

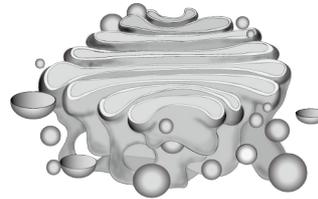
Biomembranen besitzen eine bemerkenswerte Flexibilität:

Sticht man eine Zelle mit einer feinen Nadel oder Kanüle sehr vorsichtig an so kann sich das entstehende Loch in der Membran wieder spontan schließen. Das wird beispielsweise bei der künstlichen Befruchtung ausgenutzt, indem eine Spermienzelle direkt in die Eizelle injiziert wird. Auch Wirkstoffe oder Erbsubstanz kann so direkt eine Wirtszelle geschleust werden.



*Intracytoplasmatische Injektion in eine Eizelle.* Q: via wikicommons. A: RWJMS IVF Laboratory, gemeinfrei

Es können auch ganze Biomembranbereiche miteinander verschmelzen und neue Kompartimente bilden. So werden die einzelnen Zisternen (Dictyosomen) des GOLGI-Apparats durch die Verschmelzung vieler Vesikel gebildet:



GOLGI-Apparat. Q: wikicommons. A: DBCLS

Die Zellmembran ist für bestimmte Stoffe durchlässig, für andere hingegen kaum. Sie ist also *selektiv permeabel*: Die Zelle kann für viele Stoffe den Zugang zum Zellinneren kontrollieren. Grund genug, den Bau der Zellmembran etwas genauer zu studieren. Zuerst beschäftigen wir uns mit den Fetten, denn die Bausteine der Zellmembran sind mit dieser Stoffklasse verwandt.

## 1. Fette - die Klassiker unter den Lipiden

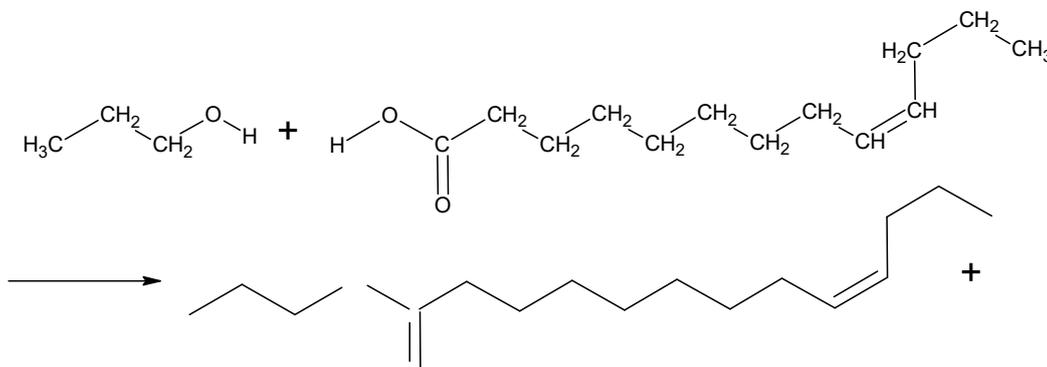
**Lipide** ist ein Überbegriff vieler verschiedener, völlig unterschiedlich gebauter biochemischer Moleküle. Gemeinsames Merkmal der Lipide ist der **unpolare**, also **lipophile** (griechisch für „fettliebend“) Charakter und die biochemische oder physiologische Relevanz. Der Begriff *lipophil* deutet an, dass sich diese Moleküle bevorzugt mit anderen unpolaren Molekülen, bspw. weiteren Lipidmolekülen oder Alkanen ( $C_nH_{2n+2}$ ) umgeben. *Lipophile Stoffe* mischen sich hingegen kaum mit polaren Verbindungen wie  $H_2O$ . Sie sind also **hydrophob** (gr. für „wassermeidend“). So separieren sich Lipidmoleküle spontan in wässrigen Medien. Bringt man Fettmoleküle in Wasser oder bringt sie durch eine *intracytoplasmatische Injektion* in die

Zelle, so bilden sie gemeinsam kugelförmige Fetttröpfchen, um die Kontaktfläche zum wässrigen Medium gering zu halten. .

Betrachten wir zuerst den Bau von Fettmolekülen, denn die Moleküle der Biomembran leiten sich hiervon ab. Fette gehören zu den **Estern**, das sind die Reaktionsprodukte aus Alkoholen mit Carbonsäuren. Alle **Alkohole** besitzen als **funktionelle Gruppe**, eine **Hydroxylgruppe (-OH)**. Sie kann mit der *funktionellen Gruppe* von Carbonsäuremolekülen reagieren, der **Carboxylgruppen (-COOH)**. Bei der Verknüpfung der beiden Ausgangsstoffe zu dem Reaktionsprodukt, dem **Ester**, wird  $H_2O$  abgespalten. Die bei der Verknüpfung entstehende funktionelle Gruppe der Ester wird **Estergruppe** genannt.

1.1a) Ergänzen Sie in Abb. 1.1 die fehlenden Atome und Moleküle auf der Produktseite.

b) Markieren Sie die alle angesprochenen funktionellen Gruppen und geben Sie deren Bezeichnung an.



**Abb. 1.1:** Bildung eines Estermoleküls aus einem Alkohol und einer langkettigen Carbonsäure. Man beachte, dass die Edukte als Halbstrukturformel dargestellt sind, das organische Produkt der Reaktion hingegen als **Skelettformel**. Jede Ecke steht für ein C-Atom, das mit H-Atomen zur Vierbindigkeit abgesättigt ist. (Quelle: e. W.)

Nach diesem Prinzip entstehen auch Fettmoleküle. Als Alkoholkomponente dient hier allerdings stets Propantriol (**Glycerin**). Es besitzt drei Hydroxylgruppen und kann deshalb auch mit drei langkettigen Carbonsäuremolekülen (Fettsäuren) Ester bilden. Es entsteht also ein Dreifachester, man spricht deshalb auch von einem Triglycerid.

1.2 a) Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Entstehung eines Fettmoleküls ausgehend von Carbonsäuren (R-COOH) und Glycerin an.

b) Die Fettspaltung ist eine Hydrolyse, also eine Spaltung unter dem Einfluss von  $H_2O$ . Begründen Sie.

1.3 Markieren Sie im folgenden Fettmolekül das C-Grundgerüst, das vom Alkoholanteil stammt und die Esterbindungen.

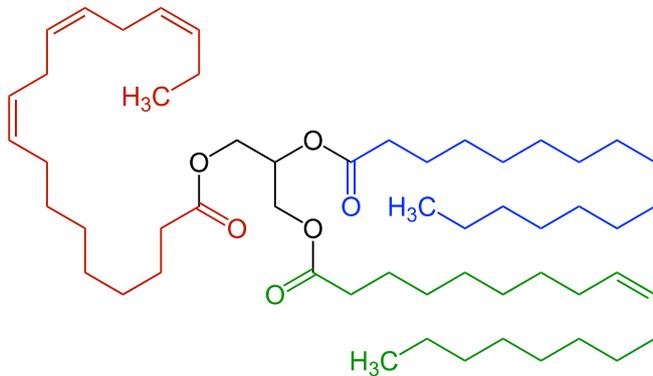


Abb. 1.2: Skelettformel eines Triglycerids. (Quelle: wikipedia.de. Autor Jü)

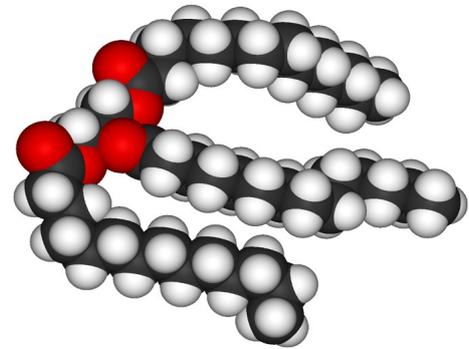


Abb. 1.3: Kalottenmodell eines Fetts (Quelle: wikimedia.org; PD)

Bedeutende Anteile der Fettmoleküle bestehen aus Kohlenwasserstoffresten. Diese sind unpolar. Deshalb sind Fette in ihrer Gesamtheit unpolar gebaut und damit lipophil (=hydrophob).

1.4 [Internet oder Schulbuch]. Recherchieren Sie, weshalb pflanzliche Fette meist flüssig sind, tierische Fette hingegen meistens fest sind.

2. Phospholipide leiten sich von Triglyceriden ab

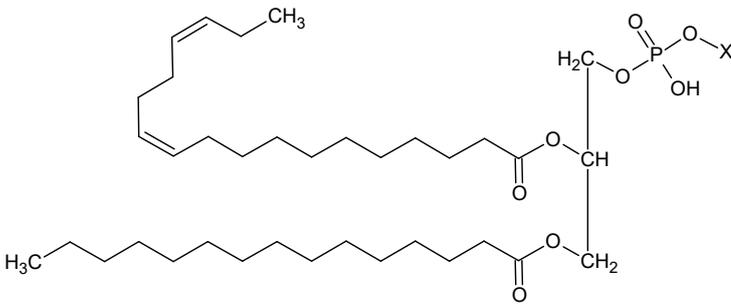


Abb. 2.1: Skelettformel eines Phospholipids (Q: e. W.)

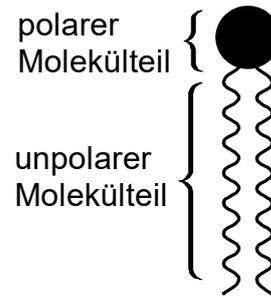


Abb. 2.2: Symbol eines Phospholipid-Moleküls (e.W.)

2.1 Füllen Sie mithilfe von Abb. 2.1 und 2.2 den Lückentext mit sinnvollen Worten. Wenn Sie nicht weiterkommen sollten, konsultieren Sie das Schulbuch.

Anders als bei Fetten, sind bei Phospholipiden nur ..... Fettsäure-Reste über Esterbindungen an den ..... gebunden. Wie bei Triglyceriden, handelt es sich bei der alkoholischen Komponente auch um ..... Eine seiner OH-Gruppen ist nicht mit einem Fettsäuremolekül, sondern statt dessen mit einem Phosphorsäuremolekül eine ..... eingegangen. Dieses Phosphormolekül trägt zusätzlich noch eine polare Gruppe X (z.B. CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub>). Der Bereich der Phosphatgruppe mit dem anhängenden X wird auch als ..... Kopf bezeichnet. Die langen anhängenden Reste werden aufgrund der geringen Elektronegativitäts-Differenz auch als ..... Schwänze bezeichnet. Wenn man die Löslichkeitseigenschaften der Molekülbereiche beurteilt, spricht man auch von lipophilen oder ..... Schwänzen und dem hydrophilen oder ..... Kopf. Solche Moleküle, die sowohl bedeutende hydrophile und bedeutende hydrophobe Molekülbereiche besitzen, werden auch **Amphiphile** genannt.

3. Der Weg zur Erkenntnis über die Anordnung der Bausteine in der Grenzfläche

**1774:** Der spätere US-Präsident, BENJAMIN FRANKLIN, führt einen Versuch zur Glättung von Wasserwellen mit Öl durch. Er gibt nur einen einzigen Teelöffel Öl auf eine Seeoberfläche und misst erstaunt, dass sich der Ölfleck auf ca. 2000 Quadratmeter ausbreitet. FRANKLIN ist nicht an der Struktur der Schicht interessiert. Ihm geht es um die Glättung von Wasserwellen mit Öl, etwa bei der Bergung Schiffbrüchiger aus Rettungsbooten.

**1880:** Die 18-jährige Autodidaktin AGNES POCKELS konzipiert eine Apparatur, mit der auf einfacher Weise lipophiler und amphiphiler Stoffe auf Wasser zusammengeschoben und wichtige physikalische Kenngrößen (z.B. die Oberflächenspannung) experimentell bestimmt werden können. Auf sie geht die heutzutage in der Grenzflächenanalyse genutzte Filmwaage (POCKELS-LANGMUIR-Trog) zurück. Die durch sie informierten Wissenschaftler erkennen die Tragweite des Messinstruments nicht. Deshalb wendet sie sich an den bekannten britischen Physikochemiker Lord RAYLEIGH, der die sofortige Veröffentlichung in renommierten wissenschaftlichen Zeitschriften veranlasst.

**1890:** Der spätere Nobelpreisträger für Physik, Lord RAYLEIGH, wiederholt den Versuch von FRANKLIN mit genaueren Methoden. Er berechnet die Höhe der Filmschicht und kann zeigen, dass sich das Öl bei ausreichend großer Wasseroberfläche tatsächlich bis zu einem monomolekularen Film ausbreiten muss. Beweisen kann er es mangels geeigneter Instrumente nicht.



<https://youtu.be/jPsgzfKb5Fc> :  
Absolut  
sehenswertes 5-  
Minuten-Video zur  
Filmwaage von  
Pockels



<https://youtu.be/ZVPS6TokX68>: 1:40  
min. Arbeitsweise  
einer einfachen  
Filmwaage

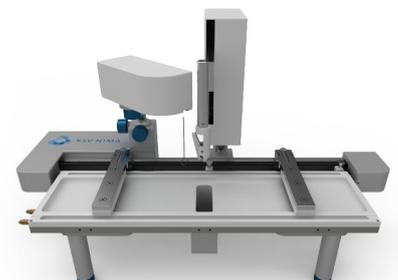
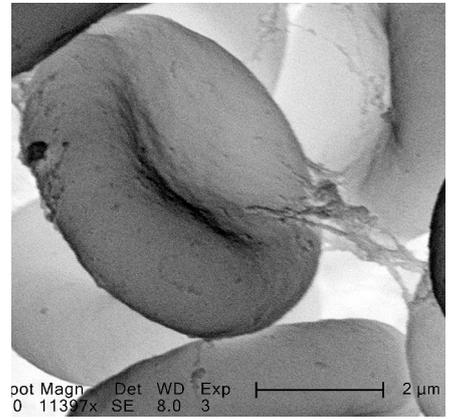


Abb. 3.1: Eine moderne Filmwaage (LANGMUIR-BLODGETT-Trog) als Aufsatz für ein Experimentierpult. (Q: Wikimedia Commons, A: Jyrkopela)

**1924:** GORTER und GREDEL verwenden einen LANGMUIR-BLODGETT-Trog (siehe Abb. 3.1) um die Fläche des monomolekularen Phospholipidfilms, gewonnen aus Zellmembranen, zu bestimmen. Sie nutzen hierzu rote Blutzellen (Erythrozyten), weil diese frei von Biomembranen im Zellinneren sind, da sie keine Zellorganellen besitzen. Weiterhin ist aufgrund ihres einheitlichen Baus („eingedellte Schokolinse“, vgl. Abb. 3.3) die Zelloberfläche der intakten Zelle relativ genau messbar. Sie vergleichen die Zelloberfläche der intakten Zelle mit der Phospholipidfläche auf dem Wasser.



**Abb. 3.3:** REM-Aufnahme Erythrocyt. (© www.pixnio.com, A: Janice Carr, gemeinfrei, verändert)

**3.1** Schätzen Sie anhand der Größenangabe auf Abb. 3.3. die Oberfläche eines Erythrocyten in  $m^2$  (Zylinderoberfläche:  $O = 2\pi r^2 + 2\pi rh$ ). Vergleichen Sie mit den Einträgen der Tabelle unten!

**3.2** Hier ein Auszug aus ihren Ergebnissen. Ergänzen Sie die fehlenden Einträge!

Quelle	Eingesetztes Blutvolumen in $mm^3$	Mittlere Oberfläche einer intakten Zelle in $m^2$	Anzahl Erys pro $mm^3$ Blut	Gesamtoberfl. aller Erys im eingesetzten Blutvol. in $m^2$	Oberfläche des Films in $m^2$	Quotient $\frac{\text{Phospholipidfläche}}{\text{Erythrozytenfläche}}$
Meerschweinchen	1000	$89,8 \cdot 10^{-12}$	$5,85 \cdot 10^6$	0,52	0,97	ca. 1,9
Kaninchen	500	$92,5 \cdot 10^{-12}$	$5,9 \cdot 10^6$		0,54	
Mensch	1000	$99,4 \cdot 10^{-12}$	$4,74 \cdot 10^6$		0,92	

Schlussfolgerung: .....

.....

.....

.....

.....

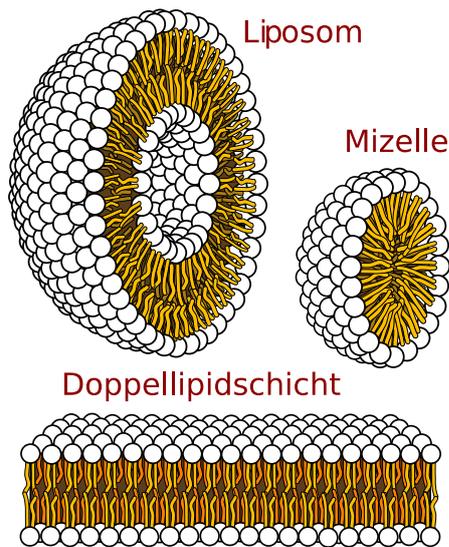
**3.3** Wie könnten die Phospholipidmoleküle in der wässrigen Umgebung der lebenden Zelle angeordnet sein, wenn man die Erkenntnisse aus 3.2 interpretiert. Zeichnen Sie die passende Anordnung der Phospholipidmoleküle mit dem Symbol:



#### 4. Von Mizellen und Doppelschichten Die Selbstanordnung der Phospholipide

In Wasser ordnen sich die Phospholipid-Moleküle selbständig an. Es bilden sich **Mizellen** oder **Doppelschichten** (vgl. Abb. 4.1). Beiden Varianten liegt dieselbe Ursache zugrunde: Durch die Anordnung sind die intermolekularen Anziehungskräfte optimiert und das Wasser hat keinen großflächigen Kontakt zu den hydrophoben Kohlenwasserstoffketten.

Eine kugelförmige Anordnung mit einer Doppelschicht ist das **Liposom**, das in der Medizin und Molekularbiologie als Transportmedium für Wirkstoffe genutzt werden kann. Die Wirkstoffe sind im wässrigen Milieu des Kugelinneren eingeschlossen.



**Abb. 4.1:** Anordnung der PL-Moleküle im Wässrigen (Q: wikicommons. A: LadyOfHats)

Das gleiche Anordnungsprinzip der **Doppelschicht** von Phospholipiden findet sich in allen Biomembranen, beispielsweise der Zellmembran.

Es gibt die Vermutung, dass die erste evolutive Entwicklungsstufe zu lebenden Zellen aus toter Materie in der **Ursuppe** über liposomenartige Strukturen führte, die sich spontan im wässrigen Medium ausgebildet haben. Wichtige Moleküle waren darin eingeschlossen und konnten in der Ursuppe nicht einfach weg diffundieren. Dies ist eine Voraussetzung für das Entstehen von Leben. Die Liposomen bauten nach und nach immer kompliziertere biochemische Systeme auf. Ein liposomenartige Struktur kann sich in kleinere Liposomen teilen, beispielsweise bei Erschütterung. Durch Einbau weiterer Phospholipidmolekülen können die Tochterliposomen an Größe zunehmen („wachsen“). Das könnte die Grundlage von Zellteilung und Zellwachstum gewesen sein. Mit der Fragestellung wie aus einfachen chemischen Grundstoffen lebende Zellen entstanden, befasst sich die **chemische Evolution**.

Die lipophilen Fettsäureschwänze führen dazu, dass sich Phospholipide auch in unpolaren Lösungsmitteln relativ gut lösen. Es handelt sich also wie im Abschnitt 2 bereits erwähnt, um **amphiphile Moleküle**. Allgemein besitzen **Amphiphile** (gr.: „beides liebend“) sowohl polare als auch unpolare Gruppen und lösen sich in polaren und in unpolaren Medien relativ gut.

**4.1** In unpolaren Lösungsmitteln bilden Phospholipide unter bestimmten Voraussetzungen **inverse Mizellen**. Zeichnen Sie die dazugehörige Anordnung und erklären Sie die Ursache für deren Bildung.