



IGB

Leibniz-Institut für Gewässerökologie
und Binnenfischerei

Aquaponik – nachhaltige Aquakultur zur Sicherung der Ernährung oder...



Werner Kloas
Abteilung Biologie der Fische, Fischerei und Aquakultur

Berlin, 02.02.2022

.... der „Tomatenfisch“



Globale Herausforderung: Welternährung

2050 müssen ca. 2 Milliarden Menschen mehr ernährt werden

- verbesserte Nahrungsmittelproduktion – hochwertiges tierisches Eiweiß
- **ABER** schrumpfende Ressourcen (Süßwasser, Raum, Nährstoffe: P, N), Klimawandel, Überfischung der Meere, nicht-nachhaltige Landwirtschaft

National Geographic Magazine/Jonathan Foley
5-Schritte-Plan zur Sicherung der Ernährung

- 1: Einfrieren des Fußabdrucks in der Landwirtschaft
- 2: Erhöhung der Produktivität der bestehenden Flächen
- 3: effizientere Nutzung der Ressourcen
- 4: Änderung der Ernährung – Reduktion von (rotem) Fleisch!
- 5: Reduktion/Vermeidung von Abfällen



Globale Herausforderung: footprint-Reduktion

Globale Bedürfnisse erfordern neue Konzepte für das Management von Wasser, Energie und Nahrung

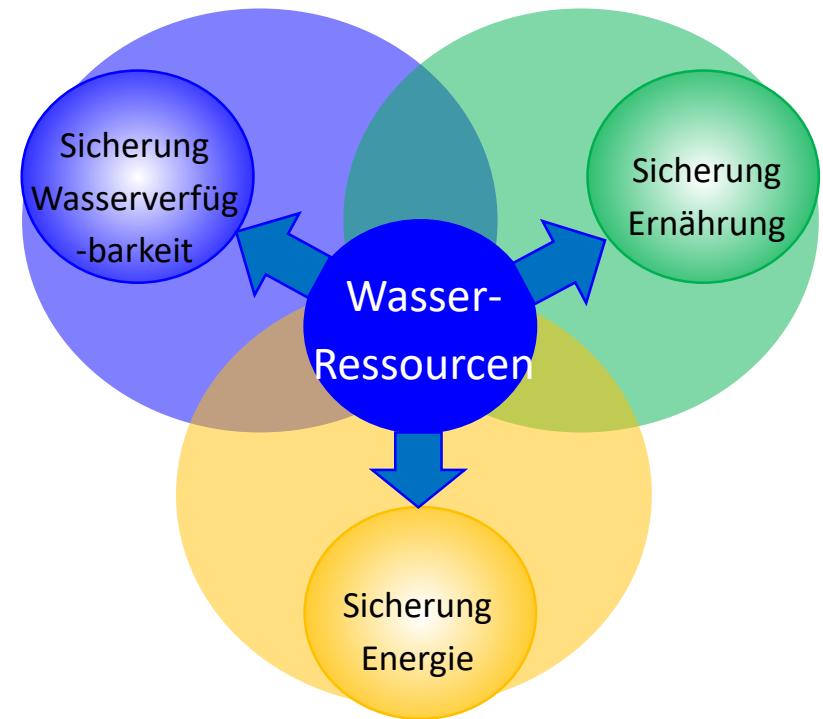
– footprint Reduzierung des **water-food-energy nexus**:

- Wasser: Sparen, Wiederverwenden, Recycling
- Nährstoffe: Management, Recycling
- Energie: Sparen, alternative Energien



Schonung der Ressource Wasser!

Kann nachhaltige Aquakultur hierzu beitragen?



Nachhaltigkeit

Das Konzept der **Nachhaltigkeit** beschreibt die Nutzung eines regenerierbaren Systems in einer Weise, dass dieses System in seinen wesentlichen Eigenschaften erhalten bleibt und sein Bestand auf natürliche Weise regeneriert werden kann.

Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode:
*Schlussbericht der Enquete-Kommission
Globalisierung der Weltwirtschaft
– Herausforderungen und Antworten*
Drucksache 14/9200, 12. Juni 2002.

Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit

Hans Carl von Carlowitz (1713):
Sylvicultura oeconomica



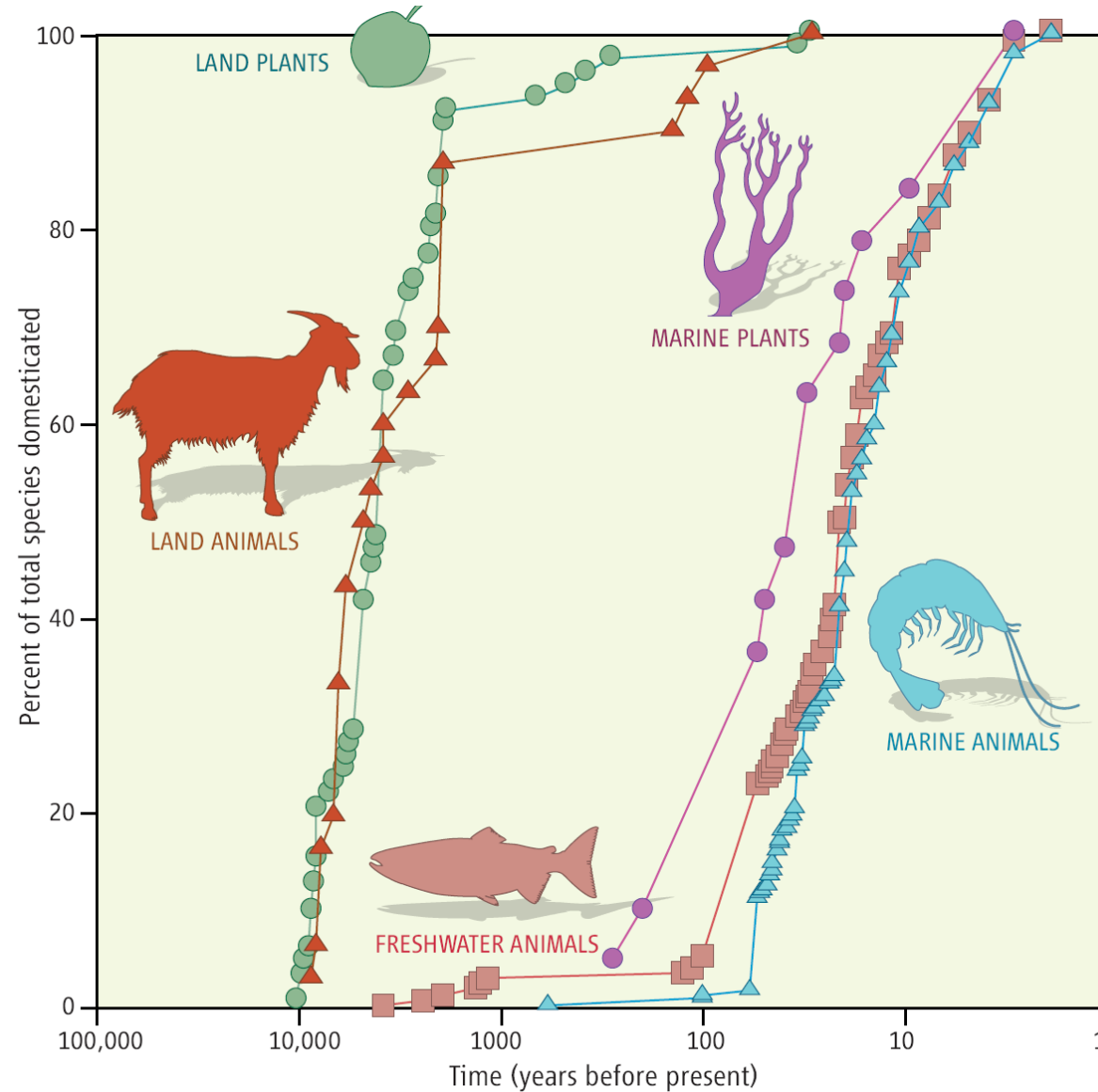
Wie lässt sich Süßwasser global/regional nachhaltig nutzen? Nachhaltige Aquakultur?

Aquakultur:

beinhaltet die Aufzucht von aquatischen Organismen, wie Fischen, Krebsen, Schalentieren (aber auch Krokodilen) und Pflanzen, unter kontrollierten Bedingungen. Dazu gehören die künstliche Fortpflanzung, der Besatz, die Fütterung und der Schutz vor Krankheiten und Fressfeinden. (nach FAO)

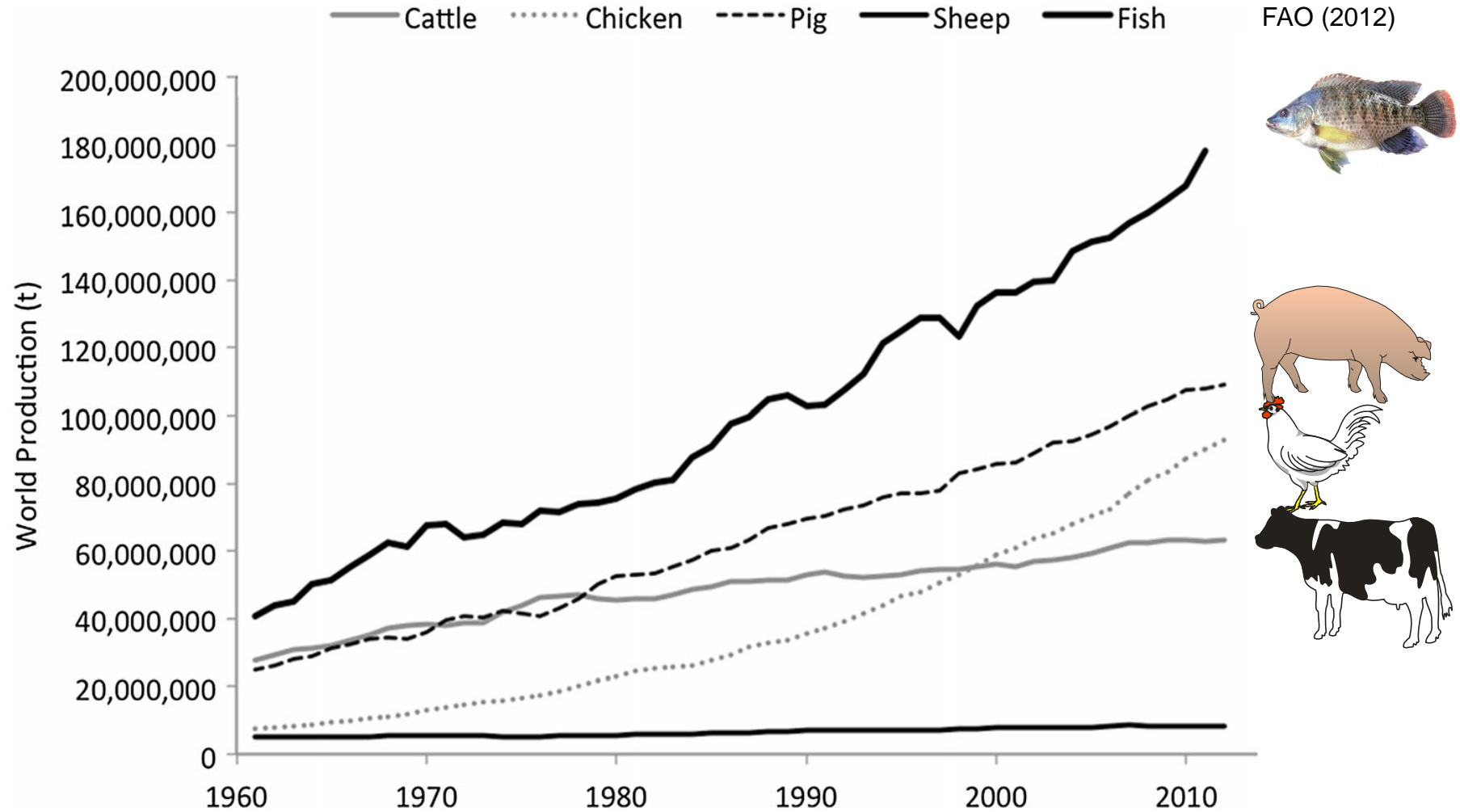


Aquakultur - rapide Domestizierung von Arten



(Duarte et al. 2007, Science)

Globale Fleisch-Produktion



Fisch ist global die größte Protein-Ressource für den Menschen!

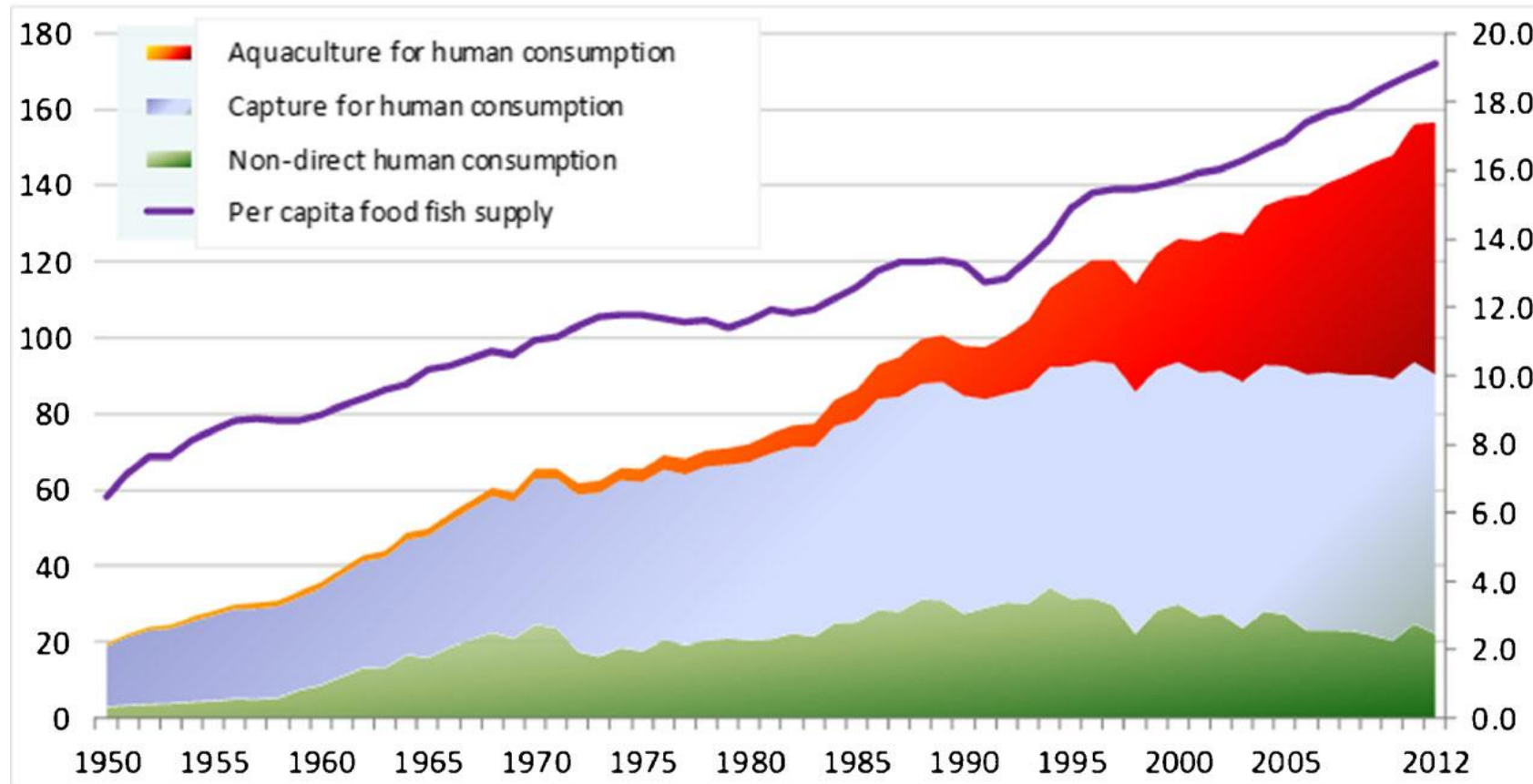
FAO Vorhersage: > 25 Mill. t Fisch/a (Basis 131 Mill. t) mehr bis 2030 benötigt!

Globale Fisch-Produktion

Production
(million tonnes live weight)

FAO (2012)

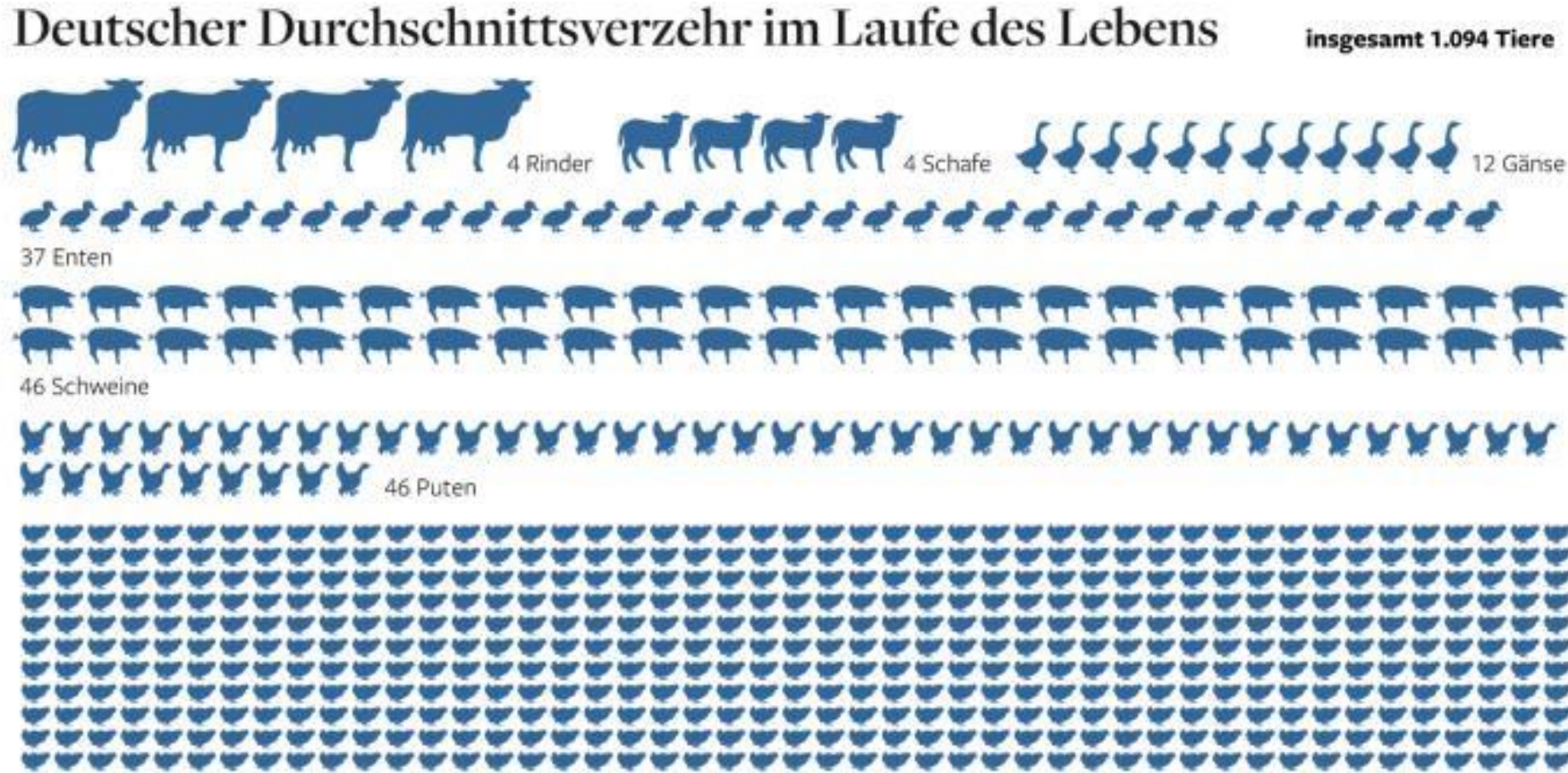
Per capita yearly supply (kg)



Aquakultur ist der schnellst wachsende Sektor der Landwirtschaft!

Jeder weitere Anstieg der Fisch-Produktion kann nur aus der Aquakultur kommen!

Verzehr tierischen Eiweißes in Deutschland



Fisch?

Ca. 1000 kg Fisch-Produkte! → 80 kg Fleisch/a und 15 kg Fisch/a in Deutschland!

Große Nachfrage nach Aquakultur-Produkten

-> Beispiele für nicht-nachhaltige Aquakultur!



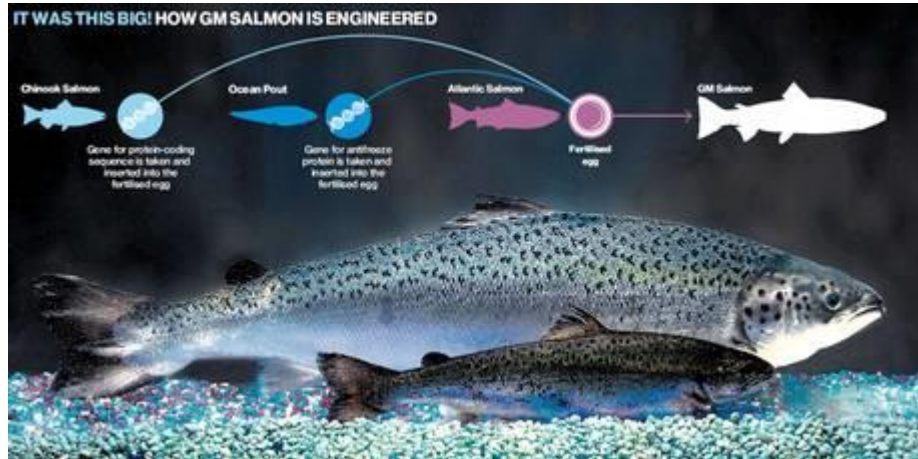
Vietnam - *Pangasius* >1 Mill. t/a
Eutrophierung durch
Fischabwässer

Südostasien –
Shrimps statt Reis:
Antibiotika & Versalzung



Nicht-nachhaltige Aquakultur!

Einsatz genetisch modifizierter Organismen!



Transgene Fische:
US FDA 12/2012
“Frankenfish”!
Chimäre aus Lachs
& Conger



Myostatin Hemmung (2010)



Gen für humanes Wachstumshormon (2012)

Fischmehl für Fischfutter!

Fisch-Wohl!

Aquakultur – Netzkäfige in Stauseen (Panjiakou-Stausee, China)



Intensive Aquakultur in Netzkäfigen

ca. 50.000 Netzkäfige x 50 m³ ~ 150.000 t Fisch/Jahr

- Futterquotient 2.5 statt 1 für 1 kg Fisch!
- Produktionsperiode nur 6-8 Monate!
- Nährstoff-Emissionen 1.750 t P und 17.500 t N pro Jahr!

Wasserqualität sinkt -> Nutzung Trinkwasser & Aquakultur?



Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*)



Marmorkarpfen (*Aristichthys nobilis*)



Schuppenkarpfen (*Cyprinus carpio*)



Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*)

Aquakultur

- schnellst wachsender Sektor der Landwirtschaft
- meist Süßwasser-Fische
- Fische als wertvolles Eiweiß für die menschliche Ernährung
- Beschränkungen an Raum, Süßwasser, Futter (Fischmehl!)
- muss nachhaltig sein durch Ressourcen-Schonung - **“blue aquaculture“**

“Blue aquaculture“ - Anforderungen

- keine Kontamination oder Nutzung natürlicher Ökosysteme
- nachhaltiges Fischfutter – Alternativen zu Fischmehl!
- Minimierung/Vermeidung von Emissionen (CO₂, N, P,...)
- Integration in landwirtschaftliche Produktionssysteme, Bioökonomie
- Bio-Aquakultur in Teich/Fluß/See von Karpfen, Forelle,...nachhaltig...
...aber limitierte Ressourcen an Raum & Süßwasser,
Produktivität zu niedrig für die Welternährung – nachhaltige Alternativen?

Aquakultur – Schonung von Wasser-Ressourcen

Geschlossene Aquakultur Kreislaufsysteme (RAS)

Vorteile

- in Gebäuden, ortsunabhängig, Land/Stadt
- intensive Produktion von Fischen bei Einhaltung des Tierwohls
- Schutz gegen Umwelteinflüsse, keine Emissionen in die Ökosysteme
- effizienteste Nutzung von Süßwasser (nur 5-10% Süßwasser/Tag)

Nachteile

- high tech, hohe Investitionen
- „Fischabwasser“ mit viel Nährstoffen (N, P) -> Kläranlage

Geschlossene Aquakultur-Kreislaufsysteme

Endprodukt des Proteinstoffwechsels ist NH_3

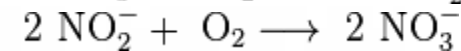
– fischtoxisch!

N- $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$: 0,02 mg/L!

N- NO_2^- : 0,2 mg/L!

N- NO_3^- : 250/500 mg/L!

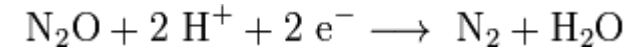
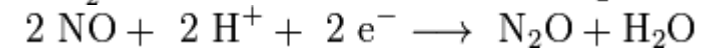
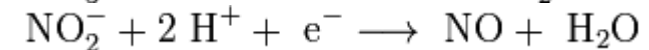
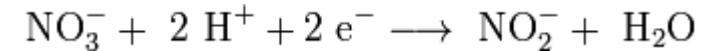
(3) Nitrifikation (aerob)



In RAS bis 500 (1000) mg NO_3^- /L möglich!

-> 10% Wassertausch!

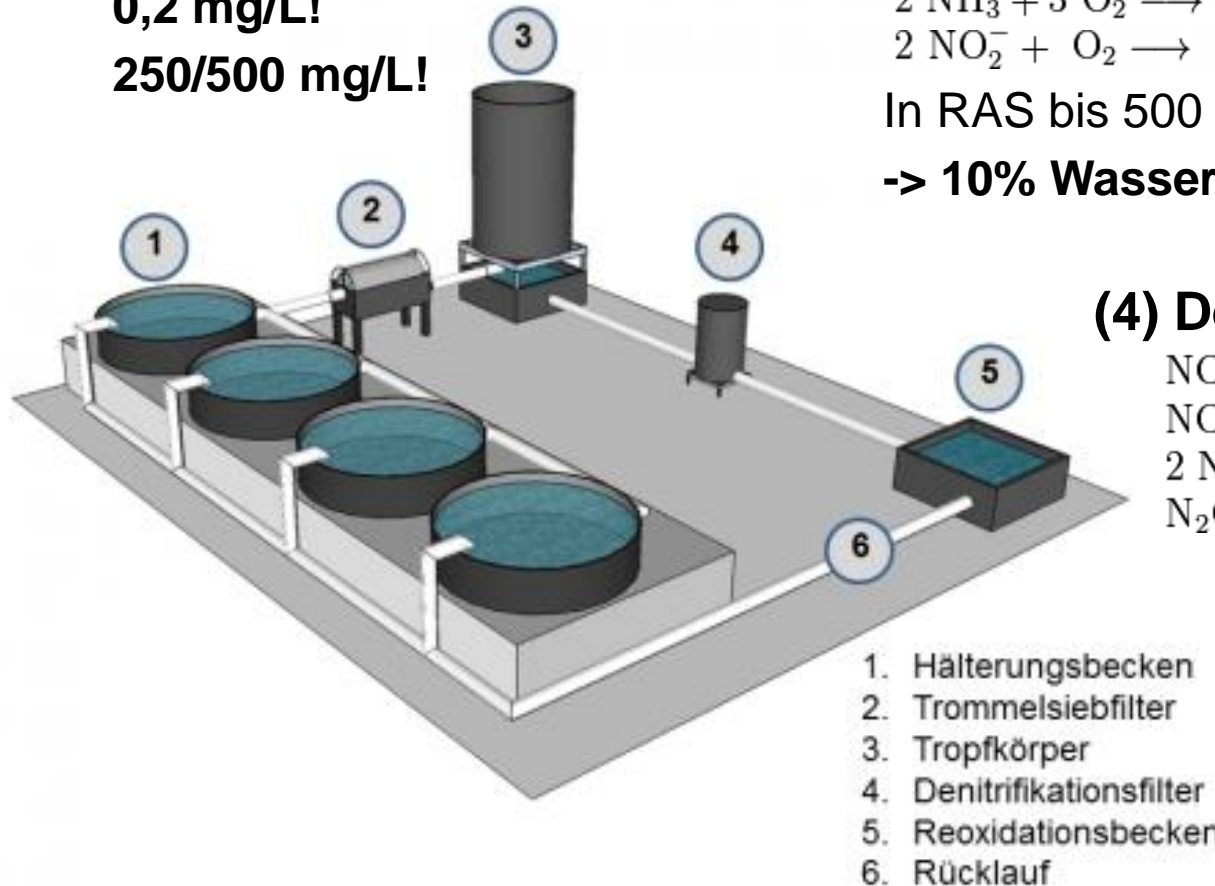
(4) Denitrifikation (anaerob)



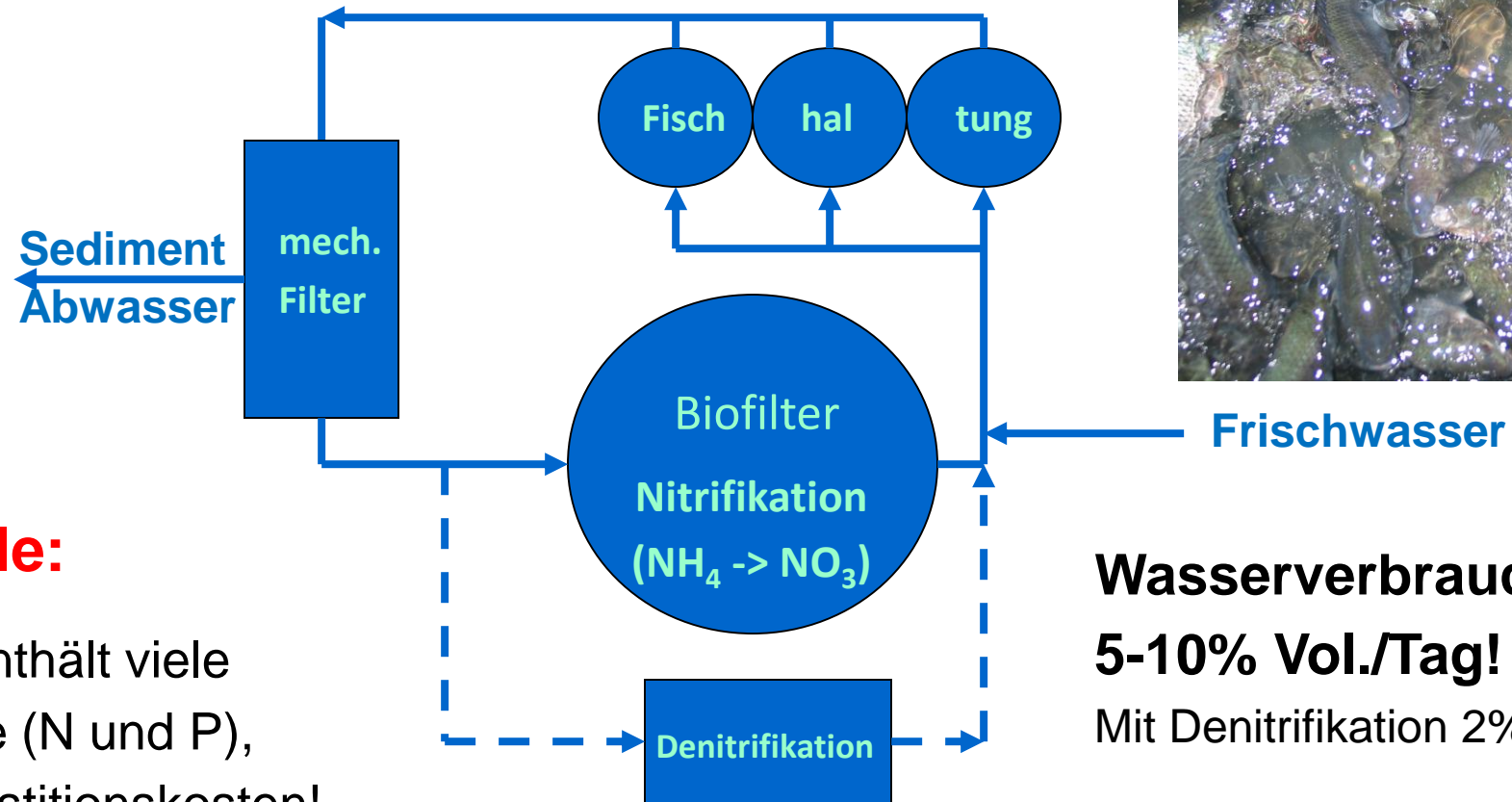
In RAS Alkohol als Elektronendonator!

-> 2% Wassertausch!?!

Regeltechnisch schwierig, teuer!



Geschlossene Aquakultur-Kreislaufsysteme



Nachteile:

Auslauf enthält viele Nährstoffe (N und P), hohe Investitionskosten!

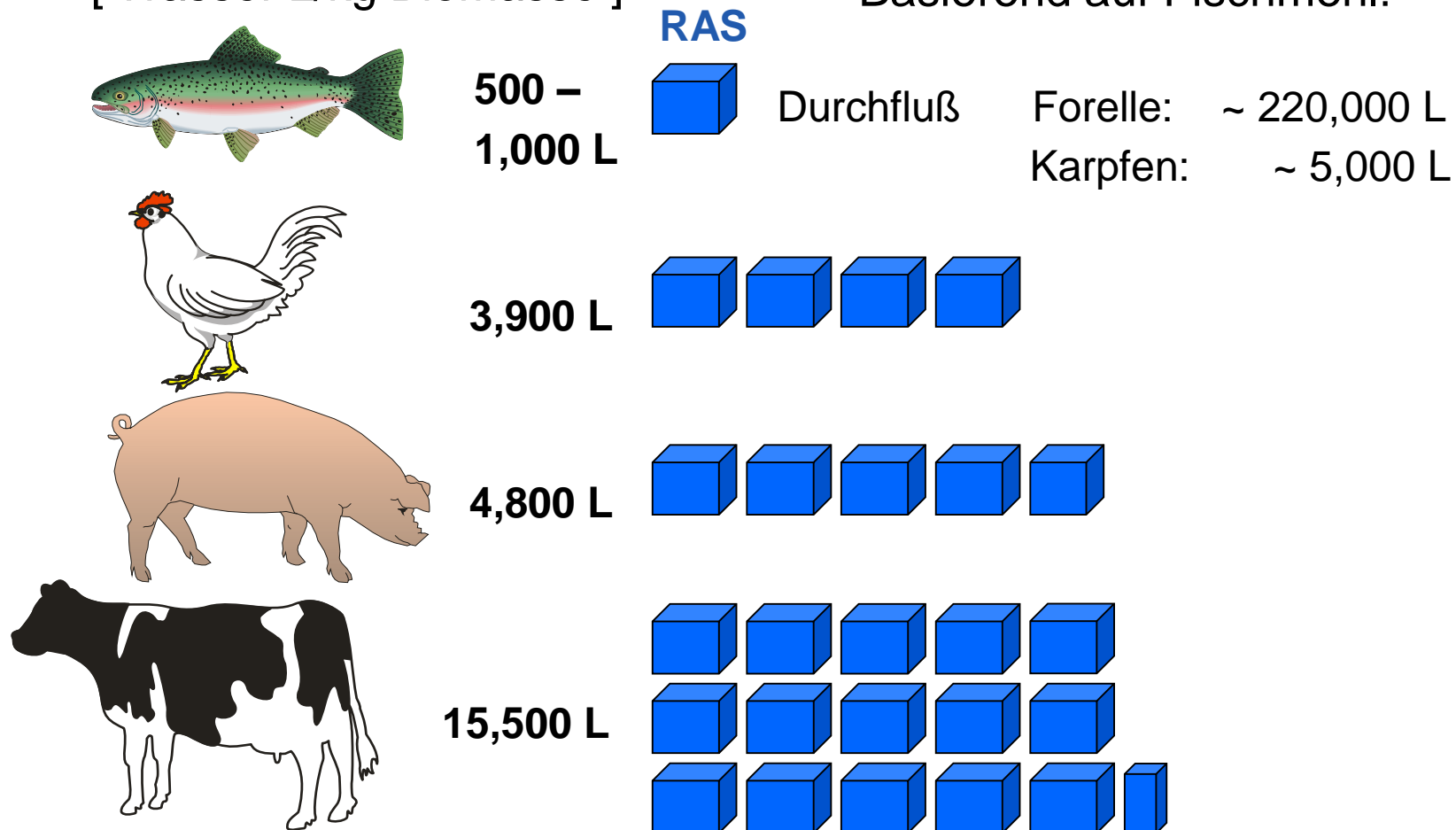
Aquakultur

– Reduzierung des water foot print durch RAS

Water footprint

[Wasser L/kg Biomasse]

Basierend auf Fischmehl!



Verbesserung der Nachhaltigkeit von RAS

RAS produzieren 5-10% Vol./Tag nährstoffhaltiges Wasser!

Entwicklung einer nachhaltigen Ökotechnologie

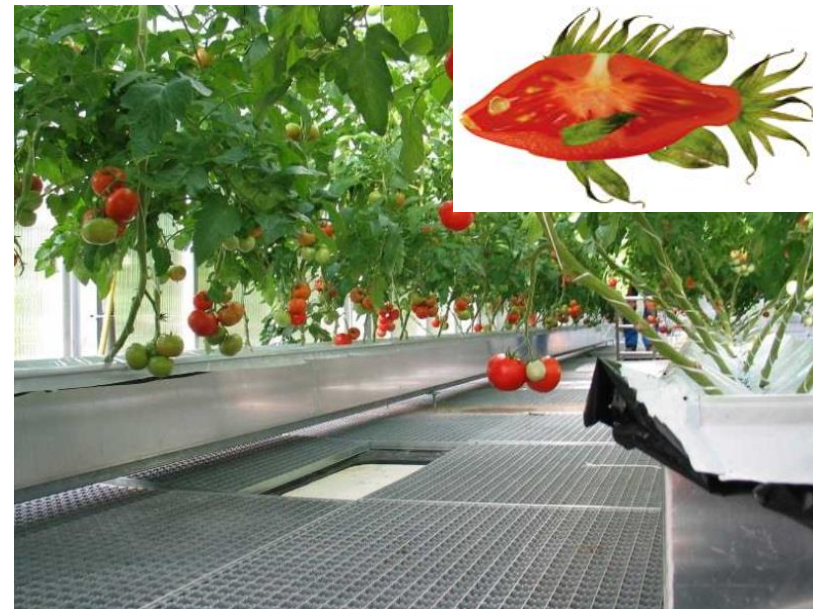
zur Integration von Aquakultur und Gartenbau um durch Wertschöpfungsketten Wasser zu sparen und Emissionen zu minimieren.

Aquakultur (Fisch) + Hydroponik (Gemüse) = Aquaponik

Produktion von Tilapia (*Oreochromis niloticus*) & Tomaten - **“Tomatenfisch“**



+



Was versteht man unter Aquaponik?



Unter dem **aquaponischen Prinzip** versteht man die Kopplung von **tierischer Aquakultur** (besonders Fische) mit der **Pflanzenzucht** (Gemüse), um Ressourcen zu sparen (Wasser, Nährstoffe). Dennoch fehlte bisher eine klare und eindeutige Definition zu “**Aquaponik**”.

Aktuell in Gebrauch befindliche Definitionen zu **Aquaponik** haben ihre Schwächen:

Lennard (2017): ”Ein System, das Fischhaltung in Tanks mit Hydroponik (erdloser Pflanzenkultur) kombiniert, wobei 80% oder mehr der Nährstoffe für das Pflanzenwachstum vom Fischabwasser stammen.”

- *Nur Fische? Bezieht sich das auf die Gesamtmenge oder eine Anzahl spezifischer Nährstoffe?*

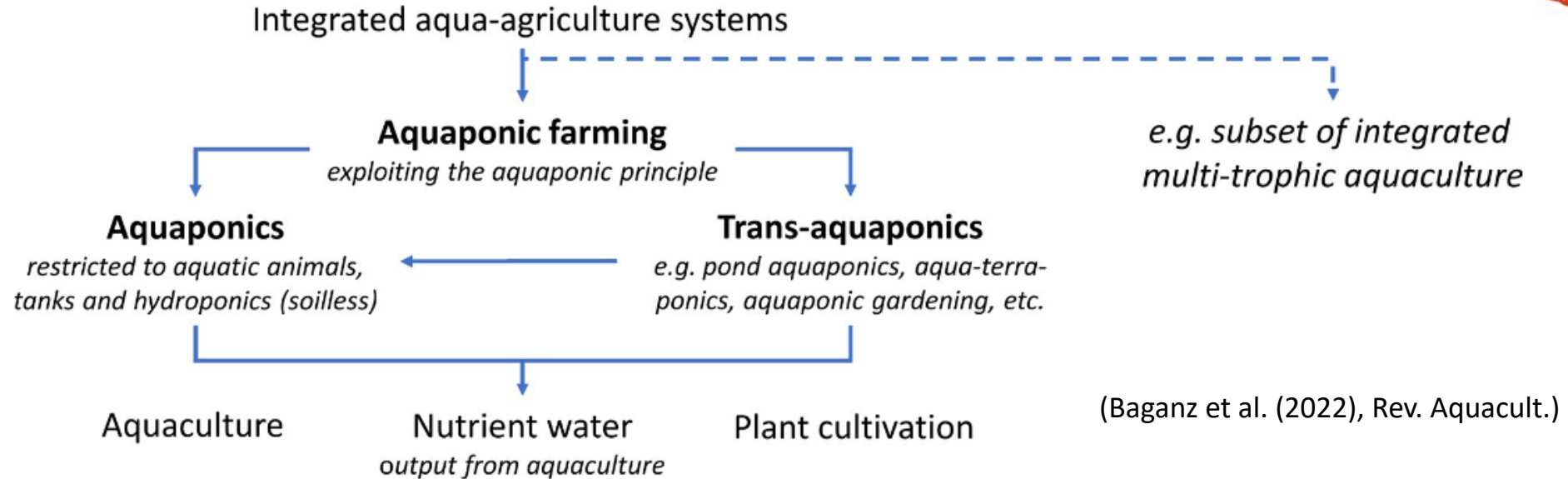
Palm et al. (2018): “Aquaponik ist ein Produktionssystem aquatischer Organismen und Pflanzen, wobei die Mehrheit (>50%) der Nährstoffe für das optimale Pflanzenwachstum vom Abfall/Emissionen herrührt, die durch das Füttern der aquatischen Organismen entstehen.”

- *Welche aquatischen Organismen? Produktionsorte (künstliche/natürliche)? Welche Nährstoffe?*

Unser Ziel ist es „Aquaponik“ allgemein und klarer zu definieren:

“**Aquaponik**“ ist eine Technologie die tierische Aquakultur in Tanks mit Hydroponik koppelt, wobei mikrobiologische Prozesse integriert sind und das Wasser der Aquakultur für die Pflanzenernährung und –bewässerung genutzt wird. (*Baganz et al. (2022), Rev. Aquacult.*)

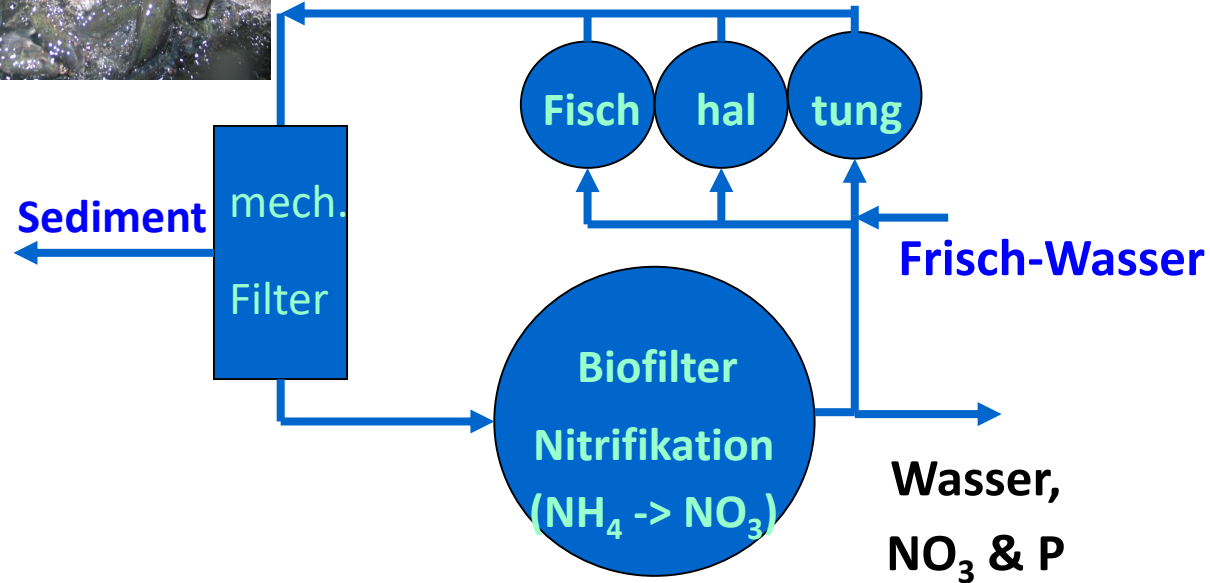
Was versteht man unter Aquaponik?



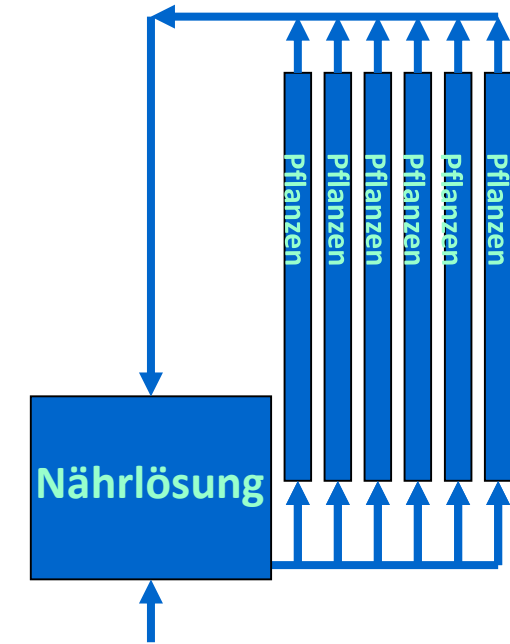
Das **aquaponische Prinzip** ist verwirklicht als **Aquaponik Farming** (Überbegriff) und wurde zuerst verwirklicht als **Trans-Aquaponik** (China: Kokultivierung von Reis und Karpfen; Ägypten: Tilapia-Teiche mit anschließender Feldbewässerung) und entwickelte sich zur **Aquaponik** definiert als die Kopplung von tierischer Aquakultur in Tanks mit Pflanzenproduktion in Hydroponik.

Aquaponik wird weiter charakterisiert und spezifiziert durch die unterschiedlichen **Koppelungsgrade** (die die verschiedenen aktuellen technologischen Anwendungen beschreiben).

Kopplung von Aquakultur und Hydroponik - wie?



RAS-Wasser enthält die Nährstoffe
NO₃ und P! pH-Wert ~7!

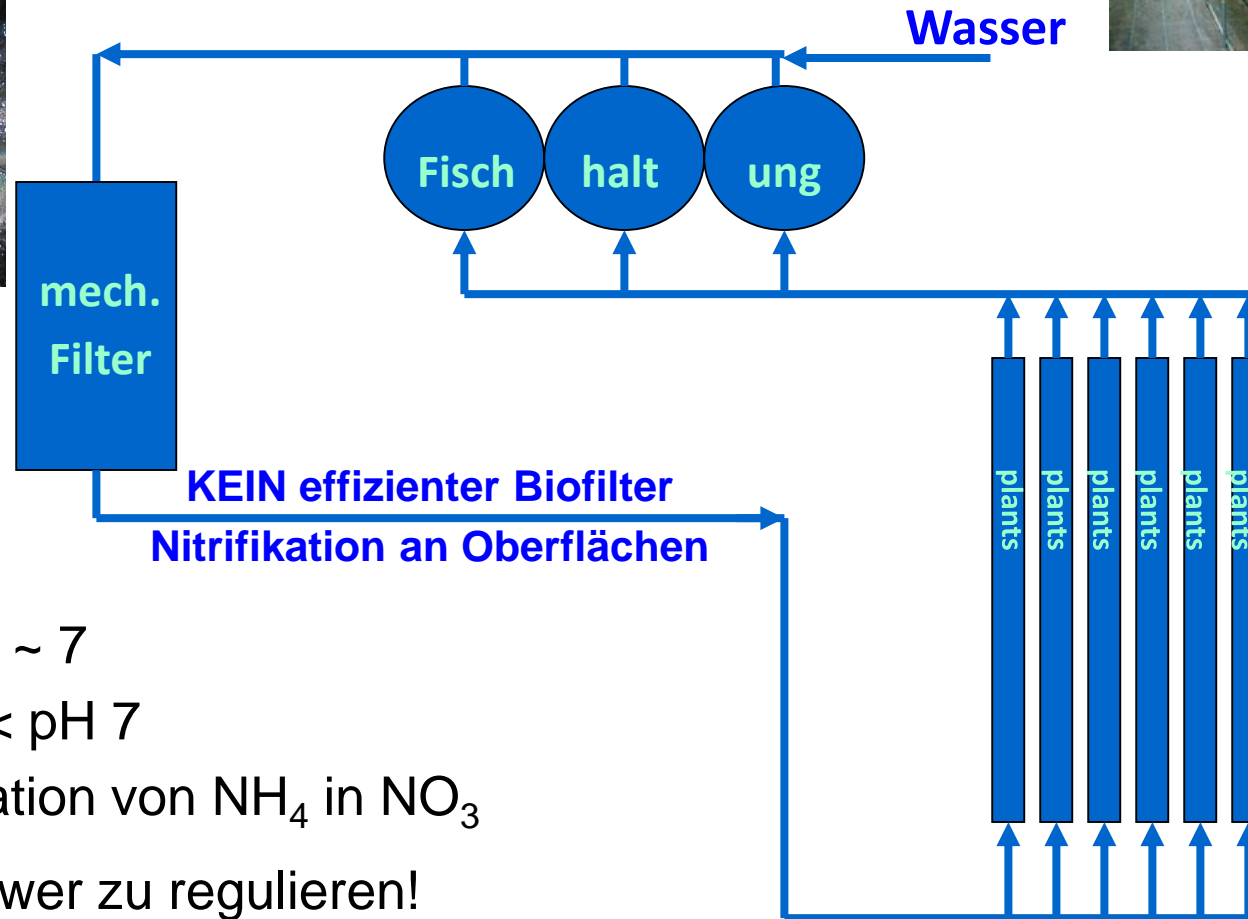


Wasser/Nährlösung (NO₃ & P) /
essentielle Mineralien/pH ~6

“Klassische“ Aquaponik

Einkreislauf-Systeme

(SRAPS – single recirculation aquaponic system)



Wasserverbrauch
10-20% Vol./Tag!

Nur Kräuter und Salat,
keine Tomaten!

Nachteile:

Fische & Bakterien pH ~ 7

Pflanzen bevorzugen < pH 7

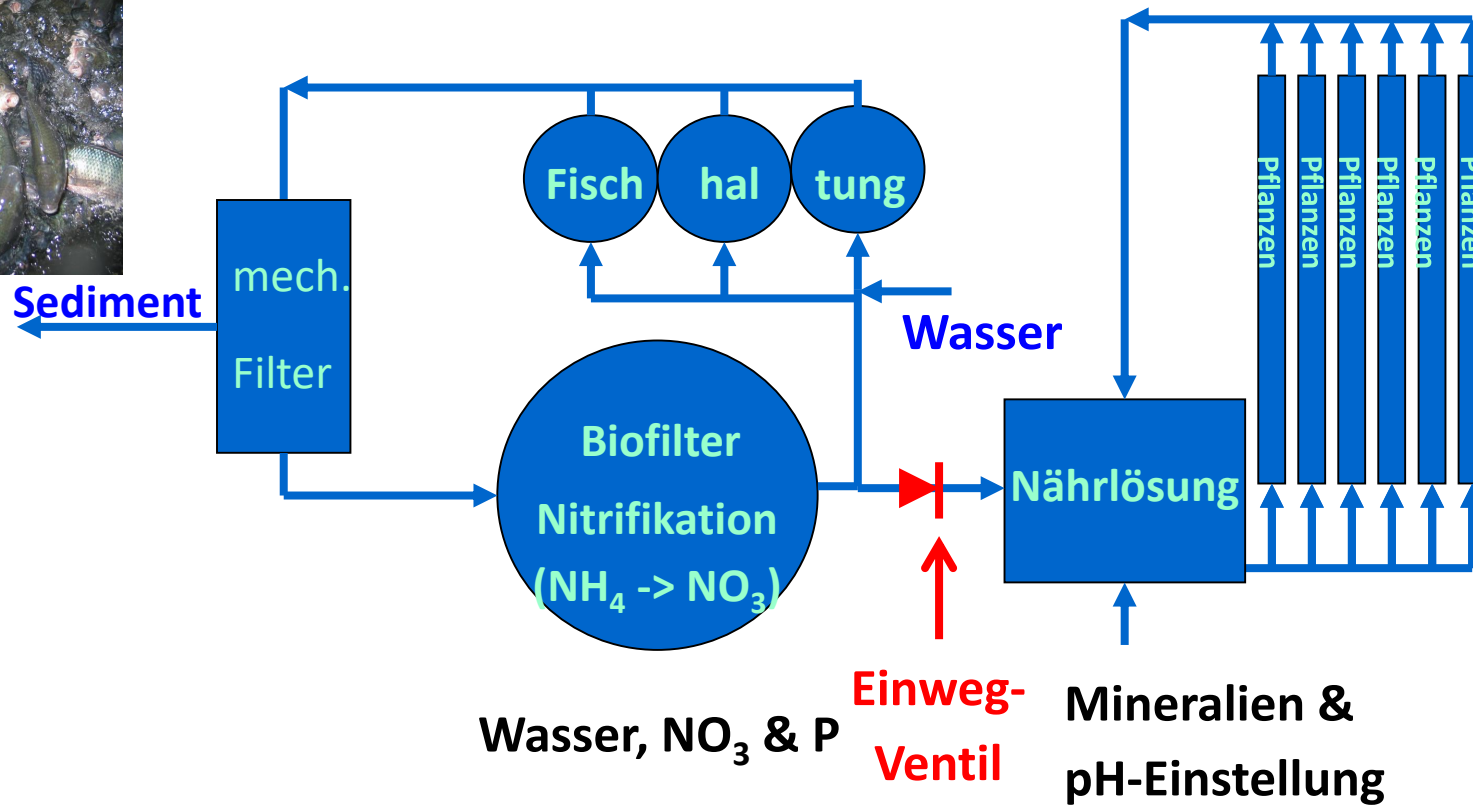
Unvollständige Nitrifikation von NH_4 in NO_3

Nährstoffe und pH schwer zu regulieren!

Suboptimale Bedingungen für Fische und Pflanzen, geringe Produktivität!

Innovative Aquaponik

Zweikreislaufsystem (DRAPS – double recirculation aquaponic system)

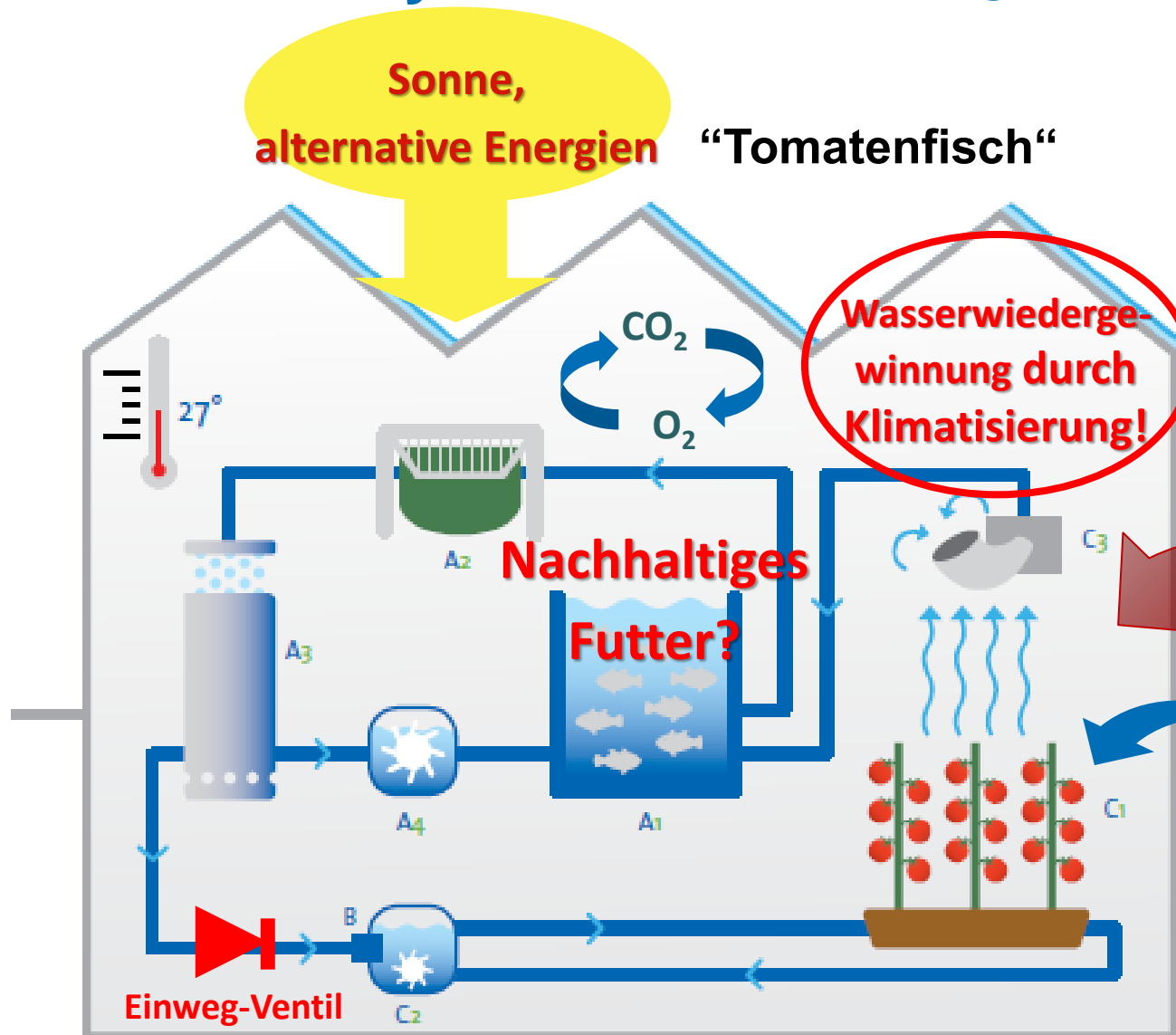


“Trennung“ von Aquakultur & Hydroponik durch **Einweg-Ventil!**

KEINE Nachteile für beide systemischen Komponenten durch Entkopplung!

Optimale Produktivität, aber Wasserverbrauch >10% Vol./Tag!

Zweikreislaufsystem mit Wasserrückgewinnung (IGB-Aquaponik)



Aquaponik

- Senke für Abwärme
- CO₂-Düngung für Hydroponik
- Wertschöpfungsketten für Wasser (2.7%/d) theoretisch <1.0%/d, NO₃, P, & CO₂!

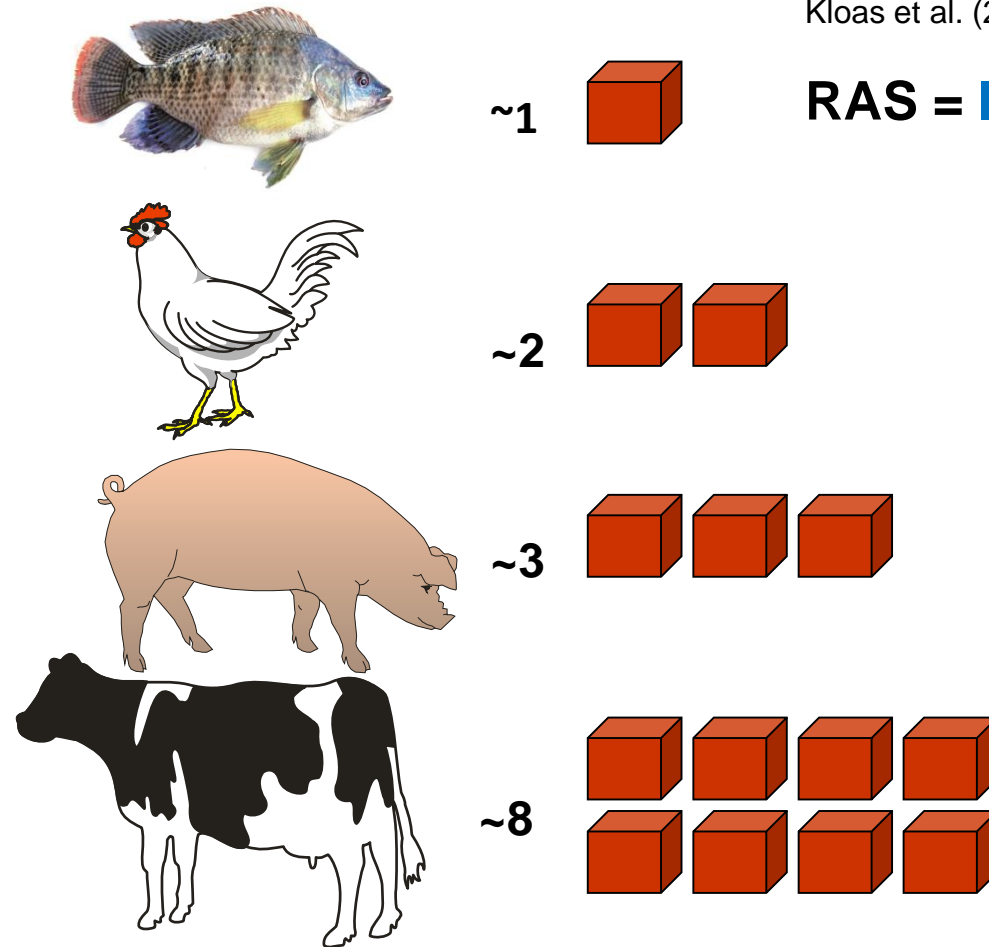


Futter-Quotient



[kg Futter/kg Biomasse] (De Silva & Anderson, 1995)

Kloas et al. (2015) *Aquaculture Environment Interactions*



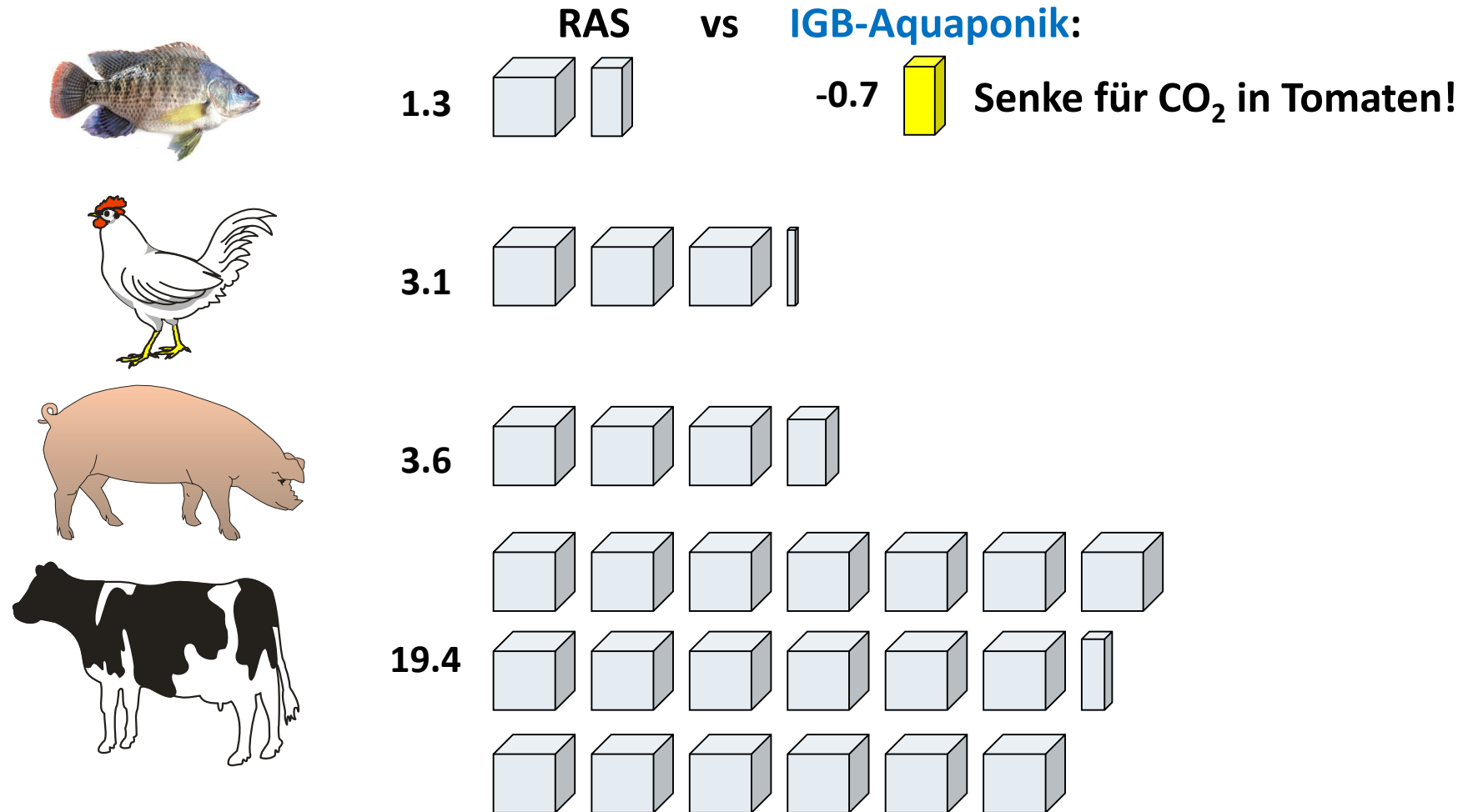
RAS = IGB-Aquaponik: 1,01

Kohlendioxid-Emission



[CO₂-Emission kg/kg Biomasse]

Kloas et al. (2015) *Aquaculture Environment Interactions*



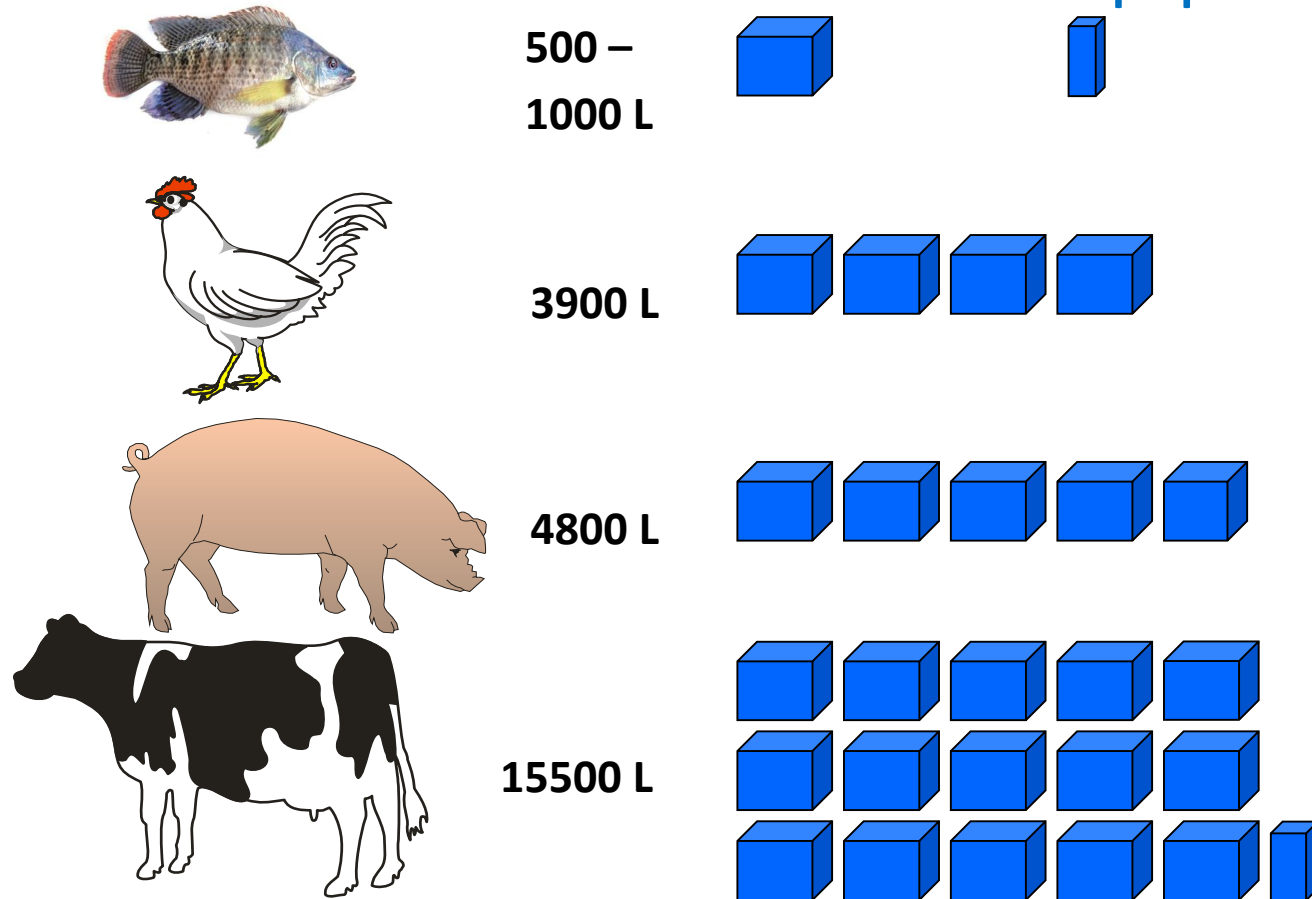
Water footprint

[Wasser L/kg Biomasse]

Kloas et al. (2015) *Aquaculture Environment Interactions*



Fischmehl als Basis für Futter!



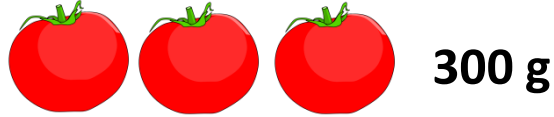
**RAS vs IGB-Aquaponik: ~ 200 L Wasser!
KEIN Abwasser!
+ 5 kg Tomaten**



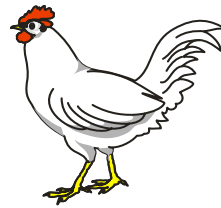
Was erhalte ich mit der Nutzung von 10 L Wasser?



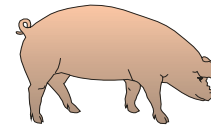
Hydroponik:



Aquakultur- Kreislaufanlage:



2,5 g



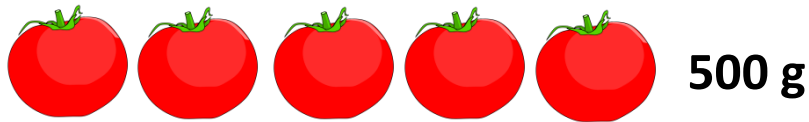
2,0 g



0,6 g



Aquaponik :



100 g



Produktive Nachhaltigkeit!

Water footprint: Vergleich Fisch – Rind



Wie hoch ist der water footprint für einen Cheeseburger mit 150 g Hackfleisch?

**150 g Fischfilet aus 400 g Fisch im RAS ~ 400 L Wasser
mit IGB-Aquaponik ~ 40 L Wasser
Rindfleisch 150 g 2250 L!!!**

Gibt es bessere Alternativen für tierisches Eiweiß?



Insekten haben Potential!

- **Futter-Quotient: 1-2** (Fisch/Huhn)
- relativ geringe **CO₂-Emissionen** (Fisch/Huhn)
- **Wasserverbrauch**, abhängig vom Futter (vernachlässigbar bei Biomüll)

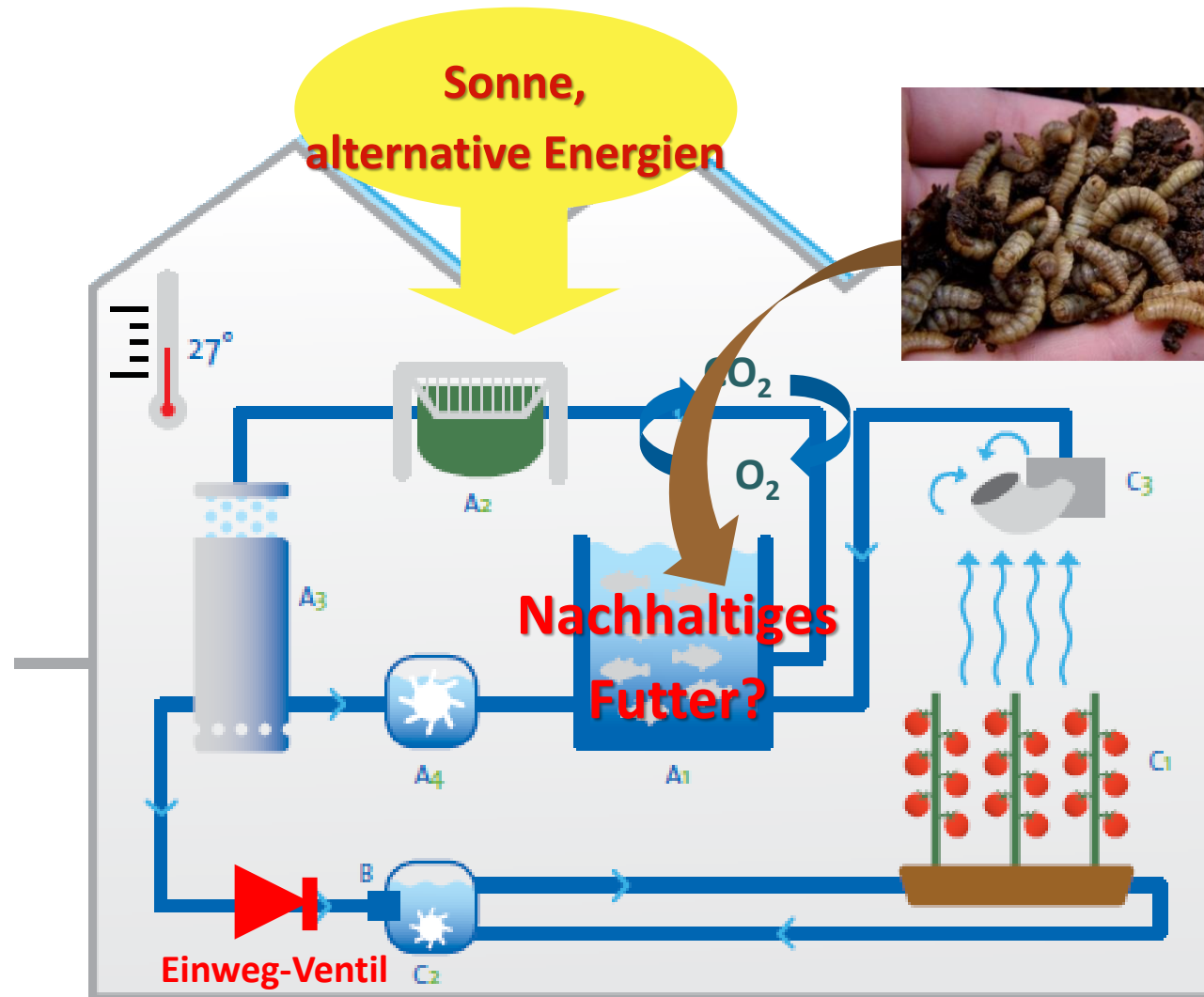
Dennoch, kulturelle Barrieren vor Nutzung von Insekten für die menschliche Ernährung

– Mehlwurm-Burger, Heuschrecken-Snacks etc. !?

ALTERNATIVE: Wertschöpfungsketten ungenutzte Nahrungsmittel ($\sim 1.3 \times 10^9$ t/a) für Insekten;
Insekten-Protein als Bestandteil für Tierfutter (Fisch!)

Tilapia: Fliegenmadenmehl ersetzt Fischmehl komplett!

Zweikreislaufsystem mit Wasserrückgewinnung (IGB-Aquaponik)



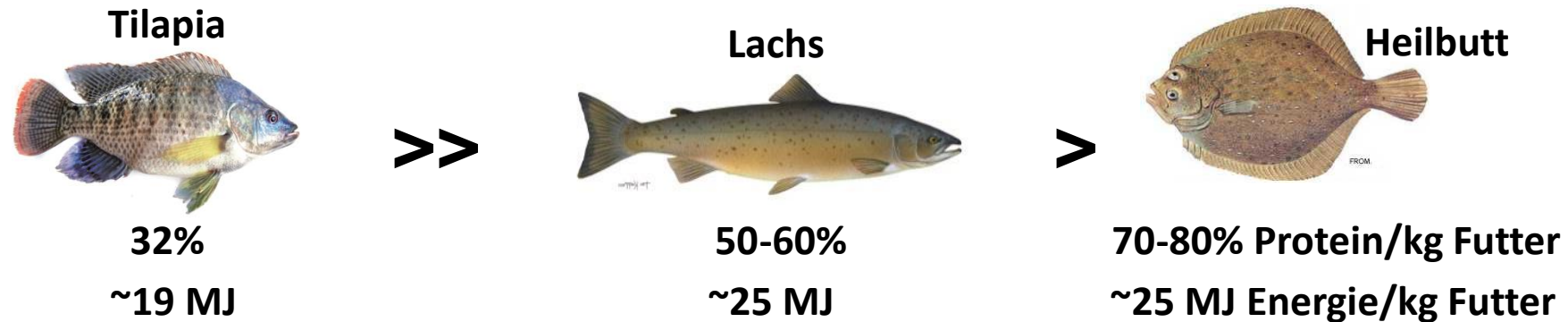
Protein aus abgelaufenen
Lebensmitteln wird durch
Black Soldier-Fliegenmaden
wieder-gewonnen!
Nur Süßwasser-Fische!

Futteransprüche und Nachhaltigkeit

- Fischernährung hauptsächlich durch Protein und Fett, nicht durch Kohlehydrate!
- Süßwasserfische benötigen weniger Energie für Metabolismus als marine Arten!
- Marine Fischarten benötigen Fischmehl in ihrem Futter!
- Omnivore Süßwasserarten können ohne Fischmehl auskommen!

....DAHER Fisch ist nicht gleich Fisch!

Protein/Energie-Ansprüche an die Aquakultur-Ernährung



Süßwasser

KEIN Fischmehl notwendig!

Salzwasser

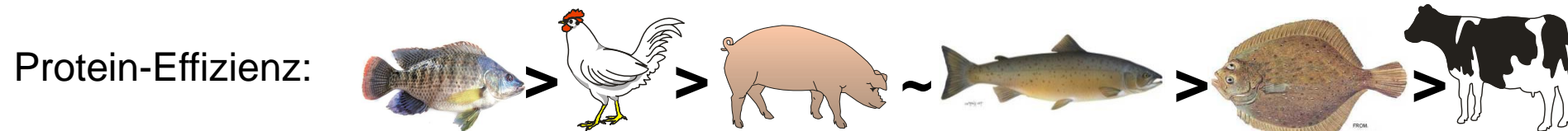
Fischmehl zumindest teilweise essentiell!

Vergleich Ernährung und water footprint

Für 1 kg Fisch-Biomasse	Tilapia	Lachs	Heilbutt
Proteingehalt im Futter	32%	60%	80%
Fisch [kg] für Fischmehldiät	1.5-2	3-4	4-5
CO ₂ Emission [kg]	1.3	2.3	3.0
Fischmehlersatz	100%	50%	50%
Water foot print [L] basierend auf Proteingehalt			
Fischmehl	minimal	minimal	minimal
Erbsen getrocknet	3000	3000	4000
Soja	2100	2100	2800
Rapssamen-Ölkuchen	1100	1100	1500
Insektenmehl	minimal	minimal	minimal

nachhaltig?

water footprint berechnet nach Mekonnen & Hoekstra (2013)



CO₂-Emission: Fische nachhaltiger als Huhn, Schwein, Rind

Water foot print: abhängig von den Futter-Bestandteilen, Pflanzenproteine erhöhen!

Perspektiven „Tomatenfisch“



- Einsparung von Wasser (~90%)
- Minimierung von Emissionen (N, P, CO₂)
- Einsparung von Pflanzendünger (~75% Tomate, ~66% Salat)
-> Reduktion von CO₂-Äquiv. für N-Düngerherstellung von ~1,5 bis 15 t/ha bei Tomaten bzw. Salat (Suhl et al. 2018)

...es muss nicht immer Tomate sein!

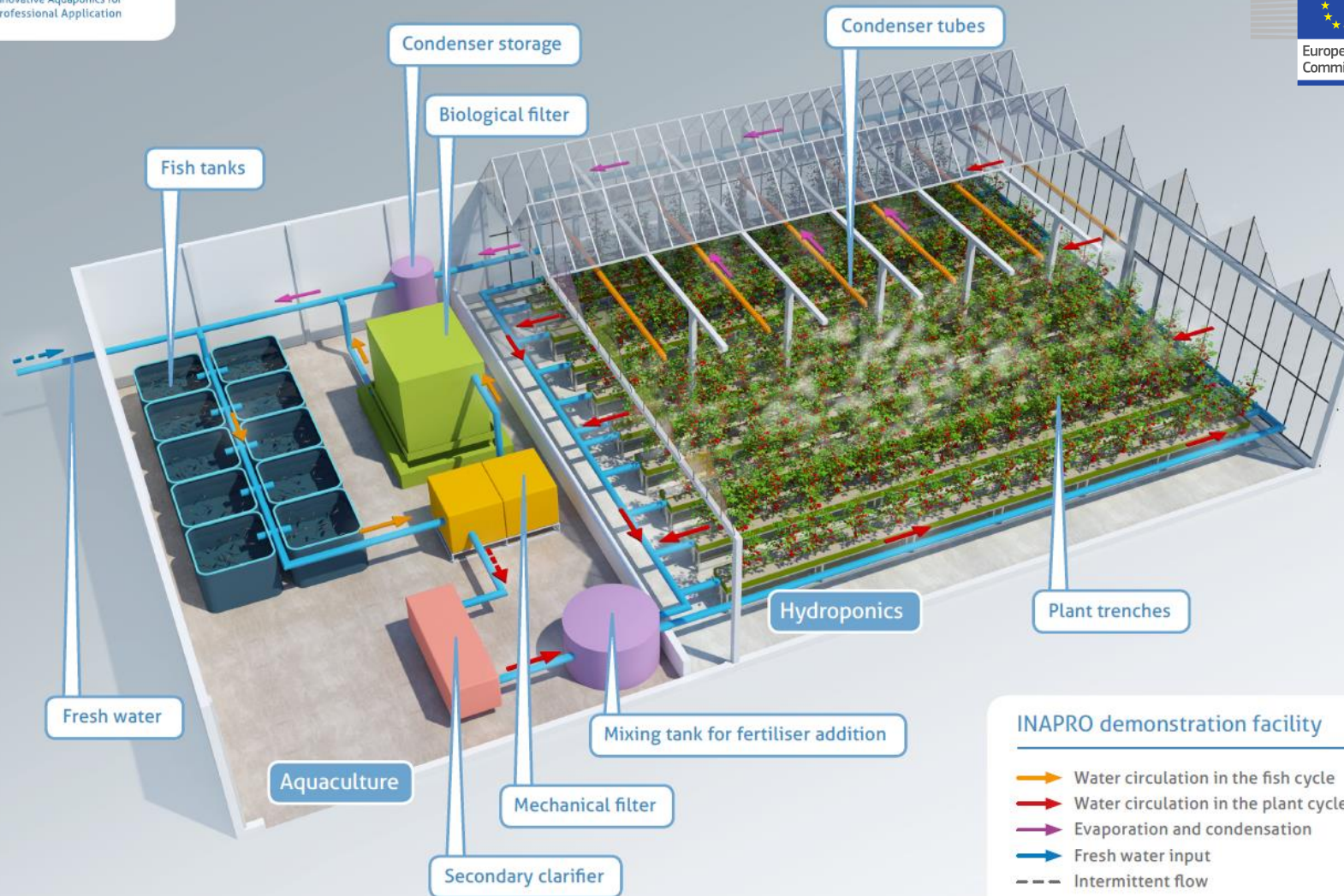
Prinzipiell können alle Pflanzen, die für Hydroponik geeignet sind, auch für die Aquaponik genutzt werden.

...ebenso alle Fischarten, die in geschlossenen Kreislauf-Systemen gehalten werden können!



Transfer in die Anwendung:





INAPRO demonstration facility

- Water circulation in the fish cycle
- Water circulation in the plant cycle
- Evaporation and condensation
- Fresh water input
- - - Intermittent flow

Size: ~ 500 m², Construction phase: Dec 2015 - May 2016
Test phase: May 2016 - Dec 2017

Waren/Müritz, Murcia/Spain

Waren/Müritz, Blick auf das Gewächshaus



Perspektiven „Tomatenfisch“





Perspektiven „Tomatenfisch“

- down-scaling (Subsistenzwirtschaft) im 3-Regentonnen-Format
- Up-scaling für regionale High-Tech-Produktion in Großbetrieben



Perspektiven „Tomatenfisch“ – urban/vertical farming



Containerfarm

Ist Aquakultur mit Fischen wirklich die nachhaltigste Art tierisches Eiweiß zu erzeugen?

- Süßwasser-Fische bei Futterverwertung & Emissionen vergleichbar oder besser als Huhn und Insekten, marine Arten brauchen mehr Protein sowie Fischmehl & -öl!
- Potential Aquakultur mit Pflanzen-Produktion als Aquaponik (Fischabwasser als Dünger!) zu kombinieren!

Proteinerzeugung durch Aquakultur ist am nachhaltigsten mit

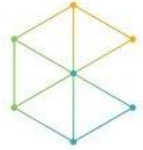
- omnivoren Süßwasserarten
- Futter auf Fischmehl-/Insekten-Basis
- Aquaponik als Produktionsform

Hinzu kommt

- Futter ohne Antibiotika-Zusätze
- „Massentierhaltung“ unter Beachtung des Tierwohls möglich



Perspektiven – CUBES Circle <https://www.cubescircle.de/>



CUBES Circle

Future Food Production

closed urban modular energy- and resource-efficient agricultural systems

www.cubescircle.de



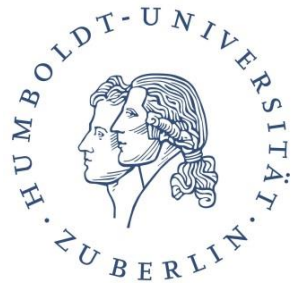
BMBF, Bioökonomie 2030:

Aquakultur - Hydroponik - Insektenzucht

EINE INITIATIVE VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



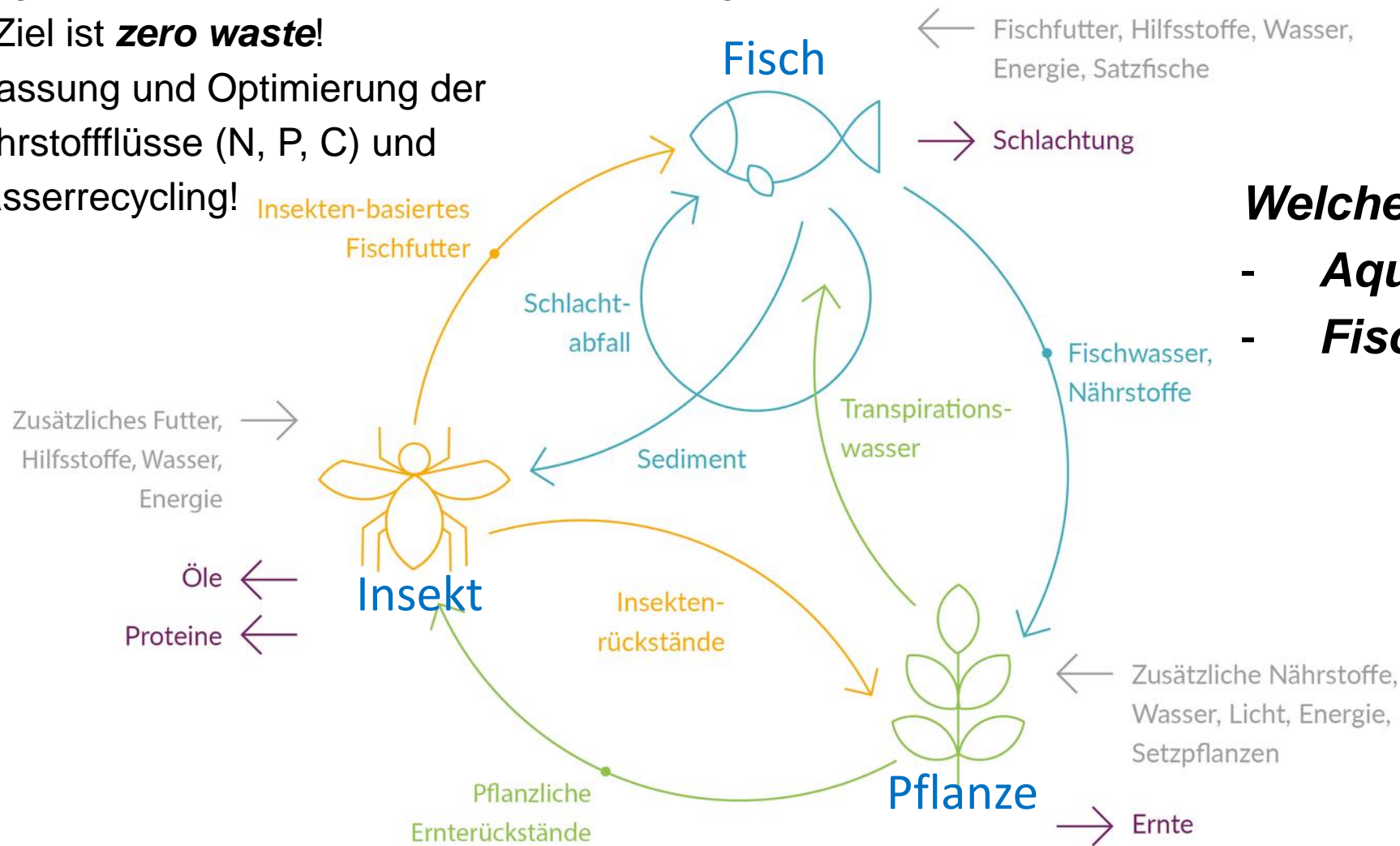
Perspektiven – CUBES Circle <https://www.cubescircle.de/>



Integration von Insekten erhöht die Nachhaltigkeit

-> Ziel ist **zero waste!**

Erfassung und Optimierung der Nährstoffflüsse (N, P, C) und Wasserrecycling!



Welche Fischarten?

- **Aquaponikfutter**
- **Fischwohl**

Aquaponikfutter entsprechend der Fischernährung



herbivore, omnivore, carnivore Fische

– Alternativen zu Fischmehl: Insektenmehl, Geflügelmehl, Blutmehl, Knochenmehl,...Futter für verschiedene Lebensstadien (Endfutter, Laicherfutter)

herbivor

omnivor

carnivor



Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*)



Black Pacu (*Colossoma macropomum*)



Tilapia (*Oreochromis niloticus*)



African catfish (*Clarias gariepinus*)

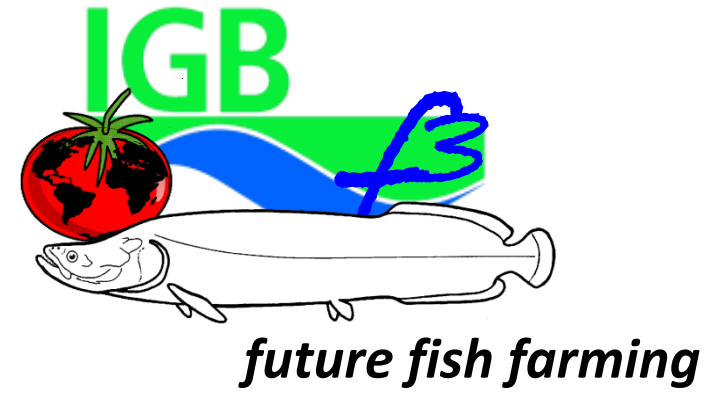
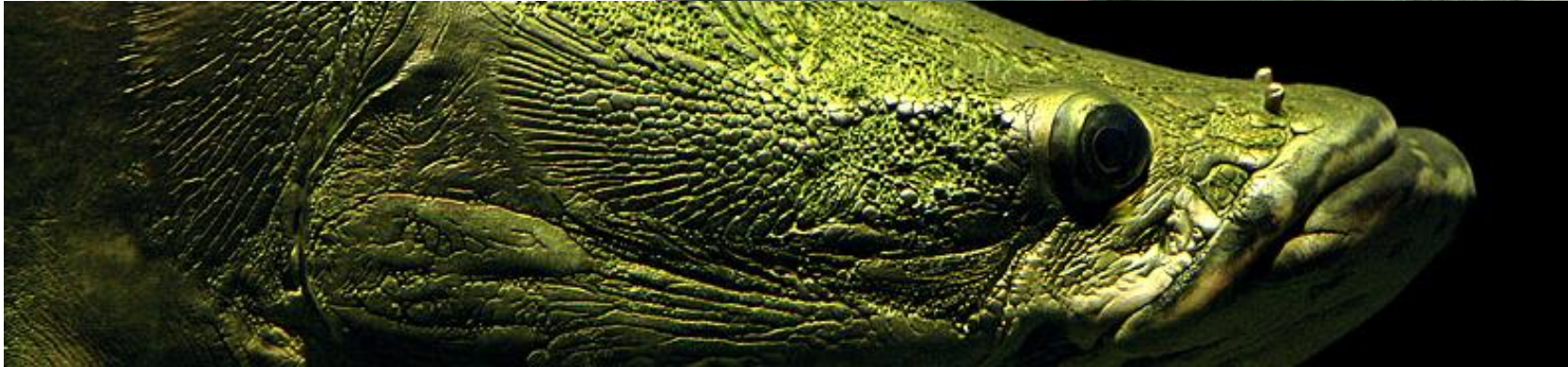
Fischwohl → Verbraucherakzeptanz
Ernährungswerte!?! Große Bandbreiten?!

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Perspektiven – Arapaima (Pirarucu)



Arapaima gigas



Aquaponik am IGB mit dem "Tomatenfisch"



***Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!***



2012

DEUTSCHER
NACHHALTIGKEITSPREIS

Deutschland
Land der Ideen



Ausgezeichneter Ort 2013/14



Ralf-Dahrendorf-Preis
für den Europäischen
Forschungsraum

2019

 **INAPRO**
Innovative Aquaponics for
Professional Application



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:

Leibniz-Institut für Gewässerökologie
und Binnenfischerei (IGB)

Werner Kloas
Abteilungsleiter
Abteilung Biologie der Fische, Fischerei und Aquakultur

+49 30 64181-630

<https://www.igb-berlin.de/profile/werner-kloas>

werner.kloas@igb-berlin.de

www.igb-berlin.de

