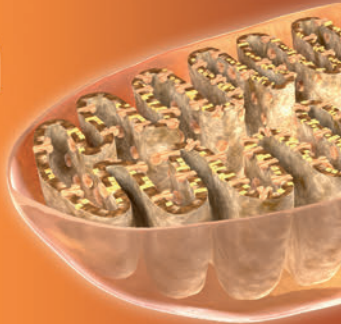


# Dissimilation Zellatmung



Sekundarstufe II

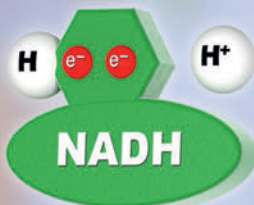
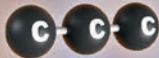
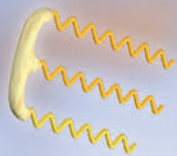
Online-  
Lernumgebung



Test  
Center

auf [www.gida.de](http://www.gida.de)

Filme  Software



Biologie

DVD  
VIDEO

# Inhalt und Einsatz im Unterricht

## "Dissimilation - Zellatmung" (Biologie, Sek. II)

- **Der einleitende Hauptfilm „Dissimilation - Ein Überblick“ (11:20 min)** vermittelt einen einfachen Einstieg in den komplexen Lernstoff und ist direkt über das Hauptmenü erreichbar, ebenso
- **der abschließende Film „Dissimilation - Ein Rückblick“ (4:40 min)**

In den beiden Modul-Menüs finden Sie **6 vertiefende Filme** zu den einzelnen Teilbereichen der Dissimilation:

Glykolyse	5:30 min
Zitronensäurezyklus	8:50 min
Atmungskette	7:00 min
$\beta$ -Oxidation (Fettsäurezyklus)	5:30 min
Verwendung der Aminosäuren	3:50 min
Gärung (Milchsäure)	4:40 min

(+ Grafikmenü mit 8 Farbgrafiken)

Aufwändige **3D-Computeranimationen** verdeutlichen die vielfältigen Abläufe der Energiegewinnung im menschlichen Körper, filmisch eingebettet in eine unterhaltsame, kleine Rahmenhandlung: Der Protagonist „Moritz“ baut aus vielen Einzelteilen ein Regal zusammen.

**Eine generelle Anmerkung** zu den computeranimierten Trickpassagen:

Die Darstellungen von Nährstoff- und Überträgermolekülen sind im Interesse einer guten Übersichtlichkeit stets vereinfacht, um die Schüler nicht mit tausenderlei Atom-/Moleküldetails zu irritieren. Meist wird bei Molekül-Umbauten lediglich das Kohlenstoffgerüst (der „C-Körper“) betrachtet. Ebenso wird besonderer Wert darauf gelegt, dass die Schüler den Weg des Wasserstoffs (seiner Elektronen und Protonen) ohne störendes Beiwerk verfolgen können.

Es empfiehlt sich, im Unterricht den **Überblicksfilm** **zuerst** einzusetzen, da er den jungen Protagonisten der kleinen Rahmenspielhandlung vorstellt und eine sehr kompakte und vereinfachende Schilderung der gesamten Dissimilation gibt. Die weiteren Filme können je nach Unterrichtsschwerpunkt in beliebiger Reihenfolge eingesetzt werden.

**Ergänzend zu den o.g. 8 Filmen** stehen zur Verfügung:

- **8 Farbgrafiken**, die das Unterrichtsgespräch illustrieren (in den Grafik-Menüs)
- **11 ausdruckbare PDF-Arbeitsblätter**, jeweils in Schüler- und Lehrerfassung

Im **GIDA-Testcenter** (auf [www.gida.de](http://www.gida.de)) finden Sie auch zu diesem Titel interaktive und selbstauswertende Tests zur Bearbeitung am PC. Diese Tests können Sie online bearbeiten oder auch lokal auf Ihren Rechner downloaden, abspeichern und offline bearbeiten, ausdrucken etc.

## Begleitmaterial (PDF) auf DVD

Über den „Windows-Explorer“ Ihres Windows-Betriebssystems können Sie die Dateistruktur einsehen. Sie finden dort u.a. den Ordner „DVD-ROM“. In diesem Ordner befindet sich u.a. die Datei

### index.html

Wenn Sie diese Datei doppelklicken, öffnet Ihr Standard-Browser mit einem Menü, das Ihnen noch einmal alle Filme und auch das gesamte Begleitmaterial zur Auswahl anbietet (PDF-Dateien von Arbeitsblättern, Grafiken und Begleitheft, Internetlink zum GIDA-TEST-CENTER etc.).

Durch einfaches Anklicken der gewünschten Begleitmaterial-Datei öffnet sich automatisch der Adobe Reader mit dem entsprechenden Inhalt (sofern Sie den Adobe Reader auf Ihrem Rechner installiert haben).

Die Arbeitsblätter ermöglichen Lernerfolgskontrollen bezüglich der Kerninhalte der Filme. Einige Arbeitsblätter sind am PC elektronisch ausfüllbar, soweit die Arbeitsblattstruktur und die Aufgabenstellung dies erlauben. Über die Druckfunktion des Adobe Reader können Sie auch einzelne oder alle Arbeitsblätter für Ihren Unterricht vervielfältigen.

---

**Fachberatung** bei der inhaltlichen Konzeption und Gestaltung:

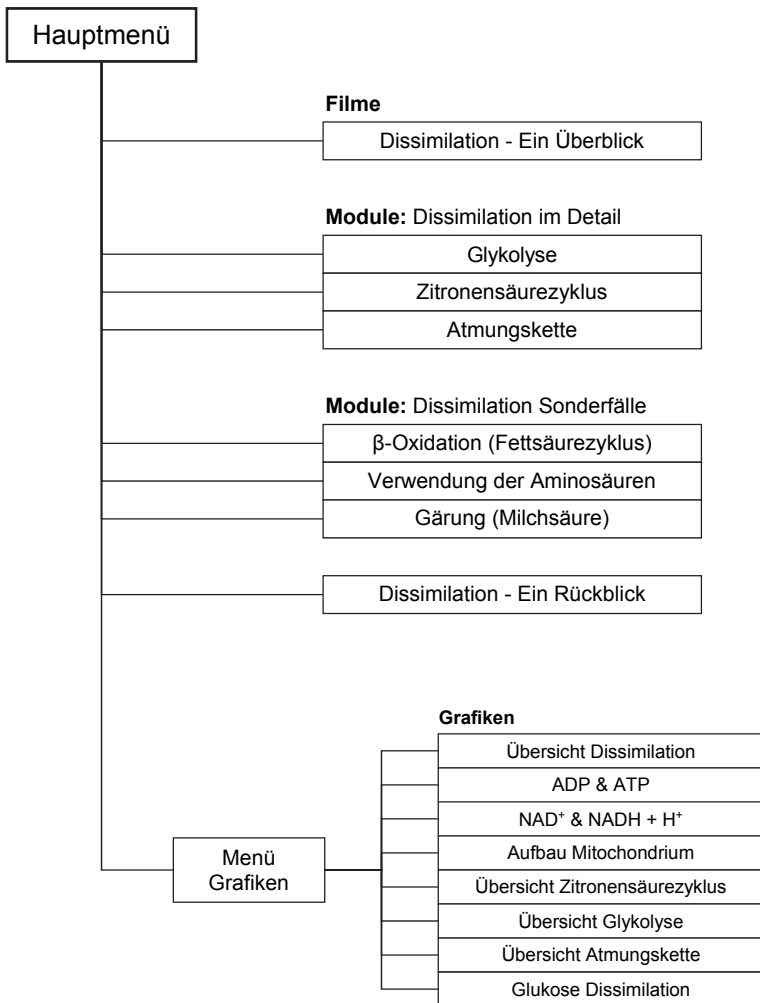
Frau Erika Doenhardt-Klein, Studiendirektorin  
(Biologie, Chemie und Physik, Lehrbefähigung Sek. I + II)

---

## Inhaltsverzeichnis

	Seite:
Inhalt – Strukturdiagramm	4
<b>Die Filme</b>	
Dissimilation - Ein Überblick	5
Glykolyse	8
Zitronensäurezyklus	9
Atmungskette	11
$\beta$ -Oxidation (Fettsäurezyklus)	13
Verwendung der Aminosäuren	15
Gärung (Milchsäure)	16
Dissimilation - Ein Rückblick	18

# Inhalt – Strukturdiagramm



# Dissimilation - Ein Überblick

Laufzeit: 11:20 min, 2018

## Lernziele:

- Einen Überblick über den Gesamtablauf der Energiegewinnung im menschlichen Körper („Dissimilation der Nährstoffe“) gewinnen;
- Das Zusammenspiel der drei wesentlichen Schritte der Dissimilation verstehen: Glykolyse, Zitronensäurezyklus und Atmungskette;
- Die zentrale Rolle von  $\text{NADH} + \text{H}^+$  und ATP als Wasserstoff- und Energieüberträger erkennen.

## Inhalt:

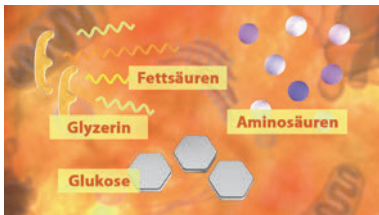
Der einleitende Film stellt zunächst den Protagonisten „Moritz“ vor: Der junge Mann ist schon von unserem Titel „Ernährung und Verdauung“ bekannt. Heute hat er seine liebe Not mit der Bauanleitung für ein Regal, die ihm zunächst ähnlich komplex erscheint wie manchem Schüler die biochemischen Prozesse der Dissimilation. Die Stationen seines „Kampfes“ mit dem Regal geben dem Film eine humorige, dramaturgische Klammer und lockern die folgenden Inhalte filmisch auf.



Die wesentlichen Schritte der Dissimilation eines Glukosemoleküls werden in sehr anschaulichen Computeranimationen erläutert. Es wird dabei besonderer Wert auf eine vereinfachte Überblicks-Darstellung des Gesamtablaufs gelegt. Ein erstes durchgängiges Verständnis der Dissimilation im menschlichen Körper soll erzielt werden, ohne die Schüler sofort mit allen Details zu überwältigen.

Die **Darstellung** der einzelnen Dissimilationsschritte erfolgt in der Regel **anhand der Kohlenstoff-Körper** der beteiligten Moleküle, zur besseren Übersicht sind Wasserstoff- und Sauerstoffatome in den Computeranimationen meist ausgeblendet.

Der Film startet da, wo Ernährung, Verdauung und Nährstofftransport in die Zelle beendet waren: Die in der Zelle vorliegenden Ausgangs-(Nähr-)Stoffe - Monosaccharide (Glukose), Glycerin und Fettsäuren - werden noch einmal als Hauptenergielieferanten der Zelle vorgestellt. Aminosäuren werden in erster Linie als Bausteine des Körpers eingeordnet, die aber auch veratmet werden können.



Die **Mitochondrien als „Kraftwerke der Zelle“** werden eingeführt.

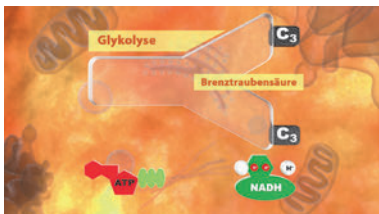
Der Film macht eingangs verständlich, dass die Dissimilation eine in Stufen ablaufende Oxidation von Nährstoffen ist, eine „Verbrennung“, die die in den Nährstoffen schlummernde Energie erschließt und den Körper nicht zerstört, wie es ein offenes Feuer tun würde.

### Überträgermoleküle:

Für den stufenweisen Ablauf dieser Nährstoff-Oxidation sind die beiden **Überträgermoleküle NADH + H<sup>+</sup> (Wasserstoff) und ATP (Energie)** von zentraler Bedeutung. Ihre prinzipielle Funktion, das Aufnehmen und Übertragen von Wasserstoff bzw. das Speichern und Übertragen von biochemischer Energie (Phosphorylierung) auf andere Stoffwechselprozesse in der Zelle wird verständlich gemacht.

### Glykolyse:

Das bekannte Molekül Glukose ist der Ausgangspunkt der Glykolyse („Zerlegung von Glukose“). Der Film zeigt die Zerlegung der Glukose im Zytoplasma bis hin zur Brenztraubensäure (C<sub>3</sub>-Körper), die dann in die Mitochondrien wandert.



## Oxidative Decarboxylierung:

Brenztraubensäure wird unter Abspaltung eines C-Atoms (Kohlenstoffdioxid) zu „aktivierter Essigsäure“ umgewandelt, dem Ausgangsstoff des Zitronensäurezyklus.

## Zitronensäurezyklus:

Der Film nennt ihn ein „biochemisches Karussell der besonderen Art“. Die mehrfachen Umbauten der beteiligten Moleküle werden sehr vereinfacht in Form von  $C_x$ -Körpern angedeutet. Als wesentliche Funktion des Zitronensäurezyklus wird die Abspaltung von  $CO_2$ , die direkte Produktion geringer Mengen ATP und die Abspaltung von Wasserstoff gezeigt („Beladen“ von  $NADH + H^+$ ,  $FADH_2$  wird auch erwähnt).



## Atmungskette:

Der Film verbildlicht die Atmungskette als Treppe, auf deren Stufen abwärts „häppchenweise“ Energie aus der Zusammenführung des in Glykolyse und Zitronensäurezyklus abgespaltenen Wasserstoffs mit eingeatmetem Luft-sauerstoff gewonnen wird. Die Speicherung der gewonnenen Energie in ATP-Molekülen schließt die Darstellung ab. - Wasser ist das energiearme Abbauprodukt der Dissimilation (neben  $CO_2$ ).

Abschließend beziffert der Film die aus einem Glukosemolekül gewonnene Energiemenge von insgesamt 38 ATP und regt dazu an, mit Hilfe der „ATP-Bilanz“ den Wirkungsgrad der Dissimilation zu errechnen.

# Glykolyse

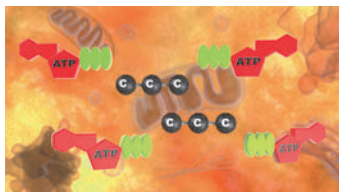
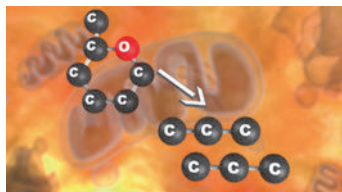
Laufzeit: 5:30 min, 2018

## Lernziele:

- Den Ablauf der Glykolyse erkennen und nachvollziehen können.

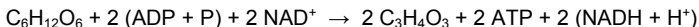
## Inhalt:

Dieser Modulfilm zeigt den Ablauf der Glykolyse in mehreren Schritten und stellt noch einmal kurz den Aufbau eines Moleküls Glukose vor. Dann folgt in Computeranimation eine Darstellung der wesentlichen Molekülumbauten, die im Zuge der Glykolyse im Zytoplasma der Zelle ablaufen:



- Aktivierung des Glukose-Rings durch 1 ATP
- Umbau zu Fruktose-Ring, Aktivierung durch 1 ATP
- Aufbrechen des Fruktoserings in zwei C<sub>3</sub>-Körper
- Anlagerung von 2 Phosphatresten
- Wasserstoffabspaltung, Aufladen von 2 (NADH + H<sup>+</sup>)
- Energieabgabe, Aufladen von 4 ADP zu ATP
- Endprodukt 2 Moleküle Brenztraubensäure

Der Film stellt abschließend eine Summgleichung der Glykolyse auf:



Es werden also in der Glykolyse „netto“ 2 Moleküle ATP direkt erzeugt (was später noch bedeutsam wird im Film „Gärung“). Außerdem entstehen 2 Wasserstoffträger NADH + H<sup>+</sup>.

Mit der Brenztraubensäure ist die Material-Vorstufe für die weiteren Prozesse erzeugt. Die Brenztraubensäure diffundiert in die Mitochondrien.



# Zitronensäurezyklus

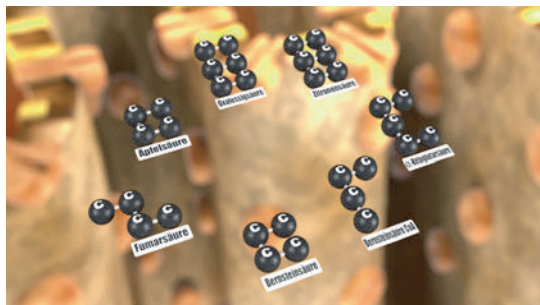
Laufzeit: 8:50 min, 2018

## Lernziele:

- Die Oxidative Decarboxylierung als Vorstufe des Zitronensäurezyklus kennenlernen;
- Die zentrale Rolle des Zitronensäurezyklus in der gesamten Dissimilation erkennen;
- Die diversen Molekülbauten im Zitronensäurezyklus im Prinzip erkennen und nachvollziehen können;
- Die vom Zyklus ausgeworfenen Produkte erkennen;
- Den Aufbau eines Mitochondriums im Überblick erkennen.

## Inhalt:

Der Film startet mit Wiederaufnahme der Brenztraubensäure, die ja Reaktionsprodukt der Glykolyse war, und schildert mit Computeranimationen die wesentlichen biochemischen Abläufe der Oxidativen Decarboxylierung und des Zitronensäurezyklus. - Es wird die filmdramaturgische Klammer „Moritz' Regalaufbau“ zur Auflockerung genutzt: Die Regalbauteile sind ebenso zahlreich wie die „Einzelteile“ des Zitronensäurezyklus, Überblick-Gewinnen ist daher zentrale Aufgabe!



Die Brenztraubensäure gelangt in ein „Kraftwerk der Zelle“, in ein Mitochondrium. In der Mitochondrien-Matrix läuft nun zunächst eine Vorstufe, die Oxidative Decarboxylierung, ab. Sie setzt ein Kohlenstoffatom in Form von Kohlenstoffdioxid frei, Resultat ist der  $C_2$ -Körper der „aktivierten Essigsäure“. - Ein Wasserstoffträger  $NADH + H^+$  wird beladen.

Der Film geht über zur Schilderung des Hauptprozesses, dem Zitronensäurezyklus, und fokussiert den Blick auf die Struktur der Kohlenstoffgerüste der einzelnen Moleküle, um den Schülern eine möglichst gute Übersicht zu vermitteln.

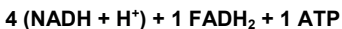
(Der Film verzichtet auf die Darstellung der Umbaustufe „Iso-Zitronensäure“, ebenso auf die Darstellung der Einbindung von Wassermolekülen im Zyklusverlauf).

Im Film nennen wir den Zitronensäurezyklus ein „biochemisches Karussell der besonderen Art“, hier in Stichworten die im Film geschilderten Abläufe:

- Aktivierte Essigsäure wird in den Zyklus eingeschleust, indem sie mit Oxalessigsäure zu Zitronensäure reagiert (C<sub>6</sub>-Körper).
- Über diverse Molekülumbauten wird schließlich wieder Oxalessigsäure gebildet, die erneut eine aktivierte Essigsäure in den Zyklus aufnehmen kann.
- Im Endeffekt wird ein C<sub>6</sub>-Molekülkörper zu einem C<sub>4</sub>-Körper abgebaut, an zwei Stellen werden also wieder Kohlenstoffe als Kohlenstoffdioxid ausgeworfen.
- Insgesamt werden 3 NADH + H<sup>+</sup> und 1 FADH<sub>2</sub> gebildet, die ihren Weg Richtung Atmungskette antreten.
- 1 Molekül ATP wird direkt gebildet.

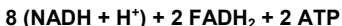
Die Computeranimationen zeigen den Ablauf des Zitronensäurezyklus mit allen o.g. Punkten sehr ausführlich und gut nachvollziehbar.

Abschließend stellt der Film eine kleine energetische Bilanz der gezeigten biochemischen Abläufe auf: Im Zuge eines Durchlaufs von Brenztraubensäure durch die oxidative Decarboxylierung und den Zitronensäurezyklus wird Energie biochemisch gebunden in:



Der Film behält aber stets das eine Molekül Glukose vom Anfang im Blick und korrigiert diese Zahlen, die sich ja nur auf ein Molekül Brenztraubensäure, also quasi nur auf eine Glukose-Hälfte beziehen.

Ein komplettes Molekül Glukose erbringt demnach in den Prozessen in der Mitochondrien-Matrix folgende Mengen energiereicherer Stoffe:



Die Wasserstoffträger machen sich nun auf ihren Weg zur Innenmembran des Mitochondriums, wo die Atmungskette abläuft.

# Atmungskette

Laufzeit: 7:00 min, 2018

## Lernziele:

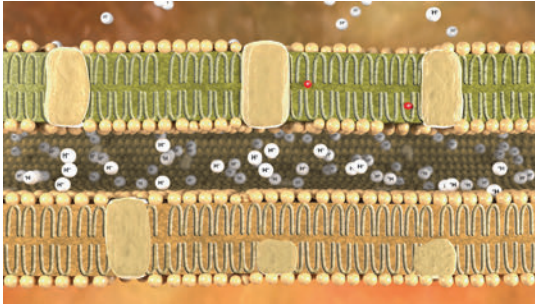
- Den Aufbau eines Mitochondriums und die Innenmembran als „Tatort“ der Atmungskette näher kennenlernen;
- Die Atmungskette als den Dissimilationsprozess erkennen, in dem der größte Teil der Energie in Form von ATP gewonnen wird;
- Das Prinzip der stufenweisen Energiegewinnung an der Innenmembran des Mitochondriums verstehen;
- Die ATP-Bilanz für ein Glukosemolekül nachvollziehen können.

## Inhalt:

Der Film nimmt die bislang produzierten Wasserstoffträger  $\text{NADH} + \text{H}^+$  wieder auf und zeigt ihren kurzen Weg aus der Matrix zur Innenmembran des Mitochondriums. Bei dieser Gelegenheit wird der Aufbau eines Mitochondriums erläutert, bestehend aus **Matrix(raum)**, **Innenmembran**, **Außenmembran**, **Intermembranraum**.

Dann konzentriert sich die Computeranimation auf ein Schnittbild der Innenmembran und deren näherer Umgebung, um detailliert den Ablauf der Atmungskette darzustellen. Hier die Darstellung in Stichworten:

- $\text{NADH} + \text{H}^+$  an der Innenmembran.
- Abgabe von zwei Elektronen in einen der Enzymkomplexe, die in der Innenmembran eingelagert sind.
- Exergonischer Elektronentransport durch die Membran, durch weitere Enzymkomplexe.
- Die bei der Elektronentransportkette freiwerdende Energie ermöglicht den Transport von Protonen (aus  $\text{NADH} + \text{H}^+$ ) in den Intermembranraum.
- Entladenes bzw. regeneriertes  $\text{NAD}^+$  kehrt in die Matrix zurück und steht für erneute Wasserstoffaufnahme bereit.
- Es entsteht ein Spannungsgefälle an den beiden Seiten der Innenmembran (unterschiedlich hohe Protonenkonzentration).
- Energieliefernder Ladungs-/Spannungsausgleich durch Protonenübergang am ATPase-Komplex, zurück in die Matrix.
- Bildung von ATP und Zusammenführen von Elektronen, Protonen (des Wasserstoffs) und Luftsauerstoff zu Wasser.



Der Film macht an dieser Stelle noch einmal sehr deutlich, dass hier keine „Knallgas-Reaktion“ stattfindet. Vielmehr erfolgt die Energiegewinnung für den Körper, indem ATP-Moleküle unter Nutzung der kleinen Energieportionen gebildet werden, die beim Protonendurchgang durch den ATPase-Komplex frei werden.

Energiearmes Abbauprodukt der Atmungskette ist Wasser.

Abschließend macht der Film die ATP-Bilanz der Dissimilation eines Moleküls Glukose auf:

10 (NADH + H <sup>+</sup> )	werden in die Atmungskette eingespeist und erzeugen	30 ATP
2 FADH <sub>2</sub>	werden in die Atmungskette eingespeist und erzeugen	4 ATP
	In Glykolyse und Z-Zyklus werden erzeugt	4 ATP
<b>Gesamt-Energie aus einem Molekül Glukose</b>		<b>38 ATP</b>

Mit dieser Energiebilanz schließt die filmische Darstellung der Dissimilationsprozesse in Zytoplasma und Mitochondrium.

<b>Atmungskette</b>	
<b>10 NADH+H<sup>+</sup></b>	<b>30 ATP</b>
<b>2 FADH<sub>2</sub></b>	<b>4 ATP</b>
	<b>34 ATP</b>
<b>Glykolyse u. Zitronensäurezyklus</b>	
	<b>4 ATP</b>
<b>1 Glukose erzeugt</b>	<b>38 ATP</b>

# β-Oxidation (Fettsäurezyklus)

Laufzeit: 5:30 min, 2018

## Lernziele:

- Fette als energiereichste Nährstoffe erinnern;
- Die Dissimilation der Fettbestandteile im Überblick kennenlernen und nachvollziehen können, warum Fette so viel Energie liefern;
- Eine ATP-Bilanz der Fett-Dissimilation kennenlernen und selber nachvollziehen können.

## Inhalt:

Der Film greift einleitend noch einmal zurück auf Wissen des Titels „Ernährung und Verdauung“: Fette enthalten mit ca. 3.700 kJ pro 100 Gramm gut doppelt so viel Energie wie Kohlenhydrate oder Eiweiße.

Mit Hilfe der Computeranimation werden die einzelnen Schritte der Fette-Dissimilation im Überblick erläutert:

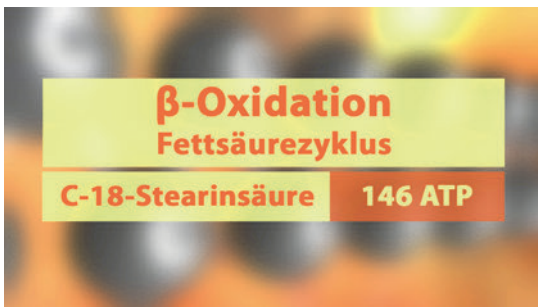
- Der C<sub>3</sub>-Körper Glycerin wird in mehreren Schritten in Glycerin-3-Phosphat umgewandelt und in dieser Form direkt in die Glykolyse eingespeist. Alle weiteren, bereits bekannten Schritte bis hin zur Atmungskette folgen. Das ist der erste, kleinere Teil der Energiegewinnung.

Die Fettsäureketten durchlaufen den etwas komplizierteren Weg der β-Oxidation, der Film gibt eine relativ einfach zusammenfassende Darstellung der biochemischen Abläufe:

- ATP gibt 2 Phosphatgruppen (ATP zu AMP) ab und aktiviert damit die eigentlich reaktionsträge, lange Fettsäurekette am Anfang der Kohlenstoffkette.
- Die Bindung zwischen 2. und 3. Kohlenstoffatom in der Kette bricht auf, ein C<sub>2</sub>-Körper wird von der Kette abgespalten.
- Dieser Vorgang aktiviert wiederum die Bindung zwischen den nunmehr 2. und 3. Kohlenstoffatomen, wieder bricht ein C<sub>2</sub>-Körper ab.
- Der schleifenartig ablaufende Vorgang (auch „**Fettsäure-Zyklus**“ genannt) läuft bis zur kompletten Aufzehrung der Fettsäurekette.
- Bei jeder Abspaltung wird Wasserstoff frei und sowohl 1 NADH + H<sup>+</sup> als auch 1 FADH<sub>2</sub> gebildet.
- Die abgespaltenen C<sub>2</sub>-Körper werden alle als „aktivierte Essigsäure“ in den Zitronensäurezyklus eingespeist, alle weiteren bereits bekannten Schritte bis hin zur Atmungskette folgen.

Es wird an der großen Menge eingespeister Essigsäure sehr offensichtlich und gut nachvollziehbar, dass ein Fettmolekül eine erheblich größere Energieausbeute bringt als z.B. ein Glukosemolekül.

Der Film erläutert die  $\beta$ -Oxidation am Beispiel eines Fettes mit drei Stearinsäuren ( $C_{18}$ ). Es wird sauber hergeleitet, dass bei der Zerlegung einer Stearinsäure 8 ( $NADH + H^+$ ) und 8  $FADH_2$  entstehen.



Als Rechenaufgabe für Fortgeschrittene stellt der Film die Frage, wie viele Moleküle ATP bei der Veratmung des gesamten Fettmoleküls ( $3 \times C_{18}$ ) entstehen.

# Verwendung der Aminosäuren

Laufzeit: 3:50 min, 2018

## Lernziele:

- Die Aminosäuren als Bausteine des Körpers erinnern, die für eine Veratmung eigentlich „viel zu schade“ sind;
- Die Wege der Aminosäuren-Dissimilation kennenlernen und nachvollziehen können.

## Inhalt:

Der Film leitet ein mit einer Reprise auf den Überblicksfilm und stellt noch einmal heraus, dass Eiweiße bzw. die Aminosäuren zum Veratmen, zur Energiegewinnung, eigentlich viel zu schade sind. Aminosäuren dienen hauptsächlich zum Aufbau neuer körpereigener Eiweiße, der an den Ribosomen der Zelle stattfindet.

Aber auch Aminosäuren können in die Dissimilation eingeschleust werden, wenn z.B. andere energiereiche Nährstoffe einmal knapp sind.

Zunächst erläutert der Film die Grundstruktur einer Aminosäure, bestehend aus Säuregruppe, Aminogruppe, zentralem C-Atom und dem Kohlenstoffrest.

Dann schildert der Film im Überblick, in welcher Form die Aminosäure zerlegt und der Energiegewinnung zugeführt wird.

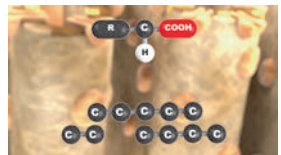
Hier die Schilderung der Computeranimation in Stichworten:

- Zunächst wird immer die Aminogruppe abgespalten, zur Leber transportiert, dort zu Ammoniak umgebaut, in Harnstoff gebunden und dann ausgeschieden.
- Das verbliebene Kohlenstoffgerüst wird je nach Zusammensetzung in C<sub>2</sub>-, C<sub>4</sub>- und C<sub>5</sub>-Körper zerlegt. Diese verschiedenen großen Bruchstücke finden schließlich alle Eingang in den „Allesverwerter“ Zitronensäurezyklus,

C<sub>2</sub> als aktivierte Essigsäure,

C<sub>4</sub> als Oxalessigsäure,

C<sub>5</sub> als α-Ketoglutaräure.



Der Zitronensäurezyklus wird auch in diesem kurzen Filmmodul noch einmal in seiner Funktion als zentrale Drehscheibe des Zellstoffwechsels hervorgehoben.

Die Bruchstücke der Aminosäuren durchlaufen dann alle weiteren Energiegewinnungsprozesse bis hin zur Atmungskette.

# Gärung (Milchsäure)

Laufzeit: 4:40 min, 2018

## Lernziele:

- Die Milchsäuregärung als Notventil des Körpers kennenlernen, das eine kurzzeitige Energiegewinnung des Körpers ohne Sauerstoffzufuhr erlaubt.

## Inhalt:

Dieses Filmmodul befasst sich mit der anaeroben Energiegewinnung, d.h. mit der Energiegewinnung unter Sauerstoffabschluss. Nach kurzer Einleitung - der Protagonist Moritz sprintet bergauf - wird erläutert, dass und wie der Körper kurzzeitig Energie auch ohne oder mit nur wenig Luftsauerstoff erzeugen kann.



Der Film zäumt die Erklärung „von hinten“ auf, um zunächst die „Energieerzeugungsblokade“ der Dissimilation bei Sauerstoffmangel zu verdeutlichen. Die wesentlichen Inhalte der Computeranimation in Stichworten:

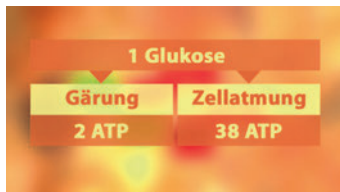
- Ohne Sauerstoff kann die Atmungskette keinen Wasserstoff mehr zu Wasser umsetzen, es entsteht ein regelrechter Protonen- und Elektronenstau in der Innenmembran des Mitochondriums.
- Die Wasserstoffträger  $\text{NADH} + \text{H}^+$  können ihren Wasserstoff nicht mehr an der Mitochondrien-Innenmembran abladen.
- Freier Wasserstoffträger  $\text{NAD}^+$  wird in der ganzen Zelle knapp.
- Der Zitronensäurezyklus kommt zum Erliegen, weil  $\text{NAD}^+$  keinen Wasserstoff mehr abtransportieren kann.
- Die Glykolyse kommt aus gleichem Grund zum Erliegen, weil der Zitronensäurezyklus keine aktivierte Essigsäure mehr aufnehmen kann.



Der Film macht auf diese Weise klar, dass ohne Luftsauerstoff die gesamte Dissimilation - die Zellatmung - sehr schnell total blockiert wäre und das Leben ein Ende hätte. Diese Totalblockade der Energiegewinnung kann der Körper für kurze Zeit umgehen - mit Hilfe der Gärung.

Der Film schildert den Reaktionsablauf der Gärung. Es wird deutlich, dass und wie die Glykolyse quasi „kurzgeschlossen“ wird:

- Die Glykolyse - die Spaltung eines Glukosemoleküls - liefert unterm Strich 2 ATP Energie.
- In der Glykolyse entstehen zwangsweise auch 2 NDAH + H<sup>+</sup>. Der Weg in die Atmungskette ist blockiert, sie geben ihren Wasserstoff an die Brenztraubensäure ab, die damit zu Milchsäure reagiert und in der Zelle deponiert wird.
- Der nunmehr regenerierte Wasserstoffträger NAD<sup>+</sup> kann wieder Wasserstoffatome aufnehmen, die Glykolyse mit ihrer spärlichen ATP-Produktion kann weiterlaufen.
- Allerdings nur kurze Zeit (ca. 1-2 Minuten starker körperlicher Anstrengung), dann übersteigt die Milchsäurekonzentration in den Körperzellen und im Blut das erträgliche Maß.



Unser Protagonist Moritz muss seinen Sprint bergauf abbrechen und ringt um Luft. Die eingegangene Sauerstoffschuld ist zu groß geworden, die Milchsäure übersäuert sein Blut, das dadurch Luftsauerstoff aus den Lungen nur noch schlecht binden und zu den Körperzellen bringen kann. Atemnot ist die Folge, der zu flotte Läufer muss erst einmal pausieren.

**Die magere Energieausbeute der Gärung:** Aus einem Molekül Glukose werden nur 2 ATP anstatt der üblichen 38 ATP gewonnen!

# Dissimilation - Ein Rückblick

Laufzeit: 4:40 min, 2018

## Lernziele:

- Die stets wiederkehrenden biochemischen Abläufe in der Dissimilation erkennen;
- Den Zitronensäurezyklus als zentrale Drehscheibe des Zellstoffwechsels erkennen;
- Den Ablauf und Sinn der stufenweisen „Nährstoff-Oxidation“ rückblickend einordnen können und auf die grundlegende Summengleichung der Dissimilation reduzieren können;
- Die gewaltige Stoffwechselleistung des menschlichen Körpers erkennen.

## Inhalt:

Der Film soll die **rückblickende Einordnung** und Festigung des gewonnenen Wissens aus allen Detailfilmen der „Dissimilation“ unterstützen.

Die vielfältigen biochemischen Prozesse, die im Zuge der Dissimilation, der „Zellatmung“ ablaufen, erscheinen auf den ersten Blick verwirrend. Dieser Rückblicksfilm arbeitet noch einmal die wesentlichen, immer wiederkehrenden Reaktionsmuster auf:

- Abspaltung und Aufnahme von Wasserstoff.
- Abspaltung von Kohlenstoffdioxid.
- Wasserstoff und (eingatmeter) Sauerstoff reagieren unter stufenweiser Energiefreisetzung zu Wasser.
- ATP wird mit Hilfe dieser Energie aufgebaut, kann diese Energie transportieren und sie auf andere Lebensprozesse in der Zelle übertragen.
- Alle Nährstoffe bzw. deren energiereiche Abbau-Zwischenprodukte landen auf dem ein oder anderen Weg im „Alles-Verwerter“ Zitronensäurezyklus. Dort werden sie in Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff zerlegt.

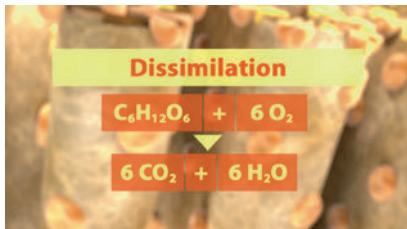
Der Film macht noch einmal deutlich, worin die geniale Erfindung der Natur liegt: Die in der freien Natur zerstörend wirkende Oxidation von organischen Stoffen durch Feuer bremst der Organismus ab.

Die Dissimilation erlaubt das Erschließen der Energie, die in den organischen Nährstoffen liegt, bei normaler Körpertemperatur. Dazu benötigt er allerdings das recht komplizierte Instrumentarium des Zellstoffwechsels.

Der Endeffekt lässt sich in der einfachen Summgleichung der (Glukose-) Dissimilation festhalten:

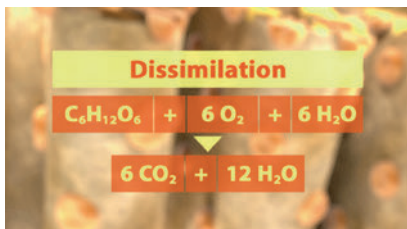


oder 'chemischer' ausgedrückt



An dieser Stelle geht der Film noch einmal auf die Rolle von Wasser in allen Dissimilations-Reaktionen ein: Im Interesse einer größtmöglichen Übersichtlichkeit für die Schüler sind in allen filmischen Darstellungen die diversen Stellen der Wasseraufnahme und -abspaltung ausgeblendet worden.

Der Film zeigt die Einbindung von Wasser in der vollständigen Summgleichung der Dissimilation eines Glukosemoleküls:



Abschließend vermittelt der Film anhand einer Zahl einen Eindruck von der gewaltigen Dissimilationsleistung des menschlichen Organismus: Alles läuft ja im Endeffekt auf die Erzeugung der universellen Energiewährung ATP hinaus. Und der Körper eines Erwachsenen produziert pro Tag ca. 70 kg ATP!



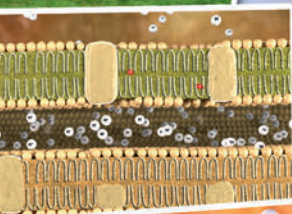
GIDA Gesellschaft für Information  
und Darstellung mbH  
Feld 25  
51519 Odenthal

Tel. +49-(0) 2174-7846-0  
Fax +49-(0) 2174-7846-25  
info@gida.de  
www.gida.de



- Dissimilation - Ein Überblick
- Glykolyse
- Zitronensäurezyklus
- Atmungskette
- $\beta$ -Oxidation (Fettsäurezyklus)
- Verwendung der Aminosäuren
- Gärung (Milchsäure)
- Dissimilation - Ein Rückblick

Zitronensäure-  
zyklus



Glykolyse

