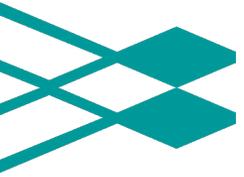


MODUL 10

Biofiltration

Referent: Kai Wagner



REFERENT



Kai Wagner

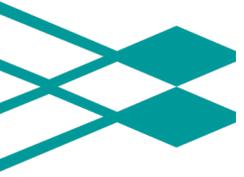
Head of R&D

Stationen:

- B. Sc. Elektrotechnik
- M. Sc. Automatisierungstechnik
- 2015 Technische Betreuung einer Großanlage

Kurze Beschreibung:

- Seit 2013 tätig in der Forschung der Aquakultur
- Co-Founder der SEAWATER Cubes GmbH
- Aufgaben:
 - Digitalisierung von Prozessen
 - Forschung und Entwicklung

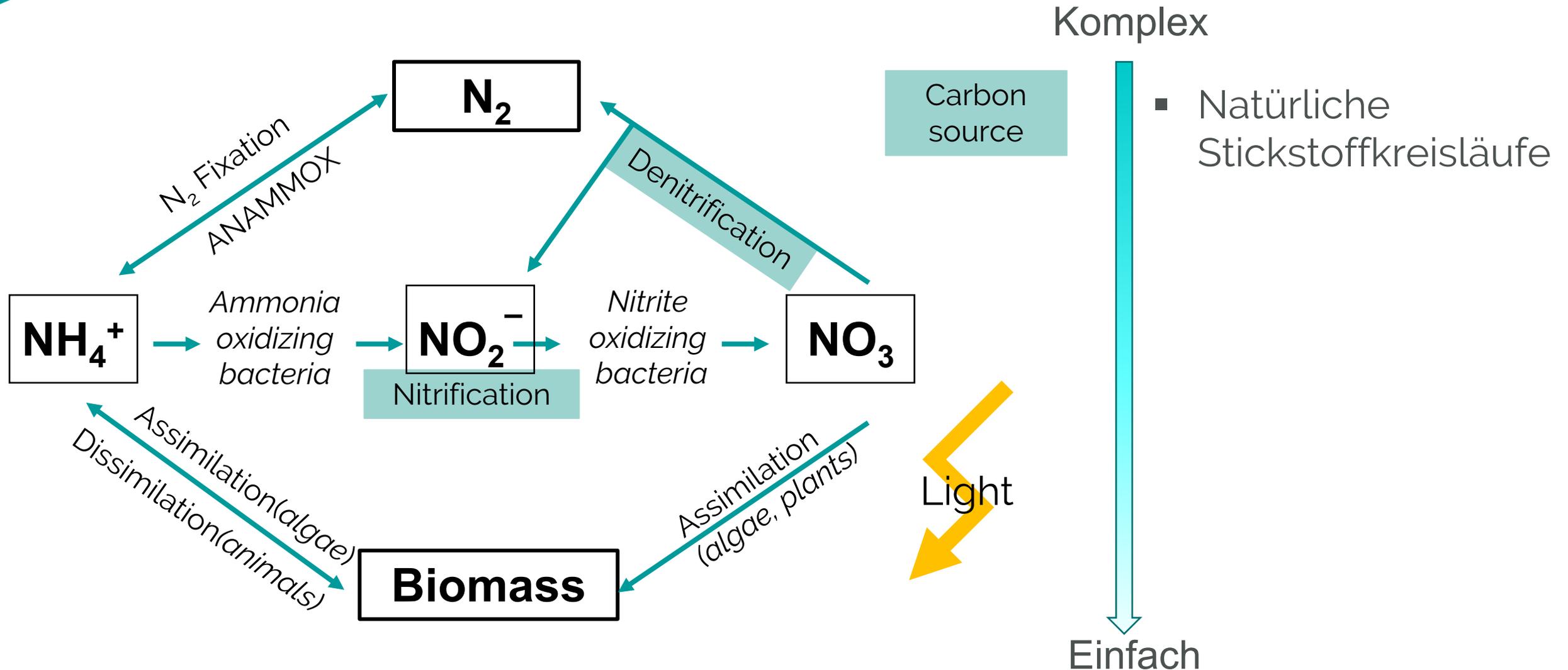


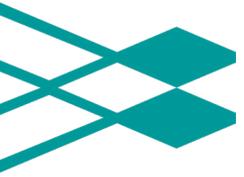
ROADMAP

- Stickstoff in RAS
- Oberflächen und Biofilme
(Biofiltercarrier, Bakterien und Biofilme)
- Diffusion und Substanzen
(Warum ist Diffusion ein zentraler Vorgang in Biofiltern)
- Stickstoffabbau im Anlagendesign
(Kreislaufführung, Auswirkungen)
- Nitrifikation
(Aufbau und Einflussfaktoren)
- Denitrifikation?
(Varianten, Aufbau und Substrate)

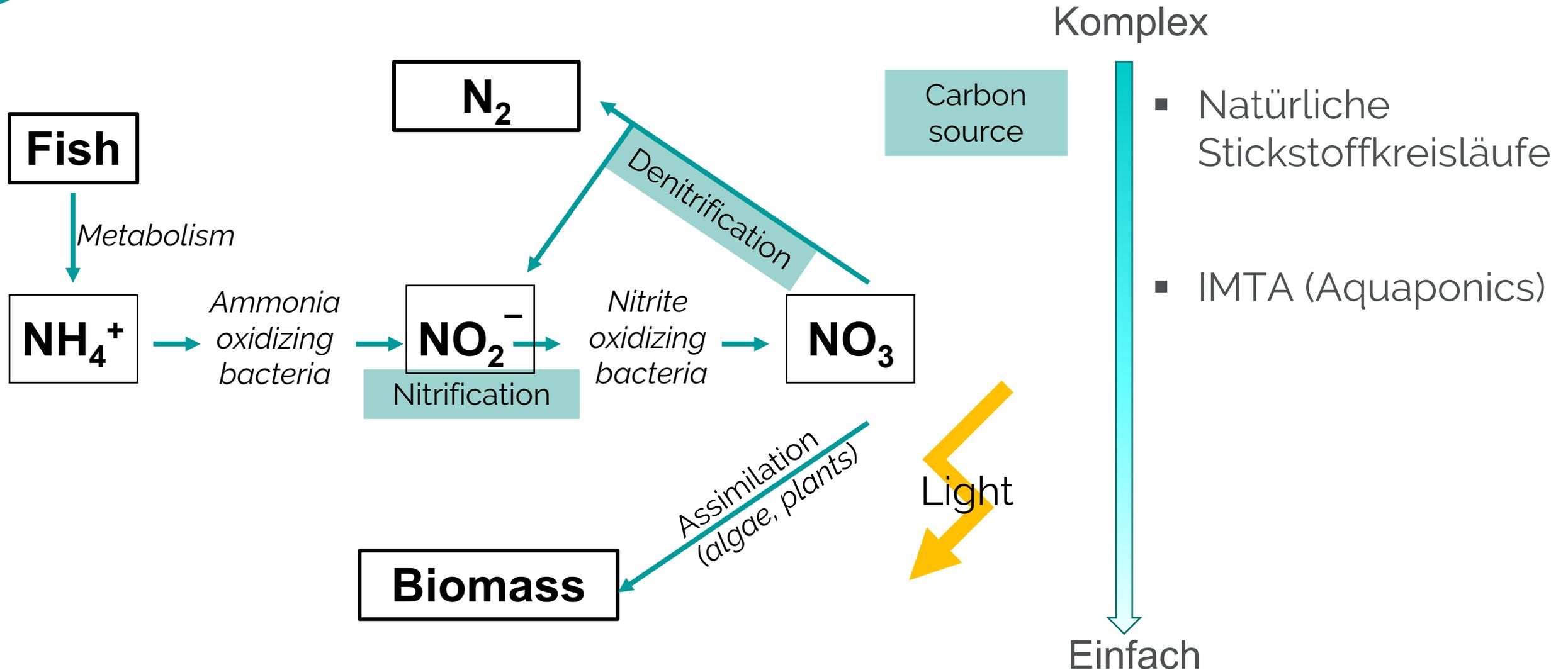


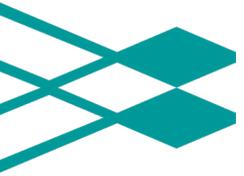
STICKSTOFF IN RAS (1|4)



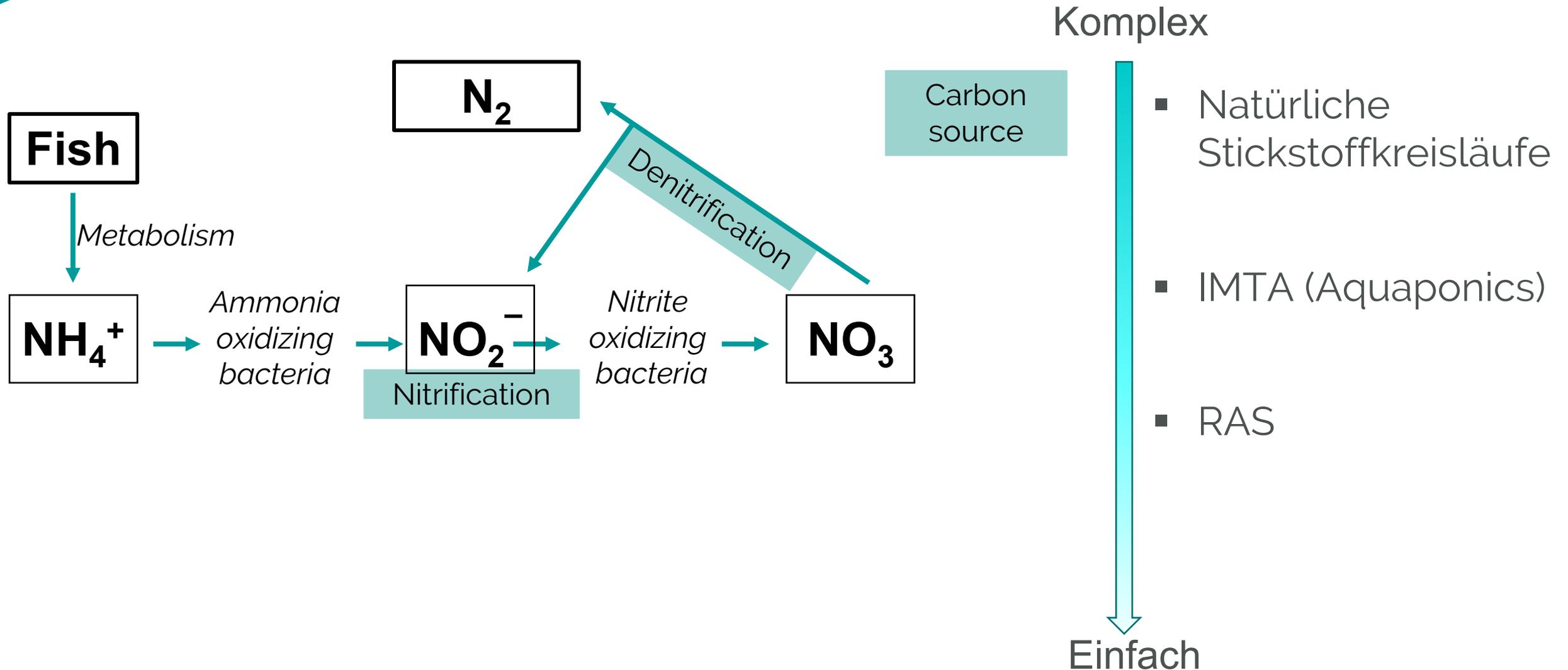


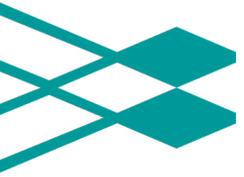
STICKSTOFF IN RAS (2|4)



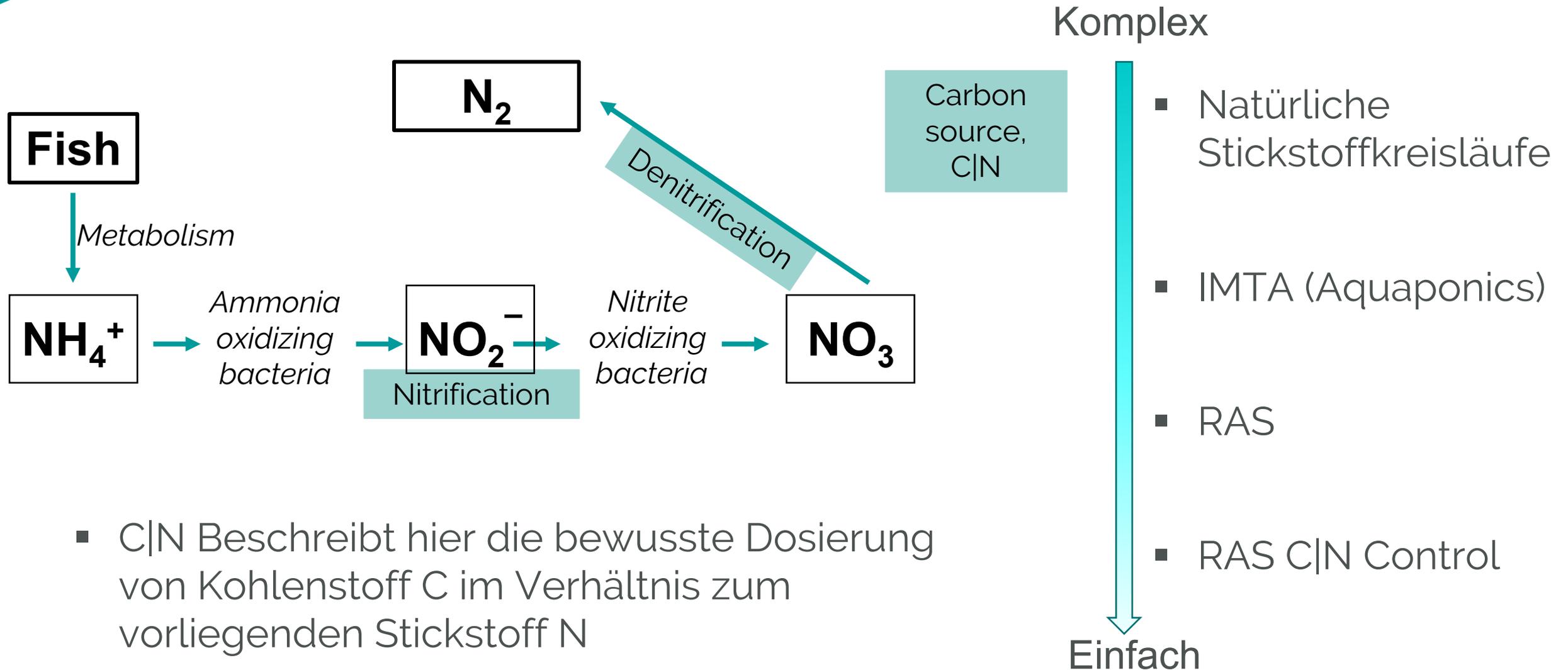


STICKSTOFF IN RAS (3|4)





STICKSTOFF IN RAS (4|4)



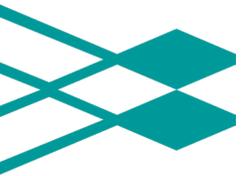
TAKE AWAYS

Ziel in RAS ist ein einseitiger Fluss von Stickstoff im Futter zu Luftstickstoff
Proteine → aerober Prozess → anaerober Prozess → elementarer Stickstoff

Bei Austauschraten unter 5% muss fast der gesamte Stickstoff im RAS
umgebaut werden.

Ein gutes Stickstoffmanagement verhindert Fehlfunktionen

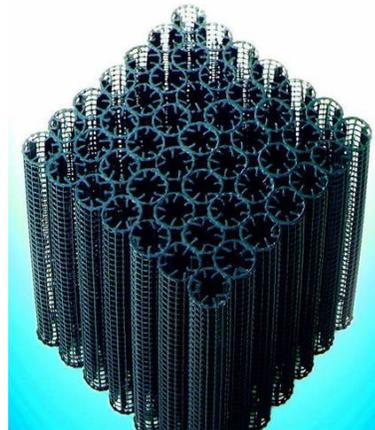
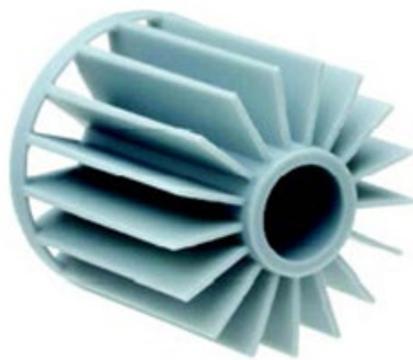
Alternative Wege zur Stickstoffumwandlung sind noch nicht Stand der
Technik

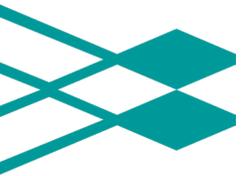


OBERFLÄCHEN UND BIOFILME (1|6)

Der Stickstoffabbau

- ist ein Oberflächen getriebener Prozess.
- kann durch Oberflächenmaximierung technisch generiert werden.
- kann durch Abreinigung technisch kontrolliert werden.
- findet an allen Oberflächen in Aquakulturen statt.





OBERFLÄCHEN UND BIOFILME (2|6)

Auswahlkriterien

- *Bauraum*
- *Wartungsaufwand*
- *Einfluss auf Organismen*
- *Energiebedarf*
- *Sauerstoffversorgung*
- *Reinigung*

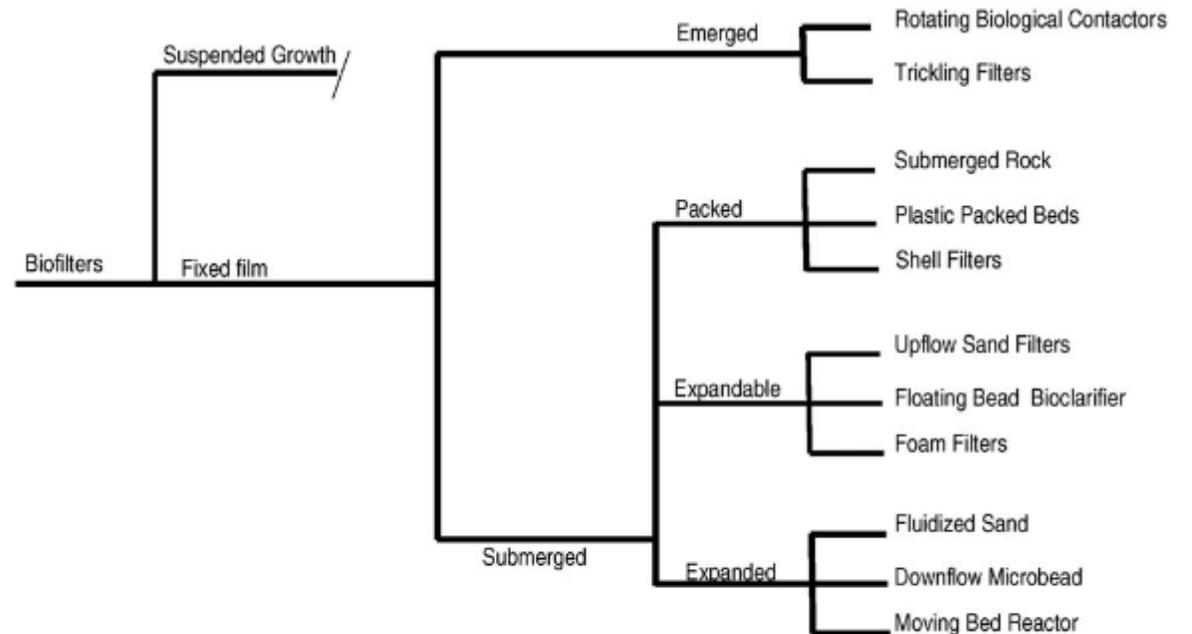
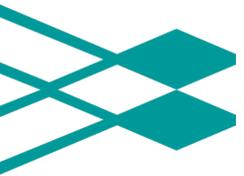


Fig. 1. RAS biofilters can be clustered into four basic blocks that display similar characteristics.

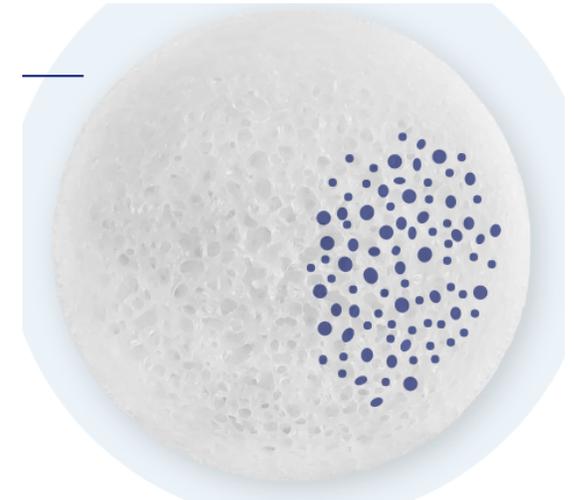
Für Fischkreisläufe haben sich MBBR Reaktoren durchgesetzt



OBERFLÄCHEN UND BIOFILME (3|6)

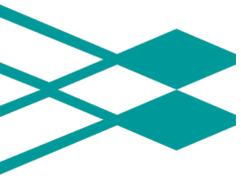
Auswahlkriterien

- *Hydrodynamik*
- *Möglichkeit des Rückhaltes*
- *Aktive Oberfläche*
- *Dichte*
- *Reinigbarkeit*



Typ		Gesamtoberfläche m ² /m ³	Geschützte Oberfläche m ² /m ³	Material	Dichte* g/cm ³	Pack- gewicht kg/m ³	Länge mm	Durch- messer mm
BCN 011		790	520	HDPE	0,95 – 0,97	150	10	11
BCP 750-0,93		750	635	PP	0,93	158	15	15





OBERFLÄCHEN UND BIOFILME (4|6)

- Biofilme haften sich an Oberflächen (Substratum) an
- Dicke des Biofilms wird überwiegend durch physikalische Gegebenheiten geformt (Carrier, Mischung)
- Zusammensetzung durch Nährstoffe und Energiequellen-Angebot.
- Zusammensetzung und Dicke des Biofilms sind immer Resultat aus Zeit und Umweltbedingungen.

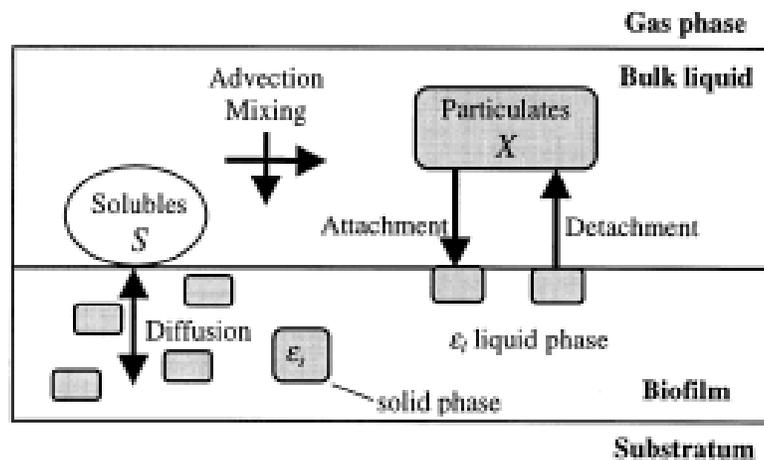


Fig. 1. Transport processes in an ideal biofilm system.

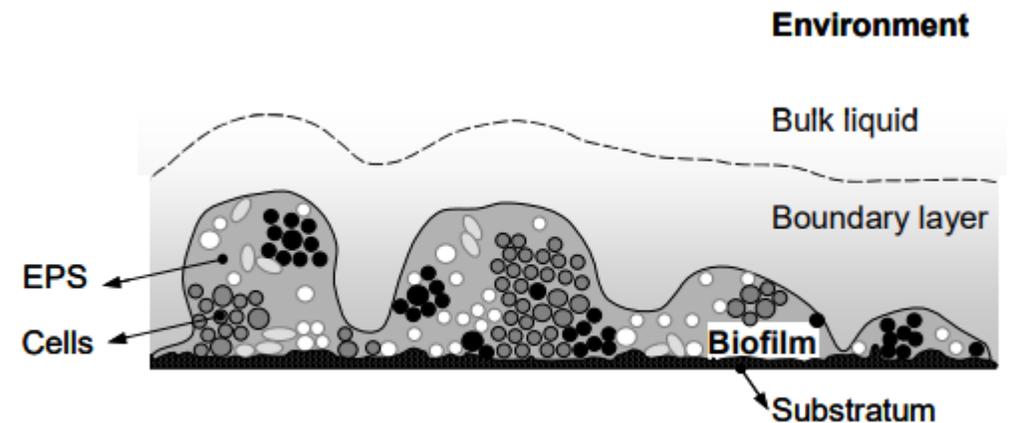
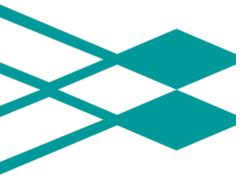


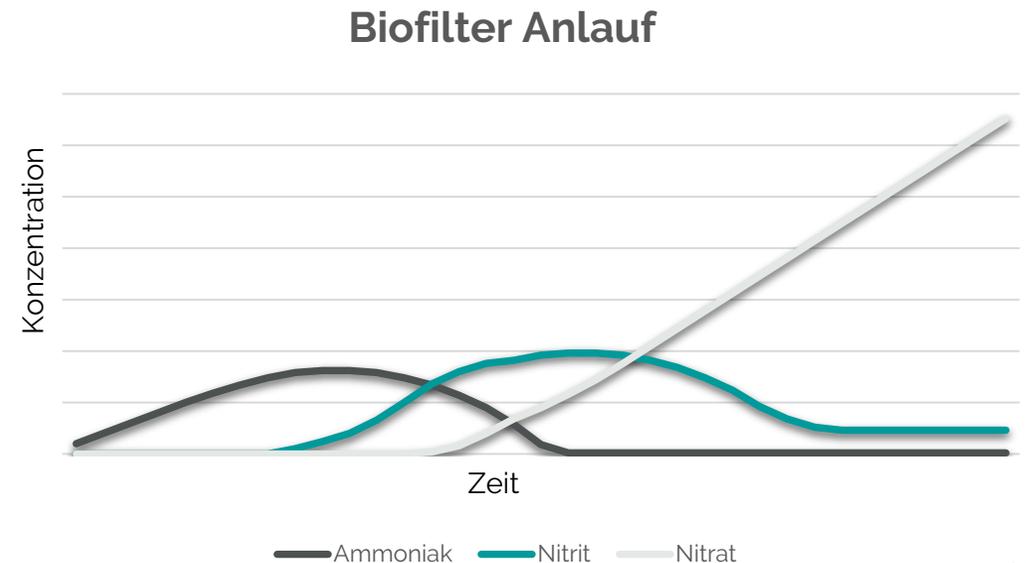
Figure 2.1. Four compartments typically defined in a biofilm system: bulk liquid, boundary layer, biofilm and substratum.

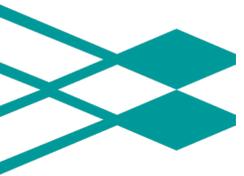


OBERFLÄCHEN UND BIOFILME (5|6)

Nitrifikation: Obligate autotrophes

- Langsames Wachstum → geringe volumetrische Abbaurate
- Zehrung von Alkalinität → 7,14 mg CaCO₃ per mg TAN
- NH₄ → NO₂ Nitrosomonas Bacteria
- NO₂ → NO₃ Nitrobacter Bacteria
- Benötigen Sauerstoff
- Benötigt Ammoniak
- Langsamer Anlauf mit 3 Phasen

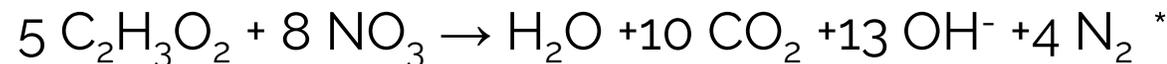




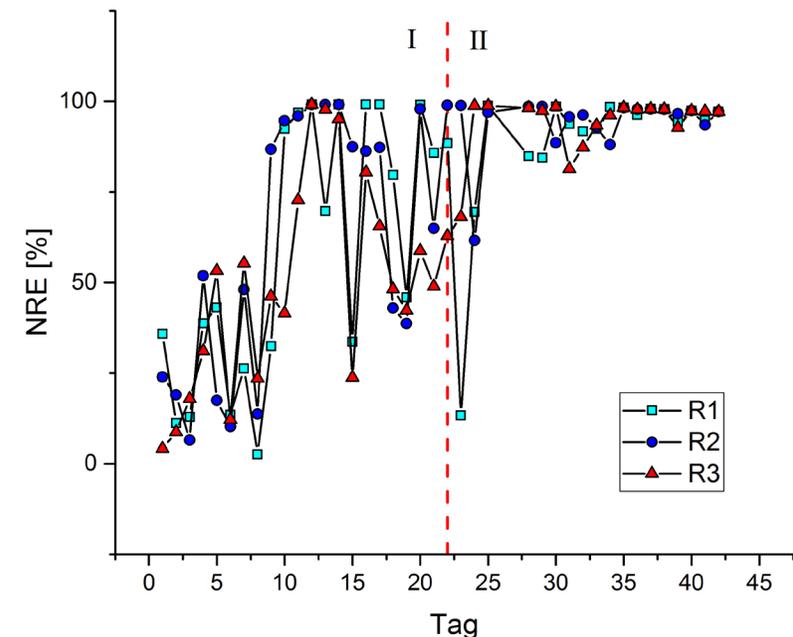
OBERFLÄCHEN UND BIOFILME (6|6)

Denitrifikation: Facultative | Obligate anaerobe heterotrophs

- Schnelles Wachstum → Hohe volumetrische Abbaurate
- Herstellung von Alkalinität → 3,57 mg CaCO₃ per mg NO₃-N
- Benötigen Substrat
- Benötigt Nitrat
- Schnellerer Anlauf



*Beispiel mit Acetat



TAKE AWAYS

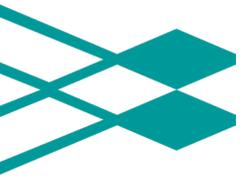
Große Oberflächen mit handhabbaren Biofilmen sind wünschenswert.

Oberflächen ohne Handhabbarkeit sind zu vermeiden

Biofilme haben ein „Gedächtnis“,
sie verzeihen kurzfristige Fehler, sind jedoch nachtragend

Nitrifikation: Organische Kohlenstoffe vermeiden!!

Denitrifikation: Sauerstoffzufuhr limitieren!!



DIFFUSION UND SUBSTRATE (1|5)

Diffusion ist:

- der ohne äußere Einwirkung eintretende Ausgleich von Konzentrationsunterschieden in Flüssigkeiten oder Gasen
- verantwortlich für Stofftransport in den Biofilm hinein & wieder raus
- konzentrationsabhängig
- streckenabhängig
- temperaturabhängig
- medienabhängig

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x}$$

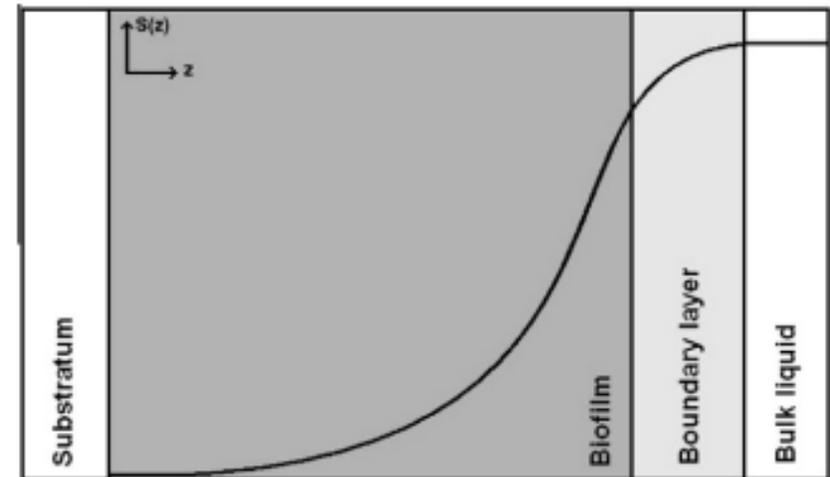
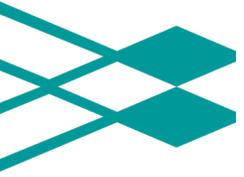


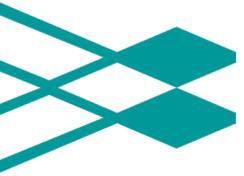
Fig. 9. The oxygen profile through different phases, as shown in [23].



DIFFUSION UND SUBSTRATE (2|5)

Substrate:

- als solche werden hier Stoffe bezeichnet, welche allein oder in Kombination mit anderen Substraten zur Stoffwechselaktivität oder zum Biomasseaufbau von Bakterien genutzt werden
- Relevante Substrate Nitrifikation:
Sauerstoff, Ammoniak, Organische Kohlenstoffverbindungen.
- Relevante Substrate Denitrifikation:
Nitrat, Sauerstoff, Organische Kohlenstoffverbindungen.



DIFFUSION UND SUBSTRATE (3|5)

- Biofilme, die dicker sind als zur gedachten Anwendung nötig, haben Raum und Potenzial für sekundäre ungewünschte Prozesse
- Das umzubauende Substrat soll immer zuerst limitieren

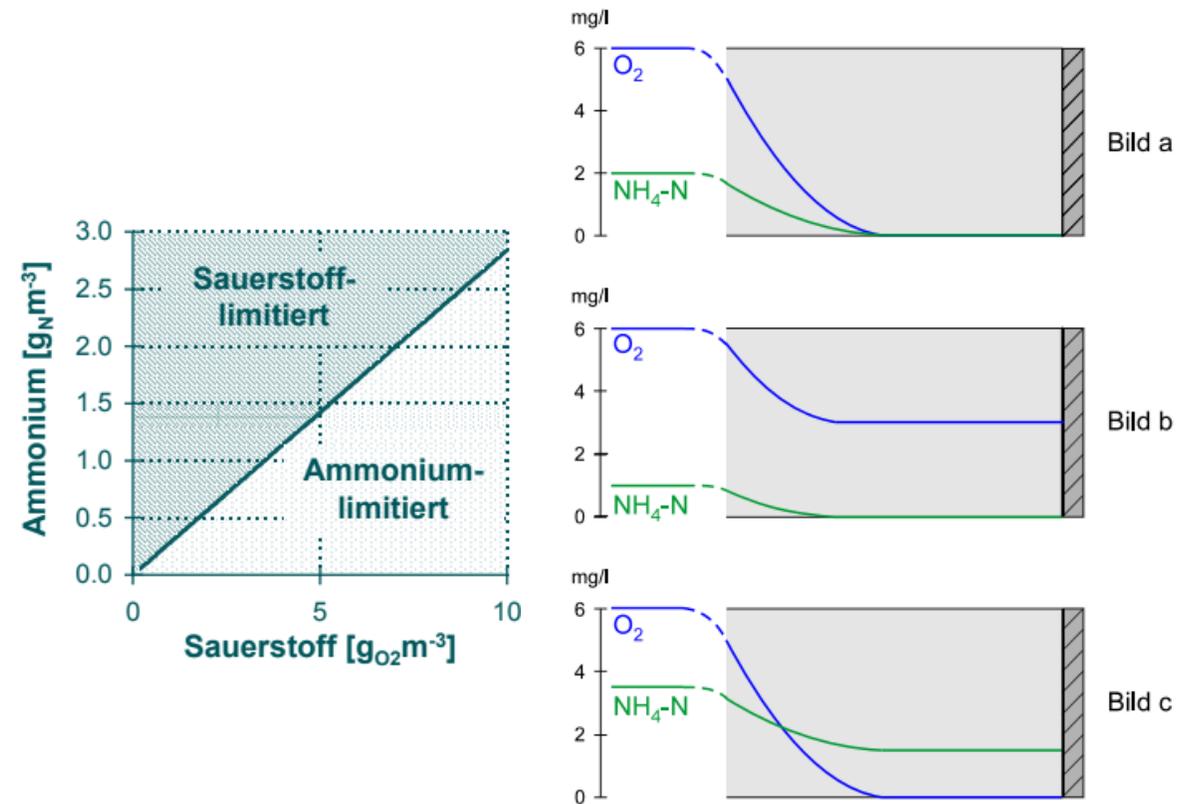
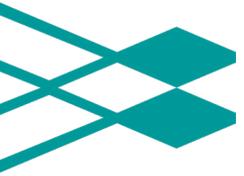


Abbildung 5: Substratlimitierung bei der Nitrifikation am Biofilm (nach Gujer, 1991)

Bild a: „Doppellimitierung“: Sauerstoff und Ammonium limitierend

Bild b: Ammoniumlimitierung

Bild c: Sauerstofflimitierung



DIFFUSION UND SUBSTRATE (4|5)

- Substrate können auch von 2 parallelen Prozessen gezehrt werden und somit schneller als limitierender Faktor auftreten

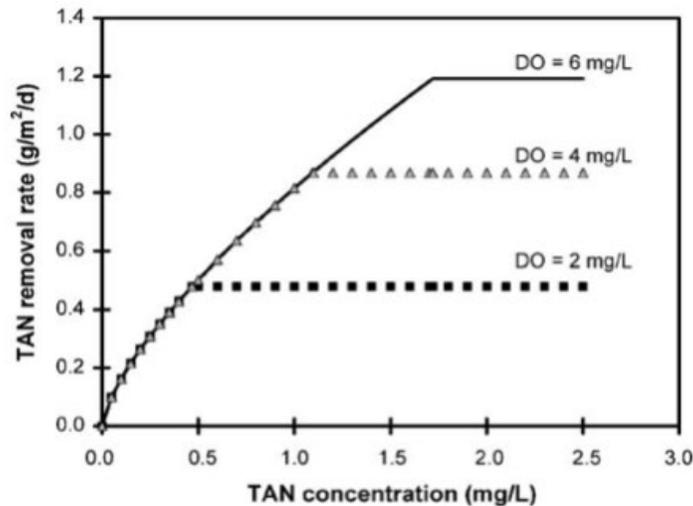


Fig. 4. Influence of TAN and DO concentrations on TAN removal in a Kaldnes MBBR at 15 °C and 0.4 g BOD₅/(m² d) organic load. Based on reaction rate equation and data from Rusten et al. (1995a).

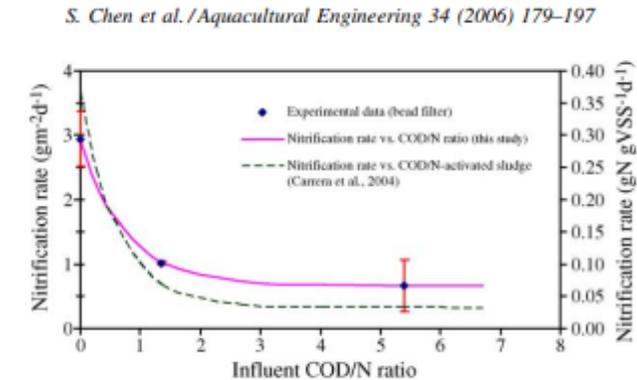


Fig. 5. Relationship between the nitrification rate and the influent COD/N ratio (Ling and Chen, 2005).

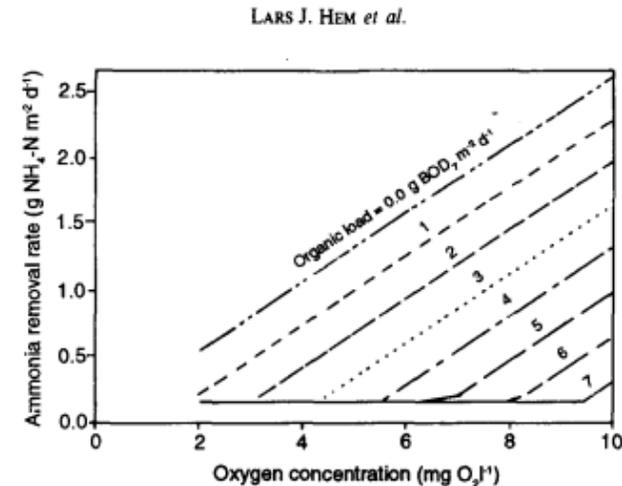
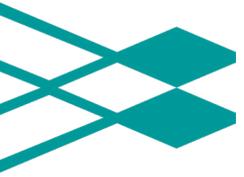


Fig. 8. Curves for the ammonium removal rate at 15°C taking both the oxygen concentration and the organic load into consideration. The lines in the figure represent different organic loads up to 7 g BOD₅ m⁻² d⁻¹.

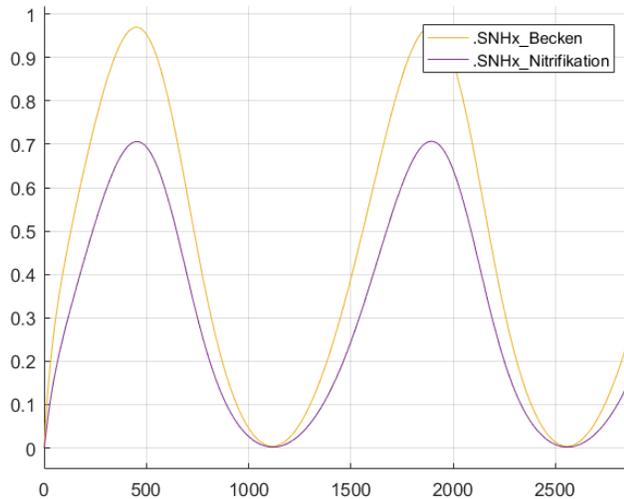


DIFFUSION UND SUBSTRATE (5|5)

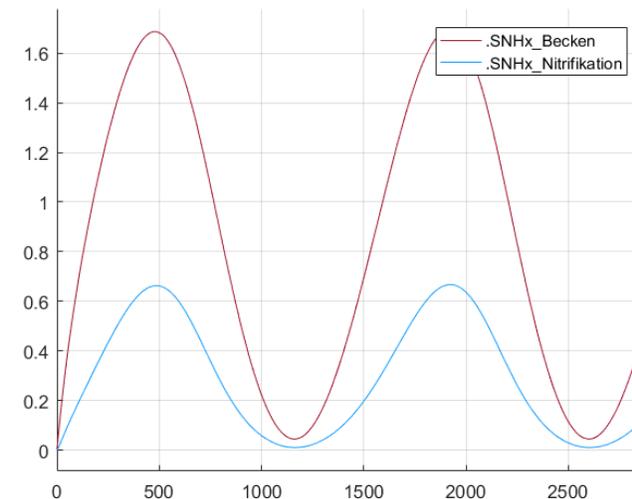


Abbauraten sind immer abhängig von der Konzentration im Reaktor, nicht von der im Zulauf.

Modellergebnisse gleiche Anlage und Futter



Hoher Durchfluss
→ Hohe Konzentration im Reaktor



Niedriger Durchfluss
→ Niedrige Konzentration im Reaktor

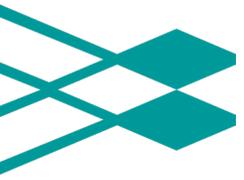
TAKE AWAYS

Niedrige Konzentrationen (Nitrifikation) → Dünne Biofilme
Hohe Konzentrationen (Denitrifikation) → Dickere Biofilme

Organische Kohlenstoffe führen kurzfristig zur Sauerstofflimitierung
und langfristig zum Biofilmbau.

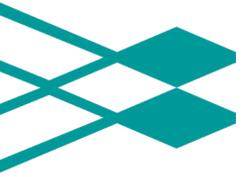
Hoher Durchfluss und hoher Sauerstoffgehalt sind gut für Nitrifikation

Niedriger Durchfluss und wenig Sauerstoff sind gut für Denitrifikation



STICKSTOFFABBAU IN RAS (1|6)

- Stickstoffe sind zuerst für die Tiere in den Systemen und danach für nachgelagerte Systeme (Teiche, Flüsse, Fjorde) schädlich und werden zunehmend reglementiert .
- Zunehmend geschlossene Kreisläufe führen zu neuen Herausforderungen für die Stickstoffeliminierung in RAS.
- MBBR Reaktoren sind Stand der Technik für die Nitrifikation und gut erforscht.
- Denitrifikationen sind relativ neu und kommen sowohl als integrierte als auch als „End of Pipe“ Systeme vor.



STICKSTOFFABBAU IN RAS (2|6)

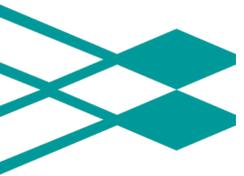
Eutrophierung als Herausforderung für die Aquakultur

Offen

Geschlossen

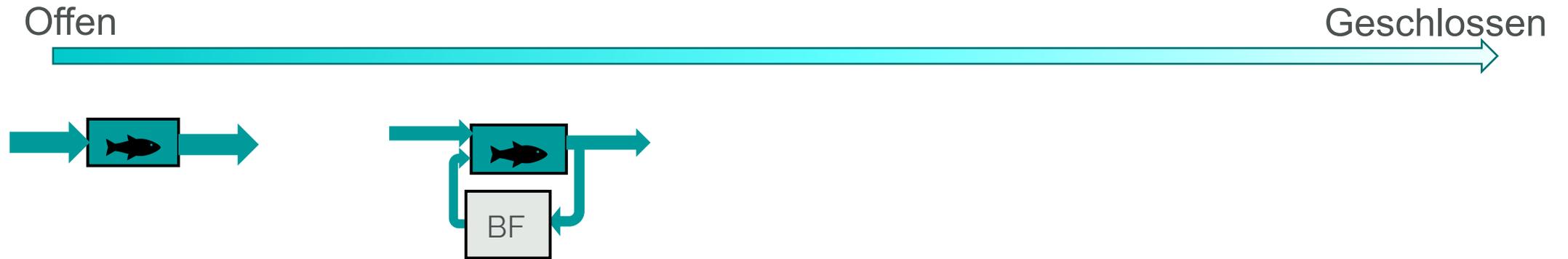


- Offene Durchflussanlagen oder Netzkäfige.
- Sämtliche Stickstoffe werden in die Umwelt abgegeben.

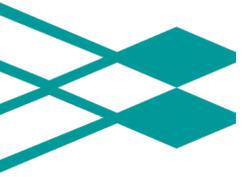


STICKSTOFFABBAU IN RAS (3|6)

Eutrophierung als Herausforderung für die Aquakultur

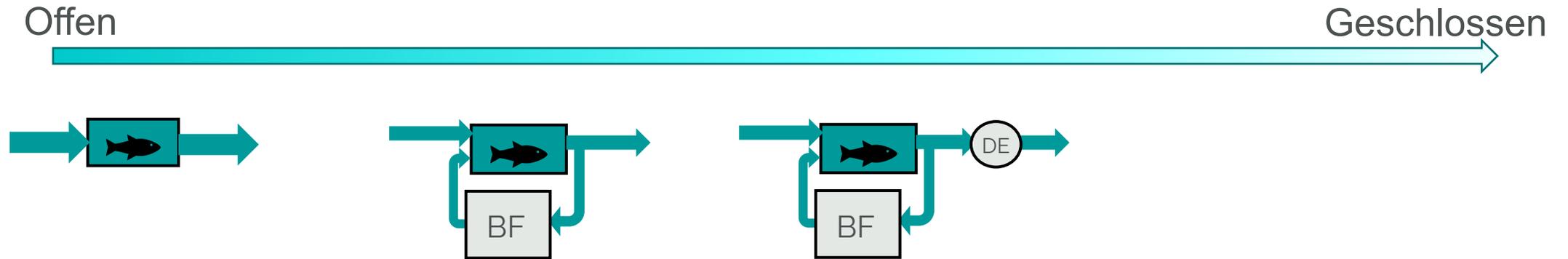


- Durch Einschränkungen im Wasserrecht von Betrieben oder durch Erweiterung über die natürlichen Gegebenheiten hinaus.
- Teile des Ammoniaks werden in Nitrat umgebaut.
- Sämtliche Stickstoffe werden in die Umwelt abgegeben.

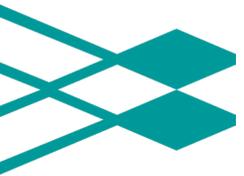


STICKSTOFFABBAU IN RAS (4|6)

Eutrophierung als Herausforderung für die Aquakultur

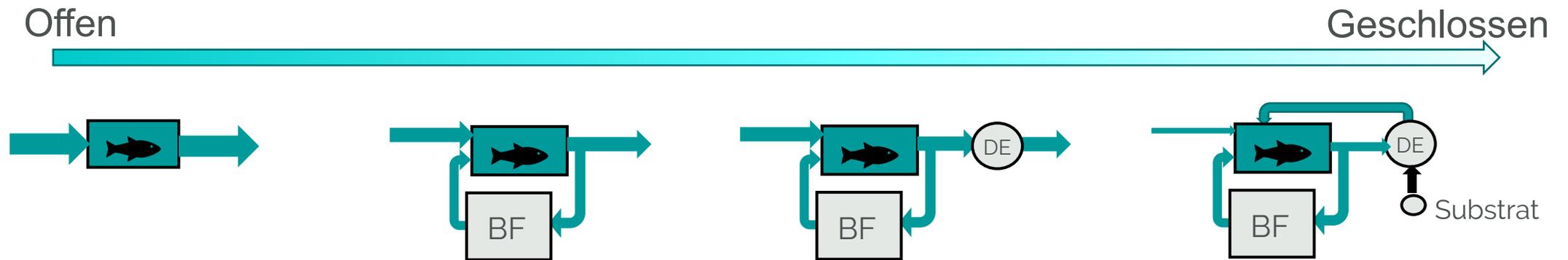


- Durch zusätzliche Auflagen über Grenzkonzentrationen im Ablauf.
- „End of Pipe“ Denitrifikationen zur Abwasseraufbereitung.
- Meist einfache Systeme ohne zusätzliche Substrate.

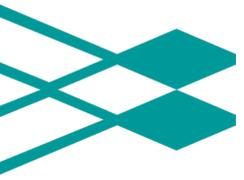


STICKSTOFFABBAU IN RAS (5|6)

Eutrophierung als Herausforderung für die Aquakultur



- Zur fast vollständigen Entkopplung und zur Wasserersparnis.
- Integrierte Denitrifikation mit Rückleitung ins Anlagenwasser.
- Häufig technisch anspruchsvoll und hocheffizient mit Substraten.



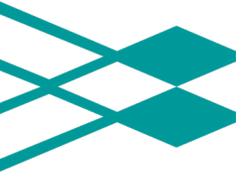
STICKSTOFFABBAU IN RAS (6|6)

- TAN Konzentrationen $< 1\text{mg} \mid \text{l}$ \rightarrow Nitrifikation im Hauptdurchfluss
- Nitrat-N Konzentrationen $< 100\text{mg} \mid \text{l}$ \rightarrow Denitrifikation im Bypass
- Heterotrophe Bakterien wachsen erheblich schneller als autotrophe Bakterien \rightarrow Denitrifikation ist erheblich kleiner als Nitrifikation.
- Heterotrophe Prozesse erzeugen mehr Biomasse, welche entfernt werden muss \rightarrow Denitrifikationen sollten einen Partikelfilter nachgeschaltet haben.

TAKE AWAYS

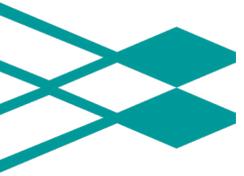
Moderne Denitrifikations- und Nitrifikationsfilter sind die technische Antwort auf einen geringen Wasserverbrauch.

Im Bereich der Denitrifikationen hat sich noch kein dominierender Stand der Technik herausentwickelt.



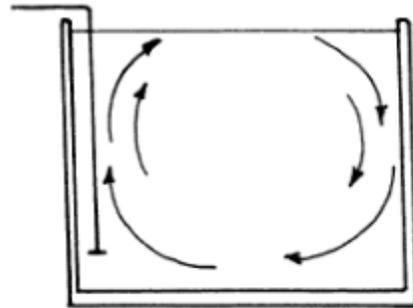
NITRIFIKATION (1|7)

- MBBR ist Stand der Technik.
- Suspensierte Carrier werden durch Mischung gereinigt.
- Dünne Biofilme und turbulente Strömungen reduzieren unerwünschte Totzonen auf ein Minimum.
- Filter ist quasi wartungsfrei.
- Keine Rückspülung nötig.
- 60 % Füllungsgrad mit Carriern

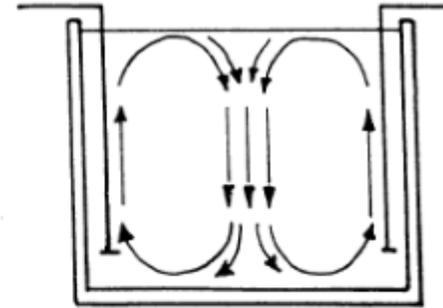


NITRIFIKATION (2|7)

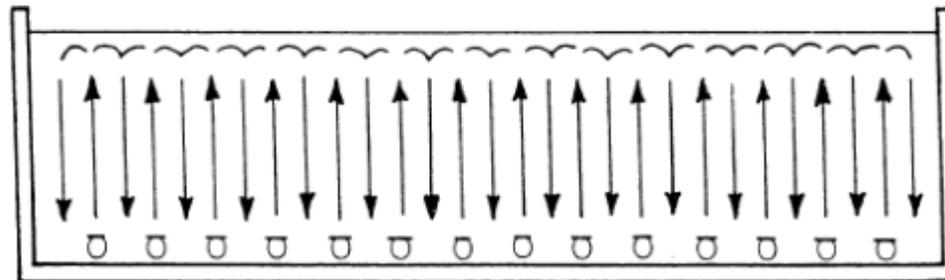
Mischen bauformabhängig durch Belüftung



SINGLE ROLL



DOUBLE ROLL



FULL FLOOR COVERAGE



NITRIFIKATION (3|7)

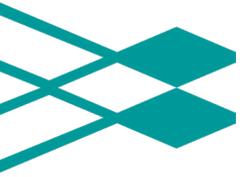
Single Roll

Blasenaufstieg



Absinkende Carrier

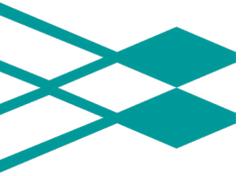




NITRIFIKATION (4|7)

Double Roll





NITRIFIKATION (5|7)

Einflussfaktoren:

- BOD | COD → schädlich
- pH 6-9 (Nitrosomonas 7,2 – 7,8)
(Nitrobacter 7,2 – 8,2)
- Temperatur → förderlich
- Sauerstoff → förderlich
- Partikel → schädlich

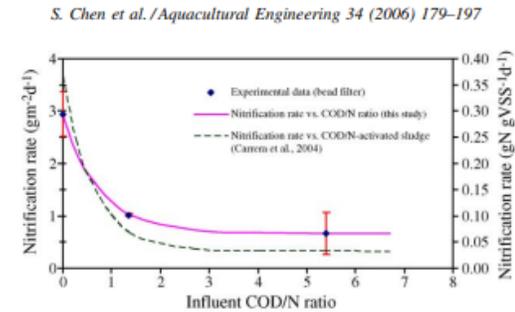


Fig. 5. Relationship between the nitrification rate and the influent COD/N ratio (Ling and Chen, 2005).

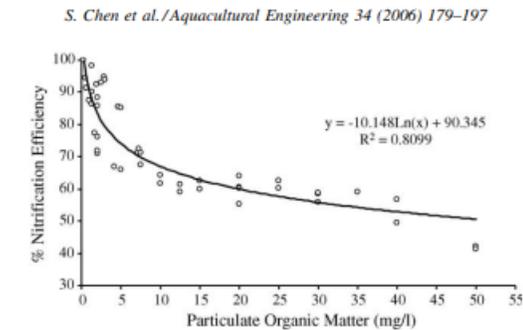


Fig. 6. Effect of particulate organic matter concentration on the nitrification efficiency in a pilot scale biofilter.

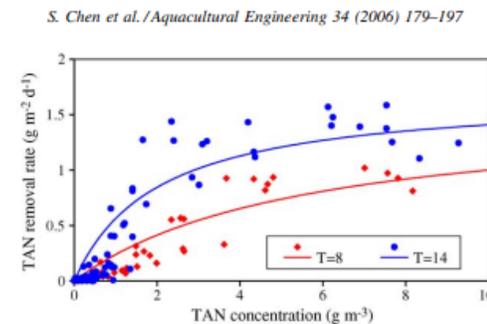
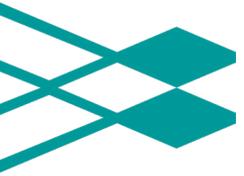


Fig. 7. Relationship between total ammonia nitrogen (TAN) concentration and removal rate at the temperature (T) of 8 and 14 °C (Zhu and Chen, 2002).



NITRIFIKATION (6|7)

MBBR ist ein Weichzeichner für das Ausscheidungsverhalten der Fische

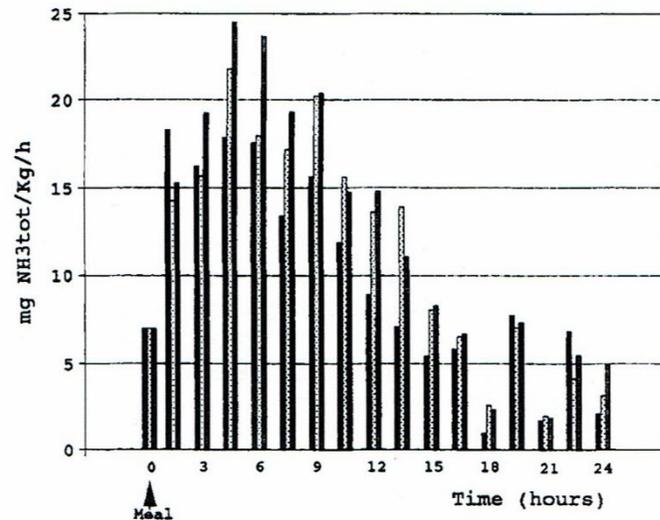
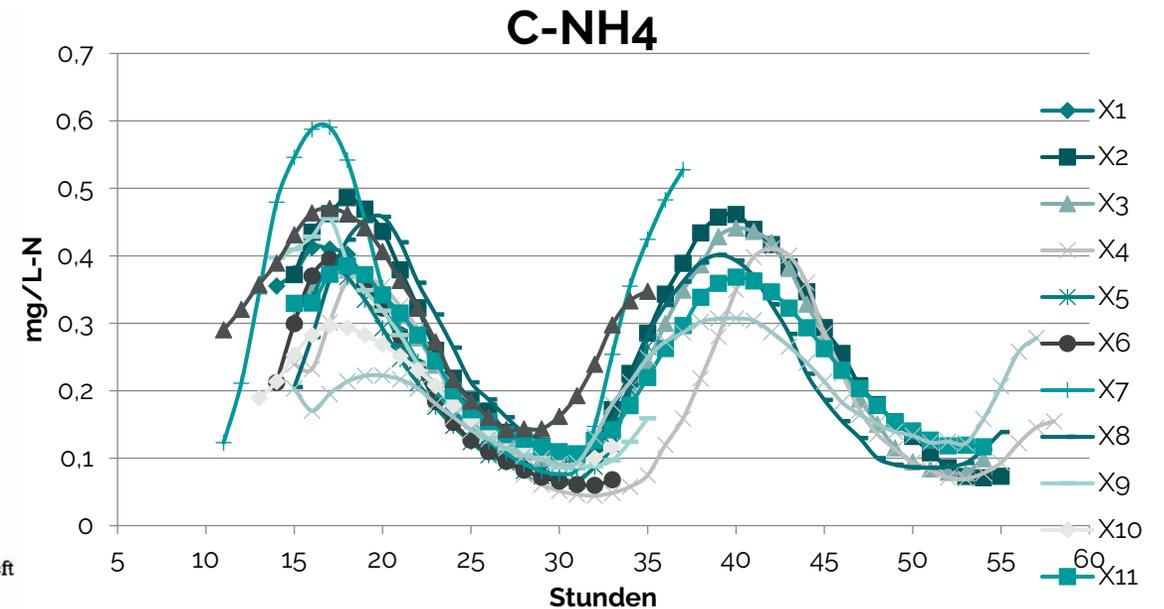
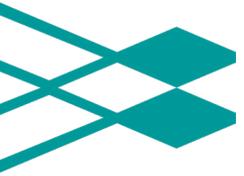


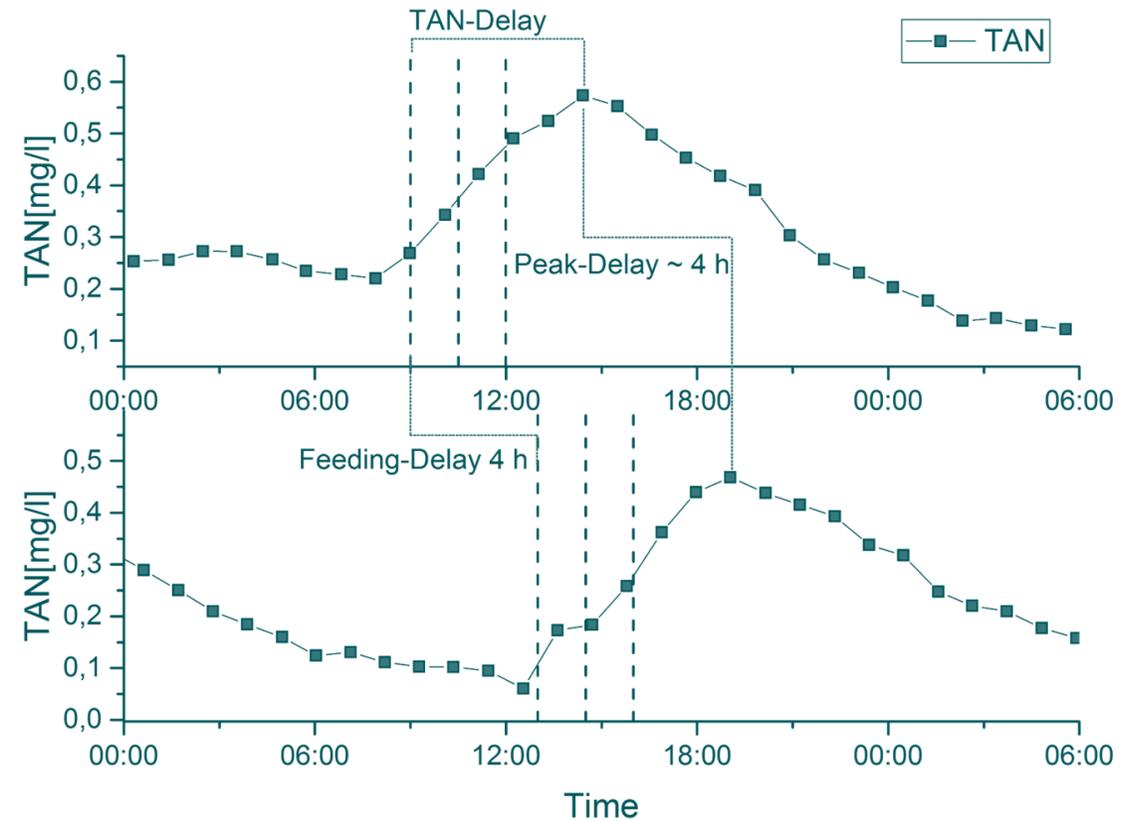
Fig. 1. Postprandial patterns of NH_3 excretion in sea bass fed diets with growing crude protein content. Left column = 44% CP dm; middle column = 49% CP dm; right column = 54% CP dm.





NITRIFIKATION (7/7)

- Fütterungsregime über längere Zeiten führen zu kleineren Peaks.
- Daher automatisierte Fütterung über den Tag hinweg zu bevorzugen

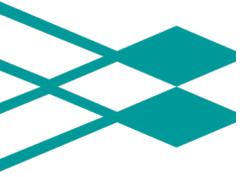


TAKE AWAYS

Nitrifikationen sollten immer gut belüftet und in Bewegung sein

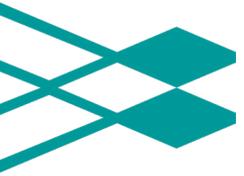
Partikelentfernung sollte einer Nitrifikation immer vorgeschaltet sein

Ein gutes Fütterungsregime trägt ebenfalls zur guten TAN Vermeidung bei



DENITRIFIKATION (1|5)

- Reaktoren mit flüssigem Substrat sind Stand der Technik:
 - Festbett
 - suspendierte Carrier
 - Flocken Denitrifikation
- Dickere Biofilme sind kein Problem, solange keine Verstopfungen stattfinden
- Filter benötigen aktive Steuerung zur C | N Dosierung je nach Technologie zwischen 1,3 und 3
- Reaktoren mit festen Substraten sind in der Erforschung



DENITRIFIKATION (2|5)

- Nitrat online zu messen ist extrem teuer.
- Redoxpotenzial als Proxymessung.

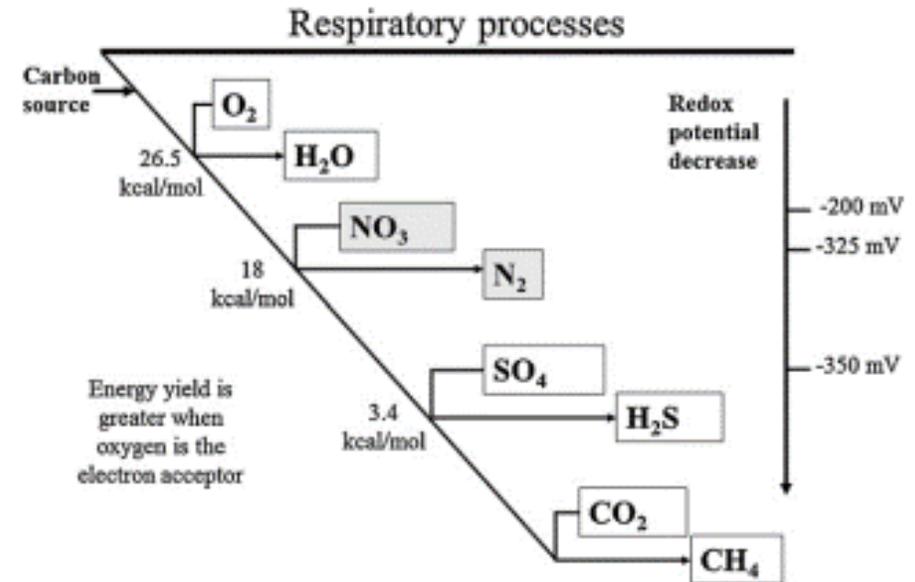
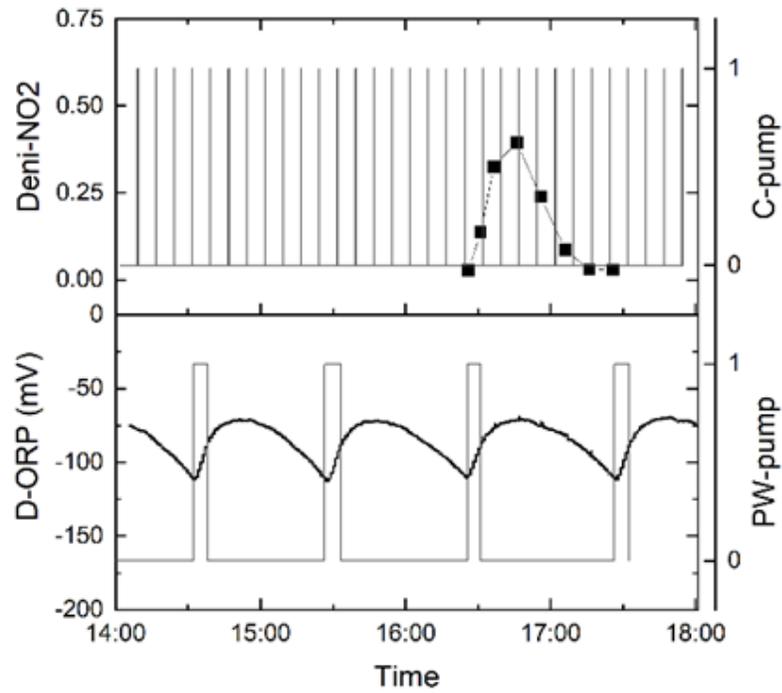
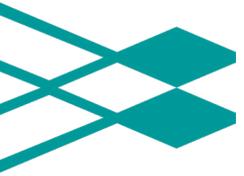


Fig. 1. Respiratory processes and relative energy yields. The values of redox are uncorrected.

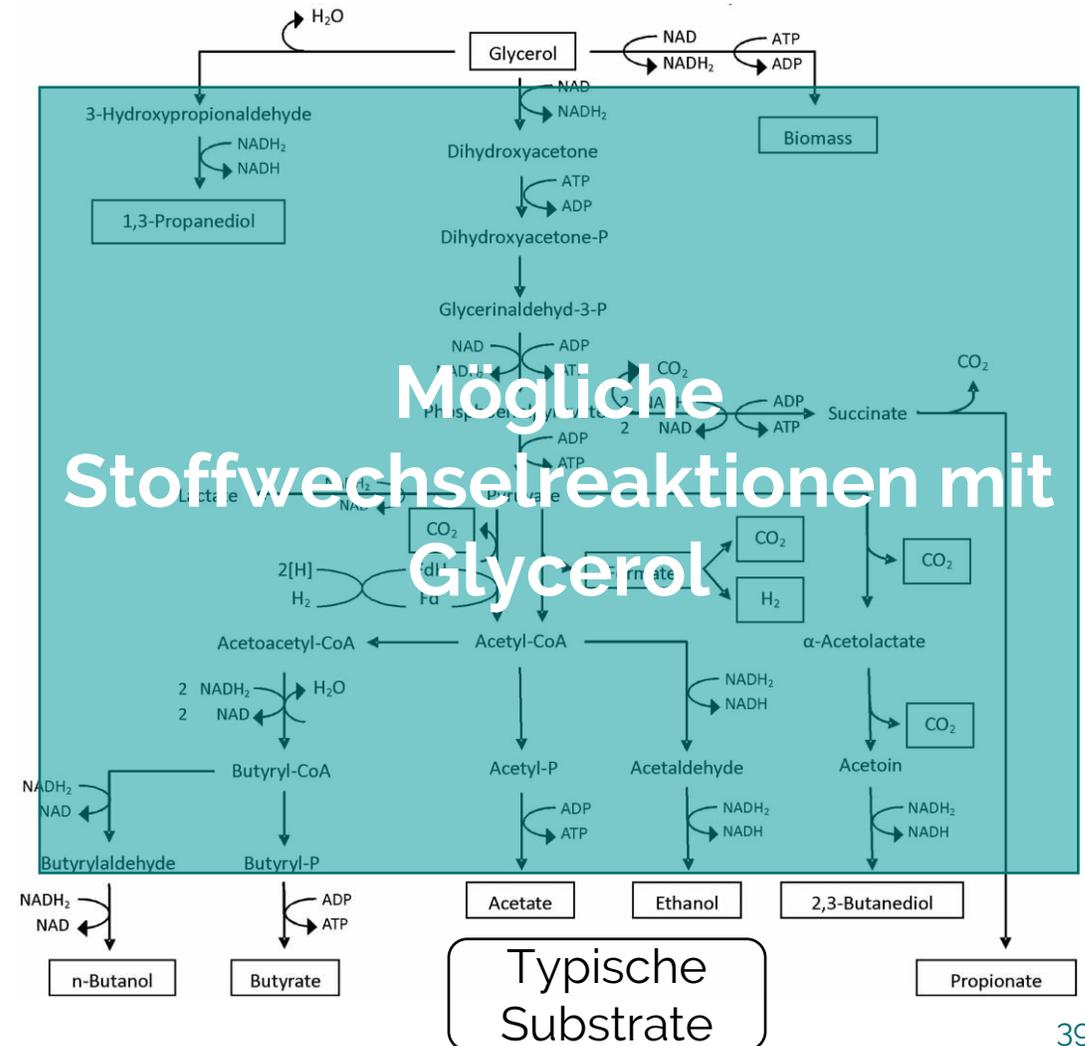
After Van Rijn et al. (2006) and Lee et al. (2000).

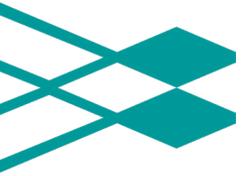


DENITRIFIKATION (3|5)

Viana et al. 2012 Anaerobic digestion of crude glycerol: a review

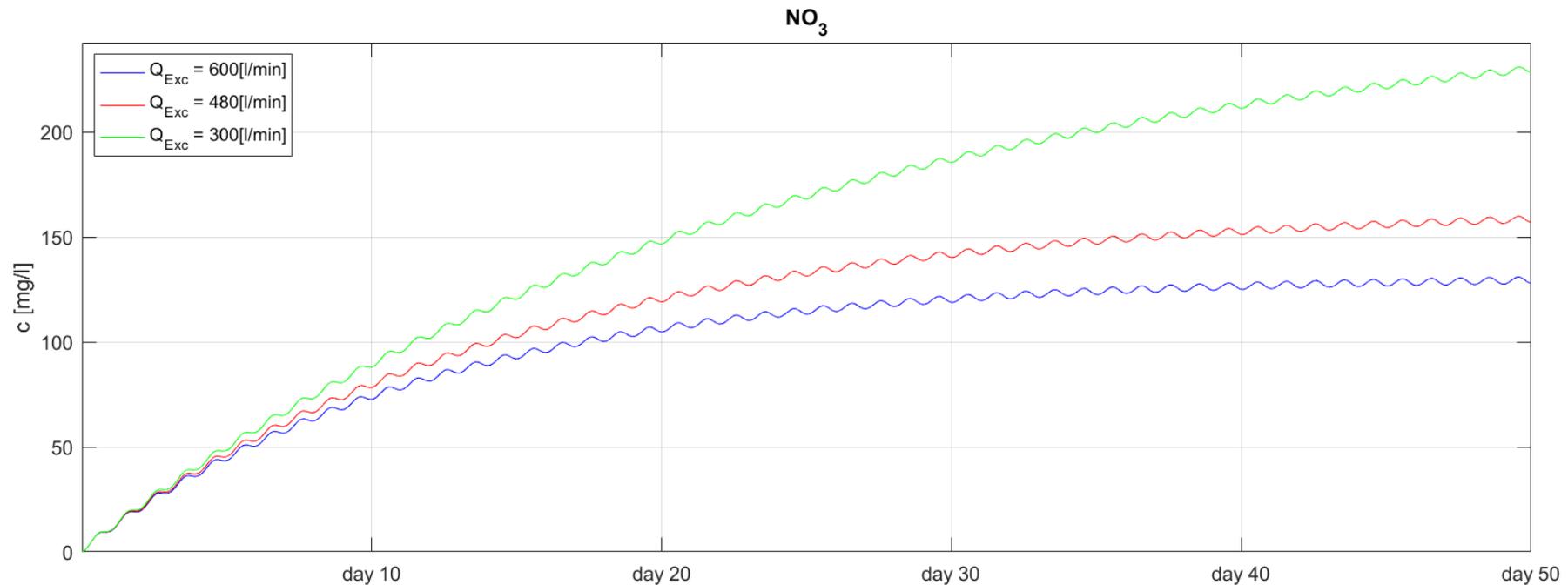
- Flüssige Substrate unterscheiden sich bzgl. Preis, Handhabbarkeit, Energiegehalt und Stoffwechsel.
- Substrat beeinflusst die Bakterienzusammensetzung des Biofilmes.
-  Zu hoher C|N führt zu unerwünschten Prozessen

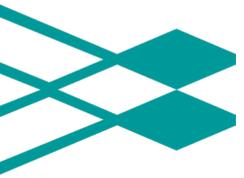




DENITRIFIKATION (4|5)

- Richtig angesteuert, können Denitrifikationen das Anlagen-Nitrat stabilisieren.
- Sie können auch als Brückentechnologie für IMTA Systeme genutzt werden.





DENITRIFIKATION (5|5)

Stand der Forschung

- Flüssige Substrate:
Stärke, Schlamm, Methanol, Glucose, Acetat Ethanol etc.
- Feste Substrate:
PBS, PHB, PHA, Baumwolle, Sulfid, Rinde
- Substratum:
Schlamm, PBS, PHB, PHA, Baumwolle, Sulfid, Carrier, Bimsstein, Rinde
- Abbauraten von 40 g bis 2500 g $\text{NO}_3\text{-N}$ pro m^3 und Tag
- HRT zwischen 3 min und 2 Tagen

TAKE AWAYS

DAS C|N Verhältnis ist der wichtigste Wert zur Kontrolle einer Denitrifikation.

Redoxpotenzial hat nur bedingte Aussagekraft,
eignet sich jedoch zur Kontrolle.

Durchfluss Denitrifikation <<< Durchfluss Biofilter

Jedes Substrat hat Vor- und Nachteile

Denitrifikation sollte Stickstoff managen und nicht eliminieren!

Vielen Dank für Eure
Aufmerksamkeit!