

IPUSagro® Migulatoren® in der Aquakultur

Rottenmann, Juni 2017

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	3
2	ALLGEMEINE CHARAKTERISIERUNG VON MIGULATOREN®	3
2.1	Natur-Klinoptilolith.....	3
2.2	Rohstoffqualität	4
2.3	Migulatoren®	4
2.4	IPUS als Vorreiter der Migulatorentechnologie	5
3	WIRKUNGSWEISE VON MIGULATOREN®	5
3.1	Schadstoffaufnahme und Nährstoffabgabe	5
3.2	Entgiftung von Ammoniak.....	6
3.3	Aufwuchsträger für Mikroorganismen.....	6
3.4	pH-Pufferkapazität von Migulatoren®	7
4	SICHERHEIT VON MIGULATOREN®	7
5	EINSATZBEREICHE VON MIGULATOREN® IN DER AQUAKULTUR	8
5.1	Entgiftung von Ammoniak durch Migulatoren® in der Aquakultur	8
5.2	Migulatoren® als Zusatzstoff im Fischfutter	8
5.3	Migulatoren® als Filtermedium des Teichwassers in der Fischzucht	10
5.4	Migulatoren® im Transport von Lebendfischen.....	13
5.5	Migulatoren® in der Schrimps-Produktion	13
6	ZUSAMMENFASSUNG	13
6.1	Ökonomische Effekte	13
6.2	Ökologische Effekte.....	14
7	LITERATURVERZEICHNIS.....	14

1 EINLEITUNG

Die rasch wachsende Verbreitung von Migulatoren® in der Tierhaltung und Tierfütterung als Ergebnis einer einzigartigen Lösung für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft wird von permanenter Forschung über die Wirkungen und Zusammenhänge auf den Futterverwertung begleitet und kann daher nur als Momentaufnahme gesehen werden.

Obwohl der Ausgangsstoff der Migulatoren®, das Mineral Natur-Klinoptilolith, über eine langjährige Tradition in der Aquakultur in verschiedenen Teilen der Welt verfügt, ist das Konzept des Migulators® als logische Weiterentwicklung noch sehr jung. Die veröffentlichten wissenschaftlichen Studien über Natur-Klinoptilolith können aber jedenfalls zur Beurteilung von Migulatoren® herangezogen werden, da ihre Wirkungen auf denen von Natur-Klinoptilolith aufbauen und diese noch verstärken.

In der vorliegenden Zusammenschau von Ergebnissen aus der Wissenschaft wird auf die allgemeine Charakterisierung von Natur-Klinoptilolith und den aus ihnen hervorgehenden Migulatoren® eingegangen, gefolgt von einer Beschreibung der für die Aquakultur relevanten Wirkungen und Wirkungsmechanismen.

2 ALLGEMEINE CHARAKTERISIERUNG VON MIGULATOREN®

2.1 Natur-Klinoptilolith

Natur-Klinoptilolith ist ein Mineral natürlichen Ursprungs aus der großen Gruppe der nanoporösen Struktur-Aluminiumsilikate, den sogenannten Zeolithen, als deren charakteristische Eigenschaft die Bildung von definierten Hohlräumen wie Kanäle in der Kristallstruktur bezeichnet wird.

Demzufolge besitzt Natur-Klinoptilolith eine große innere Oberfläche, die mehrere hundert Quadratmeter pro Gramm beträgt. Diese Poren im Nanometerbereich (nanoporöses oder mikroporöses Material) entstehen dadurch, dass $[AlO_4]$ - und $[SiO_4]$ -Tetraeder über einzelne gemeinsame Sauerstoffbrücken miteinander verbunden sind und ringförmige Strukturen mit inneren Hohlräumen ausbilden. Die Überschussladungen der Tetraeder werden durch Gegenionen abgesättigt, die im Sinne der Ionenbindung austauschbar sind. Zeolithe besitzen daher basierend auf der aluminosilikatischen Basisstruktur austauschbare Ionen und polare Moleküle wie Wasser, Magnesium, Kalium, Calcium. Die chemischen und biochemischen Wirkungen des Zeoliths werden bestimmt durch Anordnung und Dimensionierung der Poren, durch die Oberflächenladung und durch den austauschbaren Anteil.

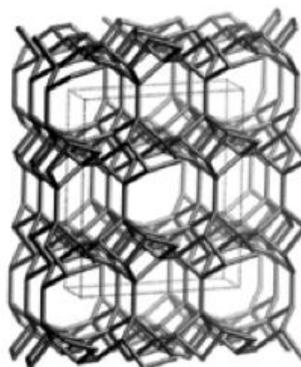
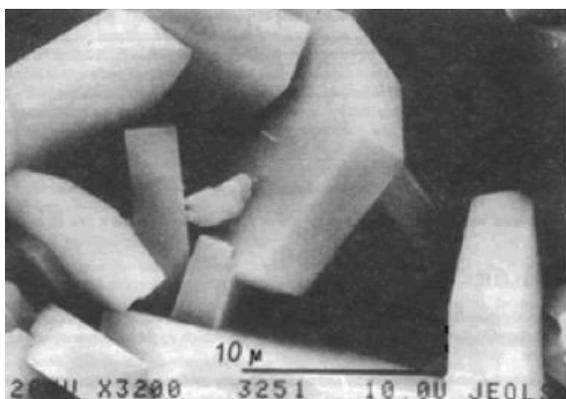


Abbildung 1: Links: Rasterelektronenmikroskopie von Natur-Klinoptilolith-Kristallen (Aleksiev et al. 1995); rechts: Einheitszelle des Kristallgitters von Natur-Klinoptilolith mit Kanälen (Baerlocher 2001)

Natur-Klinoptilolith ist beständig gegen hohe Temperaturen bis 700°C, sowie beständig gegen Säuren und Laugen. Es findet daher keine Auflösung des Materials im Fischmagen oder in den Exkrementen statt. Klinoptilolith wird vollständig ausgeschieden.

Natürliche Zeolithe werden in vielen Anwendungen eingesetzt, in denen der Umweltaspekt eine bedeutende Rolle spielt. Einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten im landwirtschaftlichen Bereich gibt Mumpton (1985) und Mumpton (1999).

2.2 Rohstoffqualität

Die Herstellung von Migulatoren® basiert auf sorgfältig ausgewählten und geprüften Klinoptilolith-Rohstoffen. Einer der wesentlichsten Aspekte bei der Produktion der Migulatoren® ist die Qualität des eingesetzten Klinoptiloliths. Das Vorhandensein von größeren Mengen Begleitmineralen im Rohstoff führt zur Qualitätsminderung, die bis hin zur völligen Unbrauchbarkeit für die gewünschte Anwendung gehen kann: Begleitstoffe wie Kalk sind etwa im Fischfutter unerwünscht, da sie den pH-Wert des Futters verändern.

Natürliche Kontaminationen mit Schwermetallen treten in diversen Lagerstätten häufig auf und können zur Untauglichkeit für den Einsatz als Futtermitteladditiv führen. Die gesetzlichen Grenzwerte müssen strikt eingehalten werden.

Fremdionen im Kristallgitter führen zur Verzerrung der Kristallstruktur, zur Deformation der Nanoporen und damit zum Verlust der erwünschten Eigenschaften. Schließlich sind nanoporöse Alumosilikate nicht selten mit Mineralen assoziiert, die zwar keine negativen Auswirkungen auf die Eignung zum Einsatz in der Aquakultur besitzen, aber als inaktive Begleitsubstanzen die biokatalytische Wirkung des Endproduktes reduzieren können, besonders wenn ihr Anteil im Rohstoff groß ist.

2.3 Migulatoren®

Migulatoren® sind mineralische Bioregulatoren zur Steuerung biologischer Prozesse in der Umwelt. Bioregulatoren sind Stoffe, die in biologischen Systemen durch permanente Rückkopplungen bestimmte Einflussgrößen des Systems dauerhaft und gezielt korrigieren bzw. steuern.

Ausgangsstoffe zur Erzeugung von Migulatoren® sind ausgesuchte Naturmineralien, vor allem aber Natur-Klinoptilolith. Durch spezifische Aktivierungsverfahren wie der tribomechanischen Aktivierung wird bei der Herstellung von Migulatoren® ein hoher Anteil der inneren und äußeren Oberfläche für Regulationsprozesse nutzbar gemacht. Dies erfolgt durch die Aufnahme von toxischen Stoffen wie Ammoniak oder Schwermetalle und die Abgabe der Nährstoffe Calcium, Magnesium, Kalium sowie weiterer Spurennährstoffe. Im mikrobiologischen Prozess der Verdauung führen Migulatoren® zur Ausbildung von Mikroökosystemen, die eine Aktivitätssteigerung bestimmter Mikroorganismen hervorrufen. Migulatoren® zeichnen darüber hinaus die hohe thermische Stabilität und die Widerstandskraft gegenüber aggressiven Stoffen wie Säuren und ionisierender Strahlung aus.

Praktisch erprobte landwirtschaftliche Anwendungen von Migulatoren® sind Futtermittelzusatzstoffe für Fische und alle anderen Tierarten zur Steigerung der Wirksamkeit aller dem Tier zugeführten Nährstoffe und zur Stärkung der Vitalität durch Schadstoffbindung, Zusatzstoffe zur Gülleverarbeitung und -veredelung, Hilfsmittel zur Nutztierhygiene und Geruchsbindung sowie Bodenzusatzstoffe für wirkungsvolle Nährstoffnutzung und Bodenverbesserung.

Weitere Einsatzgebiete der Migulatoren® sind die Effizienzsteigerung der Biogaserzeugung sowie die Wasser- und Abgasreinigung. Migulatoren® werden auch in der Analyse von Gülle, Gärresten und

Böden im Rahmen der zerstörungsfreien, auf Nahinfrarotspektroskopie beruhenden IPUS Nanobag-Analyse eingesetzt.

Aufgrund der unterschiedlichen Rohstoffqualitäten setzt IPUS nur den besten in Europa vorkommenden Klinoptilolith-Rohstoff für die Herstellung von Migulatoren® ein, der aus der eigenen Lagerstätte in der Slowakei gewonnen wird. Seine Eignung für die Verarbeitung von Migulatoren® wird durch strenge interne und externe Qualitätskontrollen gewährleistet.

2.4 IPUS als Vorreiter der Migulatorentechnologie

Bereits Mitte der 90er Jahre begann das Unternehmen IPUS aus Rottenmann mit der Erforschung von Natur-Klinoptilolith und der Entwicklung von Anwendungen für Aquakultur, Teichbau und Landwirtschaft. Von Anfang an wählte IPUS den Weg enger Kooperationen mit Universitäten und Forschungseinrichtungen zur Klärung grundlagen- und anwendungsspezifischer Fragestellungen rund um das Mineral. Die Evaluierung der europäischen Klinoptilolith-Lagerstätten durch Beprobungen, Analysen und geologischer Bewertung wurde gemeinsam mit der Montanuniversität Leoben durchgeführt und mündete schließlich in die Beteiligung an dem qualitativ besten Rohstoffvorkommen in der Ostslowakei.

In über zehnjähriger Zusammenarbeit mit der TU-Graz, der Universität für Bodenkultur Wien, dem LFZ Raumberg-Gumpenstein, der Montanuniversität Leoben, dem Kompetenzzentrum ACIB, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und Profactor Forschungs-GmbH wurde umfangreiches Know-How aufgebaut, das in die Entwicklung der Migulatorentechnologie mündete. Zahlreiche internationale Publikationen und Patente belegen die Vorreiterrolle von IPUS in der Erforschung und Ausnutzung der Wirkungen von Klinoptilolith in der Fütterung und weiteren landwirtschaftlichen Bereichen.

3 WIRKUNGSWEISE VON MIGULATOREN®

Die Wirkungen der Migulatoren® als Bioregulatoren sind komplex und werden durch ein Ineinandergreifen seiner hohen Aufnahmekapazität für Schadstoffe, seiner Abgabe von Nährstoffen, seiner pH-Pufferung sowie seiner vorzüglichen Eignung als Aufwuchsträger für Mikroorganismen bewirkt.

3.1 Schadstoffaufnahme und Nährstoffabgabe

Im nanoporösen Kristallgitter der Migulatoren® werden Ionen und kleine Moleküle selektiv aufgenommen und im Gegenzug dazu gespeicherte Nährstoffe abgegeben. Der Austausch erfolgt nach einer sog. Selektivitätsreihe, in der die Nährstoffe K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} abgegeben und bevorzugt Schadstoffe wie das Abbauprodukt Ammonium NH_4^+ , biogene Amine und Schwermetalle wie Blei Pb^{2+} , Cadmium Cd^{2+} oder Quecksilber Hg^{2+} aufgenommen werden. Siehe dazu die folgende Abbildung 2.

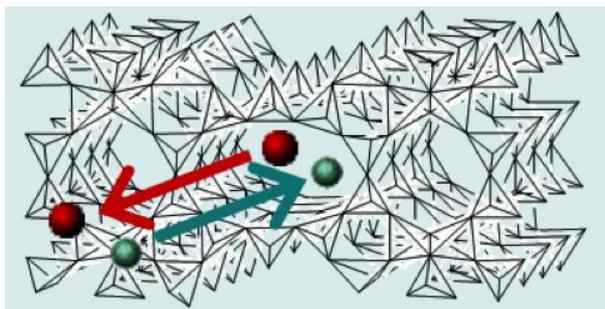


Abbildung 2: Einheitszelle des Kristallgitters von Migulatoren mit Nährstoffabgabe aus den Poren (rot) und Schadstoffaufnahme in die Poren (blau).

Bereits 1990 bestätigten die Forscher Halama von der veterinärmedizinischen Universität Wien und Pichlhöfer von der Montanuniversität Leoben, die einige Erfahrungen mit ostslowakischem Klinoptilolith sammeln konnten, die positiven Wirkungen des Minerals auf die Tierverdauung durch Entgiftung, die Anregung der Darmflora und die Stärkung der körpereigenen Abwehrmechanismen gegen Infektionen (Halama et Pichlhöfer 1990).

3.2 Entgiftung von Ammoniak

Ammoniak entsteht bei allen biologischen Abbauprozessen als Zersetzungsprodukt von Proteinen und Nukleinsäuren. Wegen seiner hohen Basizität im ungeladenen Zustand wirkt es als starkes Zellgift auf alle Lebewesen. Die Vitalität eines lebenden Systems kann also durch Bindung von Ammoniak erheblich verbessert werden.

Migulatoren® besitzen aufgrund ihrer großen inneren Oberfläche und der selektiven Poren eine hohe Sorptionskapazität für Ammoniak und Ammonium, die das Mehrfache derjenigen von Bentonit und um 2 Zehnerpotenzen über derjenigen von Urgesteinsmehl oder Diatomeenerde liegt. IPUS-Migulatoren® besitzen von allen natürlichen Mineralen die höchste Austauschkapazität für Ammoniak und Ammonium. Dadurch kann eine effektive Bindung und Entgiftung von Ammoniak erfolgen.

3.3 Aufwuchsträger für Mikroorganismen

Auf der Oberfläche und in den Makroporen der feinen Partikel finden die Mikroorganismen des Darms einen idealen Wohnraum, in dem sie mit mineralischen Nährstoffen direkt aus dem Migulator® versorgt werden, aber von hemmenden Einflüssen der freigesetzten Schadstoffe im Verdauungssaft geschützt sind. Dieser zusätzliche Lebensraum dient als Futterkrippe für die futterverwertenden Mikroorganismen und erhöht ihre Anzahl um ein Vielfaches. Auch die Artenvielfalt und damit die biochemischen Leistungen in der Futterverwertung steigen stark an, nicht zuletzt durch die viel bessere Bioverfügbarkeit von Spurenelementen. Migulatoren® wirken daher wie Präbiotika, die das Wachstum gesundheitsfördernder Mikroorganismen begünstigen. Die sichtbaren Resultate sind eine bessere Futterverwertung und die Steigerung der Darmgesundheit. Auch Halama und Pichlhöfer haben bereits 1990 die Bedeutung der hohen Besiedelungsfläche von Klinoptilolith für eine gesunde Verdauung des Tieres hervorgehoben. Sie weisen darauf hin, dass die Darmsymbionten durch den Aufwuchs an Langlebigkeit und Funktionstüchtigkeit gewinnen.

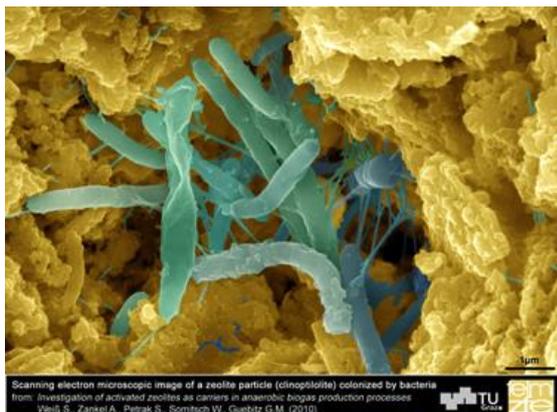


Abbildung 3: Mikroorganismen besiedeln ein Migulatorekorn. Bakterien: grün, Migulator: braun.

3.4 pH-Pufferkapazität von Migulatoren®

Migulatoren® besitzen auf ihrer großen porösen Oberfläche Bindungsstellen sowohl für Säuren als auch für Basen. Daraus ergibt sich ihr Vermögen zur Pufferung von Säuren und Basen im Neutralbereich, siehe dazu Abbildung 4. Die Pufferkapazität ist relativ schwach ausgeprägt und wirkt daher hauptsächlich im unmittelbaren Bereich der Oberflächen von Migulatoren®, dort, wo sich Mikroorganismen in Biofilmen ansiedeln.

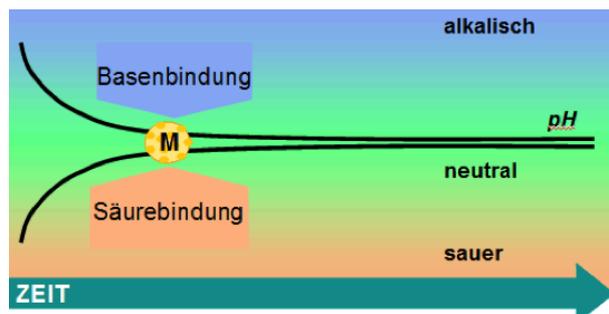


Abbildung 4: pH-Puffervermögen der Migulatoren® aus dem sauren und basischen Bereich in den Neutralbereich.

4 SICHERHEIT VON MIGULATOREN®

Migulatoren® sind als physikalisch und chemisch beständige Naturprodukte völlig unbedenklich in der Aquakultur einsetzbar. Da Migulatoren® aufgrund der tribomechanischen Aktivierung als mineralische Pulver hergestellt werden, ist bei der Anwendung lediglich darauf zu achten, dass eine Feinstaubmaske getragen wird. Durch Migulatoren® findet keine ökologische Gefährdung statt, die Wassergefährdungsklasse der Materialien ist 0.

Zahlreiche Studien konnten belegen, dass in der Fütterung keinerlei negative Effekte durch den Einsatz von Natur-Klinoptilolith auf den Gesundheitszustand der Tiere auftreten. Im Gegenteil, vielfach positive Wirkungen auf die Gesundheit sind wissenschaftlich dokumentiert.

5 EINSATZBEREICHE VON MIGULATOREN® IN DER AQUAKULTUR

Mit dem Rohstoff Klinoptilolith-Zeolith wurden in den vergangenen Dekaden zahlreiche Erfahrungen in der Aquakultur besonders in Südostasien, aber auch in anderen Teilen der Welt gewonnen, sodass es möglich war, die Entwicklung der Migulatoren® gezielt auf die Bedürfnisse und Anforderungen dieser Produktionstechnologie auszurichten. Bereits 1977 wurden die bis dahin durchgeführten Studien über den Einsatz von Klinoptilolith in der Zucht von Fischen und Schrimps von Mumpton und Fishman (1977) übersichtlich dargestellt. In den folgenden Jahren wurden zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten erstellt und sogar Kongresse zu diesem Thema abgehalten (Parham 1985).

Der Übersichtsartikel von Gashemi et al. (2016) gibt auch über die neueren weltweiten Untersuchungen eine kritische Zusammenfassung der Bedeutung des Naturminerals in der Aquakultur. Seine Rolle in der Entgiftung von Ammoniak und Schwermetallen sowie seine positiven Effekte auf Tiergesundheit und Wachstum sind unbestritten. Durch seine ökologische Unbedenklichkeit wird den Anwendungen und Prozessen auf Basis dieses Minerals ein hohes Zukunftspotenzial bestätigt.

5.1 Entgiftung von Ammoniak durch Migulatoren® in der Aquakultur

Ammoniak ist in der intensiven Aquakultur wegen seiner Toxizität der gefährlichste Schadstoff für Fische und beeinträchtigt nicht nur die Gesundheit und Vitalität von Fischen, sondern erhöht rasch die Mortalität. Als Primärnährstoff für Algen und Bakterien stört der Eintrag von Ammoniak das ökologische Gleichgewicht von Gewässern und kann bis zur Eutrophierung führen. Die Gewässerqualität ist unmittelbar mit dem Gesundheitszustand und dadurch mit der Produktivität der Fische verbunden.

Aufgrund ihrer hohen Porosität und ihrer bei Naturstoffen einzigartig hohen selektiven Bindungsfähigkeit von Ammoniak eignen sich Migulatoren® vorzüglich zur Entgiftung von stickstoffreichen Wässern.

Für die Anwendungen der Migulatoren® in der Fischzucht sind zwei Einsatzbereiche möglich. Der Zusatz zum Tierfutter bewirkt die Bindung von Ammoniak bereits im Verdauungstrakt der Tiere. Der Einsatz von Migulatoren® als Filtermaterial zur Reinigung des Wasserkörpers ist besonders in Kreislaufsystemen von hoher Bedeutung, da seine Spezifität für die Bindung von Ammoniak ansonsten die chemische Zusammensetzung wie pH, Alkalinität und Salinität des Wasser weitgehend unbeeinflusst lässt.

5.2 Migulatoren® als Zusatzstoff im Fischfutter

Migulatoren® sind in der Fütterung von allen Fischarten EU-weit als Futtermittelzusatzstoff gemäß dem aktuellen Register der Europäischen Union für Futterzusatzstoffe (basierend auf der Verordnung EG 1831/2003) mit der Nummer 1g568 dauerhaft zugelassen. Sie eignen sich bereits in der Futtermittelproduktion als Bindemittel für die Herstellung von Granulaten, Futterflocken oder anderen kompaktierten Verabreichungsformen. Migulatoren® binden Feuchtigkeit und verlängern dadurch die Haltbarkeit des Futters.

In der Fütterung selbst führen Migulatoren® zu verschiedenen Effekten, deren wichtigster die Entgiftung von Ammoniak darstellt. Als Zersetzungsprodukt von Aminosäuren wird Ammoniak im Verdauungssystem der Tiere direkt am Ort der Proteinverwertung von Migulatoren® gebunden, bevor es von der Darmschleimwand resorbiert und ins Blut aufgenommen werden kann. Die meisten Fische wandeln Ammoniak nicht zu Harnstoff in der Leber um, sondern scheiden ihn über Nieren und

Kiemen bzw. über die Haut aus. Durch die rasche Ausscheidung verringert sich zwar die Toxizität von Ammoniak, als Zellgift wirkt er aber trotzdem ungünstig auf Darmepithel und alle mit Blut versorgten Organe. Über das Umgebungswasser kann der Schadstoff ebenso leicht aufgenommen wie abgegeben werden, weshalb die Empfindlichkeit gegenüber der Wasserqualität sehr hoch ist. Der an Migulatoren® gebundene Ammoniak wird nach der Ausscheidung nicht in das Wasser abgegeben, sondern bleibt als Nährstoff für Bakterien erhalten, die sich an der Migulatoroberfläche festsetzen.

Die Oberfläche der Migulatoren® ist gleichzeitig eine riesige Aufwuchsfläche, auf der sich Darmbakterien ansiedeln und mit den gespeicherten Nährstoffen versorgt werden. Nicht nur die Zahl der vitalen Darmmikroben wird so vervielfacht, auch ihre Artenvielfalt steigt. Und als mineralische Futtermittelbestandteile sind Migulatoren® natürliche Ballaststoffe, die eine zu schnelle Passage des Futterbreis durch den Verdauungstrakt des Tieres verhindern. Die Futterstoffe können rascher und effizienter verwertet werden, gleichzeitig steigt ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheitserregern. In pflanzenfressenden Friedfischen wird die Pflanzenbiomasse durch cellulolytische Mikroorganismen aufgeschlossen, hier ist der Einfluss des Darmmikrobioms auf die Verdauung deutlich stärker als bei Raubfischen, die Fett und Protein der Nahrung hauptsächlich enzymatisch aufspalten. In beiden Ernährungstypen erfolgen aber mikrobielle Fermentationen zu kurzkettigen Fettsäuren, die durch probiotische Mikroorganismen begünstigt werden. Migulatoren® fördern diese durch ihre präbiotische Wirkung.

Da Migulatoren® mit dem Kot der Fische wieder ausgeschieden werden, lagern sie sich nicht im Körper der Tiere ab. Wie Dias et al. (1998) in der Fütterung von Klinoptilolith-Zeolith, der auch als Rohstoff für die Herstellung von Migulatoren® dient, an Seebrassen nachgewiesen haben, führen selbst hohe Anteile bis zu 20% Zeolith in der Futtermischung zu keinen negativen Auswirkungen auf das Wachstum oder die Verdauung, lediglich die Verweilzeit des Futters im Verdauungstrakt war größer. Danabas (2011) konnte durch Analyse des Fettsäureprofils von Regenbogenforellen belegen, dass die Fütterung mit 1, 2 oder 3% Klinoptilolith auch zu keinerlei Minderung der Qualität des Fischfleisches führt.

Bereits 2006 hatten Obradovic et al. (2006) Zeolith in der Intensivkultur von Regenbogenforellen mit Erfolg eingesetzt. Bei einem Fischbesatz von 98 Stück/m³ wurden 4.908 Tiere mit 1% Zeolith in der Ration gefüttert, die ebenso große Kontrollgruppe erhielt keinen Zeolith. Zusätzlich wurden 1,2 kg/m³ eines grob gekörnten Zeoliths (08 – 2,5 mm) zur Wasserfiltration eingesetzt. Die Mortalität sank daraufhin um 68% gegenüber der Kontrolle. Der Ernährungskoeffizient (condition factor) nach Fulton als Verhältnis von Masse zum Kubus der Fischlänge stieg um 1,85%, was einer Verbesserung des Ernährungszustandes entspricht. Die Zeolithzugabe führte im Weiteren zu einer Steigerung des Massewachstums um 18% und zur Verbesserung der Futterverwertung um 13,6%. Auch die Proteinverwertung verbesserte sich um 14,8% gegenüber der Kontrolle.

Ergün et al. (2008) untersuchten den Einfluss von Klinoptilolith-Zeolith in der Fütterung von Regenbogenforellen auf die Ausscheidung von Ammoniak. Sie fütterten Raten von 0,5%, 1% und 2,5% Klinoptilolith und beobachteten eine deutliche Senkung der Ammoniakausscheidung mit steigender Fütterungsrate des Adsorptionsmaterials, die bei 2,5% Klinoptilolith im Futter 24% ergab. Der Zusatzstoff konnte dadurch die Wasserqualität entscheidend verbessern.

In der Anwendung von 1% bzw. 2% Klinoptilolith im Futter von Buntbarschen (*Tilapia zillii*) konnten Yildirim et al. (2009) neben der niedrigeren Ammoniakausscheidung auch signifikante Steigerungen in den Massezunahmen, der Proteinverwertung und der gesamten Futterverwertung gegenüber der Kontrollgruppe mit 0% Klinoptilolith gemessen werden. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse dieser Studie zusammengefasst. Die Anwendung erfolgte durch gemeinsame Pelletierung mit Fischmehl, Sojamehl und Fischöl, um die Anteile von 38% Protein und 8,5% Fett im Futter zu erreichen.

Tabelle 1: Effekte der Zufütterung von Zeolith auf die Ernährung und Ammoniakausscheidung von Buntbarschen. Nach Yildirim et al. (2009).

Messparameter	Kontrolle	1% Zeolith	2% Zeolith
Gewichtszunahme (g/45 Tage)	0,035	0,042	0,046
spez. Wachstumsrate (%)	1,99	2,23	2,36
Futterverwertung (Futteraufnahme/Massezunahme)	4,03	3,26	2,84
Proteinverwertung (Massezunahme/Proteinaufnahme)	0,79	0,91	0,99
pH Ausfluss	8,33	8,18	8,14
TAN Gesamtammonium-N Ausfluss (mg/l)	0,39	0,34	0,36

Tilapien sind besonders empfindlich gegenüber Ammoniaktoxizität, bereits Konzentrationen über 1 mg/l TAN können tödlich wirken.

Eine Studie zum Einsatz von Zeolith in der Fischfütterung wurde mit Meerestischen durchgeführt. Kanyilmaz et al. (2015) untersuchten die Performance von juvenilen Seebrassen und fanden mit zunehmender Dosierung von Klinoptilolith Steigerungen der Tageszunahmen, der Futterverwertung und der Proteinverwertung. Bereits die Dosierung von 1% Zeolith steigerte die Tageszunahme um ca. 2%, die Futterverwertung um ca. 5% und die Proteinverwertung um 7,5%. Demzufolge verringerte sich die Stickstoffausscheidung mit zunehmender Dosierung. Bei 1% Zeolith war der Gesamtstickstoff in den Exkrementen um 7% gegenüber der Kontrolle verringert, der gelöste Stickstoff war um 8% niedriger, wodurch das Wasser deutlich niedriger belastet wurde.

Insgesamt zeigen alle Studien, in denen Klinoptilolith-Zeolith als Futterzusatzstoff in der Fischzucht eingesetzt wurde, in die gleiche Richtung. Das Wachstum und die Massezunahme der Tiere stiegen ebenso wie die Effizienz der Futterverwertung und Proteinverwertung. Darüber hinaus verbesserte sich die Qualität des Teichwassers durch die Adsorptionsfähigkeit des Minerals für Ammoniak.

5.3 Migulatoren® als Filtermedium des Teichwassers in der Fischzucht

Der von den Fischen ausgeschiedene Kot enthält unverdaute Proteine, die sich durch Bakterien langsam zersetzen und Ammoniak freisetzen. Um eine gesundheitliche Beeinträchtigung der Fische durch giftigen Ammoniak zu vermeiden, muss entweder ständig frisches Wasser zugeführt werden, oder, wie in Kreislaufsystemen üblich, das Wasser durch geeignete Filter gereinigt werden. Als Filtermedium sind Migulatoren® bestens geeignet, da sie selektiv Ammoniak filtern und eine Eutrophierung des Wassers verhindern.

Das als Rohstoff von Migulatoren® verwendete Naturmineral Klinoptilolith-Zeolith wurde bereits in den 1970er Jahren erfolgreich als Filtermaterial zur Ammoniakentfernung in der Fischzucht eingesetzt. Die wissenschaftlichen Untersuchungen über derartige Anwendungen sind sogar noch zahlreicher als bei der Anwendung des Minerals als Futterzusatz.

Johnson et Sieburth (1974) setzten Klinoptilolith als Filtermedium für Ammoniak in einem geschlossenen Kreislaufsystem zur Lachsproduktion als durchströmte Filterkolonne ein. Sogar die extrem hohe Konzentration von 15 mg/l NH₄-N konnte Klinoptilolith zu über 95% entfernen und lag damit besser als der ebenfalls getestete synthetische Zeolith AW-500. Durch Regeneration mit verdünnter Kochsalzlösung konnte Ammonium vom beladenen Filter wieder ausgewaschen werden und dieser erneut eingesetzt werden.

Aus 1981 stammt der erste Bericht über den industriellen Einsatz von Klinoptilolith-Filtern in der Lachsproduktion: Mumaw et al. (1981) berichten über den dreijährigen erfolgreichen Einsatz dieser Filter in der Produktion von 140 000 jungen Lachsen, was durch die effiziente Entfernung von ausgeschiedenem Ammoniak durch Klinoptilolith möglich wurde.

Watten et English (1985) konnten bald darauf zeigen, dass sogar organische Verunreinigungen aus dem Kot der Fische in Aquakultursystemen, die sich im Filterbett während der Filtration festsetzen, durch Hypochloridlösung (Schwimmbadreiniger) rasch aus dem Filter entfernt werden können, sodass das regenerierte Material für weitere Filtrationszyklen verwendet werden kann. Dryden et Weatherley (1987) untersuchten die Kinetik und Kapazität der Ammoniakadsorption in Kreislaufanlagen für Fischzucht und fanden die höchste Aufnahmefähigkeit für Ammonium gegenüber anderen Kationen. Innerhalb von 20 Stunden konnte ein vollständiger Austausch erreicht werden. Die Flexibilität und Aufnahmegeschwindigkeit bringt dadurch wesentliche Vorteile gegenüber den ansonsten in der Aquakultur eingesetzten biologischen Filtersystemen. Allerdings beobachtete Mwale (2000), dass es möglich ist, in einen Zeolithfilter auch nitrifizierenden Bakterien anwachsen zu lassen, sodass zusätzlich zur Adsorption von Ammonium auch der Abbau zu Nitrat erreicht werden kann, was seine Einsatzmöglichkeiten beträchtlich erhöht. Nitrifikanten sind langsam wachsende Bakterien mit hohem Sauerstoffbedarf und finden daher auf der Oberfläche von Klinoptilolith optimale Lebensbedingungen vor.

Motesharezadeh et al. (2015) nutzten die Affinität von nitrifizierenden Bakterien zu Klinoptilolith und setzten beides im Pflanzenfilter eines Kreislaufsystems zur Karpfenzucht ein. Der Filter war mit Luzerne bewachsen und in Experimenten mit und ohne Klinoptilolith bzw. Nitrifikanten konnte ihr Einfluss auf die Wasserqualität untersucht werden. Durch den Einsatz von 5 oder 10% (w/w) Klinoptilolith im Boden des Pflanzenfilters nahm die Konzentration von Ammoniak ab, während diejenige von ungiftigem Nitrat, das von den Pflanzen gut aufgenommen werden kann, anstieg. Die Zugabe von nitrifizierenden Bakterien verstärkte diese Effekte noch deutlich. Ebenso einen externen Pflanzenfilter mit Klinoptilolith setzten Sirakov et al. (2015) in einem Vergleichsversuch zur Zucht von Regenbogenforellen ein. Der Pflanzenfilter enthielt Zeolith, Wasserlinsen und Wasserpest und konnte gegenüber der Kontrolle Ammonium, Gesamtstickstoff und Phosphat reduzieren. Als Folge dieser Wasserreinigung verbesserte sich die Überlebensrate der Fische von 75% auf 85%, die spezifische Wachstumsrate stieg um 70% und die Futtermittelverwertung verbesserte sich um 40%.

Der Vergleich verschiedener Zeolitharten für ihre Eignung zur Wasserfiltration in der Fischzucht zeigte klar, dass Klinoptilolith am besten geeignet ist (Bergero et al. 1994). Die Bindungsfähigkeit für Ammonium hängt dabei im angewendeten Bereich nicht von der Temperatur ab. Ein großer Vorteil von Klinoptilolith liegt in seiner Fähigkeit, Spitzen von Ammoniakbelastungen abzufangen und damit auch bei schwankenden Konzentrationen permanent niedrige Ammoniakkonzentrationen zu gewährleisten, was für die Sicherheit der Tiergesundheit entscheidend ist (Dryden et Weatherley 1989, Bergero et al. 1997). Die Aufnahmekapazität von Klinoptilolith steigt sogar noch mit dem Gehalt von Ammoniak im Wasser (Chiayvareesajja et Boyd 1993). Nicht zuletzt auf diesen Ergebnissen aufbauend bestimmten später Bergero et al. (2001) die optimalen Durchflussraten von Ablaufwasser durch Klinoptilolithfilter in der Forellenzucht.

Da die Ammoniak-Toxizität bei Jungtieren am höchsten ist, wurde der Einsatz von Zeolithfiltern auf die Überlebens- und Wachstumsrate der Larven von Silberkarpfen bei verschiedenen Einsatzmengen von Klinoptilolith-Zeolith untersucht. Nach 18 Tagen wurden in den Systemen mit Zeolithfiltern um bis zu 13% höhere Wachstumsraten und signifikant höhere Überlebensraten bestimmt werden, verursacht durch den niedrigeren Gehalt an Ammoniak (Saad 2003). Zeolith zeigte hier einen starken positiven Effekt auf die Wasserqualität. Die Vermeidung von toxischen Auswirkungen des Ammoniak auf Gemeinen Karpfen durch einen Klinoptilolithfilter wurde bereits 2002 von Peyghan et Takamy (2002) in einer Serie von Tests auf akute Toxizität beobachtet. Die Anwendung von 10g/l Naturzeolith wurde als geeigneter Schutz vor Mortalität und histopathologischen Auswirkungen ermittelt.

Yousefian und Mitarbeiter konnten 2010 in einem der Studie von Saad (2003) ähnlichen Experiment die ernährungsphysiologischen Effekte auch für gemeinen Karpfen bestätigen, hier wurde eine Verbesserung der Futtermittelverwertung um 24% gemessen (Yousefian et al. 2010).

Auch Asgharimoghadam et al. (2012) und Farhangi (2012) beobachteten eine Senkung der Mortalität von Belugastör durch den Einsatz von Klinoptilolith. Das Wasser wurde bis zur letalen Konzentration von 25 mg/l mit Ammonium angereichert und die Mortalität während 24 h beobachtet. Die Anwendung von 15 g/l Klinoptilolith konnte die Mortalität von Belugastör vollständig (100%) stoppen. Eine ähnliche Untersuchung mit persischem Stör, von Farhangi et al. (2012) durchgeführt, erzielte vergleichbare Ergebnisse. Hier genügte der Einsatz von 12 g/l Klinoptilolith, um die Mortalität innerhalb von 96 h zu verhindern.

Sogar für Zierfische gibt es wissenschaftliche Untersuchungen über den Einsatz von Klinoptilolith in der Wasserfiltration. Der Buntbarsch *Pterophyllum scalare* war Ziel einer Studie von Ghiasi et Jaour (2012). Die Autoren ermittelten ein Optimum von 10 g Zeolith/l, um die Wasserqualität ausreichend zu verbessern. Die Auswirkungen auf Gesundheit und Wachstum der Tiere waren klar ersichtlich und sind in untenstehender Tabelle aufgeführt. Klinoptilolith konnte in allen ökonomisch relevanten Parametern Verbesserungen herbeiführen.

Tabelle 2: Effekte der Wasserfiltration mit Klinoptilolith auf die Ernährung und Wasserqualität in der Kultivierung von Buntbarschen. Nach Ghiasi et Jasour (2012).

Messparameter	Kontrolle	10 g/l Klinopt.	Veränderung
Gewichtszunahme (g/30 Tage)	0,026	0,038	46%
spez. Wachstumsrate (%)	1,96	2,59	32%
Futtermittelverwertung (Futtermittelaufnahme/Massezunahme)	2,33	1,79	23%
pH Medium	8,6	8,01	7%
TAN Gesamtammonium-N Ausfluss (mg/l)	0,30	0,13	56%

In einem interessanten Experiment wurde der Zeolithfilter eines geschlossenen Kreislaufsystems für Rotbarsche als hydroponischer Filter ausgelegt, in dem Salat angepflanzt wurde (Rafiee et Saad, 2008). Sowohl der Salat als auch die Performance der Rotbarsche wurde beobachtet. Nicht nur lag die Ammoniakkonzentration während des siebenwöchigen Experiments im System mit Zeolithfilter bis zu 40% niedriger als im Vergleichssystem ohne Zeolithfilter, auch der Ertrag von Salat war im Zeolith-System um über das 5-fache höher. Die bessere Wasserqualität durch den Zeolithfilter führte schließlich zu einem um 16% gesteigerten Ernteertrag an Fischbiomasse.

Migulatoren® eignen sich nicht nur zur Filtration von Ammoniak bzw. Ammonium, sondern auch zur Reinigung von Fischgewässern durch effektive Bindung von giftigen Schwermetallen wie Blei, Cadmium, Antimon, Quecksilber, und Nickel. Messungen in Zuchtssystemen von preußischem Karpfen, die für das Experiment mit Cadmium kontaminiert wurden, zeigten eine deutliche Senkung der Bioakkumulation von Cadmium in verschiedenen Gewebe der Fische, wenn Klinoptilolith als Filtermedium zugefügt wurde (Nicula et al. 2010). Nieren, Darm und Kiemen waren am stärksten von Cadmiumablagerungen betroffen. Umgekehrt bewirkte die Anwendung von Klinoptilolith eine stärkere Einlagerung wertvoller mineralischer Nährstoffe und Spurenelemente wie Calcium, Magnesium, Zink, Eisen und Kupfer in die Gewebearten des Karpfens. Auch Ghiasi et Mirzargar (2015) führten Toxizitätstests mit Cadmium an Karpfen durch und konnten zeigen, dass durch Zugabe von Klinoptilolith zum Wasser Cadmium effektiv gebunden wird.

5.4 Migulatoren® im Transport von Lebendfischen

Lebendfische werden beim Transport in Wasserbehältern dicht besetzt, um hohe Transportkosten zu vermeiden. Die Zugabe von Migulatoren® zum Transportwasser verhindert die Akkumulation von toxischem Ammoniak durch Ausscheidungen der Lebewesen während des Transportes. Bereits 1982 konnte der erfolgreiche Einsatz von Klinoptilolith-Zeolith während des Transports von Goldfischen die Konzentration von Ammoniak von 0,074 mg/l in der Kontrolle auf 0,017 mg/l, also um 77% verringern und so eine toxische Aufkonzentration von Ammoniak verhindern (Bower et Turner 1982).

2004 wurden in Mumbai Untersuchungen zur Verbesserung der Überlebensrate beim Transport von Lebendfischen mit verschiedenen Zusatzstoffen durchgeführt. Der Einsatz von 7 kg Zeolith /m³ stellte während des Versuchszeitraumes von 48h bei 28,8°C eine 100%ige Überlebensrate sicher, während in der Kontrolle ohne Zeolith nur 70% überlebten. Dieser Erfolg wurde durch die Absenkung der Ammoniakkonzentration gegenüber der Kontrolle um 81% erreicht (Singh et al. 2004).

Ramirez-Duarte et al. (2011) gaben für den Transport von Lebewesen (*Ancistrus triradiatus*) 22,7 g/l Klinoptilolith in das Transportwasser und konnten so die Ammoniumkonzentration während des 48-stündigen Transports um 70% senken. Die Mortalität wurde nach 7 Tagen um 42% gesenkt. Die große Herausforderung für die Senkung der Mortalität waren die hohen Transporttemperaturen von 24-34°C.

5.5 Migulatoren® in der Schrimps-Produktion

Wie Chiayvareesajja et Boyd (1993) berichten, war die Behandlung von Teichwasser zur Schrimpsproduktion mit Zeolith bereits in den 1990er Jahren ein Standardverfahren in Südostasien. Eine Umfrage unter 76 Schrimpsbauern in Thailand ergab, dass 57% der Farmer Zeolith zur Reinigung des Wasser von Zuchtbecken einsetzten, jedoch hauptsächlich zur Filtration von Trübstoffen, nur wenige zur Entfernung von Ammoniak (Gräslund et al. 2003). Die Qualitäten der eingesetzten Zeolithesind aber als durchwegs schlecht zu bezeichnen, wie Silapjarn et al. (2006) in einer Messserie von 25 in Thailand für die Schrimpskultur eingesetzten Zeolithprodukten ermittelte.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz von Migulatoren® in der Fisch- und Schrimpsproduktion basiert auf zahlreichen wissenschaftlichen Studien, die seit den 1970er Jahren in allen Teilen der Welt mit zeolithischen Naturmineralen unter Produktionsbedingungen durchgeführt wurden. Durch die Vielzahl der Erfahrungen und die dadurch gewonnene Kenntnis der entscheidenden Wirkungsmechanismen konnte eine gezielte Entwicklung von Migulator®-produkten für die Verbesserung der ökonomischen und ökologischen Situation der Aquakultur erfolgen.

6.1 Ökonomische Effekte

Obwohl die häufigste Anwendung von zeolithischen Mineralen in der Fischzucht die Filtration des Wassers ist, kann der größte ökonomische Mehrwert aus dem Einsatz der Migulatoren® als Futtermittelzusatzstoff gewonnen werden. Im Futter kann Zeolith den toxischen Ammoniak direkt am Ort seiner Entstehung, nämlich in der Proteinverwertung, binden und bereits erste schädliche Einflüsse auf den Stoffwechsel der Tiere verhindern. Da die Konzentration von Ammoniak im Darm am höchsten ist, ist auch die Effizienz der Bindung dort am höchsten. Zeolithe nehmen Ammoniak bei

hoher Konzentration effektiver und schneller auf als bei niedriger Konzentration. Dazu kommen positive Wirkungen auf die Darmschleimwand, Stärkung der Gesundheit und bessere Futter- sowie Proteinverwertung. Wird Ammoniak gemeinsam mit unverdauten Proteinen im Kot ausgeschieden, bleiben Zeolithe weiterhin am Ort des Geschehens und begünstigen das Wachstum von nitrifizierenden Bakterien, welche Ammoniak in ungiftiges Nitrat umwandeln. Die wichtigsten ökonomischen Vorteile von Migulatoren® in der Aquakultur sind daher:

- Senkung der Mortalität
- Steigerung der Wachstumsrate
- Verbesserung der Futterverwertung (geringerer Futtermittelverbrauch pro Massezunahme)
- Effizienzsteigerung der Proteinverwertung
- geeignet für die biologische Produktion

6.2 Ökologische Effekte

Durch ihre Bindefähigkeit für Ammonium und Schwermetalle besitzen Migulatoren® eine exzellente Funktion zur Wasserreinigung und tragen dadurch zur Verbesserung der Gewässerqualität bei. Das Wachstum von Mikroalgen wird unterdrückt und die Eutrophierung empfindlicher aquatischer Ökosysteme verhindert. Damit stellen Migulatoren® besonders in der intensiven Aquakultur eine wirksame Maßnahme zur Aufrechterhaltung des ökologischen Gleichgewichtes aquatischer Systeme dar. Die wesentlichen ökologischen Vorteile sind:

- Verbesserung der Gewässerqualität
- Stabilisierung des ökologischen Gleichgewichtes naturnaher aquatischer Systeme
- Regulation des Stickstoffkreislaufes in Gewässern und Sedimenten

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Aleksiev B., Djourova E., Milakovska-Vergilova Z. (1995): Geology of the Oligocene Zeolitic Rocks in NE Rhodopes, Bulgaria: A Review and New Data. In: Kirov G., Filizova L., Petrov O. (Hrsg.): Proc.Sofia Zeolite Meeting '95, S.249-252. Sofia, Pensoft Pub.
- Asgharimoghadam A., Gharedaashi E., Montajami S. (2012): Effect of Clinoptilolite Zeolite to Prevent Mortality of Beluga (*Huso huso*) by Total Ammonia Concentration. *Global Veterinaria* **9**(1): 80-84.
- Baerlocher C., W. M. Meier and D. H. Olson (2001): Atlas of Zeolite Framework Types. Vol. 5, Edited by Association Structure Comm.of the Int Zeolite Association. Amsterdam: Elsevier.
- Bergero D., Boccignone M., Natale F.Di., Sicuro B. (1994): Ammonia removal capacity of European natural zeolite tuffs: Application to aquaculture waste water. *Aquaculture Res.* **25**(8): 813-821.
- Bergero D., Boccignone M., Natale F.Di., Forneris G., Palmegiano G.B., Zoccarato I. (1997): Ammonium removal capacity of natural zeolites in rainbow trout farming. In: Kirov G., Filizova L, Petrov O. (Eds.): Natural Zeolites – Sofia '95, 75-82, Pensoft Publ. Sofia.
- Bergero D., Forneris G., Palmegiano G.B., Zoccarato I., Gasco L., Sicuro B. (2001): A description of ammonium content of output waters from trout farms in relation to stocking density and flow rates. *Ecol. Eng.* **17**: 451-455.

- Bower C.E., Turner D.T. (1982): Ammonia Removal by Clinoptilolite in the Transport of Ornamental Freshwater Fishes. *The Progressive Fish-Culturist* **44**(1): 19-23.
- Chiayvareesajja S., Boyd C.E. (1993): Effects of zeolite, formalin, bacterial augmentation, and aeration on total ammonia nitrogen concentrations. *Aquaculture* **116**: 33-45.
- Danabas D. (2011): Fatty acid profiles of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), fed with zeolite (Clinoptilolite). *J Animal & Plant Sci* **21**(3): 561-565.
- Dias J., Huelvan C., Dinis M. T., Métailler R. (1998): Influence of dietary bulk agents (silica, cellulose and a natural zeolite) on protein digestibility, growth, feed intake and feed transit time in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquat. Living Resour.* **11**(4): 219-226.
- Dryden H.T., Weatherley L.R. (1987): Aquaculture Water Treatment by Ion-Exchange: I. Capacity of Hector Clinoptilolite at 0,01-0,05 N. *Aquaculture Eng.* **6**: 39-50.
- Dryden H.T., Weatherley L.R. (1989): Aquaculture water treatment by ion exchange: Continuous ammonium ion removal with clinoptilolite. *Aquaculture Eng.* **8**: 109-126.
- Ergün S., Tekesoglu H., Yigit M. (2008): Effects of dietary natural zeolite levels on ammonia excretion rates in young rainbow trouts. *Fresenius Environmental Bulletin* **17**(2): 245-248.
- Farhangi M. (2012): Prevention of acute ammonia toxicity in bluga (*Huso huso*), using natural zeolite. 3rd Iran International Zeolite Conference (IIZC 2012).
- Farhangi M., Rostami-Charati F. (2012): Increasing of survival rate to *Acipenser persicus* by added Clinoptilolite zeolite in acute toxicity test of ammonia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation Int. J. of the Bioflux Society* **5**(1): 18-22.
- Ghasemi Z, Sourinejad I., Kazemian H., Rohani S. (2016): Application of zeolites in aquaculture industry: a review. *Reviews in Aquaculture* **0**: 1-21.
- Ghiasi F., Jasour M.S. (2012): The Effects of Natural Zeolite (Clinoptilolite) on Water Quality, Growth Performance and Nutritional Parameters of fresh water aquarium fish, Angel (*Pterophyllum scalare*). *Int. J. Research in Fisheries and Aquaculture* **2**(3): 22-25.
- Ghiasi F., Mirzargar S.S. (2015): Pathological Effects of Cadmium and Efficiency of Natural Zeolite, Clinoptilolite, to Reduce the Cadmium Toxicity in Common Carp and its Ability to Remove Cadmium from Contaminated Water. *Res. J. Veterinary Practitioners* **3**(2):36-40.
- Gräslund S., Holmström K., Wahlström A. (2003): A field survey of chemicals and biological products used in shrimp farming. *Marine Pollut. Bull.* **46**: 81-90.
- Halama A.K., Pichlhöfer R.W. (1990) Funktion Und Stellenwert Mineralischer Ballaststoffe in Der Tierernährung. *Mühlen-Markt* 1990 no. **9**, Sonderdruck.
- Johnson P.W., Sieburth J.McN. (1975): Ammonia removal by selective ion exchange, a backup system for microbiological filters in closed-system aquaculture. *Aquaculture* **4**: 61-68.
- Kanyilmaz M., Tekelioglu M., Sevgili H., Uysal R., Aksoy A. (2015): Effects of dietary zeolite (clinoptilolite) levels on growth performance, feed utilization and waste excretions by gilthead sea bream juveniles (*Sparus aurata*). *Animal Feed Sci. Technol.* **200**: 66-75.
- Motesharezadeh B., Arasteh A., Pourbabae A.A., Rafiee G.R. (2015): The -Effect of Zeolite and Nitrifying Bacteria on Remediation of Nitrogenous Wastewater Substances Derived from Carp Breeding Farm. *Int. J. Environ. Res.* **9**(2): 553-560.
- Mumaw L., Bruin W., Nightingale J (1981). Evaluation op a recirculating freshwater salmon rearing facility using clinoptilolite for ammonia removal. *Journal of the World Aquaculture Society* **12**(1): 40-47.

- Mumpton F.A. (1985): Using Zeolites in Agriculture. Tagung: Innovative biological technologies for lesser developed countries, *Workshop Proceedings*, Chp. 7, p. 127-158. Hrsg: Congress, Office of Technology Assessment, OTA-13P-F-29, Washington D.C.
- Mumpton F.A. (1999): La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**: 3463-3470.
- Mumpton, F.A., Fishman, P.H. (1977): The Application of Natural Zeolites in Animal Science and Aquaculture. *J. Animal Sci.*, **45**: 1188-1203.
- Mwale M. (2000): Ammonia removal from water by ion exchange using South African and Zambian zeolite samples. MSc. thesis, Rhodos University.
- Nicula M., Banatean-Dunea I., Gergen I., Harmanescu et al. (2010): Effect of natural zeolite on reducing tissue bioaccumulation and cadmium antagonism related to some mineral micro- and macronutrients in Prussian carp (*Carassius gibelio*). *AAFL BIOFLUX* **3**(3): 171-180.
- Obradovic S., Adamovic M., Vukasinovic M., Jovanovic R., Levic J. (2006): The application effects of natural zeolite in feed and water on production results of *Nocorhynchus Mykiss* (Walbaum). *Roumanian Biotechnol. Lett.* **11**(6): 3005-3013.
- Parham W.E. (1985): Future perspectives for natural zeolites in agriculture and aquaculture. In: Pond W.G., Mumpton F.A. (Hrsg.): *Zeo-Agriculture. Use of Natural zeolites in agriculture and aquaculture*. Westview Press, Boulder, Colorado USA.
- Peyghan R., Takamy G.A. (2002): Histopathological, serum enzyme, cholesterol and urea changes in experimental acute toxicity of ammonia in common carp *Cyprinus carpio* and use of natural zeolite for prevention. *Aquaculture International* **10**(4): 317-325.
- Ramirez-Duarte W.F., Pineda-Quiroga C., Martinez N., Eslava-Mocha P.R. (2011): Use of sodium chloride and zeolite during shipment of *Ancistrus triradiatus* under high temperature. *Neotropical Ichtyol.* **9**(4): 909-914.
- Rafiee G.R., Saad C.R. (2008): Roles of natural zeolite (clinoptilolite) as a bed medium on growth and body composition of red tilapia (*Oreochromis sp.*) and lettuce (*Lactuca sativa var longifolia*) seedlings in a pisciponic system. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* **7**(2): 47-58.
- Saad C.R. (2003): Role of zeolites in the nutrition of fish. Projektbericht IRPA Proj.-nr. 01-02-04-0518, Universiti Putra Malaysia, Inst. of Bioscience.
- Singh R.K., Vartak V.R., Balange A.K., Ghughuskar M.M. (2004): Water quality management during transportation of fry of Indian major carps, *Catla catla* (Hamilton), *Labeo rohita* (Hamilton) and *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Aquaculture* **235**: 297-302.
- Sirakov I., Velichkova K., Stoyanova S., Dinev D., Staykov Y. (2015): Application of natural zeolites and macrophytes for water treatment recirculation aquaculture systems. *Bulgarian J. Agricult. Sci.* **21** Suppl. 1: 147-153.
- Silapajarn O., Silapajarn K., Boyd C.E. (2006): Evaluation of zeolite products used for aquaculture in Thailand. *J. World Aquacult. Soc.* **37**(1): 136-138.
- Watten B.J., English M.J. (1985): Effects of organic matter in aquaculture waste on the ammonium exchange capacity of clinoptilolite. *Aquaculture* **46**: 221-235.
- Yildirim Ö., Türker A., Senel B. (2009): Effects of natural zeolite (clinoptilolite) levels in fish diet on water quality, growth performance and nutrient utilization of *Tilapia zillii* Fry. *Fresenius Environ. Bull.* **18**(9): 1569-1573.

Yousefian M., Hedayatifard M., Farabi S.V., Nourouzian Amri M.B., Nikkhou M., Makhtomi C., Nouri A. (2010): The effects of zeolite on growth parameters of common carp of caspian sea. *J. Fisheries* **4**(3): 101-108.