

# Biomoleküle

<b>1 Was sind Biomoleküle?</b>	<b>2</b>
<b>2 Biomoleküle und Membrantechnik</b>	<b>3</b>
2.1 Potenzial . . . . .	3
2.2 Skalierbarkeit . . . . .	4
2.3 Globale Übertragbarkeit . . . . .	4
2.4 Wissenschaftlich-technisches Vorgehen . . . . .	4
2.5 Eigenschaften und Vorteile der Membrantechnik . . . . .	5
<b>3 Biomoleküle, Bausteine, Eigenschaften</b>	<b>7</b>
3.1 Kohlenhydrate . . . . .	8
3.2 Proteine . . . . .	9
3.3 Enzyme . . . . .	9
3.4 Lipide . . . . .	9
3.5 Nukleinsäuren . . . . .	10
3.6 Vitamine . . . . .	10

## 1 Was sind Biomoleküle?

Biomoleküle sind organische Moleküle, die von *lebenden Organismen* produziert werden. Biomoleküle sind eine Teilmenge der organischen Moleküle.

Organische Moleküle enthalten Kohlenstoff mit mindestens einer C–H-Bindung. Fehlt diese, ist das Molekül anorganisch.

Beispiele für organische Moleküle sind:

- Methan ( $\text{CH}_4$ )
- Glukose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )
- Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )

Beispiele für anorganische Moleküle sind:

- Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ )
- Kochsalz ( $\text{NaCl}$ )
- Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )
- Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ )
- Carbonate (z. B.  $\text{CaCO}_3$ )

Ein Objekt gilt als lebender Organismus, wenn es alle oder fast alle der folgenden Lebensmerkmale zeigt:

- Es besteht aus Zellen
- Es betreibt Stoffwechsel (nimmt Stoffe auf, gibt Stoffe ab)
- Es kann wachsen und sich entwickeln
- Es kann sich fortpflanzen
- Es reagiert auf Reize (z. B. Licht, Temperatur, Berührung)
- Es besitzt eine eigene Erbinformation (DNA)

Es gibt mindestens zwei Millionen bekannte Arten von Lebewesen auf der Erde. Da sich Pflanzen und Tiere in ihrem Aufbau und ihrer Lebensweise stark unterscheiden, stellt sich folgende Frage:

Müsste es dann nicht ein Vielfaches von zwei Millionen verschiedenen Biomolekülen geben, wenn jede Art aus eigenen, spezifischen Molekülen aufgebaut ist?

Nein, die Anzahl der verschiedenen Biomoleküle ist nicht proportional zur Anzahl der Lebewesenarten.

Obwohl es Millionen von Arten von Lebewesen gibt, basiert alles Leben auf einer begrenzten Anzahl gemeinsamer Biomoleküle, deren unterschiedliche Kombinationen und Anordnungen die biologische Vielfalt erzeugen.

Alle Lebewesen bestehen aus denselben grundlegenden Klassen von Biomolekülen, nämlich Kohlenhydraten, Lipiden, Proteinen und Nukleinsäuren. Auch die Bausteine dieser Moleküle sind bei fast allen Organismen gleich, zum Beispiel die Aminosäuren der Proteine oder die Nukleotide der DNA.

Die grosse Vielfalt der Lebewesen entsteht nicht dadurch, dass jede Art völlig neue Biomoleküle besitzt, sondern dadurch, dass die gleichen Biomoleküle in unterschiedlicher Zusammensetzung, Reihenfolge, Menge und Anordnung vorkommen.

Wir können Biomoleküle entweder einfach oder wissenschaftlich einteilen:

Einfache Einteilung	Wissenschaftliche Einteilung
Zucker	Kohlenhydrate (Mono-, Di- und Polysaccharide)
Fette	Lipide (Fettsäuren, Triglyceride, Phospholipide, Steroide)
Eiweisse	Proteine (Biopolymere aus Aminosäuren)
Erbsubstanz	Nukleinsäuren (DNA und RNA aus Nukleotiden)
	Weitere Biomoleküle (z. B. Vitamine, Coenzyme, ATP)

**Tabelle 1.** Einteilung von Biomolekülen

Die lebenswichtigen Strukturen und Funktionen aller Lebewesen beruhen auf Biomolekülen. Biomoleküle sind Voraussetzung für Stoffwechsel, Vererbung und den Aufbau von Zellen.

## 2 Biomoleküle und Membrantechnik

### 2.1 Potenzial

Die Trennung, Konzentration und Reinigung von Biomolekülen mit technischen Membranen besitzt enormes Potenzial.

Da Biomoleküle die Grundlage des Lebens bilden und technische Membranprozesse ihre gezielte Trennung, Konzentration und Reinigung ermöglichen, leistet die Membrantechnik einen entscheidenden Beitrag zur Erhaltung und Weiterentwicklung unserer Zivilisation.

📈 Allein die globalen Märkte für membranbasierte **Lebensmittelverarbeitung** und biotechnologische Prozessfiltration erreichen zusammen ein jährliches Marktvolumen von deutlich über 10 Mrd. USD, mit zentralen Anwendungen in der Herstellung von Nahrungsmitteln, Enzymen, Impfstoffen und biopharmazeutischen Wirkstoffen.

✍ In der **biotechnologischen** und **pharmazeutischen** Industrie werden heute über 80 % aller biopharmazeutischen Wirkstoffe mithilfe membranbasierter Trenn- und Aufreinigungsverfahren hergestellt, insbesondere in der Sterilfiltration und der tangentialen Flussfiltration.

Mit der zunehmenden Bedeutung biotechnologischer Prozesse eröffnet die Weiterentwicklung technischer Membranprozesse ein erhebliches Potenzial für nachhaltige und ressourcenschonende Trennverfahren.

Da Membranprozesse bei moderaten Drücken und Temperaturen betrieben werden, eignen sie sich besonders für die Verarbeitung temperaturempfindlicher Biomoleküle und ermöglichen eine weitgehend chemikalienfreie Trennung und Aufreinigung.

Skalierbarkeit und Übertragbarkeit sind die Grundlagen für den weltweiten Erfolg der Membrantechnik.

### 2.2 Skalierbarkeit

Ein Vorteil membranbasierter Prozesse ist die Skalierbarkeit: → [Massstabsvergrößerung](#).

Trennversuche lassen sich im Labormassstab mit kleinen Probenvolumina, beispielsweise im Bereich von 100 ml, durchführen. Die ermittelten Prozessparameter sind über eine Vergrößerung der Membranfläche und entsprechendes Engineering auf den Industriemassstab übertragbar.

## 2.3 Globale Übertragbarkeit

Die Übertragbarkeit von Membranverfahren ist die Voraussetzung für ihre weltweite Anwendung und verbindet lokale Prozessentwicklung mit globaler industrieller Umsetzung.

Membranprozesse lassen sich auf der Basis standardisierter Membranmodule, reproduzierbarer Betriebsparameter und etablierter Auslegungsprinzipien standortunabhängig implementieren.

Ein Verfahren, das unter definierten Bedingungen an einem Standort entwickelt und validiert wurde, kann bei entsprechender technischer Infrastruktur auch an anderen geografischen Standorten realisiert werden.

Diese Eigenschaft ermöglicht es, lokal entwickeltes verfahrenstechnisches Know-how in internationale Produktionsnetzwerke zu integrieren. Membranverfahren eignen sich daher besonders für global organisierte Industrien, in denen vergleichbare Prozessqualität, Produktsicherheit und Effizienz an unterschiedlichen Standorten gewährleistet sein müssen.

## 2.4 Wissenschaftlich-technisches Vorgehen

Damit die Skalierbarkeit und die globale Übertragbarkeit von Membranverfahren gewährleistet sind, muss die Membrantechnik wissenschaftlich und technisch fundiert betrieben werden.

Dies erfordert die konsequente Anwendung bewährter Standards, beispielsweise bei der Charakterisierung von Membranen, der Definition von Prozessparametern, der Qualitätssicherung sowie der Dokumentation und Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen.

Dadurch lassen sich zuverlässige und weltweit einsetzbare Membranprozesse entwickeln.

Siehe auch:

- [Biokonversion](#)
- [Downstream-Processing](#)
- [Massenbilanz](#)
- [Systemtheorie](#)

## 2.5 Eigenschaften und Vorteile der Membrantechnik

Membranbasierte Trennverfahren haben sich in der Verarbeitung von Biomolekülen als vielseitige und leistungsfähige Schlüsseltechnologien etabliert. Ihre besondere Bedeutung ergibt sich aus der Kombination schonender Prozessbedingungen, hoher Selektivität und guter Skalierbarkeit. Die in der folgenden Tabelle zusammengefassten Eigenschaften verdeutlichen die Vorteile der Membrantechnik für biotechnologische und lebensmitteltechnologische Anwendungen.

<b>Aspekt</b>	<b>Beschreibung</b>
Schonende Prozessführung	Membranbasierte Trennprozesse erfolgen bei moderaten Temperaturen und ohne Phasenwechsel. Dadurch werden empfindliche Biomoleküle wie Proteine, Enzyme oder Vitamine wirksam vor Denaturierung und chemischer Degradation geschützt.
Hohe Selektivität nach Grösse und Ladung	Ultrafiltrations- und Nanofiltrationsmembranen erlauben eine präzise Trennung nach Molekülgrösse und elektrischer Ladung. Makromoleküle werden gezielt zurückgehalten, während kleinere Moleküle und Salze passieren können.
Konzentration und Pufferaustausch in einem Schritt	Durch Diafiltration lassen sich Biomoleküle gleichzeitig konzentrieren und in einen geeigneten Prozess- oder Formulierungspuffer überführen. Zusätzliche Prozessschritte werden dadurch reduziert.
Kontinuierliche Produktabtrennung (ISPR)	In integrierten Reaktionssystemen verschiebt die kontinuierliche Abtrennung von Produkten das Reaktionsgleichgewicht. Dies reduziert Produkthemmung und steigert Ausbeute sowie Produktivität.
Katalysatorrückhaltung und Wiederverwendung	Enzyme können durch geeignete Membranen im Reaktionsraum zurückgehalten und mehrfach eingesetzt werden. Dies senkt die Betriebskosten und verbessert die langfristige Prozessstabilität.
Skalierbarkeit und Modularität	Membransysteme sind modular aufgebaut und lassen sich durch Anpassung der Membranfläche einfach skalieren. Der Übergang vom Labor- zum Industriemassstab wird dadurch erleichtert.
Energieeffizienz	Da in der Regel kein thermischer Phasenwechsel notwendig ist, weisen Membranprozesse einen geringeren Energiebedarf auf als viele klassische Trennverfahren.
Hygienische und regulatorische Eignung	Geschlossene, CIP- und SIP-fähige Membransysteme erfüllen hohe hygienische und regulatorische Anforderungen, insbesondere in der Lebensmittel-, Pharma- und Biotechnologie.

**Tabelle 2.** Vorteile der Membrantechnik bei der Verarbeitung von Biomolekülen

### 3 Biomoleküle, Bausteine, Eigenschaften

Biomoleküle lassen sich nach ihrer Struktur und Funktion in verschiedene Gruppen einteilen. Eine erste Gruppe bilden die Monomere, zu denen Aminosäuren, Nukleotide und Monosaccharide gehören. Diese niedermolekularen Bausteine dienen als Ausgangsstoffe für den Aufbau grösserer biologischer Strukturen.

Die zweite Gruppe umfasst die polymeren Biomoleküle. Dazu zählen Proteine, Kohlenhydrate, Nukle-

insäuren und Lipide. Diese Makromoleküle entstehen durch kovalente Verknüpfung ihrer jeweiligen Monomere und übernehmen vielfältige strukturelle, katalytische und energetische Funktionen in der Zelle.

Eine dritte Gruppe bilden kleine Biomoleküle wie Wasser und Vitamine. Obwohl sie keine Polymere darstellen, sind sie für biologische Systeme unverzichtbar, da sie häufig regulatorische Funktionen erfüllen oder als Lösungsmittel und Reaktionsmedium dienen.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Klassen der Biomoleküle. Diese Einteilung dient der systematischen Beschreibung biologischer Systeme und erleichtert das Verständnis ihrer chemischen Grundlagen.

<b>Klasse</b>	<b>Bausteine</b>	<b>Hauptfunktionen und Eigenschaften</b>
Kohlenhydrate	Monosaccharide (z. B. Glucose, Fructose), über glykosidische Bindungen zu Di- und Polysacchariden verknüpft	Primäre Energiequelle der Zelle, kurz- und langfristige Energiespeicherung (Glykogen, Stärke), strukturelle Funktionen (Zellulose) sowie Beteiligung an Zell-Zell-Erkennung.
Proteine	Aminosäuren, über Peptidbindungen zu Polypeptiden verknüpft	Struktur- und Stützfunktionen, Transport (z. B. Hämoglobin), Signalübertragung (Rezeptoren, Hormone), Bewegung (Motorproteine) sowie Immunabwehr (Antikörper).
Enzyme	Proteine (selten RNA), hochspezifische Faltung	Biologische Katalysatoren zur Beschleunigung chemischer Reaktionen, hohe Substratspezifität, Regulation nahezu aller Stoffwechselprozesse.
Lipide	Fettsäuren, Glycerin, Phosphatgruppen oder Ringsysteme je nach Lipidklasse	Langfristige Energiespeicherung, Aufbau biologischer Membranen, Wärmeisolation, Schutzfunktion sowie Signalübertragung (z. B. Steroidhormone).
Nukleinsäuren	Nukleotide aus Base, Zucker und Phosphat, verbunden durch Phosphodiesterbindungen	Speicherung, Übertragung und Umsetzung genetischer Information, Steuerung der Proteinbiosynthese sowie regulatorische Funktionen.
Vitamine	Kleine organische Moleküle unterschiedlicher Struktur, nicht polymer	Regulation zentraler Stoffwechselprozesse als Coenzyme oder Cofaktoren, Unterstützung von Wachstum, Immunfunktion und Zellteilung, Schutz vor oxidativem Stress.

**Tabelle 3.** Hauptklassen der Biomoleküle und ihre biologische Bedeutung

### 3.1 Kohlenhydrate

Kohlenhydrate bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 1:2:1. Sie dienen primär als Energielieferanten. Monosaccharide sind die einfachsten Kohlenhydrate. Glucose ist das zentrale Molekül des Energiestoffwechsels. Disaccharide entstehen durch Verknüpfung zweier Monosaccharide. Polysaccharide sind langkettige Speicher- oder Struktur-moleküle. Stärke ist das pflanzliche Speicherkohlenhydrat. Glykogen erfüllt diese Funktion im tierischen Organismus. Zellulose verleiht pflanzlichen Zellwänden Stabilität. Dem Menschen fehlt das Enzym zum Abbau von Zellulose.

### 3.2 Proteine

Proteine machen etwa 10 bis 30 Prozent der Zellmasse aus. Sie stellen die vielseitigste Klasse der Biomoleküle dar. Proteine bestehen aus linearen Ketten von Aminosäuren. Die Aminosäuren sind über Peptidbindungen miteinander verknüpft. Die Abfolge der Aminosäuren wird als Primärstruktur bezeichnet. Diese Sequenz bestimmt die Eigenschaften des Proteins. Die Sekundärstruktur entsteht durch Wasserstoffbrückenbindungen. Typische Sekundärstrukturen sind  $\alpha$ -Helix und  $\beta$ -Faltblatt. Die räumliche Gesamtfaltung wird als Tertiärstruktur beschrieben. Lagern sich mehrere Polypeptidketten zusammen, spricht man von einer Quartärstruktur.

Proteine erfüllen strukturelle, katalytische und regulatorische Funktionen. Zu den Strukturproteinen zählt beispielsweise Kollagen. Transportproteine wie Hämoglobin ermöglichen den Sauerstofftransport. Signalproteine wirken als Hormone oder Rezeptoren. Antikörper übernehmen zentrale Aufgaben im Immunsystem. Die hohe Funktionalität von Proteinen beruht auf ihrer spezifischen Faltung. Bereits kleine Strukturänderungen können die Aktivität stark beeinflussen. Proteine sind daher empfindlich gegenüber Temperatur und pH-Wert. Diese Eigenschaften sind für technische Anwendungen besonders relevant.

### 3.3 Enzyme

Enzyme sind spezialisierte Proteine mit katalytischer Aktivität. Sie beschleunigen biochemische Reaktionen durch Senkung der Aktivierungsenergie. Enzyme werden während der Reaktion nicht verbraucht. Die Substratspezifität ist ein zentrales Merkmal von Enzymen. Dadurch laufen Reaktionen hochselektiv ab. Man unterscheidet Stoffwechsellenzyme und Verdauungsenzyme. Stoffwechsellenzyme steuern den Energie- und Baustoffwechsel. Verdauungsenzyme zerlegen Makromoleküle in resorbierbare Einheiten. Bekannte Enzyme sind Amylase, Lipase und Protease. Ohne Enzyme wären lebenswichtige Reaktionen zu langsam.

### 3.4 Lipide

Lipide sind hydrophobe oder amphiphile Biomoleküle. Sie umfassen Fette, Öle, Wachse, Phospholipide und Steroide. Triglyceride dienen als langfristige Energiespeicher. Lipide liefern mehr als doppelt so viel Energie wie Kohlenhydrate. Phospholipide sind zentrale Bausteine biologischer Membranen. Steroide besitzen charakteristische Ringsysteme. Cholesterin ist ein wichtiger Vertreter dieser Klasse. Lipide erfüllen Schutz-, Isolations- und Signalfunktionen. Der Transport erfolgt im Körper über Lipoproteine. Eine Störung des Lipidstoffwechsels hat weitreichende Folgen.

### 3.5 Nukleinsäuren

Nukleinsäuren sind Träger der genetischen Information. Sie bestehen aus Nukleotiden, die über Phosphodiesterbindungen verknüpft sind. Jedes Nukleotid setzt sich aus Base, Zucker und Phosphat zu-

sammen. Je nach Zuckertyp unterscheidet man DNA und RNA. Die DNA liegt als Doppelhelix vor. Die RNA besitzt meist einzelsträngige Strukturen. Nucleinsäuren steuern Proteinbiosynthese und Zellteilung. Künstliche Nucleinsäuren erweitern die Möglichkeiten der molekularen Biotechnologie. Sie werden in Diagnostik und Forschung eingesetzt. Strukturelle Modifikationen verleihen ihnen erhöhte Stabilität.

### 3.6 Vitamine

Vitamine sind essenzielle organische Mikronährstoffe. Sie wirken häufig als Coenzyme. Man unterscheidet fett- und wasserlösliche Vitamine. Fettlösliche Vitamine können im Körper gespeichert werden. Wasserlösliche Vitamine müssen regelmässig zugeführt werden. Vitamin B12 bildet eine Ausnahme mit hoher Speicherfähigkeit. Vitaminmangel führt zu spezifischen Krankheitsbildern. Vitamine sind an zentralen Stoffwechselwegen beteiligt. Ihre industrielle Aufreinigung erfordert schonende Verfahren. Hier spielt die Membrantechnik eine wichtige Rolle.

## Literatur

- [1] Belitz, H.-D.; Grosch, W.; Schieberle, P.: *Lebensmittelchemie*. 7. Auflage. Berlin: Springer Spektrum, 2015. ISBN 978-3-642-12862-6.
- [2] Buchner, J.; Becker, G. W.; Meyer, A.: *Lebensmittelchemie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2018. ISBN 978-3-13-147321-6.
- [3] Chmiel, H.: *Bioprozesstechnik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. ISBN 978-3-642-12450-5.
- [4] Jaeger, K.-E.: *Einführung in die Enzymtechnologie*. Heidelberg: Springer Spektrum, 2014. ISBN 978-3-642-41785-0.
- [5] Kuriyan, J.; Konforti, B.; Wemmer, D.: *The Molecules of Life: Physical and Chemical Principles*. New York, Abingdon: Garland Science, Taylor & Francis Group, 2013. ISBN 978-0-8153-4188-8.
- [6] Seidman, L. A.; Kraus, M. E.; Lietzke Brandner, D.; Mowery, J.: *Laboratory Manual for Biotechnology and Laboratory Science: The Basics*. Revised Edition. Boston: Pearson, 2011. Kindle Edition.
- [7] Takors, R.: *Kommentierte Formelsammlung Bioverfahrenstechnik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN 978-3-658-03669-7.