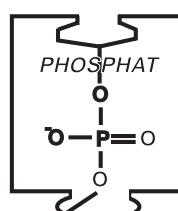
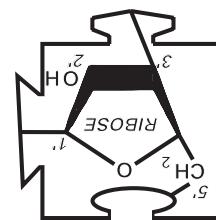
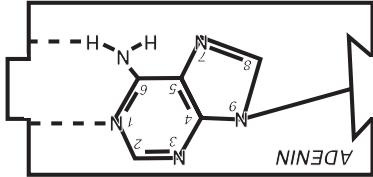
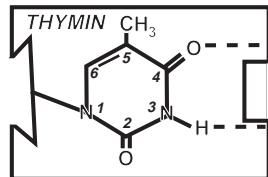
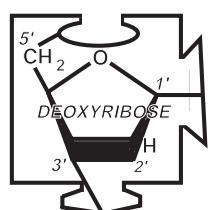


DNA- Modell

**Struktur
Replikation
Transkription**

BEGLEITHAFT



**konzipiert und umgesetzt von
J.W. Garvin**



Unilever

The Queen's University of Belfast



Wilbert Garvin ist gemäß dem Urheberrecht und dem "Designs and Patents Act" 1988 rechtmäßiger Erfinder und Konstrukteur dieses Modells sowie Autor dieses Begleitheftes.

Alle Rechte zum Entwurf des Modells sind vorbehalten. Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt, Lehrern ist es jedoch genehmigt, die Arbeitsanweisungen und Tageslichtprojektor-Folien für den eigenen Gebrauch innerhalb ihrer Lehranstalt zu photokopieren. Diese Genehmigung schließt das Anfertigen von Kopien für den Einsatz außerhalb der Institution, in der sie gemacht wurden, sowie Kopien für den kommerziellen Verleih oder Verkauf aus.

Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne schriftliche Genehmigung des Autors reproduziert oder auf sonstige Art und Weise übertragen werden.

Erste Veröffentlichung 1996 von
Wilbert Garvin
NICSB
The School of Education
The Queen's University of Belfast
BELFAST BT7 1NN
Nordirland

ISBN 0 85389 622 4

DANKSAGUNG

Ich möchte mich besonders bei den folgenden Personen bedanken:

Professors Sam Martin und Jerry Davies von der "School of Biology and Biochemistry" an der Queen's Universität für ihre Ermutigungen und das Überprüfen von Details.
Alastair Edwards für seine graphische Hilfestellung und Barbara McConnell für ihre konstruktive Kritik - Northern Ireland Education Support Unit, Queen's Universität.
Dr. Geraldine Schofield (Head of External and Regulatory Affairs, Unilever Research, Colworth Laboratory) und Alan George (Education Liaison Manager, National Personnel Department, Unilever) für ihr Interesse und ihre Unterstützung.
Denmour Boyd für seine konstruktiven Vorschläge.
Jigsaw Dimensions für ihre Bereitwilligkeit, ein neues Projekt anzugehen.
Clifford McCullough von der Killyleagh Box Company für seine konstruktiven Vorschläge.
Der Belegschaft des "National Centre for Biotechnology Education" an der Reading Universität für ihre bereitwillige Unterstützung.
Heike Edinger für die Übersetzung ins Deutsche.
Meiner Frau Betty für das Korrekturlesen.

Dieses Modell wurde ausgiebig getestet, besonders von Lehrern in Nordirland, im übrigen Großbritannien, der Irischen Republik und einer Vielzahl europäischer Länder. Ich möchte all diesen Lehrern, Lehrbeauftragten, Schülern und Studenten, die den Prototyp getestet haben, ganz herzlich danken.

Ich danke den Sponsoren Unilever sowie der European Initiative for Biotechnology Education (EIBE), ohne deren finanzielle Unterstützung dieses Modell nicht produziert hätte werden können.

Falls Sie Vorschläge zur Verbesserung dieses Begleitheftes haben, wenden Sie sich bitte an den Autor. Seine Adresse finden sie oben auf dieser Seite, Telefon-, Faxnummer und email-Adresse lauten:

Telefon:	(National)	01232 245133 Ext. 3919 oder 01232 335123
	(International)	+44 1232 245133 Ext. 3919 oder +44 1232 335123
FAX:	(National)	01232 331845
	(International)	+44 1232 331845
email:		w.garvin@qub.ac.uk

EINFÜHRUNG - für LehrerInnen

Das Wort DNA begegnet uns in den Medien praktisch Tag für Tag. Aber ist es nicht ungewöhnlich für eine chemische Substanz mit nur einem abgekürzten Namen, derart in aller Munde zu sein? Warum ist das Interesse an dieser Substanz so groß? Was ist DNA, was macht sie, und warum ist sie so wichtig?

Jegliches Leben, vom einfachen Bakterium bis hin zu Pflanzen, Tieren und uns Menschen, trägt DNA in sich. Lediglich einige Viren bedienen sich eines ihr verwandten Moleküls, der RNA - aber dazu später.

Es war reine Neugier, die James Watson, einen amerikanischen Biologen, und Francis Crick, einen englischen Physiker, beide im Cavendish Labor der Universität von Cambridge tätig, dazu trieb, sich zusammenzutun, um die Struktur der DNA aufzuklären und somit auch Aufschluß darüber zu erhalten, wie sie funktioniert. Sie führten keine experimentellen Arbeiten durch, sondern versuchten aus Forschungsergebnissen anderer Wissenschaftler so viel wie möglich über die DNA herauszufinden. Als sie alle verfügbaren Informationen zusammengetragen hatten, begannen sie, DNA-Modelle zu erstellen, um deutlicher vor Augen zu haben, wie sich die gefundenen Informationen mit einer Struktur vereinbaren lassen. Schließlich gelang es ihnen, eine solche Struktur abzuleiten, die zu all jenen gesammelten Daten paßte, und veröffentlichten 1953 ihr DNA-Modell in *Nature*, einer sehr angesehenen naturwissenschaftlichen Zeitschrift. Im Jahre 1962 wurde ihnen dann zusammen mit Maurice Wilkins, der für die entscheidenden Röntgenstrukturanalysen verantwortlich gewesen war, der Nobel-Preis verliehen.

DNA ist das Molekül des Lebens - sie ist die Informationsquelle aller lebender Wesen. Daher muß sie in der Lage sein:

- genetische Information zu speichern und
- Kopien ihrer selbst anzufertigen, damit diese Information sowohl bei Zellteilungen als auch von Generation zu Generation weitergegeben werden kann

Durch das zunehmende Wissen auf dem Gebiet der Genetik ist es in den letzten Jahren möglich geworden, mit der DNA und der ihr verwandten RNA zu arbeiten und sie unserem eigenen Nutzen dienbar zu machen. Dieser Prozeß ist als Gentechnik bekannt und Grundlage der neuen Biotechnologien. Die Gentechnik verändert viele Aspekte unseres Lebens und wird ohne Zweifel in Zukunft sogar noch größeren Einfluß haben - schließlich gibt die Forschung schon heute deutliche Anhaltspunkte für deren mögliche Anwendungsgebiete.

Dieser Modell-Bausatz wurde erarbeitet, um Hilfestellung beim Lernen und Verstehen der DNA (und RNA) zu leisten. **Ohne jegliches Vorwissen** konstruiert der Schüler das relativ einfache DNA-Modell, indem er sorgfältig den Schritt für Schritt aufeinander aufbauenden Anleitungen folgt, wobei Struktur und Funktion schließlich enthüllt werden. Da die Puzzle-Teile auf ganz bestimmte Art und Weise geformt und gefärbt sind, werden sowohl Seh- als auch Tastsinn in den Lernprozeß einbezogen.

Aufgrund der Tatsache, daß die meisten naturwissenschaftlichen Lehrpläne und Kurse der verschiedensten Schwierigkeitsgrade DNA und ihre Struktur inhaltlich einbeziehen, wurde dieses Modell als ein "zwei-in-einem"-Bausatz konzipiert. Das **Einsteiger-Modell** ist in Großbuchstaben (den ersten Buchstaben des Molekülnamens) auf die eine Seite der Puzzle-Teile gedruckt und ist speziell für den Bereich der Sekundarstufe I geeignet - kann aber auch bereits im späten Grundschulalter und in nicht naturwissenschaftlich orientierten Kursen verwendet werden. Das **Modell für Fortgeschrittene** wurde auf die andere Seite der Teile gedruckt und zeigt Details der Molekülstruktur. Der Bausatz kann daher auch für Abiturklassen und Einführungskurse an Universitäten und Hochschulen verwendet werden. Die beiden Modelle können sogar nacheinander benutzt werden, um so den Schüler von den Grundlagen zu einem erweiterten Wissensstand hinzuführen - *hierzu siehe letzte Seite*.

Das vorliegende DNA-Modell ist als pädagogisches Lehrmittel gedacht, das in Ihren Kursen auf vielerlei Art und Weise eingesetzt werden kann - so wie Sie es gerade für geeignet halten. Sie können die Arbeitsanweisungen den jeweiligen Schülern anpassen oder sie sogar verändern - ganz wie Sie möchten. Der Bausatz eignet sich auch für eine Erweiterung auf andere Bereiche der Genetik - dies hängt ganz von Ihrer eigenen Kreativität ab. Mögliche spontane Ideen wären Themen wie Mutation, Restriktionsenzyme, Hybridisierung, Sonden, PCR etc. - ich bin sicher, es gibt noch unzählige weitere Möglichkeiten. Ein weiterführendes Modell zur Protein-Biosynthese wird ebenfalls bald erhältlich sein.

INHALT DES BAUSATZES

Der Bausatz besteht aus 180 Puzzle-Teilen, die in 15 mit den entsprechenden Buchstaben versehene Fächer eingeordnet sind. Jedes dieser Fächer enthält 12 Teile - es kann daher sehr leicht kontrolliert werden, ob am Ende eines Spieles alle Bausteine wieder zurückgegeben worden sind. Die Einzelteile sind wie folgt eingeordnet:

Buchstabe	G	C	A	T	U
Name	Guanin	Cytosin	Adenin	Thymin	Uracil
Farbe	grün	gold	rot	hellblau	dunkelblau
Anzahl	12	12	12	12	12
Buchstabe	D	D	P	P	R
Name	Desoxyribose	Desoxyribose	Phosphat	Phosphat	Ribose
Anzahl	12	12	12	12	12
Buchstabe	D	D	P	P	R
Farbe	grau	grau	gelb	gelb	schwarz
Anzahl	12	12	12	12	12

Die Gesamtzahl von Puzzle-Teilen beträgt demnach:

Desoxyribose	$4 \times 12 = 48$	Guanin	12	Cytosin	12
Phosphat	$4 \times 12 = 48$	Adenin	12	Thymin	12
Ribose	$2 \times 12 = 24$	Uracil	12		

Ein Bausatz eignet sich für eine Klasse von 24 Schülern. Soll das DNA-Modell 6 Basenpaare lang sein, können diese in 4 Gruppen mit jeweils 6 Schülern eingeteilt werden. Alternativ können auch 6 Gruppen mit je 4 Schülern gebildet werden, so daß man ein Modell von 4 Basenpaaren erhält. Kleinere Gruppen und/oder längere Moleküle sind unter Hinzunahme weiterer Bausätze möglich.

Die Einzelteile wurden beidseitig bedruckt. Auf der einen Seite befinden sich Buchstaben (Einsteiger-Modell), auf der anderen Molekülstrukturen (Modell für Fortgeschrittene). Es kann jeweils nur mit einer Seite gearbeitet werden.

Falls einzelne Bausteine verloren gehen oder beschädigt werden, können diese beim NCBE nachbestellt werden. Die Preise richten sich nach Anzahl der nachgeforderten Teile. Adresse, Telefon-, Faxnummer und email-Adresse lauten:

National Centre for Biotechnology Education
 The University of Reading
 PO Box 228, Whiteknights
 READING, RG6 6AJ
 England

Siehe auch www-Seite: <http://www.reading.ac.uk/NCBE>

Tel.: (+44) 01189 873 743

Fax: (+44) 01189 750 140

email: c.shearer@reading.ac.uk

Das Beiheft enthält Arbeitsanweisungen mit angemessenen Fragen für Schüler, Hintergrundinformationen und entsprechende Antworten für LehrerInnen sowie passende Tageslichtprojektor-Folien - jeweils sowohl für Einsteiger wie auch für Fortgeschrittene. Die Anleitungen des Einsteiger-Modells wurden in einer anderen Schriftart (Helvetica) gedruckt als die des Fortgeschrittenen-Modells (Times), so daß die beiden leicht auseinandergehalten werden können. Außerdem findet sich oben auf jeder Seite ein Symbol, das kenntlich macht, ob diese für Einsteiger oder für Fortgeschrittene geeignet ist.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
EINLEITUNG	3
1 DNA - STRUKTUR	
<i>1.1 Modell für Einsteiger</i>	
1.1.1 Arbeitsanweisungen für Schüler	6
1.1.2 Informationen für LehrerInnen	7
1.1.3 Tageslichtprojektor-Folien	8
<i>1.2 Modell für Fortgeschrittene</i>	
1.2.1 Arbeitsanweisungen für Schüler	9
1.2.2 Informationen für LehrerInnen	11
1.2.3 Tageslichtprojektor-Folien (2)	13
2 DNA - REPLIKATION	
<i>2.1 Modell für Einsteiger</i>	
2.1.1 Arbeitsanweisungen für Schüler	15
2.1.2 Informationen für LehrerInnen	16
2.1.3 Tageslichtprojektor-Folien	17
<i>2.2 Modell für Fortgeschrittene</i>	
2.1.1 Arbeitsanweisungen für Schüler	18
2.1.2 Informationen für LehrerInnen	19
2.1.3 Tageslichtprojektor-Folien	20
3 TRANSKRIPTION	
<i>3.1 Modell für Einsteiger</i>	
3.1.1 Arbeitsanweisungen für Schüler	21
3.1.2 Informationen für LehrerInnen	22
3.1.3 Tageslichtprojektor-Folien	23
<i>3.2 Modell für Fortgeschrittene</i>	
3.2.1 Arbeitsanweisungen für Schüler	24
3.2.2 Informationen für LehrerInnen	25
3.2.3 Tageslichtprojektor-Folien	26

1 Modell für Einsteiger



1 Arbeitsanweisung

Folge genau den Arbeitsanweisungen und beantworte ALLE Fragen

Breite alle ausgegebenen Bausteine mit der Buchstabenseite nach oben auf Deinem Arbeitsplatz aus. Jedes Teil repräsentiert ein Molekül.

F1 Fertige eine Aufstellung der verschiedenen Einzelteile (Moleküle) an.

Lege Bausteine (Moleküle) mit dem gleichen Buchstaben (und der gleichen Farbe) in Gruppen zusammen. Zähle, wie viele Puzzle-Teile einer Art es gibt.

F2 Notiere die jeweilige Anzahl von Bausteinen einer Art. Gibt es Typen von Bausteinen, die in ihrer Anzahl mit anderen übereinstimmen?

Sieh Dir diese Bausteine genau an und finde heraus, welche Teile zusammenpassen.

F3 Notiere, welche Bausteine zusammenpassen.

Nun verbinde alle Bausteine (Moleküle) zu einem sehr großen Molekül (Makromolekül). Was Du nun vor Dir hast, stellt ein kleines Stück Desoxyribonukleinsäure (kurz DNA) dar.

F4 Fertige eine einfache Zeichnung Deines DNA-Moleküls an. Ist Dir beim Zusammenbauen des Moleküls irgendetwas Ungewöhnliches aufgefallen? Beschreibe.

Vergleiche Dein DNA-Molekül mit den Modellen anderer Schüler.

F5 In welcher Hinsicht gleicht Dein DNA-Molekül den Modellen anderer Schüler? In welcher Hinsicht unterscheidet es sich von ihnen?

Wenn Du Dein DNA-Molekül sorgfältig betrachtest, wirst Du feststellen, daß es aus sich wiederholenden Einheiten aufgebaut ist, von denen jede aus drei Teilen besteht.

F6 Welches sind die drei Teile (Moleküle), aus denen eine dieser sich wiederholenden Einheiten, genannt Nukleotid, aufgebaut ist?

Das Modell, das Du konstruiert hast, ist viel größer als ein tatsächliches DNA-Molekül. In Wirklichkeit umfaßt ein DNA-Molekül nämlich nur ca. 2 Nanometer (1mm = 1 Million Nanometer).

F7 Wieviel Mal größer ist Dein Modell im Vergleich zu einem tatsächlichen DNA-Molekül?

Wenn Du möchtest, kannst Du Dein DNA-Molekül mit dem anderer Gruppen verbinden, um so ein möglichst langes Molekül zu bauen. Wie viele Basenpaare enthält dieses? Die DNA ist in Wirklichkeit nicht flach, sondern wie eine Spirale gewunden. Diese Struktur der DNA bezeichnet man als Doppelhelix. Schau Dir Graphiken oder Modelle an, die diese dreidimensionale Struktur darstellen.

1 Modell für Einsteiger**2 Informationen für LehrerInnen**

Anzahl und Art der Puzzle-Teile, die Sie ausgeben, ist abhängig von der Klassengröße, der Zahl der zur Verfügung stehenden Bausätze sowie von Anzahl und Größe der Schülergruppen, die Sie bilden möchten. Besteht Ihre Klasse z.B. aus 24 Schülern und Sie haben einen Bausatz, so können Sie 4 Gruppen zu je 6 Schülern oder 6 Gruppen zu je 4 Schülern bilden. Die Zahl der Bausteine pro Gruppe beträgt dann:

4 Gruppen zu je 6 Schülern		6 Gruppen zu je 4 Schülern	
2 Gruppen bekämen jeweils	2 Gruppen bekämen jeweils	3 Gruppen bekämen jeweils	3 Gruppen bekämen jeweils
D - 12	D - 12	D - 8	D - 8
P - 12	P - 12	P - 8	P - 8
A - 4	A - 2	A - 3	A - 1
T - 4	T - 2	T - 3	T - 1
G - 2	G - 4	G - 1	G - 3
C - 2	C - 4	C - 1	C - 3

ACHTUNG: Folgendes gilt immer - unabhängig von Anzahl und Größe der Gruppen:

Anzahl der D's = Anzahl der P's; Anzahl der A's = Anzahl der T's;

Anzahl der G's = Anzahl der C's; Anzahl der D's (oder P's) = Anzahl der A's + T's + G's + C's

Aber: Die Anzahl der A's und T's sollte der der G's und C's nicht entsprechen.

Wenn Sie eine kleinere Klasse haben oder wenn Ihnen mehr Bausätze zur Verfügung stehen, können Sie natürlich auch kleinere Gruppen bilden.

- F1 D, P, A, T, G und C.
- F2 Diese Antwort hängt davon ab, wie viele Teile ausgegeben wurden (s.o.).
- F3 D und P (oder P und D); A, T, G und C binden an D; A an T (oder T an A); G an C (oder C an G).
- F4 Es gibt nur eine Möglichkeit, wie die Teile richtig zusammenpassen. Hierbei steht die Hälfte der Buchstaben auf dem Kopf. Überprüfen Sie, ob die Schüler die Teile so zusammengefügt haben, daß das Molekül aussieht wie eine Leiter: Die D's und P's bilden die "Holme" und die A's, T's, G's und C's bilden die "Sprossen". A paart nur mit T, G nur mit C. Dies wird als "Regel der spezifischen Basenpaarung" bezeichnet. Das Molekül gliedert sich in zwei "Hälften" oder Stränge, die in entgegengesetzte Richtungen verlaufen (antiparallel). Siehe hierzu auch Folie auf der nächsten Seite.
- F5 Alle DNA-Moleküle Ihrer Schüler werden prinzipiell in ihrer Gesamtstruktur übereinstimmen. Eine eingehendere Betrachtung wird jedoch zeigen, daß die Reihenfolge oder "Sequenz" der A's, T's, G's und C's unterschiedlich ist. Es gibt viele mögliche Variationen dieser Basensequenz. Die in der DNA gespeicherte Information ist durch die Sequenz der Basen verschlüsselt. Drei aufeinanderfolgende Basen bilden ein sog. Triplet-Codon.
- F6 Ein Nukleotid (die Grundeinheit des DNA-Moleküls) besteht aus einem D, einem P und einer der Basen A, T, G oder C.
- F7 Diese Frage können Sie überspringen, wenn Sie sie für zu schwierig halten. Die Breite des Modells beträgt ungefähr 220 mm. Wenn 1 mm = 1 Million Nanometer, dann sind 220 mm = 220 Millionen Nanometer. Das tatsächliche Molekül ist 2 Nanometer breit, wir müssen also 2 Nanometer mit 110 Millionen multiplizieren, um 220 Millionen Nanometer zu erhalten. Das Modell ist folglich 110 Millionen Mal größer!

In **Microbes and Molecules**, herausgegeben von der *European Initiative for Biotechnology Education*, finden Sie im ersten Kapitel auf den Seiten 6 und 7 ein einfaches Papier-Modell der Doppelhelix. Über die folgende World Wide Web-Seite können Sie sich dieses Modell kopieren: <http://www.reading.ac.uk/NCBE> (siehe hierzu auch nächste Seite).

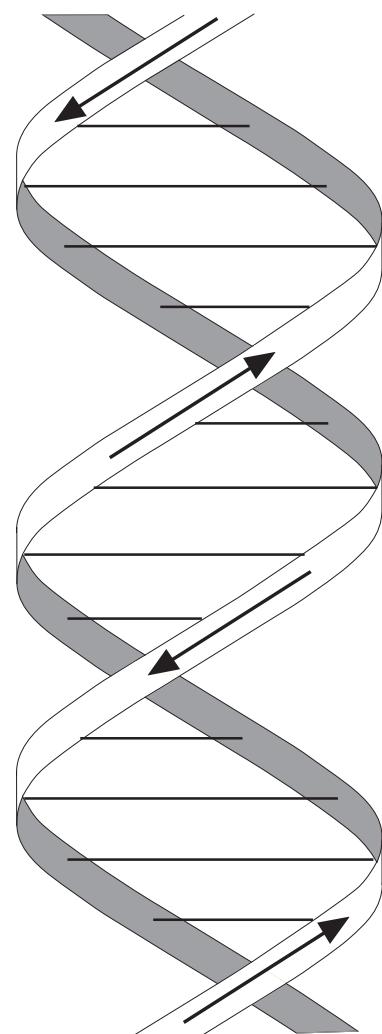
1 Einsteiger-Modell

3 Folie

D	T	A	D
P			D
D	G	C	D
P	Grundeinheit (NUKLEOTID)		D
D	A	T	D
P	A paart immer nur mit T		D
D	C	G	D
P	G paart immer nur mit C		D
D	T	A	D
P	Basenpaare bilden die Sprossen der Leiter		

Holme aus
D's und P's

Die beiden Stränge
verlaufen in
entgegengesetzte
Richtungen



DNA- 'Leiter'

DNA- 'Doppelhelix'

1

DNA-STRUKTUR

2 Fortgeschrittenen-Modell



1 Arbeitsanweisung

Lege alle ausgegebenen Bausteine so auf Deinen Tisch, daß die Molekülstrukturen (und nicht die Großbuchstaben) nach oben zeigen.

F1 Fertige eine Liste mit den Namen der verschiedenen Molekülarten an

Ordne ähnliche Moleküle in Gruppen zusammen. Notiere die Anzahl der Teile pro Molekülart.

F2 Kannst Du einen Zusammenhang zwischen der jeweiligen Anzahl von Bausteinen pro Molekülart erkennen?

Erwin Chargaff war der erste, der die DNA mit Hilfe der Papierchromatographie eingehend untersuchte, um so das Mengenverhältnis der vier Basen festzustellen. Einige seiner Daten, die in den frühen 50er Jahren veröffentlicht wurden, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Sie zeigt die molaren Mengen der Stickstoff-Basen der DNA, dargestellt in Mol pro 100g Phosphoratome, an die sie gebunden sind.

Quelle	Purine		Pyrimidine	
	Adenin	Guanin	Cytosin	Thymin
Mensch	30,4	19,6	19,9	30,1
Ochse	29,0	21,2	21,2	28,7
Lachs-Sperma	29,7	20,8	20,4	29,1
Weizenkeime	28,1	21,8	22,7	27,4
<i>E.coli</i>	26,0	24,9	25,2	23,9
Schafsleber	29,3	20,7	20,8	29,2

Untersuche Chargaffs Ergebnisse.

F3 Kannst Du einen Zusammenhang zwischen den molaren Mengen der verschiedenen Basen entdecken?

F4 Berechne das Verhältnis der molaren Menge von Adenin zur molaren Menge von Thymin für die verschiedenen Spezies. Was für ein Verhältnis ergibt sich, und worauf lässt dieses schließen?

F5 Berechne das Verhältnis der molaren Menge von Guanin zu Cytosin. Ergibt sich ein ähnliches Verhältnis wie für Adenin und Thymin? Welche Schlüsse kannst Du hieraus ziehen?

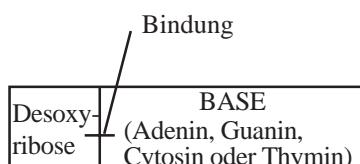
F6 Entspricht das Verhältnis, das Du in Frage 2 herausgefunden hast, dem in Frage 4 und 5 berechneten?

Die DNA ist aus sich wiederholenden Einheiten aufgebaut. Wir wollen nun diese Einheiten etwas genauer betrachten.

Zunächst wird eine Bindung zwischen einer Stickstoffbase und einem Desoxyribose-Zucker-Molekül ausgebildet. Die daraus entstehende Einheit bezeichnet man als **NUKLEOSID**, die Bindung als **β-N-glykosidische Bindung**. Konstruiere aus den zur Verfügung stehenden Bausteinen so viele Nukleoside wie möglich.

Beachte: Die Kohlenstoffatome wurden zwar weggelassen, sind aber dennoch numeriert.

Ein Nukleosid



F7 Zwischen welchen numerierten Atomen der Desoxyribose und der Base wird die folgende Bindung geknüpft?

- a) mit den Purinbasen
- b) mit den Pyrimidinbasen?

Außerdem wird auch eine Bindung zwischen der Desoxyribose (dem Zucker) und dem Phosphatmolekül gebildet. Diese wird als **kovalente Phosphodiesterbindung** bezeichnet und bildet das **NUKLEOTID**.

Ein Nukleotid

Desoxy- ribose	BASE (Adenin, Guanin, Cytosin oder Thymin)
Phos- phat	Bindung

Konstruiere aus den ausgegebenen Bausteinen so viele Nukleotide wie möglich, indem Du die Phosphate an die Nukleoside anfügst. Du solltest nun alle Teile aufgebraucht haben.

F8 Zwischen welchen Atomen wird die Phosphodiesterbindung gebildet?

Das Nukleotid ist der Grundbaustein der DNA. Verbinde zwei Nukleotide miteinander, indem Du eine weitere Phosphodiesterbindung bildest.

F9 Zwischen welchen Atomen wurde diese neue Phosphodiester-Bindung geknüpft? Nun füge zwei weitere Nukleotide hinzu, aber benutze dieses Mal keine Phosphodiesterbindungen.

F10 Zwischen welchen Atomen wurden diese neuen Bindungen gebildet? Man bezeichnet sie als schwache Wasserstoffbrücken. Versuche, diese möglichst genau zu beschreiben.

Füge weitere Nukleotide an, bis alle aufgebraucht sind. Benutze alle Bindungen, die oben beschrieben wurden. Wenn Du fertig bist, hast Du ein sehr kurzes DNA-Stück gebaut.

F11 Beschreibe kurz Dein DNA-Molekül.

F12 Notiere alle ungewöhnlichen oder besonderen Dinge, die Dir beim Bau des DNA-Moleküls aufgefallen sind.

Vergleiche Dein DNA-Molekül mit den Modellen Deiner Mitschüler.

F13 In welcher Hinsicht ist es ihnen ähnlich? Inwieweit unterscheidet es sich von ihnen?

Dieses Modell ist, verglichen mit einem tatsächlichen DNA-Molekül, natürlich sehr stark vergrößert. In Wirklichkeit ist ein DNA-Molekül nur ungefähr 2 Nanometer breit. (1 mm = 1 Million nm).

F14 Wieviel Mal größer ist Dein Modell im Vergleich zu einem tatsächlichen DNA-Molekül?

Das Modell wurde so erstellt, daß Du damit auf einem flachen Tisch arbeiten kannst. In Wirklichkeit ist es jedoch gewunden zu einer dreidimensionalen Konfiguration aufgewunden, die als **DOPPELHELIX** bezeichnet wird. Sieh Dir eine Graphik der dreidimensionalen Struktur an, oder konstruiere ein einfaches Papiermodell, um diese zu veranschaulichen.

Die DNA-Struktur wurde erstmals 1953 in der Zeitschrift Nature von James Watson, einem amerikanischen Biologen, und Francis Crick, einem englischen Physiker, beschrieben.

2 Fortgeschrittenen-Modell**2 Informationen für LehrerInnen**

Anzahl und Art der von Ihnen ausgegebenen Bausteine hängen von vielen verschiedenen Faktoren ab, so z.B. von der Klassengröße, der Zahl der zur Verfügung stehenden Bausätze, der Zahl der Schülergruppen etc.. Angenommen, Sie haben eine Klasse mit 24 Schülern und einen Bausatz, dann könnten Sie die Klasse in 4 Gruppen mit jeweils 6 Schülern teilen. Jede Gruppe hätte dann ein DNA-Modell von 6 Basenpaaren. Alternativ könnten Sie die Klasse auch in 6 Gruppen zu je 4 Schülern einteilen, dann hätte jede Gruppe ein Modell von 4 Basenpaaren. Die Zahl der Bausteine pro Gruppe betrüge dann:

MOLEKÜL	4 Gruppen zu je 6 Schülern		6 Gruppen zu je 4 Schülern	
	2 Gruppen bekämen jeweils	2 Gruppen bekämen jeweils	3 Gruppen bekämen jeweils	3 Gruppen bekämen jeweils
Desoxyribose	12	12	8	8
Phosphat	12	12	8	8
Adenin	4	2	3	1
Thymin	4	2	3	1
Guanin	2	4	1	3
Cytosin	2	4	1	3

ACHTUNG: Folgendes gilt **immer**, unabhängig davon, für welche Gruppengrößen Sie sich entscheiden:

Anzahl der D's = Anzahl der P's

Anzahl der A's = Anzahl der T's

Anzahl der G's = Anzahl der C's

Anzahl der D's (oder P's) = Anzahl der A's + T's + G's + C's

Aber: Die Anzahl der A's und T's sollte nicht der Anzahl der G's und C's entsprechen.

Wenn Sie eine kleinere Klasse haben oder wenn Ihnen mehr Bausätze zur Verfügung stehen, können Sie natürlich auch kleinere Gruppen bilden.

- F1** Desoxyribose, Phosphat, Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin
- F2** Die Beantwortung dieser Frage hängt davon ab, wie viele Bausteine Sie ausgegeben haben (s.o.).
- F3** Die molaren Mengen von Adenin und Thymin sind ungefähr gleich, genauso wie die molaren Mengen von Guanin und Cytosin. Andere Vergleiche ergeben hingegen sehr unterschiedliche Mengenverhältnisse.
- F4** Das Verhältnis Adenin/Thymin (oder T/A) beträgt annähernd 1. Dies legt den Schluß nahe, daß Adenin mit Thymin paart.
- F5** Das Verhältnis G/C (oder C/G) beträgt ebenfalls annähernd 1 - Guanin paart wohl mit Cytosin.
- F6** Ja - Anzahl und molare Menge bestimmter Molekülarten sind gleich.
- F7** (a) Zwischen C1' der Desoxyribose und N9 der Purinbase (Adenin oder Guanin)
(b) Zwischen C1' der Desoxyribose und N1 der Pyrimidinbase (Thymin oder Cytosin)

1 DNA-STRUKTUR **2 Fortgeschrittenen-Modell** **2 Informationen für LehrerInnen**

F8 Zwischen C3' der Desoxyribose und einem O-Atom des Phosphates.

F9 Zwischen C5' der Desoxyribose und einem O-Atom des Phosphates.

Das Kohlenstoffatom der Desoxyribose- (und der Ribose-) Zucker werden mit einem Strich (3') versehen, um sie von den Atomen unterscheiden zu können, die den Ring der Stickstoffbasen bilden. Keine der Molekülstrukturen zeigt die Kohlenstoffatome, da sie sonst zu kompliziert werden würden. Fehlt ein Atom, das dennoch numeriert ist, und von dem genau 4 Bindungen ausgehen, so handelt es sich hierbei um ein Kohlenstoffatom.

F10 Die Bindungen zwischen den Basen sind schwache Wasserstoffbrücken - im Modell als gepunktete Linien dargestellt. Zwischen Adenin und Thymin werden zwei Wasserstoffbrücken ausgebildet (N1-H und H-O), zwischen Guanin und Cytosin drei (H-O, H-N und O-H). Diese können leichter gespalten werden als die glykosidische Bindung und die Phosphodiester-Bindung - im Modell können sie leicht auseinanderrutschen. Sie sind immer ungefähr gleich lang, so daß die Einzelbausteine genau zusammenpassen - siehe Folie auf der nächsten Seite.

F11 Das DNA-Modell sieht aus wie eine Leiter, deren Holme von den Desoxyribose-Zuckern und den Phosphaten gebildet werden. Die Basen bilden die Sprossen der Leiter.

F12 Adenin kann nur mit Thymin Wasserstoffbrücken ausbilden, Guanin nur mit Cytosin. Man bezeichnet dieses Phänomen als spezifische **Basenpaarung**, und die miteinander paarenden Basen als zueinander **komplementär**. Das Modell als Ganzes besteht aus zwei Hälften, genannt "Stränge". Diese verlaufen in entgegengesetzte Richtungen, was im Fachterminus als "**antiparallel**" oder "**bidirektional**" bezeichnet wird. Da die Schüler die eine Hälfte des Moleküls ganz bewußt auf den Kopf stellen müssen, damit die Bausteine zusammenpassen, wird gewährleistet, daß ihnen diese wichtige Eigenheit der beiden Stränge im Gedächtnis bleibt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß diese Darstellungsweise des DNA-Moleküls interessanterweise nur selten - wenn überhaupt - in Illustrationen zu finden ist.

F13 Die grundlegende Leiterstruktur sollte überall ähnlich sein. Unterschiede werden jedoch in der Sequenz, der Reihenfolge der Basen auftreten, wodurch die Möglichkeit nahezu unbegrenzter Variabilität gegeben wird. Es wäre eine interessante Wahrscheinlichkeitsrechnung für mathematisch Begabte in der Klasse, herauszufinden, wie viele verschiedene Basensequenzen in einem Molekül von angenommen 6bp (4 A-Ts und 2 G-Cs) möglich sind. Dabei darf nicht vergessen werden, daß, abgesehen von der tatsächlichen Sequenz, die Basenpaare auch genau umgekehrt angeordnet sein können. Die Länge eines DNA-Moleküls wird mit Hilfe seiner Anzahl von Basenpaaren (kurz bp) angegeben, es ist z.B. 120 bp lang. Da die Zahl der Basenpaare von ungefähr 5000 bp beim einfachsten bekannten Virus bis hin zu schätzungsweise 3 Milliarden auf den 23 Chromosomen des Menschen reicht, ist die Anzahl der möglichen Variationen geradezu astronomisch. Die DNA ist daher die ideale Erklärung für die enorme Vielfalt des Lebens. Es dauerte 7 Jahre, bis 1996 die vollständige DNA-Sequenz der Bäckerhefe aufgeklärt war. Sie enthält 12071 Millionen Basenpaare und baut ca. 6000 Gene auf.

F14 110 Millionen Mal größer. Die gemessene Breite des Modells beträgt ungefähr 220 mm. Da 1 mm = 1 Million Nanometer, ist 220 mm = 220 Millionen nm. Das tatsächliche DNA-Molekül ist ca. 2 nm breit - wir müssen also diesen Wert mit 110 Millionen multiplizieren, um 220 Millionen nm zu erhalten. Das Modell ist folglich 110 Millionen Mal größer.

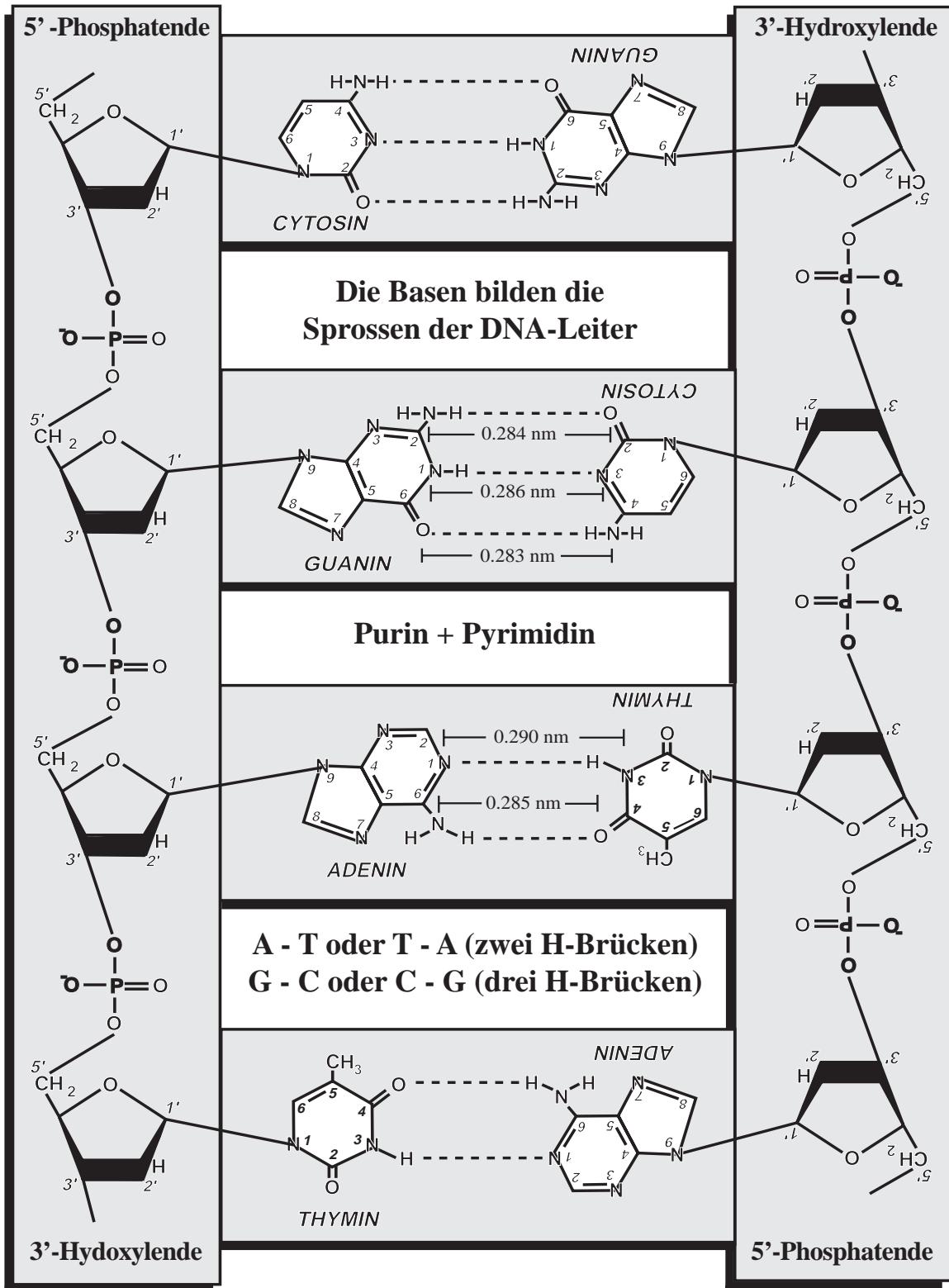
Was die dreidimensionale Struktur der DNA anbetrifft, so ist diese für das Verständnis der grundlegenden Struktur der DNA sowie für den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion nicht notwendig. Trotzdem sollten die Schüler wissen, daß es sich hierbei um eine Doppelhelix handelt. Die meisten Schulbücher zeigen diese Struktur in der einen oder anderen Art und Weise - siehe Tageslichtprojektor-Folie auf der nächsten Seite. Alternativ könnten Sie auch ein 3-D Modell zeigen. Sie könnten gemeinsam mit den Schülern auch ein eigenes einfaches DNA-Modell bauen. Eine gute Vorlage hierzu finden Sie im ersten Kapitel von *Microbes and Molecules*, herausgegeben von der *European Initiative for Biotechnology Education*, Seite 6 und 7. Sie können sich dieses auch über die folgende World Wide Web-Seite kopieren: <http://www.eibe.rdg.ac.uk:8001/>

2 Fortgeschrittenen-Modell

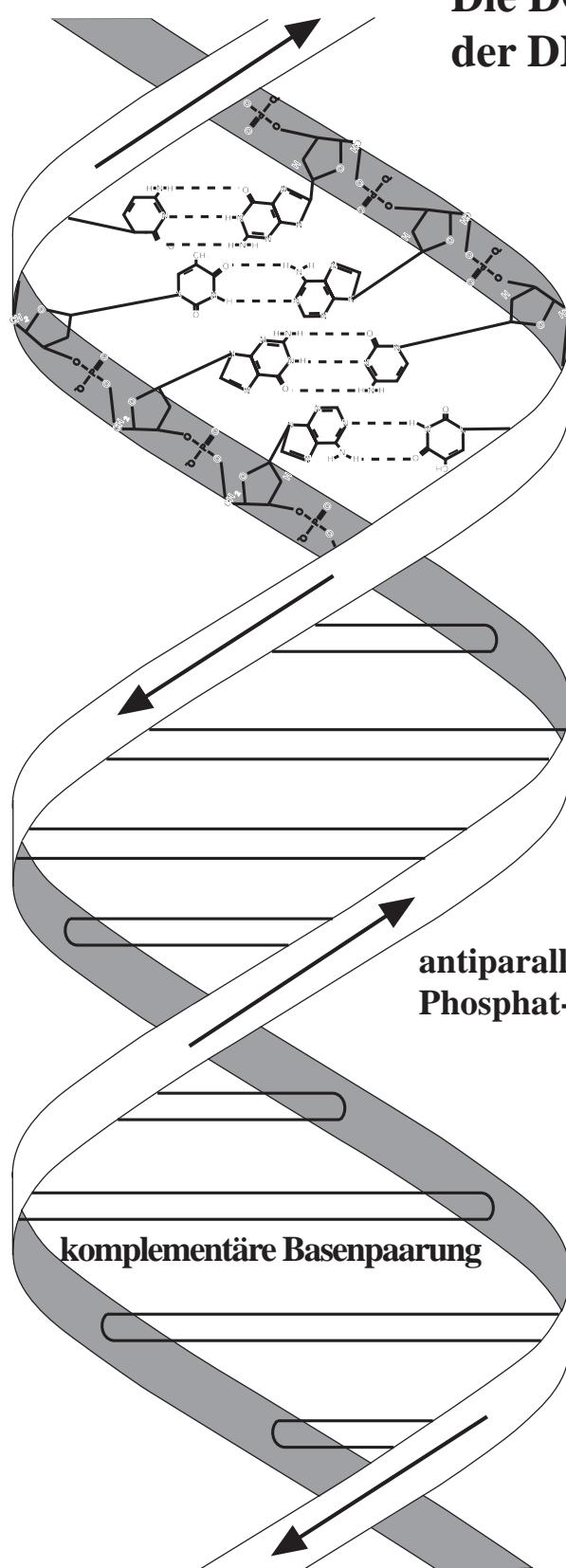


3 Folie 1

Holme aus Desoxyribose-Phosphat-Ketten, die in entgegengesetzte Richtungen verlaufen.



Holme aus Desoxyribose-Phosphat-Ketten, die in entgegengesetzte Richtungen verlaufen.

2 Fortgeschrittenen-Modell**3 Folie 2****Die DOPPELHELIX
der DNA**

1 Einsteiger-Modell**1 Arbeitsanweisung**

Folge genau den Arbeitsanweisungen und beantworte ALLE Fragen

Lege alle ausgegebenen Bausteine so auf den Tisch, daß die Großbuchstaben nach oben zeigen. Füge alle Teile zu einem DNA-Molekül zusammen.

F1 Fertige eine einfache Zeichnung Deines Moleküls an und vergewissere Dich, daß sich die Reihenfolge der Basen in den Sprossen der “Leiter” wiederspiegelt. Beschriffe Deine Zeichnung mit “Eltern-DNA”.

Trenne die beiden Stränge der Eltern-DNA, indem Du die Basenpaare vorsichtig auseinanderziehst, bis das DNA-Molekül in zwei Einzelstränge zerteilt ist. Du kannst Dir das Auseinanderziehen der Basen wie das Öffnen eines Reißverschlusses vorstellen.

Nun nimm den zweiten Satz von Bausteinen, der ausgegeben wurde. Vergewissere Dich, daß immer die Großbuchstaben nach oben zeigen, und füge diese zu Nukleotiden zusammen, die jeweils drei Bausteine umfassen.

Baue diese Nukleotide nun passend in die beiden DNA-Einzelstränge ein. Fahre so lange fort, bis alle Nukleotide und somit alle Teile aufgebraucht sind.

Du solltest nun zwei doppelsträngige DNA-Moleküle haben. Diese werden als “Tochter”-DNA-Moleküle bezeichnet.

F2 Schaue Dir die beiden Tochter-DNA-Moleküle genau an. Was fällt Dir auf?

F3 Vergleiche die Tochter-DNA mit der Zeichnung, die Du von der Eltern-DNA gemacht hast. Wasstellst Du fest?

F4 Schreibe auf, wie DNA-Moleküle genaue Kopien ihrer selbst erstellen.

Diese Eigenschaft der DNA ist äußerst wichtig, da die DNA während der Zellteilung von den “Eltern”- zu den “Tochter”-Zellen weitergegeben werden muß. Sie muß folglich in der Lage sein, Kopien ihrer selbst zu erstellen. Dieses exakte Vervielfältigen der DNA wird als Replikation bezeichnet. DNA muß genauso von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden.

Die Fähigkeit der DNA zur Replikation wird heute von Wissenschaftlern zu vielerlei Zwecken genutzt. In der Gerichtsmedizin etwa können extrem kleine DNA-Mengen, wie sie z.B. in geringen Spuren von Blut am Tatort eines Verbrechens vorkommen, benutzt werden, um wieder und wieder verdoppelt zu werden, bis genug dieser DNA vorhanden ist, um sie zu analysieren. Alles was man hierfür, abgesehen von der Original-DNA, braucht, ist eine Nukleotid-Quelle, ein spezielles Enzym und einige andere bestimmte Bedingungen, und schon beginnt die DNA sich im Reagenzglas zu vervielfältigen. Dieses Verfahren wird als Polymerasekettenreaktion (engl. Polymerase Chain Reaction, kurz PCR) bezeichnet. Benötigt man also zu Forschungszwecken oder anderweitiger wissenschaftlicher Arbeit von einer ganz bestimmten DNA eine größere Menge, so kann man diese problemlos innerhalb weniger Stunden synthetisieren.

1 Einsteiger-Modell**2 Informationen für LehrerInnen**

Jede Schülergruppe benötigt zwei Sätze von Bausteinen. Sie werden daher entweder die Anzahl von Gruppen halbieren müssen, oder alternativ mehr Bausätze verwenden. Der erste Satz von Bausteinen entspricht genau dem, der für die Arbeitsanweisung 1.1.1 verwendet wurde. Sie können daher, wenn Sie möchten, einfach bei dieser Arbeitsanweisung weitermachen (siehe letzte Seite).

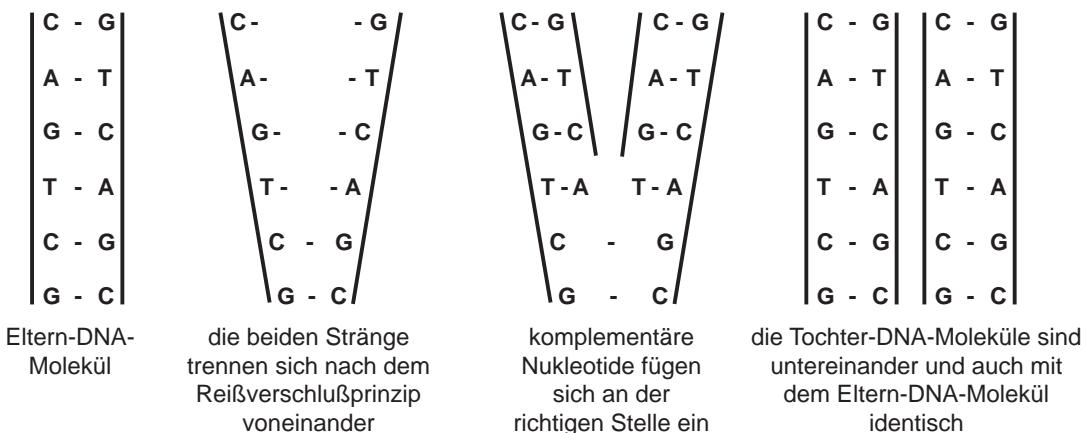
F1 Eine einfache Zeichnung ist alles, was hier erwartet wird (siehe Beispiel unten).

Der zweite Satz von Bausteinen, der an alle Gruppen ausgegeben wurde, sollte identisch mit dem ersten Satz sein.

F2 Sie sind identisch.

F3 Sie sind alle genau gleich. Die Basensequenz wurde aufgrund der spezifischen Basenpaarungs-Regel (A - T oder T - A und G - C oder C - G) originalgetreu repliziert.

Das folgende einfache Schaubild soll dies nochmals verdeutlichen:



Diese Art der Replikation wird als semikonservative Replikation bezeichnet, da jeder Strang des Moleküls als Matrize oder Muster für die beiden neuen Stränge dient.

Meselson und Stahl konzipierten 1958 ein klassisches Experiment um herauszufinden, ob die Replikation tatsächlich so abläuft. Sie ließen das Bakterium *E.coli* so lange in einem Medium wachsen, das das schwere Stickstoffisotop ¹⁵N enthielt, bis jeglicher natürliche Stickstoff der DNA, ¹⁴N, durch das schwere Isotop ersetzt war. Dann überführten sie die Bakterien in ein ¹⁴N enthaltendes Medium und nahmen von jeder Generation Proben, von denen sie DNA isolierten und deren Dichte bestimmten. Sie fanden heraus, daß die Dichte der DNA der ersten Generation genau zwischen der schweren Eltern-DNA und der leichten 'normalen' DNA lag. Jede Generation enthielt mehr und mehr leichte DNA - ein klarer Beweis dafür, daß die Replikation semikonservativ abläuft und daß Watson und Crick's Modell richtig war.

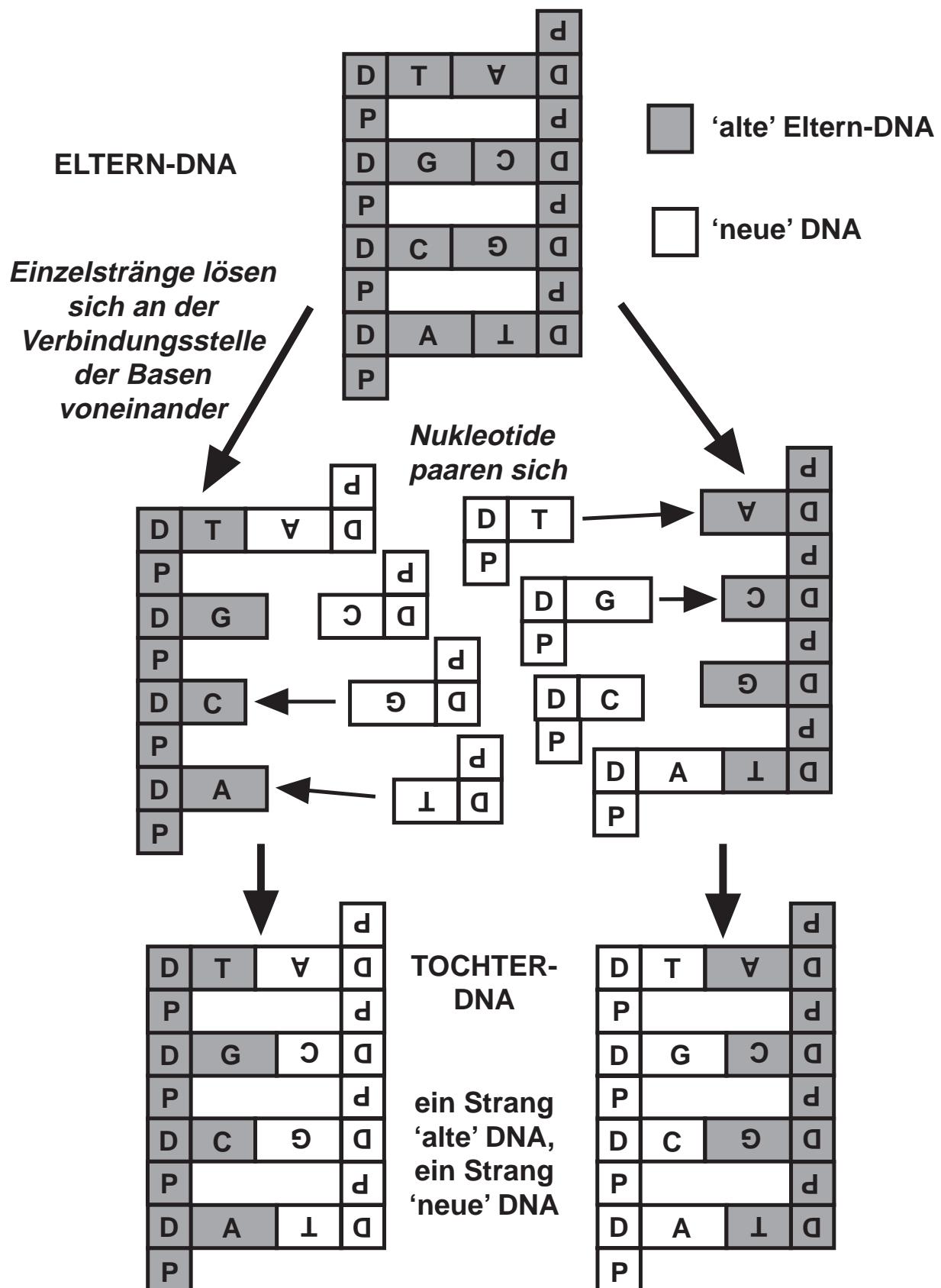
DNA kann auch künstlich vervielfacht werden - ein Prozeß, der erstmals von Kary Mullis beschrieben wurde und als PCR (Polymerase Chain Reaction) bekannt ist. Dieses Verfahren kann mittlerweile sehr leicht mit Hilfe von speziellen PCR-Geräten durchgeführt werden. Es wird immer dann benutzt, wenn nur sehr geringe Spuren von DNA verfügbar sind, um daraus genug dieser DNA für Analysezwecke zu synthetisieren.

DNA-REPLIKATION

1 Einsteiger-Modell

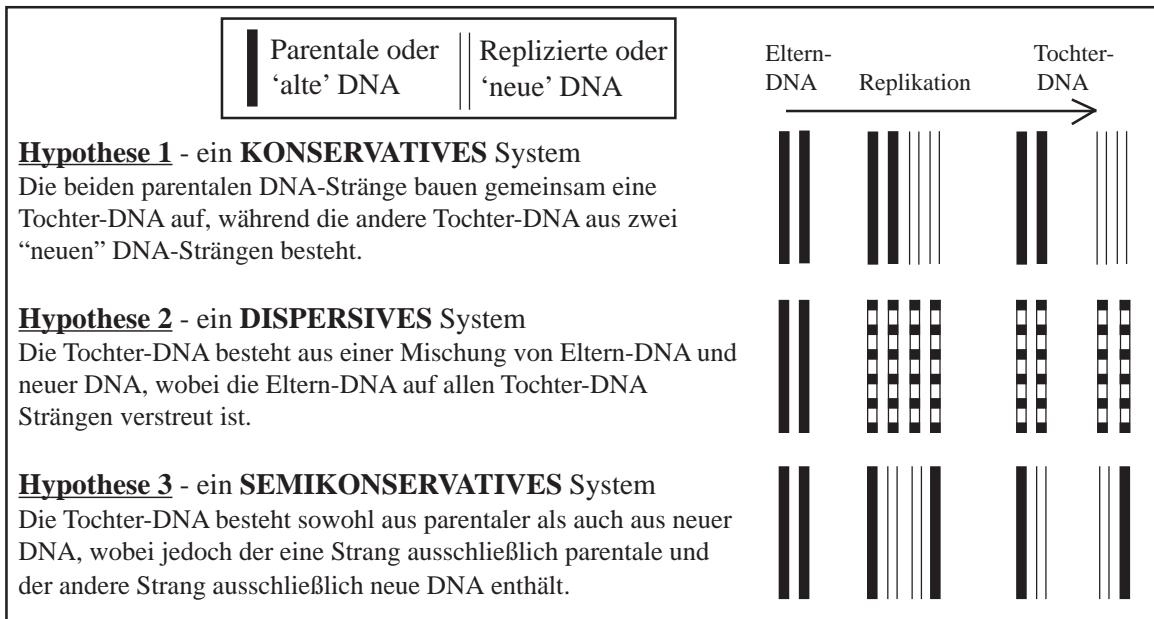


3 Folie



2 Fortgeschrittenen-Modell**1 Arbeitsanweisung**

Die zweite Anforderung an die DNA besteht darin, daß sie genaue Kopien ihrer selbst erstellen können sollte, um die genetische Information während der Zellteilung weitergeben zu können. Das Erstellen exakter Kopien wird als Replikation bezeichnet. Theoretisch könnte dies auf eine der folgenden Arten ablaufen:



Lege die ausgegebenen Bausteine so auf den Tisch, daß nur die Molekülstrukturen nach oben zeigen. Konstruiere ein kurzes Stück doppelsträngiger DNA aus diesen Teilen.

F1 Fertige eine einfache Zeichnung dieses Moleküls an, in der Du besonders die Basensequenz hervorhebst. Beschrifte Deine Zeichnung mit “Eltern”-DNA.

Nun trenne die beiden DNA-Stränge voneinander, indem Du die Basen an den schwachen Wasserstoffbrücken, die sie zusammenhalten, Schritt für Schritt auseinanderziehst. Du kannst Dir das wie das Öffnen eines Reißverschlusses vorstellen. Fahre damit fort, bis Du zwei einzelne DNA-Stränge hast.

Ordne den zweiten Satz von Bausteinen so, daß immer die Seite mit der Molekülstruktur nach oben zeigt, und füge sie dann zu Nukleotiden zusammen. Nun baue die Nukleotide so zusammen, daß die neuen in 5'-3'-Richtung der Kohlenstoffatome der Desoxyribose verlaufen. Baue weiter, bis alle Nukleotide und damit alle Teile aufgebraucht sind.

F2 Was erhälst Du?

Diese Moleküle werden als “Tochter”-DNA-Moleküle bezeichnet.

F3 Untersuche die Tochter-DNA sorgfältig. Was fällt Dir auf?

F4 Vergleiche die Struktur der Tochter-DNA-Moleküle mit Deiner Zeichnung der Eltern-DNA. Was stellst Du fest?

F5 Woraus bestehen die beiden Stränge des Tochter-Moleküls?

F6 Welche der drei oben beschriebenen Hypothesen trifft zu?

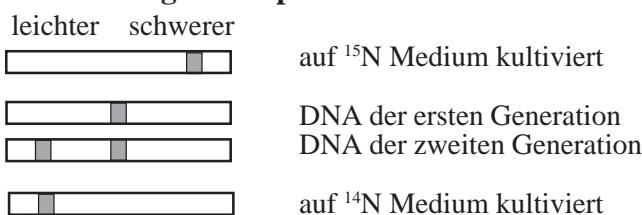
2 Fortgeschrittenen-Modell**2 Informationen für LehrerInnen**

Watson und Crick waren sich in ihrem Artikel in Nature (171: 737; 1953) sehr wohl der Notwendigkeit der DNA-Replikation bewußt, wie aus dem Folgenden hervorgeht: *'Es ist uns nicht entgangen, daß die spezifische Basenpaarung wie wir sie postulierten, unbedingt auch die Möglichkeit des Kopierens von genetischem Material erfordert.'*

Für den folgenden Arbeitsgang benötigt jede Gruppe zwei identische Sätze von Bausteinen, wobei jeder Satz die passenden Teile beinhalten muß, um ein kurzes doppelsträngiges DNA-Molekül zu konstruieren. Wenn Sie die Zeit dazu haben, können Sie direkt von der Arbeitsanweisung 1.2.1 (siehe letzte Seite) ausgehend fortfahren, und die dort bereits zusammengebaute DNA weiterverwenden.

- F1** Die Zeichnung der "Eltern"-DNA sollte sehr einfach sein und sich auf die Basensequenz konzentrieren. Anstelle der Basen sollten lediglich die Buchstaben A, T, G und C verwendet werden.
- F2** Die Schüler sollten ein doppelsträngiges "Tochter"-DNA-Molekül erhalten.
- F3** Die beiden Tochter-DNA-Moleküle sind identisch.
- F4** Jede Tochter-DNA ist identisch mit der Eltern-DNA. Sie wurde also originalgetreu repliziert.
- F5** Es enthält einen Strang (die Matrize) der "Eltern"-DNA und einen neu replizierten Strang.
- F6** Hypothese 3 - die semikonservative Replikation (siehe Tageslichtprojektor-Folie auf der folgenden Seite).

Diese Art der Replikation wurde 1958 durch ein ausgeklügeltes Experiment von Matthew Meselson und Franklin Stahl am "California Institute of Technology" bestätigt. Sie ließen das Bakterium *E.coli* mehrere Generationen lang in einem Medium wachsen, das jeglichen Stickstoff in Form des Isotops ¹⁵N (schwerer Stickstoff) enthielt. Mit der Zeit wurde die natürliche Form des Stickstoffs (¹⁴N) durch das schwere Isotop ersetzt, so daß die neu synthetisierte DNA ein größeres Molekulargewicht und eine höhere Dichte besaß als die ursprüngliche DNA. Die Bakterien, die die schwere DNA beinhalteten, wurden dann auf ein Medium überführt, das natürlichen Stickstoff (¹⁴N) enthielt, so daß jegliche neue DNA nur mit Hilfe des natürlichen Stickstoffs repliziert werden konnte. Man ließ die Bakterien so lange wachsen, bis die DNA einmal repliziert war, was sich anhand der Verdopplung der Zellzahl feststellen lässt. Die DNA wurde extrahiert und in einer Ultrazentrifuge bei sehr hoher Drehzahl mit Caesiumchlorid zentrifugiert. Das Caesiumchlorid setzt sich teilweise ab und bildet einen Dichtegradienten aus, so daß die in der Lösung vorhandenen Moleküle gemäß ihrer Dichte im Gradienten Banden bilden. Die Dichte der DNA dieser ersten Generation lag genau zwischen der der schweren Eltern-DNA und der der normalen leichten DNA - gerade so, wie man es erwarten würde, wenn jedes Molekül einen alten (schweren) Strang und einen neuen (leichten) Strang enthielte, wie es auch Watson und Crick postuliert hatten. Man ließ dann weitere Generationen in dem ¹⁴N Medium wachsen und zentrifugierte die DNA wiederum in einer Ultrazentrifuge ab. Im Folgenden sind die daraus erhaltenen Ergebnisse dargestellt:

Zusammenfassung der Experimente von Meselson und Stahl

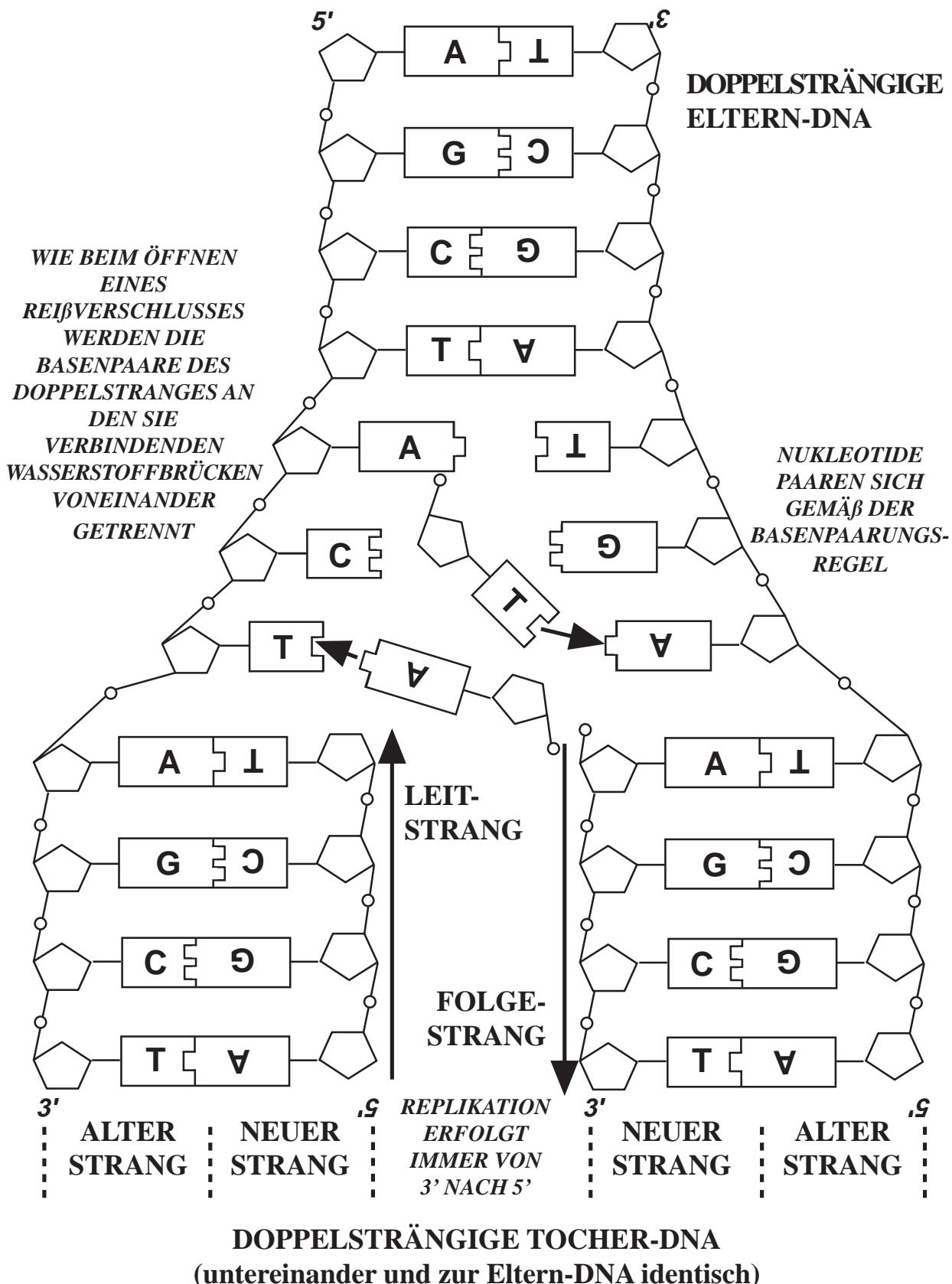
Diese Ergebnisse bestätigten die semikonservative Art der Replikation.

DNA-REPLIKATION

2 Fortgeschrittenen-Modell



3 Folie



1 Einsteiger-Modell**1 Arbeitsanweisung**

Folge genau den Arbeitsanweisungen und beantworte ALLE Fragen

Konstruiere aus den ausgegebenen Teilen ein einzelsträngiges DNA-Molekül (keine doppelsträngige DNA wie zuvor). Die Großbuchstaben sollten nach oben zeigen.

F1 Aus wie vielen Basen besteht Dein DNA-Moleköl?

Lasse Deine einzelsträngige DNA zusammengebaut, nimm die ausgegebenen RNA-Bausteine (Ribonukleinsäure, engl. Ribose Nucleic Acid) und vergleiche sie mit den DNA-Bausteinien.

F2 Welche Gemeinsamkeiten und welche Unterschiede kannst Du zwischen den RNA- und den DNA-Bausteinen feststellen? Erstelle eine Liste, in der Du die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede gegenüberstellst.

Füge alle ausgegebenen RNA-Bausteine zu Nukleotiden zusammen.

Nun bau diese RNA-Nukleotide mit dem DNA-Strang, den Du bereits konstruiert hast, zusammen. Du solltest nun keine Bausteine mehr übrig haben. Der DNA-Strang fungiert als Muster oder als **Matrize**, mit deren Hilfe die Basensequenz der DNA in eine RNA-Basensequenz umgeschrieben wird. Dieser Vorgang wird als Transkription bezeichnet.

F3 Notiere die komplementären Basenpaare der DNA und der RNA.

Dein doppelsträngiges Moleköl sollte nun aus einem DNA- und einem RNA-Strang bestehen. Trenne den RNA- und den DNA-Strang voneinander, indem Du die Basen an der Stelle, an der sie miteinander verbunden sind, auseinanderziehst. Du kannst Dir dies wie das Öffnen eines Reißverschlusses vorstellen.

Die abgetrennte RNA wird **Boten-RNA**, kurz **mRNA** (abgeleitet von der englischen Bezeichnung messenger RNA) genannt, weil sie die genetische Information, die in der Reihenfolge der Basen verschlüsselt liegt, aus dem Zellkern hinaus in das Cytoplasma der Zelle transportiert.

F4 Fertige eine einfache Zeichnung Deines mRNA-Stranges an.

Die Boten-RNA wandert aus dem Zellkern hinaus, wobei sie die genetische Information, in der Reihenfolge ihrer Basen verschlüsselt, mit sich trägt. Diese Information wird schließlich in eine lange Serie von **Triplet-Codons** (Sequenz dreier aufeinanderfolgender Basen) übersetzt. Dies geschieht mit Hilfe einer weiteren Form von RNA, der **Transfer-RNA** oder kurz **tRNA**. Bei diesem zweifachen Kopieren (DNA erst in mRNA, dann in tRNA) bleibt die ursprüngliche Reihenfolge der DNA-Basen erhalten - abgesehen von einem kleinen Unterschied.

F5 Worin besteht dieser Unterschied?

Die Reihenfolge der Basen (in Dreiergruppen) auf der Transfer-RNA gibt der Zelle vor, welche Proteine sie produzieren soll. Alle synthetisierten Proteine werden also durch die ursprüngliche Basensequenz der DNA festgelegt. Der Zellkern enthält genug DNA, um für alle Proteine zu codieren.

1 Einsteiger-Modell**2 Informationen für LehrerInnen**

Geben Sie genug DNA-Bausteine an jede Schülergruppe aus, um ein einzelsträngiges DNA-Molekül mit einer Länge von ca. 6 Basen konstruieren zu können, also halb so viele Bausteine wie sonst. Denken Sie daran, daß sie die im vorigen Arbeitsschritt gebaute DNA weiterverwenden können (siehe letzte Seite).

Haben die Schüler den DNA-Strang konstruiert, geben sie den zweiten Teil der Bausteine aus. Dieser RNA-Satz sollte komplementär zum DNA-Satz sein, mit dem einen Unterschied, daß R (weißer Buchstabe auf schwarzem Untergrund) statt D, und U (weißer Buchstabe auf dunkelblauem Untergrund) statt T verwendet werden muß.

F2

	DNA	RNA
Gemeinsamkeiten	P A G C	P A G C
Unterschiede	D T	R U

F3 Dies hängt davon ab, welche Basen Sie ausgegeben haben.

Sie können nach Frage 4 auch aufhören, wenn Sie der Ansicht sind, daß die kommenden Arbeitsschritte zu schwierig sind. Der folgende Abschnitt informiert die Schüler lediglich über die Bedeutung des genetischen Codes sowie darüber, wie er genutzt wird.

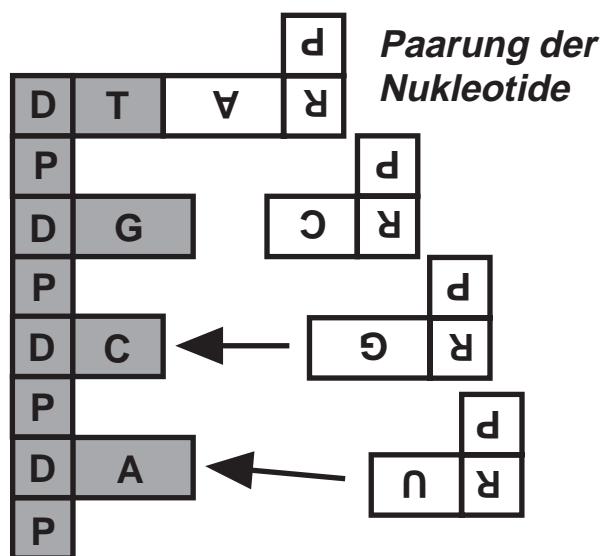
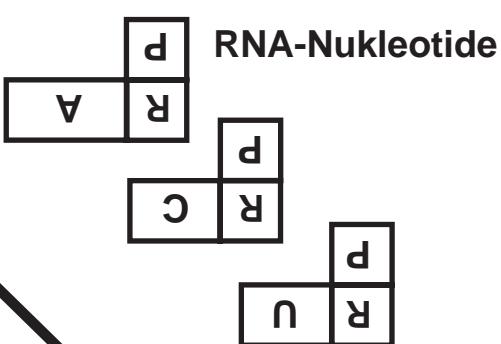
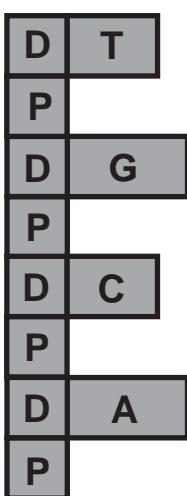
F5 Im Hinblick auf die Basen steht U anstelle von T. Natürlich ersetzt R auch D. Bitte beachten Sie, daß die Bausteine der RNA, im Unterschied zu denen der DNA, weiß gedruckt sind.

1 Einsteiger-Modell

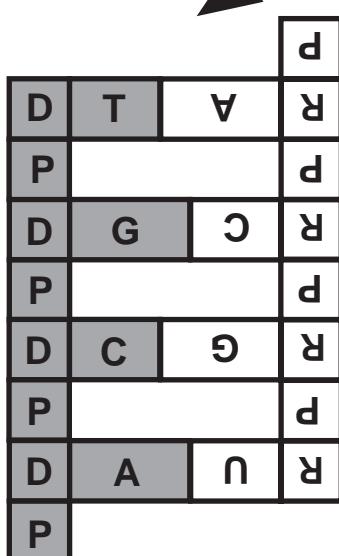


3 Folie

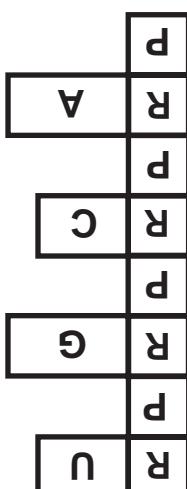
DNA-STRANG



Aufbau des RNA-Stranges



Loslösen des RNA-Stranges



wandert aus
dem Zellkern
ins Cytoplasma

DNA-Strang

RNA-Strang

Boten-RNA (mRNA)

2 Fortgeschrittenen-Modell**1 Arbeitsanweisung**

Wir haben nun gelernt, daß die genetische Information durch die Basensequenz der DNA verschlüsselt ist, und daß diese Sequenz originalgetreu repliziert werden kann. Aber wie wird die genetische Information genutzt? Zellen und Organismen unterscheiden sich hauptsächlich in ihren Proteinen, und diese wiederum sind das Resultat einer Vielzahl von Reaktionen, die im Cytoplasma der Zelle stattfinden. Diese Reaktionen werden von Enzymen kontrolliert, die alle aus Proteinen aufgebaut sind. Es liegt daher nahe, anzunehmen, daß die Information der DNA Instruktionen verschlüsselt, mit deren Hilfe bestimmte Proteine synthetisiert werden können. Die in der DNA enthaltene genetische Information muß daher aus dem Zellkern hinaus ins Cytoplasma gelangen.

Lege die ausgegebenen Teile so auf den Tisch, daß nur die Molekülstrukturen nach oben zeigen. Konstruiere aus diesen Teilen einen DNA-Einzelstrang. Wenn Du fertig bist, lege diesen zur Seite ohne ihn auseinanderzunehmen.

Nun nimm den zweiten Satz der ausgegebenen Bausteine und lege auch diese so auf den Tisch, daß die Molekülstrukturen nach oben zeigen.

F1 Sieh Dir die neuen Bausteine genau an. Notiere alle Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den DNA-Bausteinen und den neuen Teilen, die Du finden kannst. Achte v.a. auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede in ihrer chemischen Struktur.

Baue die neuen Bausteine zu Nukleotiden zusammen. Füge diese Nukleotide dann an den DNA-Strang, den Du zuvor konstruiert hast, an. Der DNA-Strang fungiert als Matrize, so daß ein spezifischer Strang aus den neuen Bausteinen gebildet werden kann. Dieser neue Strang wird als Ribonukleinsäure (kurz RNA) bezeichnet.

F2 Was denkst Du, warum dieser Strang den Namen Ribonukleinsäure trägt?

Der Prozeß, in dem ein DNA-Strang in einen RNA-Strang übersetzt wird, heißt Transkription.

Trenne den RNA-Strang von dem DNA-Strang, indem Du die Wasserstoffbrücken, die die Basenpaare zusammenhalten, wie einen Reißverschluß öffnest. Der RNA-Einzelstrang wird als Boten-RNA, kurz mRNA (aus dem Englischen messenger RNA abgeleitet), bezeichnet, da er durch die Poren in der Kernmembran hindurch ins Cytoplasma wandern kann. Hierbei trägt er die transkribierte Basensequenz und die darin verschlüsselte Information mit sich.

Da diese Information in Form einer linearen Basensequenz vorliegt und da Proteine aus einer linearen Abfolge von Aminosäuren bestehen, vermutete man einen Zusammenhang zwischen der Basensequenz der DNA und der Aminosäuresequenz der Proteine. Man entdeckte, daß eine bestimmte Sequenz von drei Basen, als Triplet-Codon bezeichnet, für eine bestimmte Aminosäure codiert. Proteine bestehen aus nur 20 verschiedenen Aminosäuren. Die Anzahl und Art sowie insbesondere die Reihenfolge dieser Aminosäuren bestimmt die Art des Proteins. Für alle 20 Aminosäuren konnten die entsprechenden Triplet-Codons entschlüsselt werden. Ein langes Stück mRNA beinhaltet daher genug Information, um für alle Aminosäuren eines Proteins zu codieren und so seinen Aufbau zu bestimmen.

In jeder Zelle eines Organismus' muß genug mRNA vorhanden sein, um für alle Proteine zu codieren, die sie benötigt. Um dies zu gewährleisten, ist daher ganz offensichtlich eine beträchtliche Informationsdichte notwendig.

2 Fortgeschrittenen-Modell**2 Informationen für LehrerInnen**

Geben Sie genug DNA-Bausteine an jede Schülergruppe aus, so daß ein einzelsträngiges DNA-Molekül konstruiert werden kann. Wenn Sie genug Zeit haben, können die Schüler auch einen DNA-Strang benutzen, den sie in einem vorherigen Arbeitsschritt angefertigt haben. Vergewissern Sie sich, daß Sie für jede Gruppe die entsprechende Anzahl passender RNA-Bausteine bereit halten, um einen komplementären Strang zu konstruieren.

Sobald die Schüler den DNA-Einzelstrang zusammengebaut haben, geben Sie die RNA-Bausteine aus.

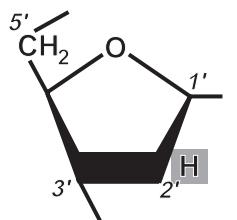
F1 Gemeinsamkeiten zwischen der DNA und den neuen Baustein:

Beide besitzen die Bausteine Phosphat, Adenin, Guanin und Cytosin.

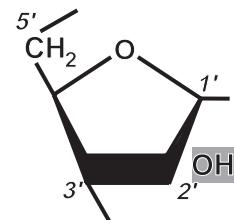
Unterschiede: Der Zucker der DNA ist eine Desoxyribose, während die neuen Teile eine Ribose enthalten - bitte beachten Sie, daß die Ribose weiß auf schwarzem Untergrund gedruckt ist.

Die neuen Bausteine enthalten die Base Uracil anstelle von Thymin - also dunkelblau anstelle von hellblau. Die Schrift ist wiederum weiß.

Bei genauerer Betrachtung der Ribose und der Desoxyribose wird ersichtlich, daß der einzige Unterschied zwischen den beiden in einer OH-Gruppe besteht. Die Ribose trägt am C2' eine solche OH-Gruppe, wohingegen die Desoxyribose an dieser Stelle lediglich ein H-Atom trägt. Daher röhrt auch der Name Desoxy- (ohne Sauerstoff) ribonukleinsäure.

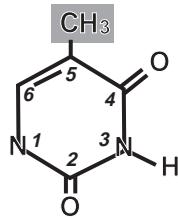


DESOXYRIBOSE

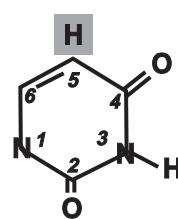


RIBOSE

Uracil unterscheidet sich dadurch von Thymin, daß eine CH₃-Gruppe am C5 durch ein H-Atom ersetzt ist.



THYMIN



URACIL

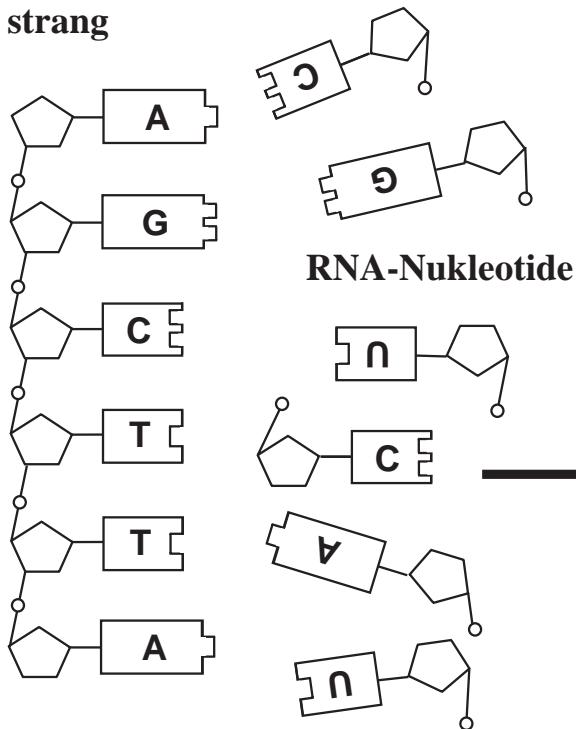
F2 Weil sie Ribose anstelle von Desoxyribose enthält.

Unser DNA-Modell endet mit der Transkription. Sie können dennoch fortfahren und erklären, wie die Translation der mRNA schließlich mit Hilfe von Triplet-Codons zur Protein-Biosynthese führt. Ein solches weiterführendes Modell zur Translation und Protein-Biosynthese wird derzeit entwickelt.

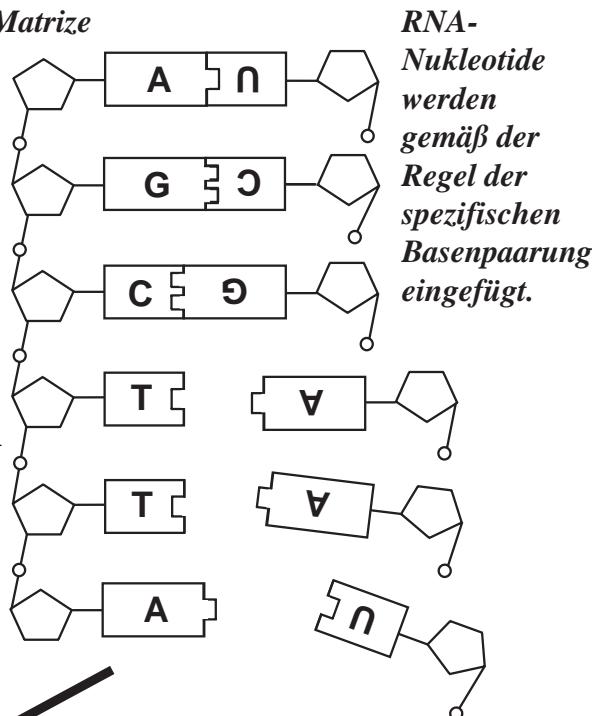
2 Fortgeschrittenen Modell

3 Folie

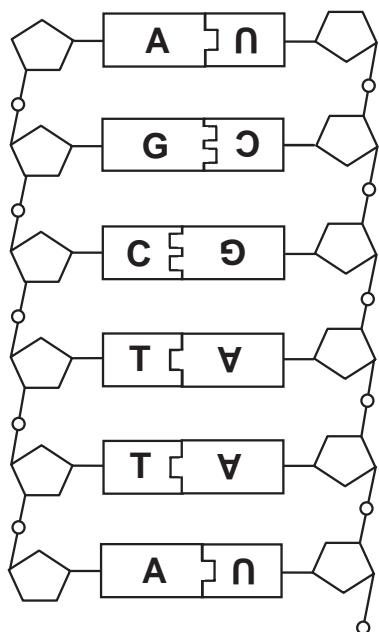
DNA-Einzel-strang



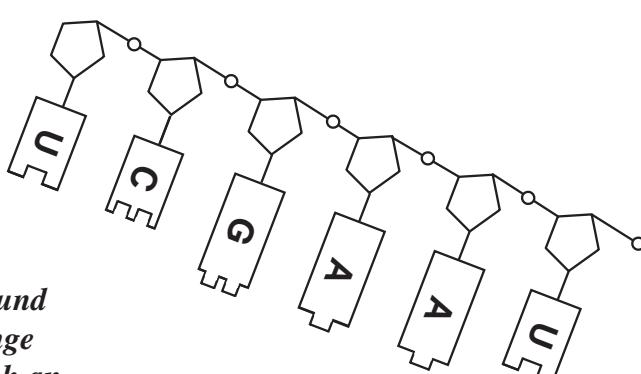
DNA-Strang fungiert als Matrize



Vollständiges Duplett aus DNA und RNA wird gebildet



Die DNA- und RNA-Stränge trennen sich an den schwachen Wasserstoffbrücken, die die Basenpaare verbinden



Boten-RNA (mRNA) wandert aus dem Zellkern hinaus ins Cytoplasma

ABFOLGE DER ARBEITSANWEISUNGEN

Die Bausteine sind jeweils für eine Gruppe dargestellt, das Molekül besteht aus 6 Basenpaaren.

ARBEITSANWEISUNG 1 - STRUKTUR

D	A
P	
D	A
P	
D	A
P	
D	G
P	
D	G
P	

D	C
P	
D	C
P	
D	T
P	
D	T
P	
D	T
P	

Angemessene Anzahl von Bausteinen, um ein doppelsträngiges DNA-Molekül von 6 Basenpaaren Länge zu konstruieren.

Dieses doppelsträngige DNA-Molekül kann dann für den nächsten Arbeitsschritt weiterverwendet werden.

D	A
P	
D	A
P	
D	A
P	
D	T
P	
D	T
P	
D	T
P	

D	C
P	
D	C
P	
D	T
P	
D	T
P	
D	T
P	
D	T
P	

ARBEITSANWEISUNG 2 - REPLIKATION

Jede Gruppe benötigt einen doppelten Satz von Bausteinen.

D	A
P	
D	A
P	
D	A
P	
D	T
P	
D	T
P	
D	T
P	

D	C
P	
D	C
P	
D	A
P	
D	A
P	
D	T
P	
D	T
P	

Ein Strang dieser DNA kann für den nächsten Arbeitsschritt weiterbenutzt werden.

Ein weiterer Strang kann schnell modifiziert werden.

ARBEITSANWEISUNG 3 - TRANSKRIPTION

Die D's (Desoxyribose) des zweiten Stranges werden durch R's (Ribose) ersetzt und die T's (Thymine) durch U's (Uracile).

R	C
P	
R	C
P	
R	U
P	
R	U
P	
R	U
P	
R	U
P	

Wenn Sie genügend Zeit haben, können Sie also alle drei Teilschritte am Stück durcharbeiten

D	A
P	
D	A
P	
D	A
P	
D	G
P	
D	G
P	

D	C
P	
D	C
P	
D	T
P	
D	T
P	
D	T
P	
D	T
P	

Wilbert Garvin war etliche Jahre als Biologielehrer im Schuldienst. Derzeit arbeitet er als Lehrbeauftragter der Pädagogik (Biowissenschaften) an der **Queen's University of Belfast**. Er ist Direktor des **Northern Ireland Centre for School Biosciences** und Gründungsmitglied der *European Initiative for Biotechnology Education*.

1995 erhielt er die Unilever Auszeichnung für sein *Teacher Training in Biotechnology* im Rahmen des *Partnership Award*-Projektes, das Innovationen im Bereich des Lehrens und Lernens an Universitäten auszeichnet.

Er ist Autor zahlreicher Bücher, zu denen z.B. die drei Bände von *Skills in Advanced Biology*, herausgegeben von Stanley Thornes Lrd. of Cheltenham, gehören

<i>Band 1</i>	<i>Dealing with data</i>
<i>Band 2</i>	<i>Observing, recording and interpreting</i>
<i>Band 3</i>	<i>Investigating</i>