

## Die Struktur der DNA - virtuelle Moleküle in 3D

*Die hier für den Einstieg in die molekularen Grundlagen der Genetik verwendete Lernumgebung ermöglicht Schülerinnen und Schülern einen aktiv-entdeckenden Zugang zum Aufbau unserer Erbsubstanz.*

Dynamische Arbeitsblätter sind digitale Unterrichtsmedien, die Informationstexte, Aufgabenstellungen, Bilder und dynamische Konstruktionen auf einer Seite miteinander vereinigen. Die hier vorgestellten Arbeitsblätter enthalten Moleküldarstellungen, die es Schülerinnen und Schülern ermöglichen, aktiv mit einem 3D-DNA-Modell zu arbeiten, in dem sie verschiedene Strukturelemente ein- und ausblenden, sowie das Molekül beliebig drehen und wenden können. Technische Grundlage der 3D-Moleküle sind die kostenfrei nutzbaren Molekülbetrachter Jmol (betriebssystemunabhängig) und Chime. Zudem enthält die Lernumgebung eine kleine flash-basierte „Drag & Drop“-Übung.

### Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen

- § die Struktur der DNA kennen lernen.
- § sich durch eigene Untersuchungen den molekularen Aufbau der DNA aktiv erschließen.
- § die Möglichkeiten von Molekülbetrachtern erkennen und den Umgang mit diesen Werkzeugen lernen.
- § in einem Ausblick die RNA mit den erworbenen fachlichen und methodischen Kenntnissen als weitere Nukleinsäure identifizieren.

### Kurzinformation

<b>Thema</b>	Die Struktur der DNA - virtuelle Moleküle in 3D
<b>Autoren</b>	Dr. Matthias Nolte, Dr. Thomas Engel, Bertold Durst
<b>Fach</b>	Biologie
<b>Zielgruppe</b>	Jahrgangsstufe 12 oder 13
<b>Zeitraum</b>	5 Stunden
<b>Technische Voraussetzungen</b>	Einsatz der Jmol-basierten Moleküldarstellungen: betriebssystemunabhängig, Browser mit Java-Unterstützung, Java Runtime Environment ( <a href="http://www.java.com/de/download/index.jsp">http://www.java.com/de/download/index.jsp</a> , kostenloser Download), Flash-Player ( <a href="http://www.adobe.com/downloads/">http://www.adobe.com/downloads/</a> ); Einsatz der Chime-basierten Moleküldarstellungen: Windows-Rechner, Chime (kostenloser Download von der MDL-Website nach Registrierung ( <a href="http://www.mdlchime.com/chime">http://www.mdlchime.com/chime</a> ), Flash-Player ( <a href="http://www.adobe.com/downloads/">http://www.adobe.com/downloads/</a> )

## **Didaktisch-methodischer Kommentar**

### **Didaktische Vorbemerkungen**

Die dynamischen Arbeitsblätter zur 3D-Struktur der DNA erlauben eine völlig eigenständige Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit dem molekularen Aufbau des Moleküls. Durch den Einsatz eines Lerntagebuchs zur Sicherung und Dokumentation des Gelernten ist ein Austausch mit Mitschülern, und insbesondere ein Eingreifen durch die Lehrkraft, nicht erforderlich. Im Rahmen der Schulzeitverkürzung nimmt das Selbstlernen der Schülerinnen und Schüler einen immer wichtigeren Stellenwert ein. Der Bedarf an geeigneten Medien steigt. Alternativ zur Bearbeitung im Regelunterricht können die Lernenden die hier vorgestellten Materialien in schulischen Selbstlernzentren, aber auch zu Hause, nutzen, um sich die Struktur der DNA selbstständig zu erarbeiten. Dynamische Arbeitsblätter sind somit ein wichtiges Medium zur geforderten Förderung des eigenständigen Lernens der Schülerinnen und Schüler.

### **Das Problem mit der räumlichen Vorstellung**

Die DNA ist das den Schülerinnen und Schülern wohl am besten bekannte Makromolekül. Eine erste strukturelle Auseinandersetzung erfolgt zum Teil schon in der Mittelstufe, auf jeden Fall aber - und dann recht detailliert - im Biologieunterricht der Oberstufe. Und trotzdem haben die Jugendlichen dort große Schwierigkeiten, sich den Aufbau der DNA vorzustellen. Insbesondere Lernende mit einem weniger ausgeprägten räumlichen Vorstellungsvermögen haben Probleme, wenn es darum geht, sich die Struktur aus zweidimensionalen Abbildungen oder den Fischer-Projektionen eines klassischen Tafelbildes zu erschließen. Abhilfe schaffen Raummodelle der DNA, in denen die Bausteine jedoch zumeist nur angedeutet sind, was eine genaue Analyse des chemischen Aufbaus und der Verknüpfung der Bausteine erschwert.

### **Dynamische Arbeitsblätter**

#### *Selbstständige Entdeckungsreisen*

Die Möglichkeit, digitale Molekülmodelle am Bildschirm beliebig drehen und wenden zu können, den Grad der Übersichtlichkeit durch Ein- und Ausblenden oder Hervorheben bestimmter Strukturelemente zu variieren, erleichtert den Schülerinnen und Schülern das "räumliche Lesen" komplexer Strukturen enorm. Ein strukturiertes Vorgehen durch didaktisch angepasste Hilfsmittel in der Moleküldarstellung und die Vorgabe von detaillierten Beobachtungsaufträgen unterstützt die Lernenden auf ihrer selbstständigen Entdeckungsreise. Animationen erlauben ein besseres Verständnis von eher schwer zu vermittelnden Prinzipien und Begriffen, wie zum Beispiel der Antiparallelität der DNA-Einzelstränge.

#### *Eine "Erfindung" aus der Mathematik*

Der Einsatz Dynamischer Arbeitsblätter und deren Verzahnung mit der Nutzung des Lerntagebuchs hat sich im Mathematikunterricht bereits bewährt. Eine Vorreiterrolle spielen hier die Materialien und Publikationen des Lehrstuhls für Mathematik und ihre Didaktik der Universität Bayreuth. Die Erfahrungen zum Einsatz Dynamischer Mathematik lassen sich auf den Einsatz analoger Arbeitsblätter mit 3D-Molekülen im Chemie- und Biologieunterricht übertragen. Ausführliche Informationen zum "Prinzip" der Dynamischen Arbeitsblätter finden Sie im Mathematikportal von Lehrer-Online (<http://www.lehrer-online.de/mathematik>).

### **Technische Hinweise**

#### *Jmol - plattformunabhängig und Open-Source*

Die Lernumgebung dieser Unterrichtseinheit besteht aus HTML-Seiten, die mit jedem gängigen Browser betrachtet werden können. Im Gegensatz zu Chime ist Jmol als Java-Applikation plattformunabhängig und eine Open-Source-Anwendung. Jmol liegt als Applet in eine Webseite eingebettet vor. Dies wird beim Aufruf der Webseite vom Webserver geladen und erfordert daher keine lokale Installation. Die einzige Bedingung für die Nutzung von Jmol-Darstellungen ist, dass der Computer über eine aktuelle Version der Java-Engine verfügt.

### *Chime-Version – unbrauchbar für Mac's*

Unter Mac OS X und Linux wird Chime nicht mehr unterstützt. Das zur Darstellung der Moleküle auf PCs benötigte Chime-Plugin steht kostenlos zur Verfügung und kann von der Website der Firma MDL – nach erfolgter Registrierung – kostenlos herunter geladen werden.

## **1. Phase: Hinführung**

### *Strukturierung des Vorwissens per MindMap*

Üblicherweise wird im Biologieunterricht durch das Transformationsexperiment von Griffith und Avery die DNA als Erbsubstanz identifiziert. An dieser Stelle empfiehlt es sich, jede Schülerin und jeden Schüler eine MindMap zum Thema DNA erstellen zu lassen. Auf diese Weise werden sich die Lernenden darüber klar, was sie über den Aufbau der Erbsubstanz wissen – beziehungsweise, was sie meinen zu wissen. Durch die Organisation des eigenen Wissens bekommen sie eine bessere Struktur in ihren nun folgenden, selbstständigen Lernprozess. Darüber hinaus bietet die MindMap einen guten Startpunkt für die Arbeit mit dem Lerntagebuch.

### *Reflexion des Lernprozesses per Lerntagebuch*

Das Lerntagebuch ist ein Instrument, mit dessen Hilfe der eigene Lernprozess systematisch reflektiert wird. Darüber hinaus dokumentieren die Schülerinnen und Schüler, was sie thematisch gelernt haben. Es dient somit auch ganz wesentlich als Protokollheft der Sicherung des Gelernten. Die eigene MindMap zur DNA bildet die erste Seite des persönlichen Lerntagebuchs. An dieser Stelle ist es wichtig, die Funktion und die Arbeit mit einem Lerntagebuch zusammen mit den Lernenden zu thematisieren, insbesondere in Lerngruppen, die im Umgang mit Lerntagebüchern oder Portfolios noch ungeübt sind.

## **2. Phase: Erarbeitung der Struktur der DNA**

### *Vorgabe von Beobachtungsaufträgen*

Eine Lenkung der Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler erfolgt lediglich durch den formalen Aufbau der Arbeitsblätter. Jede Seite richtet den Blick auf einen anderen Aspekt der DNA-Struktur. Die vorgegebenen Beobachtungsaufträge sorgen dafür, dass die Schülerinnen und Schüler mit den wesentlichen Informationen konfrontiert werden. Arbeitsaufträge sowie die schriftliche Fixierung ihrer Beobachtungen zwingen die Lernenden zu einer intensiven, mehrkanaligen Verarbeitung der Thematik.

### *Aktiv entdeckendes Lernen*

Die eigenständige Dokumentation im Lerntagebuch und die aktive, konstruktive Arbeit an den 3D-Molekülmodellen lassen die Beschäftigung mit der DNA zu einer Entdeckungsreise werden. Durch Drehen und Wenden, Zoomen und Hervorheben bestimmter Strukturen, durch Einfügen und Löschen von Wasserstoffatomen oder Wasserstoffbrückenbindungen wählt jeder Jugendliche die Herangehensweise an sein Forschungsobjekt. Dabei bieten einige Informationsboxen (Popups) weitere nützliche Informationen, wie zum Beispiel eine Definition des Begriffs Elektronegativität. Besonders hilfreich ist es, wenn jedem Lernenden ein eigener Computerarbeitsplatz zur Verfügung steht. Ist dies nicht möglich, so ist eine Partnerarbeit zu empfehlen. Hier findet dann ein kooperatives Lernen mit einem Partner statt, das sehr fruchtbar sein kann, infolgedessen die Arbeit mit dem Lerntagebuch allerdings einen anderen Schwerpunkt erhält. Es dient dann mehr als Protokollheft.

### *Die neue Rolle der Lehrkraft*

Die Arbeit mit dem dynamischen Arbeitsblatt bedarf keiner (lehrenden) Einflussnahme der Lehrkraft. Sie fungiert primär als Helfer bei technischen Problemen, insbesondere beim Kennenlernen der möglichen Funktionen des Jmol- beziehungsweise Chime-Menüs. Als Lernberater beobachtet die Lehrerin oder der Lehrer darüber hinaus kontinuierlich den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler. Dazu gehört auch die Durchsicht der Lerntagebücher am Ende der Unterrichtseinheit.

## Inhalte der Lernumgebung

- § 1. Die Bausteine der DNA  
Die Lernenden untersuchen den Aufbau der vier Basen, der Desoxyribose und der Phosphorsäure.
- § 2. Die räumliche Struktur der DNA  
Hier machen sich die Schülerinnen und Schüler grob mit der Gesamtstruktur der DNA vertraut.
- § 3. Zucker- und Phosphatgruppen  
Das Zucker-Phosphat-Rückgrat der DNA wird erkundet.
- § 4. Die Nukleobasen I  
Die Schülerinnen und Schüler untersuchen und vergleichen den chemischen Aufbau der Purin- und Pyrimidin-Basen.
- § 5. Die Nukleobasen II  
Die Anordnung und Verteilung der Basen in der Gesamtstruktur der DNA wird untersucht.
- § 6. Nukleoside und Nukleotide I  
Die Lernenden erkunden die 3D-Strukturen von Adenosin und Adenosinmonophosphat.
- § 7. Nukleoside und Nukleotide II  
Eine Grafik veranschaulicht die Syntheseschritte von den Einzelbausteinen der DNA bis hin zur Polynukleotidkette.
- § 8. Basenpaarung und Wasserstoffbrückenbindung  
Die Schülerinnen und Schüler erkunden in der Gesamtstruktur der DNA die Lage der Wasserstoffbrücken.
- § 9. Die Strangenden  
Die Begriffe 5'-Ende, 3'-Ende und Antiparallelität werden veranschaulicht.

Mit dem Arbeitsblatt zu den Strangenden endet die Betrachtung des molekularen Aufbaus der DNA. Die beiden noch folgenden Seiten bieten bereits einen Ausblick auf den Aufbau der RNA (siehe "Eigenständige Erforschung der RNA").

### 3. Phase: Eigenständige Erforschung der RNA

#### *Ausblick I: Einzelsträngige RNA*

Das vorletzte dynamische Arbeitsblatt der Lernumgebung („Ausblick I“) zeigt die Struktur einer linearen, einzelsträngigen RNA. Zumeist wird diese im Biologieunterricht direkt im Anschluss an den Aufbau der DNA behandelt. Der Ausblick bietet somit die Möglichkeit, dass die Schülerinnen und Schüler ihr gerade erworbenes Wissen auf eine neu dargebotene Struktur anwenden, Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten. Dafür ist sorgfältiges Arbeiten und „genaues Hinschauen“ von Nöten. Eine Infobox mit Erklärungen zur Struktur dient der Überprüfung der eigenen Arbeit. Diese Arbeit bedarf auch der intensiveren Auseinandersetzung mit dem Jmol- beziehungsweise dem Chime-Menü, da hier bis auf den Reset-Button keine Buttons zu Verfügung stehen.

#### *Ausblick II: Doppelsträngige RNA*

Gleiches gilt für die Seite „Ausblick II“. Hier ist ein doppelsträngiger Ausschnitt aus einer t-RNA dargestellt. Die Aufgabe der Lernenden ist es, eine Aussage darüber zu treffen, ob es sich bei dem Molekül um DNA oder RNA handelt. Es bedarf somit einer Rekapitulation der Eigenschaften, Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Nukleinsäuren und somit einer (Um)Strukturierung des erworbenen Wissens. Diese letzte Seite der Lernumgebung kann aufgrund des erhöhten Schwierigkeitsgrades im Sinne einer Binnendifferenzierung eingesetzt werden. Möglicherweise ist bei der späteren Behandlung der t-RNA im Kontext der Translation ein Rückgriff auf diese Struktur möglich und für die räumliche Vorstellung der Schülerinnen und Schüler hilfreich.

## Internetadressen

*3D-Struktur der DNA (Jmol)*

<http://lo-net2.de/group/Material/dna/jmol/start.htm>

Lernumgebung zur 3D-Struktur der DNA mit Jmol-Molekülvisualisierungen (plattformunabhängig, Java Runtime Environment Flash-Player erforderlich).

*3D-Struktur der DNA (Jmol)*

<http://lo-net2.de/group/Material/dna/chime/start.htm>

Lernumgebung zur 3D-Struktur der DNA mit Chime-Molekülvisualisierungen (Windows-Rechner, Plugin Chime der Firma MDL und Flash-Player erforderlich).

## Download

Sowohl die Jmol- als auch die Chime-basierte Lernumgebung können aus der Online-Version des Artikels (<http://www.lehrer-online.de/url/3d-dna>) heruntergeladen.

## Zusatzinformation

Weitere Links zum Thema DNA finden Sie in der Online-Version des Artikels (<http://www.lehrer-online.de/url/3d-dna>).

## Informationen zu den Autoren

*Dr. Matthias Nolte* ([mattmolte@web.de](mailto:mattmolte@web.de))

ist Lehrer für Biologie und Chemie. Nach ersten Erfahrungen mit dem Einsatz von 3D-Molekülen im Unterricht konzipierte er die hier vorgestellte Lernumgebung zur Struktur der DNA.

*Dr. Thomas Engel* ([engel@lehrer-online.de](mailto:engel@lehrer-online.de))

studierte Chemie und Lehramt Chemie und Biologie. Seit 2002 engagiert er sich bei den GDCh-Lehrerfortbildungskursen. Er programmierte die Moleküle der Lernumgebung zur DNA-Struktur.

*Bertold Durst* ([durst@lehrer-online.de](mailto:durst@lehrer-online.de))

ist Lehrer für Biologie, Mathematik und Informatik und unterstützt die Entwicklung der Materialien mit vielen wertvollen Anregungen.