: <http://qrcode.stark-verlag.de/54708V>

- Die in diesem Buch angegebenen Verweise auf weitere relevante Textstellen beziehen sich gleichzeitig auf den Band „**Abitur-Training Biologie 1, NRW**“. Befinden sich die Fundstellen im anderen Band, werden sie durch die vor der Seitenzahl in Klammern aufgeführte Ziffer 1 (für Biologie 1) gekennzeichnet.

# Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

das **Zentralabitur** und die **kompetenzorientierten Lehrpläne** in Nordrhein-Westfalen bringen es mit sich, dass Sie sich – auch im Unterrichtsfach Biologie – in der Qualifikationsphase der gymnasialen Oberstufe einen **verbindlichen Kanon von Unterrichtsinhalten** aneignen müssen. Hierbei wird von Ihnen insgesamt viel **Eigenverantwortung** erwartet. Sie sind daher verstärkt angehalten, sich auf den Unterricht und die Abiturprüfungen selbstständig vorzubereiten. Die beiden Abitur-Trainingsbände **Biologie 1** und **Biologie 2 für NRW** helfen Ihnen dabei.

Der vorliegende Band 2 sowie der Band 1 folgen vom Aufbau her den obligatorischen Inhalten der zentralen Themenbereiche der Abiturprüfung. Sie stellen das in der Abiturprüfung verlangte Grundwissen sowohl für den Grund- als auch für den Leistungskurs **vollständig, anschaulich und leicht verständlich** dar.

**Exkurse** helfen Ihnen dabei, grundlegende Themen der Biologie zu wiederholen. Die **über die Anforderungen des Grundkurses hinausgehenden Inhalte** sind in den erläuternden Textpassagen und den Übungsaufgaben am Seitenrand durch **farbige Balken** gekennzeichnet.



**Prägnante Zusammenfassungen** stellen die zentralen Punkte übersichtlich dar.



Die **Übungsaufgaben** decken alle Inhalte des erklärenden Teils ab. Mithilfe der Aufgaben können Sie nicht nur überprüfen, ob Sie in der Lage sind, die erforderlichen Kenntnisse darzustellen, sondern auch, ob Sie Ihr Wissen anwenden, also einen **Transfer** leisten können. Häufig werden Sie in den **Aufgaben** und den **ausführlichen Lösungen** daher auch eine andere Betrachtungsweise, andere Beispiele und andere Formulierungen finden als im erklärenden Text.



Zu ausgewählten Themenbereichen gibt es **Lernvideos**. An den entsprechenden Stellen im Buch befinden sich QR-Codes, die Sie mithilfe Ihres Smartphones oder Tablets scannen können.

Zur Vorbereitung auf die schriftliche Abiturprüfung oder auf Klausuren empfehlen wir Ihnen, mithilfe des erklärenden Textes und der Videos Ihre Kenntnisse aufzufrischen und sie dann anhand der Aufgaben zu prüfen. Alternativ können Sie aber auch zunächst versuchen, die Aufgaben zu lösen, und dabei auftauchende Lücken gezielt durch Nachschlagen im erklärenden Text schließen.

Für Ihre Prüfungen wünschen wir Ihnen viel Erfolg. Mit den beiden Trainingsbänden für das Fach Biologie sind Sie hierfür gut gerüstet.



Rolf Brixius



Dr. Werner Bils



Für die Microarray-Analyse werden sogenannte **DNA-Chips** genutzt. Ausgangspunkt für die Herstellung eines solchen Chips sind einzelsträngige Kopien der DNA der zu untersuchenden Gene. Diese **DNA-Sonden** werden wie Angeln an der Oberfläche des Chips, einem Glas- oder Plastikplättchen, chemisch fixiert (siehe Abb. 10).

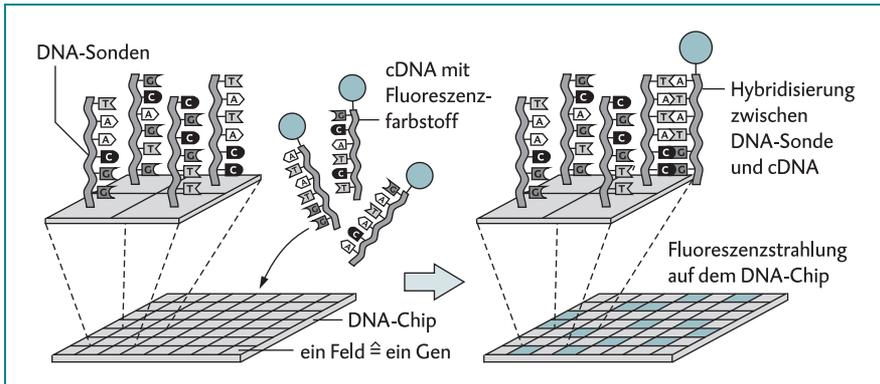


Abb. 10: Aufbau und Funktionsweise eines DNA-Chips

Um die Genexpression in einem bestimmten Gewebe zu untersuchen, wird in einem ersten Schritt die in einer Gewebeprobe enthaltene mRNA isoliert. Um die Hybridisierung mit den DNA-Sonden zu ermöglichen, muss die mRNA anschließend mithilfe des Enzyms **Reverse Transkriptase** in DNA umgewandelt werden. Diese **c(opy)DNA** wird dann noch mit Fluoreszenzfarbstoff markiert. Die fluoreszierende cDNA wird auf den DNA-Chip gegeben und **hybridisiert** dort mit den vorhandenen komplementären DNA-Sonden. Sobald die überschüssige cDNA vorsichtig abgewaschen ist, kann der DNA-Chip auf Fluoreszenzstrahlung untersucht werden. Leuchtende Felder auf dem Chip zeigen an, dass das entsprechende Gen im untersuchten Gewebe exprimiert worden ist.

Der Einsatz von **DNA-Chips** ermöglicht es, planmäßig zu identifizieren, welche Gene eines Organismus an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit aktiv sind.

## 1.9 Der genetische Fingerabdruck

Die DNA des Menschen ist bei allen Individuen ähnlich, aber mit Ausnahme von eineigen Zwillingen nie vollständig identisch. Für das Verfahren des **ge-**

**netischen Fingerabdrucks** (*genetic fingerprinting*) benutzt man den Vergleich von besonders unterschiedlichen DNA-Bereichen, um einen Menschen zuverlässig zu identifizieren. Deutliche und für jeden Menschen typische Unterschiede weisen vor allem solche DNA-Abschnitte auf, die **keine genetische Information** enthalten. Mutationen in diesen Bereichen bleiben erhalten, da sie keine Merkmalsänderung zur Folge haben und daher nicht der Selektion unterliegen (siehe S. 82 ff. und S. 125 ff.). Diese DNA-Regionen sind von Mensch zu Mensch verschieden. Sie werden als **polymorphe Bereiche** bezeichnet. Eine Mutation kann dazu führen, dass in den betrachteten Abschnitten eine Schnittstelle, das heißt eine bestimmte kurze Basenfolge, für ein bestimmtes Restriktionsenzym entsteht oder wieder verschwindet. Daher ist damit zu rechnen, dass in den polymorphen Bereichen unterschiedlich viele Schnittstellen für ein bestimmtes Restriktionsenzym vorhanden sind. Wenn man die polymorphen DNA-Bereiche verschiedener Personen also mit dem gleichen Restriktionsenzym behandelt, entsteht folglich ein für jedes Individuum **typisches Gemisch aus DNA-Fragmenten** unterschiedlicher Länge. Wenn viele Schnittstellen für das Restriktionsenzym vorhanden sind, enthält das Gemisch eine größere Zahl und kürzere DNA-Stücke, als wenn es nur wenige Schnittstellen gibt.

Der Vorgang des genetischen Fingerabdrucks kann in fünf aufeinander aufbauende gentechnische Verfahrensschritte unterteilt werden:

- 1. DNA-Isolierung:** Aus Zellen, die beispielsweise in einer an einem Tatort gefundenen Spur (z. B. Blutfleck, Speichelrückstand, Spermarrest) enthalten sind, wird DNA extrahiert. Auch aus den Zellen der Mundschleimhaut einer zu testenden Person wird DNA gewonnen.
- 2. DNA-Vervielfältigung:** Spezifische polymorphe Bereiche der beiden gewonnenen Erbgutproben werden mithilfe der PCR (siehe S. 12 ff.) vervielfältigt.
- 3. Bildung von DNA-Restriktionsfragmenten:** Zu den beiden Ansätzen mit den vervielfältigten polymorphen Bereichen der DNA wird jeweils das gleiche Restriktionsenzym gegeben. Dadurch wird sowohl die DNA aus der Spur als auch die DNA aus den Mundschleimhautzellen der zu testenden Person in unterschiedlich lange Stücke, die Restriktionsfragmente, zerlegt.
- 4. Auftrennung der Restriktionsfragmente:** Die beiden Restriktionsfragment-Gemische werden mithilfe der Gelelektrophorese (siehe S. 15 f.) aufgetrennt.
- 5. Untersuchung des Elektrophorese-Bandenmusters:** Verfahren siehe S. 15 f.

Jeder Mensch hat eine für ihn charakteristische Zusammensetzung des Restriktionsfragment-Gemischs. In der Kriminalistik kann man daher durch den **Vergleich der Bandenmuster**, die die Elektrophorese liefert, exakt feststellen, ob z. B. ein Blutfleck oder Spermarrest von einem Verdächtigen stammt oder nicht. Zur Absicherung werden beim genetischen Fingerabdruck **mehrere verschiedene DNA-Bereiche** untersucht.

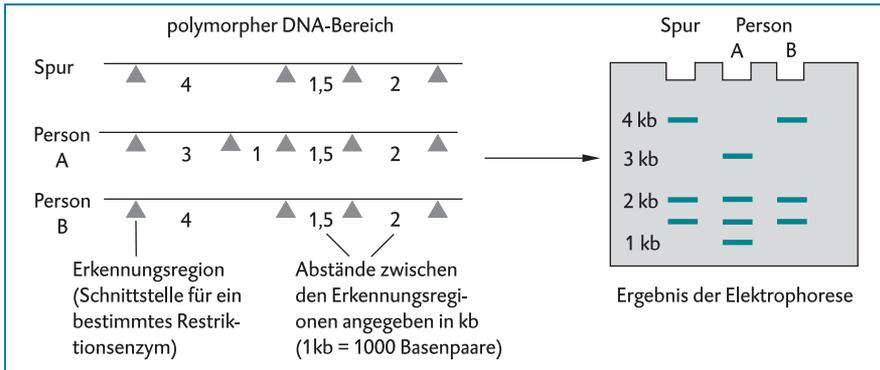


Abb. 11: Das Prinzip des genetischen Fingerabdrucks. Die Spur ist der Person B zuzuordnen.



## Zusammenfassung

- Mithilfe der Gentechnik sind Manipulationen am Erbgut außerhalb und innerhalb der Zelle möglich.
- Modellorganismen wie das Bakterium *E. coli* tragen viel zur Entwicklung gentechnologischer Verfahren bei, die mit spezifischen molekulargenetischen Werkzeugen ausgeführt werden.
- Gene lassen sich durch Restriktionsenzyme aus der DNA eines Spenderorganismus herauschneiden.
- Plasmide können zur Übertragung eines Gens auf ein Bakterium dienen.
- Wenn gleichzeitig mit einem Fremdgen auch Gene übertragen werden, die die Resistenz gegen bestimmte Antibiotika zur Folge haben, lassen sich die Zellen identifizieren, bei denen der Gentransfer gelungen ist.
- Durch das Herstellen einer Verdünnungsreihe kann der Titer einer Bakterienkultur bestimmt werden.
- In der PCR laufen in kurzen Abständen nacheinander Replikationen ab, sodass aus einer geringen Menge an DNA eine sehr große Zahl identischer DNA-Moleküle entsteht.
- Ein Gemisch aus verschiedenen DNA-Stücken lässt sich mithilfe der Gelelektrophorese auftrennen.
- Sequenzierungsmethoden wie die Kettenabbruchsynthese boten in der Anfangszeit der Sequenzanalyse eine verlässliche Möglichkeit zur In-vitro-Analyse relativ kurzer Sequenzen des Erbguts.
- Mit verbesserten Sequenzierungsmethoden, wie der Hochdurchsatz-Sequenzierung, ist es möglich, eine große Anzahl von DNA-Teilstücken schnell und kostengünstig zu analysieren.
- DNA-Chips ermöglichen es, zu identifizieren, welche Gene eines Organismus aktiv sind.
- Durch das Verfahren des genetischen Fingerabdrucks lässt sich die DNA aus Zellen einer Probe eindeutig einer bestimmten Person zuordnen.

### Aufgaben

1 Restriktionsenzyme sind wichtige Werkzeuge der Gentechnik.



- a Beschreiben Sie die Funktion der Restriktionsenzyme im Gentechniklabor.
- b Beschreiben Sie die Aufgaben der Restriktionsenzyme unter natürlichen Bedingungen.



Für Waldbewohner, z. B. Hyrachtherium (Eohippus), vorteilhafte Merkmale	Für Steppenbewohner, z. B. Meryhippus, Pliohippus, Equus, günstige Merkmale
<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Körpergröße: erleichtert Fortbewegung im Unterholz</li> <li>• Auftreten auf mehr als einer Zehe: verhindert Einsinken im feuchten, nachgiebigen Waldboden</li> <li>• kleine Zähne ohne Schmelzleisten in der Kaufläche: sind für Laubfresser ausreichend (Bäume, Sträucher, Kräuter); größere und leistungsfähigere Zähne sind nicht erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• größerer Körper mit längerem Hals und längeren Beinen: ermöglichen bessere Übersicht und schnellere Flucht im offenen Gelände</li> <li>• Auftreten mit nur einem Huf: führt auf harten Böden zu effektiverem Laufen</li> <li>• große Zähne mit breiten Kronen und vielen Schmelzfalten: sind zum Zermahlen harter Gräser erforderlich (Gras ist sehr viel härter als Laubblätter; Übergang vom Laub- zum Grasfressergebiss)</li> </ul>

Tab. 2: Anpassungen der pferdeartigen Tiere an den Lebensraum Wald (links) und Grasland (rechts)

**Fossile und lebende Brückenformen**

**Brückenformen** lassen die Entstehung einer Verwandtschaftsgruppe aus einer anderen erkennen. Solche Organismen tragen sowohl Merkmale der älteren, ursprünglicheren Gruppe als auch der sich neu bildenden.

Beispiel

Das bekannteste Beispiel für ein fossiles Brückentier ist der *Archaeopteryx*. Die Fossilien dieses **Urvogels** stammen aus einer Schicht des oberen Jura der Fränkischen Alb. *Archaeopteryx* trägt noch **Merkmale der Reptilien**, die auch in Schichten unterhalb des oberen Jura nachzuweisen sind, z. B.:

- Kiefer mit Zähnen, kein Hornschnabel
- Finger und Mittelhandknochen frei, nicht verwachsen
- lange Schwanzwirbelsäule
- Beckenknochen nicht miteinander verwachsen

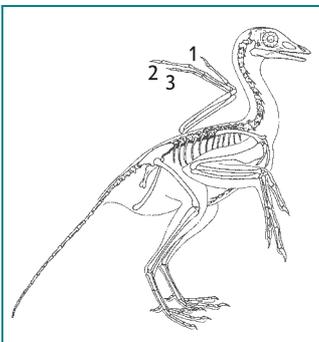


Abb. 31: *Archaeopteryx*: Rekonstruiertes Skelett mit Körperumriss und Fingerstrahlen (links) und versteinertes Skelett (rechts)

Folgende **Vogelmerkmale** sind bei ihm unter anderem schon zu finden:

- Vogelfedern
- erste Zehe nach hinten gerichtet, bildet mit den übrigen einen Greiffuß
- Schlüsselbeine der beiden Körperhälften zu einem Knochen verwachsen (Gabelbein = *Furcula*)

Fossilien echter Vögel findet man nur in Schichten oberhalb des oberen Jura.

Beispiele

Der **Quastenflosser (*Latimeria*)** als lebendes Brückentier:

- **Fischmerkmale:** Körper mit Schuppen bedeckt; Kiemenatmung
- Merkmale von **Amphibien:** Flossen mit ähnlichem Skelett wie in den Beinen von Amphibien („Gehflossen“); sackartige Ausstülpung in Darmnähe, die sich mit der Lunge der Landwirbeltiere homologisieren lässt.

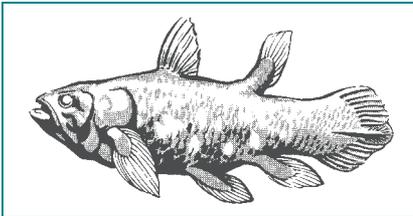


Abb. 32: Komoren-Quastenflosser  
(*Latimeria chalumnae*)

Aufgrund der Tatsache, dass sich der Körperbau des Quastenflossers seit erdgeschichtlich langer Zeit kaum verändert hat, wird er auch als **lebendes Fossil** bezeichnet.

Das **Schnabeltier** als lebendes Brückentier:

- **Reptilienmerkmale:** legt große, dotterreiche Eier mit lederartiger Schale; hat nur eine Körperöffnung (Kloake) für Darmausgang, Ausgang der Harnwege und Ausführgang der Geschlechtsorgane.
- **Säugetiermerkmale:** Haut mit Haaren bedeckt (Fell); Weibchen mit Milchdrüsen (Ernährung der Jungtiere).

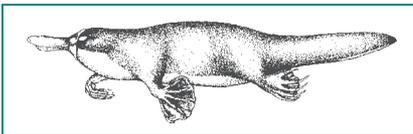


Abb. 33: Schnabeltier  
(*Ornithorhynchus anatinus*)



- 1
  - a Restriktionsenzyme schneiden die DNA im Bereich jeweils spezifischer Basenfolgen. Durch die Wahl spezieller Restriktionsenzyme lässt sich somit festlegen, an welchen Stellen ein DNA-Molekül zerschnitten werden soll.  
Die meisten in der Gentechnik verwendeten Restriktionsenzyme zerschneiden die Einzelstränge eines DNA-Moleküls versetzt, sodass an den Enden spezifische und in ihrer Basenfolge bekannte Stücke der Einzelstränge überstehen. An diesen „sticky ends“ lassen sich leicht fremde DNA-Stücke mit komplementärer Basenfolge anfügen. Auf diese Weise können z. B. Fremdgene in ein DNA-Molekül (z. B. in das Plasmid einer Bakterienzelle) eingefügt werden.
  - b Restriktionsenzyme kommen im Zytoplasma von Bakterien vor. Unter natürlichen Bedingungen zerstückeln sie eingeschleuste, fremde DNA und machen sie so unwirksam. Auf diese Weise können die Bakterien sich vor der Zerstörung, z. B. durch Bakteriophagen, schützen.
- 2 Wenn man das gleiche Restriktionsenzym für beide Vorgänge benutzt, weisen sowohl die Enden der fremden DNA-Stücke als auch die Enden der aufgetrennten Plasmidringe die gleichen *sticky ends* auf. So wird es möglich, dass sich ein fremdes DNA-Stück mit den Enden der Plasmid-DNA verbindet und sich der Ring danach wieder schließt.
- 3 Plasmide lassen sich als Vektoren nutzen. Mit ihrer Hilfe kann man Fremdgene nicht nur in Bakterien, sondern auch in Hefezellen einschleusen. Bei Bakterien handelt es sich um Prokaryoten. Sie sind daher als Empfänger von Eukaryoten-Genen, z. B. Genen des Menschen, weniger geeignet als Hefezellen, da sie das Fremdgen zwar aufnehmen, aber das entsprechende Genprodukt nicht ohne Weiteres bilden können. Ihr Transkriptions- und Translationsapparat arbeitet anders als der von Eukaryoten. Hefezellen haben dagegen die gleichen oder ähnliche Enzyme und Regulationsmechanismen wie alle anderen Eukaryoten. Wenn sie ein Eukaryoten-Gen aufgenommen haben, ist die Chance, dass das übertragene Gen auch abgelesen und realisiert werden kann, höher als in Bakterienzellen.
- 4
  - a Pflanzenzellen sind von einer Zellwand aus Cellulose umgeben, die das direkte Eindringen von DNA erschwert.



© **STARK Verlag**

[www.stark-verlag.de](http://www.stark-verlag.de)  
[info@stark-verlag.de](mailto:info@stark-verlag.de)

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

**STARK**