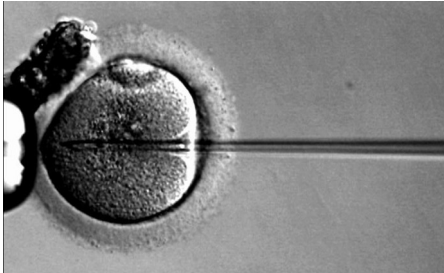
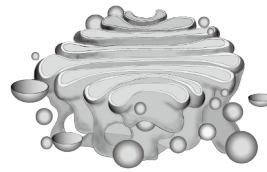


Biomembranen besitzen eine bemerkenswerte Flexibilität: Sticht man eine Zelle mit einer feinen Nadel oder Kanüle sehr vorsichtig an so kann sich das entstehende Loch in der Membran wieder spontan schließen. Das wird beispielsweise bei der künstlichen Befruchtung ausgenutzt, indem eine Spermienzelle direkt 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. Crashkurs zur Polarität von Molekülen und Bau der Fette

Fette und fettähnliche Stoffe werden als **Lipide** bezeichnet. Sie lösen sich nur schlecht in Wasser und kugeln sich auf einer Wasseroberfläche als Fetttropfen ab, um die Kontaktfläche mit Wasser zu minimieren.



Abb. 1.1: Grießknödelsuppe mit Fetttropfen Q: wikicommons. A: Christian Michelides

Fettmoleküle sind damit **hydrophob** (gr. *hydro* = Wasser. gr. *phobos* = Furcht). Andererseits lösen sie sich gut in unpolaren Lösungsmitteln, wie Benzin. Diese Eigenschaft wird als **lipophil** bezeichnet. (gr. *lipo* = Fett. gr. *philos* = Freund). Das

hydrophobe und lipophile Verhalten der Fette erklärt sich durch den Molekülbau. Der gesamte Molekülbau der Fette wird dominiert von **Kohlenwasserstoffgruppen** (...-CH₂-CH₂-, ..., vgl. Abb. 1.2). Diese Gruppen sind unpolar, das heißt die C-C-Atombindungen und die C-H-Atombindungen besitzen keine- bzw. nur sehr geringe Unterschiede in der Elektronegativität. Die Dominanz solcher unpolaren Molekülbereiche ist für die lipophilen bzw. hydrophoben Eigenschaften der Moleküle als ganzes verantwortlich. Andererseits lösen sich Fette gut in Benzin. Da Benzin und andere unpolare Lösungsmittel aus auch Kohlenwasserstoffen aufgebaut sind (vgl. Abb. 1.3), lösen sich die Fettmoleküle hierin gut. Für die Löslichkeit gilt also folgende Faustregel: **Ähnliches löst sich ineinander.**

Die kleinen Molekülbereiche mit Sauerstoffatomen im Fettmolekül sind für die Größe des Moleküls unbedeutend und enthalten darüber hinaus auch keine stark polaren -OH-Gruppen. Diese Molekülbereiche sind nur geringfügig polar.

Aufgabe 1.1 Markieren Sie die hydrophoben und die unbedeutenden mäßig polaren Bereiche.

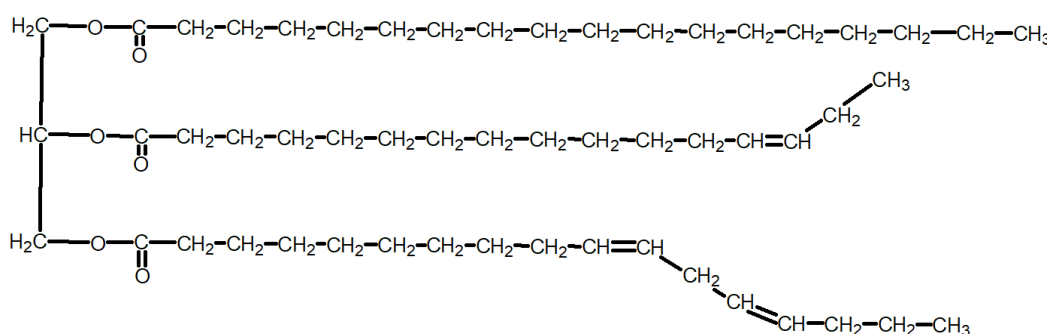


Abb. 1.2 Molekülbau eines typischen Fettmoleküls. Q: eW

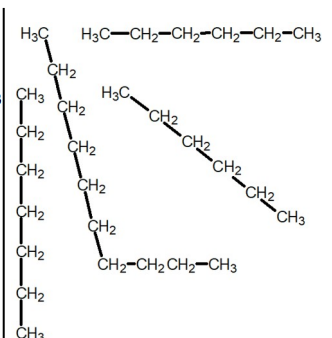


Abb. 1.3: Benzin: Ein Kohlenwasserstoffgemisch Q: eW

Aufgabe 1.2 [Schulbuch oder KI] Fette entstehen durch die Reaktion zwischen Glycerin und 3 Fettsäuren. Geben Sie die Bildung eines Fettmoleküls die Reaktionsgleichung an, wobei die Kohlenwasserstoffreste mit R_1 etc. abgekürzt werden können.

Aufgabe 1.3 [Schulbuch]. Recherchieren Sie weshalb pflanzliche Fette meist flüssig sind, tierische Fette hingegen meistens fest sind.

2. Phospholipide leiten sich von Fetten ab

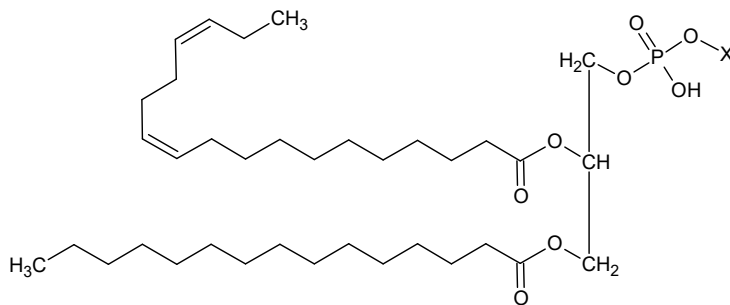


Abb. 2.1: Skelettformel eines Phospholipids. Zum einfacheren Zeichnen wurden jede CH_2 -Gruppe durch eine Ecke ersetzt. (Q: e. W.).

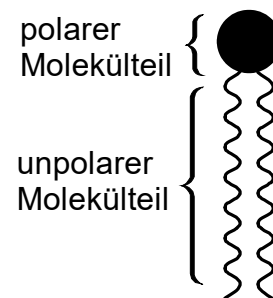


Abb. 2.2: Symbol eines Phospholipid-Moleküls (e.W.)

Aufgabe 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 am gebunden. Wie Eine der OH-Gruppen des Glycerins ist statt dessen mit einem Phosphorsäuremolekül eine eingegangen. Dieses Phosphormolekül trägt zusätzlich noch eine polare Gruppe X (z.B. $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_3$). 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.

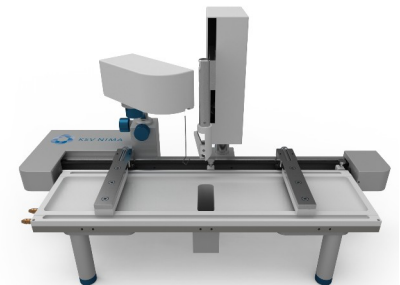
3. Der Weg zur Erkenntnis über die Anordnung der Bausteine in der Grenzfläche

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 lipophile und amphiphile 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 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.

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



<https://youtu.be/iPsgzfk5Fc> :
sehenswertes 5-min-
Video zur Filmwaage
von Pockels



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

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 zylinderförmigen Baus (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.

Aufgabe 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!

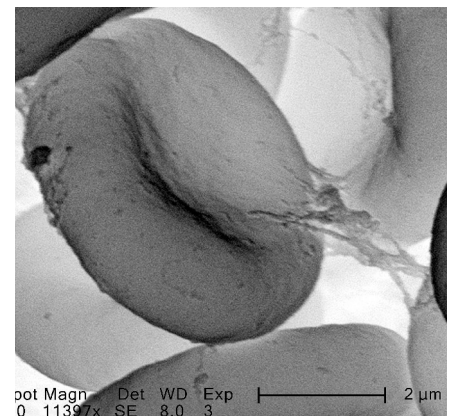


Abb. 3.3: REM-Aufnahme Erythrocyt. (Q: www.pixnio.com, A: Janice Carr, gemeinfrei, verändert)

Aufgabe 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:

.....

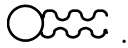
.....

.....

.....

.....

Aufgabe 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.

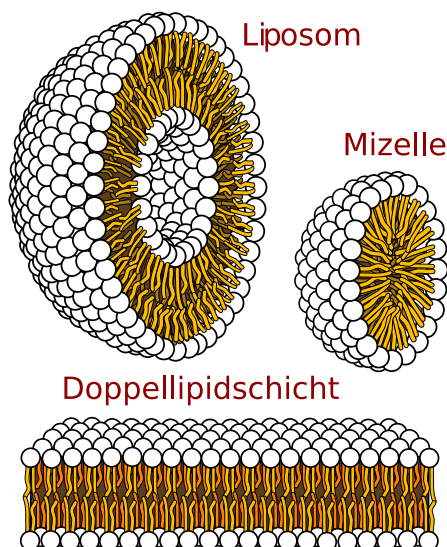


Abb. 4.1: Anordnung der PL-Moleküle im Wässrigen (Q: wikicommons. A: LadyOfHats)

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.

Aufgabe 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.