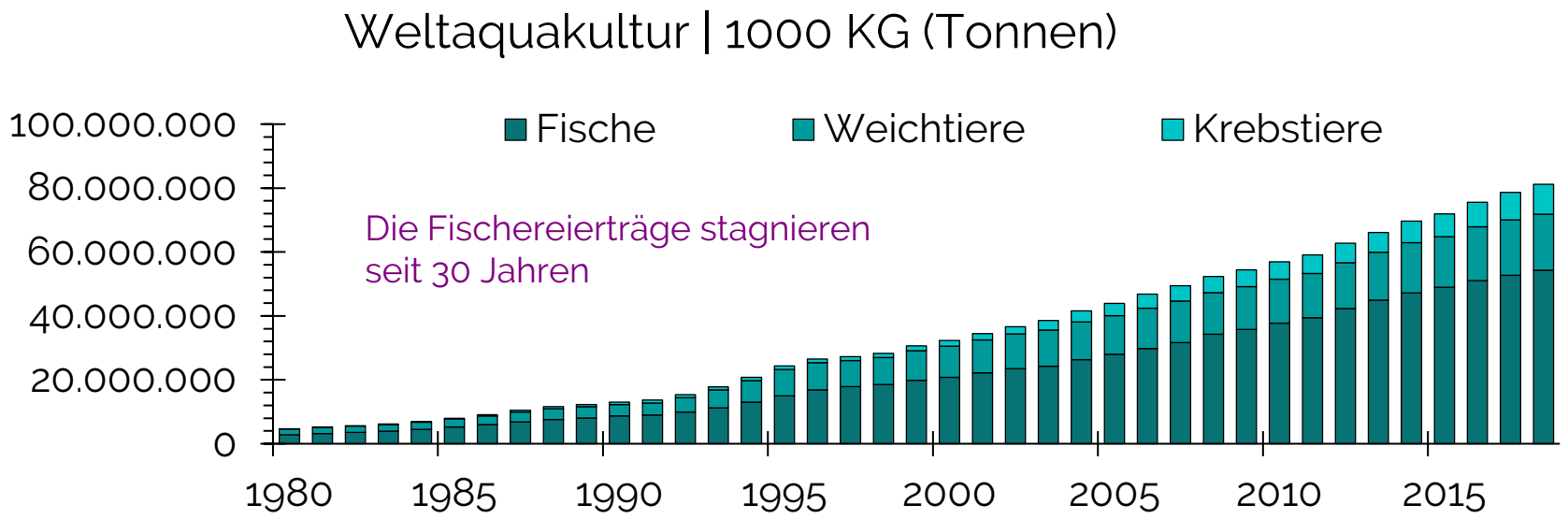
# MODUL 02

# WASSERCHEMIE - GRUNDKONZEPT

Prof. Dr. Uwe Waller

# DEFINITION AQUAKULTUR




| | |
|---|---|
| 1 | Aquakultur ist die Produktion aquatischer Organismen. Das sind Algen, Pflanzen, Wirbellose Organismen und Wirbeltiere. |
| 2 | Aquakultur hat die Optimierung der Produktion aquatischer Organismen zum Ziel. Das erfolgt durch die Erhöhung der Überlebensrate und der Reproduktionsrate. |

# ÖKOSYSTEM VS AQUAKULTUR

Helfmann et al. 2000: The Diversity of Fishes. Blackwell Science

| Altersklasse | Überlebenswahr-scheinlichkeit | Rekruten eines weiblichen Fisches | Reproduktionsrate | Kumulative Reproduktionsrate |
|---|---|---|---|---|

**_Salvelinus fontinalis_ - Hunt Creek, Michigan, USA, 1952**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.00000 | 0.0 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1 | 0.58200 | 0.0 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | 0.02060 | 33.7 | 0.6942 | 0.6942 |
| 3 | 0.00390 | 125.6 | 0.4898 | 1.1841 |
| 4 | 0.00051 | 326.9 | 0.1667 | 1.3508 |

**Reproduktionsrate eines weiblichen Fisches** **1.4**

Überlebenswahrscheinlichkeit

Rekrutierungs-rate: 0.5

**_Salvelinus fontinalis_ - Aquakultur**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.00000 | 0.0 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1 | 0.90000 | 0.0 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | 0.80000 | 53.9 | 43.1360 | 43.1360 |
| 3 | 0.70000 | 201.0 | 140.6720 | 183.8080 |
| 4 | 0.60000 | 523.0 | 313.8240 | 497.6320 |

**Reproduktionsrate eines weiblichen Fisches** **497.6**

Rekrutierungs-rate: 0.8

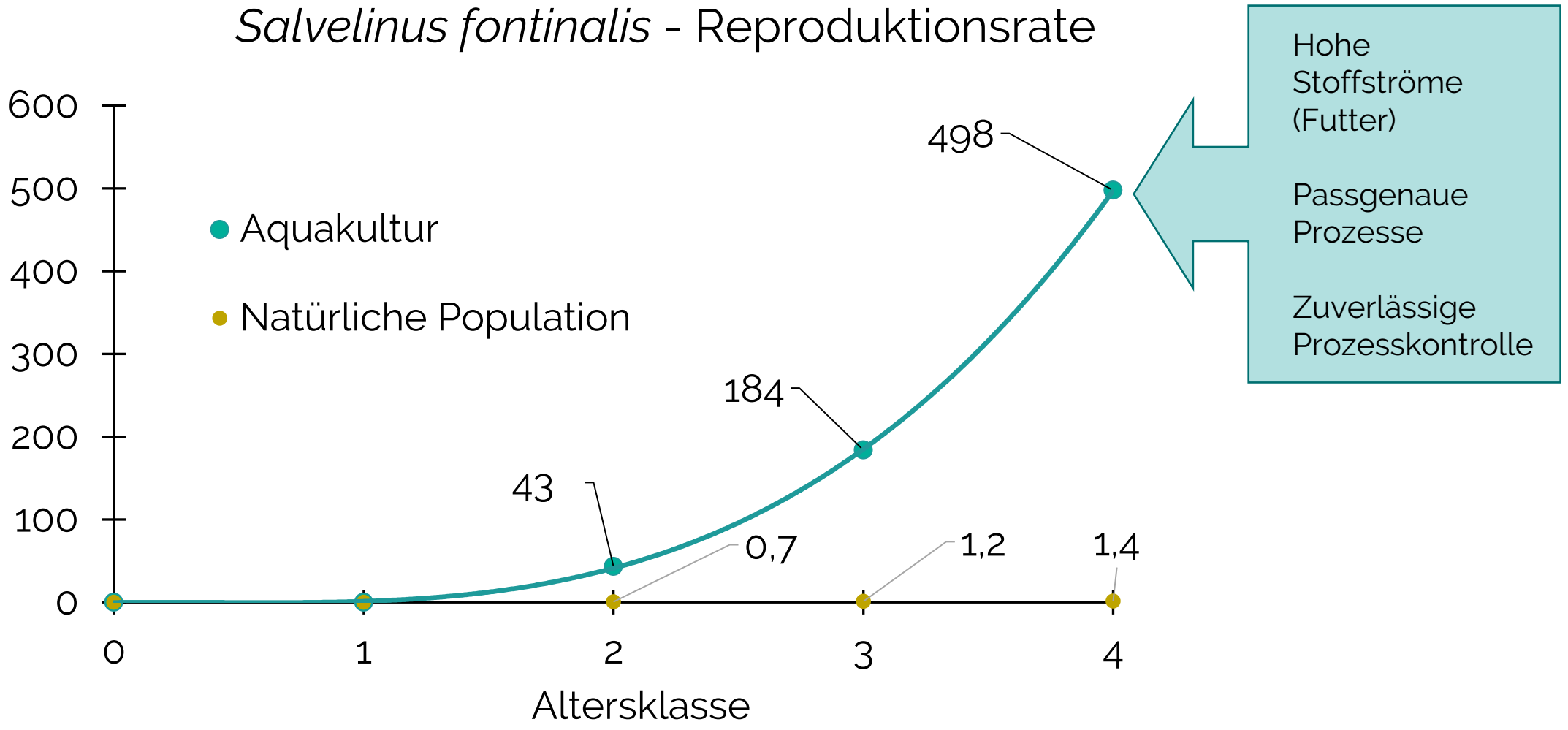
# AQUAKULTUR UND TIERSCHUTZ

## §2 Tierschutzgesetz

Wer ein Tier hält, betreut oder zu betreuen hat,

1. muss das Tier seiner Art und seinen Bedürfnissen entsprechend angemessen **ernähren**, **pflegen** und **verhaltensgerecht** unterbringen,
2. darf die Möglichkeit des Tieres zu **artgemäßer Bewegung** nicht so einschränken, dass ihm Schmerzen oder vermeidbare Leiden oder Schäden zugefügt werden,
3. muss über die für eine angemessene Ernährung, Pflege und verhaltensgerechte Unterbringung des Tieres **erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten** verfügen.

# ÖKOSYSTEM VS AQUAKULTUR

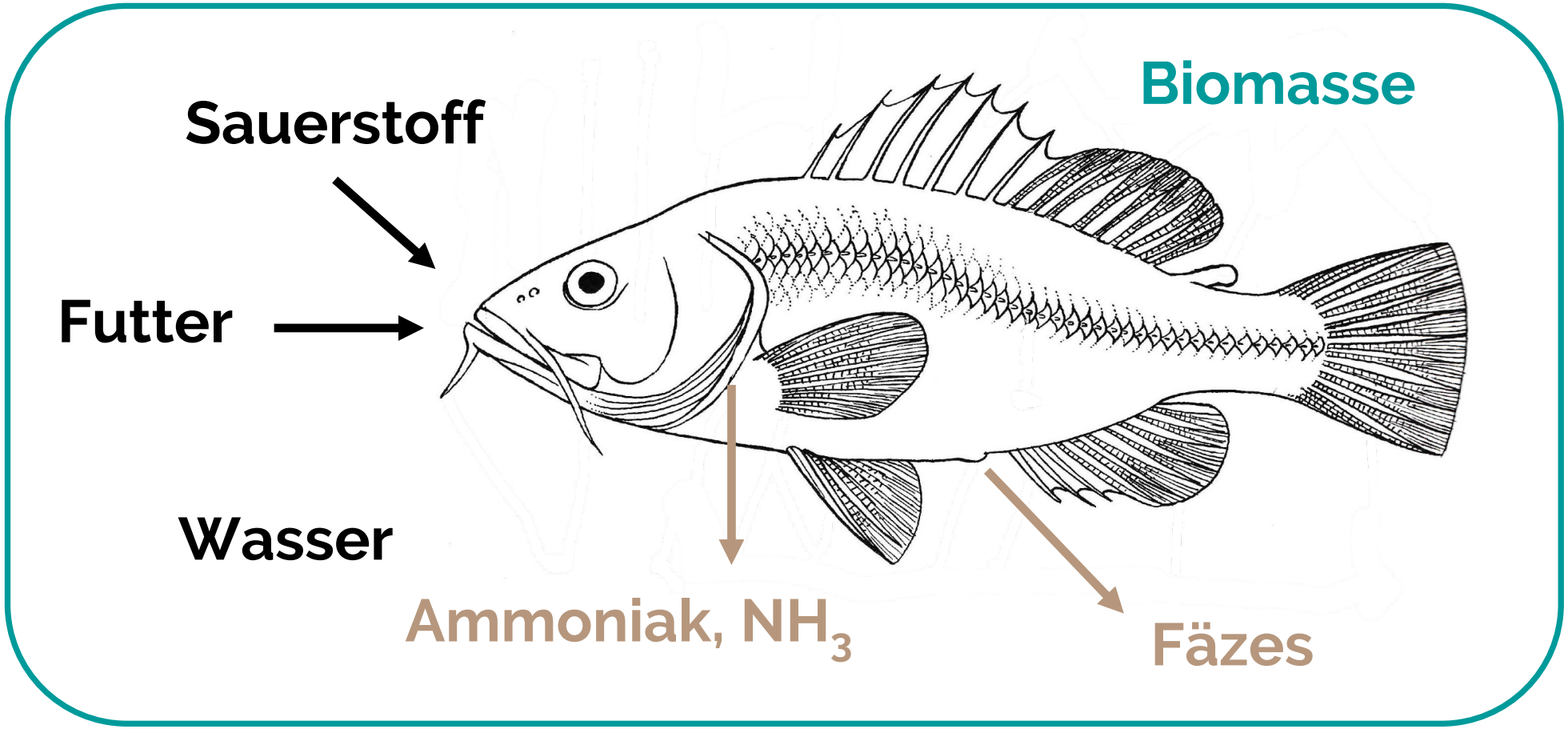


# AQUAKULTUR

| | |
|---|---|
| 1 | Aquakultur ist die Produktion aquatischer Organismen. Das sind Algen, Pflanzen, Wirbellose Organismen und Wirbeltiere. |
| 2 | Aquakultur hat die Optimierung der Produktion aquatischer Organismen zum Ziel. Das erfolgt durch die Erhöhung der Überlebensrate, des Wachstums und der Reproduktionsrate. |
| 3 | Das, nämlich die Erhöhung der Überlebensrate, des Wachstums und der Reproduktionsrate, setzt voraus, dass die Lebensbedingungen in der Aquakultur die natürlichen Lebensbedingungen (Ökosystem) ungeachtet der höheren Lasten einhalten müssen. |
| 4 | Nachhaltige Aquakultur setzt voraus, dass die Produktion entkoppelt von Ökosystemenin geschlossenen Produktionskreisläufen (Kreislaufanlagen) erfolgt. |
| 5 | Geschlossene Produktionskreisläufe ermöglichen Aquakultur auch bei Veränderungen durch den globalen Wandel. |

# DER FISCH IN DER UMWELT DER AQUAKULTUR

## EDUKTE, PRODUKTE, NEBENPRODUKTE



# DER FISCH IN DER UMWELT DER AQUAKULTUR

nach Bone und Marshall, 1985

| Ökotop (Habitat) | Geschätzte Zahl der Fischarten | Geschätzte Anzahl Individuen (N) einer Art | Wasservolumen pro Individuum [$m^3 \cdot N^{-1}$] |
|---|---|---|---|
| Seewasser | 11675 | $10^{10}$ | 1500 |
| Süßwasser | 8275 | $10^{07}$ | 11000 |
| Aquakultur | Ausgehend von einem Individualgewicht eines Fisches von 400 g = 0.4 kg | | 0.008 |

Gruppeneffekt, Schwarmverhalten

# DER FISCH IN DER UMWELT DER AQUAKULTUR

Fische bilden in ihren Lebensräumen spontan Gruppen und Schwärme, so auch Aquakulturen, die Routineverhalten der Fische zulassen.

| Habitat | Besatzdichte [ kg ·m$^3$ ] |
|---|---|
| Seewasser | 0.00030 |
| Süßwasser | 0.00004 |
| Aquakultur im Kreislauf | 50.0000 |

Ausgehend von einem Individualgewicht eines Fisches von 400 g wäre die Besatzdichte 0.4 kg / 1500 $m^3$ ≈ 0.0003 kg · $m^{-3}$ im limnischen bzw. 0.4 kg / 11000 $m^3$ ≈ 0.00004 kg · $m^{-3}$ im marinen Milieu. Dem gegenüber stehen Besatzdichten von 50 kg · $m^3$ in der kreislaufgeführten Aquakultur.

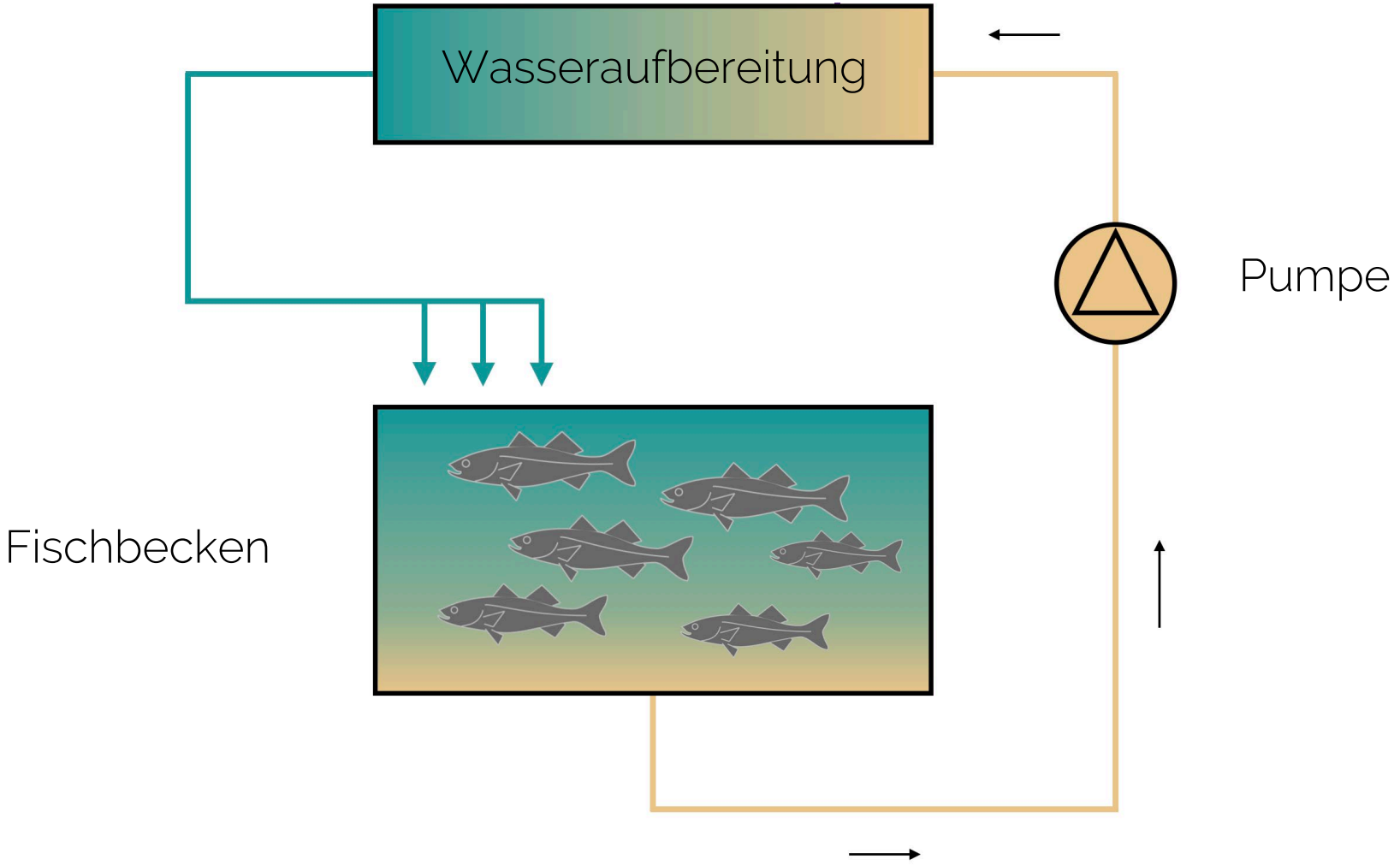
# DER FISCH IN DER UMWELT DER AQUAKULTUR

nach Bone und Marshall, 1985 unter Annahme einer Nahrungsketteneffizienz von 0.01 nach Lalli und Parsons, 1993 bzw. Adey und Loveland, 1998.

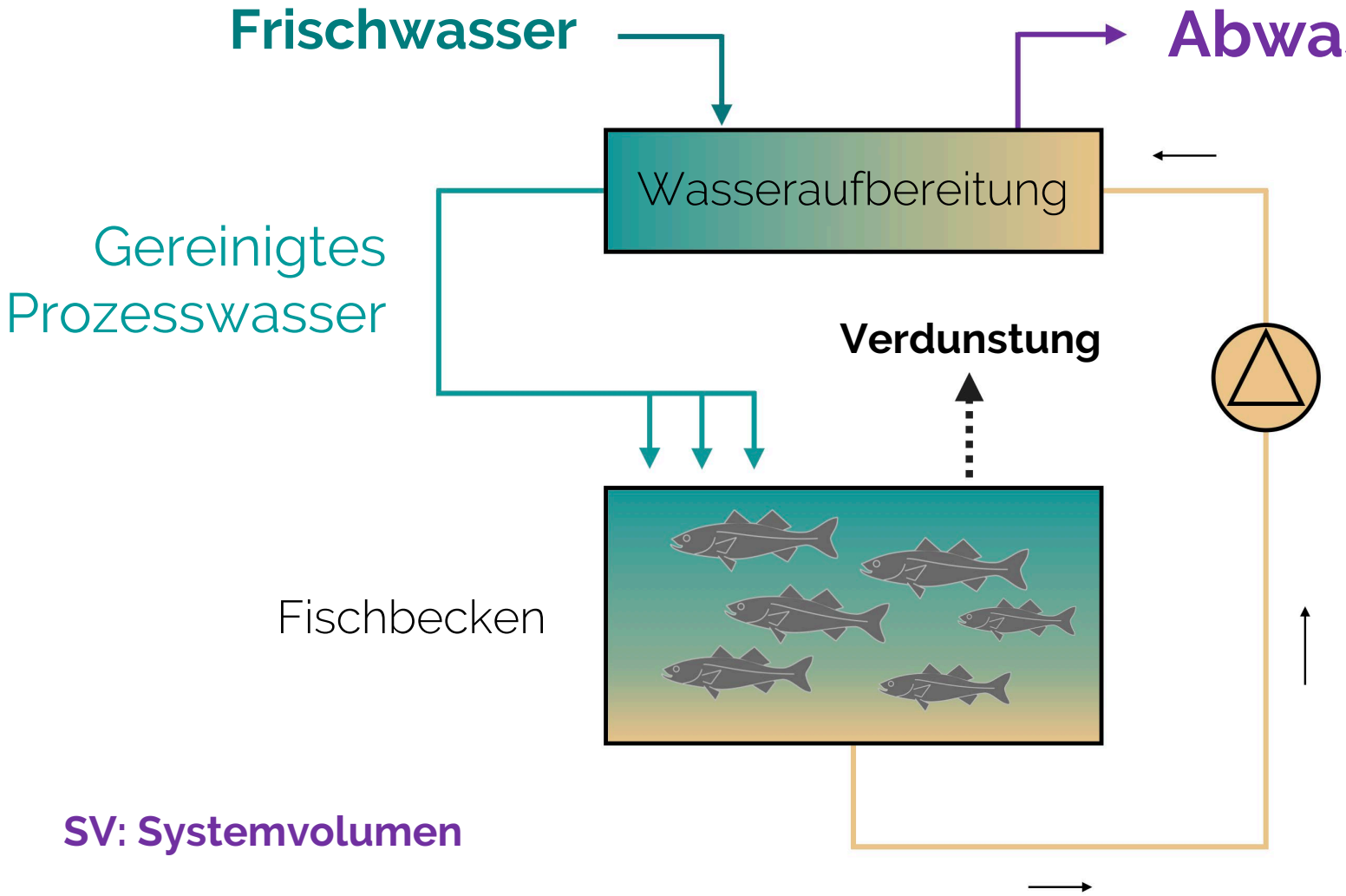
| Habitat | Primäre Produktion [ kg · $m^{-2}$ · $a^{-1}$ ] | Potentielle Fisch-Produktion [ kg · $m^{-2}$ · $a^{-1}$ ] |
|---|---|---|
| Seen und Flüsse | 0.500 | 0.006 |
| Küstenzone | 0.350 | 0.004 |
| Offener Ozean | 0.125 | 0.002 |
| Aquakultur im Kreislauf | *Futter 36.000* | 28.000 |

Regionale Produktion kann signifikant und nachhaltig zur Versorgung beitragen.

# AQUAKULTUR - KREISLAUFSYSTEM



# STANDARD-KREISLAUFANLAGE (KLA)



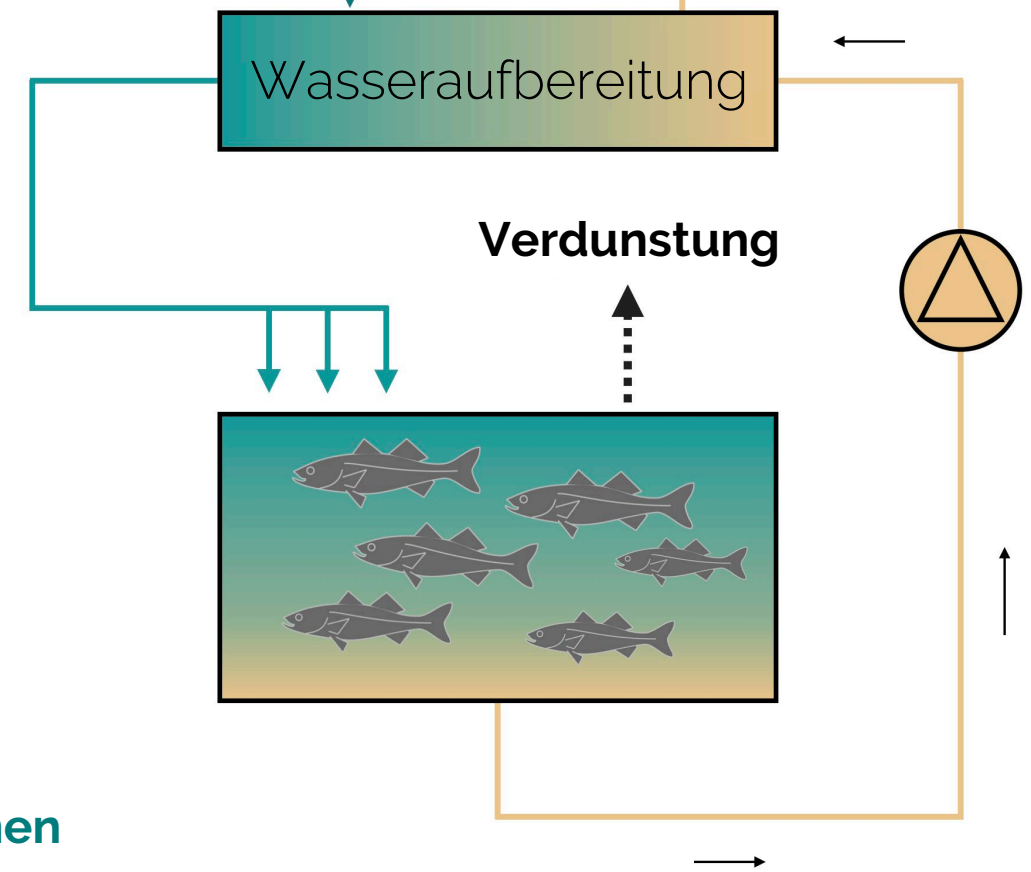

$$\frac{g}{h} = \frac{m^3}{h} \cdot \frac{g}{m^3}$$

**SV: Systemvolumen**

# NEXT GENERATION KLA

**Wasserverbrauch**
**< 1 % SV · $d^{-1}$**

**Wasserverlust, Feststoffe**




Gereinigtes Prozesswasser

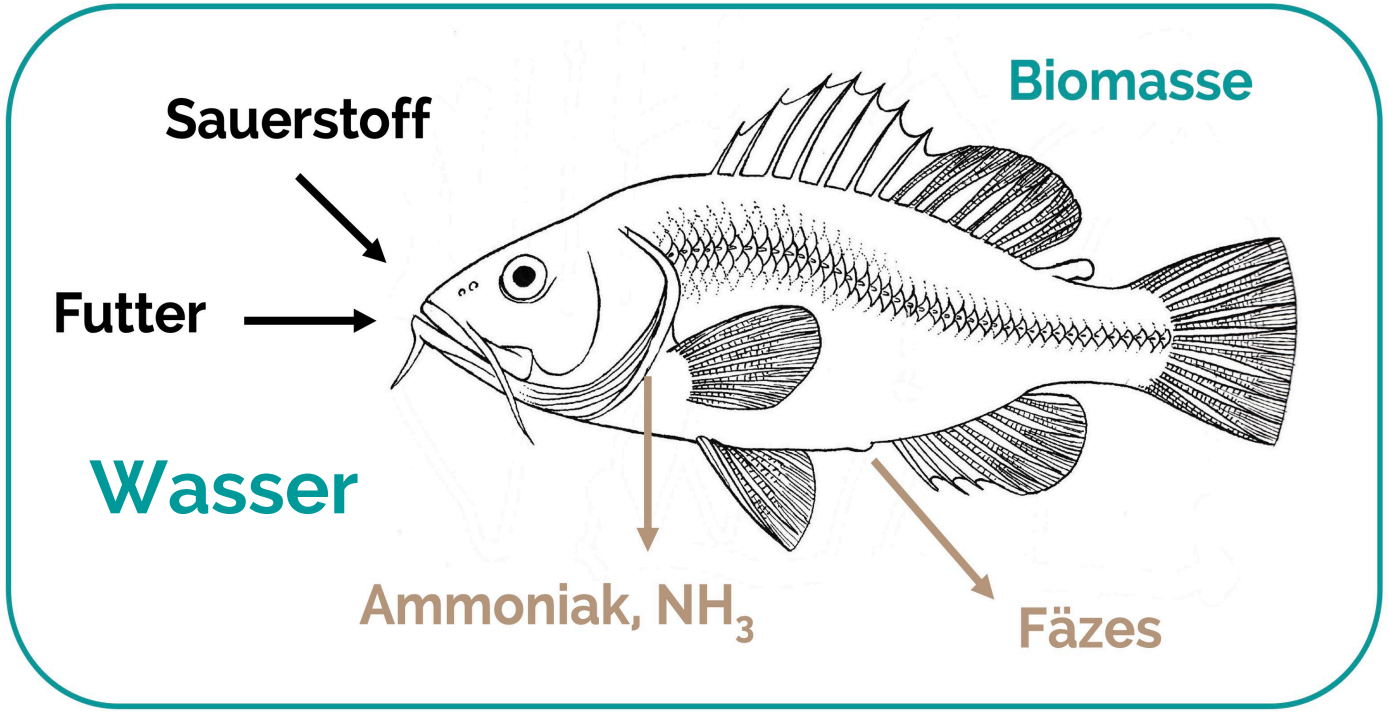
Prozesswasser aus Fischhaltung

*Lebensraum = Entsorgungsweg*

**SV: Systemvolumen**

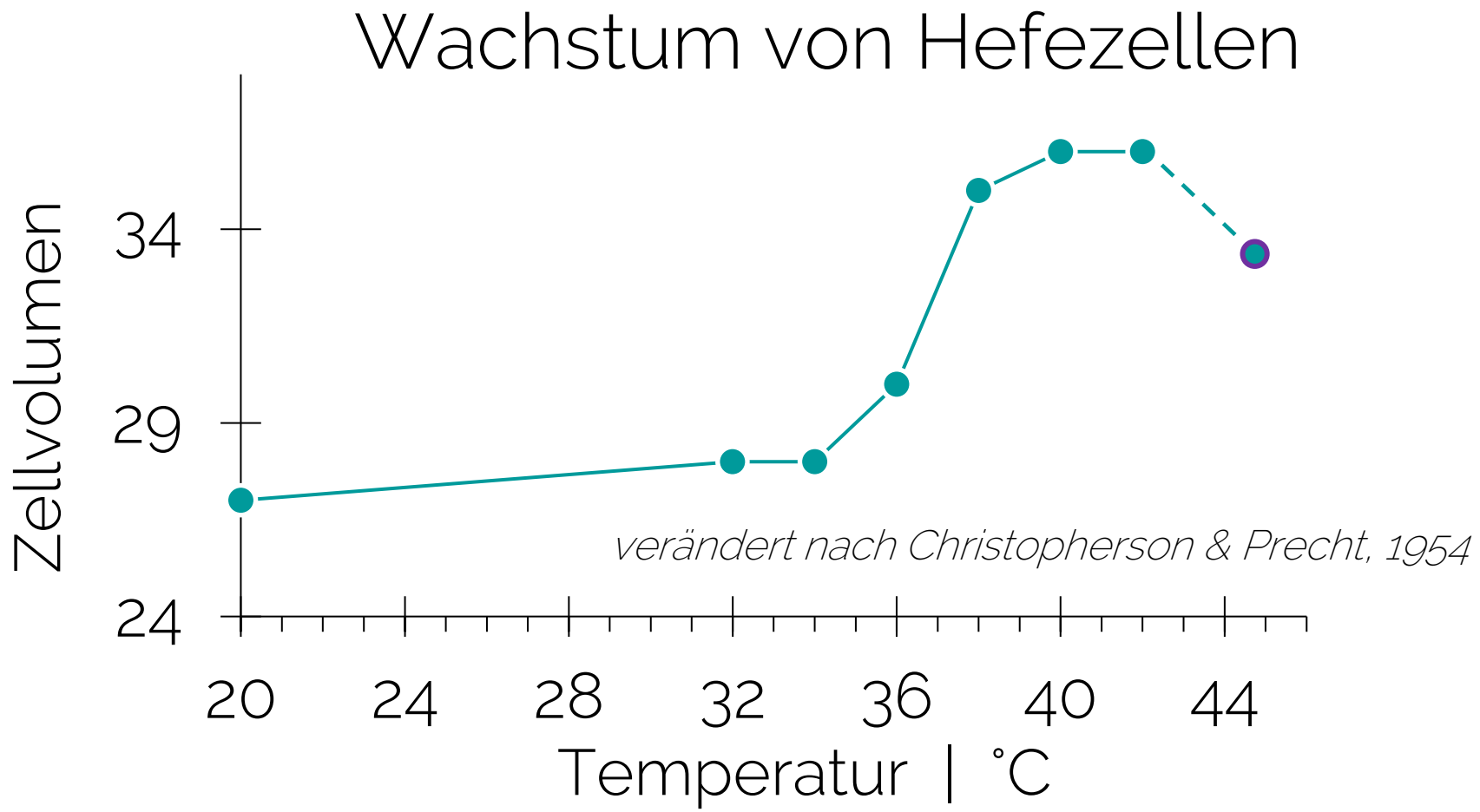
# DIE WASSERTEMPERATUR

Die Wasser-temperatur beeinflusst die Geschwindigkeit aller Prozesse



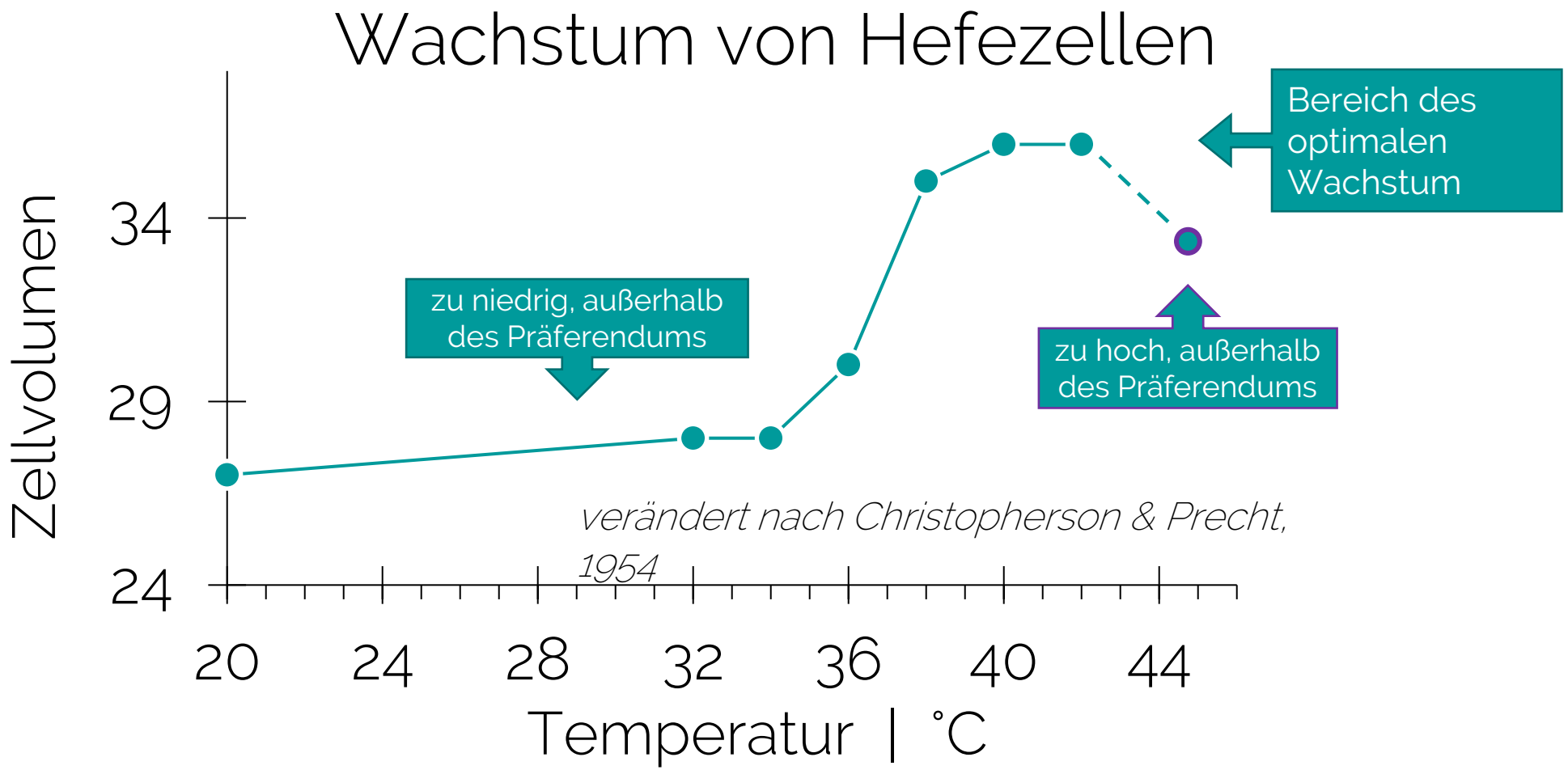
# DIE TEMPERATUR

... ist der bestimmende Faktor in der Biologie



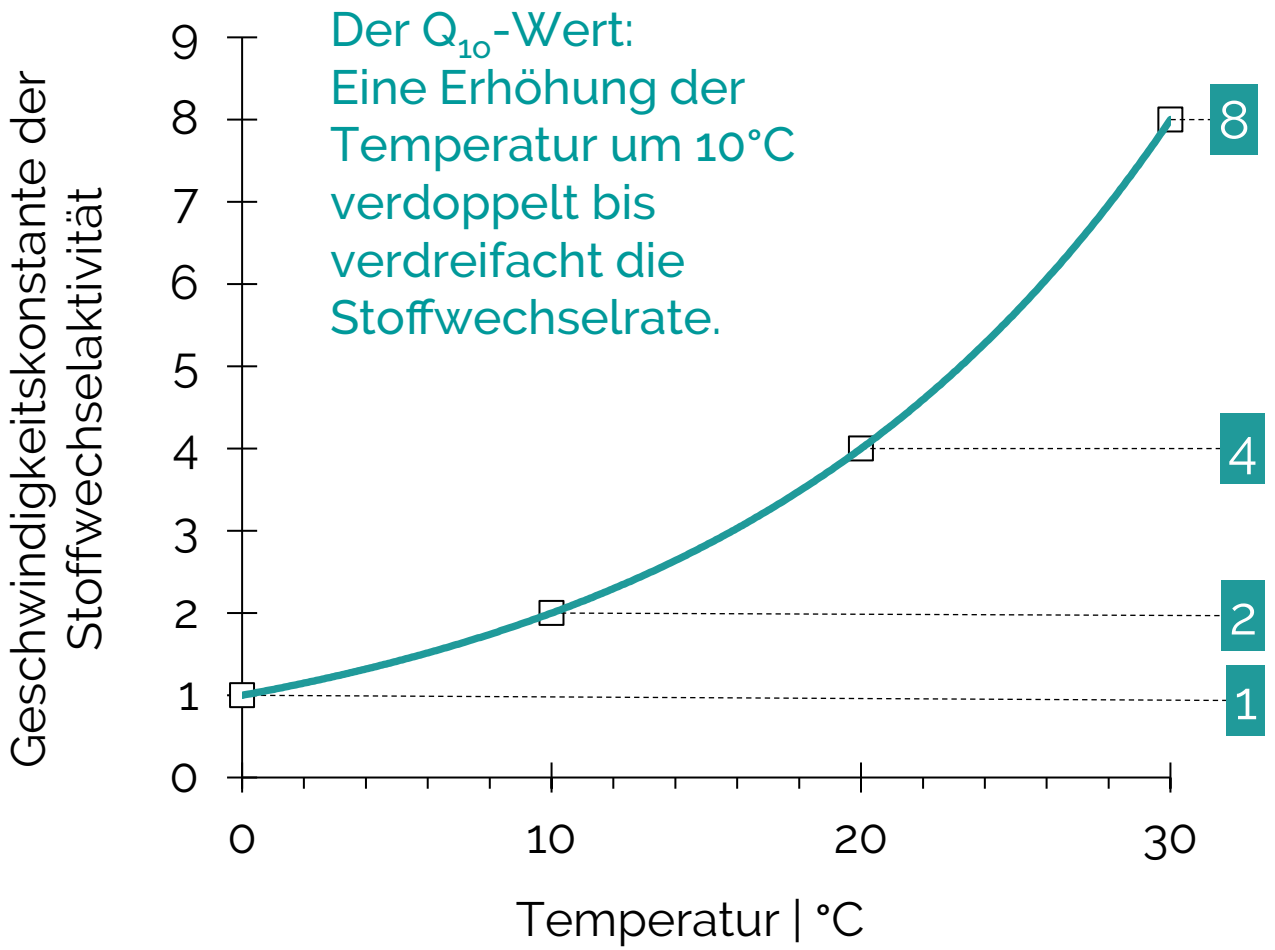
# DIE TEMPERATUR

... ist der bestimmende Faktor in der Biologie



# DER $Q_{10}$-WERT – EINE DAUMENREGEL

… theoretische Temperaturabhängigkeit

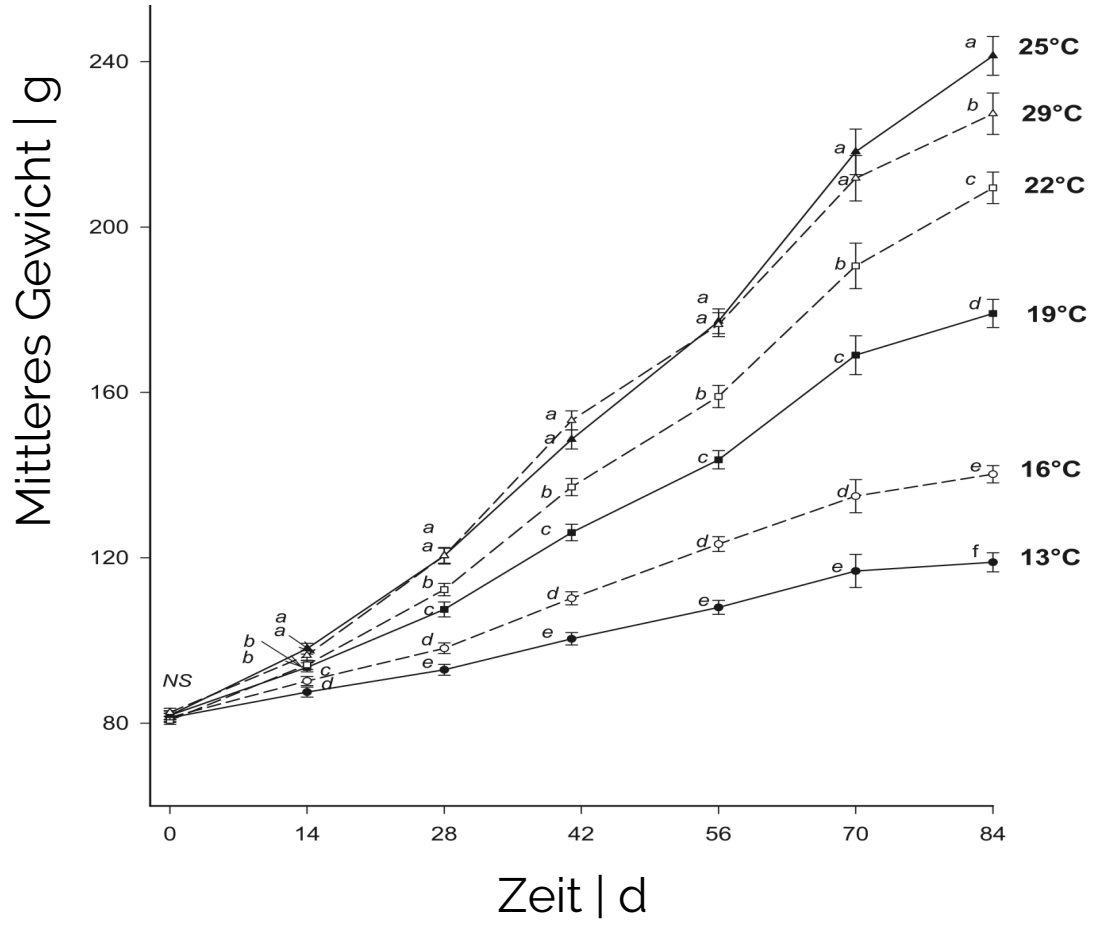



Fische sind wechselwarme Tiere. Sie regulieren die Körpertemperatur nicht, bzw. nur begrenzt.

Das Wachstum von Fischen folgt nur in gewissen Grenzen der Wassertemperatur.

# WAHRE TEMP.ABHÄNGIGKEIT

… Beispiel: Wachstum, Wolfsbarsch, Dicentrarchus labrax




Untersuchung des Wachstums von Wolfsbarschen im Intervall 80 - 230 g Körpergewicht bei steigenden Temperaturen.

Für jede Versuchsgruppe mit einer gewählten Wassertemperatur ist ein Linienzug eingezeichnet.

Die senkrechten Linien zeigen die Standardabweichung um den Mittelwert.

**Aquaculture**
August 2004; 237(1-4) : 269-280
http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.021
© 2004 Elsevier B.V. All rights reserved.

**Archimer** http://www.ifremer.fr/docelec/
Archive Institutionnelle de l'Ifremer

**Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, Dicentrarchus labrax**

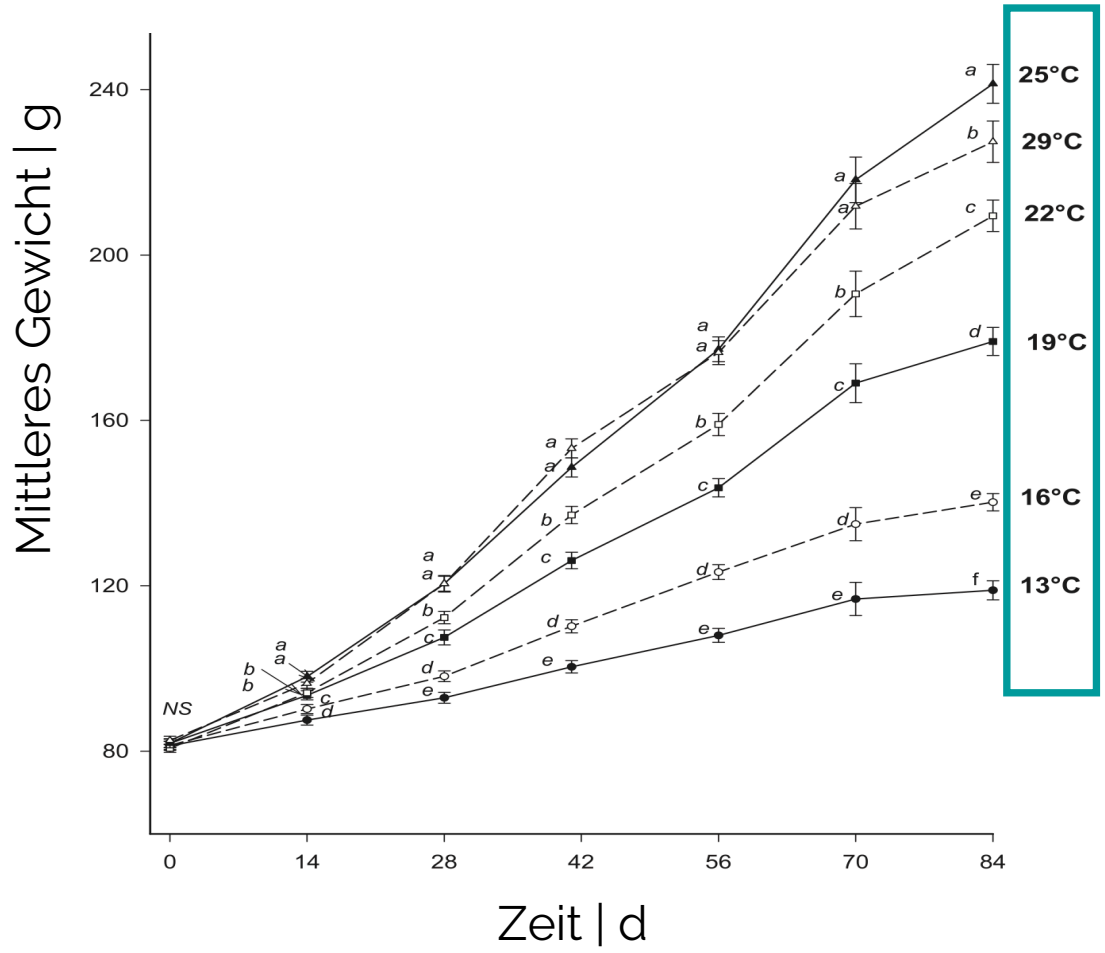
J. Person-Le Ruyet*, K. Mahé, N. Le Bayon and H. Le Delliou

Laboratoire Adaptation Reproduction Nutrition des Poissons, UMR Inra-Ifremer-Université de Bordeaux I, Ifremer, Centre de Brest, BP 70, 29280, Plouzané, France

* Corresponding author. Jeannine.Person@ifremer.fr Tel.: +33-2-98-22-43-91; fax: +33-2-98-22-43-66

# WAHRE TEMP.ABHÄNGIGKEIT

… Beispiel: Wachstum, Wolfsbarsch, Dicentrarchus labrax




Was fällt auf ?

**Aquaculture**
August 2004; 237(1-4) : 269-280
http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.021
© 2004 Elsevier B.V. All rights reserved.

**Archimer** http://www.ifremer.fr/docelec/
Archive Institutionnelle de l'Ifremer

**Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, Dicentrarchus labrax**

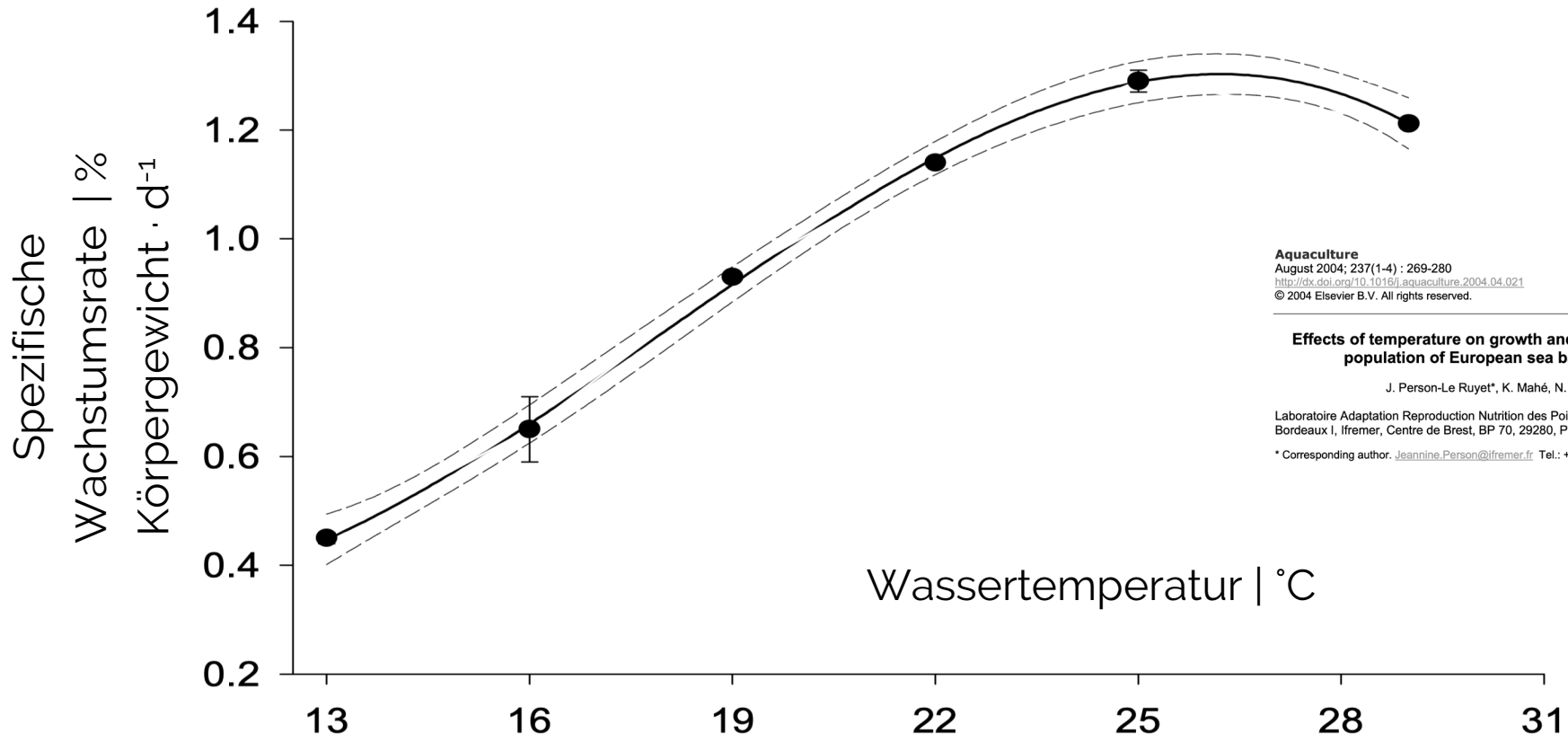
J. Person-Le Ruyet*, K. Mahé, N. Le Bayon and H. Le Delliou

Laboratoire Adaptation Reproduction Nutrition des Poissons, UMR Inra-Ifremer-Université de Bordeaux I, Ifremer, Centre de Brest, BP 70, 29280, Plouzané, France

* Corresponding author. Jeannine.Person@ifremer.fr Tel.: +33-2-98-22-43-91; fax: +33-2-98-22-43-66

# WAHRE TEMP.ABHÄNGIGKEIT

... Beispiel: Wachstum, Wolfsbarsch, Dicentrarchus labrax




**Aquaculture**
August 2004; 237(1-4) : 269-280
http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.021
© 2004 Elsevier B.V. All rights reserved.

**Archimer** http://www.ifremer.fr/docelec/
Archive Institutionnelle de l'Ifremer

**Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, Dicentrarchus labrax**

J. Person-Le Ruyet*, K. Mahé, N. Le Bayon and H. Le Delliou

Laboratoire Adaptation Reproduction Nutrition des Poissons, UMR Inra-Ifremer-Université de Bordeaux I, Ifremer, Centre de Brest, BP 70, 29280, Plouzané, France

* Corresponding author. Jeannine.Person@ifremer.fr Tel.: +33-2-98-22-43-91; fax: +33-2-98-22-43-66

# STOFFWECHSEL-ABWÄRME

| Nährstoff | $O_2$ –Verbrauch [ Liter $O_2 \cdot g^{-1}$ ] | Physiologischer Brennwert [ $kJ \cdot g^{-1}$ $O_2$] | energetisches Äquivalent [ $kJ \cdot Liter^{-1}$ $O_2$ ] |
|---|---|---|---|
| Kohlenhydrate | 0,82 | 17,2 | 21,1 |
| Lipide | 2,02 | 39,4 | 19,5 |
| Proteine | 0,96 | 18,0 | 18,8 |
| Mittelwert | 1.26 | 24.8 | 19.8 |

$1.26 \cdot 19.8 \approx 25$

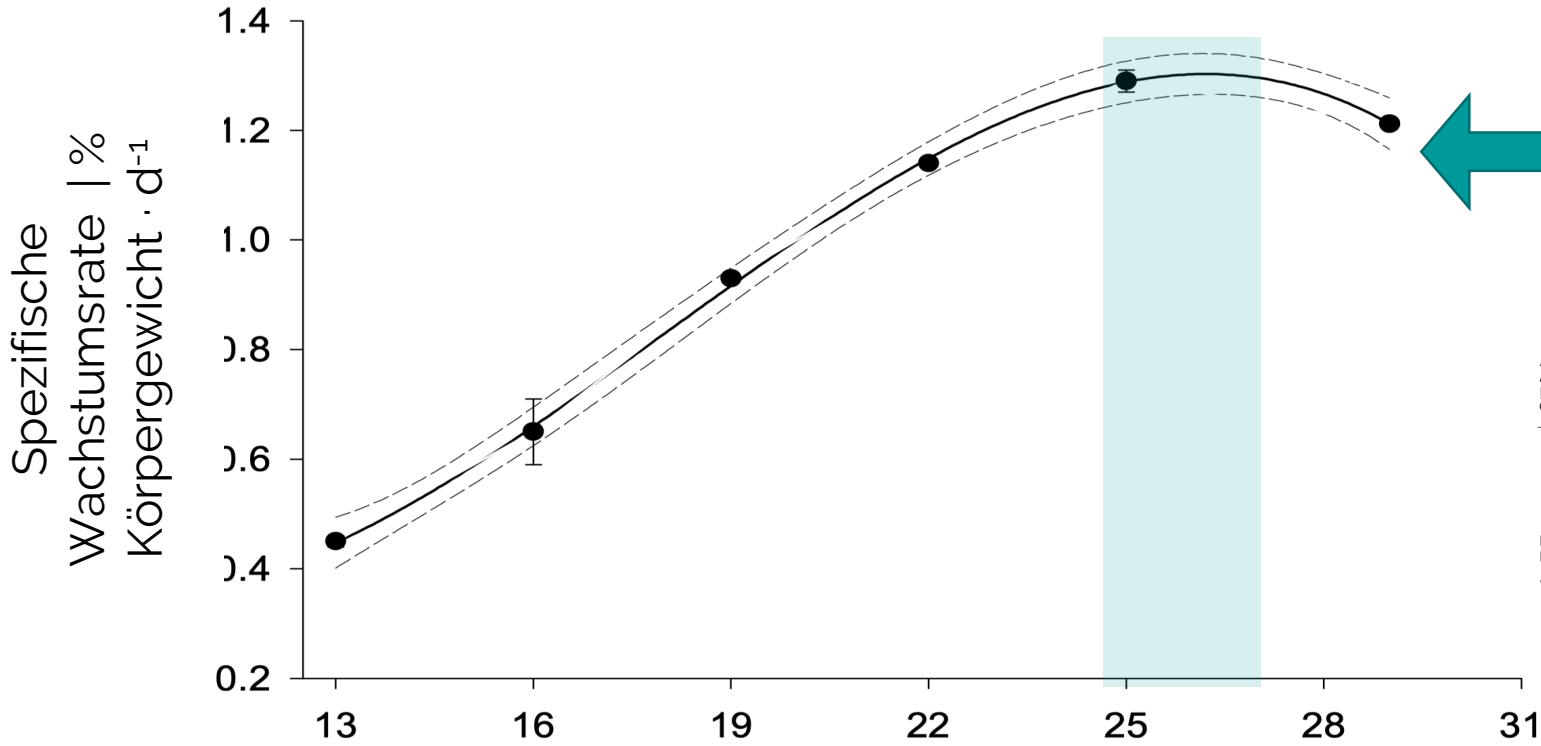
Je Liter Sauerstoff ($O_2$) werden im Mittel 25 KJ Wärme freigesetzt

man muss einem Kilogramm Wasser eine Wärmemenge von 4,2 kJ zuführen, um es um 1°C zu erwärmen.

# WAHRE TEMP.ABHÄNGIGKEIT

... Beispiel: Wachstum, Wolfsbarsch, Dicentrarchus labrax

Der Fisch heizt seine Umwelt.




Optimales Wachstum = maximaler Wärmeeintrag in das RAS

**Aquaculture**
August 2004; 237(1-4) : 269-280
http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.021
© 2004 Elsevier B.V. All rights reserved.
**Archimer** http://www.ifremer.fr/docelec/
Archive Institutionnelle de l'Ifremer

**Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, Dicentrarchus labrax**

J. Person-Le Ruyet*, K. Mahé, N. Le Bayon and H. Le Delliou

Laboratoire Adaptation Reproduction Nutrition des Poissons, UMR Inra-Ifremer-Université de Bordeaux I, Ifremer, Centre de Brest, BP 70, 29280, Plouzané, France

* Corresponding author. Jeannine.Person@ifremer.fr Tel.: +33-2-98-22-43-91; fax: +33-2-98-22-43-66

# ZUM MITNEHMEN

| | |
|---|---|
| 1 | Die Wassertemperatur bestimmt die Stoffwechselaktivität bei Fischen. Das optimale Temperaturfenster definiert den Arbeitspunkt in einem RAS. |
| 2 | Fische haben je nach ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet ein optimales Temperaturfenster |
| 3 | Außerhalb des optimalen Temperaturfensters ist das Wachstum suboptimal. |
| 4 | Zu hohe und zu niedrige Temperaturen führen zu Stress und sind für Fische lebensbedrohlich. |
| 5 | Die geringere Sauerstofflöslichkeit bei steigenden Wassertemperaturen ist ein Faktor, der zu Stressreaktionen führt. |
| 6 | Eine unerklärte Erhöhung der Wassertemperatur ist in keinem Fall eine geeignete Maßnahme zur Optimierung der Produktion. |
| 7 | Suboptimale Wassertemperaturen sind ein Verstoß gegen das Tierschutzgesetz. |

# HYDRODYNAMIK VS. ROUTINEAKTIVITÄT

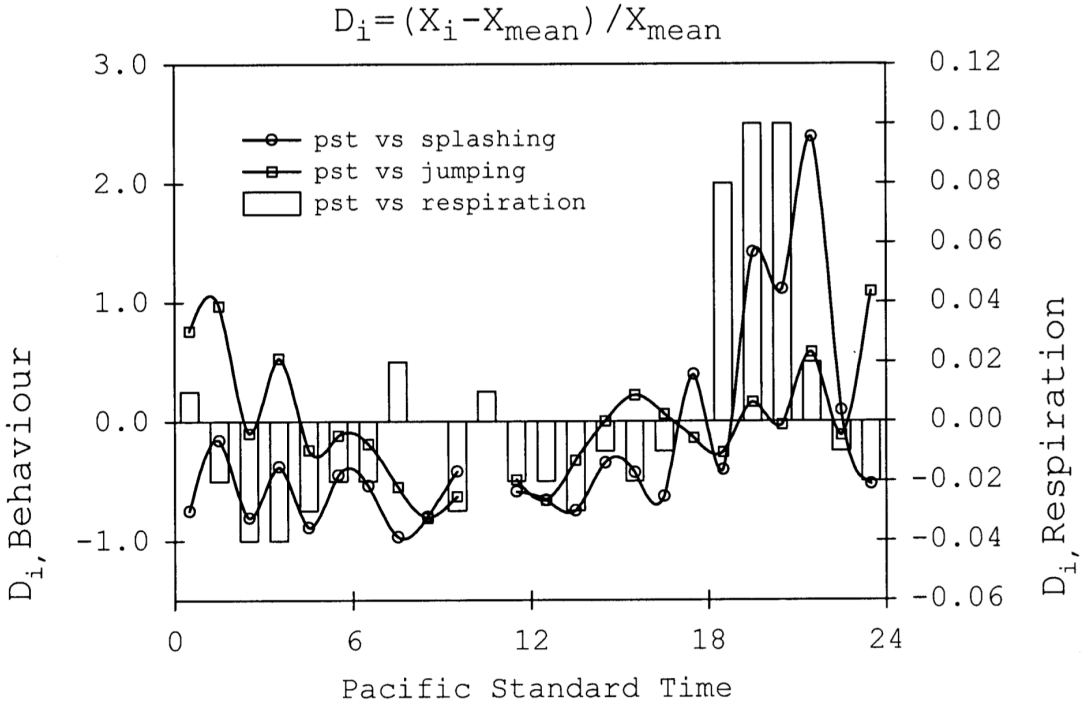
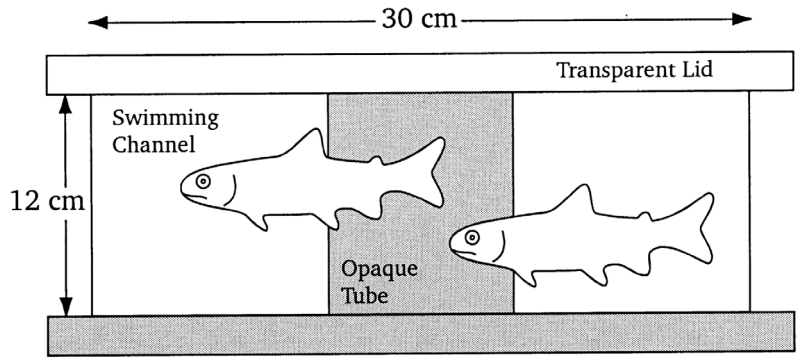



Fig. 7. Summary of respiration measurements and behavioural observations at Eagles Landing fish farm (Sansum Narrows, Vancouver Island, British Columbia). The results are given as the deviation from the arithmetic mean for the entire observational period: $D_i = (X_i - X_{mean})/X_{mean}$




J. Appl. Ichthyol. 16 (2000), 14–19
© 2000 Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
ISSN 0175–8659

*Received: February 9, 1999*
*Accepted: May 7, 1999*

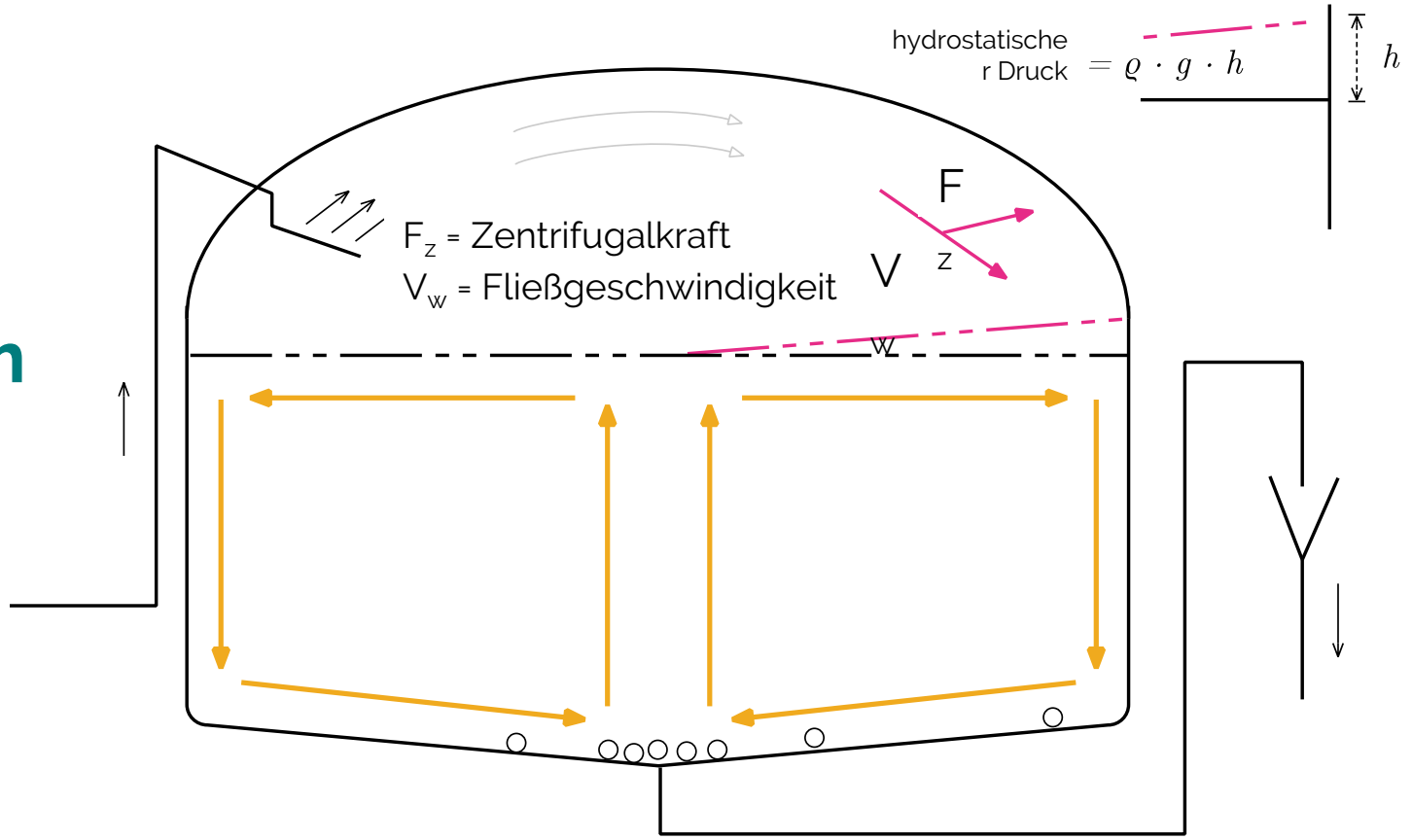
**The reaction of young coho *Oncorhynchus kisutch* to declining oxygen levels during long-term exposure**

By U. Waller[1], E. Black[2], D. Burt[3], C. Groot[3] and H. Rosenthal[1]

[1]*Department of Fishery Biology, Institute for Marine Sciences, University of Kiel, Kiel, Germany*; [2]*British Columbia Ministry of Fisheries, Sustainable Economic Development Branch, Courtenay, British Columbia, Canada*; [3]*Pacific Biological Station, Nanaimo, British Columbia, Canada*

# HYDRODYNAMIK VS. ROUTINEAKTIVITÄT

## Standard Kreislaufsystem

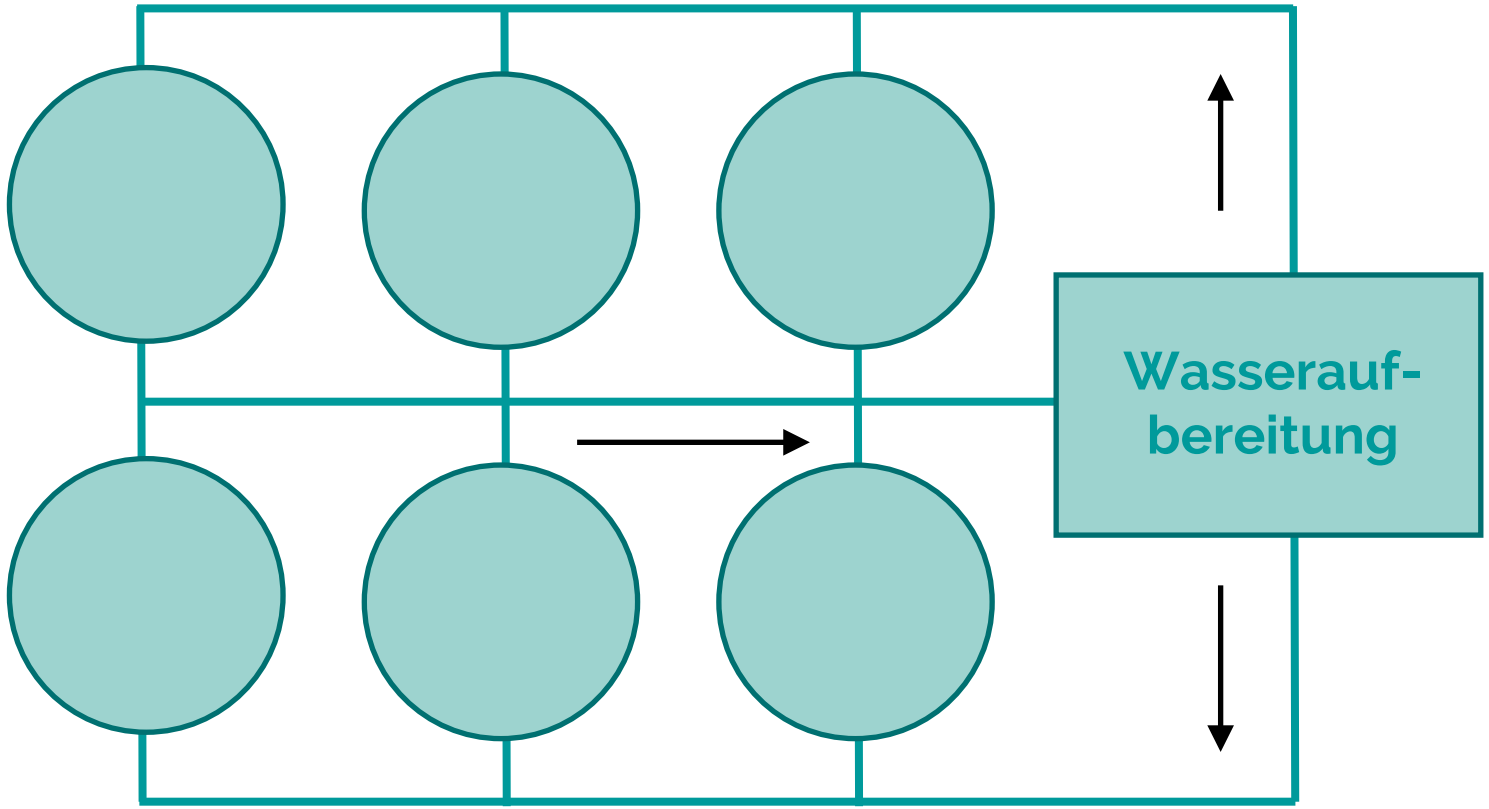


# HYDRODYNAMIK VS. ROUTINEAKTIVITÄT

## Standard - RAS

- oft falsche Auslegung
- schwierige Prozessführung
- unzureichende Wassergeschwindigkeit,

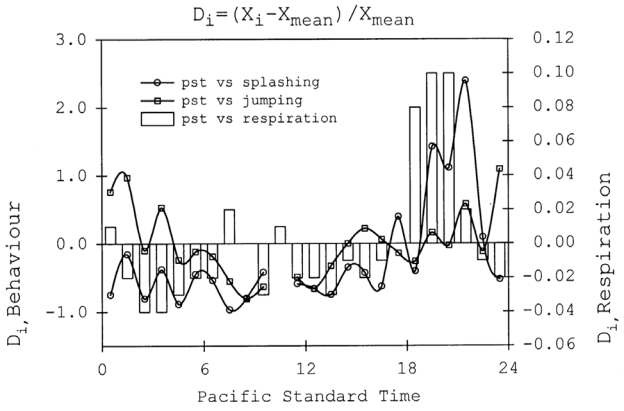
  die aber bereits für die Fische unzuträglich sein kann.

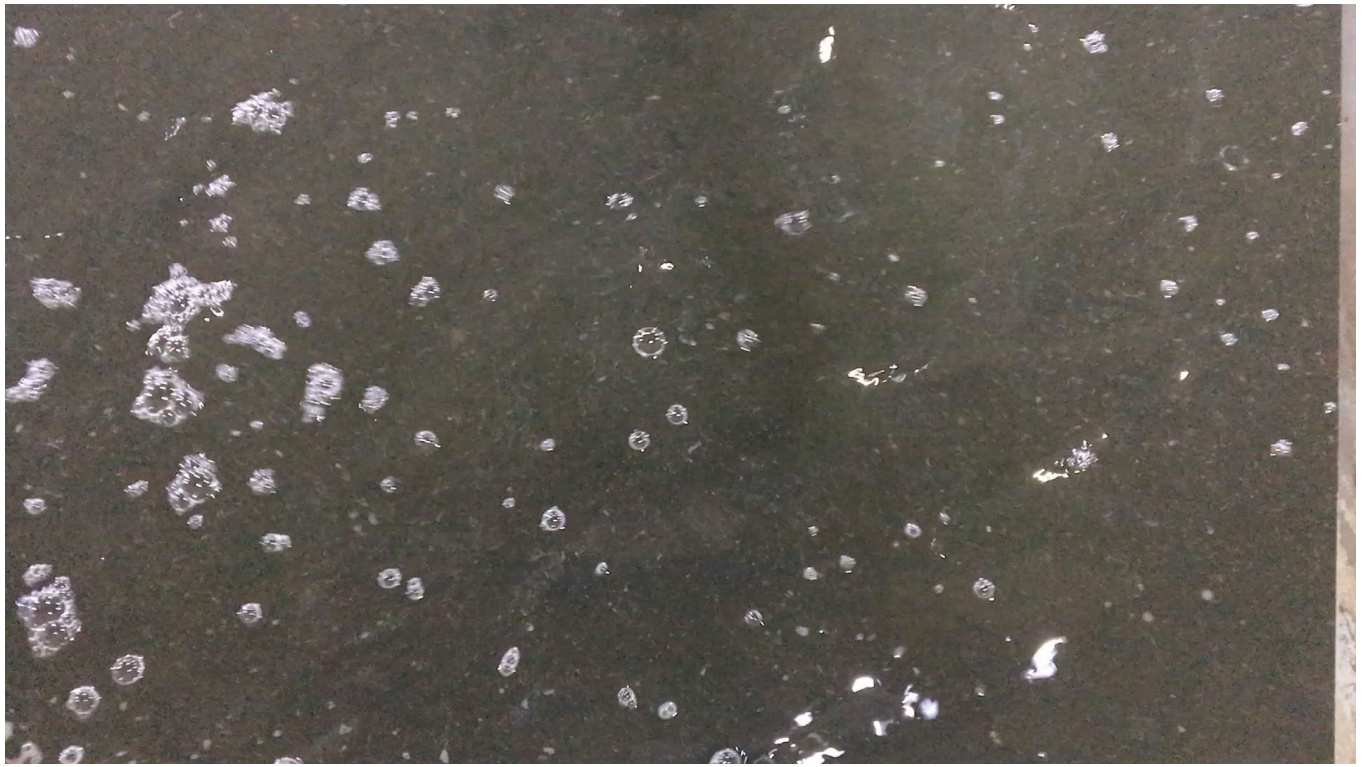


# HYDRODYNAMIK VS. ROUTINEAKTIVITÄT

## Standard - RAS

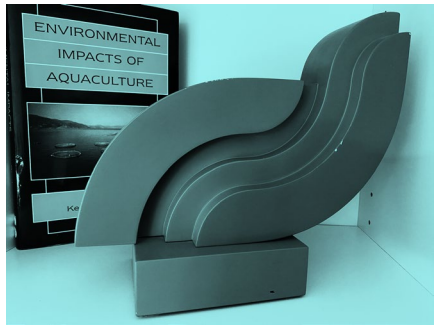
Fische sind gezwungen, kontinuierlich gegen die Strömung zu schwimmen.



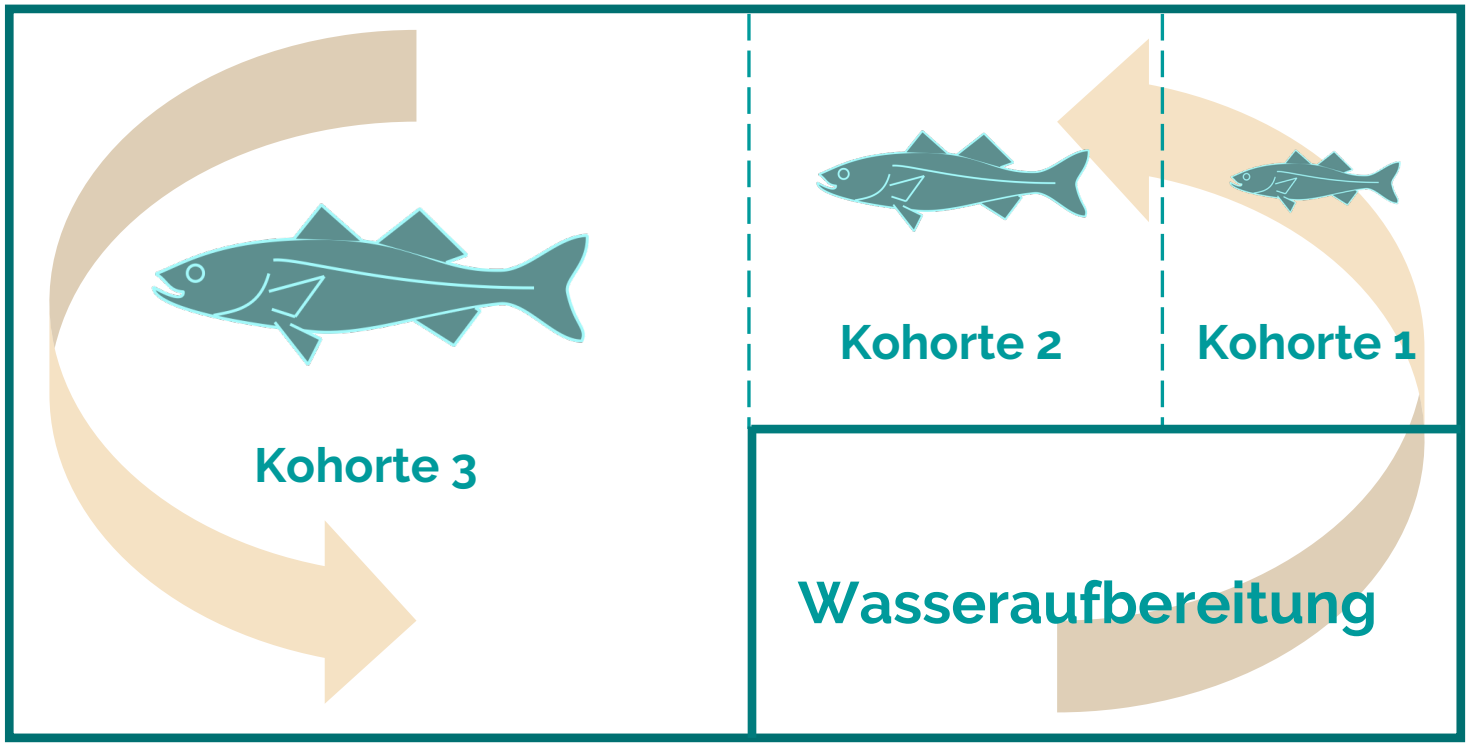
# HYDRODYNAMIK VS. ROUTINEAKTIVITÄT

## Modernes Kreislaufsystem




Dr rer nat Uwe Waller
Preis für Maritime
Technologie der
REGION K.E.R.N 2001

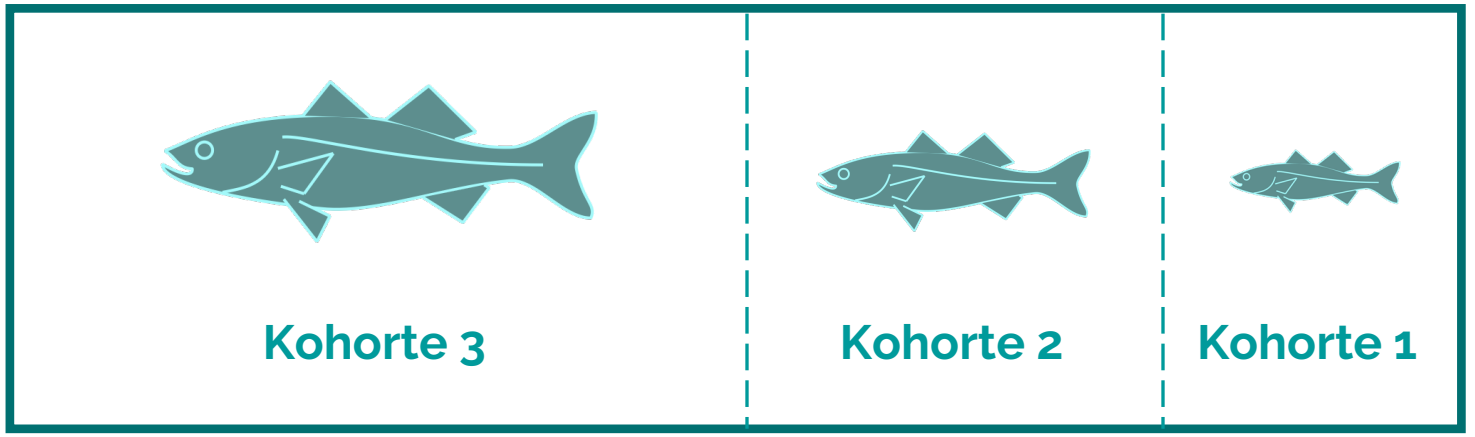
**Becken mit variabler Abtrennung → drei Kohorten**



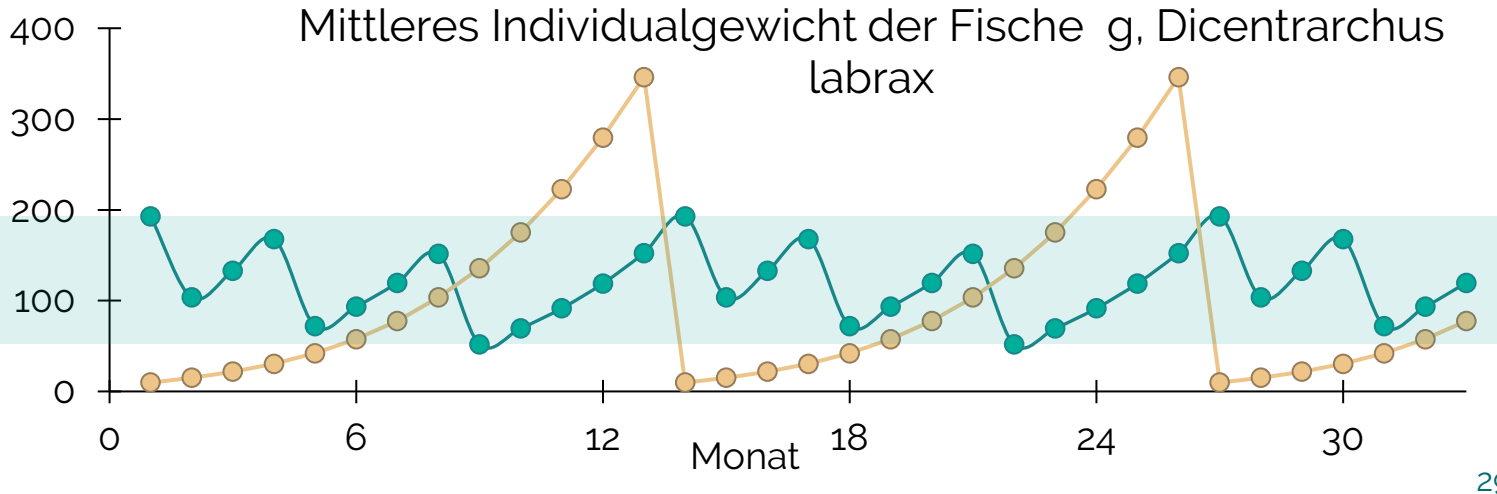

Manning vs. Darcy-Weisbach

# HYDRODYNAMIK VS. ROUTINEAKTIVITÄT

**Modernes Kreislaufsystem**




**Arbeitsbereich**



# HYDRODYNAMIK VS. ROUTINEAKTIVITÄT

## Modernes Kreislaufsystem

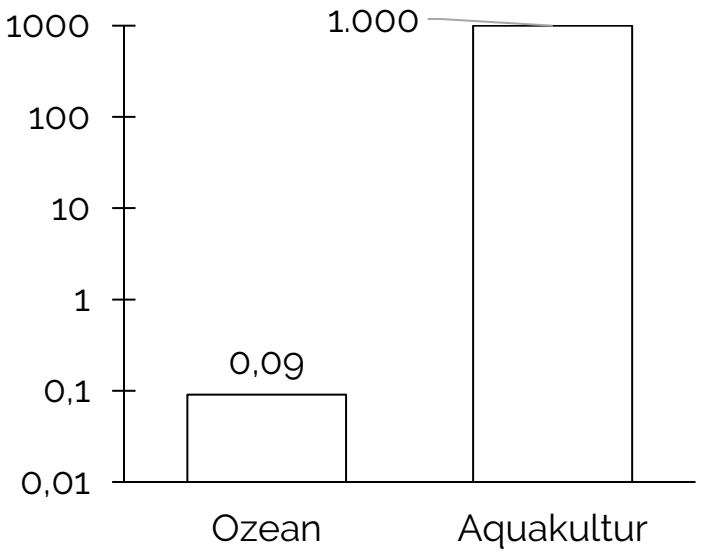
- Unterstützung des Routineverhalten
- Minimierung des Energieverbrauchs
- Vermeidung von agonistischem Verhalten (Verletzungen)

# ZUM MITNEHMEN

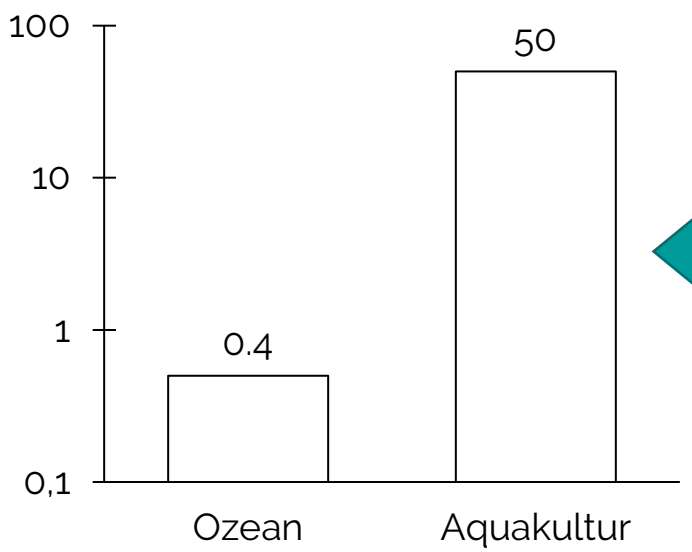
| | |
|---|---|
| 1 | Das Routineverhalten von Fischen muss durch die Geometrie und Hydrodynamik des Fischbeckens unterstützt werden. |
| 2 | Fische haben haben ein artspezifisches Verhalten im Verlauf der Evolution entwickelt und sich an die natürlichen Bedingungen in ihrem angestammten Verbreitungsgebiet angepasst. |
| 3 | Es kann davon ausgegangen werden, dass das Routineverhalten einen minimalen Energieverbrauch bedingt. |
| 4 | Routineverhalten bedeutet Stressvermeidung durch Ordnung in einer Gruppe oder einem Schwarm. |
| 5 | Suboptimale Beckengeometrien verstoßen gegen das Tierschutzgesetz. |

# BIOGEOCHEMISCHE KREISLÄUFE DER OZEANE

Gelöster Stickstoff | mg · Liter$^{-1}$

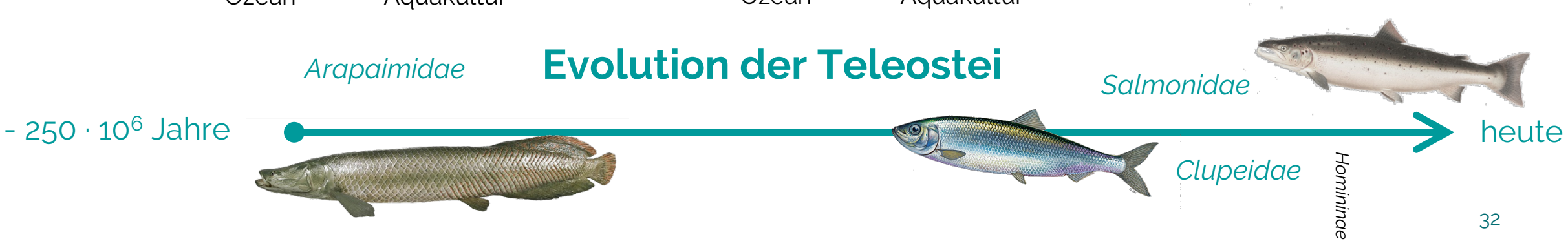



Gelöstes Kohlenstoffdioxid | mg · Liter$^{-1}$




Stoffwechselprozesse haben sich während der Evolution entwickelt. Biologische Grenzen sind schon lange vorgegeben und müssen in Aquakulturen berücksichtigt werden (Design und Betrieb).

## Evolution der Teleostei

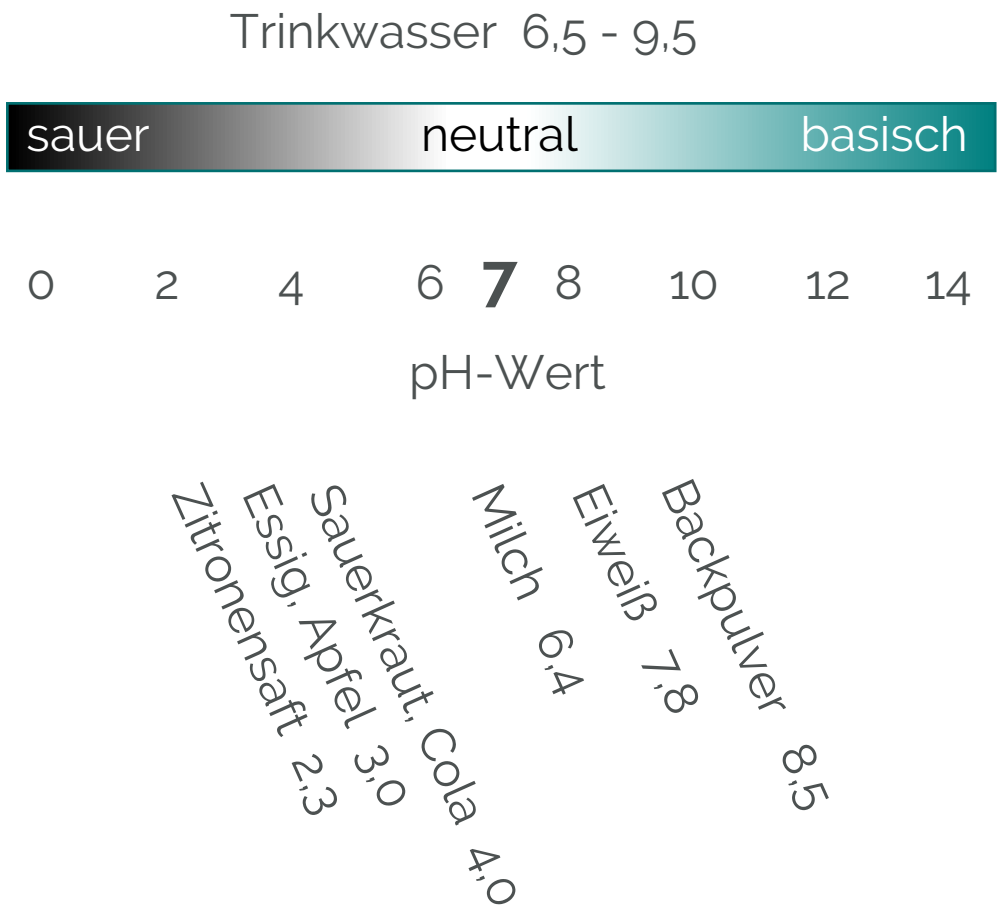


# DER pH-WERT

Maßzahl, die den sauren oder basischen Charakter einer Lösung beschreibt.

< 7 = sauer

> 7 = basisch



# CO2 UND pH-WERT

Reaktion 1

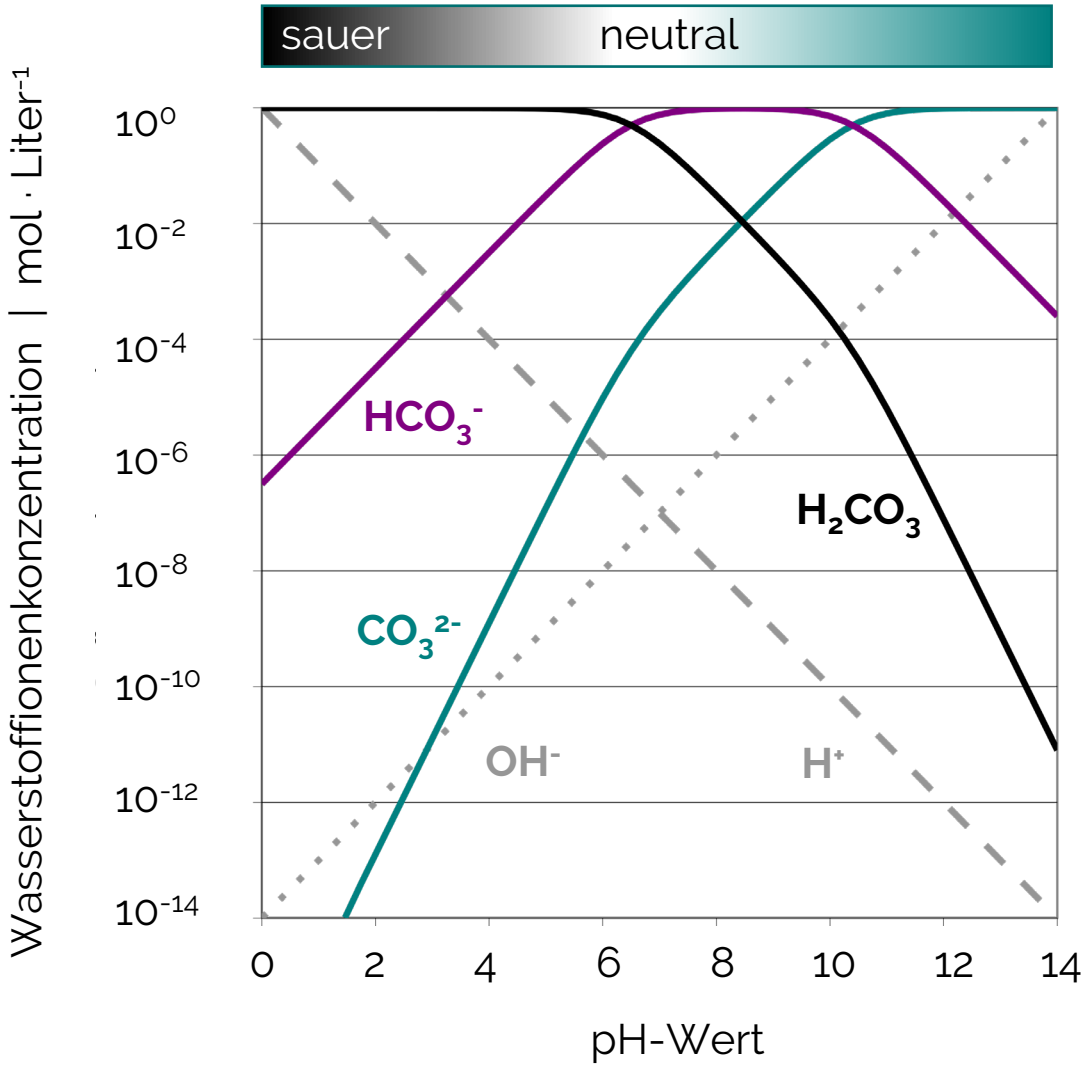
Kohlenstoffdioxid

Wasser

Kohlensäure

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$$

pH-Wert = Gegenzahl des dekadischen Logarithmus (Zehnerlogarithmus) der Wasserstoffionen-Aktivität.



# CO2 UND pH-WERT

Reaktion 2

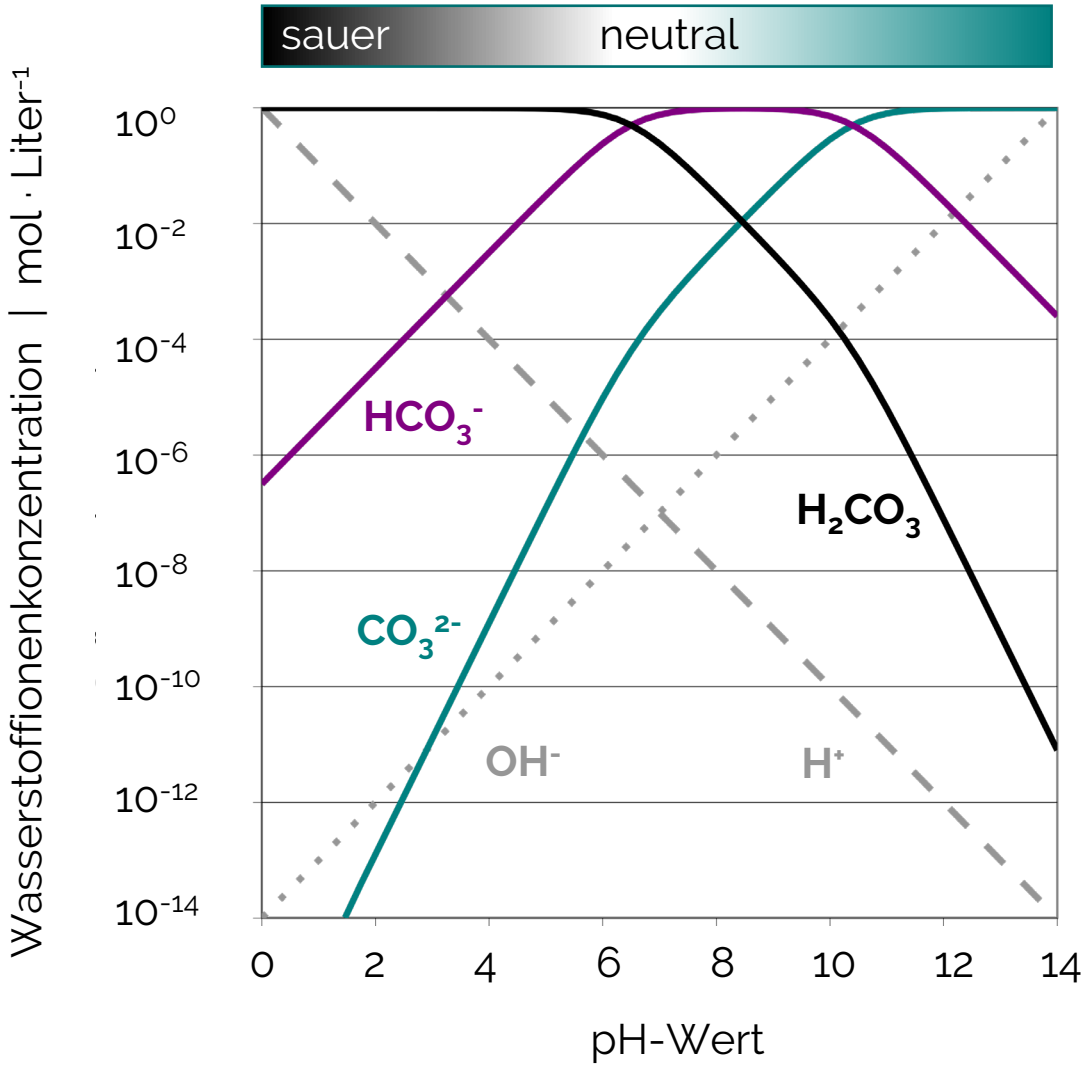
Kohlenstoffdioxid

Wasser

Hydrogencarbonat

$$H_2CO_3 + H_2O \rightleftarrows H^+ + HCO_3^-$$

das Wasser wird „sauer“



# CO2 UND pH-WERT

Reaktion 3

Hydrogencarbonat

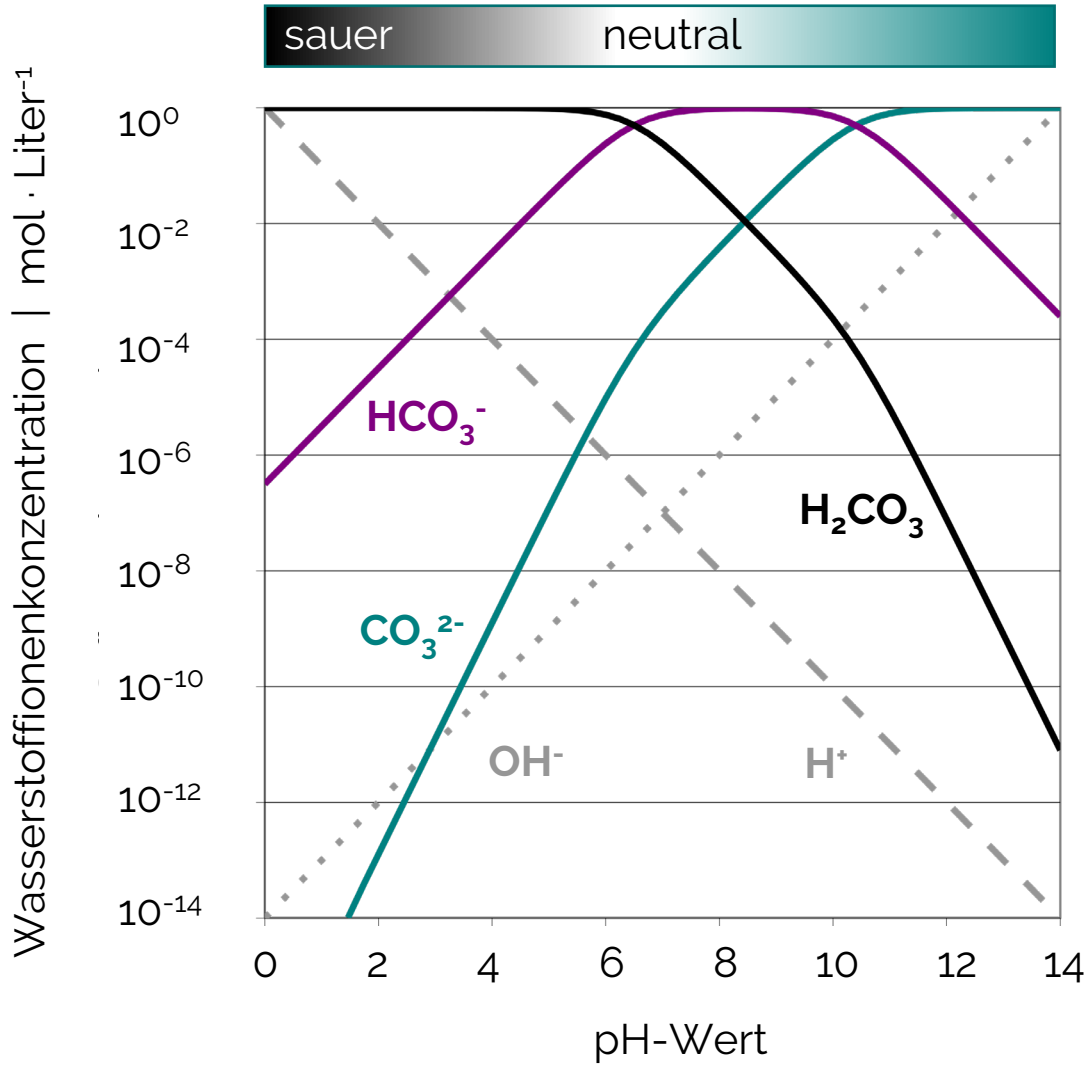
Wasser

Carbonat

Calciumhydroxid

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftarrows CO_3^{2-} + H^+$$

$$Ca(OH)_2 + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$



# MERKE!

$$CO_2 \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows HCO_3^- \rightleftarrows CO_3^{2-}$$

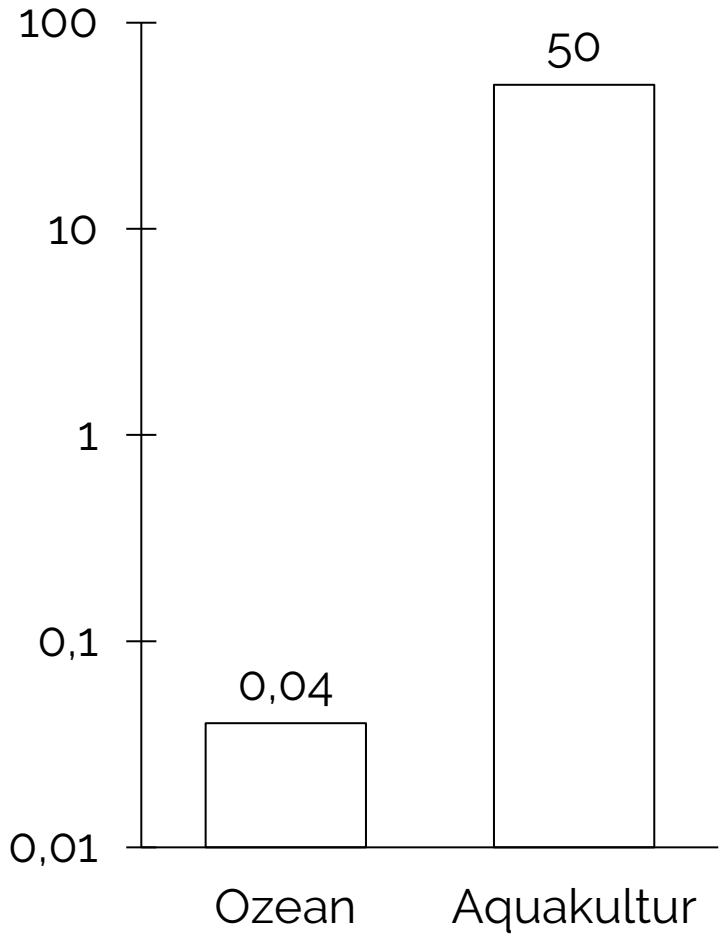
im Wasser bildet sich Calciumcarbonat, $CaCO_3$ ,
das einen $CO_2$ Speicher darstellt.

Calciumcarbonat bestimmt die Härte (°dH) des Wassers.

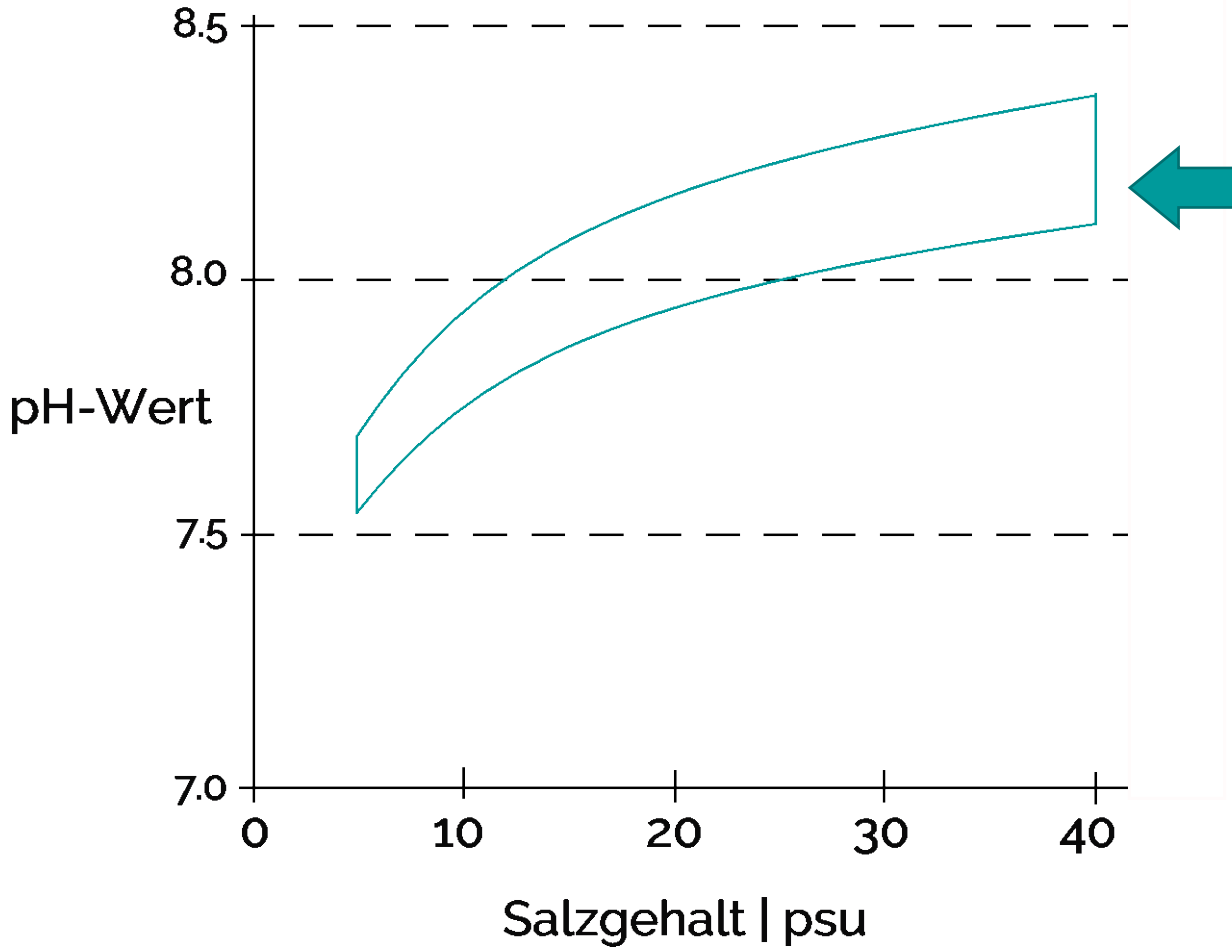
# pH-WERT IN DER AQUAKULTUR

Im Seewasser (24°C, 35 psu) mit einer typischen Carbonathärte von 6 mg · Liter$^{-1}$ resultiert bei einem pH-Wert von 8,0 eine Gleichgewichts-Konzentration von gelöstem $CO_2$ von 0.04 mg · Liter$^{-1}$.

nach Piedrahita, 1995



# pH-WERT UND SALZGEHALT




Der pH-Wert im Meerwasser ist vom Salzgehalt abhängig

nachgezeichnet nach:

Marine Chemistry 126 (2011) 89–96

Contents lists available at ScienceDirect

Marine Chemistry

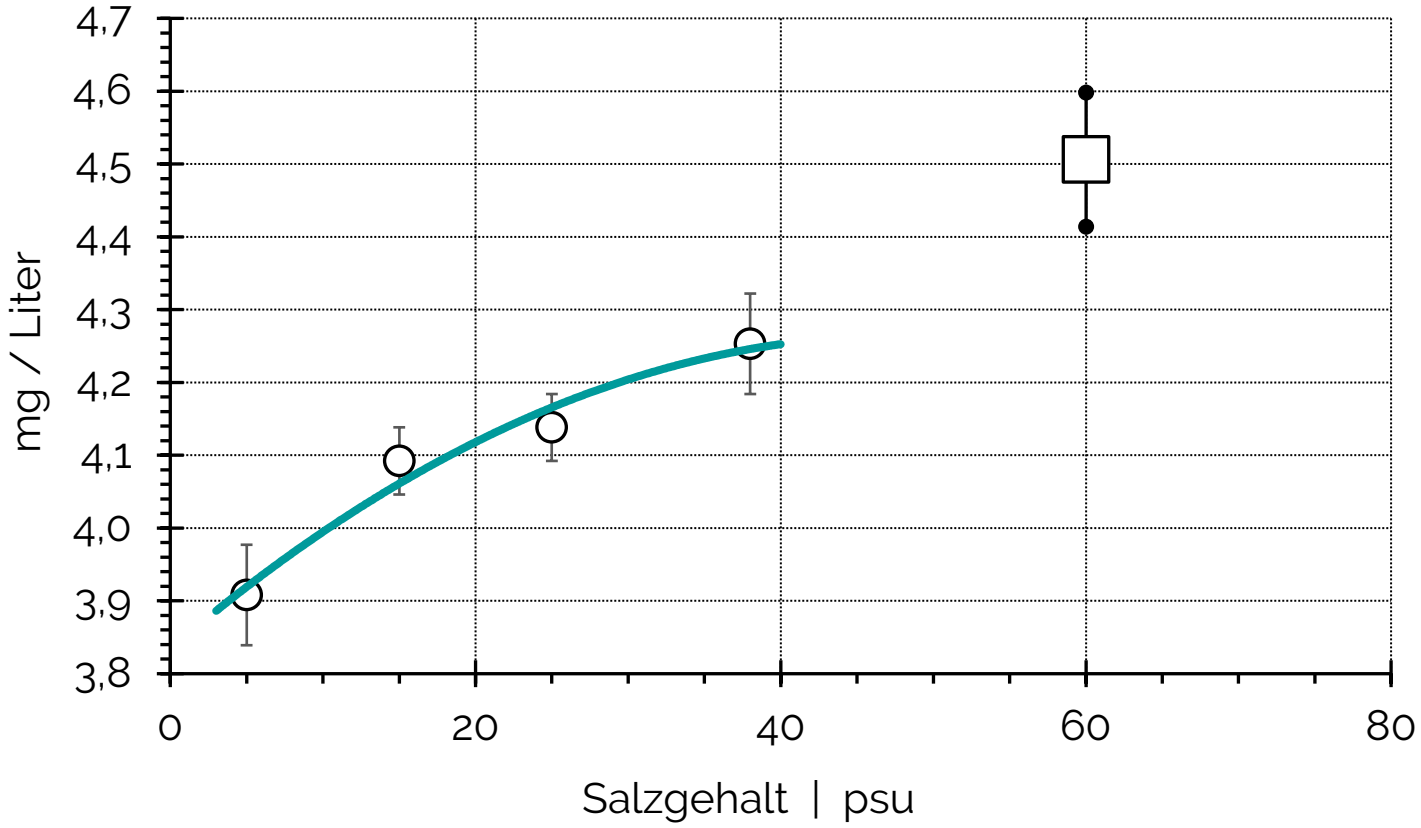
journal homepage: www.elsevier.com/locate/marchem

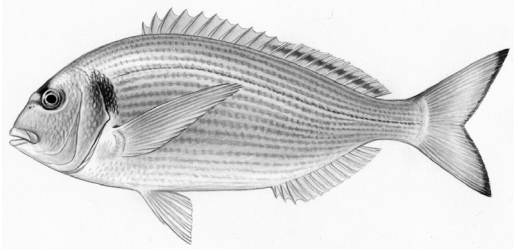
pH of seawater

G.M. Marion [a,*], F.J. Millero [b], M.F. Camões [c], P. Spitzer [d], R. Feistel [e], C.-T.A. Chen [f]

ein Vergleich verschiedener Modelle zur Berechnung des pH-Wertes bei vorgegebenem Salzgehalt

# SALZGEHALT & IONENREGULATION



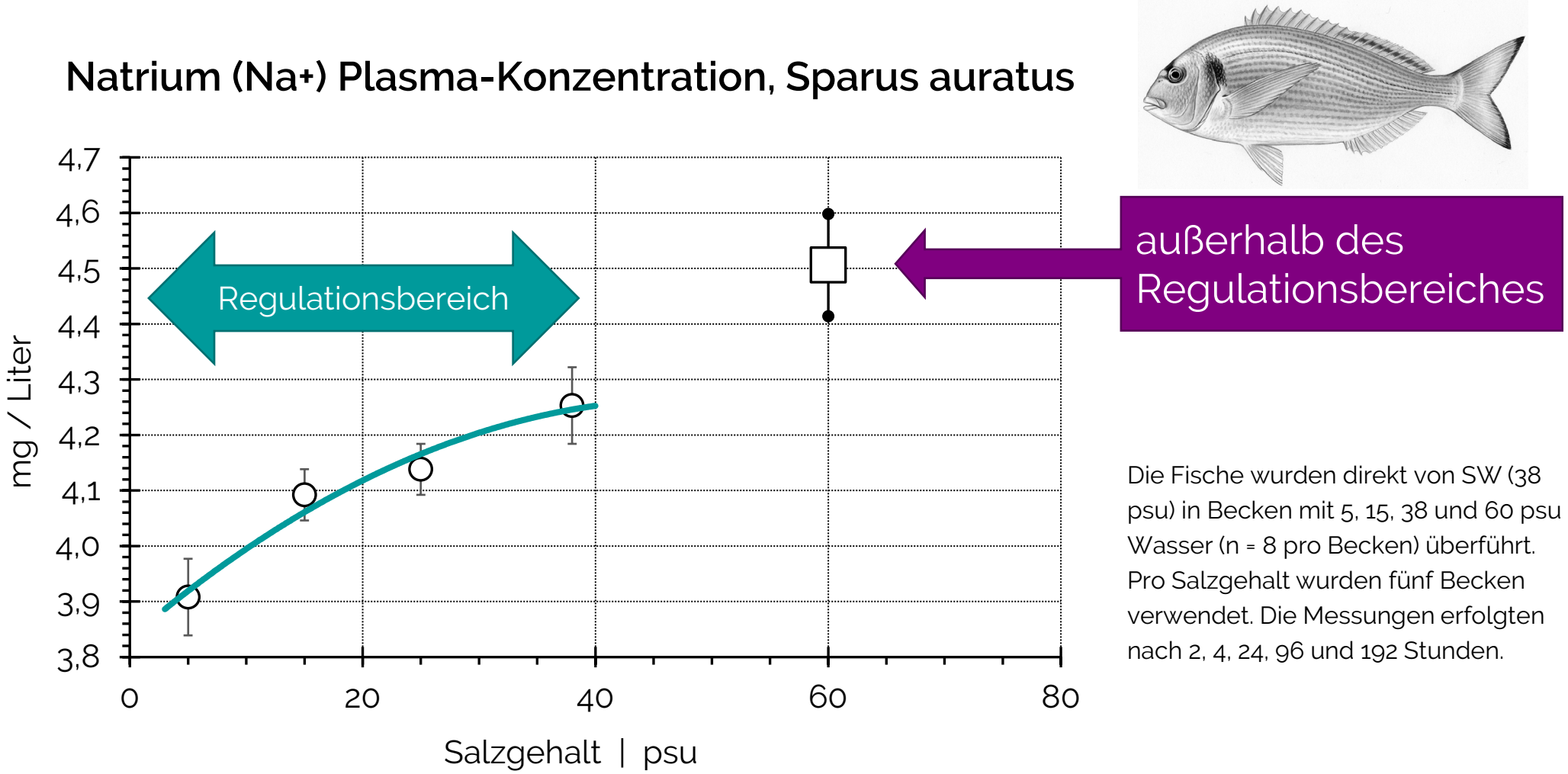
JOURNAL OF EXPERIMENTAL ZOOLOGY 303A:563–576 (2005)

**Branchial Osmoregulatory Response to Salinity in the Gilthead Sea Bream, *Sparus auratus***

RAÚL LAIZ-CARRIÓN[1], PEDRO M. GUERREIRO[2], JUAN FUENTES[2], ADELINO V.M. CANARIO[2], MARÍA P. MARTÍN DEL RÍO[1], AND JUAN M. MANCERA[1]*
[1]*Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, Cádiz, Spain*
[2]*Centro de Ciências do MAR (CCMAR), Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal*

Die Fische wurden direkt von SW (38 psu) in Becken mit 5, 15, 38 und 60 psu Wasser (n = 8 pro Becken) überführt. Pro Salzgehalt wurden fünf Becken verwendet. Die Messungen erfolgten nach 2, 4, 24, 96 und 192 Stunden.

# SALZGEHALT & IONENREGULATION



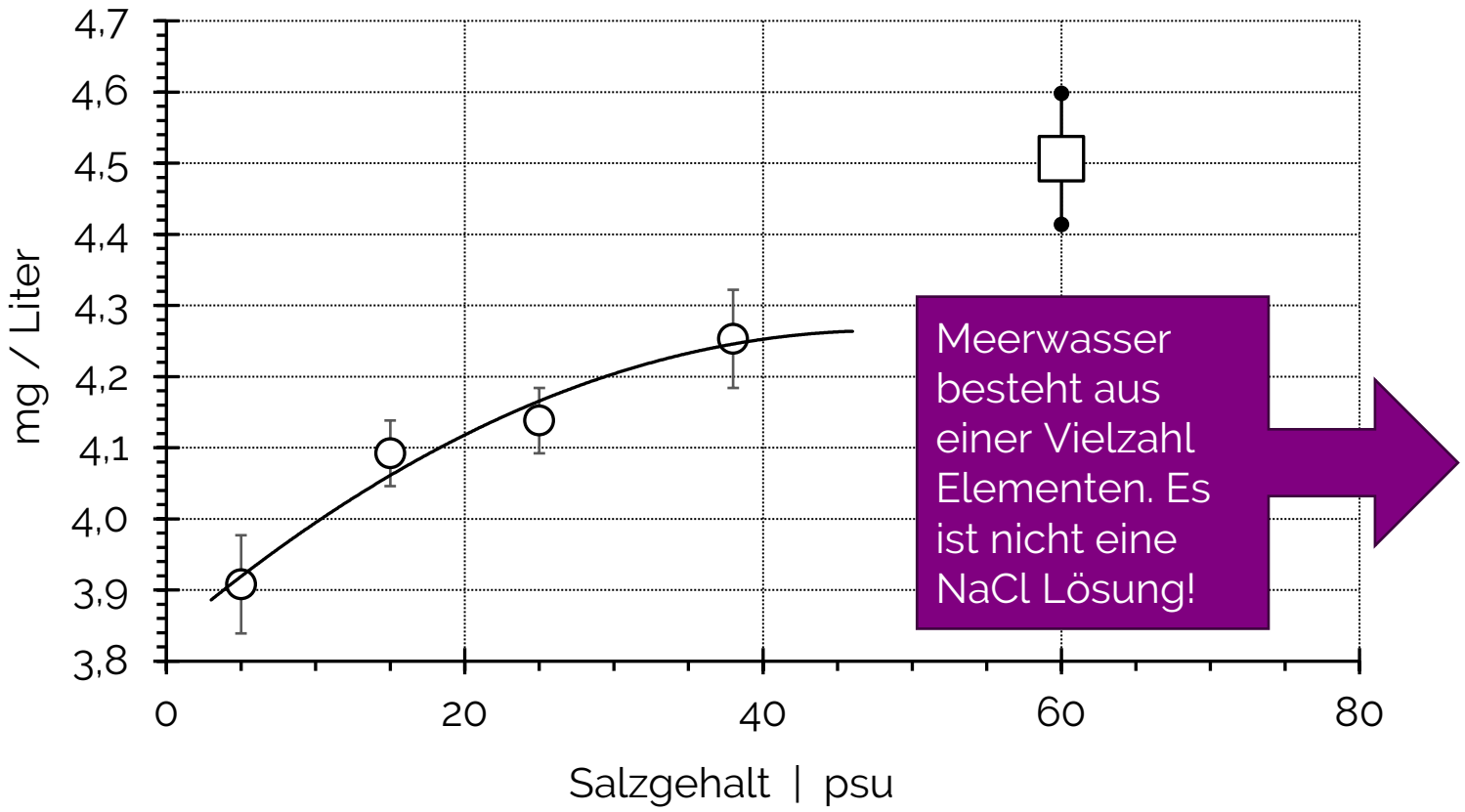



Die Fische wurden direkt von SW (38 psu) in Becken mit 5, 15, 38 und 60 psu Wasser (n = 8 pro Becken) überführt. Pro Salzgehalt wurden fünf Becken verwendet. Die Messungen erfolgten nach 2, 4, 24, 96 und 192 Stunden.

# SALZGEHALT & IONENREGULATION

Dietrich, Kalle, Krauss, Siedler 1975

## Natrium (Na+) Plasma-Konzentration, Sparus auratus




Meerwasser besteht aus einer Vielzahl Elementen. Es ist nicht eine NaCl Lösung!

88 Physikalische Eigenschaften und chemische Zusammensetzung des Meerwassers

Tabelle 2.03 Zusammensetzung des Meerwassers in mg/Liter (bei einem Chlorgehalt von 19 000 mg/Liter nach GOLDBERG, 1965 und CULKIN, 1966).

| Element | Symbol | mg/Liter |
|---|---|---|
| Wasserstoff | H | 108 000 |
| Helium | He | 0,000005 |
| Lithium | Li | 0,17 |
| Beryllium | Be | 0,0000006 |
| Bor | B | 4,6 |
| Kohlenstoff | C | 28 |
| Stickstoff | N | 0,5 |
| Sauerstoff | O | 857 000 |
| Fluor | F | 1,3 |
| Neon | Ne | 0,0001 |
| Natrium | Na | 10 721 |
| Magnesium | Mg | 1 350 |
| Aluminium | Al | 0,01 |
| Silicium | Si | 3,0 |
| Phosphor | P | 0,07 |
| Schwefel | S | 901 |
| Chlor | Cl | 19 000 |
| Argon | A | 0,6 |
| Kalium | K | 398 |
| Calcium | Ca | 410 |
| Scandium | Sc | 0,00004 |
| Titan | Ti | 0,001 |
| Vanadium | V | 0,002 |
| Chrom | Cr | 0,00005 |
| Mangan | Mn | 0,002 |
| Eisen | Fe | 0,01 |
| Kobalt | Co | 0,0001 |
| Nickel | Ni | 0,002 |
| Kupfer | Cu | 0,003 |
| Zink | Zn | 0,01 |
| Gallium | Ga | 0,00003 |
| Germanium | Ge | 0,00006 |
| Arsen | As | 0,003 |
| Selen | Se | 0,0004 |
| Brom | Br | 67 |
| Krypton | Kr | 0,0003 |
| Rubidium | Rb | 0,12 |
| Strontium | Sr | 7,7 |
| Yttrium | Y | 0,0003 |
| Zirkon | Zr | |
| Niobium | Nb | |
| Molybdän | Mo | 0,00001 |
| Technetium | Te | 0,01 |
| Ruthenium | Ru | |
| Rhodium | Rh | |
| Palladium | Pd | |
| Silber | Ag | 0,00004 |
| Cadmium | Cd | 0,00011 |
| Indium | In | 0,02 |
| Zinn | Sn | 0,0008 |
| Antimon | Sb | 0,0005 |
| Tellur | Te | |
| Jod | J | 0,06 |
| Xenon | Xe | 0,0001 |
| Cäsium | Cs | 0,0005 |
| Barium | Ba | 0,03 |
| Lanthan | La | $1,2 \times 10^{-5}$ |
| Cer | Ce | $5,2 \times 10^{-6}$ |
| Praseodym | Pr | $2,6 \times 10^{-6}$ |
| Neodym | Nd | $9,2 \times 10^{-4}$ |
| Promethium | Pm | |
| Samarium | Sm | $1,7 \times 10^{-6}$ |
| Europium | Eu | $4,6 \times 10^{-7}$ |
| Gadolinium | Gd | $2,4 \times 10^{-6}$ |
| Terbium | Tb | |
| Dysprosium | Dy | $2,9 \times 10^{-6}$ |
| Holmium | Ho | $8,8 \times 10^{-7}$ |
| Erbium | Er | $2,4 \times 10^{-6}$ |
| Thulium | Tm | $5,2 \times 10^{-7}$ |
| Ytterbium | Yb | $2,0 \times 10^{-6}$ |
| Cassiopeium | Cp | $4,8 \times 10^{-7}$ |
| Hafnium | Hf | |
| Tantal | Ta | |
| Wolfram | W | 0,0001 |
| Rhenium | Re | |
| Osmium | Os | |
| Iridium | Ir | |
| Platin | Pt | |
| Gold | Au | 0,000004 |
| Quecksilber | Hg | 0,00003 |
| Thallium | Tl | <0,00001 |
| Blei | Pb | 0,00003 |
| Wismut | Bi | 0,00002 |
| Polonium | Po | |
| Astat | At | |
| Radon | Rn | $0,6 \times 10^{-15}$ |
| Francium | Fr | |
| Radium | Ra | $1,0 \times 10^{-10}$ |
| Actinium | Ac | |
| Thorium | Th | 0,00005 |
| Protactinium | Pa | $2,0 \times 10^{-9}$ |
| Uran | U | 0,003 |

Hauptkomponenten findet sich bei CULKIN (1965). Das Ergebnis einer großen Anzahl von Meerwasseranalysen, wobei relative Abweichungen von mehreren Prozent bei den gering vertretenen Komponenten auftreten, ist in Tabelle 2.03 wiedergegeben.

# ZUM MITNEHMEN

| | |
|---|---|
| 1 | Fische haben sich in der Evolution an ihre Umwelt angepasst. |
| 2 | Die Bedingungen in einer Aquakultur müssen diese im natürlichen Lebensraum widerspiegeln. |
| 3 | Die Prozesse, Prozesskette und Automatisierung müssen entsprechend ausgelegt sein. |
| 4 | Die Betriebsführung ist eine verantwortungsvolle Aufgabe. |
| 5 | Die Kontrolle der Lebensbedingungen und des Tierwohls ist Grundlage für eine wirtschaftliche Produktion. |

# ENDE

Fragen gerne an Prof. Dr. Uwe Waller
uw@seawatercubes.de