

## Wasserlinsen als Nutzpflanzen

Futtermittel für Fische und andere Nutztiere





**Die Tierhaltung an Land und im Wasser verursacht einen erheblichen Anteil des ökologischen Fussabdrucks der Landwirtschaft. Dabei wirkt sich besonders der Anbau von Futtermitteln auf die schlechte Ökobilanz der Tierhaltung aus. Die globalisierte Produktion und der Import von Futtermitteln verursachen zudem weltweit Probleme unterschiedlichster Art. Lokal produzierte Futtermittel können hingegen die Nachhaltigkeit von Tierfutter langfristig steigern. Wasserlinsen eignen sich diesbezüglich sehr gut.**

## **Inhalt**

Futtermittel und ihre Ökobilanz .....	3
Wasserlinsen: Chancen und Potenzial .....	3
Nährwert von Wasserlinsen .....	5
Herausforderungen der Biosicherheit .....	8
Wasserlinsen als Lebens- und Futtermittel .....	11
Einsatz von Wasserlinsen in der Aquakultur .....	12
Weitere Einsatzgebiete von Wasserlinsen .....	14
Fazit .....	15

## Futtermittel und ihre Ökobilanz

Neben den Klimagasemissionen durch die Verdauung von Wiederkäuern selbst, wirkt sich vor allem auch der Anbau und Import von Futtermitteln auf die schlechte Ökobilanz der Tierhaltung aus. Die Produktion von Futtermitteln führt zum Ausstoss schädlicher Klimagase vor allem durch Stickstoffauswaschungen aufgrund der Düngungspraxis und Landnutzungsänderungen.<sup>[1]</sup>

Besonders problematisch sind die Abholzungen und Brandrodungen von Regenwäldern in Südamerika zur Schaffung neuer Anbauflächen, da hierbei ein globaler CO<sub>2</sub>-Speicher von grosser Bedeutung zerstört wird. Das dort produzierte, proteinreiche Soja wird auch an Schweizer Nutztiere verfüttert.<sup>[2,3]</sup> Mit dem grossflächigen Futtermittelanbau geht zudem ein erhöhter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie die Überdüngung und Übersäuerung der Böden in den Anbaugebieten einher. Dies trägt massgeblich zum grossen ökologischen Fussabdruck von Futtermitteln und den damit erzeugten tierischen Lebensmitteln wie Fleisch, Fisch, Käse, Eier und Milch bei. Der mit Futtermitteln importier-

te Stickstoff verursacht hierzulande zudem einen deutlichen Nitratüberschuss mit negativen Folgen für Grundwasser und Oberflächengewässer.

## Futtermittel tierischen Ursprungs

Neben pflanzlichen Futtermitteln finden auch tierische Futtermittel Verwendung in der Tierernährung. Insbesondere Fischmehl, das zwar in deutlich geringerem Ausmass als beispielsweise Soja verfüttert wird, jedoch eine vergleichbar schlechte Ökobilanz aufweist. Mit wenigen Ausnahmen gilt der gezielte Fischfang für die Fischmehlherstellung als nicht nachhaltig, da rund 90 % der Fänge Lebensmittelqualität aufweisen.<sup>[4]</sup> Der Anbau von Ackerkulturen und der Fischfang zur Futtermittelgewinnung für Nutztiere konkurriert weltweit mit den verfügbaren Ressourcen für die menschliche Ernährung. Die Futtermittelproduktion gefährdet somit sensible Ökosysteme und beschleunigt den anhaltenden Biodiversitätsschwund.

## Wasserlinsen: Chancen und Potenzial

Wasserlinsen sind kleine Schwimmpflanzen, die in den gemässigten Breiten, Subtropen und Tropen vorkommen. Es gibt rund vierzig verschiedene Arten, die bevorzugt in Teichen, Weihern oder sehr langsam fliessenden und nährstoffreichen Gewässern wachsen. Sie sind in der Lage, Nährstoffe wie Stickstoff (N) und Phosphor (P) sehr effizient aufzunehmen und unter optimalen Bedingungen hohe Wachstumsraten zu erzielen. So verdoppeln sie ihre Biomasse im Idealfall innerhalb von 24 bis 36 Stunden.

Der Proteingehalt von Wasserlinsen ist vergleichbar mit dem von Soja. In der Trockenmasse beträgt der Proteinanteil von Wasserlinsen bis zu 45 %.<sup>[5]</sup> Wasserlinsen haben das Potenzial, die hohen Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft und die Belastungen in Gewässern zu reduzieren.<sup>[6]</sup> Es gibt eine Reihe von Einsatzmöglichkeiten für Wasserlinsen, auf die ab Seite 11 näher eingegangen wird.

Die positiven Eigenschaften von Wasserlinsen werden seit der Mitte der 1970er Jahre erforscht. Bis auf wenige Ausnahmen von Firmengründungen in den USA, den Niederlanden, in Deutschland oder Israel, führten die Forschungsergebnisse aber nicht zur Etablierung grosser industrieller Betriebe.

Denn für eine Produktion im grossen Stil, müssen die Produktionsmethode und Verarbeitung von Wasserlinsen erst optimiert werden.

Mit dem gewachsenen Bewusstsein für ein verbessertes Nährstoffrecycling und den Bemühungen für eine gesteigerte Nährstoff- und insbesondere Stickstoffeffizienz in der landwirtschaftlichen Produktion, nimmt das Interesse an Wasserlinsen als Futtermittel aktuell wieder zu.



In natürlichen Lebensräumen kommen Wasserlinsen oft vergemeinschaftet vor (hier: *Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor* und *Wolffia arrhiza*).

## Wasserlinsen als Stickstoff-Recycler

Verglichen mit Soja, bilden Wasserlinsen in stickstoffreichen Gewässern und unter optimalen Bedingungen ein Vielfaches der Proteinmenge pro Fläche und Vegetationsdauer. Selbst unter eingeschränkten Bedingungen ist eine 9-fache Proteinproduktion im Vergleich zu Soja belegt.<sup>[7]</sup>

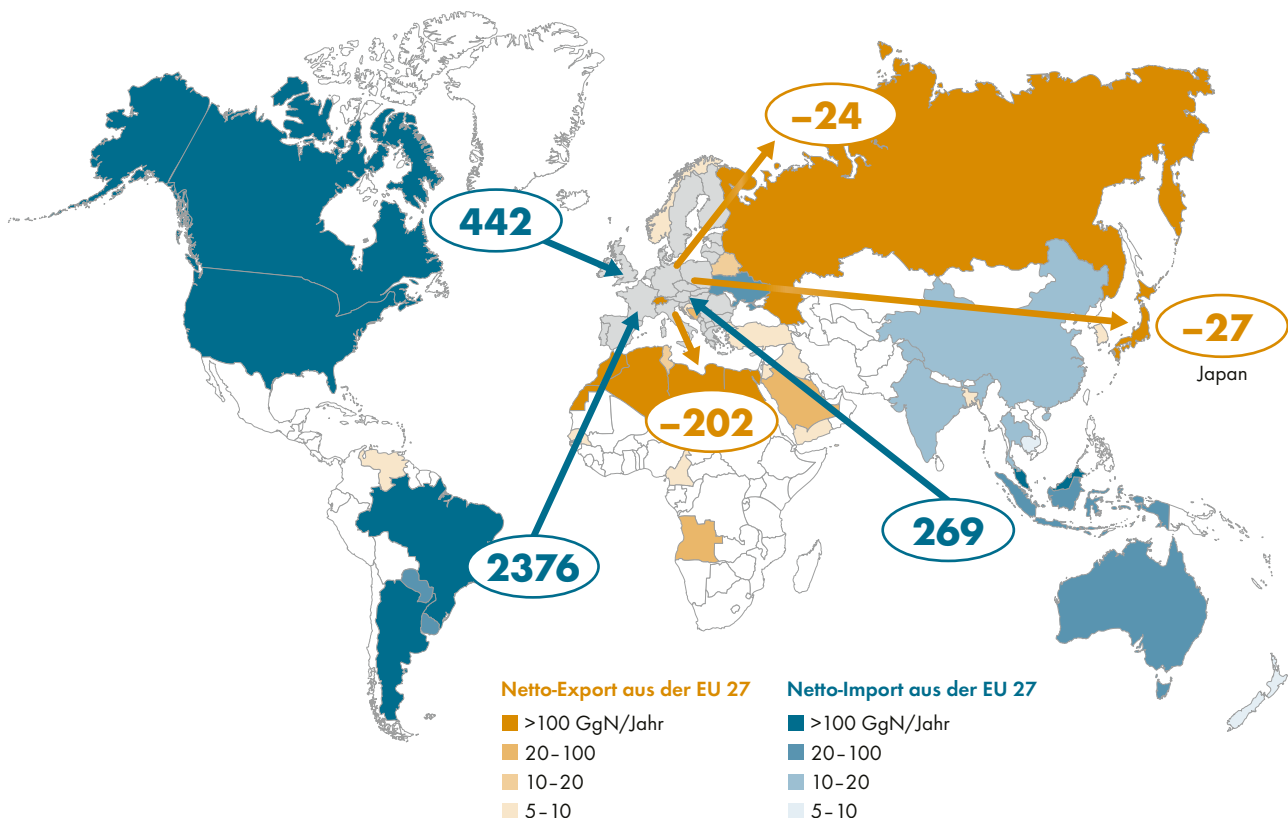
Wasserlinsen bevorzugen hohe Ammonium-Konzentrationen (> 10 mg/l) im Wasser bzw. Substrat, hohe Temperaturen (>20 °C) und viel Licht. Der pH-Wert sollte nicht zu hoch sein. Dennoch kommen Wasserlinsen selbst bei einem pH von bis zu 8,5 noch gut zurecht. In Versuchen konnten Wasserlinsen mit Schweinegülle versorgt werden.<sup>[7]</sup>

Zu den Problemen, die durch die intensive Landwirtschaft und Tierhaltung hervorgerufen

werden, gehört ein deutlicher Stickstoffüberfluss in Europa durch importierte Dünge- oder Futtermittel (siehe Abbildung 1 unten).<sup>[8]</sup> Dieser Stickstoff landet über kurz oder lang in der Natur und führt zu Nitratüberschüssen und damit verbundener Eutrophierung und Verschlechterung der Grundwasser- und Wasserqualität von Flüssen und Seen.

Wasserlinsen setzen Kot und Urin von Tieren oder auch Menschen effizient in proteinreiche Biomasse um, die für verschiedene Tiere als Futtermittel verwendet werden könnten. Werden allerdings tierische Gülle oder eventuell gar menschliche Exkremente als Nährsubstrat verwendet, führt dies unweigerlich zu Fragen der Biosicherheit. Neben der effizienten Aufnahme von Stickstoff und Phosphor akkumulieren Wasserlinsen auch gesundheitsschädigende Schwermetalle. Zudem kann es zu mikrobiellen Kontaminationen kommen.

**Abbildung 1: Stickstoffüberschüsse in den Ländern der Europäischen Union als Folge der intensiven Nutztierhaltung.**



GgN = Gigagramm (1000 Tonnen) Stickstoff

Die Stickstoffimporte nach Europa und in die Schweiz übersteigen die Exporte um ein Vielfaches. Die Stickstoffflüsse sind im Zusammenhang der europäischen Nutztierproduktion zu sehen. Die Stickstoffimporte entstehen durch importierte Dünger- und Futtermittel, während die europäischen Stickstoffexporte Fleisch- und Tierexporte betreffen.<sup>[8]</sup>

## Nährwert von Wasserlinsen

Die in Wasserlinsen enthaltenen Nährstoffe werden, wie auch bei anderen Futtermitteln, grob in Makro- und Mikronährstoffe sowie Spurenstoffe eingeteilt.

Zu den Makronährstoffen zählen Proteine (Eiweiss), Fett und Kohlenhydrate, die je nach Art der Wasserlinse, unterschiedliche Werte aufweisen (Tabelle 1 auf Seite 6). Makronährstoffe liefern den Grossteil der benötigten Nährstoffe für die tierische oder menschliche Ernährung.

Ebenfalls von grosser funktioneller Bedeutung sind Aminosäuren. Diese werden bei Tieren und Menschen beim Abbau von Protein freigesetzt oder durch Nahrung aufgenommen. Die sogenannten nicht-essentiellen Aminosäuren werden vom Körper selbst hergestellt. Die essentiellen Aminosäuren hingegen werden durch die Ernährung aufgenommen. Wasserlinsen weisen ernährungsphysiologisch wichtige Aminosäuren in relevanten Konzentrationen auf (Tabelle 2 auf Seite 7).

Wasserlinsen enthalten eher wenig Fett, dafür weisen sie ein für die Humanernährung günstiges niedriges Verhältnis von Omega-6 zu Omega-3 Fettsäuren auf. In der Tierernährung ist das optimale Fettsäureverhältnis abhängig von der zu fütternden Tierart und deren Lebensstadium. Je nach Produktionsweise und -bedingungen enthalten Wasserlinsen einen Proteingehalt von 18 bis 45 % in der Trockensubstanz, wobei die Spannweite von 25 bis 30 % am häufigsten vorkommt. Höhere Proteingehalte von 35 bis 40 % können aber ohne grossen Aufwand ebenfalls erzielt werden, wie Versuche vom FiBL und der ZHAW zeigten. Die Fettgehalte von Wasserlinsen liegen in der Regel zwischen 4 und 14 % der Trockensubstanz.<sup>[9]</sup> Der recht geringe Trockensubstanzanteil schwankt im Mittel zwischen 5 bis 8 %, was einen der grösseren Nachteile von Wasserlinsen als Futtermittel darstellt. Der Stärkegehalt kann ebenfalls stark schwanken und bewegt sich zwischen 4 und 11 % der Trockensubstanz.

Interessant sind eine Reihe von Spurenelementen, die ernährungsphysiologisch wertvoll sind. Es gibt wissenschaftliche Hinweise, dass Wasserlinsen Vitamin B12 enthalten können,<sup>[10,11]</sup> welches ein sehr wichtiges, zumeist über tierische Nahrungsmittel aufgenommenes Vitamin ist. Ebenfalls enthalten Wasserlinsen eine Reihe von Antioxidantien aus der Gruppe der Carotinoide (Lutein, Violaxanthin, Zeaxanthin und  $\beta$ -Carotin),<sup>[12,13]</sup> welche nachweislich vor Strahlen- und Zellschäden schützen.

## Futterqualität und Verwertbarkeit

Welche Nährstoffzusammensetzung bei den Wasserlinsen in einer gezielten Produktion gewünscht wird, ist auch abhängig von dem geplanten Einsatz. Sollen Wasserlinsen als Lebens- oder Futtermittel eingesetzt werden, sind Proteingehalt, Aminosäurezusammensetzung sowie Fettgehalt und Fettsäurezusammensetzung entscheidend. In der Aufzucht von Süsswasserfischen benötigen Kaltwasserarten wie z.B. die Salmoniden (Forellen, Lachse, Äschen) eher Omega-3 Fettsäuren. Warmwasserarten benötigen hingegen eher Omega-6-Fettsäuren.<sup>[14]</sup>

Die Aminosäurezusammensetzung von Wasserlinsenproteinen stärkt ihre Eignung als Futtermittel und ist mit anderen pflanzlichen Proteinen wie bei Soja oder Lupinen vergleichbar. Besonders die essentiellen Aminosäuren Lysin und Methionin sind in vergleichsweise hohen Konzentrationen enthalten. Allerdings kann die Aminosäurezusammensetzung und der Proteingehalt je nach Wasserlinsenart und Produktionsweise erheblich schwanken. Als Futtermittel müssen Wasserlinsen diesbezüglich spezifisch auf die ernährungsphysiologischen Bedürfnisse der Nutztiere ausgewählt und eingesetzt werden.

Ein möglicher Vorteil von Wasserlinsen, der aber noch nicht systematisch untersucht wurde, ist der geringe Anteil von sogenannten antinutritiven Inhaltsstoffen, also Stoffen, die von Pflanzen als Frassschutz produziert werden. In grösseren Konzentrationen führen diese zu einer deutlich reduzierten Futter- und Nährstoffverwertung, wie es z.B. bei unbehandeltem Soja der Fall ist.<sup>[15]</sup> Dennoch enthalten gewisse Wasserlinsenarten antinutritive Stoffe, sodass sie nicht uneingeschränkt verfüttert werden können.

Die Wasserlinsenarten *Lemna minor* und *Lemna gibba* enthalten beispielsweise Oxalsäure mit dem Salzbestandteil Calciumoxalat, das in höheren Konzentrationen zu Problemen in der Humanernährung oder im Tierfutter führt.<sup>[16]</sup> Ebenfalls nachgewiesen wurden Phytinsäure, Tannine und Cyanide als antinutritive Inhaltsstoffe.<sup>[17]</sup> Besonders Phytinsäure wirkt sich in höheren Konzentrationen problematisch aus, weil dadurch Phosphor in einer für Tiere und Menschen nicht biologisch aktiven Form gespeichert und gleichzeitig die Verdauung von Mineralstoffen gehemmt wird.

**Tabelle 1: Makronährstoffe verschiedener Wasserlinsenarten**

Wasserlinsenart	<i>Spirodela polyrhiza</i> (Klimakammer) <sup>[6]</sup>	<i>Spirodela polyrhiza</i> (Gewächshaus) <sup>[6]</sup>	<i>Lemna minor</i> <sup>[18]</sup>	<i>Lemna minor</i> <sup>[18]</sup>	<i>Lemna gibba</i> <sup>[19]</sup>	<i>Lemna sp.</i> <sup>[20]</sup>
Rohprotein <sup>[15]</sup> (% TS)	30,6	18,0	36,1	27,1	32,9	18,6
Rohfett (% TS)	*	3,1	8,45	7,15	3,9	1,5
Rohasche (% TS)	19,6	21,8	21,4	19,4	22,1	2,5
Kohlenhydrate (% TS)	*	*	34,1	46,3	14,8	83,9

TS = Trockensubstanz; \* Nicht analysiert



Wasserlinsen wie *Lemna minor* weisen ernährungsphysiologisch interessante Aminosäuren in relevanten Konzentrationen auf und können in ihrem Ernährungswert durchaus mit Soja oder Lupine verglichen werden.

**Tabelle 2: Aminosäuren (als % des Rohproteins) in Wasserlinsen und zum Vergleich mit Soja und Lupinen<sup>[12]</sup>**

Wasserlinsenart	<i>Spirodela polyrhiza</i> <sup>[12]</sup>	<i>Landoltia punctata</i> <sup>[12]</sup>	<i>Lemna minor</i> <sup>[12]</sup>	<i>Lemna gibba</i> <sup>[12]</sup>	<i>Spirodela polyrhiza</i> (Gewächshaus) <sup>[6]</sup>	Soja <sup>[21]</sup>	Lupinen <sup>[21]</sup>
Rohproteingehalt	25	18	24,5	28	18,0	44,0	34,4
<b>Aminosäuren</b>							
Alanin	5,4	5,3	5,1	6,0	5,56	*	*
Arginin	4,7	4,7	4,8	4,9	6,78	7,34	11,1
Asparaginsäure	7,8	8,1	8,2	10,6	8,5	*	*
Cystein	0,8	1,1	0,9	0,9	1,11	1,59	1,68
Glutaminsäure	9,6	9,5	9,8	10,3	9,22	*	*
Glyzin	4,3	4,5	4,6	4,6	4,89	*	*
Histidin	1,6	1,6	1,5	1,6	1,89	2,66	2,53
Isoleucin	3,3	3,5	3,7	3,4	3,67	4,52	4,54
Leucin	6,8	7,3	7,3	7,2	7,39	7,77	7,99
Lysin	4,2	4,1	5,0	4,2	5,11	6,43	5,07
Methionin	1,6	1,6	1,6	1,6	1,72	1,39	0,89
Phenylalanin	3,97	4,5	4,4	4,3	4,50	4,95	4,01
Prolin	3,5	4,1	3,8	3,9	4,39	*	*
Serin	4,1	4,0	4,1	4,2	4,39	*	*
Threonin	4,2	4,1	4,0	4,0	4,17	3,93	3,95
Tryptophan	*	*	*	*	1,72	1,39	0,86
Tyrosin	3,1	3,1	3,1	3,1	3,00	3,84	4,44
Valin	4,4	4,6	4,6	4,5	6,17	5,45	4,24

\* Nicht analysiert

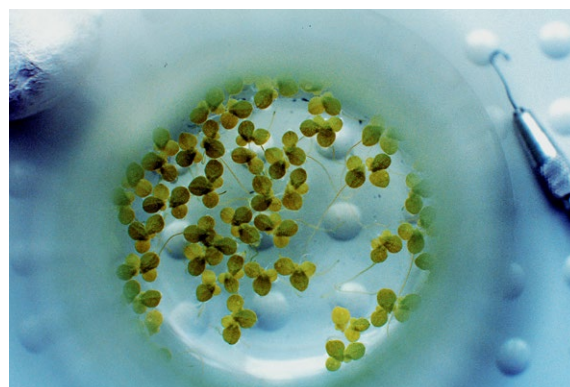
## Herausforderungen der Biosicherheit

Neben Nährstoffen können Wasserlinsen auch potentielle Schadstoffe wie z.B. Schwermetalle aufnehmen. Daher werden sie unter anderem auch bei Sanierungen von mit Schadstoffen belasteten Gewässern eingesetzt. Dies bedeutet allerdings auch, dass sie Schwermetalle, die eventuell in einer zur Düngung von Wasserlinsen verwendeten Gülle vorhanden sind, ebenfalls aufnehmen. Die Menge an aufgenommenen Schwermetallen hängt dabei direkt von der Konzentration im verwendeten Wasserlinsennährsubstrat ab. In Versuchen am FiBL wurde das Substrat (1:10 verdünnte Biorindergülle) und die darauf gezüchteten Wasserlinsen unter anderem auf einzelne Schwermetalle (Kupfer, Blei und Zink) untersucht, die typischerweise in Gülle vorkommen können und teils dem Futter gezielt zugesetzt werden oder über z.B. Pflanzenschutzmittel in die Nahrungskette gelangen können. Zink ist z.B. ein essenzieller Spurenstoff und wird u.a. Schweinefutter beigesetzt, da der physiologische Bedarf oftmals nicht auf natürliche Weise gedeckt werden kann. Abbildung 2 auf Seite 9 zeigt die Abnahme von Blei, Kupfer und Zink über 3 Wochen im Nährsubstrat. Zu beachten ist allerdings die Biomagnifikation, also die Anreicherung des jeweiligen Schwermetalls durch die Wasserlinsen, ersichtlich anhand der unterschiedlichen Konzentrationen im µg- und im mg-Bereich.

Die **schweizerische Futtermittelbuch-Verordnung (FMBV)** gibt klare Höchstwerte für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln an. Für Blei liegt der Höchstwert bei Grünfutter, zu denen Wasserlinsen gezählt werden könnten, bei 30 mg/kg. Die Konzentrationen liegen bei der Ernte beider Wasserlinsenarten aus Abbildung 2 sehr deutlich unter den zulässigen Höchstmengen. Die zulässige Höchstmenge von gesamten Kupfer im Futter unterscheidet sich zwischen den Tierarten. Für Rinder vor dem Wiederkäualter, also mit ca. 3–4 Monaten, beträgt der Höchstwert von Kupfer 15 mg/kg, nach Erreichen des Wiederkäualters 30 mg/kg. Für Schafe 15 mg/kg, für Ziegen 35 mg/kg, für Ferkel bis 4 Wochen nach dem Absetzen 150 mg/kg und für ältere Ferkel 100 mg/kg. Für alle weiteren Tierarten gelten 25 mgP/kg. Beide Wasserlinsenarten, sowohl *L. punctata* als auch *S. polyrhiza*, wiesen bei der Ernte Kupferkonzentrationen zwischen 10 und 17 mg/kg auf. Als Alleinfuttermittel wären sie somit für Rinder vor dem Wiederkäualter und für Schafe ungeeignet. Zudem ist die Differenz zu den Höchstmengen eher gering und könnte sich bei erhöhten Konzentrationen im Substrat noch zusätzlich verringern.

Für Schweine liegen die Kupferkonzentrationen in beiden Wasserlinsenarten deutlich unter den zulässigen Höchstmengen. Für alle anderen Nutztiere werden die Wasserlinsen als Alleinfuttermittel durch die fast erreichten Kupferhöchstmengen in Frage gestellt.

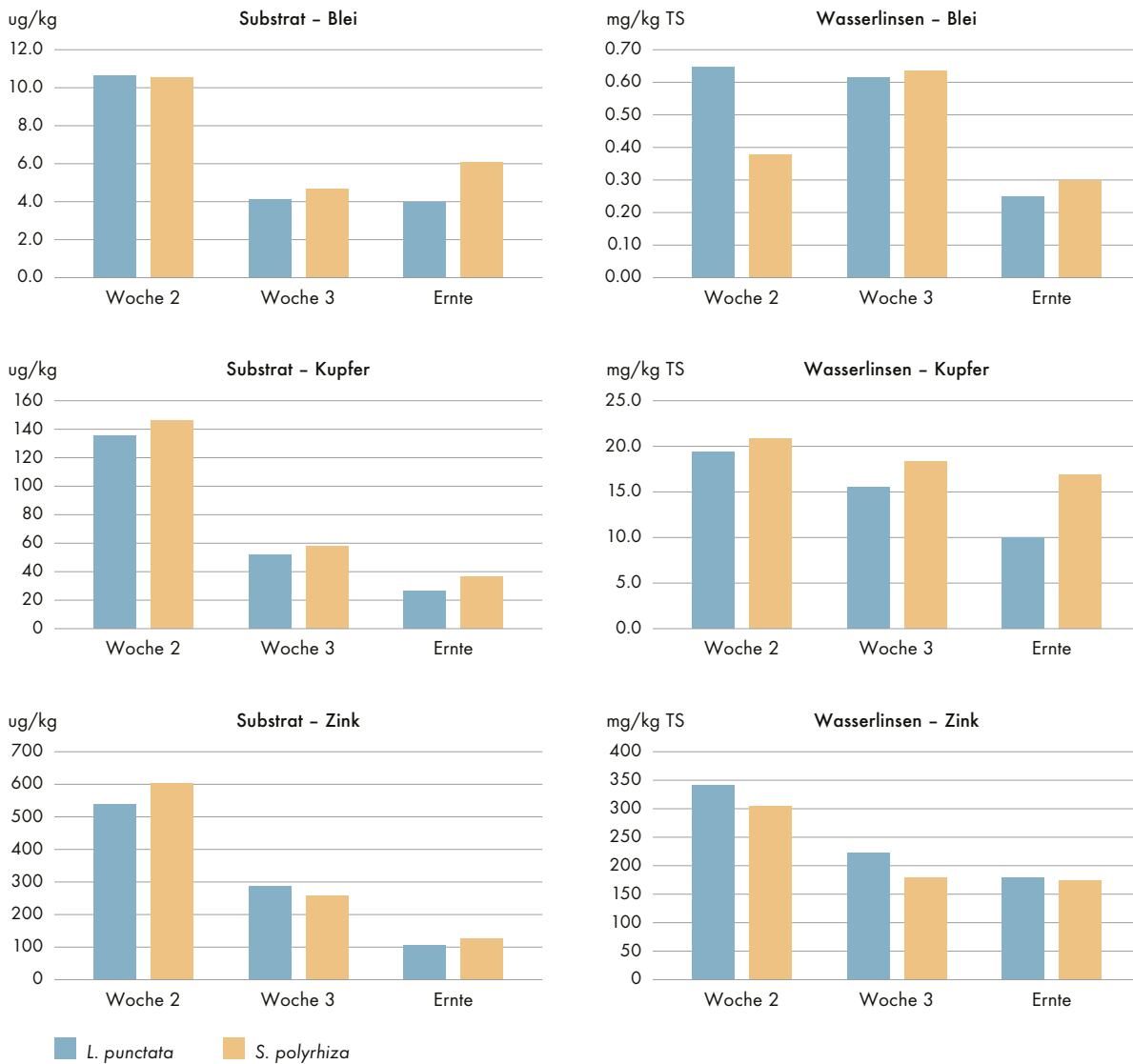
Die zulässigen Höchstmengen an Zink sind ebenfalls von der Nutzierart abhängig und betragen für Milchaustauschfuttermittel bei Kälbern 180 mg/kg, bei Ferkeln und Sauen 150 mg/kg und für verschiedene Fischarten zwischen 120 mg/kg und 150 mg/kg. Die in beiden Wasserlinsenarten gemessenen Zinkgehalte (175 bis 180 mg/kg) waren so hoch, dass es gerade eben zulässig wäre, sollten sie als Alleinfuttermittel eingesetzt werden. Werden die beiden Wasserlinsen mit anderen Futtermitteln gemischt und zu einem Pellet verarbeitet, tritt ein Verdünnungseffekt auf und die Gehalte an Kupfer und Zink lassen sich senken.



Das Wachstum von kleinen Populationen Wasserlinsen kann im Labor mit bildgebenden Verfahren gemessen werden.



**Abbildung 2: Schwermetallbelastungen in Substraten**



Blei-, Kupfer- und Zink-Konzentrationen im Substrat aus verdünnter Biorindergülle (links) gegenüber den geernteten Wasserlinsen (rechts) der Arten *Landoltia punctata* und *Spirodela polyrhiza*. Es wird keine Varianz angegeben, da es sich um gepoolte Proben handelt.

## Fäkalien und die Gefahr von Keimbelastungen

Für eine Verwendung als Futter- oder Lebensmittel spielen in einem auf tierischen Fäkalien basierendem Wasserlinsenproduktionssystem auch potentiell pathogene Mikroorganismen (primär Bakterien, Viren, Parasiten) eine Rolle. Während in der Landwirtschaft Gülle ebenfalls genutzt wird, um Felder zu düngen, kommen dort angebaute Nutzpflanzen selten direkt in Kontakt mit der Gülle. Im Gegensatz dazu wachsen Wasserlinsen in einem landwirtschaftlichen Produktionssystem direkt auf einem Wasser-Gülle Gemisch. So kommen sie direkt in Kontakt mit potentiell pathogenen Bakterien.<sup>[22]</sup> Eine Reihe von Bakterien wie z.B. Colibakterien (*Escherichia coli*, hier besonders EHEC O:157), Clostridien (*Clostridium* spp.), Salmonellen (*Salmonella* spp.), Listerien (*Listeria* spp.) oder auch Staphylokokken (*Staphylococcus aureus*) können bei Mensch und Tier teils schwere Erkrankungen hervorrufen.

Das Problem von Krankheiten, die zwischen Tieren und Menschen übertragen werden (Zoonosen), wird durch das von Tieren auf den Menschen übertragene Coronavirus (Sars-CoV-2) breiter wahrgenommen. Während viele potentiell zoonotische Bakterien kein vergleichbar grosses epidemisches oder pandemisches Potential wie das Coronavirus haben, muss dieses Thema bei dem Einsatz von Gülle zur Wasserlinsenproduktion zumindest mitgedacht werden.

## Ergebnisse aus Versuchen

Am FiBL wurde in einem Versuch mit den beiden Wasserlinsenarten *Spirodela polyrhiza* und *Landoltia punctata* die Keimbelastung durch aerobe Keime wie Coli-, Salmonellen-, und Clostridienbakterien in einem Wachstumssubstrat mit verdünnter Rindergülle beobachtet. Die Wasserlinsen wurden nach der Ernte mittels Salatschleuder von Resten des Substrats befreit. Die Linsen wurden anschliessend nicht zusätzlich noch gewaschen oder aufbereitet. Weder in der Gülle noch auf den Wasserlinsen konnten im Versuch Salmonellen nachgewiesen werden. Bei Wasserlinsen der Art *Spirodela polyrhiza* waren gegenüber *Landoltia punctata* pro Gramm Frischmasse mehr Colibakterien nachweisbar (ca. Faktor 3). Hingegen waren auf *Landoltia punctata* pro Gramm Frischmasse deutlich mehr koloniebildende Einheiten von *Clostridium* spp. im Vergleich zu *Spirodela polyrhiza* nachweisbar.

Bis auf Salmonellen war die Keimbelastung in der Gülle bei allen gemessenen Bakterien grundsätzlich sehr hoch. Im Verlauf einer Woche nahm die Belastung im Substrat aber deutlich ab. Wasserlinsen sind somit einer bakteriellen Kontamination ausgesetzt, die von den vorhandenen Konzentrationen im zugeführten Nährsubstrat abhängt. Die Keimbelastung im Nährsubstrat (verdünnter Gülle) von Wasserlinsen steht deshalb in Zusammenhang mit dem Gesundheitszustand des Tierbestandes. Eine weitere Reduktion der Keime ist durch eine Reinigung der Wasserlinsen möglich.

## Antibiotikarückstände sind zu berücksichtigen

Neben der Kontamination durch verschiedene Bakterien, können Wasserlinsen auch durch Tierarzneirückstände und Antibiotika belastet werden. Grundsätzlich wird das Wachstum von Wasserlinsen durch hohe Konzentrationen an Antibiotika im Wasser nicht beeinträchtigt. Eine Studie zeigte aber, dass das Antibiotikum Oxytetracyclin an Speisefische weitergegeben wurde, nachdem sie mit entsprechend belasteten Wasserlinsen der Art *Wolffia globosa* gefüttert wurden.<sup>[23]</sup> Wird Gülle aus mit Antibiotika behandelten Tierbeständen als Substrat für Wasserlinsen verwendet, besteht die Gefahr, dass Rückstände wieder in die Nahrungskette gelangen. Das gibt der Substratüberwachung und Qualitätssicherung in Gülle-Wasserlinsen-Systemen eine grosse Bedeutung. Interessant ist, dass verschiedene Antibiotika durch Wasserlinsen auch inaktiviert werden können (Phytodegradation).<sup>[24]</sup>



Biozertifizierte Forellenzucht in der Schweiz.



Testversuch mit Wasserlinsen als Futterzutat für Jungfische von Karpfen, Forelle und Egli in Laboraquarien.

## Wasserlinsen als Lebens- und Futtermittel

In verschiedenen asiatischen Ländern werden Wasserlinsen der Art *Wolffia globosa*, wie beispielsweise in Thailand als «Khai Nam», verkauft und entweder in Pulverform oder als frisches Gemüse von Menschen verzehrt. Wasserlinsen weisen gegenüber terrestrischen Pflanzen deutlich weniger Stützstrukturen auf. Anders als essbare Kulturen an Land können Wasserlinsen als schwebende oder schwimmende Pflanzen auf die stabilisierenden Eigenschaften durch Verholzung verzichten. Der Anteil an Lignin und anderen unverdaulichen Komponenten ist bei Wasserlinsen sehr gering.

### Eignung als Futtermittel

Futtermittel müssen den Nährstoffbedarf einer Tierart ganz oder teilweise decken, je nachdem, ob die Tiere Zugang zu anderen Nahrungsquellen haben und diese in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Je intensiver die Tierhaltung, desto höher fällt in der Regel der Anteil an Alleinfuttermitteln in der Produktion aus. Alleinfuttermittel werden überwiegend in der intensiven Tierproduktion eingesetzt, wo die Tierzahlen hoch sind und Naturnahrung keine Rolle spielt. Der Nährstoffbedarf ist nicht nur von der Tierart, sondern auch noch von anderen Faktoren abhängig.

Darum wird in der Tierernährung häufig zwischen Alleinfuttermitteln unterschieden, die den gesamten Nährstoffbedarf decken müssen und Ergänzungsfuttermitteln, die bestimmte Funktionen erfüllen oder einen Mineralstoff- und Vitaminmangel beheben sollen. Alleinfuttermittel müssen entsprechend gut auf die Tierart und deren Nährstoffbedarf eingestellt sein. Dies erfordert natürlich, dass der Bedarf dieser Tierart bekannt ist.

Obwohl Wasserlinsen eine sehr gute Nährstoffzusammensetzung und einen hohen Anteil an Nährstoffen in der Trockensubstanz haben, ist die Nährstoffdichte aufgrund des hohen Wasseranteils in den frischen Wasserlinsen sehr gering, weswegen diese als Alleinfuttermittel auch ungeeignet sind.

#### Faktoren von denen der Nährstoffbedarf der Fischarten abhängig ist

- Lebensstadium: junge Tiere haben einen höheren Protein- und ältere Tiere einen höheren Energiebedarf, das Protein:Energie-Verhältnis verändert sich entsprechend
- Umwelt: kalte oder warme Umgebungstemperaturen (insbesondere bei Fischen und anderen wechselwarmen Tieren)

## Einsatz von Wasserlinsen in der Aquakultur

### Fischzucht unter Schweizer Bedingungen

In Schweizer Aquakulturen beschränkt sich die Fischproduktion auf einige wenige Arten. In kleinerem Umfang ergänzen auch Shrimps und Crevetten das Artenspektrum. Die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) macht mit rund 2000 t Jahresproduktion etwa 60 % der produzierten Zuchtmenge in Schweizer Aquakulturen aus. Ebenfalls von Bedeutung ist der eurasische Flussbarsch bzw. Egli (*Perca fluviatilis*), der in Kreislaufanlagen produziert wird. Weitere gezüchtete Fischarten sind der atlantische Lachs (*Salmo salar*), sibirische Stör (*Acipenser baerii*), Zander (*Sander lucioperca*), Felchen (*Coregonus sp.*) Bachforellen (*Salmo trutta*) und Karpfen (*Cyprinus carpio*).

Lediglich wenige der in der Schweiz heimischen Süßwasserfischarten sind reine Pflanzenfresser. In der Jugendentwicklung ist der Anteil an tierischem Plankton und Kleinkrebsen in der Nahrung meist sehr hoch. Mit zunehmenden Alter spezialisieren sich viele Fische auf eine bestimmte Nahrung. Fische werden nach ihrem Nahrungsspektrum als carnivor (Fleischfresser), omnivor (Allesfresser) und herbivor (Pflanzenfresser) unterteilt. Je höher der Anteil tierischer Nahrung bei einer Art ist, desto höher die Position in der Nahrungskette bzw. desto höher ihre trophische Stufe.

#### **Trophische Stufen bei Fischen:**

Die trophische Stufe gibt ungefähr die Position in der Nahrungskette an, je geringer sie ist, desto mehr pflanzliche und weniger tierische Nahrung wird konsumiert.

Pflanzenfressende (herbivore) Fische bzw. Friedfische haben eine trophische Stufe zwischen 2 und 3, Allesfresser (omnivore) haben eine trophische Stufe zwischen 3 und 4 und Fleischfresser (karnivore) bzw. Raubfische haben eine trophische Stufe von 4 oder höher.

### Fische niedriger trophischer Stufe

Zu den Fischen niedrigerer trophischer Stufe zählen die weltweit wichtigsten, in Aquakultur gehaltene Gruppe: die karpfenartigen. Sie machen mit insgesamt 28,8 Millionen Tonnen, rund 53 % der globalen Fischproduktion (54,3 Millionen Tonnen) aus. Neben den Karpfen sind auch Buntbarsche wie die Niltapien von grosser wirtschaftlicher Bedeutung.

Beide sind gute Verwerter pflanzlicher Nahrung und eignen sich zudem für eine biologische und nachhaltige Aquakultur. Die in der Aquakultur wichtigen Karpfenarten bewegen sich in ihrer trophischen Stufe im Allgemeinen zwischen 2 (Graskarpfen) und 3.1 (Karpfen). Tilapien sind als Algen- und Aufwuchsfresser bekannt und wären mit einer trophischen Stufe von 2 bestens für eine Fütterung mit Wasserlinsen geeignet.

Je nach Fischart und abhängig von verschiedenen Faktoren, muss der Anteil an Wasserlinsen im Futter angepasst werden. Der Nährstoffgehalt und die Nährstoffverfügbarkeit sowie eventuelle Hemmstoffgehalte spielen bei der Einstellung der Futterkonzentration eine wichtige Rolle. In Tabelle 3 auf Seite 13 sind entsprechende Brut- und Mastversuche mit Karpfen (*Cyprinus carpio*) dargestellt.

### Fische hoher trophischer Stufe

Bei typischen Raubfischen gibt es kaum Studien über Wasserlinsen als Fischmehlersatz. Einerseits machen Raubfische hoher trophischer Stufe global einen kleinen Anteil der Zuchtfische aus, andererseits sind Wasserlinsen als pflanzliche Futterkomponente auch von bislang geringer Bedeutung. In der Vergangenheit benötigte die Lachszucht die grössten Mengen Fischmehl. In jüngerer Zeit kommt aber auch verstärkt Soja zum Einsatz, das ebenfalls als Futterkomponente erforscht wird. Wasserlinsen als Teil der Futterrezepturen wird dadurch denkbar und könnte vermehrt an Raubfischen getestet werden.

Dazu wurden am FiBL verschiedene Fütterungsversuche mit Wasserlinsen bei Brut- und Jungfischen von Regenbogenforellen und Flussbarschen (Egli) durchgeführt (Tabelle 3). An der ZHAW wurde zusätzlich die Mastfütterung mit Wasserlinsen bei Regenbogenforellen erprobt. Aufgrund unbefriedigender Ergebnisse aus dem FiBL-Fütterungsversuch bei den Flussbarschen wurde auf eine Fortführung in einem Mastversuch verzichtet.

**Tabelle 3: Ergebnisse aus verschiedenen Studien zum Einsatz von Wasserlinsen im Futter von Karpfen und Tilapien, jeweils im Vergleich zu einem wasserlinsenfreien Kontrollfutter**

Versuchsbedingungen			Ergebnisse		Fischart
% Fischmehl (FM) im Kontrollfutter	% FM-Proteinersatz oder Konzentration im Futter	T/F	Wachstum	Futterverwertung	
40	15	T	+-	+-	Karpfen (0,7 g) <sup>[25]</sup>
	30	T	+-	+-	
	45	T	+-	+-	
	15	F	+-	+-	
	30	F	-	+-	
	45	F	--	-	
40	23	T	+	+	Karpfen (47 g) <sup>[26]</sup>
	26	F	-	+	
35	20	T	+-	+-	Tilapia (89,1 g) <sup>[27]</sup>
	40	T	-	-	
	20	F	+-	+-	
	40	F	-	-	

**Tabelle 4: Ergebnisse aus zwei Studien zum Einsatz von getrockneten oder fermentierten Wasserlinsen im Futter von Regenbogenforellen, *Oncorhynchus mykiss* und Flussbarschen, *Perca fluviatilis***

Versuchsbedingungen			Ergebnisse		Fischart
% Fischmehl (FM) im Kontrollfutter	% FM-Proteinersatz oder Konzentration im Futter	T/F	Wachstum	Futterverwertung	
35	12	T	+-	+-	Forelle (Fingerling, 1,49 g) <sup>[28]</sup>
	24	T	-	+-	
	35	T	--	-	
	12	F	+-	+-	
	24	F	-	-	
	35	F	-	-	
40	12	T	-	-	Egli (Fingerling, 3,52 g) <sup>[28]</sup>
	24	T	--	--	
	35	T	----	----	
	12	F	-	-	
	24	F	--	--	
	35	F	----	----	
66,6	6,25 (Konzentration)	T	-	+-	Forelle (Brut, 0,278 g) <sup>[6]</sup>
	12,5 (Konzentration)	T	-	+-	
35	26,6 (Konzentration)	T	-	-	Regenbogenforelle (104 g) <sup>[26]</sup>
	26,6 (Konzentration)	F	-	-	

T = getrocknete Wasserlinsen, F = fermentierte Wasserlinsen  
 + besser als Kontrolle, - schlechter als Kontrolle, +- gleich gut wie Kontrolle

## Weitere Einsatzgebiete von Wasserlinsen

### Futtermittel für Geflügel und Schweine

Neben der Verwendung als Futtermittel in Aquakulturen, kommen Wasserlinsen auch als Futtermittel bei anderen Nutztieren wie z.B. Schweinen, Geflügel oder Rindern in Betracht. Der Bedarf an Makro- und Mikronährstoffen unterscheidet sich zwar zwischen den verschiedenen Tierarten und Lebensstadien, ist sich aber in der Basis ähnlich. Bei Geflügel sind Wasserlinsen als Futtermittel in einigen Studien getestet worden. Schon Mitte der neunziger Jahre wurden Wasserlinsen der Art *Lemna gibba* an Legehennen (TOPAZ und HyLine Leghorn) verfüttert. Die Eier von Hennen mit 15 und 25 % Anteil an *L. gibba* im Futter hatten nicht nur einen höheren Proteingehalt sondern auch eine stärkere Pigmentierung des Eidotters.<sup>[19]</sup>

Die Eignung zur Fütterung von Schweinen mit Wasserlinsen wurde bisher nur wenig getestet. Im Rahmen einer Studie wurde kommerzielles Wasserlinsenproteinkonzentrat an jungen Schweinen auf die Verdaulichkeit von Energie, Phosphor und Aminosäuren getestet. Dabei zeigten sich keine grossen Unterschiede im Vergleich zum Fischmehl, dass in der Fütterung von Jungtieren ebenfalls in dem Versuch eingesetzt wurde.<sup>[29]</sup>

### Bioenergiepflanze und Biomining

Wasserlinsen kommen zukünftig auch als Bioenergiepflanzen zur Herstellung von Bioethanol in Frage. Vorteilhaft ist, dass zu dieser Verwendung der Proteingehalt sowie zu gewissen Teilen auch die Biosicherheit eine eher untergeordnete Rolle spielen. Andererseits ist der Stärkegehalt ein entscheidendes Kriterium für die Eignung als Ausgangsmaterial für die Bioethanolproduktion. Der Stärkegehalt hängt bei Wasserlinsen von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem ist er um so höher, je niedriger Wachstum und Proteingehalt der Wasserlinsen sind.<sup>[30]</sup>

Wasserlinsen können zudem zur Sanierung stark verschmutzter Abwässer, z.B. aus dem Bergbau, eingesetzt werden, um Schwermetalle aufzunehmen.<sup>[31]</sup> Diskutiert werden sie deshalb für Anwendungen im Bereich «Phytomining» bzw. «Biomining». Insbesondere macht das Wasserlinsen im Zusammenhang mit der Rückgewinnung von Phosphor aus städtischen Abwässern oder eben auch aus GülLEN von Nutztieren interessant. Dazu untersuchte Wasserlinsen wie *Lemna minor* oder *Lemna japonica*, konnten in Laborversuchen sogar noch bei sehr niedrigen Temperaturen (8 °C) und kurzen Tageslichtlängen (6 Stunden) Phosphor aufnehmen.<sup>[32]</sup>

Unter diesen Bedingungen läuft das Wachstum zwar suboptimal ab, dennoch funktionierte die Phosphoraufnahme vergleichsweise effizient. Zur Rückgewinnung des Phosphors werden die Wasserlinsen verascht und das Phosphor aus der Asche gewonnen.



Wasserlinsen auf 4000 Quadratmetern in einer Biopangasiusfarm in Vietnam

## Fazit

Wasserlinsen sind wertvolle Proteinträger und mögliche Nutzpflanzen in der Tierernährung. Sie liefern hochwertige Proteine mit guter Verdaulichkeit. In der Produktion gibt es aber noch Herausforderungen, insbesondere im Bereich der Biosicherheit. Die Biosicherheit hängt stark vom eingesetzten Substrat ab. Für den Anbau von Wasserlinsen als Futtermittel ergeben sich aber gesetzliche Schwierigkeiten, wenn diese direkt auf verdünnter Gülle wachsen.

Der hohe Wassergehalt der frischen Biomasse verringert die Lagerfähigkeit, weshalb eine Trocknung oder anderweitige Verarbeitung zur Verwendung als Futtermittel notwendig wird.

Silieren bzw. fermentieren bietet sich hier an. Fermentierte Wasserlinsen haben sowohl bei Karpfen als auch bei Forellen zu ähnlichen Ergebnissen wie bei der Fütterung mit getrockneten Wasserlinsen geführt. Die Ergebnisse der am FiBL und der ZHAW, aber auch von internationalen Projekten durchgeführten Arbeiten unterstreichen das Potential von Wasserlinsen als Futtermittel. Allerdings braucht es weitere Forschungsprojekte, um die noch offenen Fragen zu beantworten.

## Literatur

- Schader, C., Muller, A., Scialabba, N.E.-H., Hecht, J., Isensee, A., Erb, K.-H., Smith, P., Makkar, H.P.S., Klocke, P., Leiber, F., Schwegler, P., Stolze, M., Niggli, U., 2015. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs on global food system sustainability. *J. Roy. Soc. Interface* 12, 20150891. DOI: 10.1098/rsif.2015.0891
- Baur, P., Krayner, P. (2021). Schweizer Futtermittelimporte – Entwicklung, Hintergründe, Folgen. Forschungsprojekt im Auftrag von Greenpeace Schweiz. Wädenswil: ZHAW. DOI: 10.21256/zhaw-2400
- Grenz und Angnes 2020; Wirkungsanalyse: Nachhaltigkeit der Schweizer Soja-Importe. BAFU Bericht: [www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/externe-studien-berichte/wirkungsanalyse-nachhaltigkeit-der-schweizer-soja-importe.pdf.download.pdf/Sojabericht\\_BAFU\\_FINAL.pdf](http://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/externe-studien-berichte/wirkungsanalyse-nachhaltigkeit-der-schweizer-soja-importe.pdf.download.pdf/Sojabericht_BAFU_FINAL.pdf)
- Cashion, T., Le Manach, F., Zeller, D., Pauly, D., 2017. Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish Fish.* 18, 837-844. DOI: 10.1111/faf.12209
- Verma, R., Suthar, S., 2015. Utility of duckweeds as source of biomass energy: A review. *Bioenerg. Res.* 8, 1589-1597. DOI: 10.1007/s12155-015-9639-5
- Stadlander, T., Förster, S., Rosskothén, D., Leiber, F., 2019. Slurry-grown duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) as a means to recycle nitrogen into feed for rainbow trout fry. *J. Clean. Prod.* 228, 86-93. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.196
- Xu, J., Cheng, J.J., Stomp, A.-M., 2012. Growing *Spirodela polyrrhiza* in swine wastewater for the production of animal feed and fuel ethanol: A pilot study. *Clean – Soil Air Water* 40, 760-765. DOI: 10.1002/clen.201100108
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M.A., de Wries, W., Weiss, F., Westhoek, H., 2015. Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorous, greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environ. Res. Lett.* 10 115004. DOI: 10.1088/1748-9326/10/11/115004
- Yan, Y., Candreva, J., Shi, H., Ernst, E., Martienssen, R., Schwender, J., Shanklin, J., 2013. Survey of the total fatty acid and triacylglycerol composition and content of 30 duckweed species and cloning of a  $\Delta 6$ -desaturase responsible for the production of  $\gamma$ -linolenic and stearidonic acids in *Lemna gibba*. *BMC Plant Biology* 2013, 13:201, <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/13/201>
- Kaplan, A., Zelicha, H., Tsaban, G., Yaskolka Meir, A., Rinott, E., Kovsky, J., Novack, L., Thiery, J., Ceglarek, U., Burkhardt, R., Willenberg, A., Tirosh, A., Cabantchik, I., Stampfer, M. J., Shai, I., 2019. Protein bioavailability of *Wolffia globosa* duckweed, a novel aquatic plant e A randomized controlled trial. *Clinical nutrition* 38 (2019) 2576-2582
- Sela, I., Yaskolka Meir, A., Brandis, A., Krajmalnik-Brown, R., Zeibich, L., Chang, D., Dirks, B., Tsaban, G., Kaplan, A., Rinott, E., Zelicha, H., Arinos, S., Ceglarek, U., Isermann, B., Lapidot, M., Green, R., Shai, I., 2020. *Wolffia globosa*-Mankai Plant-Based Protein Contains Bioactive Vitamin B12 and Is Well Absorbed in Humans. *MDPI Nutrients* 2020, 12, 3067; doi:10.3390/nu12103067
- Appenroth, K.-J., Sowjanya Sree, K., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M., Jahreis, G., 2017. Nutritional value of duckweeds (*Lemnaceae*) as human food. *Food Chem.* 217, 266-273. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.116
- Stewart, J. J., Adams III, W. W., Escobar, C. M., López-Pozo, M., Demmig-Adams, B., 2020. Growth and Essential Carotenoid Micronutrients in *Lemna gibba* as a Function of Growth Light Intensity. *Front. Plant Sci.* 11:480. doi: 10.3389/fpls.2020.00480
- Tocher, Douglas R., 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK, Aquaculture research 42, 717-732, doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02150.
- Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227.
- Nuss, R. F., Loewus, F. A., 1978. Further studies on oxalic acid biosynthesis in oxalate-accumulating plants. *Plant Physiol.* 61, 590-592. DOI: 10.1104/pp.61.4.590
- Fasakin, E.A., 1999. Nutrient quality of leaf protein concentrates produced from water fern (*Azolla africana* Desv) and duckweed (*Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden). *Bioresource Technol.* 69, 185-187
- Chakrabarti, R., Clark, W.D., Sharma, J.G., Goswami, R.K., Shrivastava, Shrivastav, A.K., Tocher, D.R., 2018. Mass production of *Lemna minor* tav, and its amino acid and fatty acid profiles. *Frontiers in Chemistry* 6: 479. doi: 10.3389/fchem.2018.00479: 2018.00479

- 19 Hausteijn, A.T., Gilman, R.H., Skillicorn, P.W., Vergara, V., Guevara, V., Gastañaduy, A., 1990. Duckweed, a useful strategy for feeding chickens: Performance of layers fed with sewage-grown Lemnaceae species. *Poultry Sci.* 69, 1835-1844
- 20 Bairagi, A., Sarkar Ghosh, K., Sen, S.K., Ray, A.K., 2002. Duckweed (*Lemna polyrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff weed in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium. *Bioreafter Bioresource Technology* 85, 17–24. [https://doi.org/10.1016/S0960-source.8524\(02\)00067-68524\(6](https://doi.org/10.1016/S0960-source.8524(02)00067-68524(6)
- 21 National Research Council, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press, Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/13039https://13039>
- 22 Goss MJ, Tubeileh A, Goorahoo D, 2013. A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Advances in Agronomy* 120, 275-379. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-407686-0.00005-1>
- 23 Boonsaner, M., Hawker, D, W., 2013. Evaluation of food chain transfer of the antibiotic oxytetracycline and human risk assessment. *Chemosphere* 93 (2013) 1009–1014
- 24 Latrou, E., I., Gatidou, G., Damalas, D., Thomaidis, N. S., Stasinakis, A., S., 2017. Fate of antimicrobials in duckweed *Lemna minor* wastewater treatment systems. *Journal of Hazardous Materials* 330, 116–126
- 25 Stadlander et al., FiBL, unveröffentlichte Daten
- 26 Sigrist et al., ZHAW, unveröffentlichte Daten
- 27 El-Shafai, S.A., El-Gohary, F.A., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W., Gijzen, H.J., 2004. Apparent digestibility coefficient of duckweed *zen*, (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquac. Res.* 35, 574-586. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2004.01055.x2109.2004.01055.x
- 28 Stadlander, T., Tschudi, F., Seitz, A., Sigrist, M., Refardt, D., Leiber, F., 2023. Partial Replacement of Fishmeal with Duckweed (*Spirodela polyrhiza*) in Feed for Two Carnivorous Fish Species, Eurasian Perch (*Perca fluviatilis*) and Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research*, online early, 6680942, <https://doi.org/10.1155/2023/6680942>
- 29 Rojas, O. J., Liu, Y., Stein, H. H., 2014. Concentration of metabolizable energy and digestibility of energy, phosphorus, and amino acids in *lemna* protein concentrate fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 92, 5222-5229. DOI: 10.2527/jas2014-8146
- 30 Xiao, Y., Fang, Y., Jin, Y., Zhang, G., Zhao, H., 2013. Culturing duckweed in the field for starch accumulation. *Industrial Crops and Products* 48 (2013) 183–190
- 31 Parnian A, Chorom M, Jaafarzadeh N, Dinarvand M. 2016. Use of two aquatic macrophytes for the removal of heavy metals from synthetic medium. *Ecology and Hydrobiology* 16, 194-200. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.07.001>
- 32 Paterson, J. B., Camargo-Valero, M., A., Baker, A., 2020. Uncoupling growth from phosphorus uptake in *Lemna*: Implications for use of duckweed in wastewater remediation and P recovery in temperate climates. *Food Energy Sec.*, DOI: 10.1002/fes3.244

## Impressum

### Herausgeber

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL  
Ackerstrasse 113, Postfach 219, 5070 Frick, Schweiz  
Tel. +41 (0)62 865 72 72, Fax -73  
[info.suisse@fibl.org](mailto:info.suisse@fibl.org), [www.fibl.org](http://www.fibl.org)

**Autor:** Timo Stadlander (FiBL Schweiz)

**Redaktion:** Jeremias Lütold, Vanessa Gabel (beide FiBL Schweiz)

**Gestaltung:** Brigitta Maurer (FiBL)

**Fotos:** Timo Stadlander (FiBL Schweiz): S. 1,3,4,9, Marion Nitsch: (<https://www.nitsch.ch/>) S.2, Veronika Maurer: S. 8, Thuy An Do S.14

**FiBL Best.-Nr.:** 1390

**DOI:** 10.5281/zenodo.8063346

Das Faktenblatt steht unter [shop.fibl.org](http://shop.fibl.org) auch zum kostenlosen Download zur Verfügung.

Alle Angaben in diesem Faktenblatt basieren auf bestem Wissen und der Erfahrung der Autorinnen. Trotz grösster Sorgfalt sind Unrichtigkeiten und Anwendungsfehler nicht auszuschliessen. Daher können Autoren und Herausgeber keinerlei Haftung für etwa vorhandene inhaltliche Unrichtigkeiten, sowie für Schäden aus der Befolgung der Empfehlungen übernehmen.

1. Auflage 2023 © FiBL, Bio Suisse, Demeter

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung der Verlage unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.