

# Einführung in die Bioverfahrenstechnik

Fachbereich 2, Informatik und

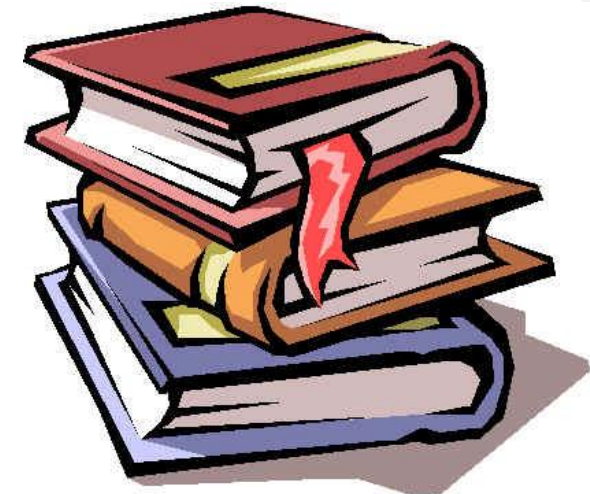
Ingenieurwissenschaften

Studiengang Bioverfahrenstechnik

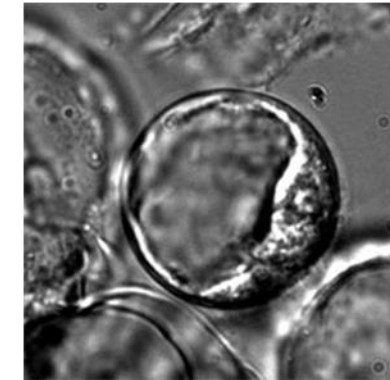
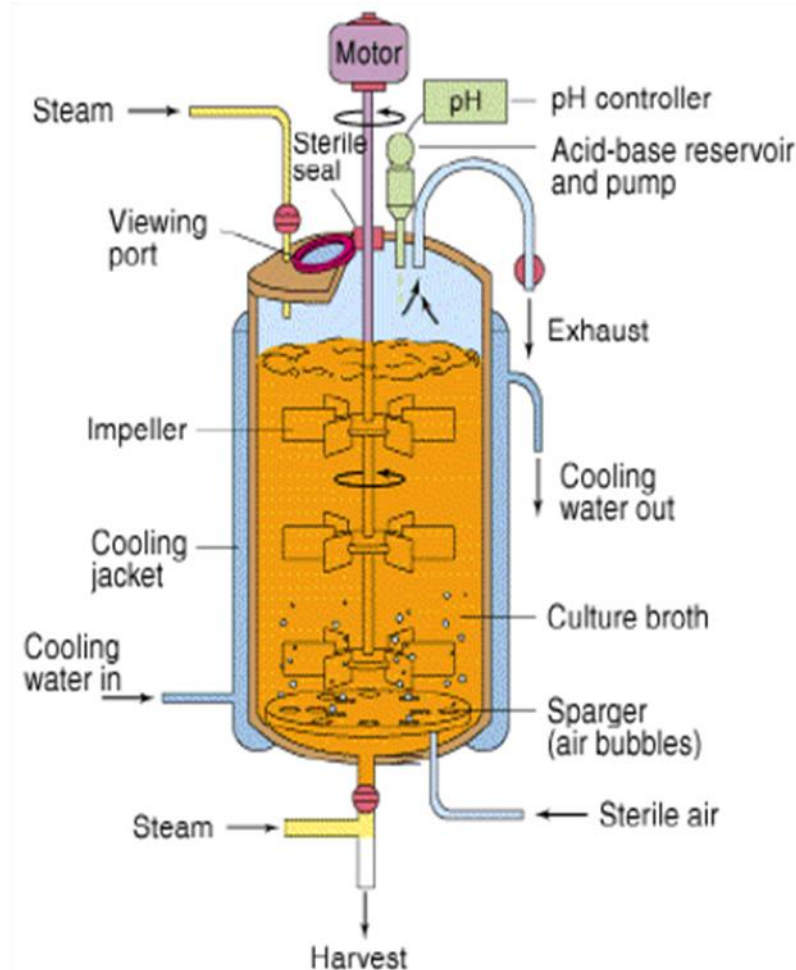
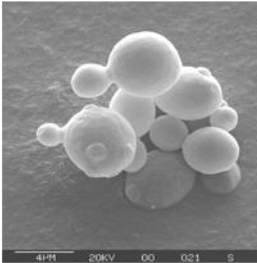
Prof. Dr. Ilona Brändlin  
[ilona.braendlin@fra-uas.de](mailto:ilona.braendlin@fra-uas.de)

# Literatur

- Fuchs, G.: Allgemeine Mikrobiologie, Thieme, Stuttgart
- Storhas, W.: Bioverfahrensentwicklung, 1. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim 2003
- Chmiel H.: Bioprozesstechnik, 4. Aufl., Springer Spektrum 2018
- Renneberg R.: Biotechnologie für Einsteiger, Springer Spektrum
- Storhas W.: Bioreaktoren und periphere Einrichtungen, Vieweg, Braunschweig/ Wiesbaden 1994
- Alberts B. etc: Molekularbiologie der Zelle, Wiley-VCH



# Themenfelder der Bioverfahrenstechnik



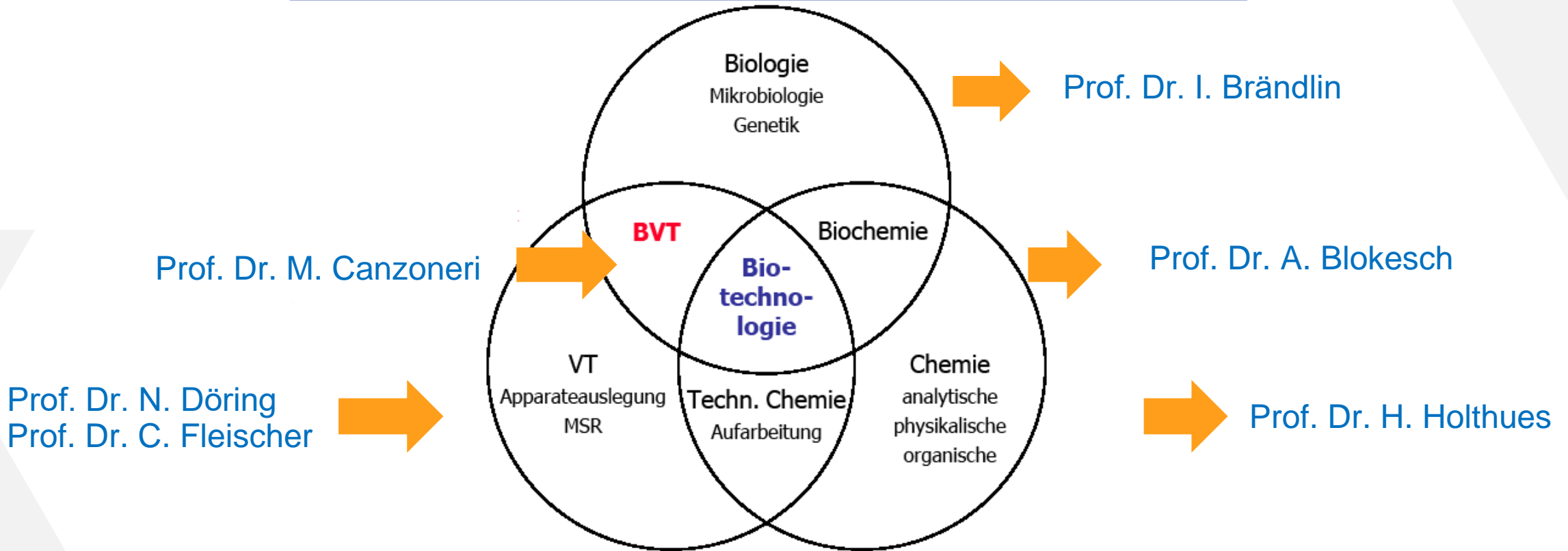
# Bio-Verfahrenstechnik

- Nach der Definition der Gesellschaft für Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) beschäftigt sich die Verfahrenstechnik
- technischen Prozessen:  

Ausgangsmaterial → chem./phys./biolog./Nutzung → Produkt
- wirtschaftliche Durchführung aller Prozesse,
- in denen Stoffe nach Art, Eigenschaft und Zusammensetzung verändert werden.

→ Stoffumwandlung

# Bioverfahrenstechnik



# Definition: Biotechnologie

Alle Verfahren, die lebende Zellen oder Enzyme zur Stoffumwandlung und Stoffproduktion nutzen.

[www.science-live.de/info/glossar.htm](http://www.science-live.de/info/glossar.htm)

Biotechnologie ist die gezielte Anwendung von Mikroorganismen, Pflanzen, Zellkulturen oder isolierten Enzymen um chemische, landwirtschaftliche und pharmazeutische Produkte herzustellen.

[corporate.basf.com/de/produkte/biotech/glossar.htm](http://corporate.basf.com/de/produkte/biotech/glossar.htm)

Eine Gruppe von Technologien, mit denen lebende Organismen so verändert werden, daß sie chemische Prozesse ausführen oder Stoffe wie Enzyme, Hormone oder Antibiotika produzieren.

[www.archiv.hoechst.de/deutsch/publikationen/future/298/art10.html](http://www.archiv.hoechst.de/deutsch/publikationen/future/298/art10.html)

Disziplinen - eingesetzte Katalysatoren - Produkte

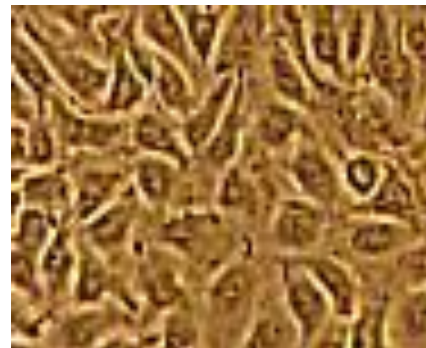
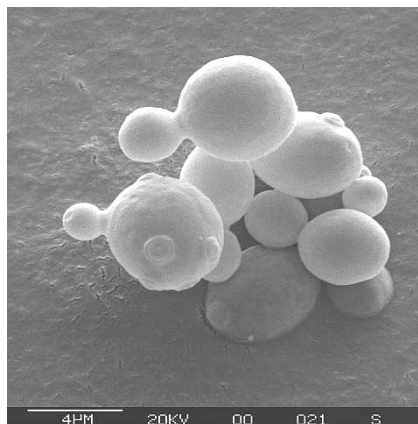
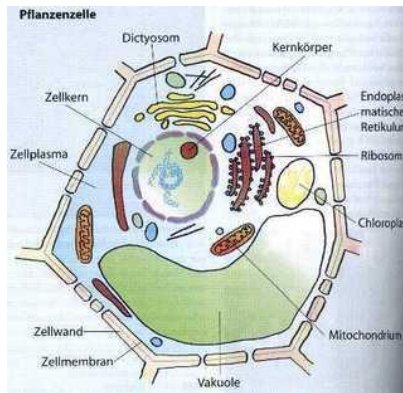


# Bioverfahrenstechnik: Interdisziplinäres Wissen

Dazu werden Kenntnisse über:

- Einzeller (Bakterien, Pilze, Algen)
- Zellkulturen (humane, pflanzl., tierische)
- Teile von Zellen, Enzyme

benötigt



# Arten der Biotechnologie



Grüne Biotechnologie

Rote Biotechnologie

Weißer/Industrielle  
Biotechnologie

Graue Biotechnologie/  
Umweltbiotechnologie

Blaue Biotechnologie

Braune und Gelbe  
Biotechnologie





# Grüne Biotechnologie

- um Nutzpflanzen zu verbessern,
- pflanzliche Inhaltsstoffe (Phytochemikalien, Sekundärmetabolite) oder Fasern zu gewinnen
- oder um pflanzliche Enzyme bzw. Wirkprinzipien (Bionik, molecular pharming) für neue Anwendungsbereiche zu erschließen (Antikörperproduktion = Biopharmazeutika).
- Die Übergänge zu den anderen Zweigen der Biotechnologie sind mittlerweile fließend.
- So können pflanzliche Zellen oder Enzyme zur Produktion industrieller Stoffe (weiße Biotechnologie) oder von Medikamenten (rote Biotechnologie oder Pharmazeutische Biotechnologie) genutzt werden, als Ersatz für eukaryotische Zellen, CHO = chinese hamster ovarian cells
- Auch zur Entgiftung von Böden (Phytoremediation) oder als Umweltsensoren sind Pflanzen geeignet, was einen Berührungspunkt zur grauen oder braunen Biotechnologie darstellt.
- • Hilfsmittel sind u. a. Methoden aus der Biochemie, Mikro- und Molekularbiologie und Verfahrenstechnik

# Rote Biotechnologie

Alle Forschungen und unternehmerischen Tätigkeiten, bei denen es

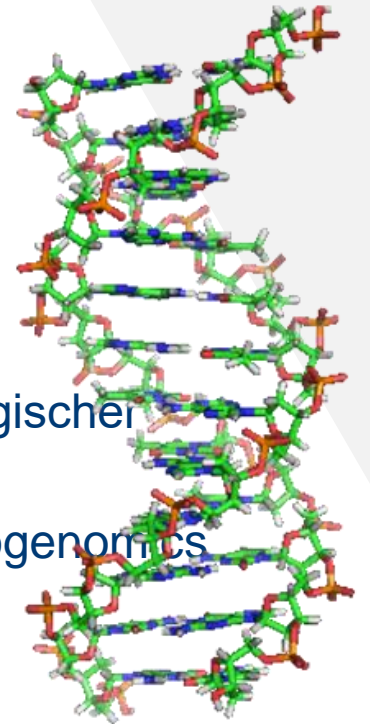
- um die Medizin und Pharmazeutik geht
- Hierbei spielt vor allem das Verständnis um die Gesamtheit aller Gene (Genom) und die Gesamtheit aller Eiweiße (Proteom) eine wichtige Rolle, um neue Verfahren, Therapien und auch Medikamente zu entwickeln.
- Ziel, effizientere Behandlungen zu entwickeln, die zum einen für weniger Nebenwirkungen sorgen und zum anderen auch viel mehr die Ursachen beseitigen als nur die Symptome zu bekämpfen - personalisierte Medizin



# “In“-Begriffe in der Biotechnologie Omics (Chemie.DE)

## Genomic:

- der Gesamtheit der Gene eines Organismus, also des Genoms
- Untersuchung der Gene und ihrer Bedeutung für Wachstum, Entwicklung, Steuerung biologischer Funktionen und Aufbau biologischer Strukturen.
- Structural Genomics, Functional Genomics, Pharmacogenomics, Toxicogenomics, Chemogenomics, Nutrigenomics, Epigenomics



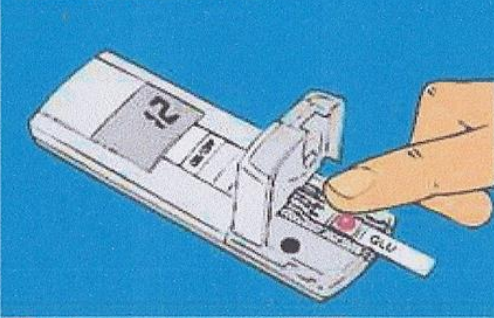


# Gentechnische Methoden in der Diagnostik

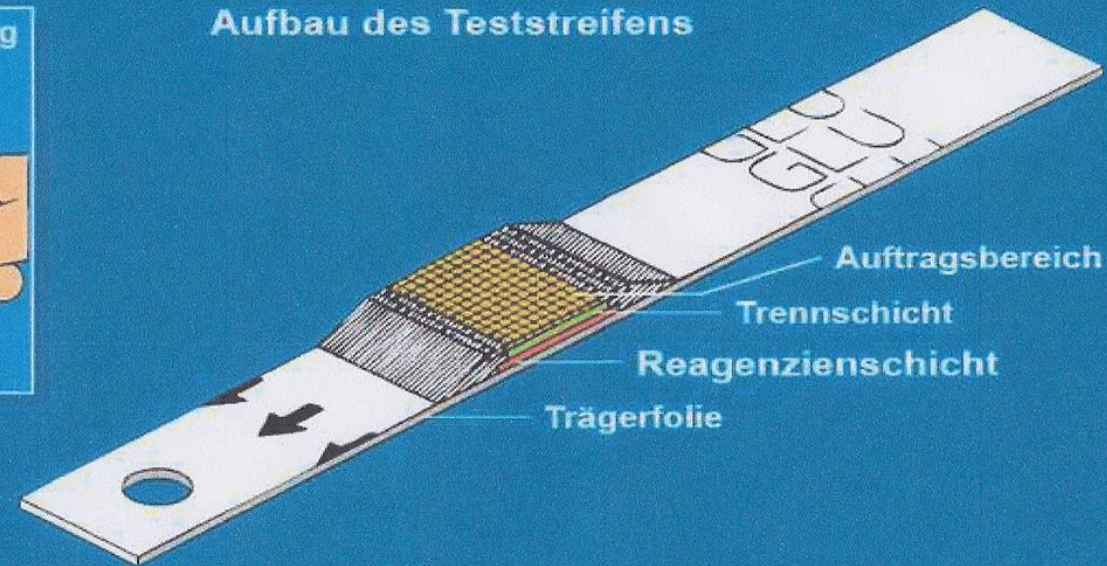
## Beispiel 1: Blutzuckerbestimmung

Gentechnisch hergestellte Enzyme werden auf Teststreifen aufgebracht und z.B. zur Blutzuckerbestimmung eingesetzt.

Analysegerät zur Bestimmung  
des Blutzuckers



Aufbau des Teststreifens

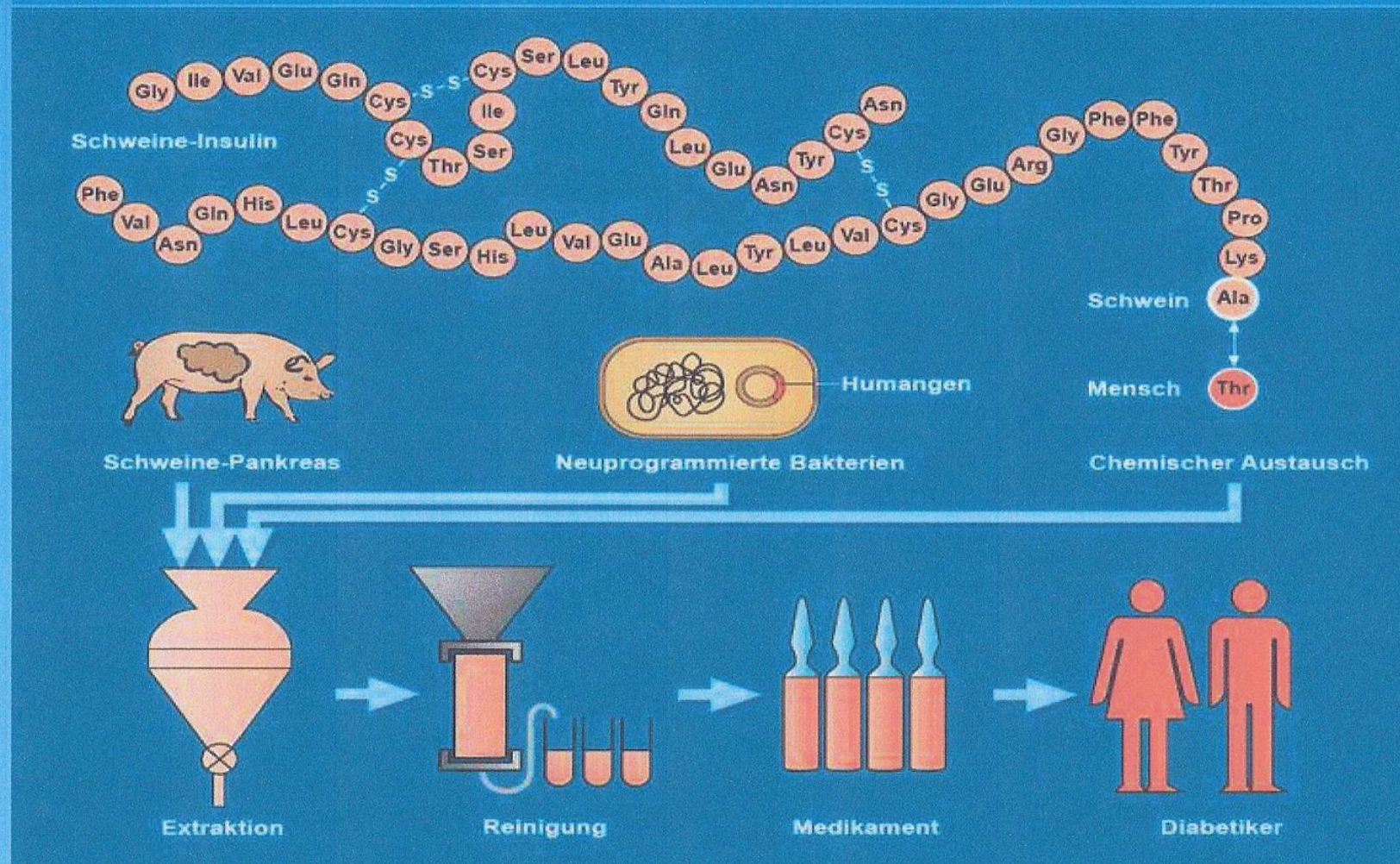


Das gentechnisch hergestellte Enzym Glucoseoxidase (GOD) katalysiert folgende Reaktion:





# 500.000 Diabetiker in Deutschland benötigen Insulin zum Überleben

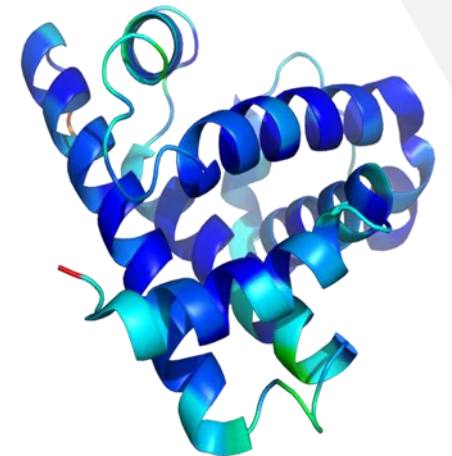




# “In“-Begriffe in der Biotechnologie Omics (Chemie.DE)

## Proteomic:

- Proteom, also der Gesamtheit der Proteine, die durch das Genom beschrieben werden eines Organismus ZU EINER BESTIMMTEN ZEIT
- Gene liefern als Erbinformation den Bauplan,
- Proteine übernehmen die biologische Funktionen oder Strukturen.
- Wechselwirkung der unzähligen Proteine ist von entscheidender Bedeutung.
  - Structural Proteomics
  - Functional Proteomics

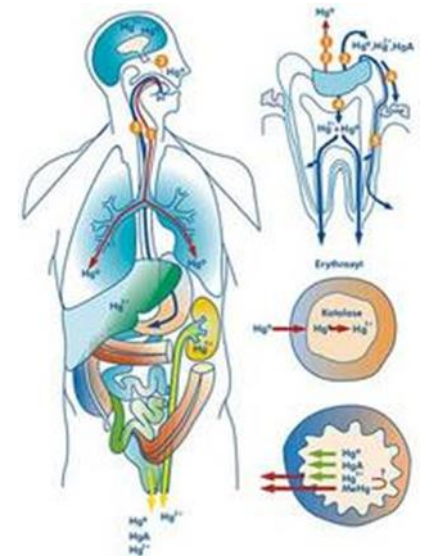




# “In“-Begriffe in der Biotechnologie Omics (Chemie.DE)

## Metabolomic:

- Die Untersuchung von Stoffwechselprodukten innerhalb der Zelle,
- Objekt der Untersuchung sind somit die Substanzen, die beim Stoffwechsel der Zelle durch die Proteine verwendet, umgesetzt oder hergestellt werden.
- Analyse der Metabolite auf
  - Regulierungsmechanismen von
  - Stoffkreisläufen und Zellaktivitäten



# Wie Biotechnolog:innen Medikamente herstellen

<https://www.youtube.com/watch?v=XWltPgftWsQ>

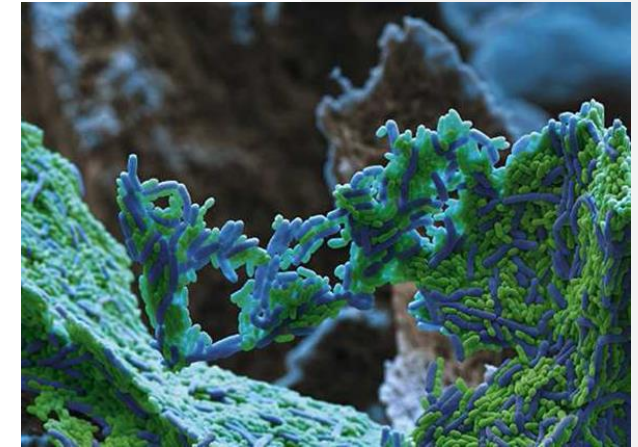


# Weißer/Industrielle Biotechnologie

- befasst sich damit, die Gegebenheiten der Natur zu erforschen und dafür zu nutzen, sämtliche Produktionsverfahren so auszurichten, dass Ressourcen geschont und die Umwelt geschützt wird.
- Hier geht es
- neben der schon ewig auf Mikroorganismen bauende Lebensmittelherstellung wie Brot, Wein und Bier
- vor allem auch um die Anpassung der Produktion von Chemikalien, Vitaminen, chemische Arzneimittel sowie von Wasch- und Reinigungsmitteln oder aber auch um die Veredelung von Papier, Leder oder Textilien.

## Algen – Rohstoffreservoir mit großem Potenzial

- Hochwertige Zusatzstoffe für die Nahrungsmittelverarbeitung
- Antioxidantien
- In einem einfachen und günstigen Verfahren haben Forscher des Verbunds aus der Makroalge *Fucus vesiculosus* einen Extrakt mit antioxidativer Wirkung gewonnen. Ein Projekt zielt darauf ab, diesen Extrakt anstelle der bisher verwendeten, synthetischen Antioxidantien als Zusatzstoff in Lebensmitteln, zum Beispiel zur Verlängerung der Haltbarkeit, einzusetzen. Damit wäre für diese Produkte eine Kennzeichnung mit dem »*Clean Label*« möglich.



# Graue Biotechnologie/Umweltbiotechnologie/Abfallwirtschaft

befasst sich damit, die Gegebenheiten der Natur zu erforschen und dafür zu nutzen, sämtliche Produktionsverfahren so auszurichten, dass Ressourcen geschont und die Umwelt geschützt wird.

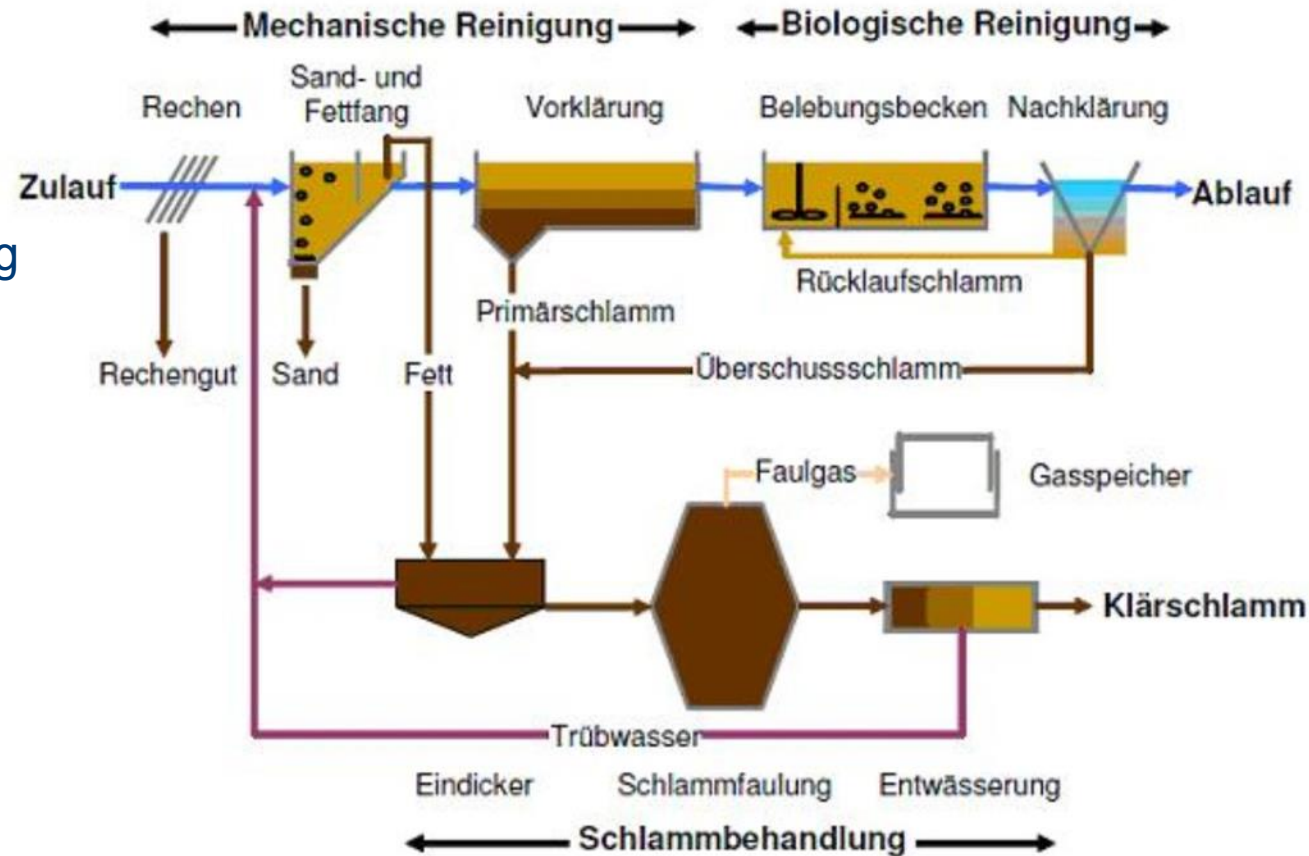
→ Ökosystem-und Umweltschutz!!!!

umfasst alle biotechnologischen Verfahren zur

- Aufbereitung von Trinkwasser,
- Reinigung von Abwasser,
- Sanierung kontaminierter Böden,
- zum Müllrecycling
- oder zur Abluft- beziehungsweise Abgasreinigung.

# Fließschema einer mechanisch-biologischen Kläranlage

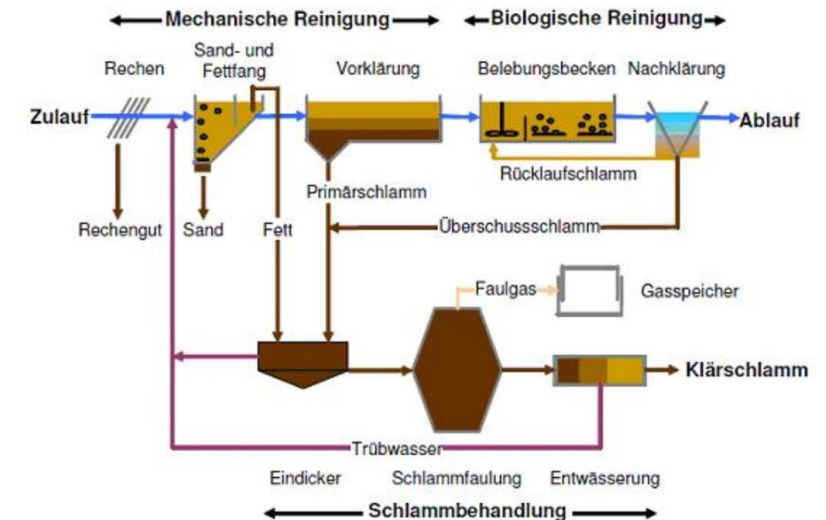
- Die Abwasserreinigung erfolgt in der Regel in drei Schritten und umfasst die *mechanische, biologische und chemische* Abwasserreinigung.





# Biologische Reinigung

- In diesem Verfahrensschritt bauen Bakterien und andere Mikroorganismen organische Abwasserinhaltsstoffe mit der Hilfe von Sauerstoff ab.
- Spezielle Bakterien bauen Stickstoffverbindungen ab.
- Bezogen auf den Biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB) liegt die Reinigungsleistung der Kläranlagen mit einer Kombination aus mechanischer und biologischer Reinigung bei 90-95%.
- Die Reinigungsleistung ergibt sich aus der Differenz der Konzentration von
  - (Schad-)stoffen von Zulauf zu Ablauf.
- Die Abwasserreinigung erfolgt in der Regel in drei Schritten und umfasst die *mechanische, biologische und chemische* Abwasserreinigung.



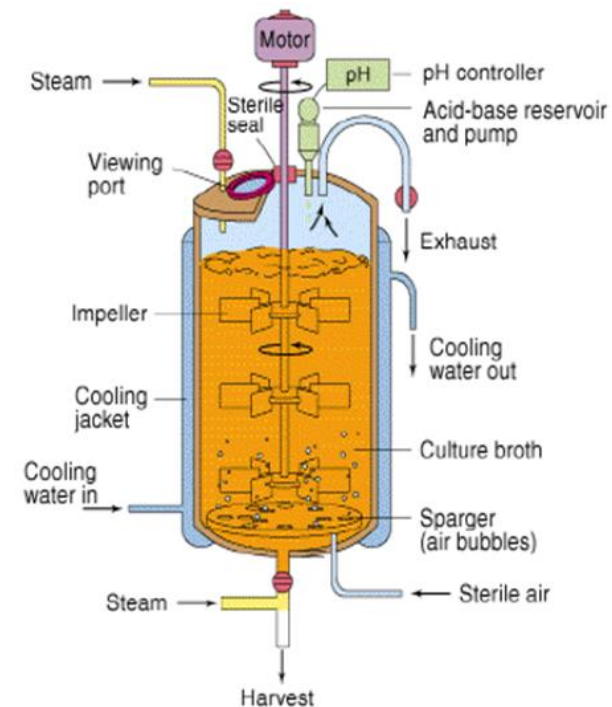
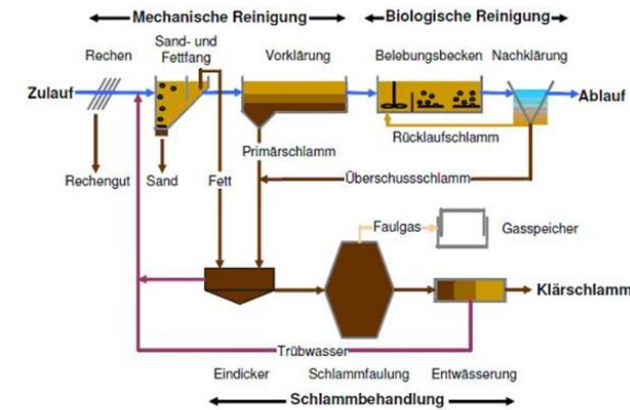
# Biologische Reinigung

## Belebungsbecken

Das Belebungsbecken ist ein biologischer Reaktor, dem durch technische Einrichtungen Sauerstoff zugeführt wird.

Im Belebungsbecken befindet sich der sogenannte **Belebtschlamm**, ein mit Bakterienmasse angereicherter Schlamm.

- Die Bakterien bauen die im Abwasser enthaltenen Schmutzstoffe, d.h. die organischen Kohlenstoffverbindungen, ab.



# 1. Biologische Reinigung - Dissimilation

## 1. Katabolismus- Aerob!!!!!!!!!!- Abbau organischer Stoffe zur Energiegewinnung

Bei der nachgeschalteten biologischen (Haupt-) Klärung (II) findet meist:

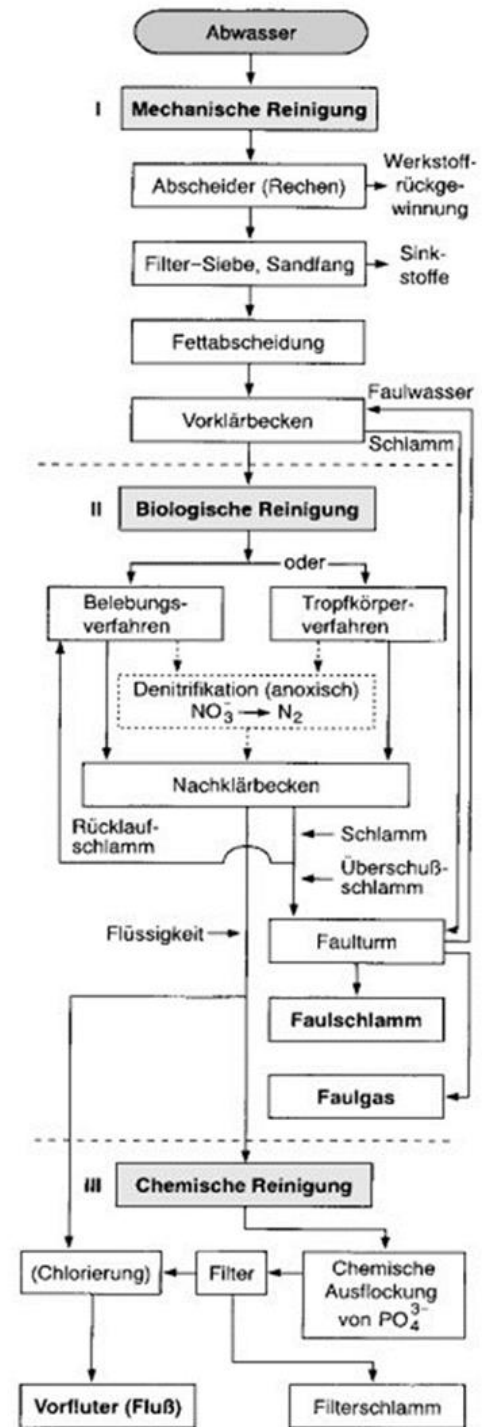
- erst ein oxidativer Abbau gelöster, leicht abbaubarer Stoffe im Tropfkörper oder Belebungsbecken statt.

- Organische Substrate werden mineralisiert und einige anorganische Verbindungen oxidiert:

organische Stoffe  $\rightarrow$   $\text{CO}_2$  +  $\text{H}_2\text{O}$  + Bakterienmasse

(Dissimilation); Katabolismus, der stufenweise, meist oxidative Abbau organischer Verbindungen durch die Enzymsysteme der lebenden Zellen.

frei werden von Energie in Form energiereicher Phosphate  
meist ATP (Adenosintriphosphat), für energieverbrauchende  
biologische Prozesse



# 1. Biologische Reinigung - Dissimilation

## 1. Katabolismus- Aerob!!!!!!!!!!- Abbau organischer Stoffe zur Energiegewinnung

Kohlenstoffabbau (C-Abbau) – heterotrophe Bakterien

### 1. Diese Organismen bauen gelöste organische Kohlenstoffverbindungen aerob ab.

Typische Gattungen:

- Pseudomonas
- Bacillus
- Flavobacterium
- Acinetobacter
- Zooglea (bildet typische Flockenstrukturen) u.v.m. –Protozoen, Fadenwürmer etc.

### 1. Funktion:

- ✓ Aerobe Atmung →  $\text{CO}_2$  + Biomasse
- ✓ Aufbau der Belebtschlammflocken (2-5h)

# Protozoen-

In Kläranlagen kommen vor allem drei ökologische Gruppen vor:

= Gruppe sehr verschiedener einzelliger, eukaryonter Organismen (mit Algen und Pilzen)

A) Wimperntierchen (Ciliaten) – wichtigste Gruppe

Sie dominieren in gut arbeitenden Belebungsbecken.

## Freischwimmende Ciliaten

- Funktion: Fressen frei schwimmende Bakterien → Klärung des Abwassers
- Indikator: Hohe Sauerstoff- und Nährstoffverfügbarkeit

## Aufwuchs- bzw. sessile Ciliaten (Stielciliaten)

- Funktion: sitzen auf Flocken und filtern Bakterien
- stabilisieren Flockendeutlicher Hinweis auf „reifen“ Belebtschlamm

## Krabbelnde Ciliaten

- Funktion: fressen Bakterien an den Flockenoberflächen
- typisch bei gut sedimentierendem Schlamm



[https://www.google.com/search?sca\\_esv=f46f8e3b711902b9&hl=de&sxsrf=AE3TifPakdY4IQSG5tKu5vS-gUtdYzdDHQ:1763646691780&udm=2&fbs=AlljpHw2KGh6wpocn18KLjPMw8n5Yp8-1M0n6BD6JoVBP\\_K3fXXvA3S3XGyupmJLMg20um-SOUTyIGO-2L0vP6\\_J4YYTjW2aB8eSIJ35a4O65s7IB-U1N5ZbvU\\_vUU4OvdiS7jY5whprMMICrrM1oT3zeFpJHNvRB22Xb6SLqdcQ-ngZre3afNpBQ1HkB\\_TKqSgxUANHqnuVxSJ4teKRkz-1cpG8ieGRKq&q=Wimperntierchen&sa=X&ved=2ahUKEwifqsr074CRAxWM\\_rslH7\\_0ENMOtKqIeqQIEFAR&biw=1920&bih=9018](https://www.google.com/search?sca_esv=f46f8e3b711902b9&hl=de&sxsrf=AE3TifPakdY4IQSG5tKu5vS-gUtdYzdDHQ:1763646691780&udm=2&fbs=AlljpHw2KGh6wpocn18KLjPMw8n5Yp8-1M0n6BD6JoVBP_K3fXXvA3S3XGyupmJLMg20um-SOUTyIGO-2L0vP6_J4YYTjW2aB8eSIJ35a4O65s7IB-U1N5ZbvU_vUU4OvdiS7jY5whprMMICrrM1oT3zeFpJHNvRB22Xb6SLqdcQ-ngZre3afNpBQ1HkB_TKqSgxUANHqnuVxSJ4teKRkz-1cpG8ieGRKq&q=Wimperntierchen&sa=X&ved=2ahUKEwifqsr074CRAxWM_rslH7_0ENMOtKqIeqQIEFAR&biw=1920&bih=9018)

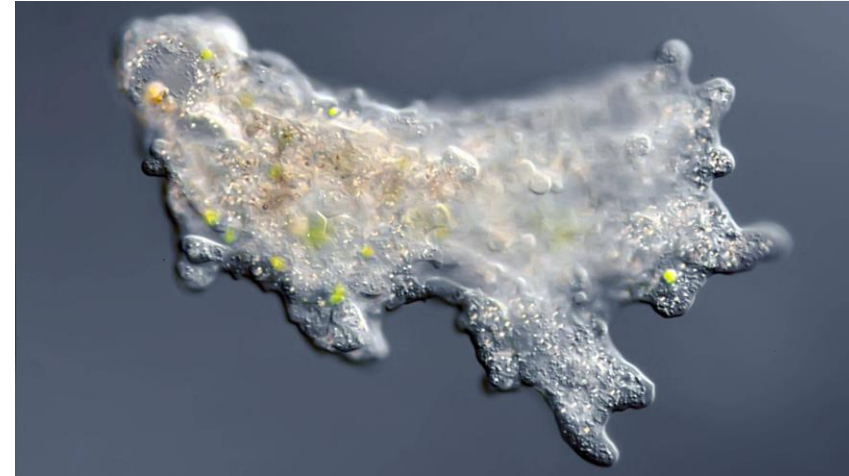


# Protozoen

## B) Amöben

Kommen vor allem in frühen Belebungsphasen oder bei Belastungsspitzen vor.

- Funktion: Fressen frei schwimmende Bakterien
- Dominanz zeigt oft hohe organische Fracht oder sauerstoffarme Bedingungen
- C) Geißeltierchen (Flagellaten)
- Sehen unter dem Mikroskop wie kleine schnell rotierende Punkte aus.
- Funktion: treten bei Überlastung und hohem BSB auf
- zeigen „junge“ oder gestörte Belebtschlämme an



<https://www.google.com/search?q=Am%C3%B6ben>



<https://www.mikroskopie-forum.de/index.php?topic=16299.0>



## ☆ Funktionale Rollen der Protozoen

### 1. Bakterienfresser → klare Ablaufqualität

Protozoen „mähen“ die Bakterienpopulation und verhindern Trübungen.

### 2. Verbesserung der Flockenstruktur

Sessile Ciliaten fördern die Bildung kompakter, gut sedimentierender Flocken.

### 3. Bioindikatoren für den Anlagenzustand

Viele Ciliaten → gute Reinigungsleistung

Dominanz von Flagellaten → Überlastung / zu hohe organische Fracht

Viele Amöben → Sauerstoffdefizit oder hohe Belastung

Wenige Protozoen → Toxine oder anaerobe Zonen im Becken

### 4. Stabilisierung der Nahrungskette

Protozoen stehen zwischen Bakterien und Metazoen (z. B. Rädertierchen).

## 2. Biologische Reinigung - Nitrifikation:

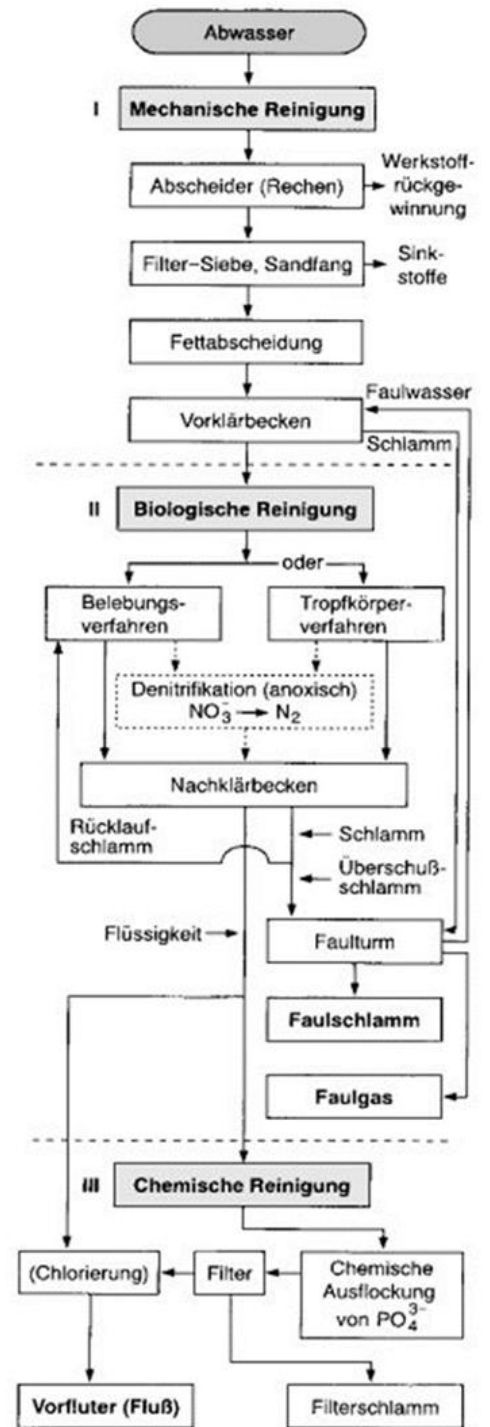
### Biologische Reinigung - Nitrifikation- Aerob!!!!!!!- Abbau von Stickstoff zur Energiegewinnung

In diesem biologischen Verfahren bauen Bakterien (Nitrifikanten)

organischen **Stickstoff** über die Zwischenprodukte Ammonium und Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) zu **Nitrat** ( $\text{NO}_3^-$ ) um.

Wenn genügend Sauerstoff vorhanden ist (aeroben), verdauen die Bakterien die stickstoffhaltigen Verbindungen mit Hilfe von Enzymen und nutzen die freiwerdende Energie.

In der Kläranlage dienen Belebungsbecken bzw. Tropfkörper dazu, die Bakterien im Abwasser mit Sauerstoff zu versorgen.



## 2. Biologische Reinigung - Nitrifikation:

### 2. Nitrifikation – autotrophe Chemolithotrophie

Eigenschaft

**autotroph**

**chemo-**

**litho-**

**-troph**

Bedeutung

bauen Biomasse aus  $\text{CO}_2$  auf (Calvin-Zyklus oder alternative Wege)

Energie durch chemische Reaktionen, nicht durch Licht

Elektronendonator ist anorganisch ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{H}_2$ , Schwefelverbindungen)

Ernährungsstrategie

## 2. Biologische Reinigung - Nitrifikation:

### 2. Nitrifikation – autotrophe Chemolithotrophe

Hier wird aus organischem Stickstoff über Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) oxidiert  $\rightarrow$  Nitrit  $\rightarrow$  Nitrat.

Ammoniumoxidierer (AOB):

- Nitrosomonas
- Nitrospira

Nitritoxidierer (NOB):

- Nitrospira (häufigste NOB in modernen Kläranlagen)
- Nitrobacter (heute seltener dominant)

Funktion:

- ✓ Dissimilation von Ammonium  $\rightarrow$  Nitrat
- ✓ Sehr sauerstoffempfindlich, langsam wachsend

<https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/reaktiver-stickstoff/verursacher/abwasser-oberflaechenablauf/was-passiert-in-kläranlagen-dem-reaktiven>

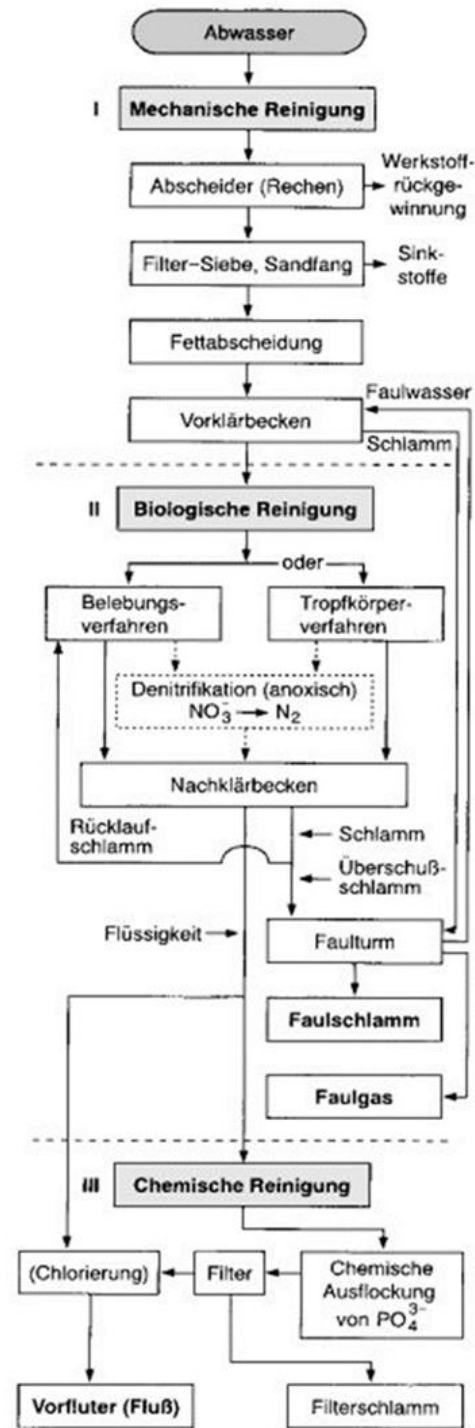
# 3. Biologische Reinigung - Denitrifikation

Biologische Reinigung – Denitrifikation - Umwandlung des im Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) durch Bakterien (anaerob – Nitritatmung)

Die Denitrifikation erfolgt durch bestimmte *heterotrophe* (organische Stoffe werden verstoffwechselt) und einige *autotrophe* (anorganische Stoffe werden verstoffwechselt) Bakterien (Denitrifizierer).

Die einzelnen Schritte der mehrstufigen Reaktion werden durch die Metalloenzyme katalysiert.

Unter anoxischen Verhältnissen beziehen die Bakterien ihre Energie aus der Verdauung von **Nitrat**. Dabei entstehen vor allem **elementarer Luftstickstoff ( $\text{N}_2$ )** und in geringerem Maße auch Lachgas und andere Stickstoffoxide.



# 3. Biologische Reinigung - Denitrifikation

Biologische Reinigung – Denitrifikation - Umwandlung des im Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) durch Bakterien (anaerob – Nitritatmung)

## Bakterien - Denitrifizierer

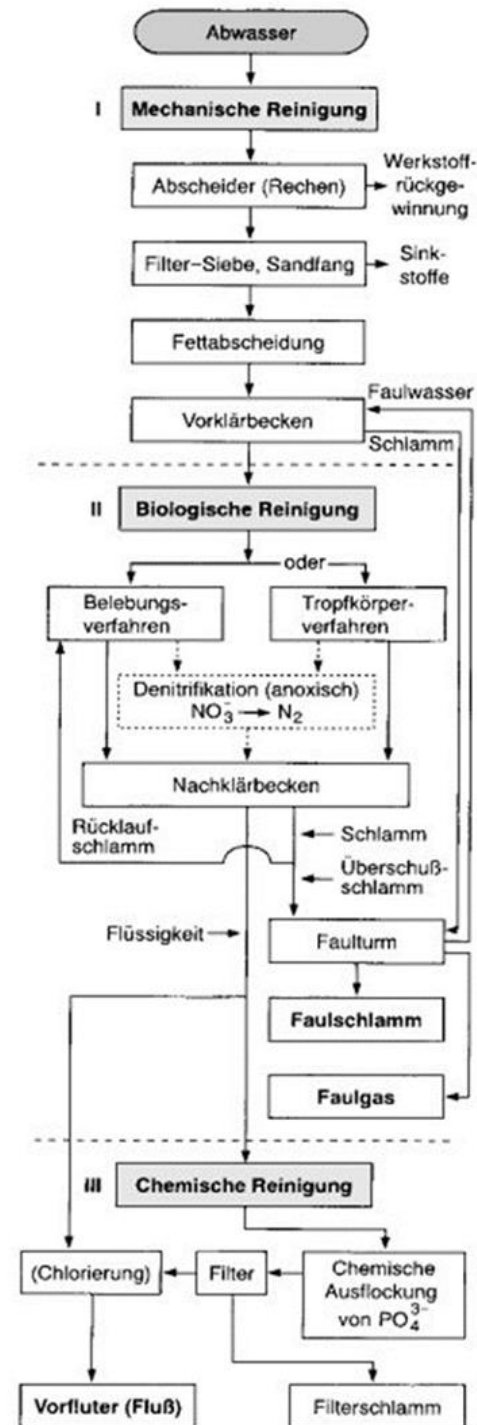
*Paracoccus denitrificans* (autotroph, Oxidation von  $\text{H}_2$ )- Abwasser, Klärschlamm

*Thiobacillus denitrificans* (autotroph, Oxidation von  $\text{H}_2\text{S}$ ) - Kläranlagen

*Pseudomonas stutzeri* (heterotroph, Oxidation von organischen Stoffen)

Allgemein ist die Fähigkeit zur Denitrifikation innerhalb der Prokaryoten weit verbreitet;

Häufungen gibt es in der Alpha-, Beta- und Gamma- Klasse der Proteobakterien.





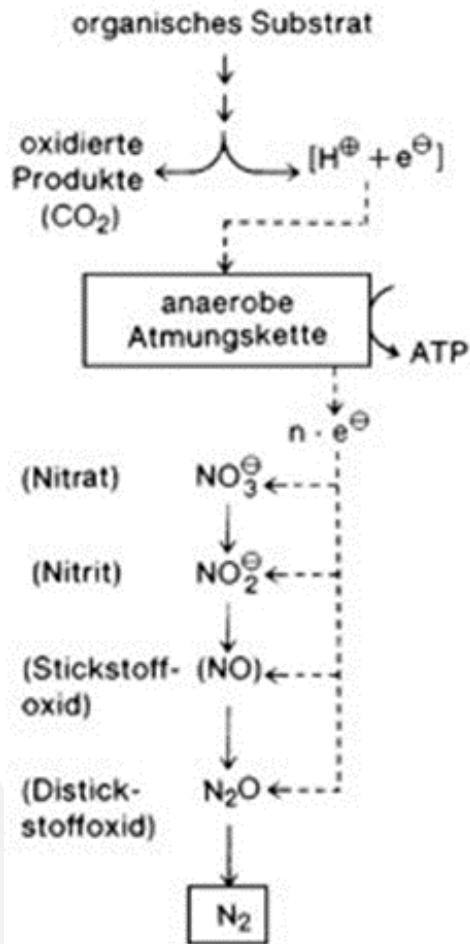
# Proteobakterien

vielfältige Gruppe von

- gramnegativen Bakterien,
  - umfassen eine Vielzahl von Arten, darunter
1. Organismen wie die Stickstofffixierer
  2. Krankheitserreger wie *Salmonella* oder
  3. *Escherichia*
  4. unterschiedliche Stoffwechselwege und Lebensweise.



# Zusammenfassung Nitrifikation - Denitrifikation

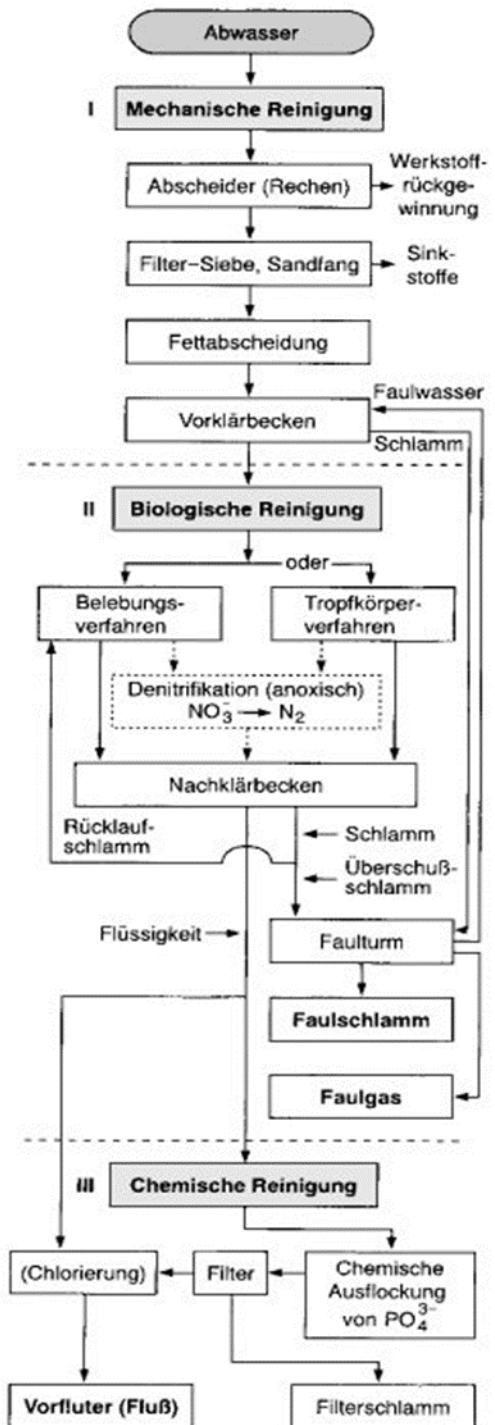


Im Nachklärbecken wird der Belebtschlamm durch Absetzen vom gereinigten Abwasser abgetrennt.

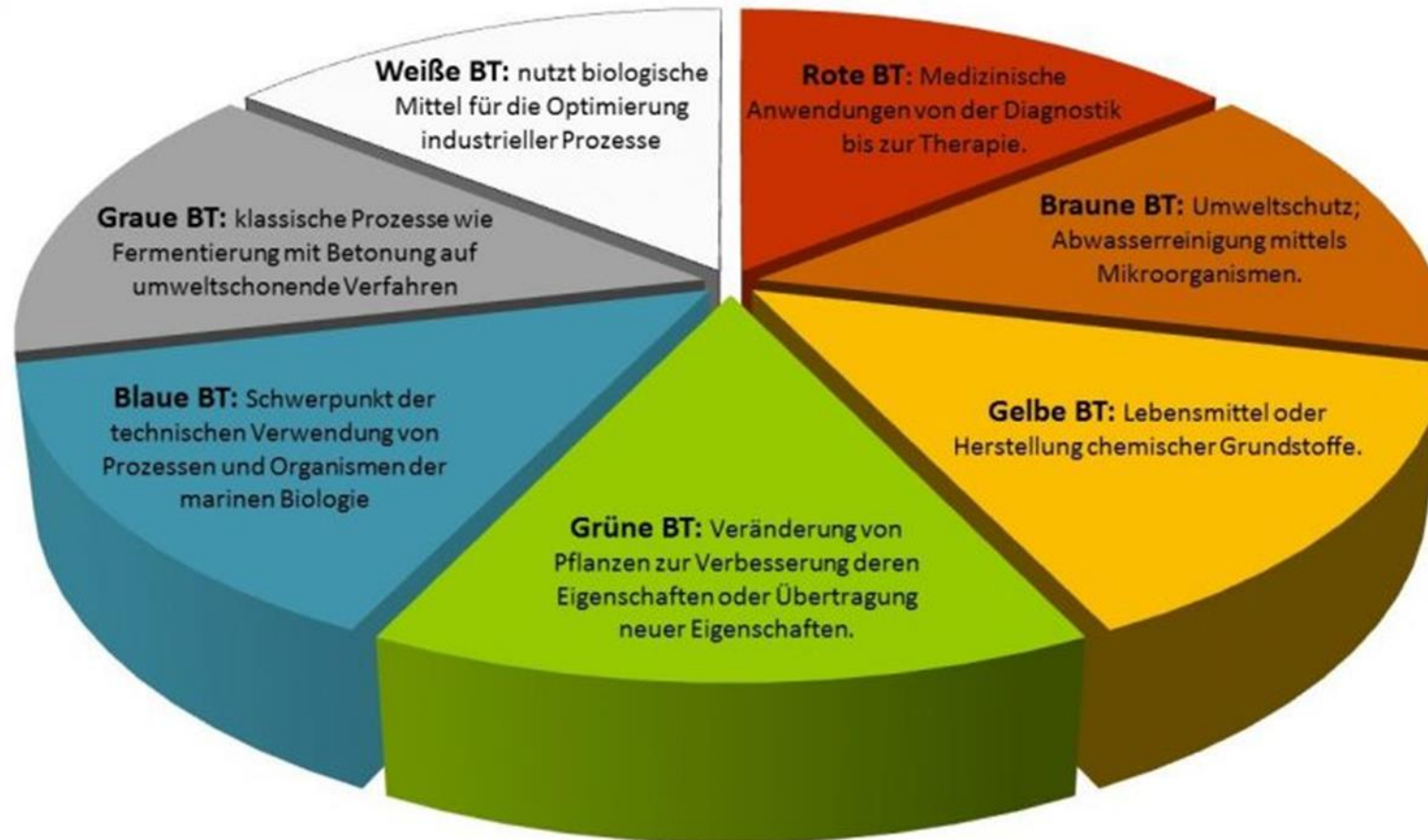
Ein Teil des abgesetzten Schlammes wird in das Belebungsbecken zurückgeführt (Rücklaufschlamm), um die auf die Abwasserreinigung spezialisierten Bakterien im Belebungsbecken anzureichern.

Der Überschussschlamm, d.h. der nicht mehr benötigte Zuwachs an Biomasse, muss aus dem System entfernt werden.

Er wird zur Weiterbehandlung eingedickt und meist zusammen mit dem Primärschlamm in einen Faulturm gepumpt. Der Faulturm ist ein eigener Behälter, in dem kontrolliert Abbauprozesse ohne Sauerstoff durchgeführt werden. Dabei entstehen Methangase, die thermisch genutzt werden können.



# Zusammenfassung: Farben der Biotechnologie



Quelle: <https://www.ba-riesa.de/studienangebote/biotechnologie/>

Frankfurt University  
of Applied Sciences  
Nibelungenplatz 1  
60318 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 1533-0

Fax: +49 69 1533-2400

[post@fra-uas.de](mailto:post@fra-uas.de)

[www.frankfurt-university.de](http://www.frankfurt-university.de)