

Symposium „Landwirtschaft in der urbanen grünen Infrastruktur“

- Die Stadt als Produktionsraum



IGB

Leibniz-Institut für Gewässerökologie
und Binnenfischerei



Aquakultur in der Stadt?

Ressourcenbedarf und ökologische Auswirkungen auf die Umwelt

Werner Kloas

Abteilung Biologie der Fische, Fischerei und Aquakultur, IGB &
Abteilung Endokrinologie, Institut für Biologie & Albrecht Daniel Thaer-Institut, Humboldt Universität, Berlin

Berlin, 16.11.2022

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),

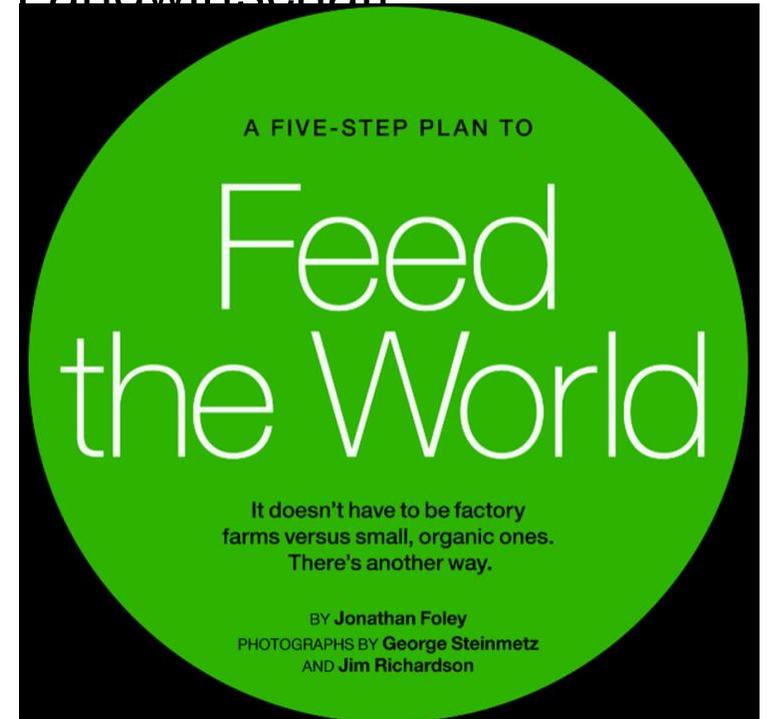
Urbanisierung,

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 auf 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

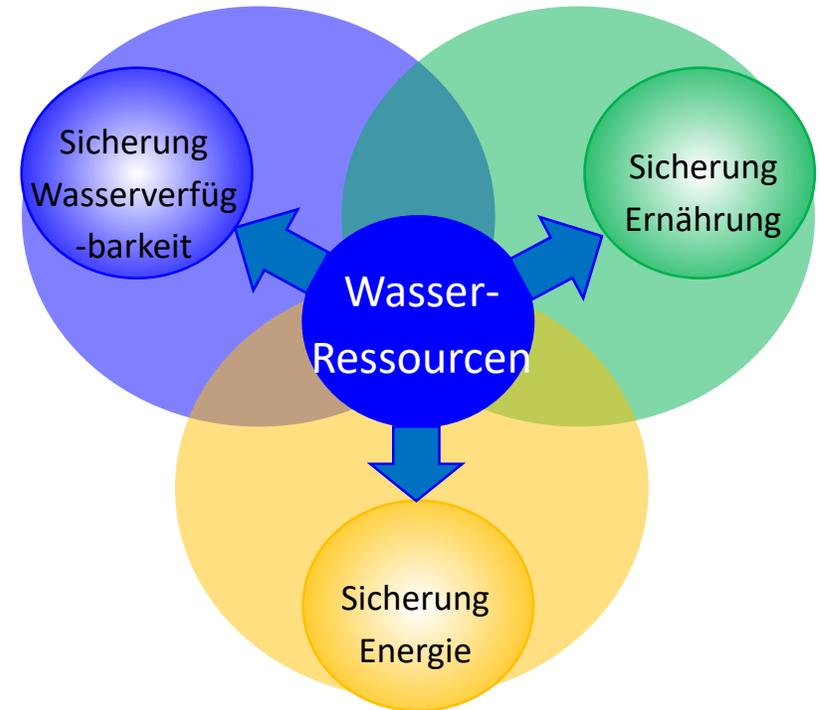
– footprint Reduzierung des **water-food-energy nexus**:

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



Schonung der Ressource Wasser!

Kann nachhaltige Aquakultur (in der Stadt) hierzu beitragen?



Was versteht man unter Aquakultur?

Nach FAO beinhaltet **Aquakultur** 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.



Nicht nur **Fisch**,
Muscheln & Shrimps,
auch **Algen & Pflanzen!**

**Aquakultur in der
Stadt?**

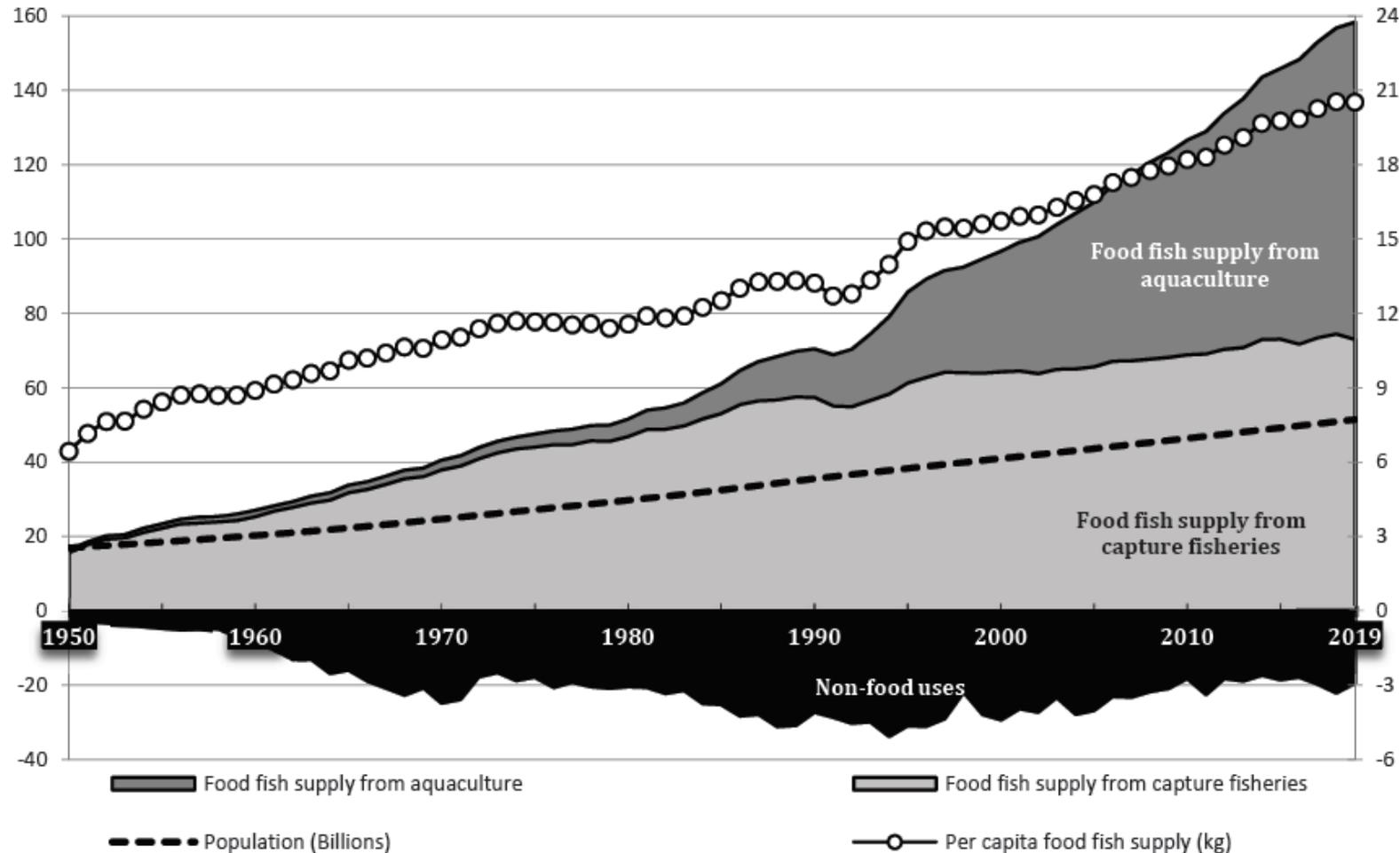
Hier:
Fokussierung auf
Fisch!

Globale Fisch-Produktion

FAO (2022)

Fish utilization
(million tonnes)

Population (billions) &
food supply (kg/capita)



Aquakultur ist der schnellst wachsende Sektor der Landwirtschaft (~3,8%/a)!

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

Menschliche Ernährung:
Aquakultur (85 Mill.t) >
Fangfischerei (73 Mill.t)

Aquakultur mit Fischen

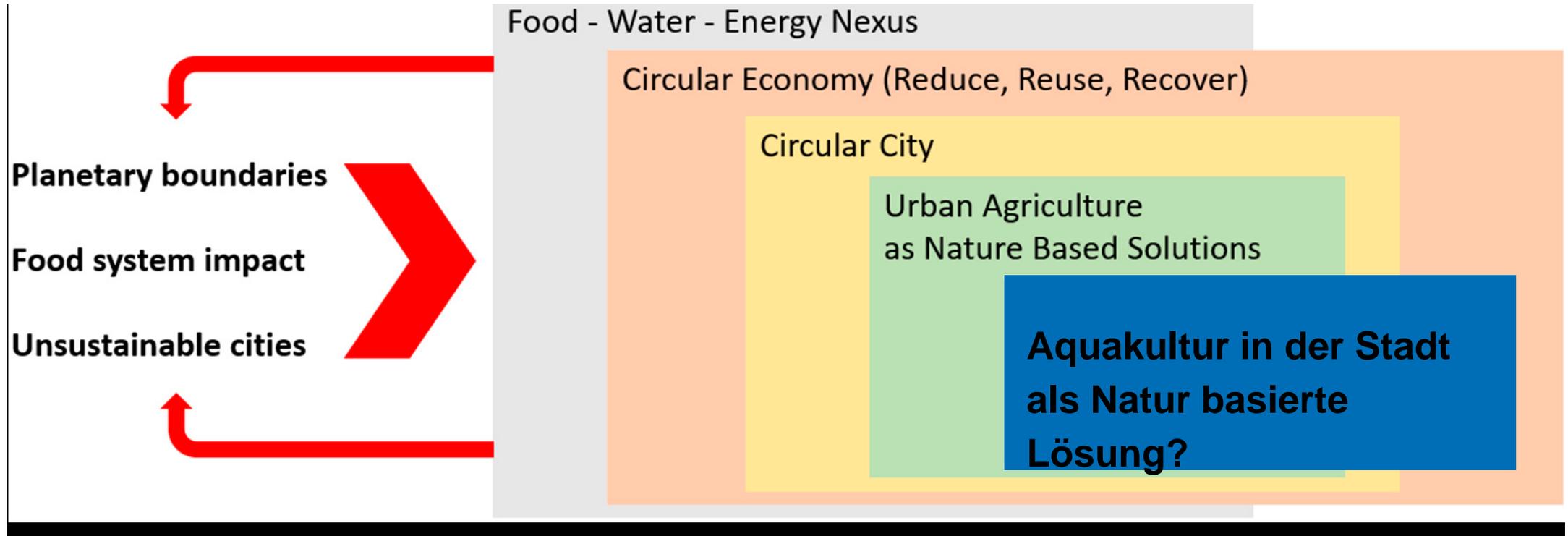
- schnellst wachsender Sektor der Landwirtschaft
- meist Süßwasser-Fische
- Fische: wertvolles Eiweiß & größte globale tierische Ressource für die menschliche Ernährung
- Beschränkungen an Raum, Süßwasser, Futter (Fischmehl!)
- muss nachhaltig sein durch Ressourcen-Schonung - **“blue aquaculture“**

“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 viel zu niedrig für die Welternährung – nachhaltige Alternativen?

Urbanisierung – Aquakultur in der Stadt?

(Baganz et al. 2021, Water; modifiziert)



Aquakultur – Produktionsmethoden für die Stadt?

Außenanlagen:

Teichwirtschaft – extensiv, im Durchfluss für Karpfen, 10 m²/kg!

keine/kaum Umweltbelastung, hohe Biodiversität, benötigt viel Raum bei geringer Produktivität,
aber in der Stadt: Vandalismus, Wilderei, müsste vor Betretung geschützt werden!

Netzkäfige in Seen oder Flüssen

Belastung des Umgebungswassers durch Nährstoffe (N, P!) oder
umgekehrt: Belastetes Umgebungswasser schadet den Tieren!

Zudem gleiche Problematik wie bei Teichwirtschaft: Vandalismus, Wilderei, müsste vor Betretung geschützt werden!



Ökologisch nur extensive Teichwirtschaft, eventuell mit Schönungsteichen, praktische Umsetzung erscheint auch wegen der geringen Produktivität schwierig.

-> **Nachhaltige Aquakultur in der Stadt mit relevanter Produktion an Fisch ist mit Außenanlagen nicht zu erreichen!**

Aquakultur – Produktionsmethoden für die Stadt?

Geschlossene Aquakultur-Kreislaufsysteme (RAS) in Gebäuden

Vorteile

- geschützt, ortsunabhängig, Land/Stadt
- Schutz gegen Umwelteinflüsse -> Resilienz der Produktion
- keine unkontrollierten Emissionen in die Ökosysteme
- intensive Produktion von Fischen auf geringem Raum bei Einhaltung des Tierwohls
- effizienteste Nutzung von Süßwasser (nur 5-10% Vol.-Austausch Süßwasser/Tag)

Nachteile

- relativ high tech, hohe Investitionen
- Wasserbezug (Trinkwasser 1,813 €/m³), „Fischabwasser“ (N, P) -> Kläranlage (2,155 €/m³)
ökonomisch schwer darstellbar, Alternativen oder Weiternutzung notwendig!

Geschlossene Aquakultur-Kreislaufsysteme - Technik

Endprodukt des Proteinstoffwechsels ist NH_3

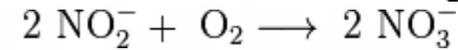
– fischtoxisch!

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!

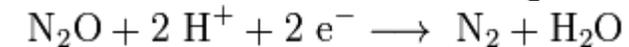
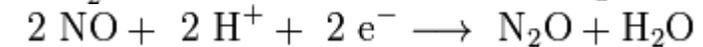
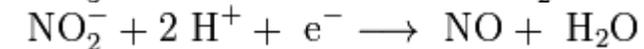
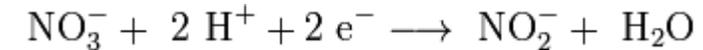
(3) Nitrifikation (aerob)



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

-> 5-10% Wassertausch/Tag!

(4) Optionale Denitrifikation (anaerob)

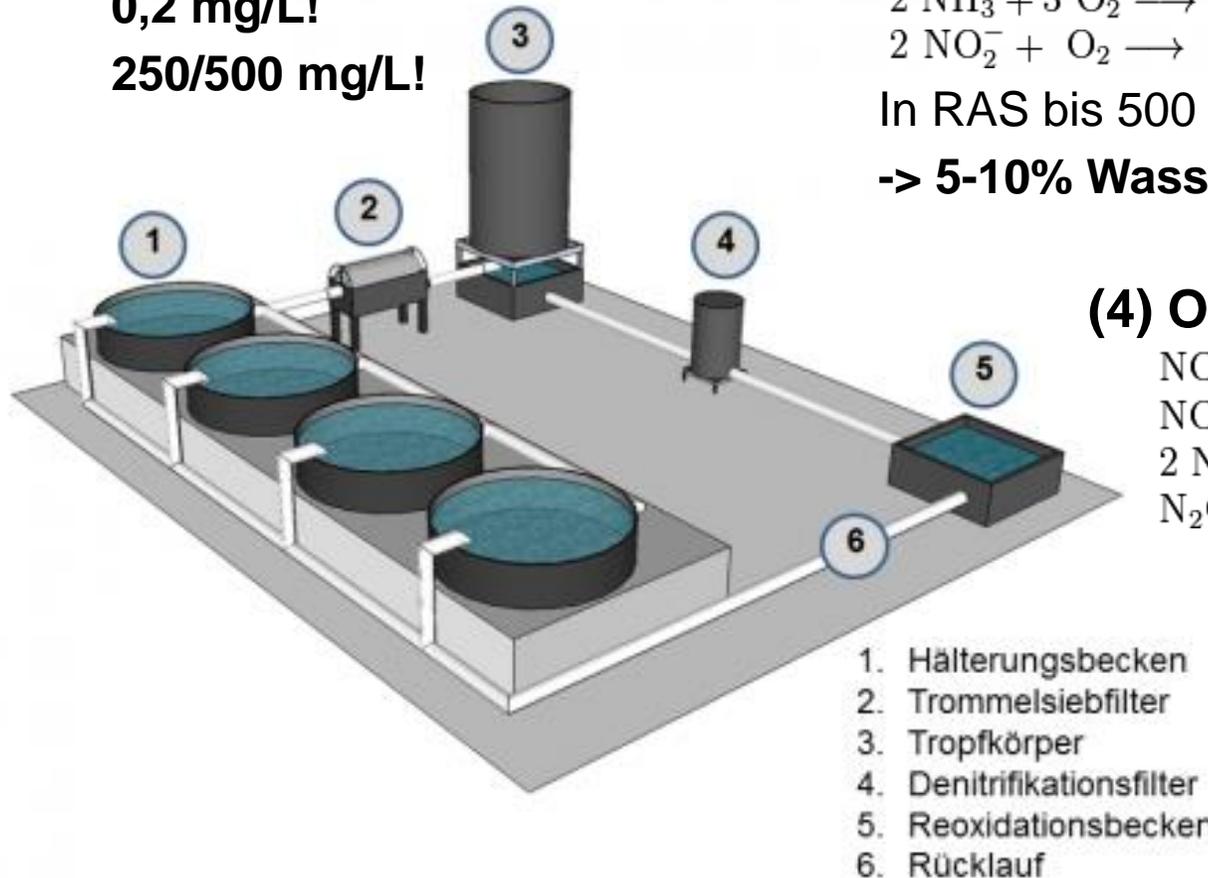


In RAS Alkohol als Elektronendonator!

-> 2% Wassertausch!?!

Regeltechnisch schwierig, teuer!

Weshalb sollte NO_3^- nicht weiter genutzt werden?



Ressourcenbedarf - water footprint

[Wasser L/kg Biomasse]

Durchfluß Forelle: ~ 220,000 L

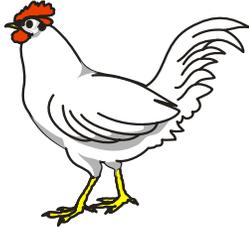
Karpfen: ~ 5,000 L



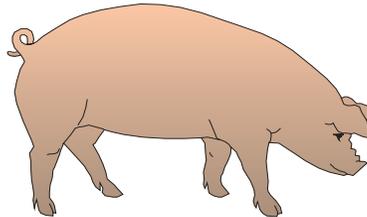
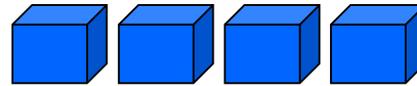
500 –
1000 L



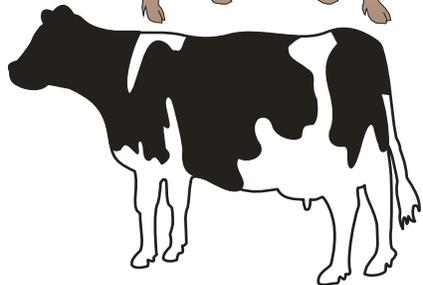
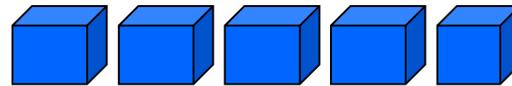
RAS Nur wenn Futter seinen Hauptbestandteil Protein aus Fisch- oder Insekten-Mehl mit vernachlässigbarem virtuellen water footprint bezieht! Kein Pflanzenprotein, wenn nicht nachhaltig erzeugt!



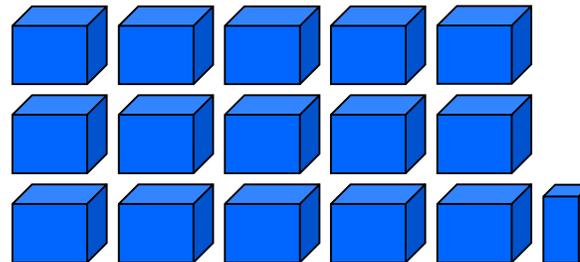
3900 L



4800 L



15500 L



Für 1 kg Fisch (Handels-Erlös ~2,50 € für Tilapia) werden ~1 m³ Frisch-Wasser benötigt und ebenso viel Fisch-Abwasser erzeugt (Kosten ~4 €) für Futter, Arbeit & Anlage entstehen weitere Kosten von ~2 € (total ~6 €)
-> **bei Vollkosten für Wasser nicht ökonomisch**

(-3,50 €), nur Direktvermarktung machbar

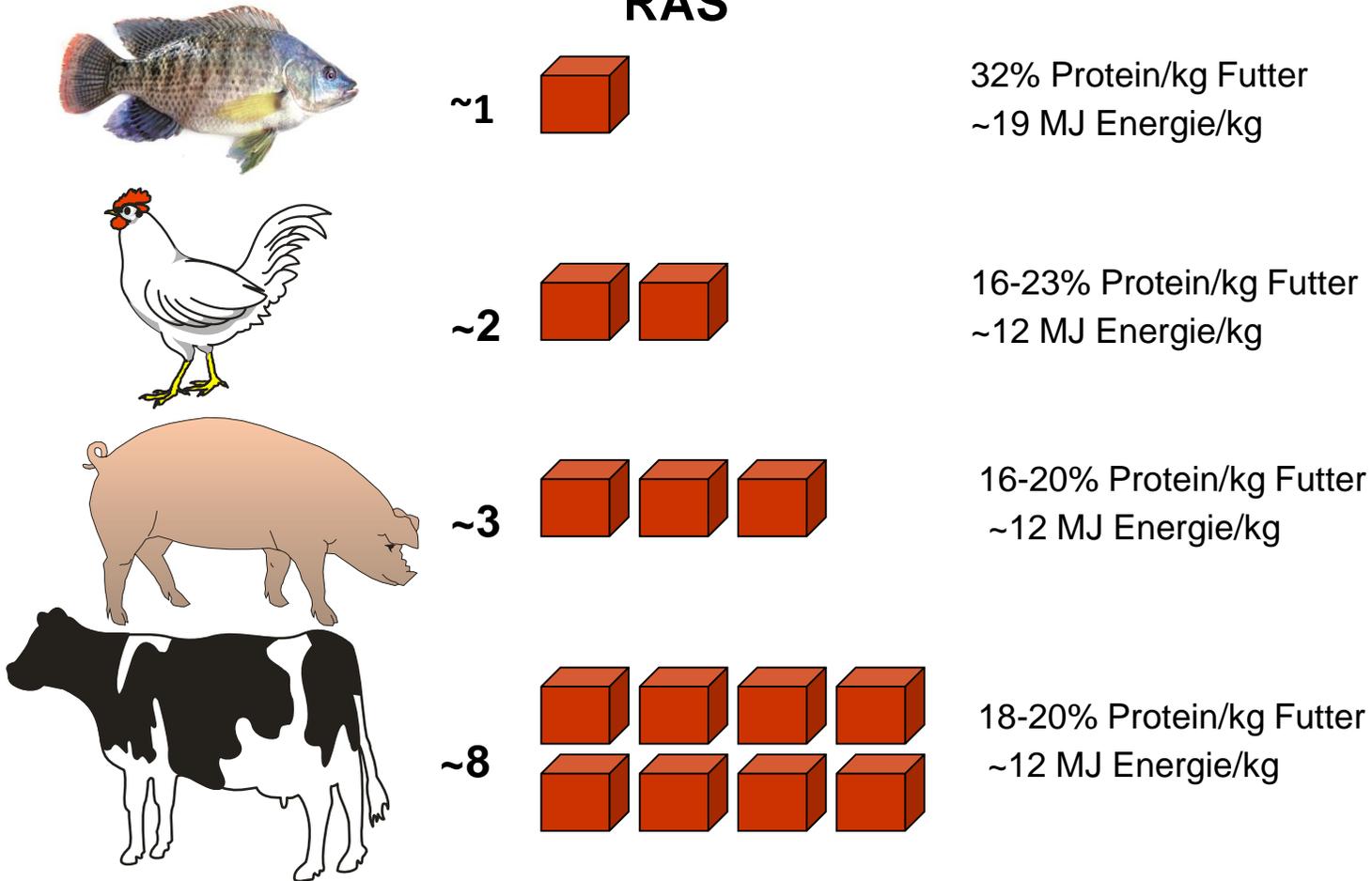
-> **andere Wasser-Nutzungskonzepte nötig!**

Ressourcenbedarf - Futter-Quotient

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

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

RAS



Nachhaltiges Fisch-Futter?

Fischmehl ist nicht ausreichend verfügbar!

Alternative Protein-Ressourcen?

Konventionell erzeugte Pflanzenproteine haben einen hohen virtuellen water footprint.

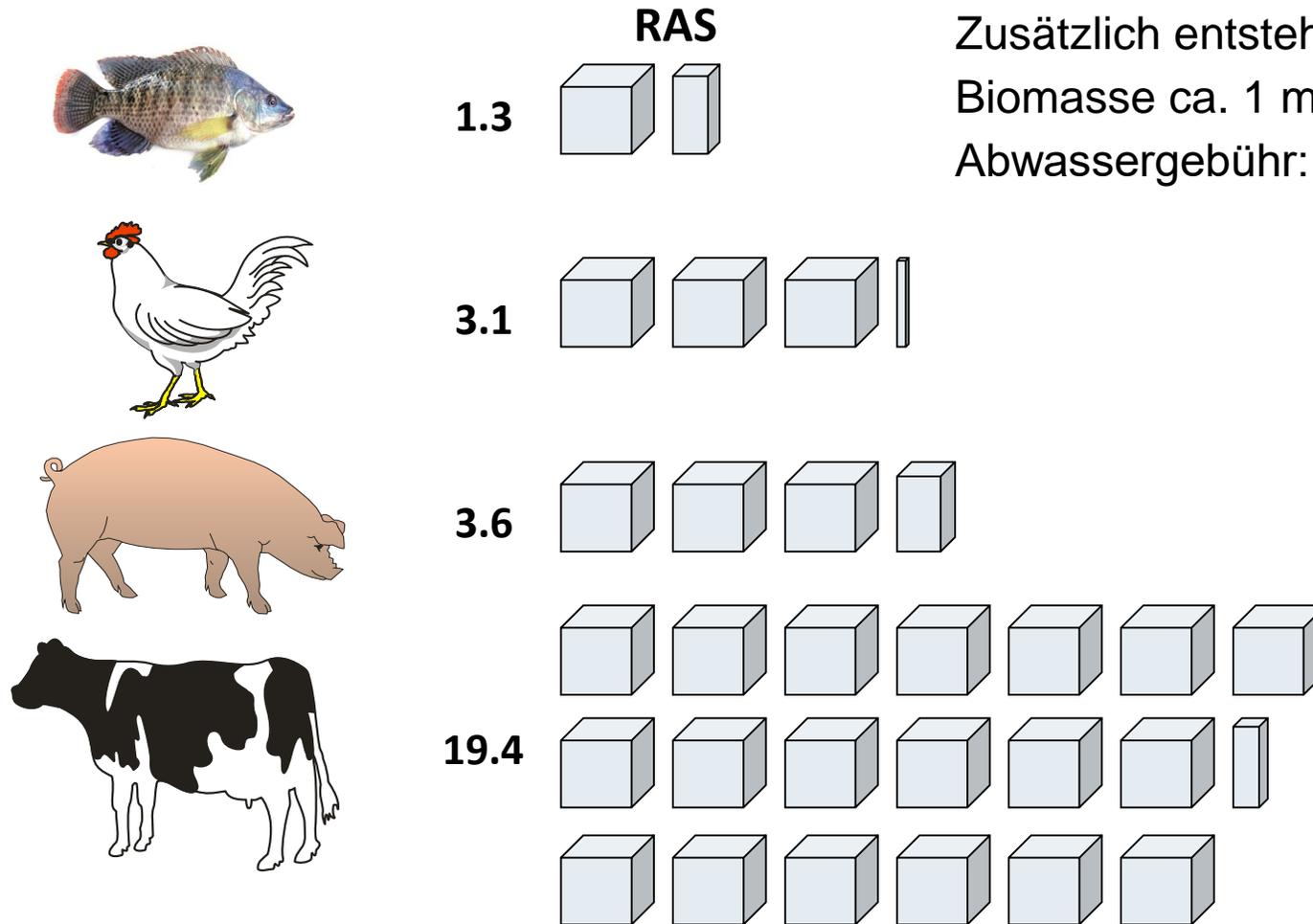
Insektenmehl aus recyceltem Protein von biogenen Ressourcen (Biomüll) ist nachhaltiger! Oder andere tierische Beiprodukte wie Geflügelmehl etc.



Ökologische Auswirkungen – CO₂-/N-/P-Emissionen

[CO₂-Emission kg/kg Biomasse]

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



Zusätzlich entsteht bei Süßwasserfischen wie Tilapia je kg Biomasse ca. 1 m³ „Fisch-Abwasser“ mit 48 g N und 4 g P! Abwassergebühr: ca. 2,155 €/ m³! Ökonomie!?!

Fisch-Abwasser mit hohen Nährstoffkonzentrationen als Ressource!?!

Verbesserung der Nachhaltigkeit von RAS

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

Entwicklung einer nachhaltigen Ökotechnologie

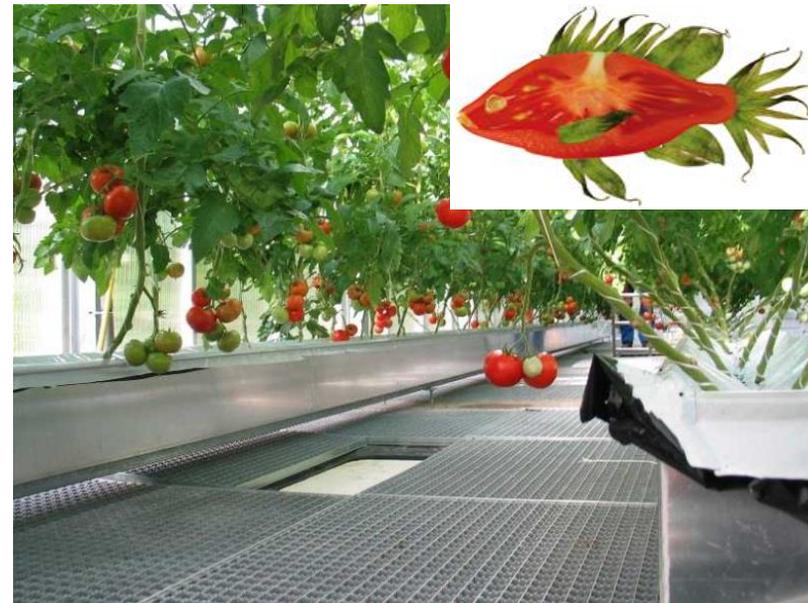
zur *Integration von Aquakultur und Gartenbau*, **um** durch Wertschöpfungsketten **Wasser zu sparen und Emissionen zu minimieren**.

Aquakultur (Fisch) + Hydroponik (Gemüse) = Aquaponik

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



+



Was versteht man eigentlich unter Aquaponik?



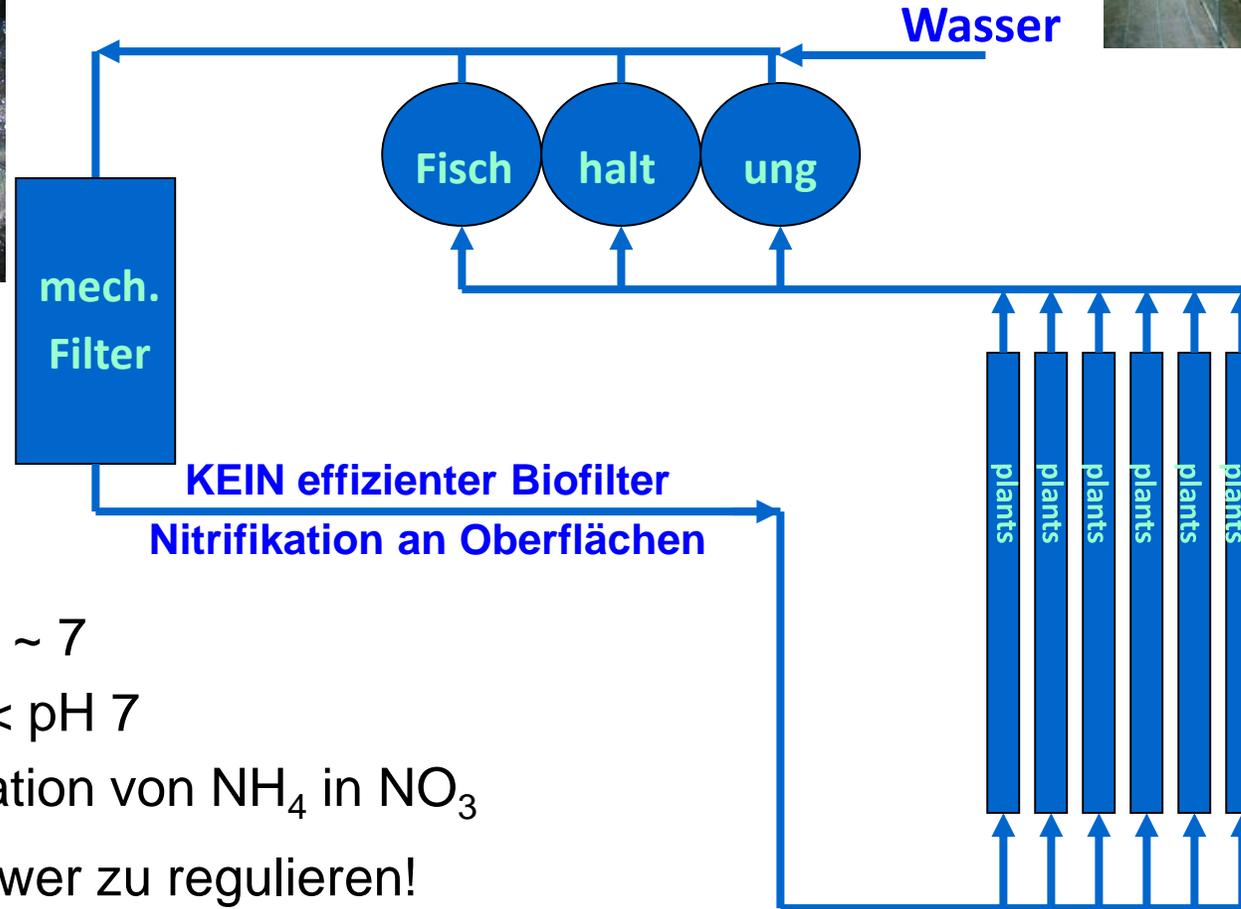
Unter dem **aquaponischen Prinzip** versteht man die Koppelung von **tierischer Aquakultur** mit der **Pflanzenzucht**, um durch die Nutzung des anfallenden “Abwassers” aus der Aquakultur Ressourcen zu sparen (Wasser, Nährstoffe).

Das **aquaponische Prinzip** ist verwirklicht als **Aquaponik Farming** (Überbegriff) und wurde zuerst genutzt als **Trans-Aquaponik** (China: Kokultivierung von Reis und Karpfen; Ägypten: Tilapia-Teiche mit anschließender Feldbewässerung) und entwickelte sich zur **Aquaponik** definiert als die Koppelung von tierischer Aquakultur in Tanks mit Pflanzenproduktion in Hydroponik. (*Baganz et al. (2022), Rev. Aquacult.*)

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

“Klassische“ Aquaponik

Einkreislauf-System



Wasserverbrauch
10-20% Vol./Tag!

Nur Kräuter und Salat,
keine Tomaten!

Nachteile:

Fische & Bakterien pH ~ 7

Pflanzen bevorzugen < pH 7

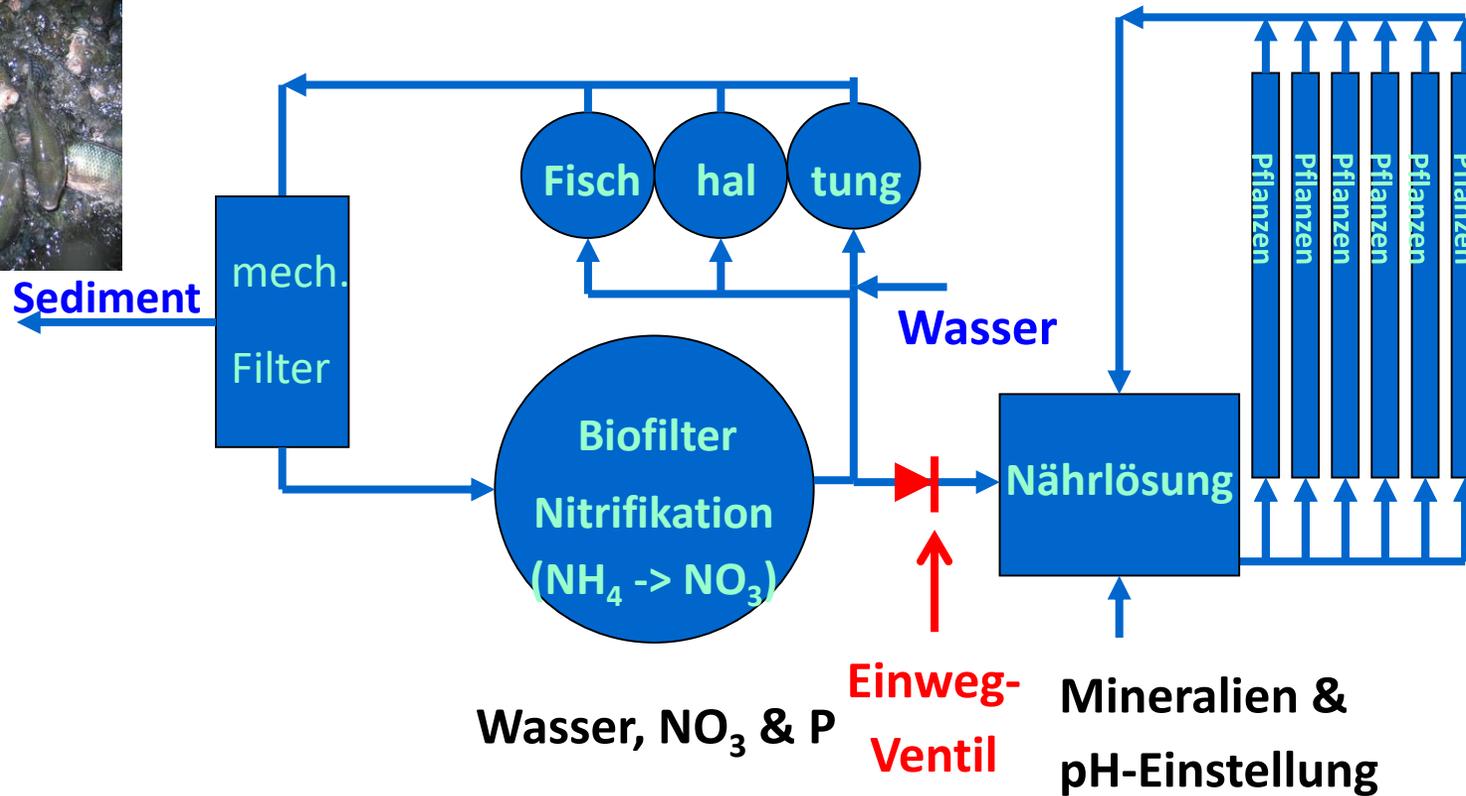
Unvollständige Nitrifikation von NH_4 in NO_3

Nährstoffe und pH schwer zu regulieren!

Suboptimale Bedingungen für Fische und Pflanzen, geringe Produktivität!

Innovative Aquaponik (entwickelt am IGB)

Zweikreislauf-System (entkoppelt bzw. nach Bedarf gekoppelt)

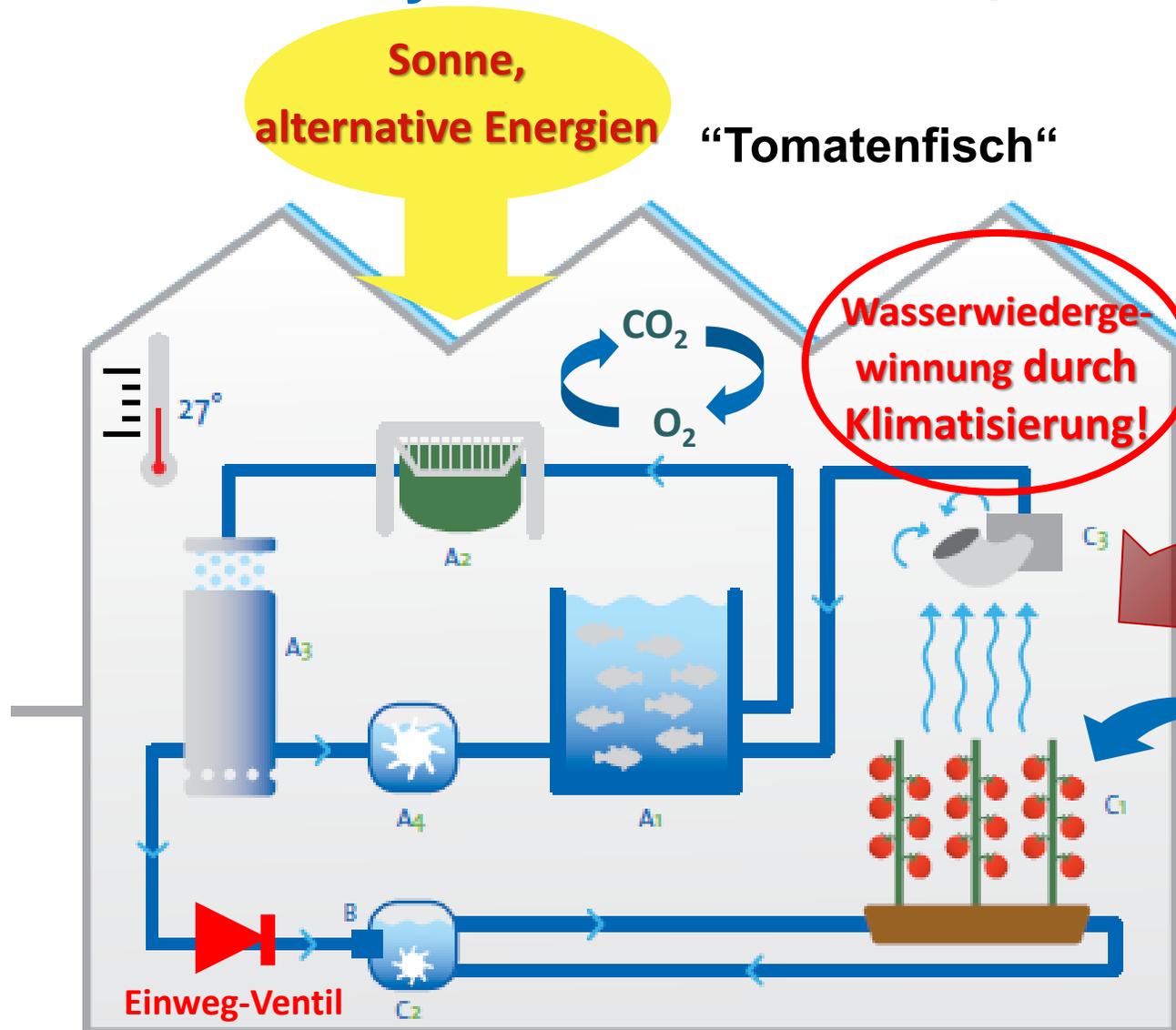


“Trennung“ von Aquakultur & Hydroponik durch **Einweg-Ventil!**

KEINE Nachteile für beide systemischen Komponenten durch Entkopplung!

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

Zweikreislaufsystem mit Wasserrückgewinnung (IGB-Aquaponik)



Aquaponik

- Senke für Abwärme
- CO₂-Senke/-Düngung für Hydroponik

Wertschöpfungsketten für Wasser <1.0%/d, NO₃, P, & CO₂!

Abwärme

CO₂

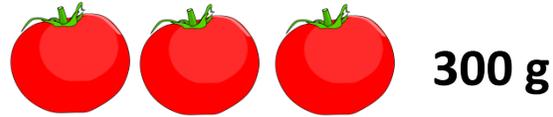


Biogasanlage

Was erhalte ich mit der Nutzung von 10 L Wasser?



Hydroponik:



300 g

Freiland:



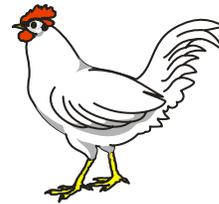
50 g



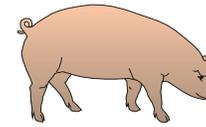
Aquakultur- Kreislaufanlage:



10 g



2,5 g



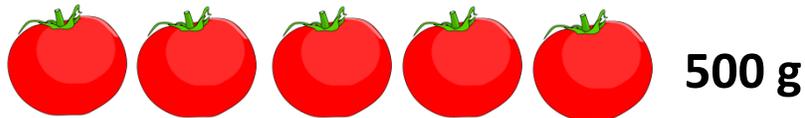
2,0 g



0,6 g



Aquaponik :



500 g



100 g



Produktive Nachhaltigkeit!

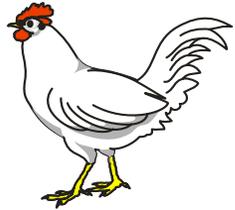
Ressourcenbedarf – Flächenbedarf für Futter, Produktivität

Flächenbedarf/kg:

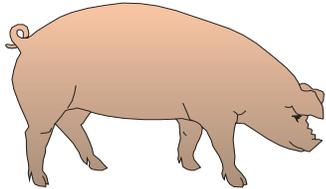
(nach de Vries & de Boer, 2010)



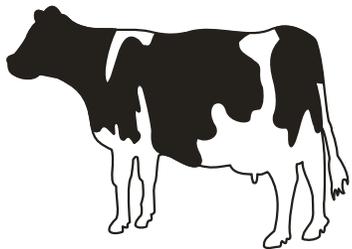
??? nur ~ 1,5 m²



8,1 m²



8,9 m²



27,0 m²

für Stärke als Bindemittel der Futter-Pellets bei Verwendung nicht-pflanzlicher Protein-Quellen (Fischmehl, Insektenmehl, Geflügelmehl, etc.)

Produktivität/m³*a:



500 kg



1300 kg

Haltungsdichten:

65 kg/m³

150 kg/m³

Fütterungsrate: 2,5%/Tag

Platzbedarf: je m³/5 m² oder weniger....



Beispiel Berlin 3,77 Mill. Einwohner jährlicher Bedarf:

	Frisch/Filet:	Produkte:	total brutto:	
Süßwasserfisch	3 kg (p.c.)	0,9 kg (p.c.)	20,584 t	zusätzlich noch ~ 10 kg Seefisch (p.c.)
Tomaten	9,3 kg (p.c.)	14,7 kg (p.c.)	107,670 t	
Salat	6,8 kg (p.c.)		26,918 t	

Fisch-Produktion mit RAS

	Tilapia 	Clarias 
RAS Vol./Fläche:	41,000 m ³ /200,000 m ² ~ 20 ha	16,000 m ³ /80,000 m ² ~ 8 ha
„Fischwasser“:	20 Mill.m ³	10 Mill.m ³ (höhere Haltungsdichte)
N (em.):	1,000 t	1,000 t
P (em.):	80 t	80 t
CO ₂ (em.):	27,000 t	27,000 t

Fisch- und Gemüse-Produktion mit Aquaponik (Gesamtfläche ~ 220 ha)

Wasser:	20 Mill.m ³ / < 2 Mill.m ³	10 Mill.m ³ / < 1 Mill.m ³ (ohne/mit Wasserrückgewinnung)
„Fischwasser“ und Emissionen an N als NO ₃ und P sowie CO ₂ werden durch Pflanzen in Hydroponik genutzt.		
Regenwassersammlung (200 ha -> 1 Mill. m ³) theoretisch zur autarken Wasserversorgung ausreichend!		

Ressourcenbedarf – Aquaponik: City oder Hinterland?

npj Urban Sustainability "City or Hinterland – Site Potentials for Upscaled Aquaponics in a Berlin Case Study" Baganz et al. (2022, accepted)



Site criterion	Urban and peri-urban agri- and aquaculture	
	Intra-urban	Peri-urban
Aquaponics [count]	370	16
Facility size [hectares]	0.605	14
Total area [hectares]	223.9	224.0
Preferable sites	rooftops / interior of buildings	unused commercial areas
Net land take	zero	224 hectares
Sustainable energy	CC* ressources	long term storage/ CE** ressources
CC/CE streams requiring spatial proximity	e.g. grey water, excess heat	e.g. excess heat (biogas plant), CO ₂
Logistics	disruptive in sensible districts	difficult, when away from main traffic links
Network configuration (wholesalers involved)	23 times as many production sites	16% to 79% longer distances
Adapting structural fitness of existing buildings	e.g. rooftop, floors, cellar etc.	--
Economies of scale	low	high

* Circular City ** Circular Economy

Criterion	Intra-urban	Peri-urban	Total
Facilities [count]	69	13	
Facility size [hectares]	0.605	14.0	
Total area [hectares]	41.7	182.0	223.7
Share	18.7%	81.3%	100%
Preferable farming type	aquaponics	aquaponics	
Optional	trans-aquaponics		
Scope	food production, marketing, social cohesion, education	food production	
Site potential utilisation	69 of 507 buildings	182 of 2,008 hectares	
Relative	13.6%	9.1%	



Ökonomisch sind große Aquaponik-Anlagen im peri-urbanen Raum für die Produktion am besten!

Mischung von peri- und intra-urbanen Anlagen auch für Marketing/Direktverkauf, soziales Miteinander & Bildung!

Ressourcenbedarf – Aquakultur mit Trans-Aquaponik?

Nachnutzung von Gebäuden z.B. Brauereien (Malzfabrik), Malzbottiche (~ 10 m³) als RAS -> 1000 m³ Haltungsvolumen, eigener Brunnen -> Kaltwasser-Fische wie Salmoniden: Forelle, Saibling, Lachs,...



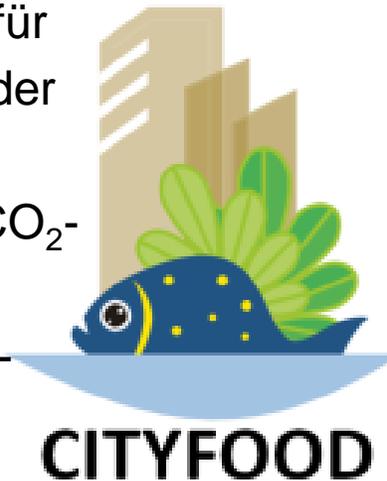
Regenbogenforelle

Saibling

Lachs

Hier **Trans-Aquaponik mit angeschlossener Freilandbewässerung**, da Salmoniden keine hohen Nährstoffkonzentrationen vertragen
-> Pipeline zur Bewässerung von Kleingarten-Anlagen (niedrige N- und P-Werte, aber dennoch für Bewässerung der Pflanzen doppelt genutzt).

Bei **Aquaponik mit Zweikreislauf-System** reicht NO₃ der Aquakultur für den Dünger (50 - 75% im Dünger) der Pflanzen aus und spart Energie-Verbrauch und damit verbundene CO₂-Emissionen bei der Kunstdünger-Herstellung durch die Haber-Bosch-Synthese (1,5 -15 t CO₂/ha*a)!



Aquakultur in der Stadt?

Ja, aber wie? Integration in bestehende oder sich etablierende Nutzungen der Kreislauf-Stadt!



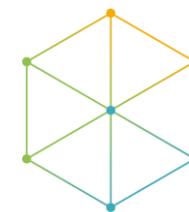
Aquakultur mit Pflanzen wie Wasserlinsen, um an Kläranlagen angeschlossen die im Wasser vorhandenen Nährstoffe in Pflanzenbiomasse umzuwandeln.

Weiternutzung dieses nährstoffarmen Wassers (?) durch **Aquakultur mit Fischen** -> Anreicherung der Nährstoffe im Wasser -> Weiternutzung als **Aquaponik** für **Hydroponik** (ohne Wasserrückgewinnung)!
Alternativ **Aquaponik** mit Wasserrückgewinnung und Regenwassersammlung!



Integration einer weiteren trophischen Ebene (CUBES Circle): **Insektenkultivierung** mit entstehenden Abfällen (Sediment Aquakultur, nicht für Menschen verwertbare Pflanzenteile)

-> zero waste!



CUBES Circle
Future Food Production

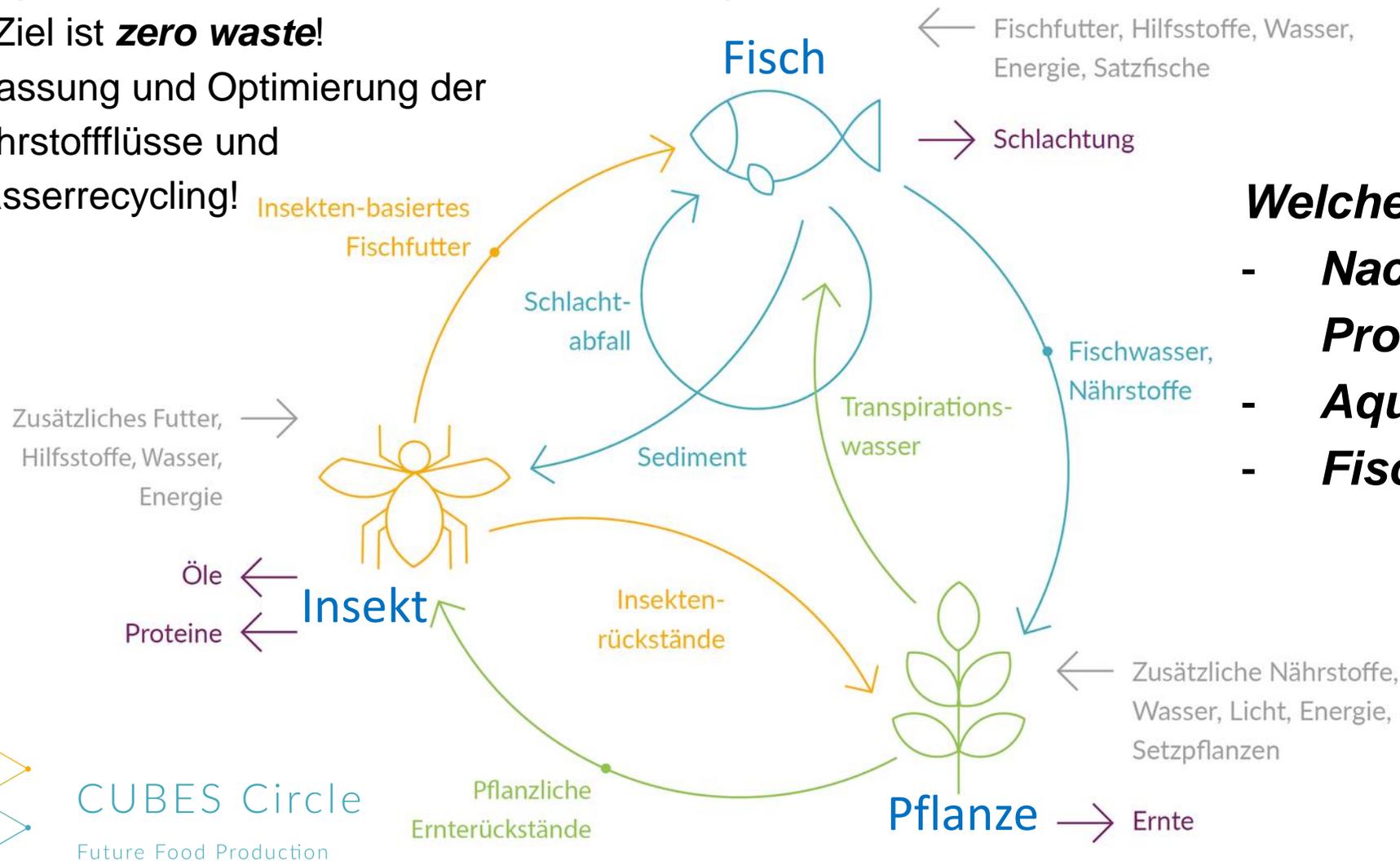
Perspektiven – CUBES Circle <https://www.cubescircle.de/>



Integration von Insekten erhöht die Nachhaltigkeit

-> Ziel ist **zero waste!**

Erfassung und Optimierung der Nährstoffflüsse und Wasserrecycling!



Welche Fischarten?

- Nachhaltige Produktion
- Aquaponikfutter
- Fischwohl



CUBES Circle
Future Food Production

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

CUBES Circle
Future Food Production



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

