



Bericht Panta Germ Test

Proben-ID: XXXXXXXXX



Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung – Das Wichtigste auf einen Blick	2
Untersuchung der Wasserprobe	3
Bakterienmenge im Wasser	3
Vielfalt der Bakterien im Wasser	3
Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft im Wasser	3
Untersuchung der Biofilmprobe	3
Vielfalt der Bakterien im Biofilm	3
Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft im Biofilm	4
Untersuchung auf krankheitserregende Bakterien	4
Primär pathogene Fischbakterien	4
Fakultativ pathogene Bakterien	5
Nachweis von Cyanobakterien	5
Empfehlungen.....	5
Gesamtfazit	5
Ihre Analyse-Ergebnisse: Wasserprobe	7
Ihre Analyse-Ergebnisse: Biofilmprobe	11
Grundlagen der mikrobiellen Diversitätsanalyse	17
Artenreichtum – Wie viele unterschiedliche Mikroorganismen sind vorhanden?	17
Gleichmäßigkeit – Wie ausgewogen sind die Mikroorganismen verteilt?	17
Simpson-Diversitätsindex – Wie vielfältig ist Ihr Mikrobiom?	18
Shannon-Diversitätsindex – Wie komplex ist Ihr Mikrobiom?.....	18
Vergleich von Shannon- und Simpson-Diversitätsindex – Zwei Blickwinkel auf Ihr Mikrobiom	18
Warum mehrere Kennzahlen gemeinsam betrachtet werden	19
Praktische Maßnahmen zur Förderung mikrobieller Vielfalt.....	20



Kurzfassung – Das Wichtigste auf einen Blick

Zusammenfassung Ihrer Ergebnisse:

- Die **Gesamtkeimzahl** in der Wasserprobe liegt im **niedrigen Bereich** (10^2 – 10^4 Keime/ml)
- Die **Wasserprobe** zeigt einen **hohen Artenreichtum** bei gleichzeitig **sehr hoher Diversität** und **gleichmäßiger Verteilung**
- Der **Biofilmprobe** weist einen **geringen Artenreichtum** bei **moderater Diversität** und **Komplexität** auf
- Es wurden **zwei primär pathogenen Bakterien für Fische nachgewiesen**
- Es wurden **fakultativ pathogenen Bakterien für Fische nachgewiesen**
- **Cyanobakterien** wurden im System **nicht nachgewiesen**

Gesamtbewertung:

Ihr **untersuchtes System** zeigt eine **sehr gut entwickelte und hochdiverse Wasser-Mikrobiologie** mit stabiler Verteilung der Arten. Der Biofilm ist hingegen **artenärmer und weniger komplex**, erfüllt jedoch weiterhin funktionelle Aufgaben im System. Insgesamt liegt ein **stabiles System mit moderatem Optimierungspotenzial im Biofilm** vor.

PGS: 59

PantaGermScore¹



Leit-Bakterienart im Wasser: *Colwellia arctica*
Leit-Bakterienart im Biofilm: *Nitrospira moscoviensis*

¹**Definition Panta Germ Score (PGS):** Der Panta Germ Score (PGS) ist ein leicht verständlicher Gesamtwert zur Bewertung der mikrobiellen Vielfalt in aquatischen Systemen. Er kombiniert die Parameter Artenreichtum, Shannon-Diversitätsindex, Simpson-Diversitätsindex und Gleichmäßigkeit zu einem gewichteten Score. Der PGS ermöglicht eine anschauliche, qualitative Einschätzung des Mikrobioms und macht den ökologischen Zustand eines Systems auch für Leser ohne wissenschaftlichen Hintergrund verständlich. Der Score wird auf einer Skala von 0 bis 100 dargestellt und zusätzlich über eine fünfstufige Farbskala visualisiert. Der exakte Zahlenwert des ermittelten Scores wird jeweils in der zur Bewertung passenden Farbe ausgegeben: 0-20 (Rot) = Dringender Handlungsbedarf: stark eingeschränkte mikrobielle Vielfalt, hohes Risiko für Instabilität; 21-40 (Orange) = Handlungsbedarf: deutlich unausgewogenes Mikrobiom, gezielte Maßnahmen erforderlich; 41-60 (Gelb) = Optimierung der Bedingungen sinnvoll: stabile Basis vorhanden, Verbesserungspotenzial gegeben; 61-80 (Hellgrün) = Gute Bedingungen für das Mikrobiom: ausgewogene und belastbare mikrobielle Gemeinschaft; 81-100 (Grün) Optimale mikrobiologische Zusammensetzung und Stabilität: sehr hohe Diversität und Gleichgewicht.



Untersuchung der Wasserprobe

Bakterienmenge im Wasser

Die **Gesamtkeimzahl** liegt zwischen 10^2 und 10^4 Keimen pro Milliliter und weist auf eine **geringe mikrobielle Dichte** hin. Dieser Bereich wird häufig in gut gepflegten aquatischen Systemen beobachtet und stellt keinen Hinweis auf eine übermäßige bakterielle Belastung dar.

Wichtig ist jedoch:

Nicht allein die Menge der Bakterien entscheidet über die Stabilität eines aquatischen Systems, sondern deren funktionelle Zusammensetzung und Verteilung.

Vielfalt der Bakterien im Wasser

Die untersuchten Diversitätskennzahlen zeigen:

- **Artenreichtum:** hohe Anzahl an Bakterienarten
- **Simpson-Diversitätsindex:** sehr große Diversität
- **Shannon-Diversitätsindex:** sehr hohe Komplexität
- **Gleichmäßigkeit:** hoch

Interpretation

Insgesamt eine funktionell stabile und gut strukturierte bakterielle Gemeinschaft.

Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft im Wasser

Die am häufigsten nachgewiesenen Bakterienspezies waren:

- *Colwellia arctica* (10,84%)
- *Colwellia echini* (8,65%)
- *Arcobacter acticola* (7,57%)
- *Sulfitobacter marinus* (5,92%)
- *Amylibacter marinus* (5,33%)

Bewertung

Die bakterielle Gemeinschaft weist sehr hohe funktionelle Vielfalt und gleichmäßige Verteilung der Arten auf. Die PGBI-Bewertung zeigt teilweise erhöhte Anteile einzelner Arten (PGBI rot/gelb) und deutet auf eine stabile, aber lokal leicht unausgeglichene Struktur hin. Insgesamt weisen die Diversitätskennzahlen auf eine sehr stabile und leistungsfähige Wasser-Mikrobiologie hin.

Untersuchung der Biofilmprobe

Vielfalt der Bakterien im Biofilm

Der Biofilm stellt das zentrale biologische Element eines aquatischen Systems dar und ist maßgeblich an Abbau- und Umwandlungsprozessen beteiligt.

Die untersuchten Diversitätskennzahlen zeigen:

- **Artenreichtum:** geringe Anzahl an Bakterienarten
- **Simpson-Diversitätsindex:** große Diversität

- **Shannon-Diversitätsindex:** moderate Komplexität
- **Gleichmäßigkeit:** moderat

Interpretation

Insgesamt handelt es sich um einen funktionellen, aber vereinfachten Biofilm mit Hinweisen auf ein mikrobielles Ungleichgewicht.

Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft im Biofilm

Die am häufigsten nachgewiesenen Bakterienspezies waren:

- *Nitrospira moscoviensis* (55,23%)
- *Nitrospira japonica* (5,80%)
- *Woeseia oceani* (3,05%)
- *Andersenella baltica* (1,89%)
- *Nitrosospira multiformis* (1,65%)

Bewertung

Der Biofilm zeigt eine starke Dominanz einer einzelnen Art (*Nitrospira moscoviensis*) sowie eine reduzierte funktionelle Redundanz, was auf eine eingeschränkte Anpassungsfähigkeit des Systems hinweist. Gleichzeitig ist die Artenvielfalt reduziert, wodurch eine funktionell vorhandene, jedoch insgesamt vereinfachte Struktur entsteht, die im Vergleich zur Wasserprobe eine geringere Stabilität aufweist.

Untersuchung auf krankheitserregende Bakterien

Primär pathogene Fischbakterien

Es wurde **zwei** der untersuchten **primär pathogenen Fischbakterienarten** nachgewiesen: ***Aeromonas salmonicida*** (0,17 % im Wasser) & ***Moritella viscosa*** (0,11 % im Wasser)

Das bedeutet:

- Der Nachweis eines primär pathogenen Keims ist grundsätzlich relevant
- Kein direkter Hinweis auf eine akute bakterielle Infektion

Aeromonas salmonicida ist ein primär pathogener Fischkeim, der insbesondere mit bakteriellen Infektionen wie Furunkulose bei Süß- und Meerwasserfischen in Verbindung gebracht wird. *Moritella viscosa* ist ein primär pathogener Fischkeim, der insbesondere mit bakteriellen Infektionen wie Winterulzera bei marinen Fischarten in Verbindung gebracht wird. Ein Nachweis in geringer Konzentration stellt noch keinen akuten Krankheitsbefund dar.

Jedoch gilt: Bei Auffälligkeiten oder starke, plötzliche Änderungen der Tiere frühzeitig fachlichen Rat einholen.

Fakultativ pathogene Bakterien

Folgende **fakultativ pathogene Bakterien** wurden nachgewiesen:
Aliivibrio fischeri, *Moritella marina*.

Wichtige Einordnung:

- Solche Bakterien kommen **auch in gesunden aquatischen Systemen** vor
- Sie führen **nicht automatisch zu Erkrankungen**
- Problematisch werden sie meist nur bei:
 - Stress
 - Schlechter Wasserqualität
 - Geschwächtem Immunsystem der Tiere
 - Übermäßiger Vermehrung

Ein alleiniger Nachweis stellt **keinen Krankheitsbefund** dar.

Nachweis von Cyanobakterien

In Ihren Proben wurden **keine Cyanobakterien mit einem Anteil von mehr als 0,1 %** der gesamten Bakteriengemeinschaft nachgewiesen.

Bewertung

Cyanobakterien können bei **Nährstoffungleichgewichten, erhöhter organischer Belastung** sowie bei **ungünstigen Licht- oder Strömungsverhältnissen** auftreten.

Empfehlungen

- Entwicklung von *Aeromonas salmonicida* und *Moritella viscosa* in zukünftigen Analysen beobachten
- Fakultativ pathogene Bakterien im Rahmen des mikrobiologischen Monitorings weiter berücksichtigen
- Die hohe Diversität und Gleichmäßigkeit der Bakteriengemeinschaft im Wasser erhalten
- Die Entwicklung der dominanten *Nitrospira moscoviensis* Population im Biofilm beobachten
- Stabile Umweltbedingungen zur Förderung einer ausgewogeneren Biofilmgemeinschaft sicherstellen
- Regelmäßige mikrobiologische Verlaufskontrollen durchführen

Durch **gezielte Maßnahmen** zur **Stabilisierung des Nährstoffhaushalts** und zur **Förderung einer vielfältigeren Biofilmstruktur** kann die **langfristige Widerstandsfähigkeit Ihres Systems** deutlich **verbessert** werden.

Gesamtfazit

Stärken

- Hoher Artenreichtum in der Wasserprobe
- Sehr hohe Diversität und Komplexität im Wasser
- Hohe Gleichmäßigkeit der Bakteriengemeinschaft im Wasser
- Keine Cyanobakterien über dem Schwellenwert von 0,1 % nachgewiesen



Auffälligkeiten

- Nachweis von *Aeromonas salmonicida* (0,17 %)
- Nachweis von *Moritella viscosa* (0,11 %)
- fakultativ pathogene Bakterienspezies nachgewiesen
- starke Dominanz von *Nitrospira moscoviensis* im Biofilm
- reduzierte Diversität und Gleichmäßigkeit der Biofilmgemeinschaft

Abschließende Bewertung

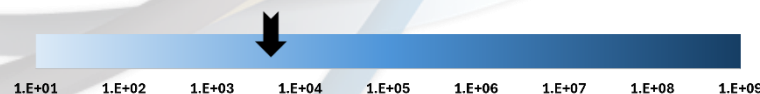
Das untersuchte System zeigt deutliche Unterschiede zwischen Wasser und Biofilmgemeinschaft. Die Wasserprobe weist eine hohe

Artenvielfalt, sehr hohe Diversität und Komplexität sowie eine hohe Gleichmäßigkeit auf, während der Biofilm durch die starke Dominanz von *Nitrospira moscoviensis* und eine reduzierte strukturelle Balance geprägt ist. Besonders der Nachweis der primär pathogenen Fischbakterien *Aeromonas salmonicida* und *Moritella viscosa* stellt eine relevante Auffälligkeit dar und sollte im weiteren mikrobiologischen Monitoring berücksichtigt werden. Insgesamt zeigt die Wasserprobe eine gut strukturierte bakterielle Gemeinschaft, während insbesondere die bakterielle Balance des Biofilms Optimierungspotenzial aufweist.

Ihre Analyse-Ergebnisse: Wasserprobe

Die **Gesamtkeimzahl in ihrer Wasserprobe** liegt zwischen **10^2 und 10^4 Keimen pro ml** und weist auf eine **geringe mikrobielle Dichte** hin.

Gesamtkeimzahl pro ml / total bacterial count per ml



Die Analyse der **Vielfalt der Bakteriengemeinschaft in der eingesandten Wasserprobe** ergab, dass eine hohe Anzahl unterschiedlicher Bakterienspezies und demnach ein **hoher Artenreichtum** vorhanden war. Es wurden zwei Diversitätsindices untersucht. In Ihrer Wasserprobe lag der Wert für den **Simpson-Diversitätsindex** zwischen 0,80 und 1,00, womit die Diversität der Bakterien als **sehr vielfältig** einzustufen war. Der **Shannon-Diversitätsindex** lag über 4,00 und weist auf eine **sehr hohe Diversität und Komplexität** der mikrobiellen Gemeinschaft im Wasser hin. Die **Gleichmäßigkeit der Verteilung** der unterschiedlichen Bakterienspezies lag in Ihrer Wasserprobe zwischen 0,60 und 0,79 und ist damit als **hoch** einzustufen.

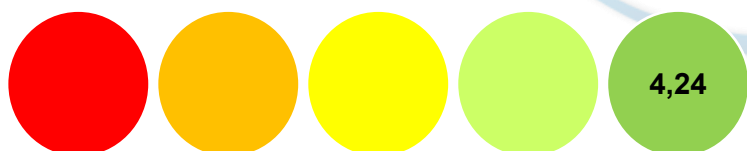
Artenreichtum



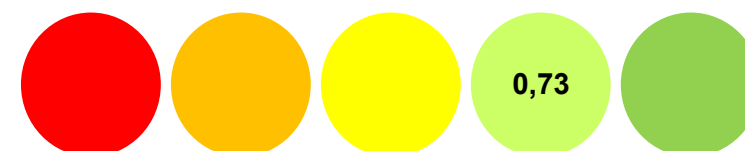
Simpsons-Diversitätsindex



Shannon-Diversitätsindex



Gleichmäßigkeit



Bakterielle Zusammensetzung in Ihrer Wasserprobe:

Tabelle 1: Die zehn häufigsten nachgewiesenen Bakterienfamilien sowie deren Vertreter je Gattung/Spezies

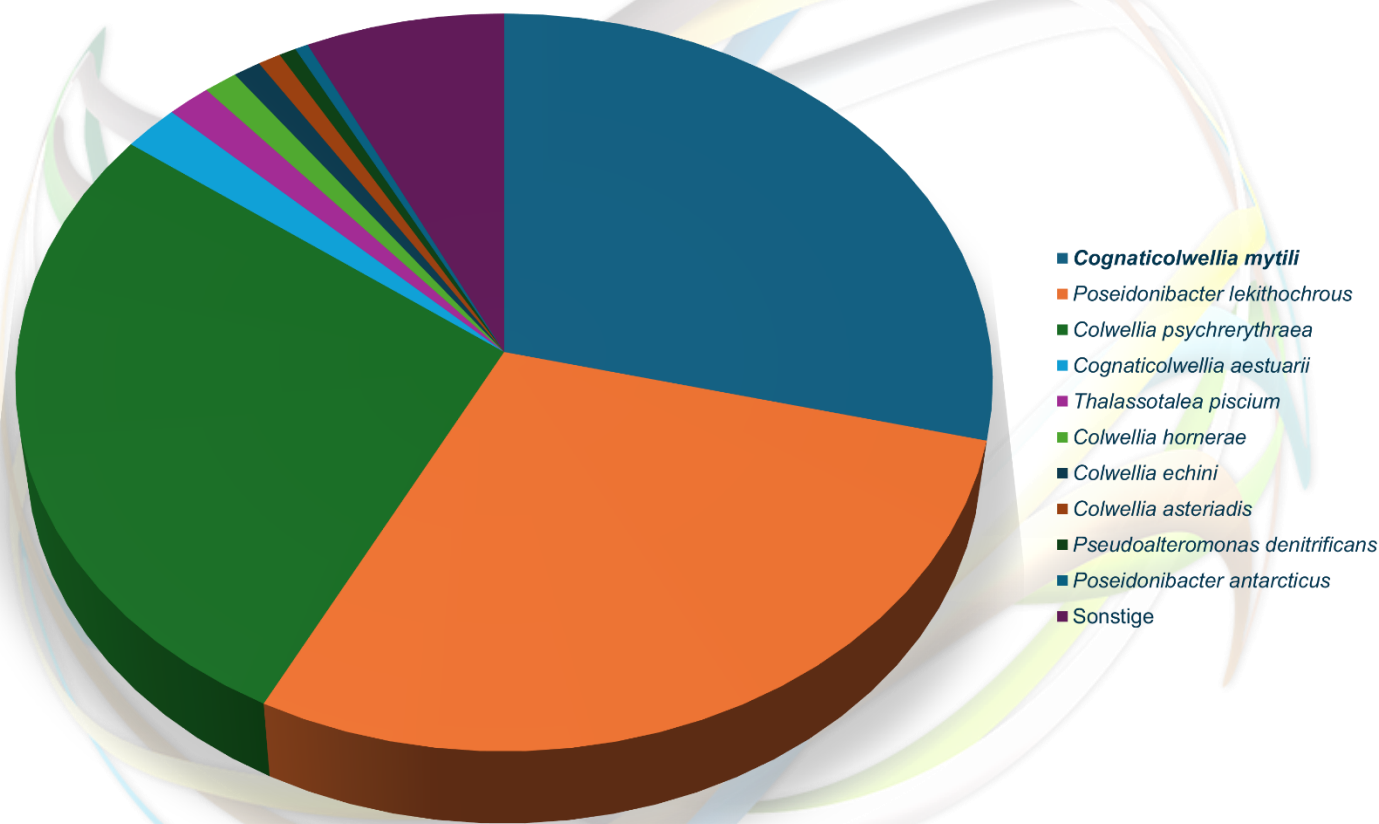
Bakterienfamilie	Bakteriengattung	Bakterienspezies	Prozentualer Anteil mit PGBI-Bewertung ²
Colwelliaceae	Colwellia	<i>Colwellia arctica</i>	10,84%
		<i>Colwellia echini</i>	8,65%
		Sonstige	4,17%
	Thalassotalea	<i>Thalassotalea piscium</i>	2,58%
		<i>Thalassotalea profundii</i>	0,97%
		Sonstige	0,77%
Paracoccaceae	Amylibacter	<i>Amylibacter marinus</i>	5,33%
		<i>Amylibacter cionae</i>	1,18%
		Sonstige	0,47%
	Yoonia	<i>Yoonia vestfoldensis</i>	1,44%
		<i>Yoonia litorea</i>	0,47%
		Sonstige	0,75%
Roseobacteraceae	Sulfitobacter	Sonstige	6,93%
		<i>Sulfitobacter marinus</i>	5,92%
		<i>Sulfitobacter brevis</i>	0,37%
	Phaeobacter	Sonstige	0,92%
		<i>Phaeobacter porticola</i>	0,37%
		<i>Phaeobacter piscinae</i>	0,32%
Arcobacteraceae	Arcobacter	Sonstige	0,52%
		Sonstige	3,16%
		<i>Arcobacter acticola</i>	7,57%
	Poseidonibacter	<i>Arcobacter nitrofigilis</i>	0,41%
		Sonstige	0,37%
		<i>Poseidonibacter antarcticus</i>	0,47%
		<i>Poseidonibacter lekithochrous</i>	0,04%
		<i>Poseidonibacter parvus</i>	0,02%



	<i>Malaciobacter</i>	<i>Malaciobacter canalis</i>	0,02%
		<i>Malaciobacter molluscorum</i>	0,02%
Pseudoalteromonadaceae	<i>Pseudoalteromonas</i>	<i>Pseudoalteromonas ulvae</i>	3,79%
		<i>Pseudoalteromonas neustonica</i>	3,29%
		Sonstige	1,20%
Flavobacteriaceae	<i>Flavobacterium</i>	<i>Flavobacterium jumunjinense</i>	2,28%
		<i>Flavobacterium lacus</i>	0,09%
		<i>Flavobacterium maris</i>	0,06%
	<i>Maribacter</i>	<i>Maribacter aestuarii</i>	0,15%
		<i>Maribacter aurantiacus</i>	0,06%
	Sonstige	Sonstige	0,58%
Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas leptonychotis</i>	1,25%
		<i>Pseudomonas crudilactis</i>	0,84%
		Sonstige	0,82%
Sulfurimonadaceae	<i>Sulfurimonas</i>	<i>Sulfurimonas denitrificans</i>	0,75%
		<i>Sulfurimonas gotlandica</i>	0,69%
		Sonstige	0,41%
Oceanospirillaceae	<i>Oceanospirillum</i>	<i>Oceanospirillum multiglobuliferum</i>	0,49%
	<i>Marinomonas</i>	<i>Marinomonas primoryensis</i>	0,30%
		<i>Marinomonas algicola</i>	0,13%
	Sonstige	Sonstige	0,75%
Vibrionaceae	<i>Photobacterium</i>	<i>Photobacterium carnosum</i>	0,41%
		<i>Photobacterium piscicola</i>	0,26%
		Sonstige	0,04%
	<i>Vibrio</i>	<i>Vibrio gallaecicus</i>	0,43%
		<i>Vibrio rumoiensis</i>	0,06%
		Sonstige	0,06%
	Sonstige	Sonstige	0,32%
Sonstige			15,40%

²**Panta Germ Balance Index (PGBI):** Der Panta Germ Balance Index (PGBI) ist ein Bewertungsinstrument zur anschaulichen Darstellung der Verteilung mikrobieller Arten in aquatischen Systemen. Dabei kennzeichnet Grün ein ausgewogenes Vorkommen, Gelb moderate Abweichungen und Rot deutliche Ungleichgewichte. Auf diese Weise macht der PGBI sowohl Über- als auch Unterrepräsentationen einzelner Arten sichtbar und ermöglicht eine schnelle, intuitive Einschätzung der Balance des Mikrobioms.

Top 10 Bakterienspezies im Wasser

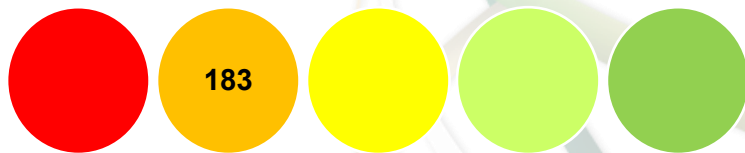


Kreisdiagramm der zehn am häufigsten nachgewiesenen Bakterienarten in ihrer Wasserprobe.

Ihre Analyse-Ergebnisse: Biofilmprobe

Die Analyse der **Vielfalt der Bakteriengemeinschaft in der eingesandten Biofilmprobe** ergab, dass eine geringe Anzahl unterschiedlicher Bakterienspezies und demnach ein **geringer Artenreichtum** vorhanden war. Es wurden zwei Diversitätsindices untersucht. In ihrer Biofilmprobe lag der Wert für den **Simpson-Diversitätsindex** zwischen 0,60 und 0,79, womit die **Diversität der Bakterien** als **vielfältig** einzustufen ist. Der **Shannon-Diversitätsindex** lag zwischen 2,00 und 2,99 und weist auf eine **moderate Diversität und Komplexität** der mikrobiellen Gemeinschaft im Biofilm hin. Der Wert für die **Gleichmäßigkeit** der Bakterienverteilung in ihrer Biofilmprobe lag zwischen 0,40 und 0,59 und ist damit als **moderat** einzustufen.

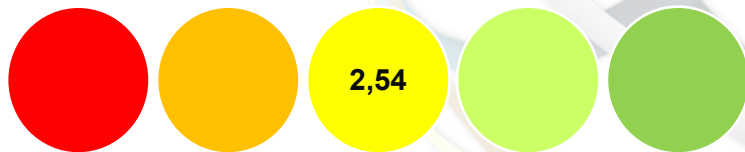
Artenreichtum



Simpsons-Diversitätsindex



Shannon-Diversitätsindex



Gleichmäßigkeit



Bakterielle Zusammensetzung in Ihrer Biofilmprobe:

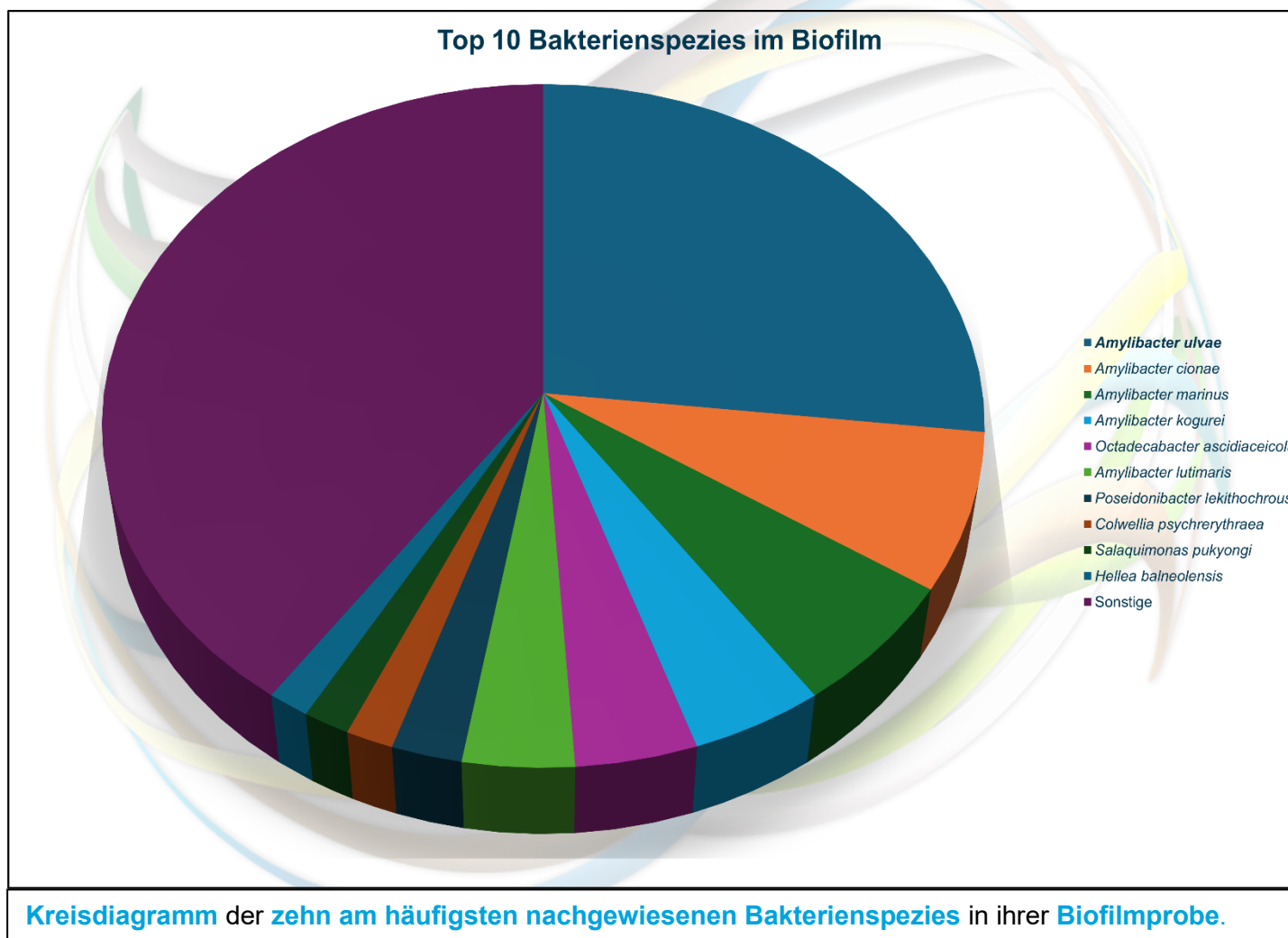
Tabelle 2: Die zehn häufigsten nachgewiesenen Bakterienfamilien sowie deren Vertreter je Gattung/Spezies

Bakterienfamilie	Bakteriengattung	Bakterienspezies	Prozentualer Anteil mit PGBI-Bewertung ²
Nitrospiraceae	<i>Nitrospira</i>	<i>Nitrospira moscoviensis</i>	55,23%
		<i>Nitrospira japonica</i>	5,80%
		<i>Nitrospira lenta</i>	0,11%
Paracoccaceae	<i>Pararhodobacter</i>	<i>Pararhodobacter oceanensis</i>	1,26%
	<i>Defluviimonas</i>	<i>Defluviimonas aestuarii</i>	1,10%
		<i>Defluviimonas aquaemixtae</i>	0,11%
	Sonstige	Sonstige	5,72%
Phyllobacteriaceae	<i>Mesorhizobium</i>	<i>Mesorhizobium comanense</i>	1,23%
		<i>Mesorhizobium chacoense</i>	0,79%
		Sonstige	3,13%
	<i>Nitrateductor</i>	<i>Nitrateductor basaltis</i>	0,11%
		<i>Nitrateductor aquibiodomus</i>	0,03%
		<i>Nitrateductor shengliensis</i>	0,03%
	Sonstige	Sonstige	0,11%
Erythrobacteraceae	<i>Qipengyuania</i>	<i>Qipengyuania gelatinilytica</i>	1,50%
		<i>Qipengyuania aquimaris</i>	0,37%
		Sonstige	0,76%
	<i>Erythrobacter</i>	<i>Erythrobacter longus</i>	0,76%
	Sonstige	Sonstige	0,37%
Sphingomonadaceae	<i>Parasphingopyxis</i>	<i>Parasphingopyxis algicola</i>	0,87%
		<i>Parasphingopyxis lamellibrachiae</i>	0,63%
	<i>Parasphingorhabdus</i>	<i>Parasphingorhabdus marina</i>	0,68%
		<i>Parasphingorhabdus flavimaris</i>	0,32%
		Sonstige	0,29%
	<i>Sphingorhabdus</i>	<i>Sphingorhabdus arenilitoris</i>	0,63%
		<i>Sphingorhabdus wooonensis</i>	0,11%



		<i>Sphingorhabdus lacus</i>	0,08%
Roseobacteraceae	<i>Sulfitobacter</i>	<i>Sulfitobacter marinus</i>	0,26%
		<i>Sulfitobacter mediterraneus</i>	0,13%
		Sonstige	0,55%
	<i>Seohaecicola</i>	<i>Seohaecicola saemankumensis</i>	0,66%
	Sonstige	Sonstige	1,84%
Woeseiaceae	<i>Woeseia</i>	<i>Woeseia oceani</i>	3,05%
Parvibaculaceae	<i>Anderseniella</i>	<i>Anderseniella baltica</i>	1,89%
Nitrosomonadaceae	<i>Nitrosospira</i>	<i>Nitrosospira multiformis</i>	1,65%
		<i>Nitrosospira lacus</i>	0,08%
		<i>Nitrosospira tenuis</i>	0,03%
Parvularculaceae	<i>Marinicaulis</i>	<i>Marinicaulis flavus</i>	1,26%
		<i>Marinicaulis aureus</i>	0,05%
	<i>Hyphococcus</i>	<i>Hyphococcus flavus</i>	0,08%
Sonstige			6.38%

Panta Germ Balance Index (PGBI): Der Panta Germ Balance Index (PGBI) ist ein Bewertungsinstrument zur anschaulichen Darstellung der Verteilung mikrobieller Arten in aquatischen Systemen. Dabei kennzeichnet Grün ein ausgewogenes Vorkommen, Gelb moderate Abweichungen und Rot deutliche Ungleichgewichte. Auf diese Weise macht der PGBI sowohl Über- als auch Unterrepräsentationen einzelner Arten sichtbar und ermöglicht eine schnelle, intuitive Einschätzung der Balance des Mikrobioms.



Nachweis fischpathogener Bakterien:

Es wurde **zwei** der in Tabelle 1 aufgeführten **primär pathogenen Bakterienspezies** für Fische in ihren Proben nachgewiesen.

Tabelle 1: Untersuchte primär pathogene Bakterienspezies für Fische

Untersuchte primär pathogene Bakterienspezies	Prozentualer Anteil in der untersuchten Wasserprobe (%)	Prozentualer Anteil in der untersuchten Biofilmprobe (%)
<i>Aeromonas salmonicida</i>	0,17	0
<i>Moritella viscosa</i>	0,11	0
<i>Nocardia asteroides</i>	0	0
<i>Nocardia crassostreae</i>	0	0
<i>Nocardia salmonicida</i>	0	0
<i>Nocardia seriolae</i>	0	0
<i>Photobacterium damsela</i>	0	0
<i>Piscirickettsia salmonis</i>	0	0
<i>Renibacterium salmoninarum</i>	0	0
<i>Tenacibaculum maritimum</i>	0	0
<i>Yersinia ruckeri</i>	0	0

Folgende **fakultativ pathogene Bakterienspezies** wurden in ihren Proben nachgewiesen: *Aliivibrio fischeri*, *Moritella marina*.

Nachweis von Cyanobakterien:

Es wurden **keine Cyanobakterien** mit einem Anteil von **mehr als 0,1 %** aller gefundenen Bakterienarten in den Proben nachgewiesen.

Anhang:

Liste der untersuchten fakultativen Fischpathogene

Hinweis: Diese Liste wird nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft regelmäßig überprüft und aktualisiert.

Acinetobacter baumannii, Acinetobacter haemolyticus, Acinetobacter iwoffii, Acinetobacter johnsonii, Acinetobacter junii, Acinetobacter pittii, Aeromonas allosaccharophila, Aeromonas caviae, Aeromonas hydrophila, Aeromonas schubertii, Aeromonas jandaei, Aeromonas piscicola, Aeromonas sobria, Aeromonas veronii, Aliivibrio salmonicida, Aquaspirillum sp., Arthromitus, Branchiomonas cysticola, Chryseobacterium balustinum, Chryseobacterium oncorhynchi, Chryseobacterium piscicola, Chryseobacterium scophtalmum, Chryseobacterium shigense, Citrobacter freundii, Clavochlamydia salmonicola, Edwardsiella anguillarum, Edwardsiella ictaluri, Edwardsiella tarda, Edwardsiella piscicida, Flavobacterium araucanum, Flavobacterium branchiophilum, Flavobacterium chilense, Flavobacterium columnare, Flavobacterium johnsoniae, Flavobacterium psychrophilum, Francisella asiatica, Francisella philomiragia, Francisella piscicida, Hafnia alvei, Halomonas aquamarina, Halomonas cupida, Hepatobacterium penaei, Janthinobacterium lividum, Lactococcus garviae, Moraxella sp., Moritella marina, Mycobacterium abscessus, Mycobacterium chelonae, Mycobacterium chesapeakei, Mycobacterium fortuitum, Mycobacterium gordonae, Mycobacterium interjectum, Mycobacterium marinum, Mycobacterium montefiorensis, Mycobacterium neoaurum, Mycobacterium palustre, Mycobacterium peregrinum, Mycobacterium poriferi, Mycobacterium pseudoshottsii, Mycobacterium salmoniphilum, Mycobacterium simiae, Mycobacterium scrofulaceum, Mycobacterium shottsii, Mycobacterium smegmatis, Mycobacterium stomapetiae, Mycobacterium szulgai, Mycobacterium triplex, Mycobacterium triviale, Mycobacterium ulcerans, Mycoplasma mobile, Pasteurella multocida, Pasteurella skyensis, Piscichlamydia salmonis, Proteus vulgaris, Pseudoalteromonas piscicida, Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas anguilliseptica, Pseudomonas fluorescens, Renichlamydia lutjani, Serratia liquefaciens, Serratia marcescens, Serratia plymuthica, Shewanella putrefaciens, Streptococcus agalactiae, Streptococcus dysgalactiae, Streptococcus ictaluri, Streptococcus iniae, Streptococcus maltophilia, Streptococcus milleri, Streptococcus parauberis, Streptococcus uberis, Streptomyces hiroshimensis, Tenacibaculum aiptasiae, Tenacibaculum discolour, Tenacibaculum ovolyticum, Tenacibaculum solea, Vagococcus salmoninarum, Vibrio alginolyticus, Vibrio anguillarum, Vibrio campbelli, Vibrio cholera, Vibrio corallilyticus, Vibrio fluvialis, Vibrio harveyi, Vibrio jasicida, Vibrio mimicus, Vibrio ovensium, Vibrio owensii, Vibrio ordalli, Vibrio parahaemolyticus, Vibrio penaeicida, Vibrio proteolyticus, Vibrio splendidus, Vibrio vulnificus.

¹Definition Panta Germ Score (PGS): Der Panta Germ Score (PGS) ist ein leicht verständlicher Gesamtwert zur Bewertung der mikrobiellen Vielfalt in aquatischen Systemen. Er kombiniert die Parameter Artenreichtum, Shannon-Diversitätsindex, Simpson-Diversitätsindex und Gleichmäßigkeit zu einem gewichteten Score. Der PGS ermöglicht eine anschauliche, qualitative Einschätzung des Mikrobioms und macht den ökologischen Zustand eines Systems auch für Leser ohne wissenschaftlichen Hintergrund verständlich. Der Score wird auf einer Skala von 0 bis 100 dargestellt und zusätzlich über eine fünfstufige Farbskala visualisiert. Der exakte Zahlenwert des ermittelten Scores wird jeweils in der zur Bewertung passenden Farbe ausgegeben: 0-20 (**Rot**) = Dringender Handlungsbedarf: stark eingeschränkte mikrobielle Vielfalt, hohes Risiko für Instabilität; 21-40 (**Orange**) = Handlungsbedarf: deutlich unausgewogenes Mikrobiom, gezielte Maßnahmen erforderlich; 41-60 (**Gelb**) = Optimierung der Bedingungen sinnvoll: stabile Basis vorhanden, Verbesserungspotenzial gegeben; 61-80 (**Hellgrün**) = Gute Bedingungen für das Mikrobiom: ausgewogene und belastbare mikrobielle Gemeinschaft; 81-100 (**Grün**) Optimale mikrobiologische Zusammensetzung und Stabilität: sehr hohe Diversität und Gleichgewicht.

²Panta Germ Balance Index (PGBI): Der Panta Germ Balance Index (PGBI) ist ein Bewertungsinstrument zur anschaulichen Darstellung der Verteilung mikrobieller Arten in aquatischen Systemen. Dabei kennzeichnet **Grün** ein ausgewogenes Vorkommen, **Gelb** moderate Abweichungen und **Rot** deutliche Ungleichgewichte. Auf diese Weise macht der PGBI sowohl Über- als auch Unterrepräsentationen einzelner Arten sichtbar und ermöglicht eine schnelle, intuitive Einschätzung der Balance des Mikrobioms.

Grundlagen der mikrobiellen Diversitätsanalyse

Artenreichtum – Wie viele unterschiedliche Mikroorganismen sind vorhanden?

Der **Artenreichtum** beschreibt, **wie viele unterschiedliche Mikroorganismenarten** in Ihrer Probe nachgewiesen wurden. Er gibt damit einen grundlegenden Überblick über die **Breite der mikrobiellen Gemeinschaft**, unabhängig davon, wie häufig die einzelnen Arten vorkommen.

Ein **hoher Artenreichtum** zeigt, dass viele verschiedene Mikroorganismen im System vorhanden sind. Dies spricht für ein **biologisch vielseitiges Mikrobiom**, das grundsätzlich über ein breites funktionelles Potenzial verfügt.

Ein **niedriger Artenreichtum** bedeutet, dass nur wenige unterschiedliche Mikroorganismen nachweisbar sind. In solchen Fällen ist das Mikrobiom **weniger breit aufgestellt** und kann empfindlicher auf Veränderungen reagieren.

Der Artenreichtum allein sagt jedoch noch nichts darüber aus, **wie ausgewogen** die einzelnen Mikroorganismen vertreten sind. Deshalb wird er im Bericht **gemeinsam mit Diversitätsindizes** betrachtet, die zusätzlich die Verteilung und Dominanz einzelner Arten berücksichtigen.

Gleichmäßigkeit – Wie ausgewogen sind die Mikroorganismen verteilt?

Die Gleichmäßigkeit beschreibt, **wie gleichmäßig die verschiedenen Mikroorganismenarten** in Ihrer Probe vertreten sind. Sie zeigt, ob viele Arten in ähnlichen Anteilen vorkommen oder ob einzelne Mikroorganismen einen deutlich größeren Anteil einnehmen als andere. Diese Verteilung veranschaulicht auch der PGBI².

Eine **hohe Gleichmäßigkeit** bedeutet, dass die vorhandenen Mikroorganismen **ausgewogen miteinander koexistieren**. Solche Mikrobiome gelten als **stabil und belastbar**, da keine einzelne Art das System dominiert.

Eine **niedrige Gleichmäßigkeit** weist darauf hin, dass wenige Mikroorganismen einen Großteil der Gemeinschaft ausmachen. In diesem Fall ist das Mikrobiom **einseitiger aufgebaut** und kann anfälliger für Störungen oder unerwünschte Verschiebungen sein.

Die Gleichmäßigkeit ergänzt den Artenreichtum:

- Der **Artenreichtum** zeigt, wie viele unterschiedliche Mikroorganismen vorhanden sind.
- Die **Gleichmäßigkeit** zeigt, wie fair diese Mikroorganismen im System vertreten sind (PGBI²).



Simpson-Diversitätsindex – Wie vielfältig ist Ihr Mikrobiom?

Der Simpson-Diversitätsindex beschreibt, **wie ausgewogen die Gemeinschaft der Mikroorganismen** in Ihrer Probe zusammengesetzt ist. Dabei wird nicht nur gezählt, wie viele unterschiedliche Mikroorganismen vorhanden sind, sondern auch berücksichtigt, **wie gleichmäßig sie verteilt sind**.

Ein **hoher Wert** bedeutet, dass viele verschiedene Mikroorganismen gemeinsam das System tragen, ohne dass einzelne Arten stark dominieren. Solche Mikrobiome gelten als **stabil, widerstandsfähig und gut reguliert**.

Ein **niedriger Wert** weist darauf hin, dass nur wenige Mikroorganismen den Großteil der Gemeinschaft ausmachen. In diesem Fall ist das Mikrobiom **weniger stabil** und kann empfindlicher auf Störungen wie Nährstoffschwankungen oder Umweltveränderungen reagieren.

Shannon-Diversitätsindex – Wie komplex ist Ihr Mikrobiom?

Der Shannon-Diversitätsindex beschreibt, **wie vielfältig und komplex** die Gemeinschaft der Mikroorganismen in Ihrer Probe ist. Dabei wird sowohl berücksichtigt, **wie viele unterschiedliche Mikroorganismen vorhanden sind**, als auch **wie gleichmäßig sie vertreten sind**.

Ein **hoher Wert** zeigt, dass viele verschiedene Mikroorganismen in ausgewogener Weise zusammenwirken. Dies spricht für ein **komplexes, anpassungsfähiges und funktionell breit**

aufgestelltes Mikrobiom, das biologische Prozesse zuverlässig unterstützen kann.

Ein **niedriger Wert** deutet darauf hin, dass entweder nur wenige unterschiedliche Mikroorganismen vorhanden sind oder dass einzelne Arten deutlich überwiegen. In solchen Fällen ist das Mikrobiom **weniger komplex** und kann auf Veränderungen empfindlicher reagieren.

Vergleich von Shannon- und Simpson-Diversitätsindex – Zwei Blickwinkel auf Ihr Mikrobiom

Zur Bewertung der Vielfalt Ihres Mikrobioms werden zwei sich ergänzende Kennzahlen herangezogen: der **Shannon-Diversitätsindex** und der **Simpson-Diversitätsindex**. Beide beschreiben die Vielfalt der Mikroorganismen, setzen jedoch unterschiedliche Schwerpunkte.

Der **Shannon-Diversitätsindex** bewertet vor allem die **Gesamtvietalt und Komplexität** des Mikrobioms. Er reagiert sensibel darauf, wie viele unterschiedliche Mikroorganismen vorhanden sind und wie gleichmäßig diese verteilt sind. Ein hoher Shannon-Wert weist auf ein **vielschichtiges, funktionell breit aufgestelltes Mikrobiom** hin.

Der **Simpson-Diversitätsindex** legt den Fokus stärker auf die **Dominanz einzelner Mikroorganismen**. Er zeigt, ob das System von vielen Arten gemeinsam getragen wird oder ob wenige Mikroorganismen einen überproportional großen Anteil ausmachen. Ein hoher Simpson-Wert spricht für ein **ausgeglichenes und stabiles Mikrobiom**.



Zusammen betrachtet liefern beide Indizes ein vollständigeres Bild:

- Der **Shannon-Index** beschreibt, **wie komplex und artenreich** das Mikrobiom ist.
- Der **Simpson-Index** zeigt, **wie ausgewogen und stabil** diese Vielfalt verteilt ist.

Ein Mikrobiom mit **hohen Werten in beiden Indizes** gilt als besonders **robust, anpassungsfähig und biologisch stabil**.

Warum mehrere Kennzahlen gemeinsam betrachtet werden

Ein Mikrobiom ist ein **komplexes Ökosystem**, dessen Zustand sich nicht mit einer einzelnen Kennzahl vollständig beschreiben lässt. Deshalb werden im Bericht vier sich ergänzende Parameter gemeinsam betrachtet: **Artenreichtum, Gleichmäßigkeit, Shannon-Diversitätsindex und Simpson-Diversitätsindex**. Aus dem

Zusammenspiel dieser vier Parameter ergibt sich der PGS¹. Dieser Score stellt einen Gesamtwert zur Beurteilung der mikrobiellen Vielfalt in aquatischen Systemen dar.

Erst die gemeinsame Betrachtung aller vier Kennzahlen ermöglicht eine verlässliche Bewertung:

- Der **Artenreichtum** beschreibt das Fundament.
- Die **Gleichmäßigkeit** zeigt die Balance.
- Der **Shannon-Index** bewertet die Komplexität.
- Der **Simpson-Index** beurteilt Stabilität und Dominanzverhältnisse.

Zusammengefasst:

Nur wenn alle vier Parameter gemeinsam betrachtet werden, entsteht ein **ganzheitliches Bild** des Mikrobioms – von der biologischen Vielfalt über die Verteilung bis hin zu Stabilität und Belastbarkeit.

Praktische Maßnahmen zur Förderung mikrobieller Vielfalt

Die Diversität in einem aquatischen System lässt sich gezielt verbessern, wenn man das System nicht nur chemisch, sondern auch **ökologisch** betrachtet. Das Ziel ist es, **mehr ökologische Nischen** zu schaffen und so **stabile Lebensbedingungen** für verschiedene Mikroorganismen zu ermöglichen.

1. Strukturelle Vielfalt erhöhen (Lebensräume schaffen)

Mikroorganismen benötigen **Oberflächen und Rückzugsräume**, um sich anzusiedeln. Unterschiedliche Oberflächen hemmen die Dominanz einzelner Arten.

Wirksam sind insbesondere:

- unterschiedliche Substrate (Sand, Kies, poröse Materialien)
- strukturreiche Oberflächen (Steine, Holz, Keramik)
- Filtermedien mit großer Oberfläche
- Bereiche mit unterschiedlicher Durchströmung

➔ **Mehr Struktur = mehr Lebensräume = mehr Arten**

2. Nährstoffangebot ausgewogen gestalten

Ein Mikrobiom lebt von **organischem Input** – aber nur in der richtigen Menge.

Förderlich für Diversität:

- regelmäßiger, moderater Eintrag organischer Stoffe (Stickstoff (N), Kohlenstoff (C), Schwefel (S) und Phosphor (P))
- abwechslungsreiche und gleichmäßige Fütterung/Nährstoffversorgung (unterschiedliche Kohlenstoffquellen)

Problematisch sind:

- starke Nährstoffspitzen
- dauerhaft extrem nährstoffarme Bedingungen

➔ **Vielfalt entsteht im Gleichgewicht, nicht im Extrem**

3. Chemische Stabilität sicherstellen

Viele Mikroorganismen reagieren empfindlich auf abrupte Veränderungen.

Wichtig für Artenvielfalt:

- stabile Temperatur
- konstante pH-Werte und Salinität/Leitfähigkeit
- gleichbleibende Sauerstoffversorgung im Gesamtsystem
- Vermeidung häufiger großer Wasserwechsel
- vorsichtiger Einsatz/Vermeidung von Desinfektionsmitteln (z.B. Ozon, UV-C, Wasserstoffperoxid etc.)



➔ Stabile Rahmenbedingungen ermöglichen Spezialisierung und Vielfalt

4. Strömung und Sauerstoff differenziert einsetzen

Unterschiedliche Mikroorganismen bevorzugen unterschiedliche Bedingungen.

Diversität steigt, wenn:

- stark und schwach durchströmte Zonen vorhanden sind
- sauerstoffreiche und sauerstoffarme Bereiche im Gesamtsystem koexistieren
- keine vollständige „Durchspülung“ aller Bereiche erfolgt

➔ Heterogenität schlägt maximale Leistung

5. Mikrobielles Gleichgewicht schützen

Übermäßige Hygiene reduziert Artenvielfalt.

Zu vermeiden:

- häufiges vollständiges Reinigen von Filtern
- gleichzeitiger Austausch aller biologischen Medien
- aggressive chemische Reinigungsmittel (z.B. Wasserstoffperoxid, Peressigsäure etc.)

Besser:

- Pflege abschnittsweise durchführen

- Biofilme gezielt erhalten
- Reinigung mit System, nicht mit Gewalt

➔ Ein gewisser „biologischer Belag“ ist erwünscht

6. Biologische Vielfalt im System fördern

Pflanzen und Tiere beeinflussen das Mikrobiom stark.

Förderlich sind:

- Wasserpflanzen oder Makroalgen
- Wirbellose (Schnecken, Garnelen)
- Mikrofauna (z. B. Copepoden)
- vielfältige Besatzstrukturen

➔ Mehr biologische Wechselwirkungen = mehr mikrobielle Vielfalt

7. Geduld und Reifezeit zulassen

Ein häufiger Fehler ist der Versuch, Vielfalt **zu erzwingen**.

- Diversität entwickelt sich über Wochen bis Monate
- junge Systeme sind fast immer artenarm
- gut gepflegte, stabile, reife Systeme zeigen höhere Vielfalt

➔ Zeit ist ein entscheidender Faktor für Diversität