



Empfehlung zum Risiko des Auftretens von Krankheitserregern bei Muscheln in Verbindung mit dem Klimawandel

AAC 2022-19

August 2022



Register

Register.....	2
1 ZUSAMMENFASSUNG – ZWECK DIESES DOKUMENTS	3
2 EINLEITUNG.....	3
3 VIELFALT DER KRANKHEITSERREGER BEI MUSCHELN.....	4
4. NEU AUFTRETENDE KRANKHEITSERREGER UND KRANKHEITEN, DIE SICH AUF DIE MUSCHELZUCHT AUSWIRKEN	5
5. KLIMAWANDEL UND MUSCHELZUCHT	6
6. BEISPIELE FÜR BESTEHENDE MASSNAHMEN ZUM UMGANG MIT NEU AUFTRETENDEN RISIKEN UND VORSCHLÄGE ZUR VERBESSERUNG DER WIDERSTANDSFÄHIGKEIT, RESISTENZ UND TOLERANZ.....	8
7. SCHLUSSFOLGERUNG	9
8. EMPFEHLUNGEN DES AAC	9
QUELLEN.....	12



1 ZUSAMMENFASSUNG – ZWECK DIESES DOKUMENTS

Diese Empfehlung behandelt die Gefahr des Auftretens von Krankheitserregern bei Muscheln in Zusammenhang mit dem Klimawandel. Sie soll aufzeigen, wie anfällig die Muschelzucht gegenüber jeglicher Umweltveränderung ist und wie notwendig es ist, dass geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um diesen wichtigen europäischen Wirtschaftssektor zu schützen. Die Schalentiere erweisen sich nämlich als stark abhängig von einer hohen Qualität ihres Lebensraums. Nun ist die europäische Muschelzucht seit einigen Jahren durch das Auftreten neuer Krankheitserreger mit wiederkehrenden Fällen von Muschelsterben konfrontiert. Diese in der Umgebung bereits potentiell vorhandenen Organismen können aufgrund der Veränderungen der Umweltbedingungen pathogen werden. Bereits seit mehreren Jahren spielt der Klimawandel diesbezüglich aufgrund seiner Auswirkungen auf die Meeresumwelt und die Küstenökosysteme eine Schlüsselrolle.

2 EINLEITUNG

Die Muschelzucht ist ein wichtiger Wirtschaftssektor in Europa. Sie umfasst ungefähr 8.500 Unternehmen mit mehr als 42.000 Beschäftigten (Arzul et al., 2021), die eine große Vielfalt von Schalentieren züchten: Austern, Miesmuscheln, Herz- und Venusmuscheln etc. Weltweit liegt Europa nach dem asiatischen und amerikanischen Kontinent zwischen dem 2. und 3. Platz der Muschelzüchter. Insgesamt entspricht die Erzeugung von Zuchtmuscheln 47 % des Gewichts und 23 % des Wertes der europäischen Aquakulturproduktion (FAO, 2018).

Die Muschelzucht ist eine Antwort auf die Notwendigkeit der Entwicklung einer Nahrungsmittelindustrie, die mit dem Klimawandel vereinbar ist und die sich durch ihre sozioökonomische Rolle bei der Schaffung von Wohlstand und ihren wichtigen Nutzen für die natürliche Umwelt über die von ihr erbrachten Ökosystemleistungen perfekt in den [europäischen Grünen Deal](#) einfügt, doch ist sie stark von der Umwelt und deren Veränderungen abhängig. Seit mehreren Jahren ist die Muschelzucht insbesondere Opfer von wiederkehrenden Fällen von Muschelsterben, die durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren ausgelöst werden: Änderungen der Beschaffenheit der Umwelt sowie der Physiologie der Schalentiere und das Auftreten von Krankheitserregern. In ihrer Umgebung sind Schalentiere nämlich von Mikroorganismengemeinschaften umgeben und beherbergen sie auch. Manche dieser Mikroorganismen können je nach Umweltbedingungen pathogen werden. Seit mehreren Jahren kommt zu diesen Faktoren noch ein weiterer, unbekannter hinzu: **die Auswirkungen des Klimawandels auf die Muschelzucht und insbesondere auf das Auftreten von Krankheitserregern.**

Das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC-Konferenz) definiert den aktuellen Klimawandel als „*unmittelbar oder mittelbar auf menschliche Tätigkeit zurückzuführende Änderungen des Klimas, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen*“ (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b). Die Küstenökosysteme sind schon vom Klimawandel betroffen, was sich durch die Erwärmung der Ozeane, ihrer Versauerung und dem Anstieg des Meeresspiegels etc. zeigt. Diese Risiken haben insbesondere auf den Wirtschaftssektor Aquakultur entscheidende Auswirkungen, aber ebenso auf Fischerei und Tourismus. Sie beeinträchtigen die Lebensmittelsicherheit von Fischereiprodukten für den Menschen und die Gesundheit von Muschelbeständen (IPCC, 2019).



3 VIELFALT DER KRANKHEITSERREGER BEI MUSCHELN

Die Weltorganisation für Tiergesundheit (früher OIE, jetzt WOAH) definiert in ihrem [Gesundheitskodex für Wassertiere](#) **eine Krankheit** als „eine klinische oder nicht-klinische Infektion von Wassertieren mit einem oder mehreren Krankheitserregern“ und **einen Krankheitserreger** als „einen Mikroorganismus, der zu einer Krankheit führt oder zu dessen Entwicklung beiträgt“ (OIE(2021) Krankheitserreger bei Schalentieren sind sehr vielfältig: Viren, Bakterien und parasitische Protozoen.

Allerdings führt bei Muscheln die Anwesenheit eines Krankheitserregers nicht zwingend zu einer Krankheit und zu Muschelsterben. Krankheitserreger haben nämlich die Tendenz, sich zu verändern und den Tod herbeizuführen, wenn es zu einem Ungleichgewicht des Austauschs zwischen Muscheln, Krankheitserregern, Umwelt und Zuchtverfahren kommt (Arzul, 2020).

Diese Krankheitserreger gelten je nach ihrem geografischen Verbreitungsgebiet **in der EU als abwesend oder vorhanden**. Derzeit sind zwei bekannte parasitische Protozoen als abwesend verzeichnet: *Mikrocytos mackini* kommt seit den 1960er Jahren in Nordamerika vor und wird mit einem Sterben der Pazifischen Felsenaustern (*Crassostrea gigas*) in Kanada in Verbindung gebracht, und *Perkinsus marinus*, der vor allem in den Vereinigten Staaten verbreitet ist und 1946 zum ersten Mal zu einem großen Sterben der Amerikanischen Auster (*Crassostrea virginica*) geführt hat (Ifremer (LGPM), 2018).

Andere Krankheitserreger wie das *Ostreide Herpesvirus* Typ 1 (OsHV-1) und die Bakterienart *Vibrio aestuarianus* sind dagegen in der EU sehr verbreitet und verantwortlich für große Muschelsterben, insbesondere in Frankreich. Tatsächlich wird seit Beginn der 1980er Jahre das Herpesvirus regelmäßig mit dem Auftreten von Felsenausternsterben (*Crassostrea gigas*) und insbesondere mit dem Sterben der Austernbrut und der Jungaustern in Verbindung gebracht (Ifremer (LGPM), 2018).

Ab 2008 hat das Auftreten eines besonderen Genotyps des Virus (OsHV-1) bei der Austernbrut einen Anstieg der Sterblichkeit von 60 bis 80% verursacht (Soletchnik, 2009). Zusätzlich zu diesem massiven Sterben bei der Austernbrut trat seit 2012 bei den ausgewachsenen Austern eine Sterblichkeit bei bis zu 50 % der marktfähigen Austern auf. Die Bakterienart *Vibrio aestuarianus* wurde bei Auftreten von Austernsterben systematisch in Austern nachgewiesen (Garnier et al., 2007).

Diese Beispiele für Austernsterben zeigen, dass die Bekämpfung von Muschelkrankheiten nach wie vor komplex ist, dass unsere Fähigkeit, die Aufgaben im Bereich Tiergesundheit zu bewältigen, noch nicht sehr ausgeprägt ist und die Besonderheiten der Muschelzucht berücksichtigen muss. Muscheln werden generell im natürlichen Lebensraum gezüchtet und befinden sich daher in direktem Kontakt mit der Umwelt. Dieser Lebensraum ist ein offenes Milieu, das im Gegensatz zu einer terrestrischen Umgebung keine physischen Barrieren besitzt und somit die schnelle Verbreitung und Übertragung von Krankheitserregern ermöglicht.

Zudem bilden Muscheln aufgrund ihrer Physiologie keine Antikörper und haben keine erworbene Immunität, was den Einsatz eines Impfstoffes unmöglich macht; Impfstoffe sowie Desinfektionsverfahren können im offenen Milieu nicht angewendet werden. Zudem weisen sie keine spezifischen klinischen Symptome auf, was die Diagnose erschwert. Ebenso ist die Grenze zwischen wildwachsenden und gezüchteten Tieren nicht einfach zu ziehen und wilde Muscheln sind Träger von



zahlreichen, potenziell pathogenen Mikroorganismen. Sobald sich ein Krankheitserreger in ihrem Lebensraum festgesetzt hat, erweist sich seine Ausrottung als schwierig oder sogar unmöglich (Arzul et al., 2021).

Es ist daher unerlässlich, die Einschleppung und Ausbreitung dieser Krankheiten schon im Vorfeld zu verhindern, um Auswirkungen auf die Muscheln zu begrenzen. Die Ausbreitung von Krankheiten durch eine vorausschauende Regulierung neu auftretender Krankheitserreger zu verhindern, scheint aus zweierlei Gründen von entscheidender Bedeutung zu sein: **um eine nachhaltige Muschelproduktion aufrechtzuerhalten und um weiterhin den Zustand der Küstenökosysteme zu überwachen** (Arzul, 2020).

4. NEU AUFTRETENDE KRANKHEITSERREGER UND KRANKHEITEN, DIE SICH AUF DIE MUSCHELZUCHT AUSWIRKEN

Die WOA (2021) definiert eine **neu auftretende Krankheit** als jede „Krankheit, bei der es sich nicht um eine gelistete Krankheit handelt [...], die erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Tiere oder Menschen hat und verursacht wird durch

- a. *Veränderung eines bekannten Krankheitserregers oder seine Verbreitung in einem neuen geografischen Gebiet oder bei einer neuen Art oder*
- b. *Vorhandensein eines Erregers, der erst kürzlich anerkannt wurde oder bei dem der Verdacht besteht, Krankheiten auszulösen.“*

Die EU charakterisiert ebenso **den Begriff „neu auftretende Seuche“** in ihrer Verordnung (EU) 2016/429 in Artikel 6:

“ [...] 2. Eine Seuche, bei der es sich nicht um eine gelistete Seuche handelt, gilt als neu auftretende Seuche [...], wenn sie möglicherweise die in Artikel 5 Absatz 3 genannten Kriterien für die Listung von Seuchen erfüllt und

- a) *entsteht, weil sich ein bereits vorhandener Seuchenerreger weiterentwickelt oder verändert hat;*
- b) *eine bekannte Seuche ist, die sich in einem neuen geografischen Gebiet, in einer neuen Art oder in einer neuen Population ausbreitet;*
- c) *zum ersten Mal in der Union diagnostiziert wird; oder*
- d) *durch einen unbekanntem oder zuvor nicht erkannten Seuchenerreger verursacht wird.“*

Es gibt zahlreiche Faktoren, die das Auftreten von Krankheitserregern in der Muschelzucht begünstigen können. Während des Zuchtvorgangs sind die Muscheln zahlreichen Änderungen der Produktionsgebiete ausgesetzt. Sie können daher bei diesen Umlagerungen invasive Arten oder Krankheitserreger übertragen.



Zudem sind Schalentiere Kaltblüter, die sehr empfindlich auf Stressfaktoren reagieren, oft außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets produziert werden und in einer Umgebung leben, die von Natur aus reich an Krankheitserregern ist. Diese entwickeln sich hauptsächlich in wilden Muschelpopulationen, um dann ein oder mehrere Zuchtgebiete zu kontaminieren. Im Allgemeinen kann jegliche Veränderung der Umwelt, der Zuchtverfahren oder der Physiologie der Muscheln zum Auftreten von Krankheitserregern und einem Muschelsterben führen. Eine Epidemie kann tatsächlich durch veränderte Umweltbedingungen begünstigt werden, die möglicherweise die Ausbreitung und Virulenz einer bereits bestehenden Krankheit verstärken oder das Auftreten einer neuen Krankheit erleichtern (Krause, 1998; Harvell et al., 1999; Burge et al., 2014).

Und schließlich erschweren fehlende Daten über Krankheitserreger und ihre Wirte die Diagnosen, die sich hauptsächlich auf bekannte oder geregelte Krankheiten konzentrieren. Wir stellen heute fest, dass **es nur wenige Bestandsaufnahmen von Krankheitserregern und Wirten gibt, in den nationalen Hoheitsgebieten vorkommen, und dass die derzeitigen Überwachungs- und Managementmaßnahmen nach wie vor unzureichend sind.**

5. KLIMAWANDEL UND MUSCHELZUCHT

Die Meeresumwelt und die daraus resultierenden wirtschaftlichen Tätigkeiten wie die Muschelzucht sind schon von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Die Umweltveränderungen beeinflussen die Gesundheit und die Produktivität der Meeresökosysteme in ausgedehnten zeitlichen und räumlichen Größenordnungen (Harvell et al., 1999).

Der Klimawandel könnte in der Tat zu Veränderungen der Biologie der Meerespopulationen führen und sie anfälliger für Krankheiten machen. Insbesondere die **Erwärmung der Ozeane** hat zahlreiche Konsequenzen für die Dynamik von Krankheiten. In den Vereinigten Staaten traten in den letzten 25 Jahre höhere Wintertemperaturen an der Ostküste auf, die die Ausbreitung von *Perkinsus marinus* und *Haplosporidium nelsoni* (MSX-Krankheit) erleichterten (Cook et al., 1998; Dittman et al.). Wärmere Winter senken die Sterblichkeit von Parasiten und führen zu schwereren Infektionen der Austern bei der MSX-Krankheit (Harvell et al., 1999). Jedoch gehen zukünftige Emissionsszenarien davon aus, dass die Oberflächentemperatur der Ozeane in den ersten 100 Metern bis zum Jahre 2100 noch um 0,6 °C bis zu 2,0 °C steigen wird (IPCC, 2013), wobei zu berücksichtigen ist, dass sich die Ozeane weltweit seit 1970 erwärmt (0,11 °C pro Jahrzehnt) und mehr als 90 % der überschüssigen Klimawärme absorbiert haben.

Die **Versauerung der Ozeane** führt zu einer verringerten Konzentration von Carbonat-Ionen (CO_3^{2-}), einem wichtigen Bestandteil von Kalziumkarbonat (CaCO_3), das für die Bildung der Muschelschalen unerlässlich ist (Gazeau et al., 2007). Die negativen Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Entwicklung, Wachstum, Kalkbildung, Krankheitsanfälligkeit und das Überleben vieler Muschelarten werden in einer zunehmenden Zahl von Veröffentlichungen beschrieben. Die direkten Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die Muschelzucht wurden schon vor fast zehn Jahren auf lokaler Ebene an der Westküste der Vereinigten Staaten beobachtet (Barton et al., 2015). Wissenschaftler und Muschelzüchter haben seitdem einen starken Zusammenhang zwischen dem Säuregehalt des Wassers und der Sterblichkeit der Austernlarven festgestellt (Barton et al., 2015) und lokale Anpassungsstrategien entwickelt (Barton et al., 2015; Ekstrom et al., 2015).



Weitere Folgen des Klimawandels, deren Auswirkungen auf die Muschelzucht noch wenig dokumentiert sind, die aber bereits weitreichende Auswirkungen auf die marinen Ökosysteme offenbaren, sind die Schichtung der Ozeane, der Sauerstoffverlust an der Oberfläche mit Veränderungen der Durchmischung und der Biogeochemie, die Veränderung der Nettoprimärproduktion, die Veränderung der geografischen Verbreitungsgebiete und der jahreszeitlichen Aktivitäten mariner Arten (IPCC, 2019).

Generell haben der Klimawandel und menschliche Aktivitäten (Harvell et al., 1999; Burge et al., 2014) beschleunigt:

- die Zunahme des weltweiten Transports von Arten, wodurch einige Meerespopulationen neuen Krankheitserregern ausgesetzt wurden. Es wird vermutet, dass das Massensterben von Muscheln auf die Umlagerung kontaminierter Bestände zurückzuführen ist.
- die Schwächung von Tieren in der Zucht, die Energie dafür aufwenden, sich zu akklimatisieren oder an die neuen Bedingungen anzupassen.

Schalentiere scheinen jedoch nach den jüngsten Erkenntnissen der Genomik über **Fähigkeiten zu verfügen, sich an den Klimawandel anzupassen**. Muscheln verfügen vermutlich über eine Toleranz und Widerstandsfähigkeit gegen Umweltstress und eine phänotypische Plastizität, die eine genetische Anpassung an ihre Lebensräume gewährleisten. Diese Merkmale sind entscheidend, um Muschelzuchtbetrieben zu helfen, „dem Klima zu widerstehen“ (Byrne et al., 2020) sowie neuen Krankheitserregern (Yu and Guo, 2006; Lallias et al., 2009; Sauvage et al., 2010).

Tatsächlich weisen einige Muschelarten - oder genauer, einige Austernarten - einen Polymorphismus und viele repetitive Sequenzen auf, die es ihnen ermöglichen, eine große phänotypische Variation zu entwickeln (Zhang et al., 2012). Obwohl die Versuchung besteht, die Rolle der Immunität bei diesen wirbellosen Tieren herunterzuspielen, haben jüngste Fortschritte auch zu einem besseren Verständnis der Genome der Wirte und ihrer Parasiten geführt. Mehrere Studien haben daher verblüffend leistungsfähige angeborene Immunsysteme bei Muscheln gezeigt (Guo and Ford, 2016). Die wichtigsten Bahnen der angeborenen Immunität sind bei Muscheln über zahlreiche Rezeptoren, Regulatoren und ausgedehnte Immuneffektoren vorhanden. Große Genfamilien bieten eine große Vielfalt und Komplexität bei einer angeborenen Immunabwehr, was der Schlüssel bei der Abwehr von Muscheln gegen verschiedene Krankheitserreger sein kann, wenn keine adaptive Immunität vorhanden ist (Guo and Ford, 2016).

Jedoch ist die genetische Grundlage der Krankheits- oder Umweltstressresistenz der meisten wirtschaftlich interessanten Muschelarten weltweit (und insbesondere in der Europäischen Union) noch weitgehend unbekannt (Gómez-Chiarri et al., 2015). Daher wären die Untersuchung der Transkriptome von interessanten Muscheln und ihrer Parasiten sowie die Erweiterung der Kenntnisse über die phänotypische Anpassung und/oder die genetische Selektion unter der Berücksichtigung der komplexen Wechselwirkungen zwischen Plastizität und Anpassung Wege, die man erwägen sollte, um unser Verständnis der Genvariation bei der Virulenz der Parasiten und der Krankheitsresistenz des Wirts zu verbessern (Guo and Ford, 2016; Byrne et al., 2020).



6. BEISPIELE FÜR BESTEHENDE MASSNAHMEN ZUM UMGANG MIT NEU AUFTRETENDEN RISIKEN UND VORSCHLÄGE ZUR VERBESSERUNG DER WIDERSTANDSFÄHIGKEIT, RESISTENZ UND TOLERANZ

In Frankreich wird das Auftreten von Krankheitserregern bei Muscheln über das REPAMO-Netzwerk (REseau de surveillance des PAtologies des MOllusques marins - Überwachungsnetz für Krankheiten der Meeresmuscheln) überwacht. Dieses 1992 gegründete Netzwerk erfüllt eine regulatorische und öffentliche Aufgabe des Ministeriums für Landwirtschaft und Ernährung, die seit kurzem an die Branchenverbände der Muschelzucht und der gewerblichen Fischerei delegiert wurde. Das Ziel von REPAMO ist es, so früh wie möglich regulierte und/oder neu auftretende Krankheitserreger, die mit Fällen von Muschelsterben bei wilden und gezüchteten Meeresmuscheln in Verbindung gebracht werden, zu erkennen und zu identifizieren. Es handelt sich um eine passive Ereignisüberwachung auf Grundlage der obligatorischen Meldung von Fachkräften bei jedem anomalen Anstieg der Sterblichkeit.

Leider ist dieses Überwachungsnetzwerk verbesserungsbedürftig und wird der Problematik der Bekämpfung der Einführung/des Auftretens und der Verbreitung neu auftretender Krankheitserreger nur teilweise gerecht. Denn dieses Netzwerk erfasst nur die gelisteten Krankheitserreger, die durch die histologische Analyse der Schalentiere bekannt sind. Dies ist jedoch für Krankheitserreger, die keine Parasiten sind, nicht sehr spezifisch und die Ergebnisse können nur in frühestens zehn Tagen übermittelt werden. Diese lange Zeitspanne macht die Erkennung von neu auftretenden Krankheitserregern unvereinbar mit der Einführung wirksamer Managementmaßnahmen. Und schließlich beinhaltet es keine Überwachung der Umweltparameter des Lebensraums.

Andere Überwachungsinitiativen für neu auftretende Krankheitserreger existieren in Europa, wie die Arbeit des europäischen Netzwerks aus Fachleuten der Native Oyster Restoration Alliance (NORA), das sich mit der Entwicklung von Strategien befasst, die die Bedeutung des von der einheimischen Europäischen Auster *Ostrea edulis* geschaffenen Lebensraums und die Vorteile seiner Wiederherstellung in seinem gesamten historischen Verbreitungsgebiet anerkennen (Pogoda et al., 2019). Das NORA-Netzwerk schlägt biologische Sicherheitsrichtlinien für die Wiederansiedlung heimischer Austern in Europa vor und konzentriert sich dabei auf verschiedene Aspekte wie die Produktion von Austerbrut, vor allem aber auf die Verhinderung der Ausbreitung von *Bonamia ostreae* und anderen marinen Krankheitserregern, Krankheiten und invasiven Arten. Es geht darum, alle bekannten Krankheiten zu berücksichtigen und dem Ausbruch von Krankheiten oder dem unerwarteten Auftreten von invasiven Arten vorzubeugen, die möglicherweise durch den Klimawandel oder hohe Meerestemperaturen ausgelöst werden könnten (Pogoda et al., 2020).

Schließlich sind in den letzten Jahren in der Literatur mehrere wissenschaftliche Berichte erschienen, die Empfehlungen zur Verbesserung der Praktiken auflisten, um eine bessere Resistenz, Widerstandsfähigkeit oder Toleranz gegenüber neu auftretenden Krankheitserregern zu erreichen. Dazu zählt auch das Projekt [VIVALDI](#), das darauf abzielt, die Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Muschelsektors zu verbessern, der in den letzten Jahren von einer zunehmenden Anzahl von Muschelsterben betroffen war. Zu diesem Zweck wurden von 2016 bis 2020 Instrumente und Strategien zur besseren Vorbeugung sowie zur Minderung der Auswirkungen von Muschelkrankheiten erarbeitet. Unter allen vorgeschlagenen Empfehlungen heben wir insbesondere diejenige hervor, die die Entwicklung von Programmen zur Verbesserung der



Krankheitsresistenz durch Selektion unter Beachtung guter Produktionspraktiken betrifft (Arzul et al., 2021).

Andererseits haben mehrere Arbeiten die Bedeutung der Definition und der Notwendigkeit einer einheitlichen Anerkennung der Begriffe „**Widerstandskraft**“, „**Resilienz**“ und „**Toleranz**“ für die Einführung von Regulierungsmechanismen unterstrichen, die der Meeresbewirtschaftung zugrunde liegen (Holbrook et al., 2021). Also scheinen weitere Arbeiten erforderlich zu sein, um jegliche Blockade in zukünftigen Gesprächen über die Ausarbeitung notwendiger Richtlinien zu vermeiden und um die Ausbreitung von Krankheiten in neuen Gebieten und neuen Populationen zu verhindern sowie um die praktische Unsicherheit in Bezug auf die Definition und Anwendung dieser Begriffe aus dem Weg zu räumen (Holbrook et al., 2021).

Die Einbeziehung und Beteiligung aller Akteure (zuständige Behörden, Branchen- und Berufsverbände, Forschung) wäre natürlich eine Grundvoraussetzung für den Erfolg dieser Projekte. Auch die Kommunikationswege zwischen allen Beteiligten müssen klar festgelegt werden (Arzul et al., 2021).

7. SCHLUSSFOLGERUNG

Trotz zahlreicher Studien besteht weiterhin Unklarheit über die Entwicklung von Krankheitserregern im Meer und ihre ökologische Auswirkung (Harvell et al., 1999). Im Gegensatz dazu gibt es wenig Forschung und einen Mangel an Wissen über den Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Muschelzucht und ihre bekannten und neu auftretenden Krankheitserreger.

Die wenigen Studien zeigen jedoch eine Reihe von negativen wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Kapitalwert, das Einkommen, das Wohlbefinden der Verbraucher und den Nährwert der Produkte (Falkenberg and Tubb, 2017; Narita and Rehdanz, 2017; Froehlich et al., 2018). Die jährlichen Auswirkungen der Ozeanversauerung auf die europäische Muschelproduktion wurde für 2100 auf mehr als eine Milliarde USD geschätzt, die ungleichmäßig auf die einzelnen Länder verteilt sind (Narita and Rehdanz, 2017). Allgemein werden der Klimawandel und insbesondere die Ozeanversauerung zu Änderungen bei Gütern und Dienstleistungen führen, die von den Ökosystemen, die für die Muschelzucht genutzt werden und von der Muschelzucht bereitgestellt werden (Le Bihan-Charpentier, 2015; Smaal et al., 2019).

Daher scheint es unerlässlich, **sich eingehender mit diesen beiden Themen zu beschäftigen, die eng miteinander verknüpft sind: dem Auftreten von Krankheitserregern bei Muscheln und den Auswirkungen des Klimawandels auf die Muschelzucht.**

8. EMPFEHLUNGEN DES AAC

Abschließend empfiehlt der Beirat für Aquakultur **der Europäischen Kommission:**

- Schutz der Muschelgewässer, indem der gute Zustand der Muschelzucht wie in den Empfehlungen des AAC über den Schutz der Qualität von Muschelgewässern beschrieben festgeschrieben wird, [HIER](#) verfügbar, (April 2020);



- Bewertung der langfristigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Muschelzucht, insbesondere durch die Entwicklung von Klima- und sozioökonomischen Modellen;
- Bereitstellung von Finanzmitteln für die Gesundheitsüberwachung von Muschelbeständen und für die Verbesserung der Qualität der Muschelgewässer, die in direktem Zusammenhang mit dem Gesundheitszustand der Muscheln steht;
- **Einbeziehung dieses Forschungsbedarfs in die Vision und die Arbeitsprioritäten der EATIP (Technologie- und Innovationsplattform der europäischen Aquakultur);**
- Hinzufügen einer speziellen Seite für die Muschelzucht und den Bereich Tiergesundheit auf der künftigen Website der Europäischen Kommission, die der Aquakultur gewidmet ist, um alle Informationen im Zusammenhang mit den folgenden Bereichen zu teilen: Überwachung der biologischen Vielfalt, Klimawandel, Tiergesundheitsüberwachung und neu auftretende Krankheitserreger, Austausch bewährter Praktiken im Bereich Tiergesundheit etc.
- Identifizierung und Stärkung der Kommunikationswege, Informationsaustausch zu diesen Themen und Integration von Arbeiten über die Definition von Begriffen im Bereich regulatorischer Tiergesundheit zwischen den europäischen Akteuren (Mitgliedstaaten, zuständige Behörden, Forscher, Vertreter der Berufsgruppen), aber auch mit internationalen Akteuren.

Der Beirat für Aquakultur empfiehlt **den Mitgliedstaaten** ebenso:

- **Die gute Qualität von Muschelgewässern zu schützen, indem geltende Vorschriften umgesetzt werden und gegen jegliche neue Verschmutzung bekämpft wird, dabei sollte gegen die Verursacher der Verschmutzung vorgegangen werden und nicht gegen die Muschelzuchtverbände;**
- **Einbindung der Muschelzüchter in den Bewertungsprozess der Wasserqualität;**
- Verbesserung der Erkennung und Identifizierung neu auftretender Krankheitserreger: durch Untersuchung der Vielfalt bekannter Krankheitserreger, der Entwicklung der Umweltbedingungen, der verschiedenen vorhandenen Reservoirs (Sedimente, Wasser, Plankton etc.), durch die Entwicklung schneller, multi-pathogener Nachweisinstrumente, die an die Bedürfnisse der Berufsgruppe angepasst sind (passive Sensoren, PCR mit mehreren Primern, DNA-Sequenzierung etc.);
- Anpassung der Überwachungsstrategien im Bereich Tiergesundheit an den Klimawandel und an neu auftretende Krankheitserreger: programmierte Überwachung, Überwachung von Umweltparametern, Managementmaßnahmen;
- Verbesserung der Schutzmechanismen für Muscheln aus Brutstationen durch Optimierung der Programme für genetische Selektion durch Untersuchung der Virulenz der Krankheitserreger, Identifizierung von Markern in Verbindung mit einer besseren Überlebensrate, durch Stimulierung der Immunität und Messung der Abwehrmechanismen;



- Stärkung der Kommunikation zwischen den zuständigen Behörden, die für Wasserqualität und Küstenbereiche zuständig sind, der Forschung und der Muschelzuchtbranche;
- Stärkung der Verbindung zwischen Forschung und Fachleuten durch das Erstellen von Programmen für angewandte Forschung (Zuchtverfahren, Umweltauswirkungen etc.), die mit den Bedürfnissen des Berufsstandes in Verbindung stehen und Instrumente und Anwendungen anbieten, die auf diese Bedürfnisse zugeschnitten sind;
- Nutzung der EATIP-Plattform und Integration dieser Empfehlungen in die Arbeitsprogramme.



Empfehlung zum Risiko des Auftretens von Krankheitserregern bei Muscheln in Verbindung mit dem Klimawandel

QUELLEN

- Anderson, R. M.** (1998) Analytic theory of epidemics, p. 23-50. In R. M. Krause (ed.), *Emerging infections*. Academic Press, New York, N.Y.
- Arzul I** (2020) Pourquoi les huîtres sont-elles de plus en plus souvent malades? The Conversation, <http://theconversation.com/pourquoi-les-huitres-sont-elles-de-plus-en-plus-souvent-malades-152005>
- Arzul I, Furones D, Cheslett D., Gennari L., Delangle E., Enez F., Lupo C., Mortensen S., Pernet F. et Peeler E.** (2021) Manuel de gestion des maladies des mollusques bivalves et de biosécurité - Projet H2020 VIVALDI -p.44.
- Barton A, Waldbusser GG, Feely RA, Weisberg SB, Newton JA, Hales B, Cudd S, Eudeline B, Langdon CJ, Jefferds I, et al** (2015) Impacts of Coastal Acidification on the Pacific Northwest Shellfish Industry and Adaptation Strategies Implemented in Response. *Oceanography* **28**: 146–159
- Burge CA, Mark Eakin C, Friedman CS, Froelich B, Hershberger PK, Hofmann EE, Petes LE, Prager KC, Weil E, Willis BL, et al** (2014) Climate Change Influences on Marine Infectious Diseases: Implications for Management and Society. *Annu Rev Mar Sci* **6**: 249–277
- Byrne M, Foo SA, Ross PM, Putnam HM** (2020) Limitations of cross- and multigenerational plasticity for marine invertebrates faced with global climate change. *Global Change Biology* **26**: 80–102
- Cook T, Folli M, Klinck J, Ford S, Miller J** (1998) The Relationship Between Increasing Sea-surface Temperature and the Northward Spread of *Perkinsus marinus* (Dermo) Disease Epizootics in Oysters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **46**: 587–597
- Dittman DE, Ford SE, Padillai DK** EFFECTS OF PERKINSUS MARINUS ON REPRODUCTION AND CONDITION OF THE EASTERN OYSTER, *CRASSOSTREA VIRGINICA*. DEPEND ON TIMING. 11
- Ekstrom JA, Suatoni L, Cooley SR, Pendleton LH, Waldbusser GG, Cinner JE, Ritter J, Langdon C, van Hooidonk R, Gledhill D, et al** (2015) Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. *Nature Clim Change* **5**: 207–214
- Falkenberg LJ, Tubb A** (2017) Economic effects of ocean acidification: Publication patterns and directions for future research. *Ambio* **46**: 543–553
- FAO** (2018) FIGIS - Fisheries Statistics - Aquaculture. <https://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector>
- Froehlich HE, Gentry RR, Halpern BS** (2018) Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nat Ecol Evol* **2**: 1745–1750
- Garnier M, Labreuche Y, Garcia C, Robert M, Nicolas J-L** (2007) Evidence for the Involvement of Pathogenic Bacteria in Summer Mortalities of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas*. *Microb Ecol* **53**: 187–196
- Gazeau F, Quiblier C, Jansen JM, Gattuso J-P, Middelburg JJ, Heip CHR** (2007) Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophysical Research Letters*. doi: 10.1029/2006GL028554
- Gómez-Chiarri M, Warren WC, Guo X, Proestou D** (2015) Developing tools for the study of molluscan immunity: The sequencing of the genome of the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. *Fish & Shellfish Immunology* **46**: 2–4
- Guo X, Ford SE** (2016) Infectious diseases of marine molluscs and host responses as revealed by genomic tools. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **371**: 20150206
- Harvell CD, Kim K, Burkholder JM, Colwell RR, Epstein PR, Grimes DJ, Hofmann EE, Lipp EK, Osterhaus ADME, Overstreet RM, et al** (1999) Emerging Marine Diseases--Climate Links and Anthropogenic Factors. *Science* **285**: 1505–1510
- Holbrook Z, Bean TP, Lynch SA, Hauton C** (2021) What do the terms resistance, tolerance, and resilience mean in the case of *Ostrea edulis* infected by the haplosporidian parasite *Bonamia ostreae*. *Journal of Invertebrate Pathology* **182**: 107579
- Ifremer, Laboratoire Génétique et Pathologie des Mollusques Marins (LGPM), Ifremer, Direction de la communication (DCOM)** (2018) Les agents pathogènes affectant les mollusques marins. Fiches pédagogiques.
- IPCC** (2014a) AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC.
- IPCC** (2014b) AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.
- IPCC** (2019) Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate —.
- IPCC** (2013) AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis.



Empfehlung zum Risiko des Auftretens von Krankheitserregern bei Muscheln in Verbindung mit dem Klimawandel

Krause RM (1998) 1 Introduction to emerging infectious diseases; stemming the tide. *In* RM Krause, ed, Biomedical Research Reports. Academic Press, pp 1–22

Lallias D, Gomez-Raya L, Haley CS, Arzul I, Heurtebise S, Beaumont AR, Boudry P, Lapègue S (2009) Combining Two-Stage Testing and Interval Mapping Strategies to Detect QTL for Resistance to Bonamiosis in the European Flat Oyster *Ostrea edulis*. *Mar Biotechnol* **11**: 570

Le Bihan-Charpentier V (2015) Analyse économique du risque en conchyliculture. These de doctorat. Nantes

Narita D, Rehdanz K (2017) Economic impact of ocean acidification on shellfish production in Europe. *Journal of Environmental Planning and Management* **60**: 500–518

Pogoda B, Boudry P, Bromley C, Cameron TC, Colsoul B, Donnan D, Hancock B, Hugh-Jones T, Preston J, Sanderson WG, et al (2020) NORA moving forward: Developing an oyster restoration network in Europe to support the Berlin Oyster Recommendation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **30**: 2031–2037

Pogoda B, Brown J, Hancock B, Preston J, Pouvreau S, Kamermans P, Sanderson W, Nordheim H von (2019) The Native Oyster Restoration Alliance (NORA) and the Berlin Oyster Recommendation: bringing back a key ecosystem engineer by developing and supporting best practice in Europe. *Aquat Living Resour* **32**: 13

Sauvage C, Boudry P, De Koning D-J, Haley CS, Heurtebise S, Lapègue S (2010) QTL for resistance to summer mortality and OsHV-1 load in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Animal Genetics* **41**: 390–399

Smaal AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK, Strand Ø, eds (2019) Goods and Services of Marine Bivalves. doi: 10.1007/978-3-319-96776-9

Soletchnik P (2009) Mortalités exceptionnelles d’huîtres creuses dans les Pertuis Charentais. Synthèse des résultats 2008-2009.

Yu Z, Guo X (2006) Identification and mapping of disease-resistance QTLs in the eastern oyster, *Crassostrea virginica* Gmelin. *Aquaculture* **254**: 160–170

Zhang G, Fang X, Guo X, Li L, Luo R, Xu F, Yang P, Zhang L, Wang X, Qi H, et al (2012) The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation. *Nature* **490**: 49–54

(2021) Code sanitaire pour les animaux aquatiques (2021). OIE - Organisation Mondiale de la Santé Animale



Beirat für Aquakultur (AAC)

Rue Montoyer 31, 1000 Brüssel, Belgien

Tel: +32 (0) 2.720 00 73

E-Mail: secretariat@aac-europe.org

Twitter: @aac_europe

www.aac-europe.org