

Ertragsphysiologische Grundkenntnisse und Angewandte Grundlagen der Biochemie im Pflanzenbau

Unterrichtsleitfaden an der
Technikerschule für Agrarwirtschaft
Triesdorf 2014/15
(ab Februar 2015)

Mit weiterführenden Links aus dem Internet, insbesondere...

[Biokurs](#) (Beck), [Bio-Lexikon](#) (Lukas Hensel).

Animationen von...

[John Kyrk](#) und [stolaf.edu](#)

Herzlichen Dank an die Quellenautoren!

Autor und Kopierrechte:
Helmut Rogler

Inhaltsverzeichnis:

ENTWICKLUNG UND WACHSTUM IM GETREIDE	4
1.1 Entwicklungsabschnitte und Bestandesführung	4
1.2 Stoffwechselfvorgänge im Wachstumsprozess.....	4
WICHTIGE PFLANZLICHE INHALTSSTOFFE	7
1. Kohlenhydrate	7
1.1 Monosaccharide.....	7
1.2 Disaccharide	7
1.2.1 Saccharose	7
1.2.2 Malzzucker (Maltose).....	8
1.2.3 Milchzucker (Laktose).....	8
1.2.4 Spaltung der Disaccharide durch Enzyme	8
1.3 Polysaccharide.....	8
1.3.1 Stärke	9
1.3.1.1 Stärkekörner	9
1.3.2 Zellulose	10
1.4 Ergänzende Anmerkungen	10
1.4.1 Bestimmung der Konzentration von Zuckerlösungen	10
1.4.2 Stereo- oder Spiegelbild-Isomerie von Kohlenwasserstoffen	11
1.4.3 Wirksame und unwirksame Moleküle von PS- Wirkstoffen.....	11

2. Fette und Öle.....	12
2.1 Fettsäuren	12
2.1.1 Essentielle Fettsäuren	13
2.2 Glyzerin	13
2.3 Begriff Ester in der Landwirtschaft	13
2.3.1 Esterformulierte Pflanzenschutzmittel	13
2.3.2 Rapsmethylester RME	14
3. Proteine.....	15
3.1 Aminosäuren als Bausteine der Proteine	15
3.2 Peptidbindung und Peptide.....	16
3.3 Proteinarten und allgemeiner Aufbau.....	16
3.4 Struktur des Eiweißes und seine Bedeutung.....	17
PFLANZLICHE ZELLE UND IHRE WICHTIGSTEN STOFFWECHSELVORGÄNGE	18
1. Wichtige Organelle einer pflanzlichen Zelle	18
1.1 Biomembran	18
1.1.1 Aufbau	18
1.1.2 Steuerung des Transports und der Platzierung von Enzymen	19
1.2 Zellkern	20
1.3 Mitochondrien und biologisch verwertbare Energie	21
1.4 Golgi- Apparat.....	22
1.5 Das Endoplasmatische Retikulum (ER)	22
1.6 Plastide	23
1.6.1 Chloroplasten.....	23
1.6.2 Chromoplasten.....	23
1.6.3 Leukoplasten	23
2. Energiestoffwechsel pflanzlicher Zellen	24
2.1 Die Photosynthese	24
2.1.1 Zum besseren Verständnis der Lichtreaktion	24
2.1.1.1 Eigenschaften des Sonnenlichts.....	24
2.1.1.2 Energiequanten	25
2.1.1.3 Anregung der Elektronen im Chlorophyll- Molekül	25
2.1.1.4 Spektralanalyse.....	25
2.1.1.5 Weitführende Fragen und Beispiele	26
2.1.2 Lichtreaktion der Photosynthese	26
2.1.2.1 Warum ist das Gras grün?	26
2.1.2.2 Vorgänge während der Lichtreaktion.....	27
2.1.2.3 Woher kommt der Sauerstoff?.....	27
2.1.3 Dunkelreaktion	28
2.1.4 Dunkelreaktion der C4-Pflanzen.....	29
2.1.4.1 Wie schaut´s in der Pflanze aus?	29
2.1.5 Zusammenfassende Aussagen zur Photosynthese	30
2.2 Die Glycolyse	31
2.2.1 Vorgänge am Beispiel der Keimung	31
2.2.2 Regulationsmechanismen der Glycolyse.....	31
2.2.3 Genauere Beschreibung der einzelnen Schritte	33
2.3 Der Zitronensäurezyklus (Citratzyklus)	34
2.3.1 Genauere Reaktionswege	35
2.4 Die Atmungskette	37

3. Gene und Proteinbiosynthese	38
3.1 Doppelhelix und Aufbau der DNA.....	38
3.2 Feinbau der Chromosomen.....	39
3.3 Was ist ein Gen?.....	40
3.3.1 Der Genetische Code.....	40
3.4 Proteinbiosynthese.....	41
3.4.1 Transkription oder „Das Ablesen eines Genes“	41
3.4.1.1 Die Säuierung der m-RNA oder „Alternatives Spleißen“	42
3.4.2 Translation oder der „Zusammenbau eines Enzyms“	42
3.4.2.1 Die t-RNA als Aminosäuren- Transporter.....	42
3.4.2.2 Die Ribosomen als „Strickliesl“ für die Proteine	43
3.4.3 Beendigung (Termination)	43
3.4.4 Die Polysomen als Strickmaschine der Proteine	44
3.4.5 Verschickung der Proteine an ihren Wirkungsort (Signalhypothese)	44
3.5 Wirkungsprinzip der Enzyme.....	44
3.6 Zusammenfassung der Protein- Biosynthese.....	45
4. Zellteilung und Reifeteilung	46
4.1 Verdoppelung der DNA	46
4.1.1 Labormethode zur DNA-Anreicherung für genetischen Fingerabdruck	46
4.2 Mitose.....	46
4.2.1 Prophase	47
4.2.2 Metaphase.....	47
4.2.3 Anaphase	47
4.2.4 Telophase.....	47
5. Meiose (Reifeteilung).....	48
5.1 Erste Reifeteilung	48
5.2 Zweite Reifeteilung	49
ANHANG: GÄR BIOLOGIE IN BIOGASANLAGEN.....	50
1. Hydrolyse	50
2. Versäuerungsphase (Acido- und Acedogenese)	51
3. Methanbildung.....	51
4. Einflüsse auch Gärverlauf und Probleme	52
4.1 Eigenschaften und Ansprüche der Bakterienarten.....	52
4.1.1 Generationszeiten	52
4.1.2 Ansprüche an pH-Wert.....	52
4.1.3 Ansprüche an Temperatur	52
4.2 Prozessführung	53

Entwicklung und Wachstum im Getreide

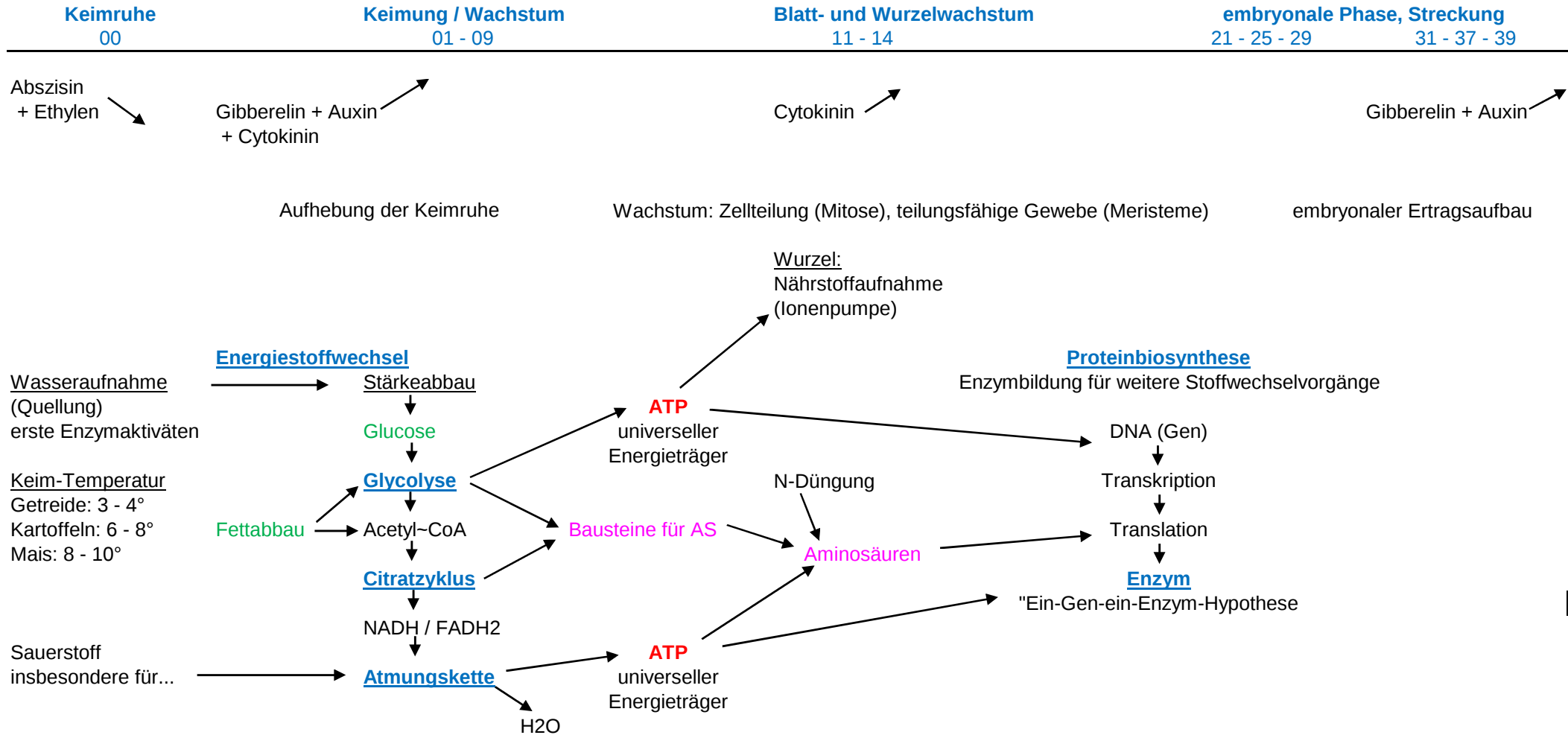
1.1 Entwicklungsabschnitte und Bestandesführung

			Keimung			Blattentwicklung				Bestockung			Schossen							Ährenschieb.			Blüte			Reife			Ernte	
	Vorsaat	Saat	01	05	09	10	11	12	13	21	25	29	30	31	32	33	37	39	49	51	55	59	61	65	69	75	85	89	92	99
Unkräuter/-gräser Skript: GetrUnkrBek. (Anhang)	Strohmanag., evtl. Glyphosat			VA		NAH ₁		NAH ₂																				Sik- kation (Gly)		
								NAF ₁ , NAF ₂ ,					NAF Spät.																	
Krankheiten Skript: GetrKrankBek (GetrKrank).	Strohmanag- ement	Beiz.													Fung.früh			Fung.spät					Fung.Fusar.							
																Fung.opt.														
Düngung Skript: Nährstoffe, prakt.Düng.	evtl. Gülle									N ₁ Bestockung		N ₂ Ähren- embryo						N ₃ Kornfüllung.					N ₄ Eiweiß- bildung							
Wachstumsregler Skript: Grundla- genBestFuehr- Getreide											Gibberelinsynthese- hemmer						Ethyl. bildner													
	W, TT, R Skript: Winterge- treide										CCC evtl.Splitting			Moddus, Metax top		Cam- po- san														
	WG, SoG																													
	Hafer															CCC														

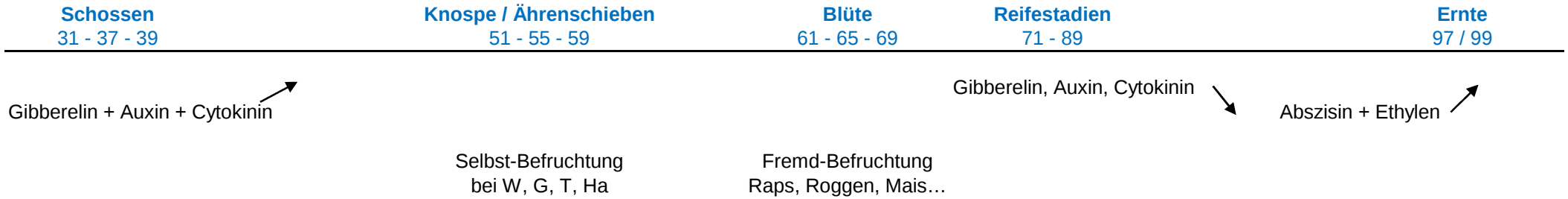
1.2 Stoffwechselvorgänge im Wachstumsprozess

(s. nächste zwei Seiten)

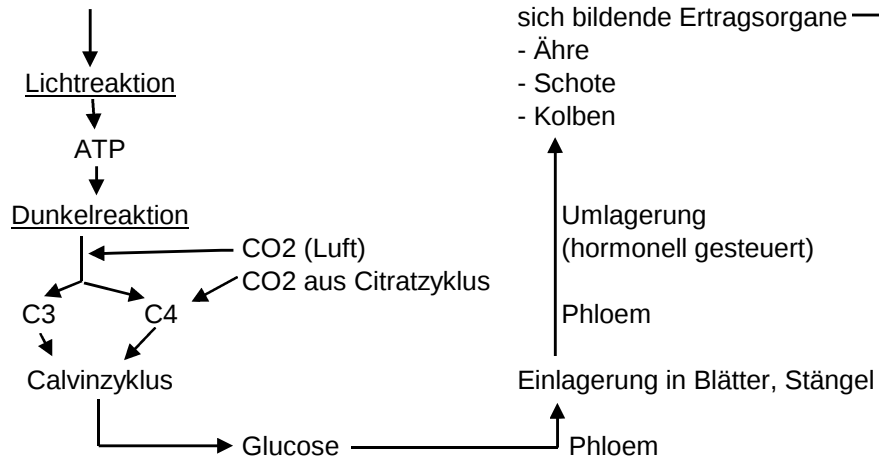
Zusammenhänge im pflanzlichen Stoffwechsel (1)



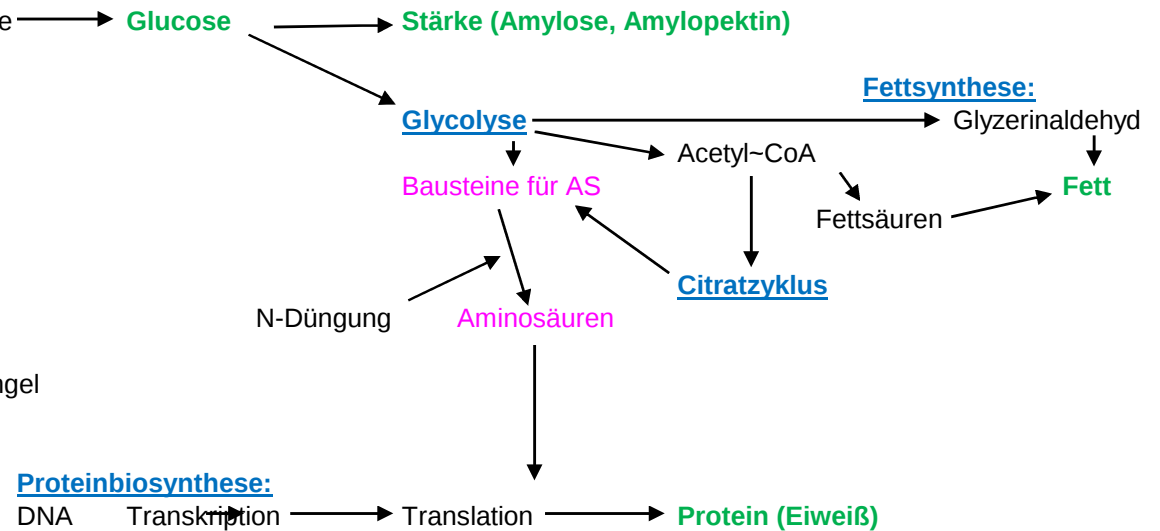
Zusammenhänge im pflanzlichen Stoffwechsel (2)



Photosynthese



Vorgänge in der Kornfüllungsphase (Ertragsaufbau)...



Wichtige pflanzliche Inhaltsstoffe

1. Kohlenhydrate

Weitere Bild-Infos: [3D-Animationen](#) (Java-Skript erforderlich!)

Die [Kohlenhydrate](#) haben im pflanzlichen Bereich die wichtigen Aufgaben der

- Energiebereitstellung (Zucker))
- Energiespeicherung (Stärke, dafür sind auch Fette wichtig, s. dort) und
- Gerüstbildung (Cellulose)

1.1 Monosaccharide

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Monosaccharid>

Monosaccharide werden in der Pflanze bei der

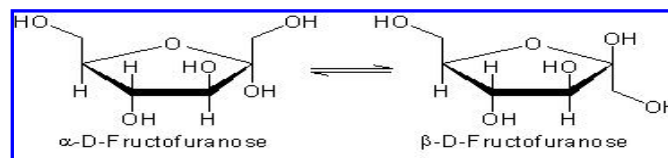
- [Dunkelreaktion der Photosynthese](#) gebildet (Fructose, s. später) oder
- werden beim Stärkeabbau frei (es entsteht Glucose).
- Sie sind besonders in den Früchten aber auch in anderen Pflanzenteilen vorhanden.

Zu ihnen gehören u.a. ...

1. Traubenzucker (auch [Glucose](#) genannt)
2. Fruchtzucker ([Fructose](#))
3. [Galactose](#) (in Milchzucker)

Die Form des Moleküls ist jeweils ein **sechseckiger** Ring. Die sechs Ecken bilden fünf Kohlenstoffatome und ein Sauerstoffatom. Das 6. C-Atom ragt als „Schwanz“ aus dem Ring heraus. Dies ist wichtig zum Verständnis des Stärkeaufbaus (s. später).

Beispiel Fructose (C₆H₁₂O₆): s. auch [3D-Animation](#)

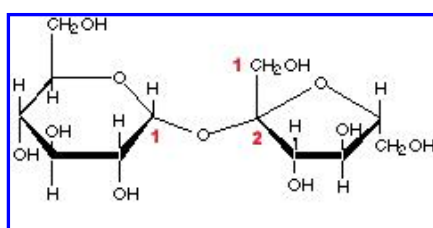


Die Abbildung zeigt, dass Fructose aus zwei verschiedenen **spiegelbildlichen Molekülformen** besteht (s. Stereoisomerie)

1.2 Disaccharide

Disaccharide oder [Zweifachzucker](#) bestehen aus zwei Einfach- Zuckern (Monosaccharide). Die drei Disaccharide Saccharose, Laktose und Maltose treten am häufigsten auf.

1.2.1 Saccharose



[Saccharose](#) ist die wichtigste Zuckerart in der Pflanze und kommt vor...

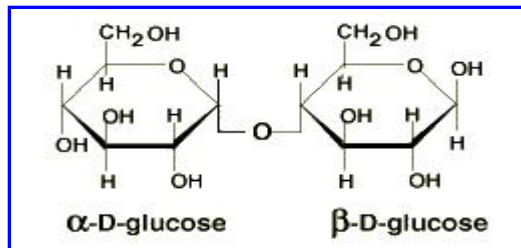
im Zuckerrohr und in der Zuckerrübe.

Summenformel: C₁₂H₂₂O₁₁

Aus Traubenzucker (Sechsering) und Fruchtzucker (Fünfering)

[Zurück](#)

1.2.2 Malzzucker (Maltose)



Malzzucker hat seinen Namen vom Gerstenmalz.

Er entsteht während der Keimung

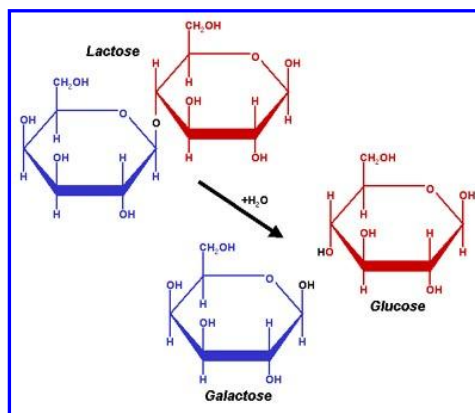
als Zwischenprodukt aus dem Abbau von Stärke.

Der weitere Abbau über die Glycolyse und den Zitronensäurezyklus (s. später) setzt biologisch verwertbare Energie frei, welche in den Keimvorgängen benötigt werden.

Chemisch (Summenformel $C_{12}H_{24}O_{11}$) besteht Maltose aus

- zwei ringförmigen Glucose-Molekülen

1.2.3 Milchzucker (Laktose)



Der Name sagt, dass die Laktose vor allem in der Milch vorkommt. Wie das Bild zeigt, besteht sie aus...

- einem Ring Glucose und
- einem Ring Galactose

1.2.4 Spaltung der Disaccharide durch Enzyme

Im lebenden Organismus (z.B. Dünndarm) werden die „Zweifachzucker“ durch Enzyme zu ihren beiden Einfachzuckern gespalten. (die Einfachzucker gelangen dann ins Blut):

- Enzym Saccharase (auch Invertase genannt) spaltet Saccharose zu Trauben- und Fruchtzucker
- Enzym Laktase spaltet Laktose (Milchzucker) zu Glucose und Galactose
s. Krankheitsbild „Laktose-Intoleranz“
- Enzym Maltase spaltet Maltose (Malzzucker) zu zwei Glucose

1.3 Polysaccharide

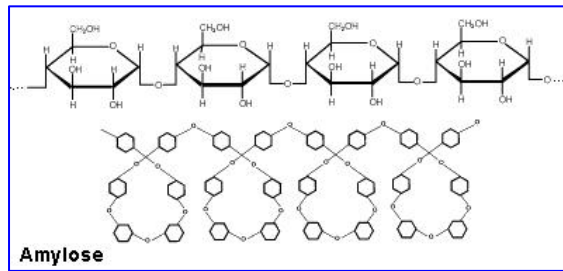
Im Gegensatz zu Mensch und Tier (Ausnahme Glycogen) gehören die Polysaccharide in der Pflanze zu den wichtigsten Speicher- und Gerüststoffen. Sie sind hochmolekulare Verbindungen aus „sehr vielen“ Monosacchariden. Pflanzliche Polysaccharide sind u.a.

- Stärke (wichtigste Form der Energiespeicherung in der Pflanze) und
- Zellulose (wichtigster pflanzlicher Gerüststoff).

1.3.1 Stärke

[Zurück](#)

Stärke ist ein Gemisch zweier Molekülsorten. Sie besteht aus „sehr langen“, z.T. verzweigten Ketten von Glucosemolekülen. Nach der Länge der Kette und dem Umfang der Verzweigung unterscheidet man...

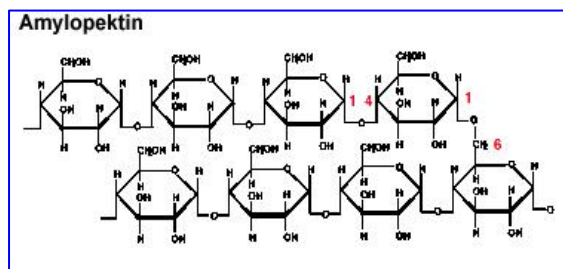


Amylose (unverzweigt):

- spiralig Ketten von Glucosemolekülen, verknüpft durch alpha-1,4-Bindung
(Merkhilfe: kürzeres Wort = nicht verzweigt)

In der technischen Verwendung von Stärke...

wird sie insbesondere als langkettige, weniger verzweigte Form verwendet (s. Züchtung der „Amylose- Erbse“).



Amylopektin (alpha-1,6-verzweigt):

- spiralig Ketten von Glucosemolekülen, verknüpft durch alpha-1,6-Bindung
(Merkhilfe: längeres Wort = stärker verzweigt)

s. auch Biokunststoffe

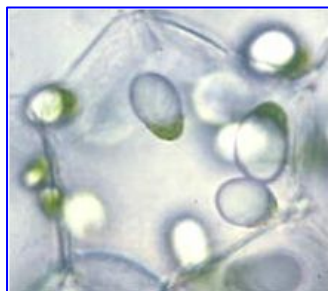
Durch diese „alpha- Verbindungen“ entstehen keine geraden Ketten sondern...

spiralförmige Moleküle

die sich mit Jod anfärben lassen (typische Nachweisreaktion von Stärke). Auch dienen die spiralförmigen Moleküle in den Speicherzellen der Pflanze zum Aufbau von Stärkekörnern.

1.3.1.1 Stärkekörner

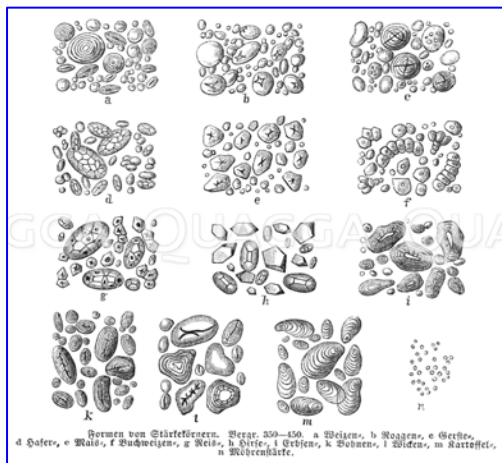
Quelle: Uni Hamburg



Der während der Photosynthese in der Dunkelreaktion entstehende Zucker kann

- zuerst in den Chloroplasten als Stärke zwischengelagert werden

oder...



- der Zucker wird aus den Chloroplasten ausgeschieden und wird in den Speicherorganen der Pflanze (z.B. Kartoffel, Getreidekorn...) zu Stärke aufgebaut zu

pflanzenart-typische Stärkekörner.

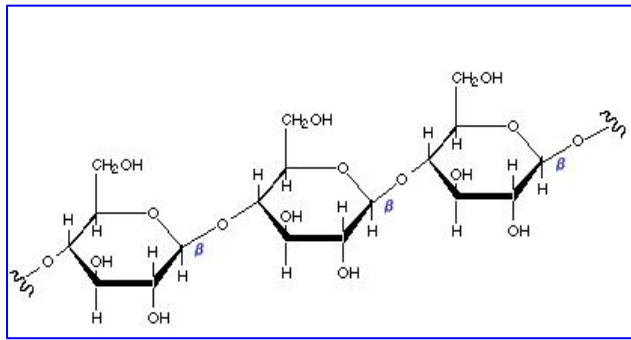
a=Weizen, b=Roggen, c=Gerste, d=Hafer, e=Mais, f=Buchweizen, g=Reis, h=Hirse, i=Erbsen, k=Bohnen, l=Wicken, m=Kartoffel

Die unterschiedliche Form der Körner wird für die Herkunftsbestimmung bei Futtermitteluntersuchungen verwendet.

Pflanzentypische Stärkekörner in Futtermitteln dienen als Herkunftsnachweis

[Zurück](#)

1.3.2 Zellulose



Die Zellulose ist Bestandteil der pflanzlichen Zellwände und besteht ebenso wie die Stärke aus Ketten von Glucosemolekülen.

Unterschiede gegenüber Stärke...

- sehr stark und verschiedenartig **vernetzt** mit
- Lignineinlagerungen, dadurch...
- sehr stabile **Gerüststrukturen**,
- gegen biochemischen Abbau sehr **widerstandsfähig**

Bei der Gewinnung von Zellulose wird aus dem Holz das Lignin herausgelöst.

„Zelluloseabbauer“ spielen in der Natur eine sehr wichtige Rolle. Beispiel:

- Pansenbakterien
- Bakterien und Pilze, die für die Mineralisation organischer Verbindungen im Boden verantwortlich sind
- **Bakterien in Biogasanlagen**
(s. auch unten „**Gärprozesse in der Biogasanlage**“!)

1.4 Ergänzende Anmerkungen

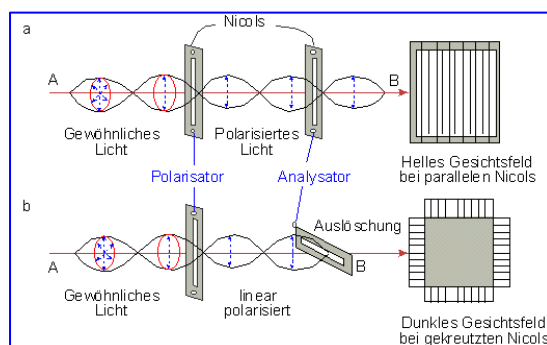
1.4.1 Bestimmung der Konzentration von Zuckerlösungen

Quellen: s. auch [Polarisation](#), [Polarimeter](#), [Optische Aktivität](#)

Diese schon seit Justus v. Liebig bekannte Eigenschaft der optischen Aktivität bestimmter organischer Moleküle wird u.a. zur Feststellung der Zuckerkonzentration verwendet.

In der Rübenabrechnung wird der Zuckergehalt als „Polarisation“ bezeichnet. Damit wird gleichzeitig die Messmethode angegeben, mit welcher die Zuckerkonzentration bestimmt wird (s. unten!)

Die optische Aktivität wird in der Praxis benutzt, um die Konzentration von Zuckerlösungen schnell und einfach festzustellen.

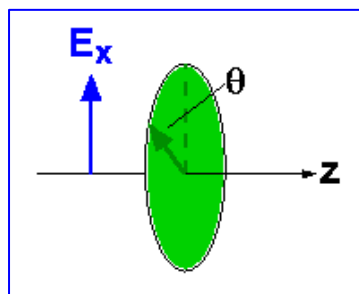


1. **Polarisiertes Licht...**

Normales Licht, das in allen Ebenen schwingt, wird durch ein Filter (spezielle Kunststofffolien) hindurch geschickt, das nur Licht einer Schwingungsebene hindurch lässt.

2. **Drehung der Schwingungsebene:**

Scheint dieses Licht durch eine Zuckerlösung, wird die Schwingungsebene nach rechts oder links gedreht.



Die Drehung dieses polarisierten Lichtes ist u.a. abhängig von...

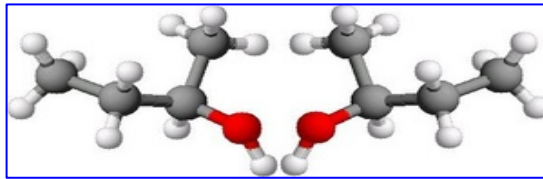
- der Konzentration und
- der Schichtdicke der Lösung

Durch die Stärke der Drehung (eintretendes Licht im Vergleich zum austretenden Licht (Drehwinkel θ)) kann die Zuckerkonzentration ermittelt werden

[Zurück](#)

1.4.2 Stereo- oder Spiegelbild-Isomerie von Kohlenwasserstoffen

Stereo- Isomere haben grundsätzlich die gleiche Summenformel, unterscheiden sich aber durch die räumliche Anordnung der Atome im Molekül. Solche Moleküle können an einem bestimmten C- Atom unterschiedliche Strukturen annehmen (Quelle: [Chiralität](#))



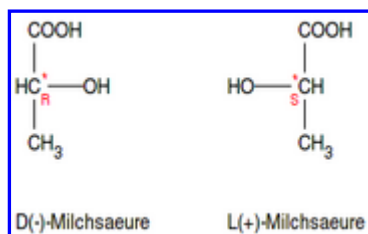
Experiment:

Basteln Sie ein Kastanienmännchen mit drei unterschiedlichen Beinen und einen Kopf. Der Leib ist das (chirale) C-Atom, die vier Gliedmaßen die unterschiedlichen Gruppen. Sie können durch Drehen der „Gliedmaßen“ KEINE zwei spiegelbildlichen Formen herstellen, sondern nur durch Vertauschen.

Bestimmte organische Verbindungen haben nicht mehrere, sondern

genau zwei räumlich verschiedene Molekülformen (Isomere)

Sie sind deshalb spiegelbildlich zueinander. Dazu gehören u.a.



- Zucker
- Aminosäuren (s. dazu [Animation von John Kyrk!](#))
- Milchsäure (linkes Bild!)
- versch. Pflanzenschutzmittel- Wirkstoffe

Die beiden spiegelbildlichen Formen werden mit L oder D bezeichnet. Diese Formen können polarisiertes Licht nach rechts (+) oder links (-) drehen (s. unten)

Eine Mischung aus links- und rechtsdrehenden Molekülen einer Substanz nennt man Racemat. Das Racemat hat keine drehenden Eigenschaften, da beide Formen in gleicher molarer Konzentration darin vorkommen.

1.4.3 Wirksame und unwirksame Moleküle von PS- Wirkstoffen

s. [Wikipedia!](#)

Die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln beruht oft auf der bestimmten Form der Wirkstoffmoleküle, die damit im Stoffwechsel von Unkräutern oder Krankheitserregern sich an Enzyme anlagern und diese somit blockieren.

Normalerweise werden bei der Produktion die zwei spiegelbildlichen Formen des Wirkstoffs gleichermaßen hergestellt (=Racemat). Nur eine der beiden Formen kann jedoch aktiv sein, die andere ist wirkungslos.

Bei immer mehr modernen **Pflanzenschutzmitteln** ist nur noch die aktive Form von zwei möglichen spiegelbildlichen Molekülformen vorhanden.

Die inaktive Form wird herausgefiltert
und belastet somit nicht die Umwelt.

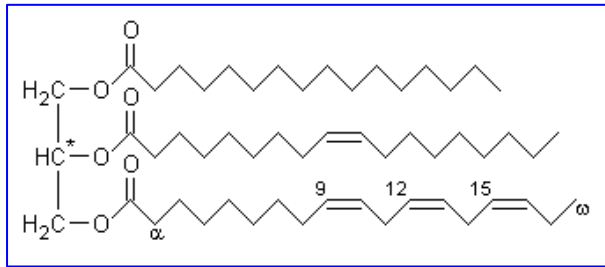
Beispiele dafür sind...

- Duplosan- Wachstumsstoffe (MCP-P), P- Isomere sind die aktive Form!
- das Gräserherbizid Ralon super („Safener“ plus „monomerer Aktiv-Wirkstoff“)
- das Kartoffelfungizid Ridomil Gold MZ (Wirkstoff Metalaxyl-M, also das M-Isomer)

[Zurück](#)

2. Fette und Öle

s. auch [3D-Animationen](#) wichtiger Fettsäuren



Fettmoleküle bestehen grundsätzlich aus zwei verschiedenen Bausteinen:

- dreiwertiger Alkohol [Glyzerin](#)
- langkettige [Fettsäuren](#)

Diese beiden Molekülarten sind miteinander „verestert“:

Fettmoleküle sind [Triglyzeride](#), d.h. Ester aus Glyzerin und drei Fettsäuren

2.1 Fettsäuren

Fettsäuren bestehen aus

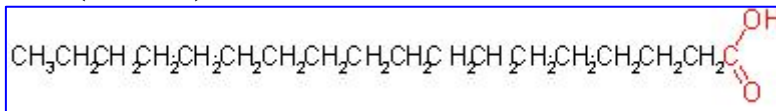
- einer Kohlenwasserstoffkette und
- der Säuregruppe

Sie haben immer eine geradzahlige Anzahl von C-Atomen (warum? → wegen der Bausteine, s. später).

Die wichtigsten Fettsäuren sind...

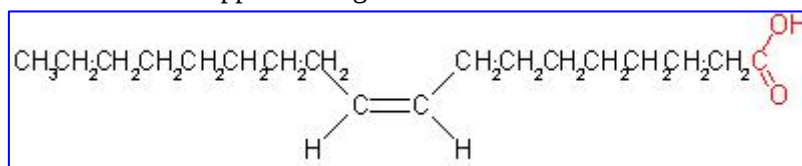
1. **gesättigte Säuren** (keine Doppelbindung), wie z.B.

- Palmitinsäure ($C_{16}H_{32}O_2$) und

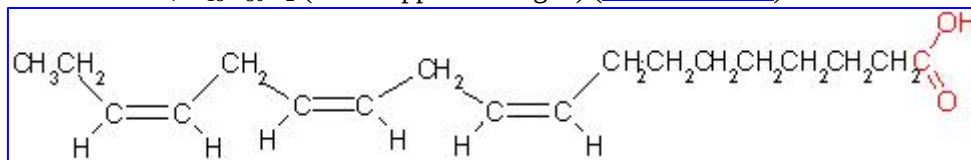


- **Stearinsäure** ($C_{18}H_{36}O_2$), Strukturformel:

2. **ungesättigte Säuren** haben Doppelbindungen wie z.B....



- **Ölsäure**, $C_{18}H_{34}O_2$ (eine Doppelbindung)
- **Linolsäure**, $C_{18}H_{32}O_2$ (zwei Doppelbindungen)
- **Linolensäure**, $C_{18}H_{30}O_2$ (drei Doppelbindungen) ([3D-Animation](#))



2.1.1 Essentielle Fettsäuren

[Zurück](#)

Quelle: [Wiki](#)

Lebenswichtige Fettsäuren sind ungesättigte Fettsäure die vom tierischen oder menschlichen Körper nicht selbst hergestellt werden können. Sie kommen vor allem in pflanzlichen Ölen vor. Essentielle Fettsäuren sind...

1. [Omega-3-Fettsäuren](#)

- [Linolensäure](#)
- Eicosapentaensäure (Linolensäure Vorstufe)
- Docosahexaensäure (Linolensäure Vorstufe)

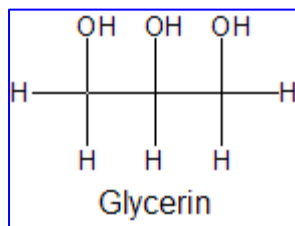
2. [Omega-6-Fettsäuren](#)

- [Linolsäure](#)
- [Arachidonsäure](#) (begrenzt aus Linolsäure synthetisierbar)

Ein Fett ist **besonders weich oder flüssig (Öl)** wenn es hohe Anteile an

- kürzeren oder
- ungesättigten Fettsäuren enthält

2.2 Glycerin



[Glycerin](#) ist ein „driewertiger“ Alkohol. Seine drei OH- Gruppen verestern sich mit drei Fettsäuren. Im Stoffwechsel ist Glycerin u.a. ein „Nebenprodukt“ der Glycolyse (Kohlenhydratabbau, s. dort).

2.3 Begriff Ester in der Landwirtschaft

Unter einem [Ester](#) versteht man allgemein in der Chemie die...

Verbindung aus einem Alkohol und einer Säure.

2.3.1 Esterformulierte Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmitteln können „esterformuliert“ sein (z.B. [Starane 180](#) Übersicht [BVL](#)).

Der Wirkstoff des Pflanzenschutzmittels ist chemisch verbunden mit einem Alkohol oder einem anderen organischen Lösungsmittel.

Durch das Anhängen des alkoholähnlichen Moleküls verändern sich die...

Eigenschaften des esterformulierten Wirkstoffes:

- **höherer Dampfdruck:**
Das Mittel verdampft rascher und verteilt sich besser im Pflanzenbestand.
- **rascheres Eindringen:**
der Wirkstoff wird „fett- oder wachsliebender“ (lipophil) und durchdringt somit besser die Wachsschicht eines Blattes.

[Zurück](#)

2.3.2 Rapsmethylester RME

Quelle: [Wiki/Biodiesel](#)

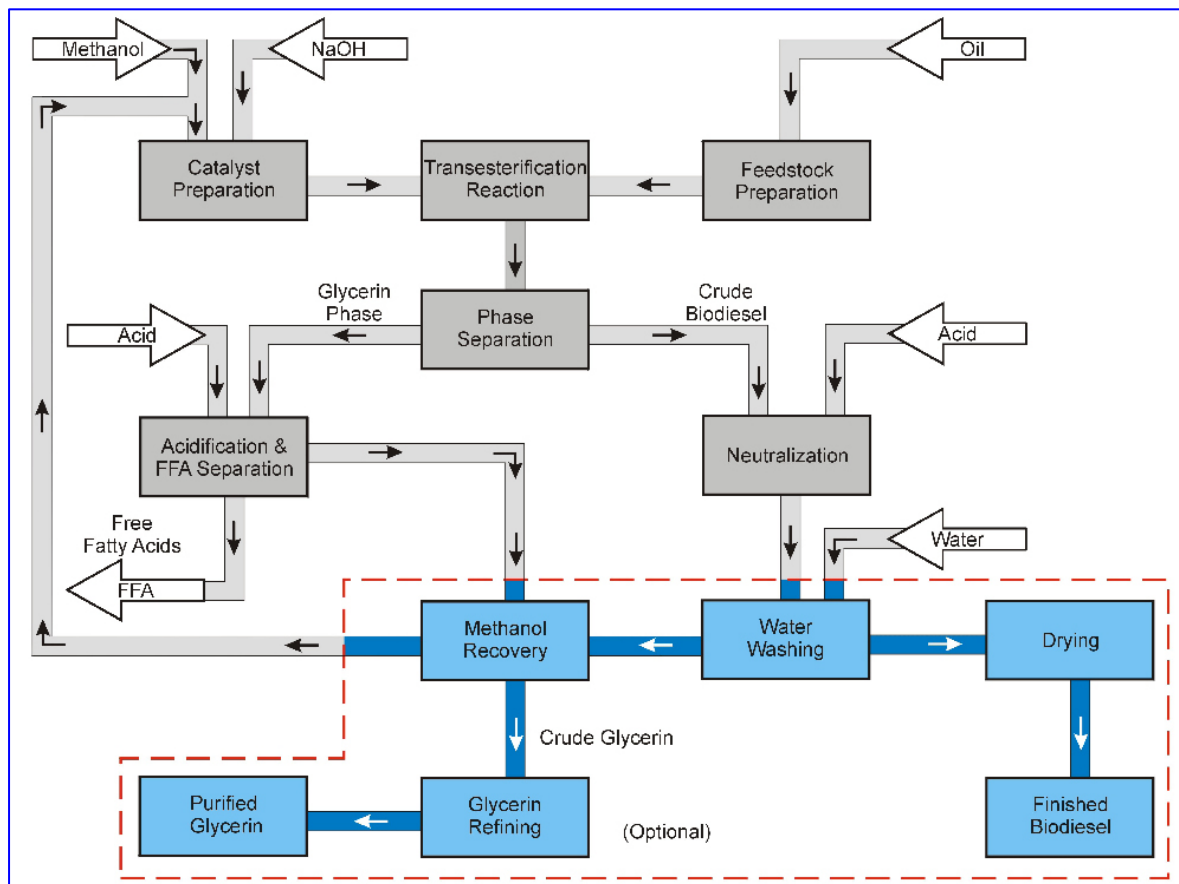
Wie oben dargestellt, ist Öl ein Ester aus dem ...

- dreiwertigen Alkohol Glycerin und
- drei Festsäuren

Dieses „riesengroße“ Molekül hat Nachteile bei der Verbrennung in Dieselmotoren. Deshalb findet eine „Um-Esterung“ statt zu drei kleineren Molekülen:

Unter Einsatz von Methanol entstehen aus einem großen Glycerinester drei kleinere Methylester.

Flussdiagramm:

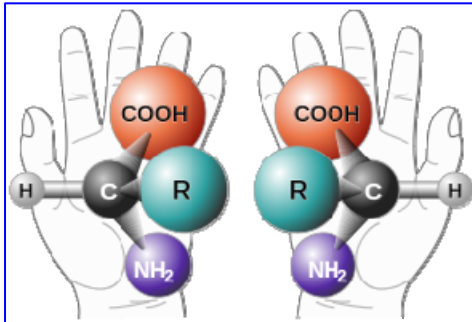


Weitere Erläuterungen s. Unterricht!

3. Proteine

[Zurück](#)

3.1 Aminosäuren als Bausteine der Proteine

 Quelle: s. [Wiki](#), s. auch [Animationen](#)

Allgemeine Strukturformel (s. links):

 Die Bausteine der Eiweiße sind [Aminosäuren](#) (AS).

Aminosäuren bestehen grundsätzlich aus...

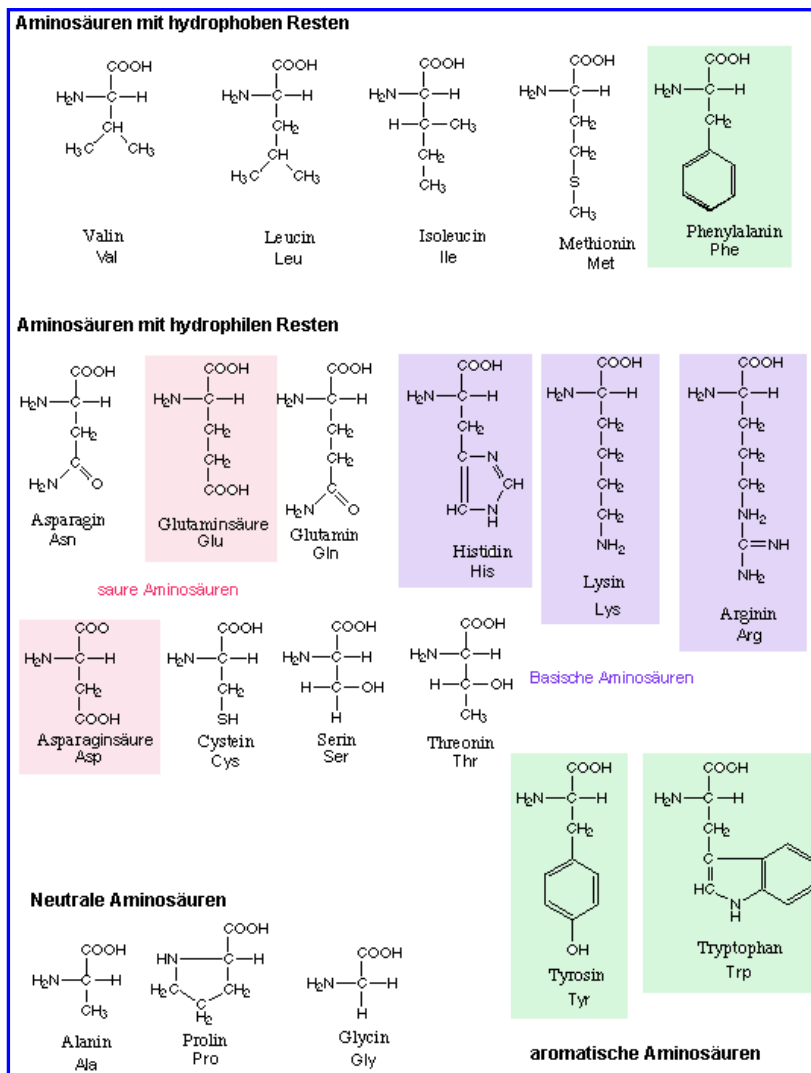
- einer Kette bzw. Ring von Kohlenstoffatomen (Rest R)
- einer Aminogruppe (-NH₂) und
- einer Säuregruppe (-COOH)

Alle natürlichen AS besitzen die L-Form ([Chiralität](#))

Natürliche Aminosäuren:

 Weiter Infos: [Wiki](#)

Es gibt viele verschiedene AS (in L- und D-Form), aber nur 20 L- AS kommen in Lebewesen vor:


Die Eigenschaften einer Aminosäure werden durch den Rest bestimmt:

- **Saure AS** enthalten im Rest eine Säuregruppe,
- **Basische AS** enthalten im Rest eine basische Gruppe
- **Hydrophobe AS** enthalten im Rest eine Wasser abstoßende Gruppe
- **Hydrophile AS** enthalten im Rest eine Wasser anziehende Gruppe.

s. auch...

[3D-Animationen](#)
 (Java erforderlich!)

wichtiger Aminosäuren

Essentielle Aminosäuren:

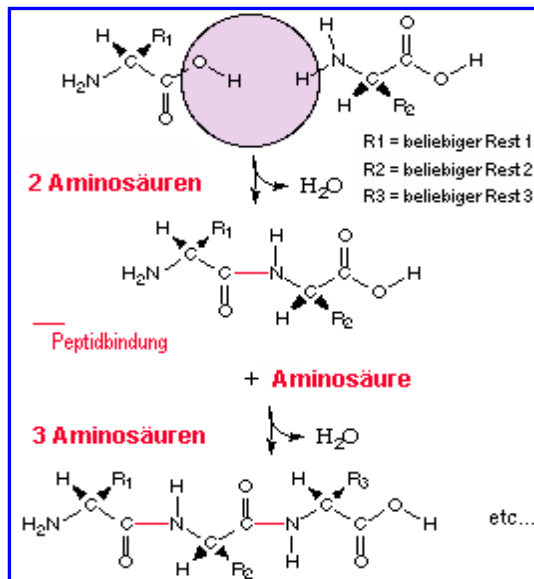
[Zurück](#)

Essentielle AS können vom tierischen und auch menschlichen Organismus nicht hergestellt werden. Sie sind nur in pflanzlichen Eiweißen enthalten. In der Fütterung und auch in der menschlichen Ernährung ist deshalb eine Zufuhr dieser Aminosäuren sehr wichtig. Beispiele sind...

L-Isoleucin	(Ile)		L-Threonin	(Thr)
L-Leucin	(Leu)		L-Tryptophan	(Trp)
L-Lysin	(Lys)		L-Tyrosin	(Tyr)
L-Methionin	(Met)		L-Valin	(Val)
L-Phenylalanin	(Phe)		L-Threonin	(Thr)

3.2 Peptidbindung und Peptide

s. auch [Animation](#) (sehr gut!)



Die Proteine bestehen aus einer

Kette von Aminosäuren

Die Aminosäuren werden über

Peptidbindungen

miteinander verbunden.

Dabei verbindet sich die Säuregruppe der einen AS mit der Aminogruppe der anderen AS unter Abgabe von Wasser.

Es entstehen mehr oder weniger langen Ketten (Di-, Oligo- und Polypeptide).

Ketten von über 1000 Aminosäuren werden allgemein als Eiweiße bezeichnet.

3.3 Proteinarten und allgemeiner Aufbau

Nach ihrem Aufbau unterscheidet man zwei große Gruppen von Proteinen:

1. Skleroproteine (Fasereiweiße):

Sie bilden hauptsächlich Gerüststoffe wie z.B.

- Haare, Horn, Federn und Nägel (Keratin)
- Seide (Fibroin) und
- Knorpel (Kollagen)
- Muskelfasern (Myosin)

2. Globuläre Proteine (Kugeleiweiße), dazu gehören...

- Enzyme und Hormone (Katalysatoren des Stoffwechsels)
- Eiweiße in Samen oder anderen Früchten wie Kartoffeleiweiß oder Klebereiweiß in Weizen

Weitere Eiweiße sind...

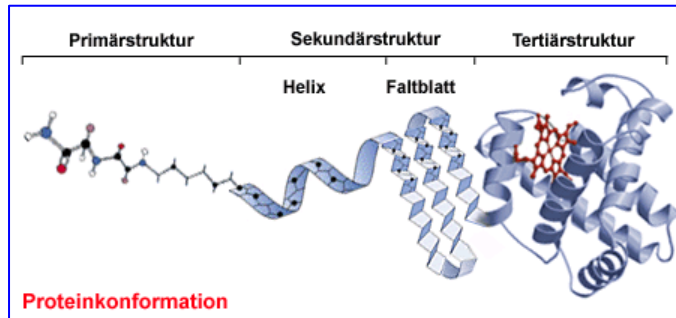
[Zurück](#)

- [Hämoglobin](#) (roter Blutfarbstoff, Träger des Sauerstoffs im Blut)
- [Albumin](#) (Hühnereiweiß)
- [Gelatine](#) (entsteht aus Kollagen durch längeres Kochen)

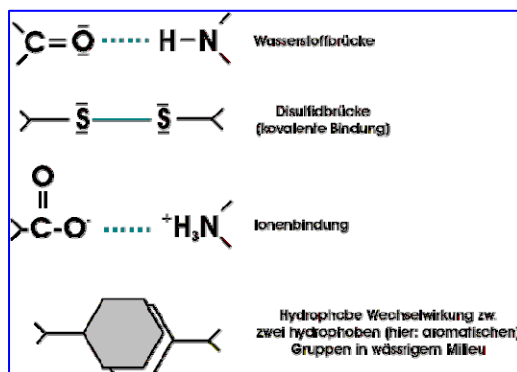
3.4 Struktur des Eiweißes und seine Bedeutung

Quelle: [Wikipedia](#) und [zum.de \(Biologie\)](#), räumliche Darstellungen einer [Tertiärstruktur](#)

Man unterscheidet drei Strukturen:



- **Primärstruktur:** Kette aus ganz bestimmten AS angeordnet zu einer ganz bestimmten Reihenfolge ist...
- verdrillt (= **Sekundärstruktur**) und dieser verdrillte Faden nochmals
- „verknäult“ (= [Tertiärstruktur](#))



Die Sekundär- und Tertiärstruktur wird stabilisiert durch Verbindungen zwischen den Peptidfäden.

Diese können sein...

- [Wasserstoffbrücken](#)- Bindungen (CO → HN) oder auch
- Disulfidbindungen zwischen zwei Cystein-Resten (-SH → HS-), (s. Aminosäure-Übersicht!)
- Anziehung durch wasserabstoßende Reste (hydrophob)

Diese Bindungen bewirken die typische Form der Proteine wie...

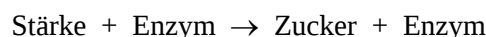
- a) die **parallele Anlagerung von AS-Ketten** („Stränge“) bei Skleroproteinen und
- b) die **typische räumliche Struktur** bei globulären Proteinen

Beispiel:

Die **räumliche Struktur** ist verantwortlich für...

1. die **Wirksamkeit eines Enzyms:**

Die typische Eigenschaft eines Enzyms (z.B. Stärkeumwandlung zu Zucker) ist nur dann gegeben, wenn das Enzym eine dem Substrat (z.B. Stärke) angepaßte Form hat (s. Unterricht!).



Meist ist für die Wirksamkeit des Enzyms noch ein Aktivator (Spurenelement o.ä.) wichtig. Auch das **Hämoglobin** kann nur mit richtiger Struktur seine Funktion erfüllen.

2. die **Qualität und die Eigenschaft eines Eiweißes**

Beispiel Klebereiweiß in Weizen. Durch die Züchtung wird die Primärstruktur des Eiweißes verändert und damit die Eigenschaft.

3D-Animationen: <http://www.biokurs.de/skripten/biomol1.htm>
(pdb-Animationen können mit [Calibre geöffnet](#) werden)

[Zurück](#)

Pflanzliche Zelle und ihre wichtigsten Stoffwechselvorgänge

s. auch: [Animation1](#) und Animation [John Kyrk](#)

1. Wichtige Organelle einer pflanzlichen Zelle

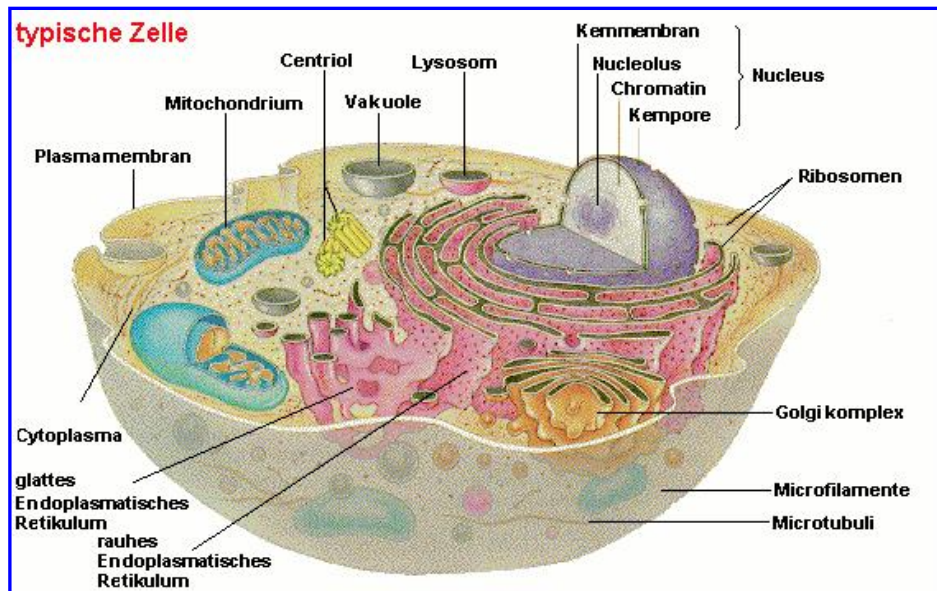


Bild: [Beck](#)

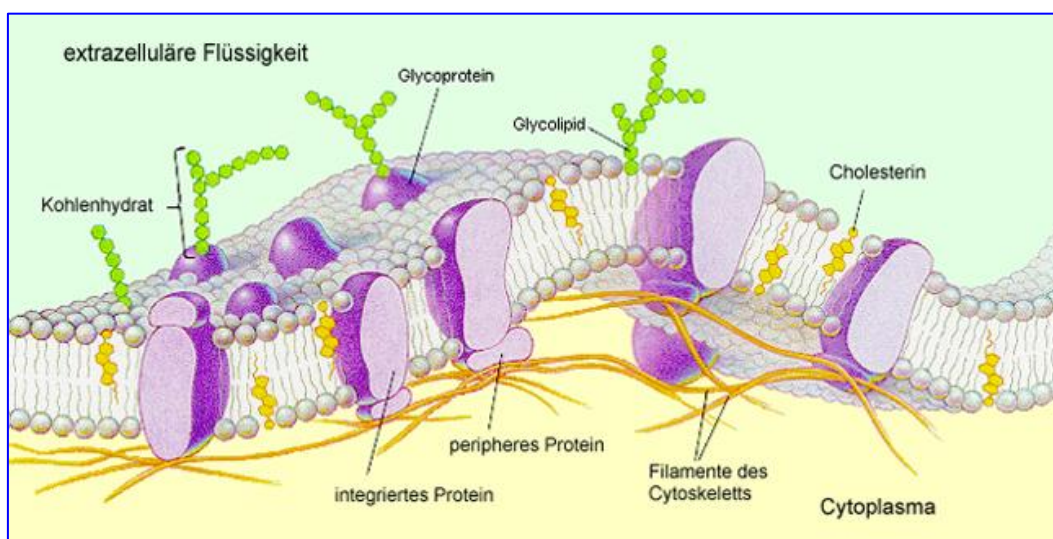
1.1 Biomembran

1.1.1 Aufbau

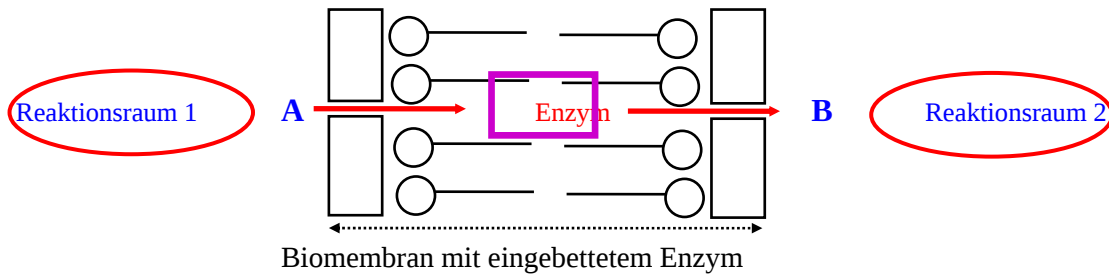
Bildquelle: [Beck](#), s. auch [Animation](#)

Alle Organe der Zelle sind aus einer Membran („Haut“) aufgebaut, dadurch...

Entstehung verschiedener Reaktionsräume in der Zelle.



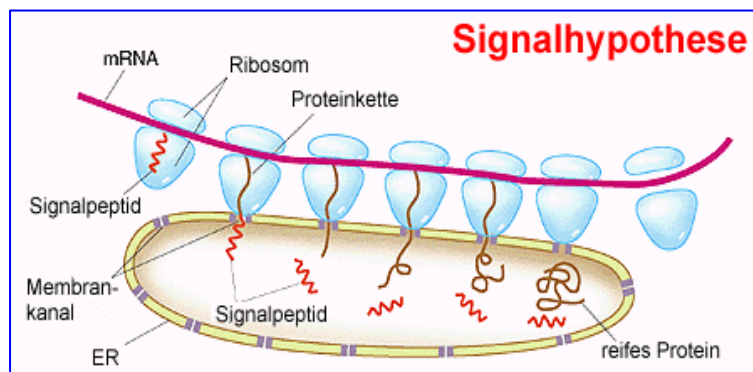
Grundstruktur der Biomembran:

[Zurück](#)


- Die Biomembran ermöglicht die Entstehung von Konzentrationsunterschieden zwischen zwei Reaktionsräumen 1 und 2
 - In den Membranen können Enzyme eingebettet sein
 - Der durch die Konzentrationsunterschiede an dem Enzym vorbei fließende „Stoff A“ wird von dem Enzym z.B. in einen „Stoff B“ umgewandelt
- „Flaschenhalsprinzip“**

1.1.2 Steuerung des Transports und der Platzierung von Enzymen

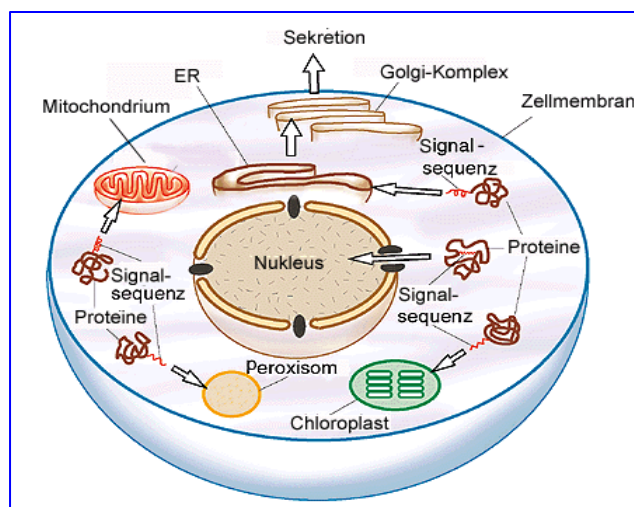
1. Enzyme werden produziert und „auf den Weg gebracht“:



Quelle: <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/bs11-10.htm>

- Die Enzyme werden mit ihrem Anhängsel an den **Ribosomen** gebildet (s. Protein- Biosynthese!).
- Mit Hilfe der Anhängsel werden sie in das **Endoplasmatische Reticulum (ER)** eingeschleust und darin weitertransportiert.
- Das Anhängsel wird nach dem Einschleusen abgestoßen

2. Einschleusung des Enzyms am vorgesehenen Wirkungsort



- Kontaktstellen, die in die Biomembran eingebettet sind, dienen als **Rezeptoren** (Erkennungsstellen).
- Diese Rezeptoren erkennen Stoffe, die durch die Biomembran in den Reaktionsraum hineingeschleust werden müssen.
- Ein **Rezeptor** erkennt z.B. ein **Enzym**, das in einem Chloroplast gebraucht wird.
- Er hält dieses Enzym fest und schleust es z.B. in einen Reaktionsraum der Photosynthese hinein.

[Zurück](#)

3. Wie erkennt der Rezeptor das im Mitochondrium benötigte Enzym?

In einer Zelle gibt es etwa eine Milliarde (!) verschiedene Enzyme, die eine Vielzahl von Aufgaben an verschiedenen Orten der Zelle ausführen müssen.

Proteine gelangen nur mit Hilfe einer bestimmten Aminosäurekette durch die Membrankanäle der Zellorganellen.

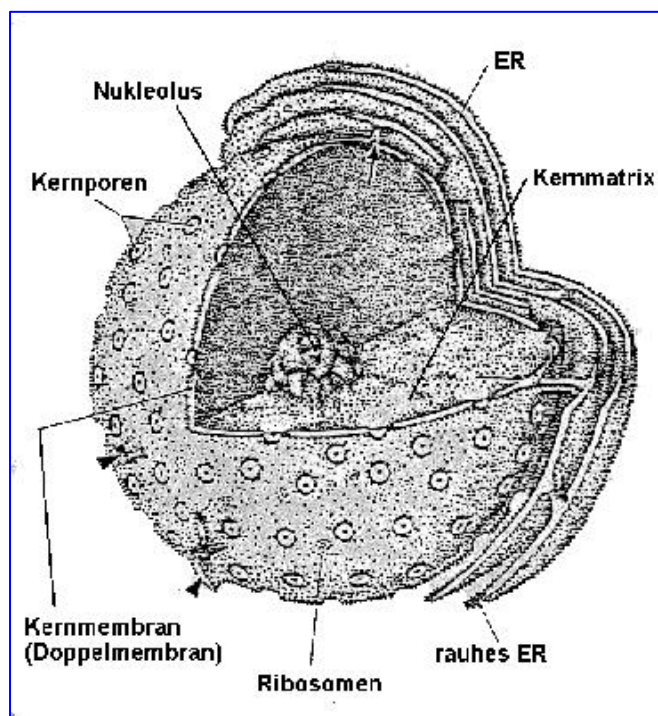
Dieses Anhängsel kann sich an einen Rezeptor der Biomembran anheften. Damit wird das Enzym festgehalten und hinterher eingeschleust.

Für die Entdeckung und Erforschung dieses Sachverhalts erhielt [G. Blobel](#) 1999 den Nobelpreis.

Die Funktionsweise und Vorgänge an und in Biomembran werden derzeit sehr intensiv erforscht an der [FAU Erlangen-Nürnberg](#)

**Und diese hoch komplizierten Vorgänge entstanden
zu Beginn des Lebens „rein zufällig“?!**

1.2 Zellkern



- Der Zellkern wird von der übrigen Zelle durch **Biomembrane** abgegrenzt. Diese enthalten „**Kernporen**“.
- Durch sie hindurch gelangt z.B. die mRNA aus den Zellkern auf die Ribosomen (s. Proteinbiosynthese).
- Der Kern wird mehr oder weniger vom **ER** eingehüllt. Auf dem ER sitzen die **Ribosomen**.
- Auf oder in den Ribosomen findet die Proteinbiosynthese statt (z.B. Bildung von Enzymen, s. oben)
- Im Zellkern befinden sich die **Chromosomen**. Sie bestehen u.a. aus DNA (=Desoxiribonukleinsäure), welche die Gene bilden (s. später)

Quelle: <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/bs11-55.htm> und [Übersicht](#)

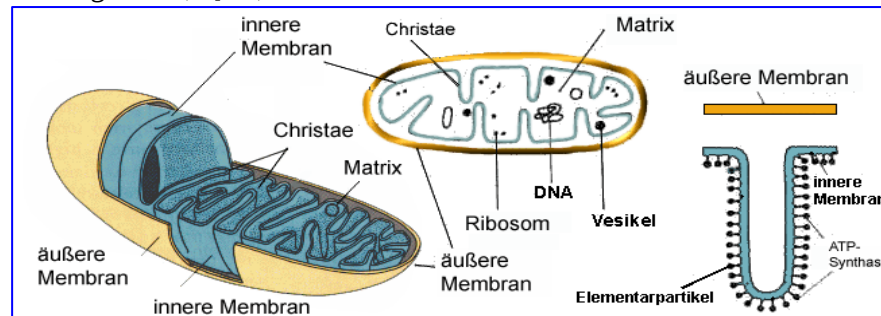
1.3 Mitochondrien und biologisch verwertbare Energie

[Zurück](#)

s. auch [Animation](#)

Sie bestehen aus einer äußeren und inneren Membran und beinhalten u.a. die Enzyme...

- des Zitronensäurezyklus und
- der Atmungskette (s. später)



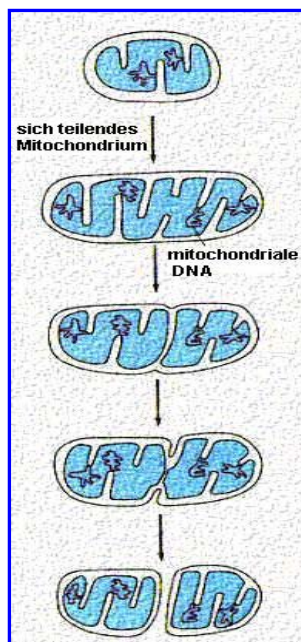
Bildquelle [Beck](#)

In den Mitochondrien entsteht durch diese beiden Stoffwechselwege biologisch verwertbare Energie. Die Träger dieser Energie sind Verbindungen wie FADH_2 , NADH oder ATP .

Mitochondrien sind die Kraftwerke der Zelle!

ATP (= **A**denosin**t**ri**p**hosphat) wird bei den meisten (Energie benötigenden =endothermen) Enzymreaktionen eingesetzt wie z.B. (s. später)

- Aufbau von Zucker (Dunkelreaktion der Photosynthese) und Stärke
- Aufbau von Eiweiß (Eiweißbiosynthese) oder
- Fettaufbau (Fettbiosynthese)



Mitochondrien sind

Selbstteilungskörper mit eigener DNA

- Sie vermehren sich in der Zelle und werden bei der Zellteilung auf die Tochterzellen verteilt.
- Sie geben damit ihre eigene DNA an die Tochterzellen weiter.
- Wenn Sie verbraucht sind, werden sie in Zusammenarbeit von ER, Golgi-Apparat und Lysosomen abgebaut.

Was interessiert das dem Landwirt?

In der **Hybridzüchtung** von z.B. Roggen oder Raps muss die (selbstbefruchtende) Mutterlinie männlich steril sein, damit sie von einer Vaterlinie bestäubt werden kann. Diese Sterilität ist in den Genen der Mitochondrien verankert und wird als

cms – Sterilität

bezeichnet (**C**ytoplasmatische **m**ännliche **S**terilität). Die Mitochondrien können die Pollenzellen nicht mehr mit Energie versorgen, sie sterben dadurch ab.

Die cms- Eigenschaft wird dominant vererbt und muss deshalb wieder aufgehoben (restauriert) werden:

Restaurierte Hybride

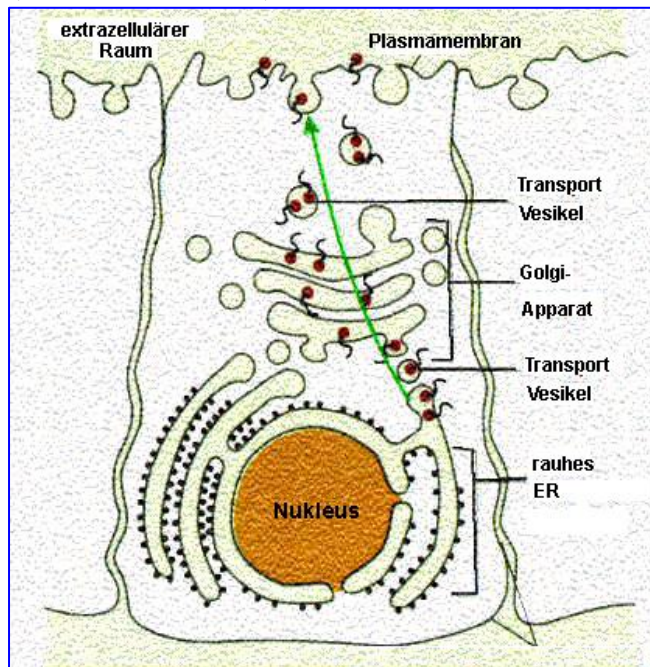
Raps-Hybridsorten, bei denen das nicht gelungen ist, wurden als Verbund-Hybride bezeichnet.

1.4 Golgi- Apparat

[Zurück](#)

s. auch [Animation](#)

In ihm findet die Synthese verschiedener Zellinhaltsstoffe (z.B. Duftstoffe...) und Zellwandbausteine statt (Cellulose und Pektin)



Bildquelle: [Beck](#),

- Er besteht aus mehreren Lagen abgeplatteter **Membranstapel**, die im Randbereich Bläschen abschnüren können, in denen diese Stoffe eingekapselt sind.

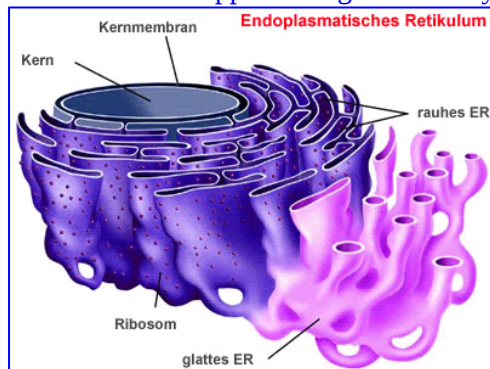


- Die **Bläschen (Lysosomen)** wandern durch die Zelle und können in das ER eindringen (verschmelzen).
- Im ER werden die Stoffe weitertransportiert (s. oben Signalhypothese)
- Auch können diese Bläschen die Stoffe aus der Zelle hinausschleusen (Exozytose)

1.5 Das Endoplasmatische Retikulum (ER)

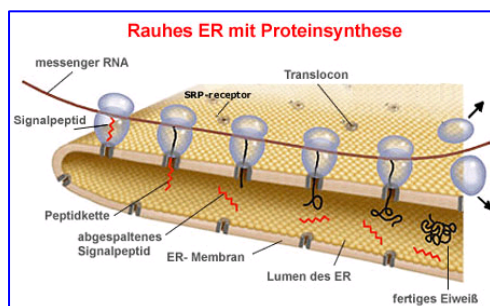
Bildquelle: [Beck](#), s. auch Animation [John Kyrk](#)

Das ER ist ein **doppelwandiges Röhrensystem**, das „für Verbindung“ sorgt:



Aufgabe...

- Austausch von Stoffen...
 - o Innerhalb einer Zelle zwischen Zellkern und anderen Zellorganen und
 - o zwischen den Zellen



- Träger von **Ribosomen**, welche die Orte der Eiweißbiosynthese sind (s. später)
- Das fertige Eiweiß wird in das Röhrensystem abgegeben und dort zu seinem Bestimmungsort transportiert,

1.6 Plastide

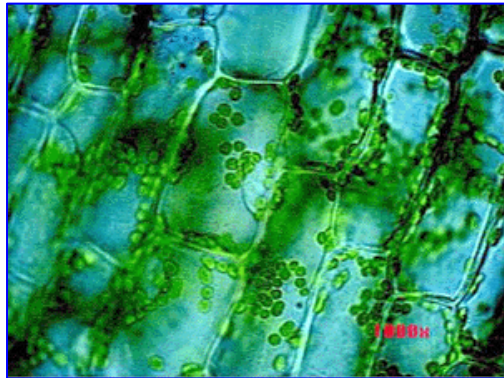
[Zurück](#)

Die Plastide sind im Unterschied zur tierischen oder menschliche Zelle

nur in pflanzlichen Zellen vorhanden.

1.6.1 Chloroplasten

s. auch Animation [John Kyrk](#)



Chloroplasten gehören mit zu den wichtigsten Zellorganellen einer lebenden Pflanzenzelle. Sie enthalten das Chlorophyll und sind somit der

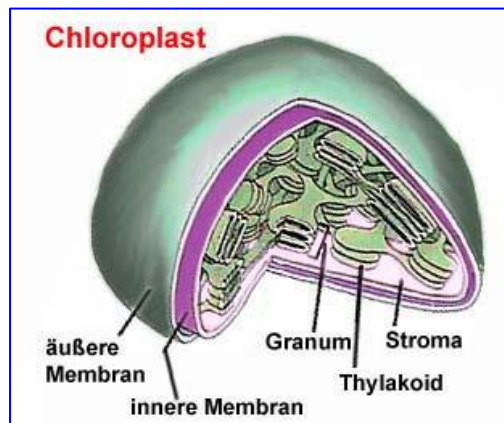
Ort der Photosynthese

Sie sind besonders häufig in Zellen des Palisadengewebes zu finden (s. später).

Sie haben die Besonderheit, dass sie

an der Zellwand entlang zirkulieren

Nebstehendes Bild zeigt Zellen unter einem Lichtmikroskop.



- Chloroplasten sind von einer **Doppelmembran** umgeben. Im Inneren findet man eine wässrige, Flüssigkeit (Stroma).
- Die **innere Membran** ist sack- und stapelartig ausgestülpt (Thylakoide und Grana)
- Darauf eingebettet liegt das Chlorophyll mit den **Enzymen der Photosynthese** (s. später)

Weitere Infos: [LukasHensel](#)

1.6.2 Chromoplasten

Während Chloroplasten einen grünen Farbstoff enthalten, sind die **Chromoplasten** die Träger anderer Farbstoffe wie...

- Gelb (Xanthophyll)
- Rot (Karotin)

Bei Absterbeerscheinungen der Blätter im Herbst wird der grüne Farbstoff Chlorophyll zerstört, wodurch die anderen Farbstoffe zum Vorschein kommen.

Ursache für Laubverfärbungen im Herbst.

(auch in Zellen von farbigen Blütenblättern)

1.6.3 Leukoplasten

Leukoplasten enthalten die eingelagerte Stärke der Pflanzenzelle. Die daraus entstehenden

Stärkekörner sind pflanzenarttypisch

<http://de.wikipedia.org/wiki/Stärke>

Unter dem Mikroskop kann bei Mischfuttermitteln deshalb nachgewiesen werden, von welchen Pflanzenarten die Stärke stammt.

Wichtig bei Futtermitteluntersuchungen.

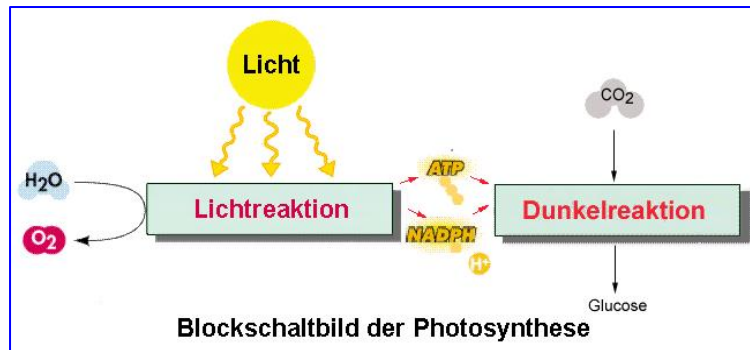
2. Energiestoffwechsel pflanzlicher Zellen

[Zurück](#)

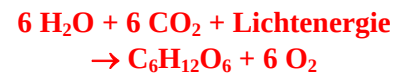
2.1 Die Photosynthese

Quellen: <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-10.htm>
<http://www.lukashensel.de/biomain.php?biopage=fotosyn>

Die Photosynthese ist die wichtigste „Erfindung“ der Natur. Ohne sie gäbe es kein Leben auf der Erde (Ausnahme z.B. Schwefelbakterien).



- Sie wandelt Lichtenergie in biologisch verwertbare Energie (z.B. ATP) um (= **Lichtreaktion**) und
- benützt dieses ATP für den Einbau von CO₂ in organische Verbindungen, so daß Zucker entsteht (= **Dunkelreaktion**, „Calvinzyklus“).



2.1.1 Zum besseren Verständnis der Lichtreaktion

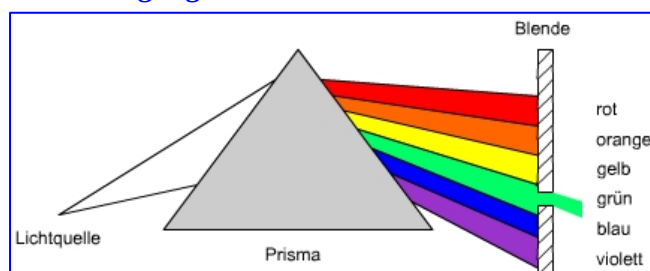
2.1.1.1 Eigenschaften des Sonnenlichts

Die Sonne strahlt verschiedene Wellenlängen des **elektromagnetischen Spektrums** ab. Unter Spektrum versteht man die Gesamtheit eines Wellenbereichs. Welche Wellen zu den elektromagnetischen gehören kann man aus folgender Abbildung entnehmen:



s. auch <http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtspektrum>

Lichtzerlegung in einem Prisma



Das Sonnenlicht kann mit Hilfe eines Prismas (pyramidenförmiger Glaskörper) in einzelne Farben zerlegt werden.

Die Photosynthese verwendet kein grünes Licht!

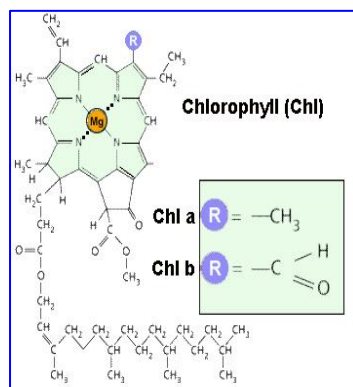
2.1.1.2 Energiequanten

[Zurück](#)

Die Elektronen (e^-) eines Atoms befinden sich normalerweise auf ihren „Schalen“ in ihrem energieärmsten Zustand, dem Grundzustand.

1. Wird elektromagnetische Energie (z.B. Strahlung) zugeführt, können Elektronen in **Zustände höherer Energie** übergehen, sie springen auf eine **höhere Elektronen-Schale**
↓
2. Die dafür notwendige Energie kann nur in bestimmten Beträgen (=Quanten) zugeführt werden. Beliebig "angeregte" Zustände sind nicht möglich.
↓
3. Diese angeregten Zustände sind jedoch nicht stabil, sondern die **Elektronen fallen zurück** auf ihre niedrigere Energieschale:
↓
4. Die aufgenommene Energie wird wieder frei (= Quanten) als...
 - als Bindungsenergie in der Lichtreaktion der Photosynthese
 - sichtbares Licht z.B. in Neonröhren oder in der Spektralanalyse

2.1.1.3 Anregung der Elektronen im Chlorophyll- Molekül



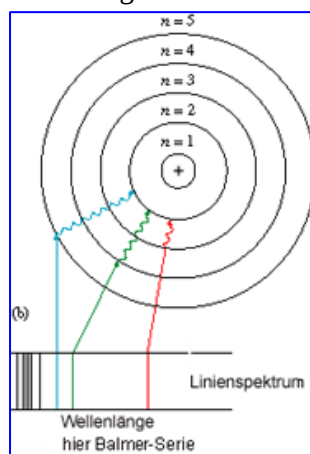
Für das „Einfangen“ der Lichtenergie aus dem Sonnenlicht dient der **Farbstoff Chlorophyll**. Er besteht aus...

- vier miteinander verbundenen 5-eckigen Ringen und ein „Schwanz“
- in den Ringen wechseln sich immer eine Doppelbindung mit einer Einfachbindung ab (= **konjugierte Doppelbindungen**).

Die Elektronen in diesen Bindungen können durch die Sonnenstrahlung angeregt werden und sind somit in der Lage, Strahlungsenergie aufzunehmen.

2.1.1.4 Spektralanalyse

Werden bestimmte Elemente erhitzt oder wird ihnen elektrische Energie zugeführt, senden sie nur für sie typisches Licht bestimmter Wellenlängen aus, das im Spektrum nur wenige, für das Element typische Farblinien zeigt.



- Die **Ursache** dafür kann aus dem Aufbau der Elektronenhülle abgeleitet werden
- Die Elektronen springen zwischen zwei ganz bestimmten "Schalen" hin und her und senden somit für das Atom charakteristisches Licht aus.

Linke Abbildung zeigt nochmals das Spektrum von Wasserstoff:

- Werden diese drei Linien z.B. im Licht von Sternen gefunden, ist das der Beweis für das Vorhandensein von Wasserstoff.

2.1.1.5 Weitführende Fragen und Beispiele

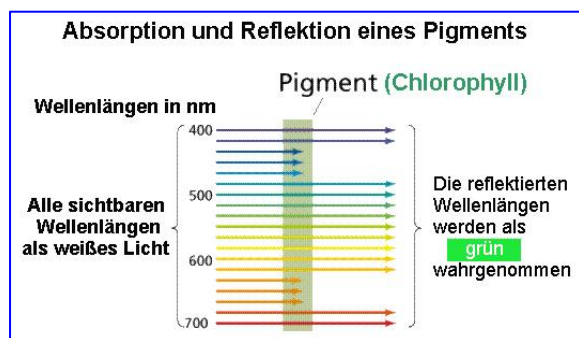
[Zurück](#)

(s. Unterricht):

1. Woher weiß man, aus welchen Elementen bestimmte Sterne bestehen?
2. Was bezeichnet man in der Astronomie als "Rotverschiebung"?
<http://de.wikipedia.org/wiki/Rotverschiebung>
3. Bei der Bodenuntersuchung kann Phosphat und Kali u.a. mit Hilfe der Spektralphotometrie gemessen werden. Wie funktioniert das?
<http://de.wikipedia.org/wiki/Spektroskopie>

2.1.2 Lichtreaktion der Photosynthese

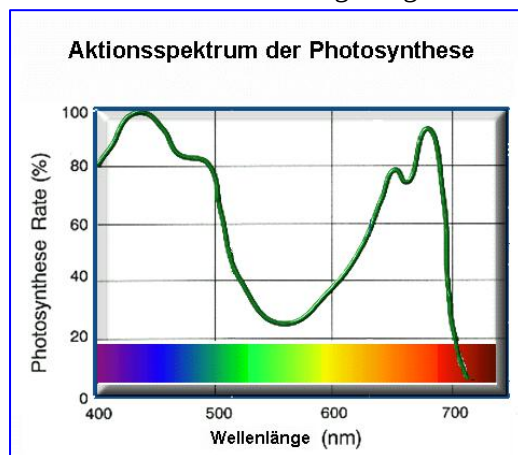
2.1.2.1 Warum ist das Gras grün?



Die Lichtreaktion findet in den [Chloroplasten](#) statt.

- Das Chlorophyll in den Chloroplasten reflektiert grünes Licht und resorbiert das andere farbige Licht.
- Die darin enthaltene Strahlungsenergie wird umgewandelt in biologisch verwertbare Energie (ATP, s. unten)

Hier eine andere Darstellung des gleichen Sachverhalts:



Die Photosynthese benötigt insbesondere Lichtwellen des...

- blauen und
- gelb bis rötlichen Bereichs

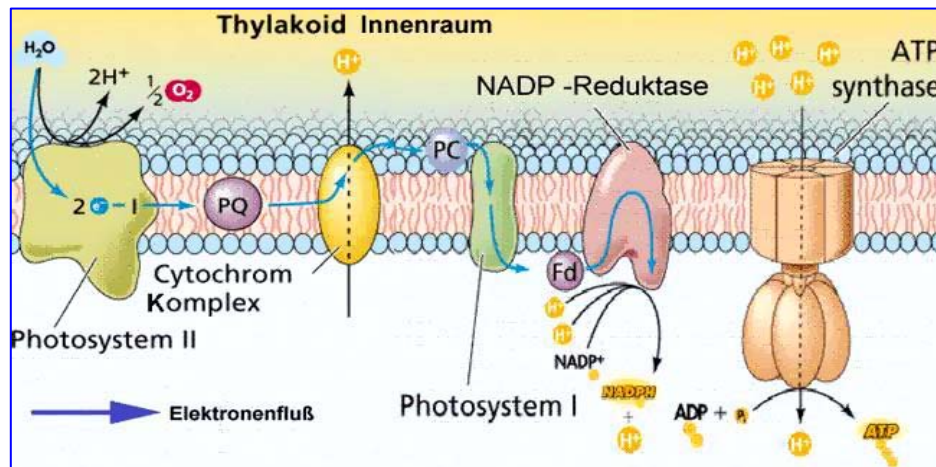
Was interessiert uns das...

- **in Gewächshäusern?**
Für die Belichtung von Gewächshäusern werden spezielle Leuchtstoffröhren benötigt, die photosyntheseaktives Licht erzeugten.
- **in Kartoffellagerhallen?**
Grünes Licht in der Halle damit die Kartoffeln nicht keimen (Photosynthese wird verhindert!)

[Zurück](#)

2.1.2.2 Vorgänge während der Lichtreaktion

Quellen: [Wiki](#), [Beck](#), s. auch Animation [Lukas Hensel](#) (auf Bild klicken!)



Die Lichtreaktion ist eine Elektronentransportkette (vgl. Atmungskette!):

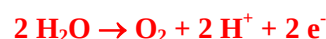
1. Sonnenlicht regt Elektronen des Chlorophylls im **Photosystems I** an.
↓
2. Diese verlassen das Molekül und gehen auf NADP⁺
↓
3. Dadurch entsteht ein NADPH, in dem die Elektronenenergie gespeichert ist
(=energiereiche Bindung)
↓
4. Ein weiterer Lichtstrahl regt Elektronen des Chlorophylls im **Photosystems II** an
↓
5. Diese verlassen das Molekül und gehen über andere Moleküle (Cytochrom...) auf das Chlorophyll im Photosystem I, um dort die Elektronen-Lücke wieder aufzufüllen
↓
6. Auf dem Weg zum Photosystem II wird ein Teil der Elektronenenergie in ATP gespeichert
↓
7. Die Elektronenlücke im Photosystem II wird aus einer Wasserspaltung wieder aufgefüllt.

Animation des Elektronenfluss in der Biomembran:

[John Kyrk](#) und [Lukas Hensel](#)

2.1.2.3 Woher kommt der Sauerstoff?

Wasser dient als Elektronenspender (Donator) der Elektronentransportkette. Dabei wird das Wassermolekül instabil und zerfällt in Sauerstoffgas, H^+ -Ionen und Elektronen.



Die Elektronen füllen das Elektronenloch im Photosystem II wieder auf.

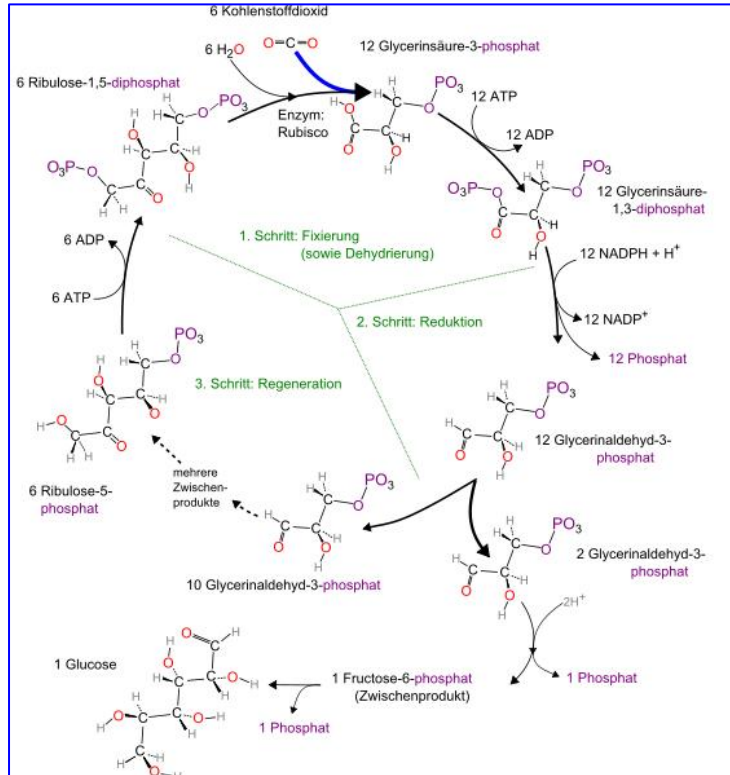
Das bei der Photosynthese freiwerdende Sauerstoffgas stammt also aus der Wasserzerlegung und nicht aus dem aufgenommenen CO_2 !

[Zurück](#)

2.1.3 Dunkelreaktion

Quelle: [Wiki](#), [Beck](#), [Hensel](#), s. auch [Animation](#) (sehr gut)

Eine vereinfachte Summenformel für den Einbau von CO₂ lautet:



Das wichtigste Enzym in der Natur ist

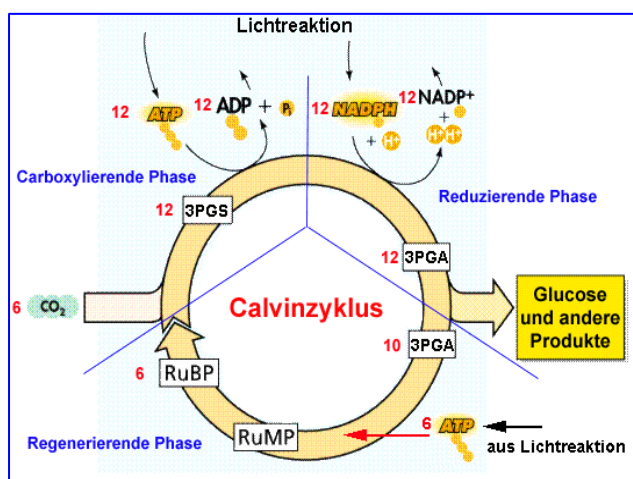
Ribulose-1,5-Bisphosphat-Carboxylase (RuBisCo)

- Aus 6 Ribulosediphosphat (RuDP) werden durch Anlagerung von 6 CO₂ 12 Glycerinsäure-3-Phosphat
- Diese 12 C₃- Moleküle werden mehrfach umgewandelt zu **Glyzerinaldehyd-3-Phosphat (GAP)**
- 2 davon verbinden sich zu Fruktose-6-Phosphat und es entsteht letztendlich...
Glucose
- Aus den restlichen 10 GAPs (10 x 3C = 30C) werden wieder 6 RuDP (6 x 5C = 30C)

Der Kreislauf beginnt von vorn.

Vereinfachte Darstellung:

(Quelle [Beck](#))



Genauer betrachtet kann die [RuBisCo](#) natürlich auch „auf Halde“ produzieren.

- Der Calvin-Zyklus produziert somit auch Bausteine für andere Stoffwechselvorgänge

Calvinzyklus liefert (neben der Glycolyse) Bausteine für die Aminosäure- und somit Eiweißsynthese.

[Zurück](#)

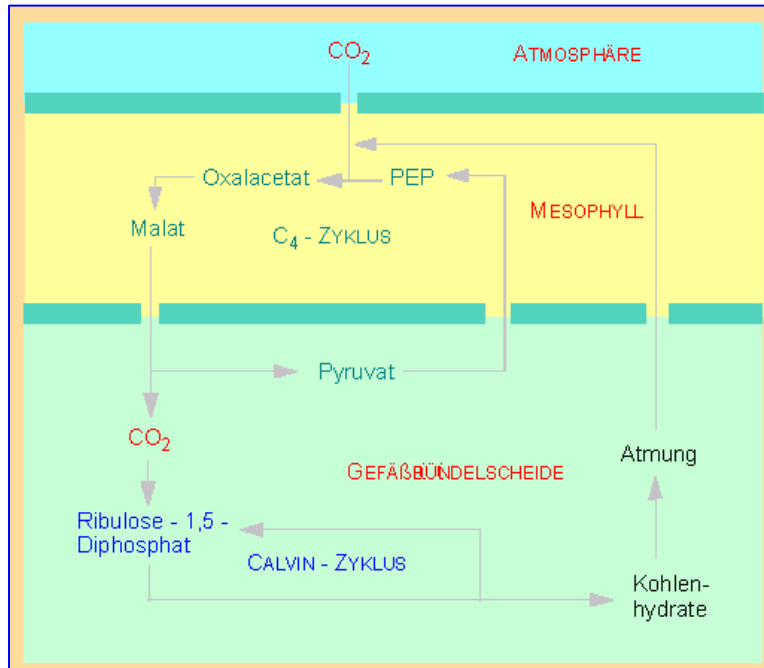
2.1.4 Dunkelsreaktion der C4-Pflanzen

Quelle: egbeck.de, [Wiki](#)

C4-Pflanzen (Mais, Zuckerrohr, Hirse) haben das Enzym

Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEP-Co),

das CO₂ in wesentlich niedrigerer Konzentration binden kann als RuBisCo. So kann bei höheren Temperaturen das CO₂ aus der Veratmung von Zucker dem Calvinzyklus zugeführt werden:



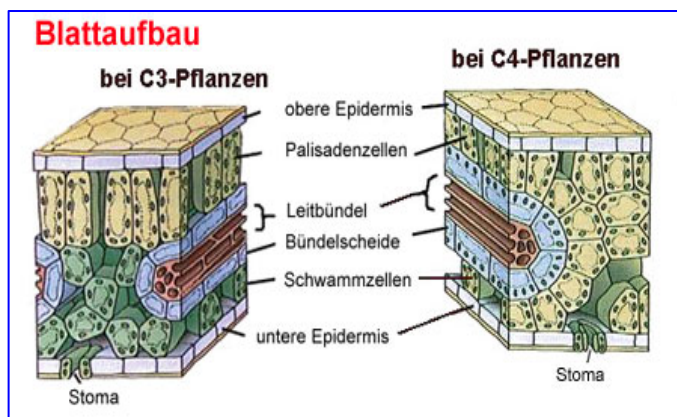
Hatch-Slack-Zyklus:

- Bei höheren Temperaturen und Trockenheit machen die Spaltöffnungen zu, die „normale“ Photosynthese wird gehemmt, sie bekommt kein CO₂ mehr
- Zur Energiegewinnung wird mehr Zucker veratmet, es entsteht CO₂ (im Citratzyklus)
- Das CO₂ steht im Mesophyll einer Phosphoenolpyruvat- Carboxylase zur Verfügung PEP-Co
- Aus PEP entsteht Oxalacetat (C4)
- Dieses ist instabil und zerfällt über Malat und Pyruvat wieder in PEP und CO₂
- Das CO₂ wird dadurch in den Calvinzyklus eingeschleust

Die ist der Grund, warum Silomais insbesondere bei wärmeren, trockeneren Bedingungen die leistungsfähigste Futterpflanze ist!

2.1.4.1 Wie schaut's in der Pflanze aus?

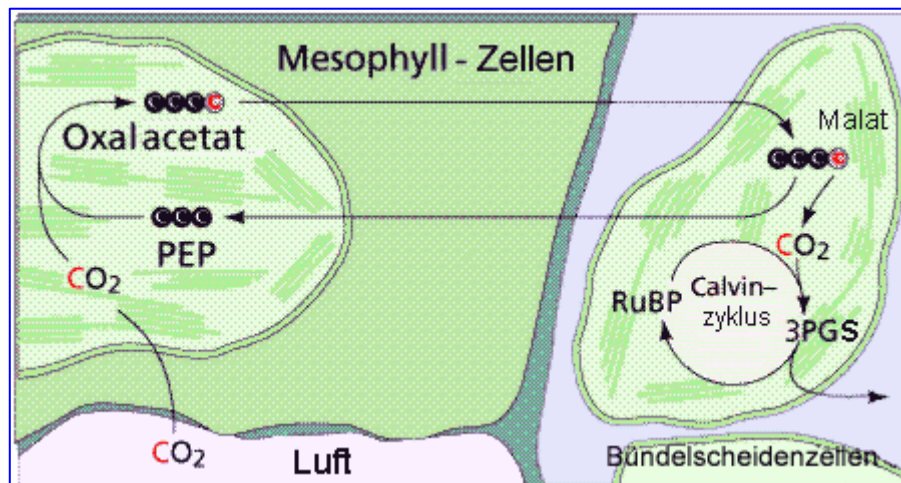
Quelle: [Beck](#)



In der C4-Pflanze...

- die Leitungsbündel (Xylem, Phloem) sind von einer **Gefäßbündelscheide** umgeben, deren Zellen reich an Chloroplasten sind.
- In dem umgebenden **Palisaden- und Schwammgewebe** (Mesophyll- Zellen) findet der C4-Zyklus statt
- Das dort eingefangene CO₂ wird an die Gefäßbündelzellen weitergegeben und in den Calvinzyklus eingeschleust.

Genauere Darstellung der Vorgänge zwischen Gefäßbündel und Schwammgewebe:

[Zurück](#)


Der C4-Stoffwechsel (**Hatch-Slack-Zyklus**) ist als Anpassung an sehr warme und sonnige Klimabedingungen dem Calvinzyklus vorgeschaltet!

2.1.5 Zusammenfassende Aussagen zur Photosynthese

Zusammenfassend ist bemerkenswert...

- jegliche **Energie** und alle organischen **Bausteine** für das pflanzliche Wachstum **stammen aus der Photosynthese**
- Strahlungsenergie der Sonne wird in Form biologisch verwertbarer (Bindungs-)Energie gespeichert (ATP, NADPH, FADH₂...)
- sämtliche organische Bausteine entstammen aus den Zwischenprodukten des Calvinzyklus und seiner nachgelagerten Stoffwechselwege (Glycolyse...)
- Die Photosynthese ist somit die wichtigste biochemische Reaktion auf unserer Erde.
- Ohne Photosynthese gäbe es kein pflanzliches und tierisches bzw. menschliches Leben

Können so komplizierte Zusammenhänge zufällig entstanden sein??

Am Anfang war das Wort...

2.2 Die Glycolyse

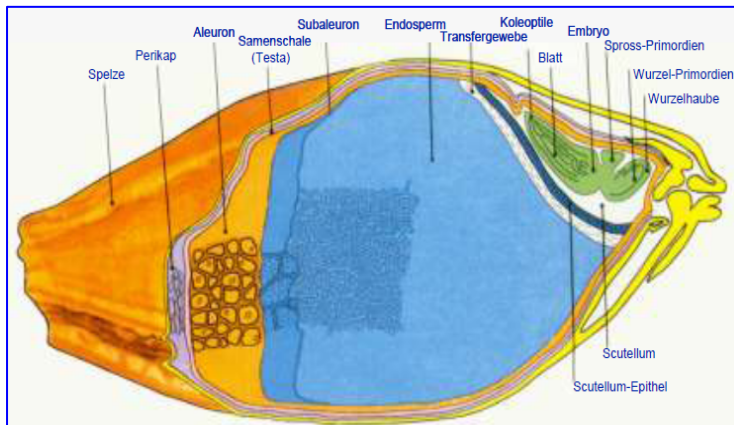
[Zurück](#)

Quelle [Beck](#), s. auch [Animation](#) (sehr gut!)

Wie oben schon erläutert, ist Stärke der wichtigste Reservestoff der Pflanze und dient zur Bereitstellung von Stoffwechselbausteinen und biologisch verwertbarer Energie. Eine wichtige Rolle bei der Umwandlung von Stärke in diese Bausteine und in Energie spielt die Glycolyse (=Zuckerzerlegung). Sie findet im Zellsaft (Cytoplasma) der Zelle statt.

2.2.1 Vorgänge am Beispiel der Keimung

Bildquelle: LfL Bayern (Müller 2008)



- **Stärkeauflösende Enzyme** wandern von den Embryo in den Mehlkörper (Endosperm) und „verzuckern“ die Stärke.
- **Andere Enzyme** zerkleinern die Zuckermoleküle in aktivierte Essigsäure, wobei biologisch verwertbare Energie freigesetzt wird.
- **„Bausteine“ und Energie** werden für die Wachstumsprozesse des Keimlings und der jungen Pflanze zur Verfügung gestellt.

2.2.2 Regulationsmechanismen der Glycolyse

1. Situation: Energie wird in der Zelle benötigt und Sauerstoff ist vorhanden:

Bei der Keimung und anderen Wachstumsvorgängen...

wird Stärke oder der Zucker
aus der Dunkelreaktion der Photosynthese



in der Glycolyse „verstoffwechselt“
und zerlegt.



Dabei wird Bindungsenergie
aus dem C₆- Zuckermolekül frei →



übrig bleiben zwei Moleküle Pyruvat (C₃),
daraus entstehen durch Abspaltung von CO₂

2 Acetyl- CoAs



Diese Bausteine werden im
Zitronensäurezyklus weiter zerlegt



Dabei wird weitere Energie frei,
welche auf die Trägermoleküle **NADH** und **FADH₂** „umgeladen“ wird.



Die Energie in FADH₂ und NADH wird in der **Atmungskette**
wiederum auf ATP „umgeladen“ (s. dort)

welche auf das Trä-
germolekül **ATP** um-
geladen wird

Was interessiert uns das (Beispiele...):

1. Warme, gut mit Sauerstoff versorgte Böden sind optimale Bedingungen für den Energie verbrauchenden Prozess der Keimung.
2. Im Kartoffelkeller bedeutet der Abbau von Stärke in den lebenden Kartoffelzellen ca. 5% Lagerverluste.

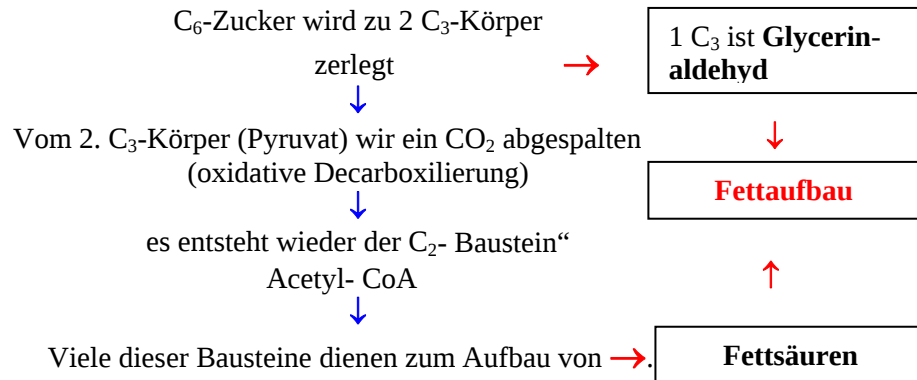
2. Situation: Energie wird nicht gebraucht und in Form von Fett gespeichert:

[Zurück](#)

Quelle: Uni Hamburg, s. auch [Animation](#) (sehr gut!)

In einer (Speicher-) Zelle, die nur wenig oder keine Energie benötigt, wird der Zucker aus der Dunkelsreaktion (PS) zu Stärkemolekülen zusammengehängt oder zu Fett umgebaut.

Beim Fettaufbau ist die Glycolyse beteiligt:

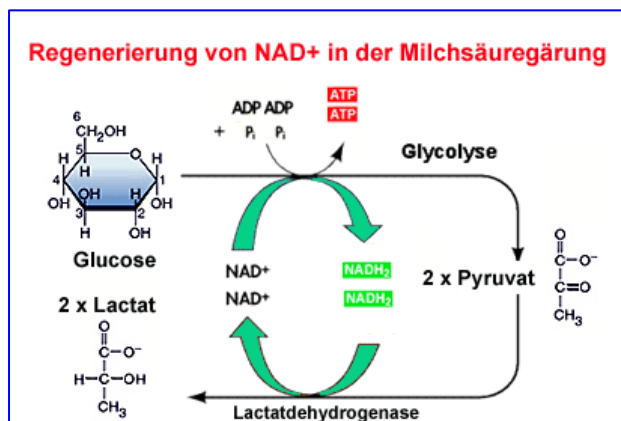


Was interessiert uns das im Pflanzenbau?

- In der Rapspflanze wird Zucker von den Blättern in die Schote umgelagert und dort zu Stärke aber auch zu über 40% Öl umgebaut
→ späte N-Düngung fördert Eiweißsynthese und behindert damit die Fettsynthese!
- ACCCase-Hemmer sind Herbizide, welche das Enzym vergiften, das die Acetyl-CoA zu Fettsäuren zusammenbaut. (s. auch <http://hracglobal.com>)

3. Situation: Es wird Energie benötigt, aber in der Zelle fehlt der Sauerstoff:

Quelle: [Beck](#)



In der Glycolyse wird...
Glucose (C₆) zu 2 Pyruvat (C₃) zerlegt
↓
Weil der Sauerstoff fehlt, findet keine Abspaltung von CO₂ statt (also keine oxidative Decarboxilierung)
↓
Umbau der C₃-Körper zu Milchsäure

Was interessiert uns das im Pflanzenbau?

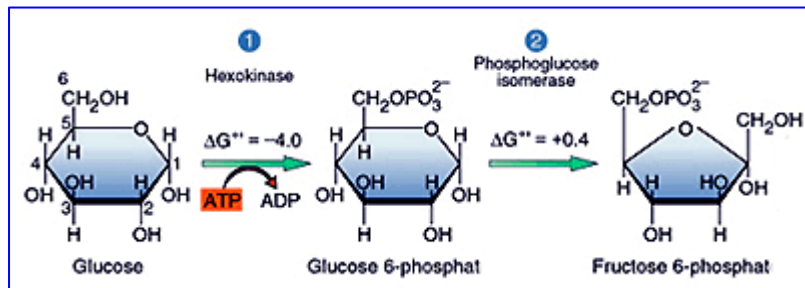
- Beim Gärprozess in der Silage bauen Bakterien unter Sauerstoffabschluss Zucker zu Milchsäure um! Der pH-Wert sinkt, die Silage wird haltbar.
→ deshalb Silage abdecken, weiß jedes (Bauern-)Kind...

[Zurück](#)

2.2.3 Genauere Beschreibung der einzelnen Schritte

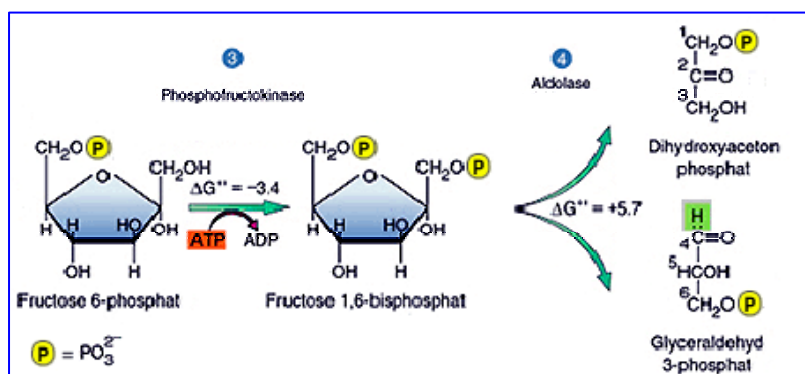
Quelle: [Beck](#), s. auch [Animation](#) (sehr gut!)

1. und 2. Schritt:



Glucose wird unter Energieaufwand (ATP) zur aktivierten Fruktose (C6)

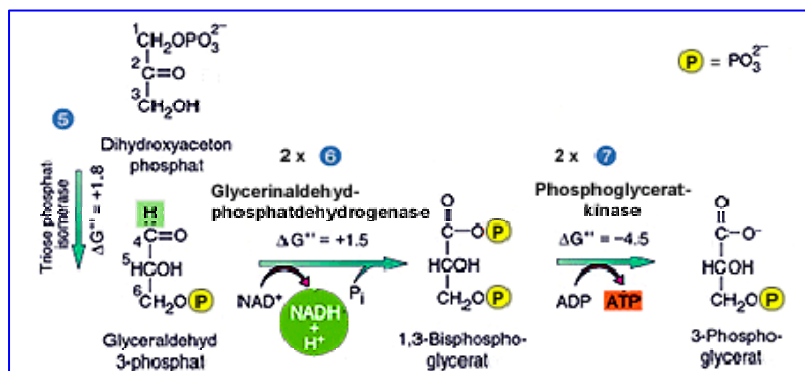
3. und 4. Schritt:



Dieses zerfällt unter Energieaufwand (ATP) letztendlich in 2 Moleküle Glyzerinaldehyd (2 x C3)

Der Glyzerinaldehyd kann u.a. für den Fettaufbau verwendet werden.

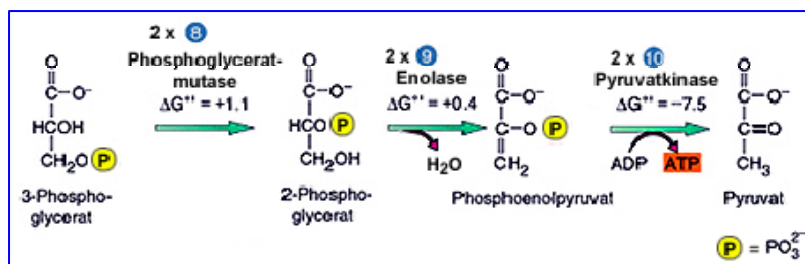
5. – 7. Schritt:



Durch Umwandlung in 3-Phosphoglycerat wird Energie gewonnen (NADH, ATP)

Die Zwischenprodukte können als Bausteine für die Aminosäuresynthese verwendet werden (Eiweißbiosynthese)

8. – 10. Schritt:



Endprodukt der Glycolyse ist Pyruvat, dabei wird nochmals Energie frei (ATP)

Durch oxidative Decarboxylierung von Pyruvat entsteht die aktivierte Essigsäure (Acetyl-CoA) (u.a. Baustein für Fettsäuren)

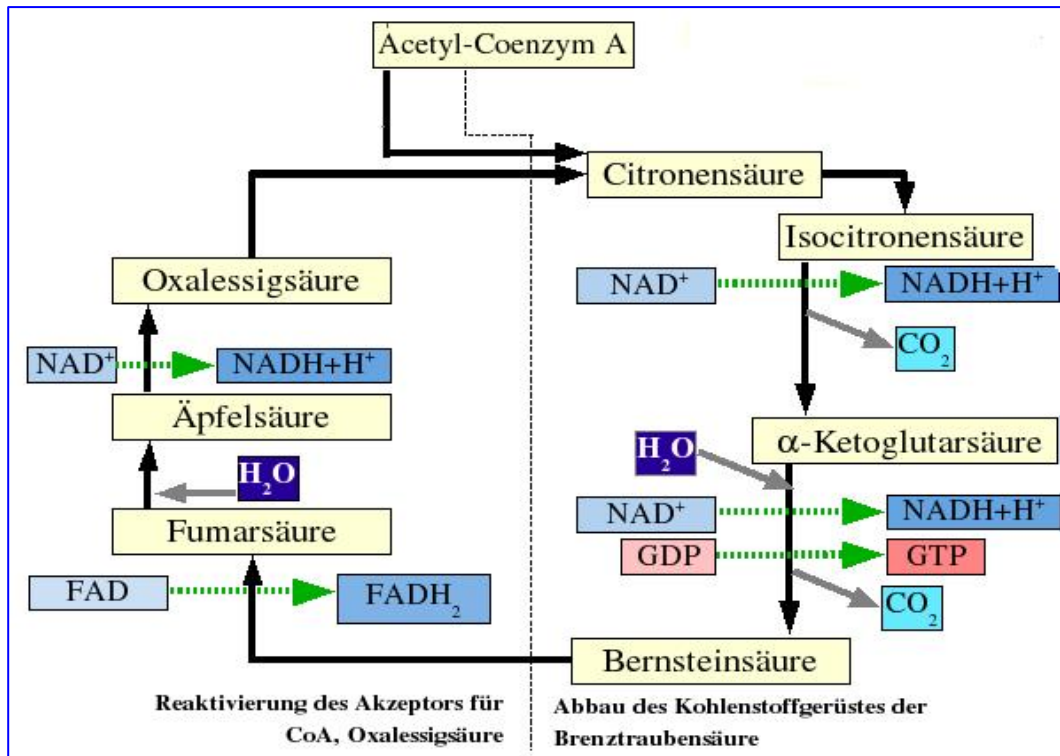
[Zurück](#)

2.3 Der Zitronensäurezyklus (Citratzyklus)

Quelle: [Wiki](#), s. auch [Animation](#) (sehr gut!)

Im Zitronensäure- bzw. Citratzyklus...

- wird die aktivierte Essigsäure (Acetyl-CoEnzym A) aus der Glycolyse weiter zerlegt.
- Die darin enthaltene Bindungsenergie wird freigesetzt



Vorgang:

Dieser Stoffwechselkreislauf ist eine Kette von Enzymen und hat seinen Namen von der Zitronensäure, die als erste gebildet wird:

1. Anlagerung von aktivierter Essigsäure an einen „C₄-Körper“ (Oxaleessigsäure), dadurch Bildung von Zitronensäure („C₆- Körper“).
2. Die Zitronensäure wird nacheinander wieder zerlegt in...
 - 2 Kohlendioxid- Moleküle CO₂ und
 - letztendlich entsteht wieder die Oxaleessigsäure („C₄-Körper“), an den sich wieder die aktivierte Essigsäure anlagert.
 - Der Kreislauf beginnt wieder von vorn
3. Dabei wird Energie frei.

Bei dem Abbau entsteht CO₂ (Gas) und biologisch verwertbare Energie. Diese ist in energiereichen Molekülen wie „FADH₂“ und „NADH“ gebunden.

Eine sehr genaue Darstellung dieser Vorgänge ist aus folgender Quelle...

<http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-22.htm>

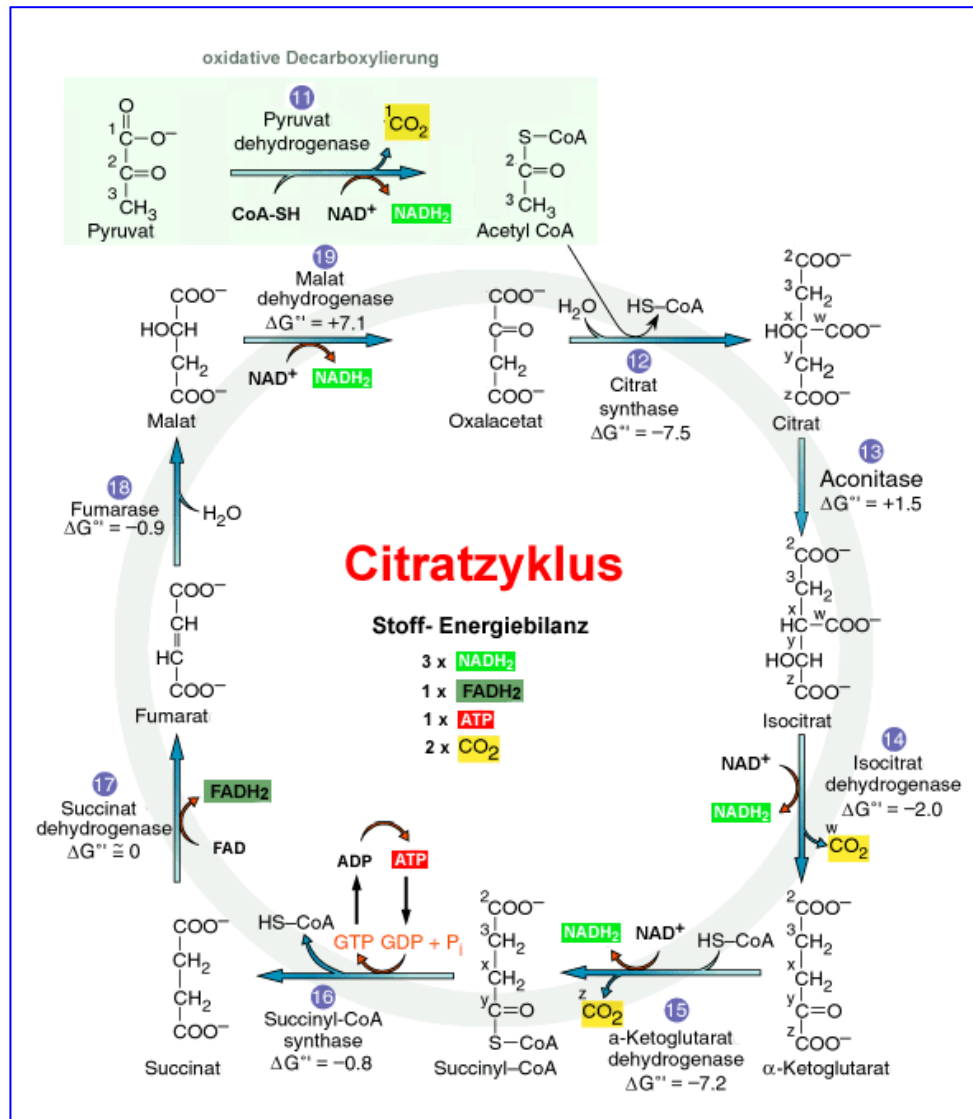
auf den nächsten Seiten erläutert.

[Zurück](#)

2.3.1 Genauere Reaktionswege

Quelle: <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-22.htm>

Übersicht (Vorgänge auf den Biomembranen der Mitochondrien):



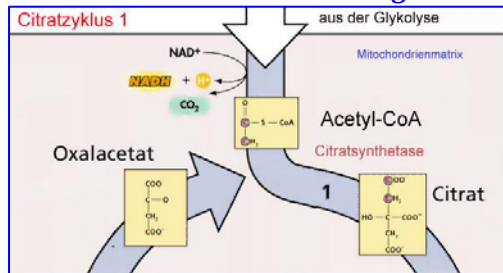
Aus dem Abbau eines Essigsäure-Moleküls (Acetyl-CoEnzym A) entstehen...

- **Biologisch verwertbare Energie**, gespeichert auf
 - o zwei NADH₂ und einem FADH₂:
Dies sind Energieträger, die später in der Atmungskette ihre Energie auf ATP „umladen“
 - o einem ATP (=universeller Energieträger der Zelle!)
- zwei Moleküle **Kohlendioxid CO₂**
CO₂ ist das Abfallprodukt des Zuckerabbaus (über Glycolyse und Zitratzyklus)!

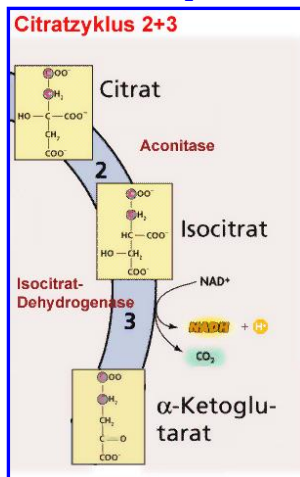
Wichtig!

Gesamtbetrachtung:

In der Photosynthese wird Sonnenenergie zusammen mit 6 CO₂ in Zucker gespeichert, in der Glycolyse und im Citratzyklus wird CO₂ und die gespeicherte Sonnenenergie als biologisch verwertbarer Energie wieder freigesetzt!

[Zurück](#)**1. Einbau der aktivierten Essigsäure:**

- Der C₂-Körper Acetyl- CoA („aktivierte Essigsäure“) aus der Glykolyse verbindet sich mit einem
- C₄- Körper (Oxalacetat) zur einem
- C₆- Körper (Essigsäure bzw. das Salz der Essigsäure Citrat)

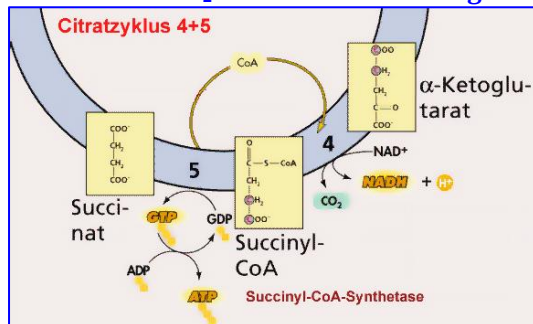
2. Erstes CO₂ und Bindungsenergie wird frei:

- Nach Einführung der aktivierten Essigsäure (C₂) in diesen Stoffwechselkreislauf wird nun das entstandene Citrat (C₆) Schritt für Schritt wieder zu C₄ abgebaut.
- Es werden dabei 2 Kohlendioxid- Moleküle (CO₂) und Bindungsenergie frei.

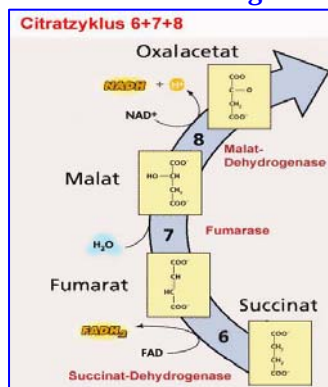
Links werden die Reaktionsschritte für die Abspaltung des ersten CO₂ gezeigt:



CO₂ ist das Abbauprodukt des Citratzyklus und entsteht nicht aus der Veratmung des Sauerstoffs O₂!

3. Zweites CO₂ und weitere Bindungsenergie wird frei

- Ein weiteres CO₂ wird abgespalten.
- Die freiwerdenden Bindungsenergie wird auf NADH umgeladen
- Durch Umwandlung in das energieärmere Succinat wird weitere Energie frei und auf ATP umgeladen

**4. Weitere Bindungsenergie wird freigesetzt:**

- Umwandlung des energiereicheren C₄- Körpers Succinat in energieärmere C₄- Verbindungen, letztendlich wieder in Oxalacetat.
- Dabei wird nochmals Energie frei und auf NADH und FADH₂ umgeladen
- Oxalacetat kann wieder CO₂ aufnehmen, der Kreislauf beginnt von vorn!

2.4 Die Atmungskette

[Zurück](#)

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Atmungskette> und [ZUM.de](http://www.zum.de)

Einige Spezialisten (z.B. „anaerobe“ Bakterien) sind nicht auf Sauerstoff angewiesen, sondern verwenden anstelle des Sauerstoffs andere Elemente wie Schwefel (wobei das übel riechende Gas Schwefelwasserstoff H_2S entsteht).

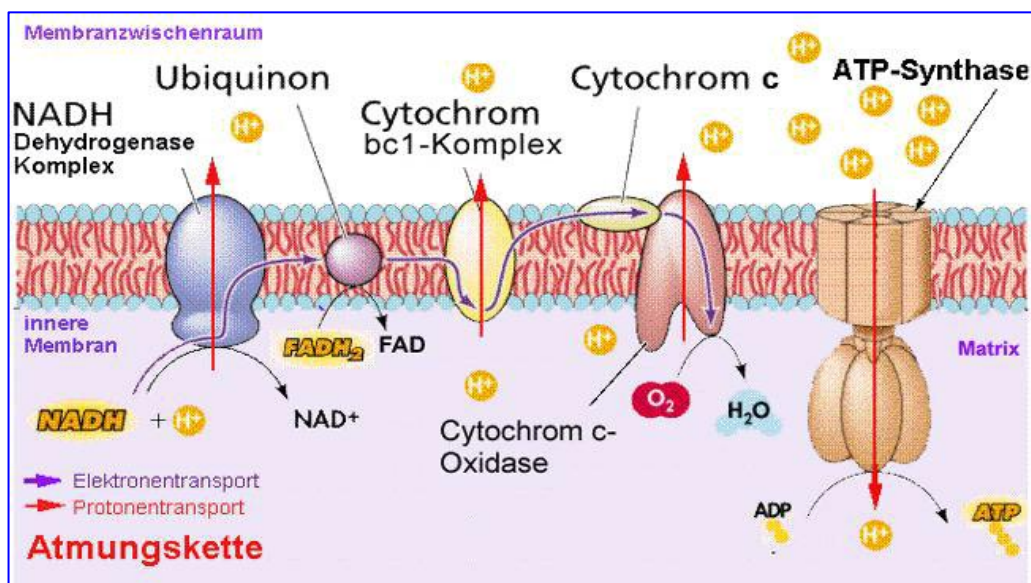
Die meisten Lebewesen und auch die Pflanzen benötigen für ihren Energiestoffwechsel hingegen Sauerstoff. Dieser wird in der Atmungskette der Zellen verbraucht.

Die Atmungskette ist ein Stoffwechselweg (genauer eine „Elektronentransportkette“), in dem Sauerstoffgas (O_2) zu Wasser (H_2O) „veratmet“ wird.

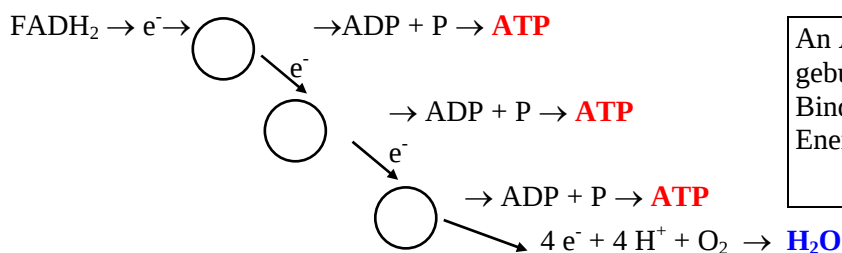
Die irrige Meinung, dass Sauerstoff zu Kohlendioxid (CO_2) veratmet wird, ist nicht richtig. Das Gas CO_2 entsteht beim Abbau der aktivierten Essigsäure im Zitronensäurezyklus (s. oben)!

Innerhalb der Atmungskette wird Bindungsenergie, die in den Elektronen der Moleküle FADH_2 und NADH steckt, „umgeladen“ auf den universellen Energieträger ATP.

Die Atmungskette ist eine Elektronentransportkette:



Schematische Darstellung:



An ADP wird ein drittes Phosphat gebunden. **Es entsteht ATP.** Diese Bindung beinhaltet die übertragene Energie („energiereiche Bindung“)

Die Energie von einem NADH bzw. FADH_2 wird umgeladen auf drei ATP.

3. Gene und Proteinbiosynthese

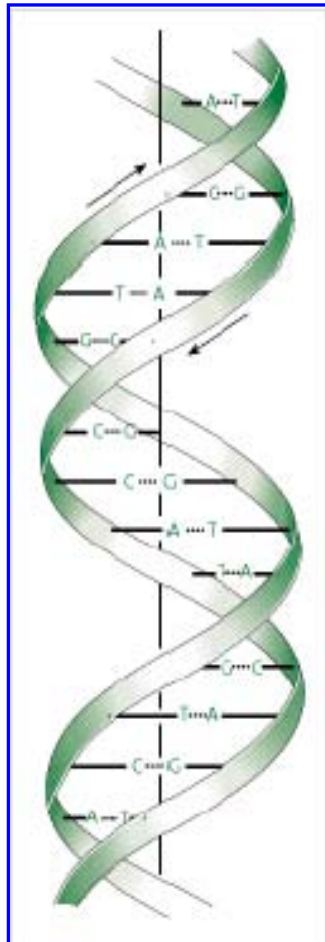
[Zurück](#)

Weitere Infos (z.T. Java-Skript erforderlich!):

Bilder und Animationen: [Lukas Hensel](#) , [ZUM.de](#)

Strukturbilder: [Übersicht](#), 3D-Animationen: [Übersicht](#), [DNA](#)

3.1 Doppelhelix und Aufbau der DNA



Sekundärstruktur:

Das Molekül der **Desoxiribo-Nuklein-Säure** (DNS oder engl. DNA) ist anzusehen als

gewundene (spiralisierte) Strickleiter

Primärstruktur:

Die beiden „Stricke“ oder „Leiter-Holme“ sind Ketten aus vielen

- Zucker- (Ribose) und
- Phosphat- Molekülen (P)

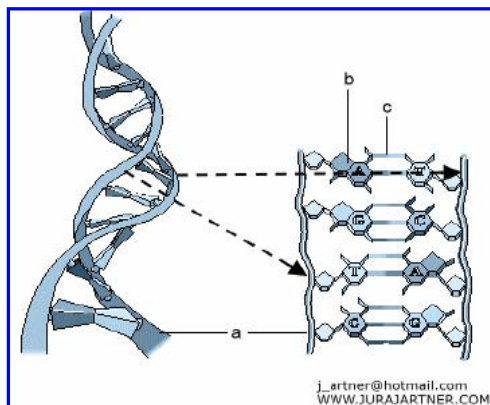
Die Sprossen bestehen aus zwei sich gegenüberliegenden Basen. Es gibt vier verschiedene Basen:

- [Adenin](#) (A)
- [Cytosin](#) (C)
- [Guanin](#) (G)
- [Thymin](#) (T)

Sie ziehen sich gegenseitig an (Basenpaarung, s. unten).

Die Basen sind über den Zucker an die „Stricke“ gebunden. Die gesamte Einheit aus Zucker, Phosphat und Base ist ein...

Nukleotid



Basenpaarung:

Aufgrund der chemischen Struktur der Basen bilden immer nur ganz bestimmte Basen miteinander eine Verbindung. Dies sind...

Adenin und Thymin (A-T)

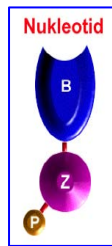
in der m-RNA: Adenin-Uracil (A-U)

Guanin und Cytosin (G-C)

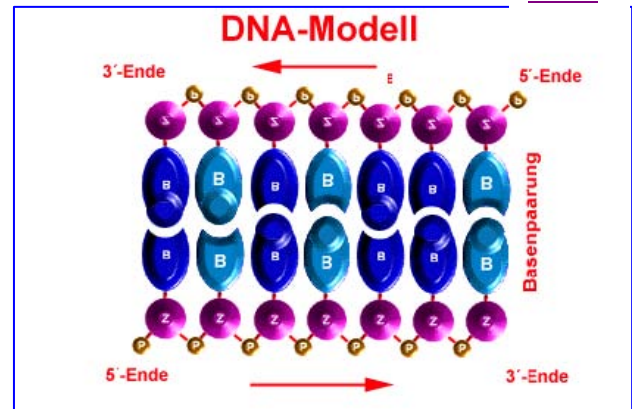
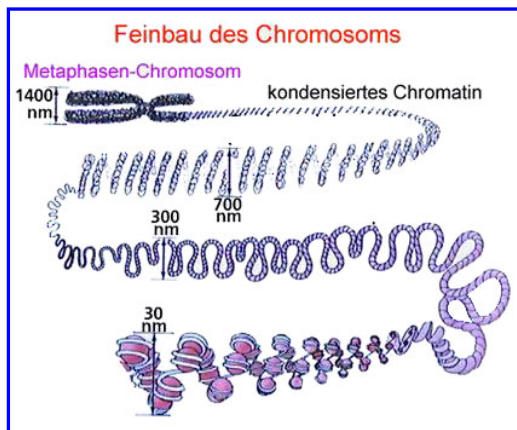
Wichtig:

Ohne diese Gesetzmäßigkeit gäbe es kein Leben auf der Erde!! Die genetische Information (Gene) könnte nicht abgelesen und „verarbeitet“ werden (s. später)

s. <http://de.wikipedia.org/wiki/Basenpaarung>

Zusammenfassung:

1. Der Baustein einer DNA ist ein Nukleotid (s. links). Dieses besteht aus...
 - Phosphat (P)
 - einem Zucker (Ribose) und
 - einer Base (Adenin, Cytosin, Guanin oder Thymin)
2. Die Nukleotide bilden mit ihrem Phosphat und ihrem Zucker die beiden „Stricke“ und mit der jeweiligen Base die „Sprossen“ der „Strickleiter“ DNA (s. rechts)

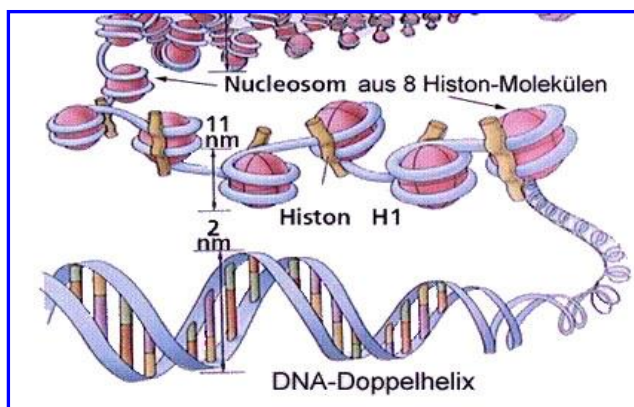
[Zurück](#)**3.2 Feinbau der Chromosomen**

Ein Chromosom besteht zu etwa gleichen Teilen aus

- Protein und
- Nukleinsäure (DNA)

Dabei ist der DNA-Faden in regelmäßigem Abstand 2-fach um ein Proteinkomplex gewickelt (s. links die roten Kugeln).

Man nennt diese roten Kugeln Nukleosomen.



- Der so um die roten Kugeln aufgewickelte Strang ist auch extrem stark spiralisiert.
- Es entsteht ein Strang aus einer dichten Packung an „roten Kugeln“ (=Nukleosomen) und DNA - Faden.
- Zwei dieser Gebilde (**Chromatiden**) haften zusammen und bilden ein Chromosom.

Dies stellt die Transportform der DNA während der Zellteilung dar

3.3 Was ist ein Gen?

[Zurück](#)

s. auch <http://de.wikipedia.org/wiki/Gen>

- Ein Gen ist ein Abschnitt auf einem Strang der DNA („codogener Strang“ wird in 5´-3´- Richtung abgelesen, s. Bild oben rechts)
- und besteht aus einer größeren Anzahl von Basen
- Jeweils drei Basen (=Basentriplett oder Codon) zusammen bilden einen „Buchstaben“ der stellvertretend für eine Aminosäure steht.

3.3.1 Der Genetische Code

Der Genetische Code ist eine „Übersetzungsvereinbarung“, mit der die **genetische Sprache** (= Basentriplett) übersetzt wird in die **Proteinsprache** (=Aminosäure)

Für jede Aminosäure gibt es ein oder mehrere Basentriplets.

- Die **genetische Sprache** besitzt 4 Buchstaben: **Adenin, Cytosin, Guanin und Thymin**. Jeweils drei Basen zusammen bilden ein „Wort“ (= Basentriplett), das für eine Aminosäure steht.
- Die **Proteinsprache** besteht aus 20 Buchstaben, den Aminosäuren.

Die Reihenfolge der Basentriplets legen die Reihenfolge der AS und somit die Primärstruktur des Enzyms fest (s. oben „Protein“)

Wichtigster Grundsatz der Genetik:

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese>

Ein Gen ist die Bauanleitung für eine Aminosäurekette (=Polypeptid)

- Diese Aminosäurekette kann ein Enzym sein (= **Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese!**)
- oder auch ein Strukturprotein (**Ein-Gen-ein-Polypeptid-Hypothese**)

Die Wörter (Basentriplets) des genetischen Codes aus Sicht der m-RNA (s. unten):

		Zweite Base					
		U	C	A	G		
Erste Base	U	UUU Phenylalanin	UCU Serin	UAU Tyrosin	UGU Cystein	U	U
		UUC	UCC	UAC	UGC	C	C
		UUA Leucin	UCA	UAA Stop codon	UGA Stop codon	A	A
		UUG	UCG	UAG Stop codon	UGG Tryptophan	G	G
	C	CUU Leucin	CCU Prolin	CAU Histidin	CGU Arginin	U	U
		CUC	CCC	CAC	CGC	C	C
		CUA	CCA	CAA Glutamin	CGA	A	A
		CUG	CCG	CAG	CGG	G	G
	A	AUU Isoleucin	ACU Threonin	AAU Asparagin	AGU Serin	U	U
		AUC	ACC	AAC	AGC	C	C
		AUA Methionin	ACA	AAA Lysin	AGA Arginin	A	A
		AUG Startcodon	ACG	AAG	AGG	G	G
	G	GUU Valin	GCU Alanin	GAU Asparaginsäure	GGU Glycin	U	U
		GUC	GCC	GAC	GGC	C	C
		GUA	GCA	GAA Glutaminsäure	GGA	A	A
		GUG	GCG	GAG	GGG	G	G

Mit 4 verschiedenen Buchstaben können

$$4^3 = 4 \cdot 4 \cdot 4 =$$

64 Basentriplets

„Drei-Buchstaben-Wörter“

erzeugt werden.

Da es in der Natur nur 20 Aminosäuren gibt, stehen stellvertretend für manche AS zwei oder sogar vier Basentriplets (z.B. Glycin)

Diese Zuordnung der Aminosäuren zu den Basentriplets wurde bei allen lebenden Systemen gefunden. Aus diesem Grund spricht man vom

universellen genetischen Code!

Erstaunlich ist, dass für die Entstehung des Lebens dieser genetische Code schon in dem „allerersten“ lebenden System (Ur-Zelle) vorhanden sein musste!

3.4 Proteinbiosynthese

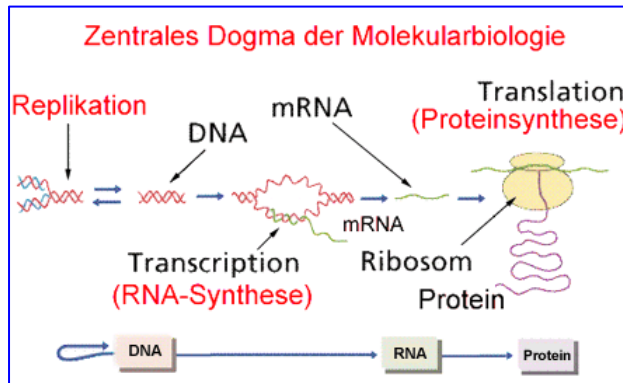
[Zurück](#)

Quelle: [lukashensel](#), s. auch Animation [John Kyrk](#) (sehr gut)

Wie oben beschrieben, ist ein Gen die Bauanleitung für ein Enzym oder ein anderes Eiweiß:

Für jedes Enzym bzw. Eiweiß ist auf den Chromosomen ein spezielles Gen vorhanden!

Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese
(oder „Zentrales Dogma der Molekularbiologie“)



Enzyme...

- steuern jegliches Wachstum und sind damit der
- eigentliche Grund für alle vererbaren Eigenschaften wie z.B.
 - o Mehltau-Resistenz gegenüber Strobilurine
 - o Eiweißqualität (Kleber) bestimmter Weizensorten

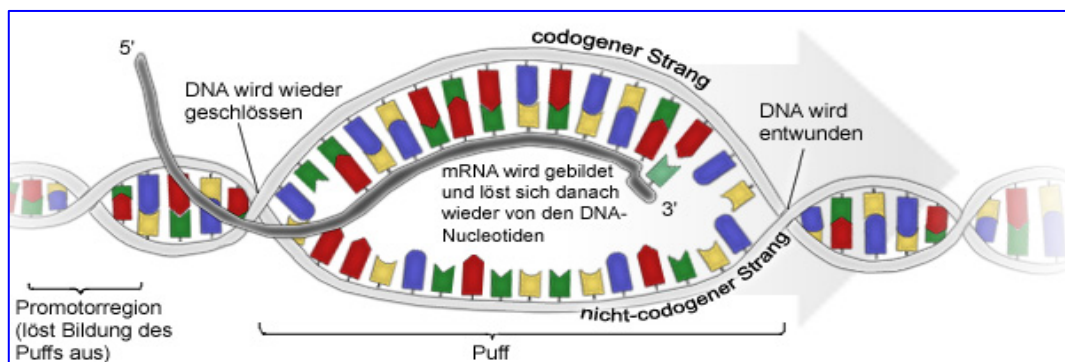
Bildquelle: [Beck](#)

3.4.1 Transkription oder „Das Ablesen eines Genes“

Animation: [stolaf.edu](#) sehr gut!! (oder auch [Lukas Hensel](#), [John Kyrk](#))

Es ist erstaunlich, dass in diesem „Gewirr“, in dieser dichten Packung von Nucleosomen und DNA- Faden die auf der DNA befindlichen Gene gefunden und abgelesen werden können!

Wenn ein bestimmtes Enzym in der Zelle gebraucht wird, wird das Gen für dieses Enzym auf der DNA (Chromosom) abgelesen:



Vorgang:

1. Die m-RNA-Polymerase bindet sich mit einigen weiteren Proteinen an den DNA-Strang, der eine bestimmte Abfolge von Basen enthält (= Starter oder Promoter)
2. Damit ist der Start des Ablesens in 3'-5'-Richtung festgelegt. Nur der DNA Strang mit den Starter-Basen enthält die Geninformation.

3. Das Enzym RNA-Polymerase entwindet die DNA und baut eine m-RNA zusammen...

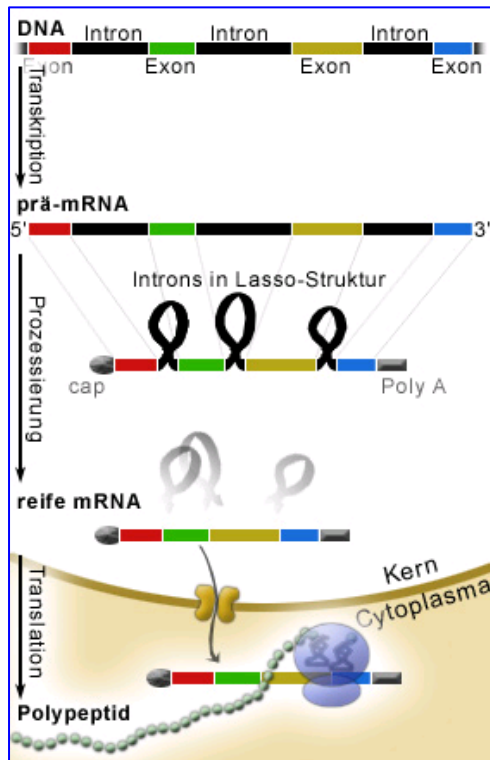
Die m-RNA ist die Kopie eines Genes

mit den komplementären Basen Adenin und Uracil (nicht Thymin!) (A-U) Guanin und Cytosin (G-C)

4. Das Enzym RNA-Polymerase sorgt auch wieder für die Spiralisierung der DNA

3.4.1.1 Die Säuberung der m-RNA oder „Alternatives Spleißen“

[Zurück](#)

 Quelle: [LukasHensel](#) und [Wiki](#)


- Die Gene enthalten meist nicht fortlaufend Information, sondern sind durch „Unsinn- Basen“ unterbrochen. Man nennt diese Abschnitte **Introns**.
- Genbereiche mit tatsächlicher Information werden als **Exons** bezeichnet.
- Nach dem Abschreiben des Gens muss es demnach einen Prozess geben, der die Introns (also die Unsinn-Bereiche eines Gens) von der m-RNA entfernt
- Die Unsinn- Abschnitte auf der m-RNA werden **herausgeschnitten**, so dass am Schluss nur noch die reine Gen- Info auf der m-RNA zu finden ist

Diesen Vorgang nennt man „Reifung der m-RNA“

Eine so „gesäuberte“ m-RNA dient als Vorlage für den Aufbau eines Enzyms oder eines anderen Proteins, hier Albumin. (s. Translation)

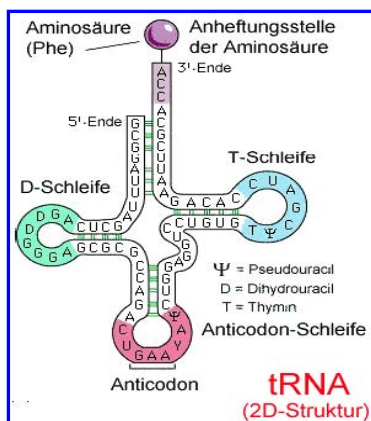
3.4.2 Translation oder der „Zusammenbau eines Enzyms“

 Animation: stolaf.edu!! (oder auch [Lukas Hensel](#))

3.4.2.1 Die t-RNA als Aminosäuren- Transporter

 s. auch http://de.wikipedia.org/wiki/Translation_%28Biologie%29

Die t-RNA ist eine sehr kurze RNA. Sie hat folgende Aufgabe:



- Sie „fängt“ mit ihrer Anheftungsstelle in der Zelle bestimmte Aminosäuren
- sie trägt diese Aminosäure an ein Ribosom
- dort tastet sie sich an der m-RNA entlang und klinkt sich mit ihrem Anticodon an das entsprechende Codon (Basentriplett) der m- RNA an.
- Sie trägt damit ihre Aminosäure an eine ganz bestimmte Stelle der m- RNA.
- Anheftungsstelle und Anticodon der t-RNA sind beide also dafür verantwortlich, dass die richtige AS an die richtige Stelle kommt

Dadurch entsteht die genetisch festgelegte **Primärstruktur**
(= Peptidfaden = Reihenfolge der Aminosäuren)

Wichtig!

Die Aminosäuren bestimmen durch ihre bestimmte Anordnung im Peptidfaden die Form (= **Tertiärstruktur**) eines Eiweißes!

(s. unten)

3.4.2.2 Die Ribosomen als „Strickliesl“ für die Proteine

[Zurück](#)

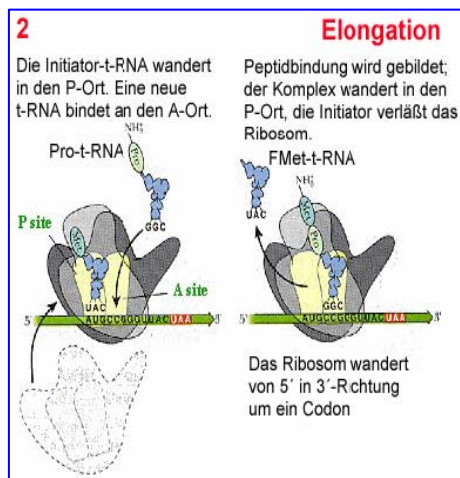
Animation: [Lukas Hensel](#)

Die Verknüpfung (=Peptidbindung) der durch die t-RNA heran getragenen Aminosäuren geschieht in den Ribosomen. Der Vorgang wird eingeteilt in

1. Beginn (**Initiation**):

- Das Starter- Codon besteht aus den drei Basen AUG (s. oben Tabelle).
- An dieses AUG heftet sich eine t-RNA mit dem Anti- Codon UAC.
- Diese t-RNA bringt die Aminosäure Methionin (ist also die erste Aminosäure).

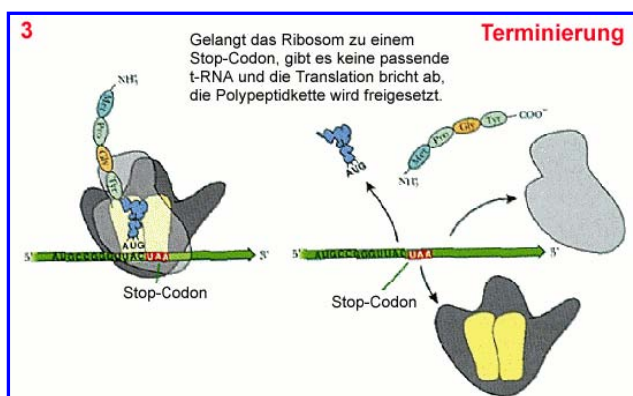
2. Weiterführung (**Elongation**):



- Nun rutscht diese erste t-RNA eine Stelle weiter und macht den Weg frei für eine nächste t-RNA.
- Diese nächste t-RNA klickt sich mit ihrer Aminosäure (AS) an das ihrem Anti-Codon entsprechende Codon der m-RNA ein.
- Die beiden AS verbinden sich (=Peptidbindung)
- Die erste t-RNA verlässt ohne ihre AS das Ribosom.
- Die zweite t-RNA rutscht an die Stelle der ersten, eine dritte klickt sich ein...

usw. usw. usw.

3.4.3 Beendigung (**Termination**)

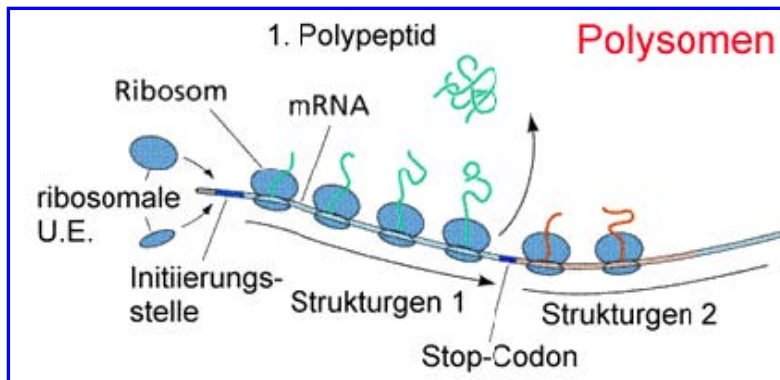


- Wird beim Ablesen der m-RNA ein Stop -Codon erreicht (z.B. UAA, UGA oder UAG, s. Tabelle oben), so gibt es dafür keine passende t-RNA
- Die Folge ist ein Abreißen der Aminosäurekette

Der Peptidfaden mit seiner Primärstruktur wird frei

[Zurück](#)

3.4.4 Die Polysomen als Strickmaschine der Proteine

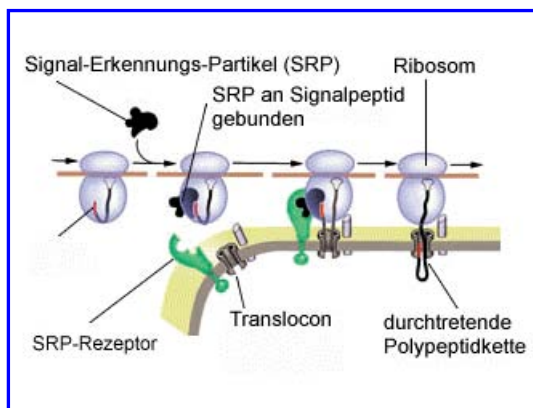


- Oft fädelt sich eine m-RNA in mehrere Ribosomen hintereinander ein
- es entstehen dadurch hintereinander viele gleiche Proteine oder Enzyme

Hintereinander aufgereichte Ribosomen werden als Polysomen bezeichnet

s. Animation v. [John Kyrk](#)

3.4.5 Verschickung der Proteine an ihren Wirkungsort (Signalhypothese)



- Jedes Protein besitzt am Ende der AS- Kette eine Erkennungsstelle (Signalsequenz). Damit wird der Transport durch die Biomembran an den Wirkungsort gesteuert.
- Ein Rezeptor auf der Biomembran des Endoplasmatischen Retikulums (ER) erkennt diese Signalsequenz und schleust das Protein in das Endoplasmatische Retikulum (ER)
- Im ER wird es weiter transportiert und gelangt so in den entsprechenden Reaktionsraum

[G. Blobel bekam dafür 1999 den Nobelpreis!](#)

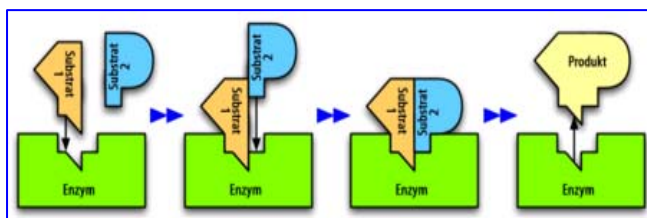
3.5 Wirkungsprinzip der Enzyme

Enzym-Bilder: <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/bs11-13.htm>

Die Enzyme werden eingebettet in die Biomembrane der Zellorgane (z.B. Mitochondrium) und beginnen dort zu arbeiten. Die spezifische Wirkung eines jeden Enzyms beruht auf seiner speziellen Tertiärstruktur (oder Quartärstruktur), also seiner speziellen Form:

Schlüssel-Schloss-Prinzip

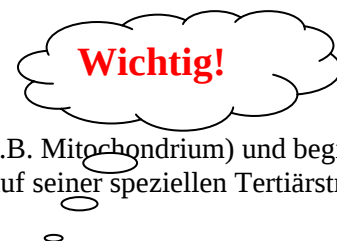
Wenn ein Substrat 1 mit einem Substrat 2 zusammengefügt werden soll zu einem Produkt, dann geschieht das durch...



- Anlagerung von Substrat 1 und 2 an ein aktives Zentrum des Enzyms
- Reaktion zwischen Substrat 1 und 2, es entsteht das Produkt
- Produkt macht Platz für nächste Reaktion

Bild: <http://de.wikipedia.org/wiki/Enzym>

Ein Enzym wird funktionsunfähig, wenn sich die Form seines aktiven Zentrums verändert, z.B. durch Anlagerung eines Giftes (Pflanzenschutzmittel...)



[Zurück](#)

3.6 Zusammenfassung der Protein- Biosynthese

s. Animation von [John Kyrk](#) (sehr gut)

Die Proteine (dazu gehören auch die Enzyme!!) werden in der lebenden Zelle aus Aminosäuren aufgebaut. Der Bauplan dazu ist in den Genen der Chromosomen fixiert (s. oben):



Vorgänge bei der Proteinsynthese:

1. Die Gene (=Abschnitte auf den Chromosomen) werden abgelesen. Dabei bildet sich ein
„Spiegelbild der Gene, die m-RNA“
(„komplementärer Strang“ der DNA)
2. Die m-RNA wandert aus den Zellkern zu den **Ribosomen**
3. Sie dient an den Ribosomen als Matrix (Vorlage) für den Eiweißaufbau, d.h. sie bestimmt die Reihenfolge der Aminosäuren (s. oben).
4. Im Zellsaft befinden sich „Aminosäure- Träger“, die sog. t-RNAs. Jede Art von **t-RNA** ist spezialisiert auf ganz bestimmte Aminosäuren. Diese AS werden von ihren t-RNAs zu den m-RNAs an die Ribosomen getragen.
5. Die t-RNAs lagern sich mit ihren AS an bestimmten Stellen der m-RNA (**Basentriplett!**) an. Es entsteht eine bestimmte Reihenfolge der Aminosäuren (AS).
6. Die AS verbinden sich untereinander in dieser festgelegten Reihenfolge (**Peptidbindung**). Es entsteht eine lange Kette von Aminosäuren (Polypeptid). Die Reihenfolge der Aminosäuren bezeichnet man als

Primärstruktur

7. Der Peptidfaden verdrillt sich selbstständig zu einer Spirale. Diese Spirale wird bezeichnet als

Sekundärstruktur

8. Die Spirale legt sich zu einem ganz bestimmten Knäuel zusammen. Die räumliche Form dieses Knäuels ist charakteristisch für das entstehende Eiweiß oder Enzym und bestimmt deren Eigenschaften

Tertiärstruktur

Bilder dazu s. <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/bs11-10.htm>

Sekundär- und Tertiärstruktur werden durch die Reihenfolge der AS (Primärstruktur) festgelegt. Es entstehen „Brückenbindungen“ zwischen dem Peptidfaden, die das Knäuel stabilisieren.

9. Die so entstandenen Proteine werden von den Ribosomen mit Hilfe des Endoplasmatischen Retikulums (ER) zu ihren Wirkungsorten geschleust. Dabei sind Erkennungsstellen der Proteine wichtig, die sich an die Rezeptoren der ER- Biomembran anheften können.

4. Zellteilung und Reifeteilung

[Zurück](#)

s. auch <http://de.wikipedia.org/wiki/Mitose>

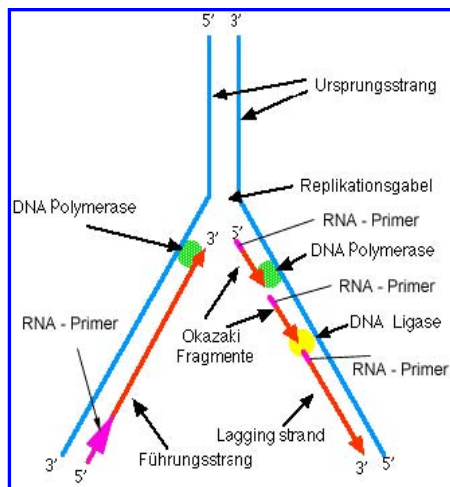
In jedem wachsenden Gewebe (=Meristem) finden Zellteilungen statt. Dabei teilt sich eine Mutterzelle in zwei Tochterzellen. Die beiden Tochterzellen haben die gleiche genetische Erbinformation (Chromosomen mit ihren Genen) wie die Mutterzelle.

Bei der Zellteilung werden die Chromosomen der Mutterzelle verdoppelt und auf die Tochterzellen verteilt.

4.1 Verdoppelung der DNA

Animation der Vorgänge: stolaf.edu (sehr gut!!)

Die Chromosomen bestehen aus DNA. Diese muss sich vor einer Zellteilung verdoppeln:



Identische Semikonservative Replikation:

- Die DNA entspiralisiert sich
- Die Brückenbindungen werden durch Enzyme gebrochen, die beiden Stränge weichen auseinander
- Ein Enzym (DNA- Polymerase) liest die freiliegenden Basen ab und fügt die entsprechenden komplementären Basen an

Adenin zu Thymin (A-T)
Guanin zu Cytosin (G-C)
- Dadurch bleibt die genetische Information (Reihenfolge der Basen) erhalten)

Eine neue DNA mit einem alten und einem neuen Strang ist entstanden!

4.1.1 Labormethode zur DNA-Anreicherung für genetischen Fingerabdruck

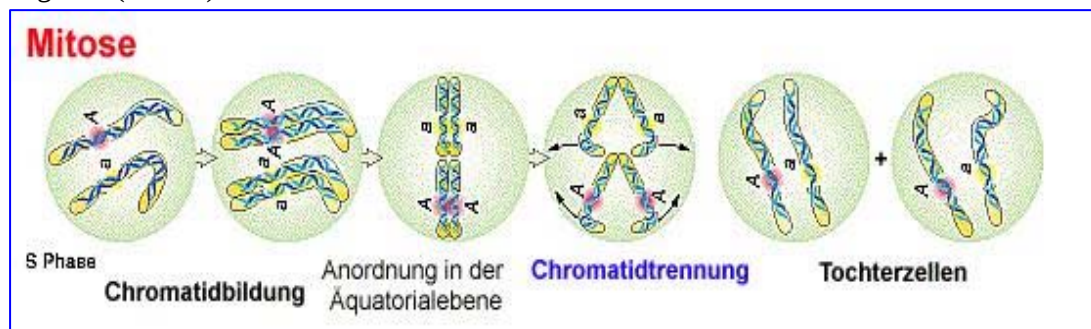
Um einen „Genetischen Fingerabdruck“ eines Straftäters zu erstellen, muss sein am Tatort gefundenes „Genmaterial“ im Labor vervielfältigt werden. Dabei laufen im Reagenzglas praktisch die gleichen Vorgänge ab wie in einer lebenden Zelle:

Animation dazu s. [Lukas Hensel](#)

4.2 Mitose

s. auch [Animation1](#) oder [Animation2](#)

Die Verdoppelung der Chromosomen in einer Zelle kann bis zu mehrere Stunden dauern. Danach findet die Zellteilung statt (Mitose). Diese kann in einzelne Phasen unterteilt werden:

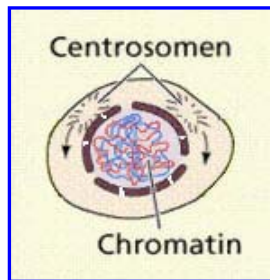


Bildquelle: [Beck](#)

4.2.1 Prophase

[Zurück](#)

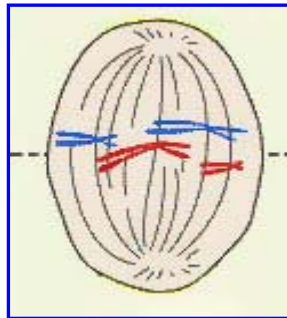
s. auch [Wikipedia](#) (sehr gut!)



- Die Chromosomen werden unter dem Mikroskop sichtbar (sie verdicken sich).
- Sie haben sich zu diesem Zeitpunkt schon verdoppelt (identische Verdoppelung der Chromosomen s. oben)
- die verdoppelten Chromosomen werden Chromatiden genannt

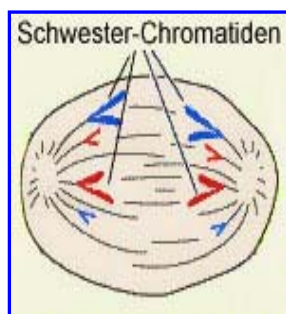
Ein doppelter Chromosomensatz (diploid) hat sich in vier „Chromtide“ verdoppelt

4.2.2 Metaphase



- Die Kernmembran hat sich aufgelöst
- Die Chromatide (s. oben) liegen in der Mitte (= Äquatorialebene) der Zelle
- es bilden sich Spindelfasern aus, die sich an die Chromatiden anheften

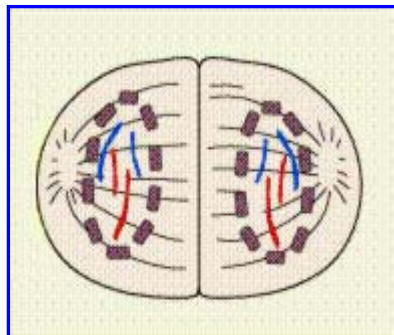
4.2.3 Anaphase



- ein Chromatid eines Chromosoms wird durch die Spindelfasern zu dem einen Pol, das andere Chromatid des gleichen Chromosoms wird zu dem anderen Pol gezogen

Die beiden Chromatiden eines jedes Chromosoms werden von den Spindelfasern zu den gegenüber liegenden Polen gezogen.

4.2.4 Telophase



- Die auseinandergewichenen Chromatiden haben die jeweiligen Zellpole erreicht
- Die Spindelfasern verschwinden, die Membrane um die beiden neuen Zellkerne bildet sich.
- Der Zellsaft mit den Zellorganen verteilt sich in die beiden Hälften (= Cytokinese)
- es wird je eine neue Zellwand in der Mitte der Zelle gebildet

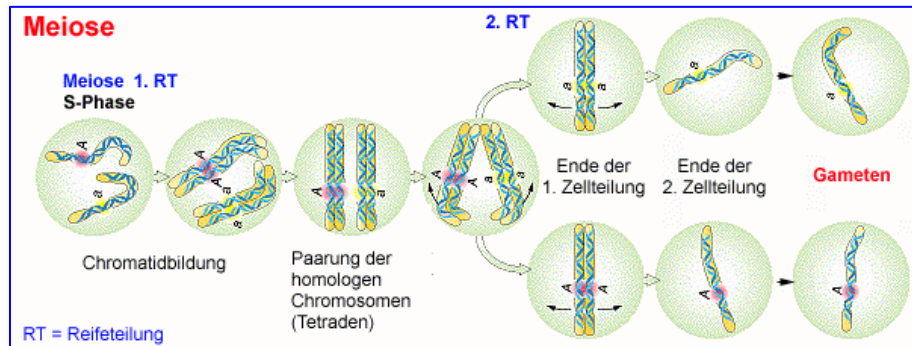
Die Zelle teilt sich in zwei Tochterzellen.

5. Meiose (Reifeteilung)

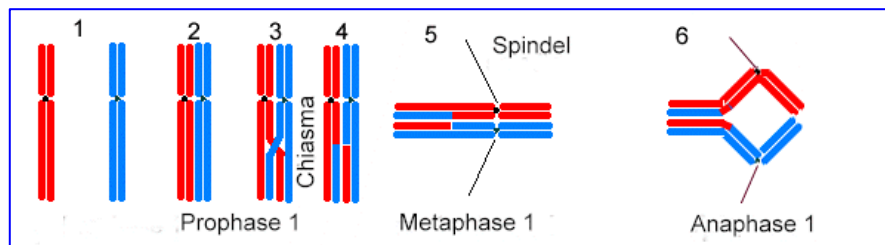
[Zurück](#)

Verschiedene Quellen: [ZUM](#), [Beck](#), s. auch [Animation](#) (John Kyrk)

Überblick:



5.1 Erste Reifeteilung



Prophase 1:

Schon am Anfang der Reifeteilung...

Identische Reduplikation der Chromosomen.

- Die gleichen Chromosomen (Chromatide!) legen sich in der Mitte der Zelle aneinander
- Es kommt zur Überkreuzung der väterlichen und mütterlichen Chromatiden (hier rot und blau dargestellt) und zum Crossing over

Bedeutung des Crossing-over:

Durch das Crossing-over werden das väterliche und mütterliche Erbgut zufällig gemischt. Die Meiose ist eine der natürlichen Ursachen für die

genetische Vielfalt der Organismen.

Metaphase 1:

- Es bilden sich Spindelfasern aus

Anaphase 1:

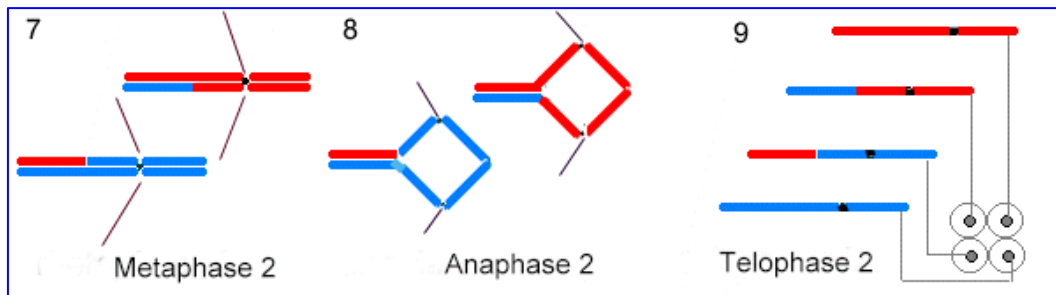
- Die Spindelfasern ziehen die (durch Crossing over gemischten) Chromatiden auseinander
Austausch der Chromatid-Stücke(s. oben)

Telophase 1:

- Die Zellteilung schreitet weiter voran.
- Zwei neue Kernmembranen bilden sich. Die Spindelfasern werden abgebaut.

[Zurück](#)

5.2 Zweite Reifeteilung



Prophase 2:

- Die Membranen der Zellkerne zerfallen wieder.
- Die Chromosomen in jedem Zellkern wandern in die Mitte der Zelle („Äquatorialebene“).

Metaphase 2:

- Spindelfasern bilden sich in jeder neuen Zelle aus.

Anaphase 2:

- Die Chromatiden der Chromosomen werden zu den jeweiligen Polen gezogen

Telophase 2:

- Kernmembranen werden gebildet. Die Spindelfasern verschwinden.
- Es sind vier haploide Zellen entstanden.

Mit der Meiose entstehen...

aus einer diploiden Gewebezelle vier haploide Geschlechtszellen (Gameten)...

- im weiblichen Fruchtknoten die Eizellen
- und in den männlichen Antheren (Pollensack) die Pollenzellen

[Zurück](#)

Anhang: Gärbiologie in Biogasanlagen

Quellen: [KWS \(pdf\)](#), [Wikipedia](#), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR ([Übersicht](#))

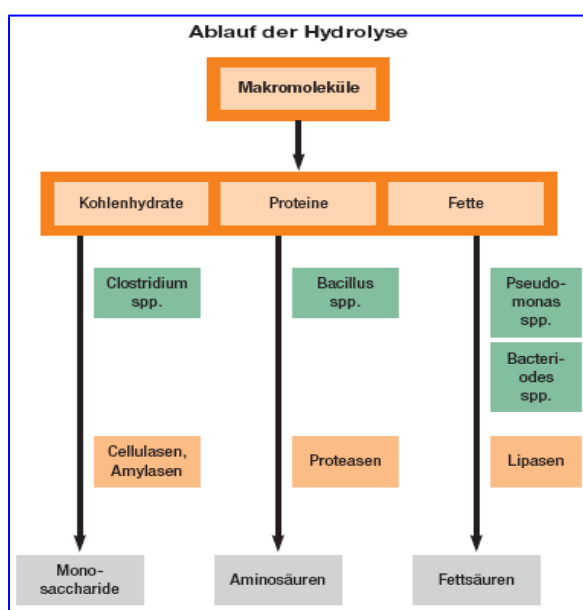
Bei der Vergärung der Substrate zu Methan und Kohlendioxid werden folgende Phasen durchlaufen:



Eigenschaften und Umweltansprüche der Bakterien in...

	Hydrolyse, Acido- und Acedogenese	Methanogenese
Vermehrung (Tage je Generation)	schnell (1-3 Tage)	langsam (1-15 Tage)
Temperaturanspruch	Niedrig (Optimum ca. 35°)	Hoch (Optimum ca. 55°)
pH-Wert	4,5 - 6,5	6,8 - 7,8

1. Hydrolyse



Bei der Hydrolyse werden...

- o Kohlenhydrate *)
- o Proteine und
- o Fette

in ihre Bausteine zerlegt. Dafür verantwortlich sind spezielle Bakterienstämme und ihre Enzyme.

*) Kohlenhydrate beeinflussen den Gärverlauf...

- Zucker und Stärke wird am schnellsten abgebaut und senkt dadurch auch am stärksten den pH-Wert
- Proteine und Zellulose werden am langsamsten abgebaut. In Zellulose enthaltenes Lignin kann nicht abgebaut werden:

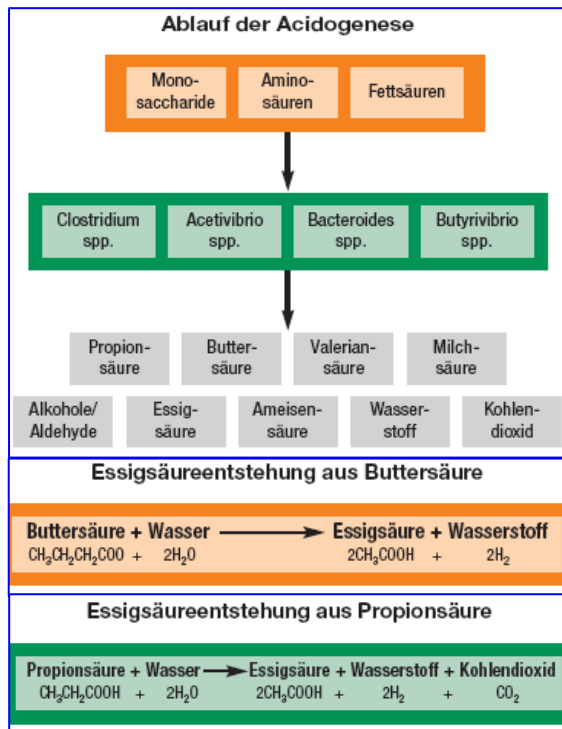
Je höher der Zelluloseanteil (Verholzung), desto langsamer die Vergärung

Die **Hydrolysegeschwindigkeit** nimmt in folgender Reihe ab:

Zucker > Hemicellulose > Fette > Cellulose > Proteine

Die Hydrolyse ist Geschwindigkeit bestimmend!

2. Versäuerungsphase (Acido- und Acedogenese)

[Zurück](#)


Acidogenese:

Spezielle Bakterienstämme zerlegen die **n**ieder-molekularen organischen Verbindungen wie...

- Einfachzucker
- Aminosäuren und
- Fettsäuren

zu verschiedenen organischen Säuren.

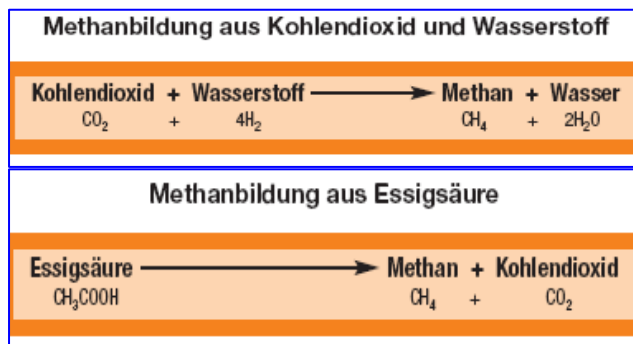
Durch die Säureproduktion wird der pH-Wert gesenkt!

Acedogenese:

Buttersäure, Propionsäure und andere organische Säuren werden zu **Essigsäure** umgebaut.

**Essigsäure ist die wichtigste Säure.
Daraus entsteht das Methan.**

3. Methanbildung

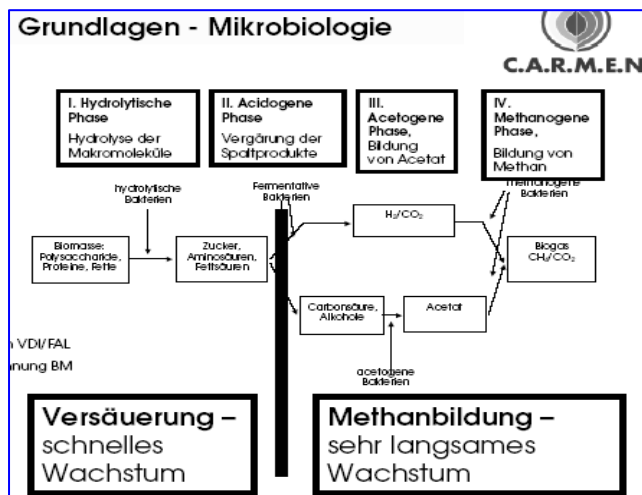


Eigenschaften der Methan-Bakterien...

- sie sind streng anaerob, Sauerstoff tötet sie ab.
- alle Arten können Methan aus Kohlendioxid herstellen
- nur wenige (aber bedeutende!) Arten können Methan aus Essigsäure herstellen

Etwa 70% des Methans wird aus Essigsäure, 30% aus CO₂ gebildet.

Übersicht:



Weiterführende Informationen:

- [Biogashandbuch Bayern \(pdf\)](#)
- Hydrolyse-[Empfehlungen \(pdf\)](#)

[Zurück](#)

4. Einflüsse auch Gärverlauf und Probleme

Quellen: [KWS \(pdf\)](#),

4.1 Eigenschaften und Ansprüche der Bakterienarten

Die an der...

Hydrolyse und Versäuerungsphase

und an der

Methanbildung ...

beteiligte Bakterienstämme arbeiten und regenerieren sich unterschiedlich schnell. Sie haben...

- unterschiedliche Generationszeiten und
- unterschiedliche Ansprüche an pH-Wert und Temperatur

4.1.1 Generationszeiten

Bakteriengruppe	Generationszeit
Hydrolytische und acidogene Bakterien	
Bacterioides	< 24 Stunden
Clostridien	24 – 36 Stunden
Acetogene Bakterien	
Syntrophobacter	40 – 60 Stunden
Syntrophomonas	72 – 132 Stunden
Methanogene Bakterien	
Methanobacterium	12 - 60 Stunden
Methanosarcina	120 - 360 Stunden
Methanococcus/Methanosaeta	240 Stunden

- Hydrolyse- und Versäuerungs Bakterien

sind wesentlich schneller als

- Methan bildende Bakterien

**Gefahr der Übersäuerung der Biogasanlage
(Säureproduktion „auf Halde“)**

4.1.2 Ansprüche an pH-Wert

Optimaler pH-Wert:

4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5 8,0

Hydrolyse- und Versäuerungs Bakterien

Methanbakterien

In übersäuerten Biogasanlagen kann die Methanbildung zusammenbrechen!

4.1.3 Ansprüche an Temperatur

Optimaler Temperaturbereich:

25 30 35 40 45 50 55 60 °C

Versäuerungs Bakterien

Methanbakterien

Methanbakterien

Eine Abkühlung in einer schlecht funktionierenden, da übersäuerten Anlage verstärkt noch den Zusammenbruch der Methanbildung!

Vor- und Nachteile der Temperaturbereiche...

25 30 35 40 45 50 55 60 °C

mesophil

Hohe Prozessstabilität bei
+/- 2° bis 4° C
Langsamere Vergärung
Geringere Gasausbeute

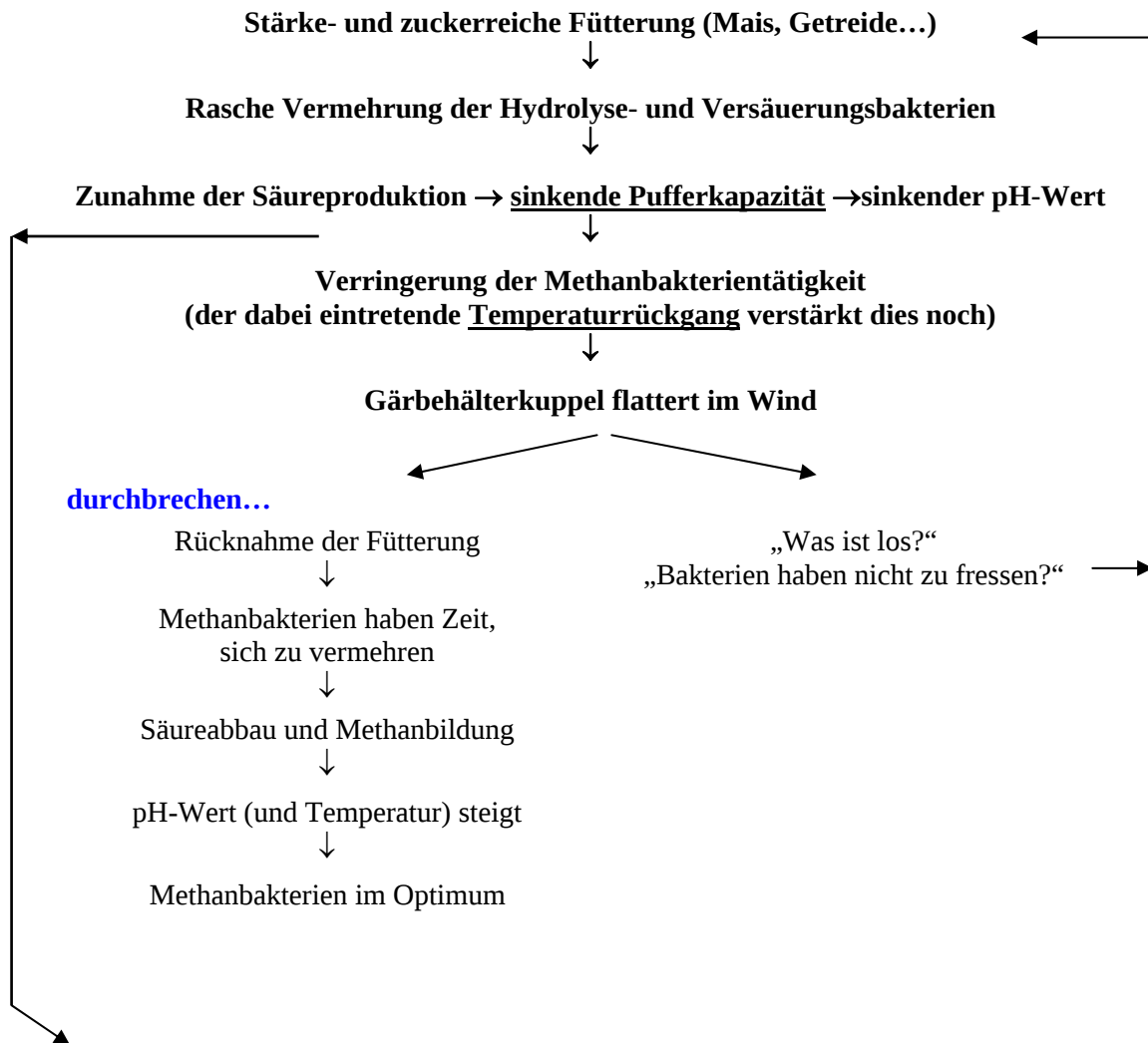
thermophil

empfindliche Prozess-
stabilität bei
+/- 1° C
Höhere Gasausbeute

[Zurück](#)

4.2 Prozessführung

Teufelskreis...



durchbrechen...

Rücknahme der Fütterung
↓
Methanbakterien haben Zeit,
sich zu vermehren
↓
Säureabbau und Methanbildung
↓
pH-Wert (und Temperatur) steigt
↓
Methanbakterien im Optimum

Besser gleich Messung, Aufzeichnung und Kontrolle von...

- o **Pufferkapazität** (s. Seite 31 der KWS-Broschüre [pdf](#))
- o **pH-Wert** und
- o **Temperatur**

Die Beobachtung des pH-Wertes, insbesondere aber die

Beobachtung der Pufferkapazität

ist eine wichtige Maßnahme der Prozessführung.

