
Themenkreis A: Bioökonomie und Innovationen

ASL 5 Innovationsökosysteme zur Etablierung komplexer Biotechnologien auf unterschiedlichen Märkten am Beispiel von Fucoïdanen



Innovation Ecosystems to Promote the Establishment of Complex Bio-Technologies in Distant Markets – The Case of Fucoïdan

Daniel Laufs¹, Carsten Schultz¹, Ferran Giones²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Technology Management, Westring 425 24118 Kiel, Deutschland, laufs@bwl.uni-kiel.de

²University of Southern Denmark (SDU), Mads Clausen Institute, Alsion 2, 6400 Sønderborg, Dänemark, fgiones@mci.sdu.dk

DOI 10.5073/jka.2018.460.005

Zusammenfassung

Fucoïdane bilden eine Stoffgruppe sulfatisierter Polysaccharide, die auch in Braunalgen in Nord- und Ostsee vorkommen. Trotz eines breiten Spektrums gesundheitsfördernder und bioaktiver Eigenschaften, die diverse Forschungsteams verschiedener Fachrichtungen über die letzten Jahrzehnte identifiziert haben, werden Marktpotenziale der vielfältigen Anwendungsgebiete heute meist noch nicht ausgenutzt. Die Nutzung von Fucoïdanen für Anwendungen wie die Kosmetik und die Medizin bedarf der Integration vielfältiger Technologien entlang der Wertschöpfungskette von der Kultivierung, der nachhaltigen Ernte, Extraktion, Separierung und ggf. Synthese, Kombination mit anderen z.B. Medizintechnologien und Technologien zur Applikation der Wirkstoffe. Hinzu kommen regulative, ökologische und gesellschaftliche Aspekte die im Innovationsprozess beachtet werden müssen. Daher erfordert die Entstehung und Anwendung solch komplexer Technologiefelder das Mitwirken einer Vielzahl von Experten unterschiedlicher wissenschaftlicher Fachrichtungen. Deren kontinuierliches Mitwirken an der Exploration neuer technologischer Komponenten und Systemlösungen und der Exploitation der Technologien in Form von Produktinnovationen ist entscheidend für den Erfolg. Daher ist es notwendig, wichtige Stakeholder einer Technologie und angrenzender Anwendungsfelder zu identifizieren und ein multidisziplinäres Innovationsökosystem aufzubauen und zu koordinieren, welches die Technologieentwicklung durch interdisziplinäre Zusammenarbeit auch jenseits etablierter Technologie- und Marktgrenzen vorantreibt.

Die Entwicklung und Anwendung eines derartig komplexen und entlang der Wertschöpfungskette integrierten technologischen Systems werden aus der Perspektive der Innovationsökosysteme am Beispiel des Braunalgenextrakts „Fucoïdan“ untersucht. Als Grundlage dienen Patent- & Publikationsdaten sowie qualitative Interviews mit Akteuren des Innovationsökosystems.

Stichwörter: *Innovationsökosystem Integration der Wertschöpfungskette, Marine Biotechnologie, Fucoïdan*

Abstract

Fucoïdane are a group of sulfated polysaccharides mainly found in various brown algae species that also exist in the North and the Baltic Sea. Despite a broad range of beneficial and bioactive characteristics that have been identified by numerous research teams of diverse professional backgrounds over the last decades the market opportunities in distant application fields of fucoïdane have not been exploited yet.

The use of fucoïdane in application fields of the dietary, cosmetic or medical branch requires the integration of multiple technologies along the supply chain – cultivation, harvesting, extraction, separation, characterization, synthesis and possible combinations with adjacent technologies such as medical technologies for the application of the active ingredient. Additionally, regulatory, ecological and social aspects of the innovation process need to be considered. Consequently, the evolution of such complex technology domains including the applications requires the knowledge of a diverse group of professions. Their continuous collaboration exploring new technological components and system solutions and exploiting technologies in the shape of product innovations is a crucial factor of success. Therefore, it is necessary to identify key stakeholders of a technology and adjacent application fields to create and coordinate a multidisciplinary innovation ecosystem.

Such an ecosystem supports the ability to collectively promote the technological evolution by interdisciplinary collaboration beyond established technological and market boundaries.

On the example of the brown algae extract fucoidan the development and application of such a complex and supply chain integrated technological system will be analyzed from the perspective of innovation ecosystems. The results are based on patent and publication data as well as qualitative interviews with actors of the ecosystem.

Keywords: *Innovation ecosystem, value chain integration, marine bio technology, fucoidan*

Einleitung

Je komplexer die Entstehung einer Technologie und die darauffolgende Erschließung potenzieller Märkte ist, umso wichtiger ist eine koordinierte Herangehensweise zur Implementierung einer innovativen Wertschöpfungskette. Dazu ist es zunächst notwendig, wichtige Stakeholder einer Technologie und darauf aufbauende Anwendungsfelder zu identifizieren und ein multidisziplinäres Innovationsökosystem zu etablieren, welches langfristig in der Lage ist, selbstständig Technologieentwicklungen durch interdisziplinäre Zusammenarbeit jenseits etablierter Technologie- und Marktgrenzen voranzutreiben.

Der Aufbau eines solchen Innovationsökosystems kann aus dem eines biologischen Ökosystems abgeleitet werden: Ein biologisches Ökosystem ist ein dynamischer Komplex aller lebenden Organismen sowie deren physikalische Umgebung, die als funktionale Einheit in Wechselwirkung miteinander stehen (CHAPIN et al., 2002). Dabei tragen die vorherrschenden Bedingungen und Charakteristiken zur Aufrechterhaltung des bestehenden Gleichgewichtes bei und sichern damit sowohl dessen Fortbestehen als auch dessen Weiterentwicklung. Abgeleitet davon ist ein Innovationsökosystem ein dynamischer Komplex aller direkten Akteure und beeinflussenden Stakeholder, die entlang der Wertschöpfungskette in Kontakt zueinanderstehen (OH et al., 2016). Die von der der Umwelt beeinflusste, multidisziplinäre Zusammenarbeit trägt zur Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung von technologischen Neuerungen bei. Direkte Akteure des Innovationsökosystems sind jene Instanzen, die aktiv zur Weiterentwicklung der Technologie beitragen. Hierzu zählen primär Institutionen wie Forschungseinrichtungen und kapitalorientierte Unternehmungen. Externe Stakeholder sind in diesem Fall jene Gruppen, die ein berechtigtes Interesse am Prozess oder Ergebnis der Technologieentwicklung haben und Einfluss auf den Innovationsprozess nehmen können. Dies sind beispielsweise Kapitalgeber, Gesetzgebende Instanzen, Umwelt- und Sozialverbände, Medien oder auch Endkunden. Das intakte Innovationsökosystem ist im Stande, explorative und exploitative Aufgaben zu integrieren. Dies bedeutet, dass alle Tätigkeiten von der Grundlagenforschung bis hin zur Kommerzialisierung fertiger Endprodukte eingeschlossen werden.

Marine Biotechnologien zeichnen sich durch ein starkes Wachstumspotenzial aus (ALLEN und JASPARS, 2009). Bedingt durch die Komplexität der Erschließung derartiger Technologien, die oftmals die Kenntnis vieler verschiedener Disziplinen erfordert, kann ein etabliertes Innovationsökosystem deren Entwicklung beschleunigen und zusätzlich eine effizientere Umwandlung in neuen Anwendungsfeldern fördern (JACKSON, 2011). So verfügen Braunalgen über ein breites Anwendungspotential, da ihre bioaktiven Komponenten wie Polyphenole, Peptidketten oder Polysaccharide förderliche funktionale Eigenschaften aufweisen können. Fucoidane, eine Stoffgruppe sulfatisierter, fukosereicher Polysaccharide, sind ebenfalls ein natürlicher Bestandteil einiger Algenarten, Seegräsern und Stachelhäutern (FITTON et al., 2015). So ist beispielsweise der in Nord- und Ostsee beheimatete Blasentang (*fucus vesiculosus*) eine Braunalgenart mit einem relativ hohen Fucodiananteil. In der Natur treten Polysaccharide wie Fucoidane in der Regel als komplexe Zusammensetzungen verschiedener Moleküle auf, die sich mitunter stark bezüglich ihrer Struktur sowie physikalischer, chemischer und biologischer Eigenschaften voneinander unterscheiden (ALBAN et al., 2002; LAHRSEN et al., 2018). Der Sammelbegriff Fucoidan umfasst dabei die Gesamtheit aller derartigen Fraktionen, die je nach

Sulfatisierungsgrad, Kettenlänge und Verkettung verschiedener Saccharide ebenfalls unterschiedliche Eigenschaften aufweisen können (ALBAN et al., 2002; LAHRSEN et al., 2018).

Aus der zunehmenden Anzahl von Erwähnungen von Fucoïdanen in der Literatur ist ein steigendes Interesse an den Polysacchariden abzuleiten. Vor allem kann eine stetig steigende Forschungsaktivität innerhalb der letzten drei Dekaden bezüglich gesundheitsfördernden Eigenschaften von Fucoïdan beobachtet werden. Zu diesen Eigenschaften zählen unter anderem, eine entzündungshemmende Wirkung, z. B. (KANG et al., 2011; LI et al., 2011), ein anti-koagulativer (blutgerinnungshemmender) Effekte, z. B. (KUZNETSOVA et al., 2003; YOON et al., 2007; ZOYSA et al., 2008; WIJESINGHE et al., 2011), diverse antikanzerogene Eigenschaften, z. B. (CUMASHI et al., 2007; SYNITSYA et al., 2010; AZUMA et al., 2012) oder auch die Beeinflussung des Immunsystems z. B. (YOO et al., 2007; YANG et al., 2008; DO et al., 2010). Auch antivirale Eigenschaften, z. B. (HEMMINGSON et al., 2006), infarkttrisikosenkende oder herzschtzende Eigenschaften, z. B. (THOMES et al., 2010) werden dem Algenextrakt zugeschrieben.

Aufgrund dieser gesundheitsfördernden Charakteristiken wird dem Fucoïdan in der Nahrungsmittel- und Kosmetikindustrie, aber auch für therapeutische Anwendungen in der Pharmazie und Medizintechnik ein großes Marktpotential zugesprochen. Trotzdem finden fucoïdanhaltige Produkte heute fast ausschließlich Anwendung als Nahrungsergänzungsmittel- oder Tierfutterzusatz. Auch erste Kosmetikprodukte werben bereits mit dem Algenextrakt. In der Medizin ist dagegen noch kein zugelassenes Fucoïdanpräparat oder ein Präparat mit Fucoïdanbestandteil erhältlich. Konkrete Forschungsfelder therapeutischer Anwendungen sind beispielsweise in den Bereichen der Ophthalmologie (KLETTNER, 2016) oder der Gewebezüchtung (VENKATESAN et al., 2014) zu finden, die die anti-oxidativen und zellwachstumsbeeinflussenden Wirkung einiger Fucoïdane ausnutzen. Eine derartige Vielzahl von Funktionalitäten führt dazu, dass das Interesse an dem Naturstoff auch in weiteren Disziplinen kontinuierlich ansteigt und neue Fachrichtungen auf dem Forschungsgebiet aktiv werden.

Beschreibung des Innovationsökosystems

Im Rahmen des durchgeführten Projekts wird die Etablierung eines Innovationsökosystems für die Entwicklung fucoïdanhaltiger Produkte systematisch analysiert. Dazu werden, wie von (ADNER, 2006) vorgeschlagen, zunächst die einzelnen Prozessstufen des Wertschöpfungsprozesses aufgezeigt und beschrieben, um darauf aufbauend später direkte und indirekte Akteure zu benennen und mögliche Herausforderungen anzusprechen. Danach werden weitere Stakeholdergruppen benannt, die nicht nur den Wertschöpfungsprozess als solchen, sondern die gesamte Technologieentwicklung auf verschiedene Weisen beeinflussen können. Dazu wurden Interviews mit verschiedenen Forschern und Anwendern von Fucoïdanen geführt. Abbildung 1 zeigt diesen Wertschöpfungsprozess vereinfacht auf, bevor er detailliert erläutert wird.

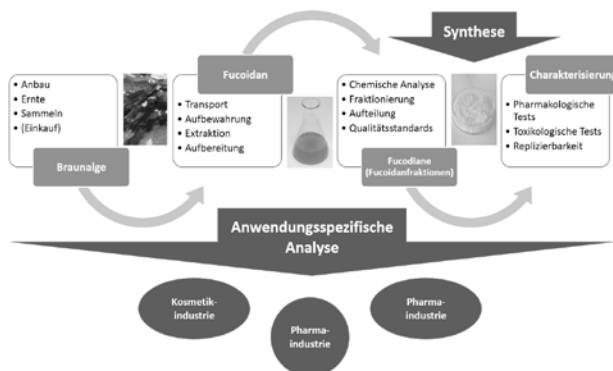


Abb. 1 Wertschöpfungsprozess der Fucoïdantechologie.

Die Braunalge – Grundlegend gibt es zwei Möglichkeiten, an Braunalgen zu gelangen. Die gängigste Möglichkeit ist die Ernte in öffentlichen Gewässern, wozu auch das Einsammeln von Pflanzenteilen am Ufer zählt. Die Kultivierung von Algen in natürlichen Gewässern oder Zuchtbecken ist die zweite Möglichkeit. Beim Algenanbau und der Ernte bedarf es der Expertise von Biologen und Meeresbiologen, die den Wachstumsprozess und das ökologische Umfeld der Pflanzen kennen und die nachhaltige Ernte mit Hilfe einer Spezialausrüstung garantieren können. Eine Zusammenarbeit mit Analytikern und Pharmakologen wird wichtig, um die Eigenschaften des jeweiligen Fucoidans, welches aus der entsprechenden Algenernte gewonnen wird, (z. B. Fucoidananteil, Kettenlänge, Sulfatisierungsgrad, Verzweigung) den entsprechenden Umweltbedingungen (z. B. Jahreszeit, Wetterbedingungen, Wassertemperatur) zuzuordnen. Externe Stakeholder sind Umwelt- und Naturschutzvereine sowie gesetzgebende Instanzen, die die Braunalgenernte vor allem in deutschen Meerestgewässern stark reglementieren. Der Einkauf von Braunalgen oder Syntheseprodukten wird nicht als dritte Möglichkeit in Betracht gezogen, da auch Zulieferer als direkte Akteure des Ökosystems interpretiert werden.

Die Aufbereitung des Fucoidans – Die logistische Hürde des Transports ist vernachlässigbar, da Braunalgen äußerst robust sind. Die Aufbewahrung und Konservierung der tiefgekühlten Algenrohmasse ist jedoch erwähnenswert, da die Menge aufgrund des unterschiedlichen Fucoidananteils und des hohen Wassergehalts vergleichsweise groß zum hellgelblichen, pulverförmigen Fucoidan ist. Die Errichtung eines solchen Rohstoffvorrats ist notwendig, um exakte Fucoidanquellen für spätere Versuchsreihen aufzubewahren. Für die Extraktion der Fucoidane gibt es diverse Verfahren, die in zahlreichen Patenten beschreiben werden, die der Öffentlichkeit durch frei zugängliche Patentdatenbank wie Espacenet des Europäischen Patentamts ersichtlich werden. Im Wesentlichen unterscheiden sich die Extraktionsverfahren bezüglich der Extraktionsdauer, Temperatur, Druck, pH-Wert und dem Lösemittel. Das Extraktionsverfahren nimmt Einfluss auf die Eigenschaften des Fucoidans, weshalb dieses für die jeweilige Anwendung ausgewählt werden muss. Für die Extraktion und anschließende Aufbereitung sind entsprechende Labore sowie die Expertise von Chemikern und Laboranten notwendig.

Die „Aufteilung“ der Fucoidane ist abhängig vom Molekulargewicht. Fucoidane mit dem gleichen Gewicht können dabei Unterschiede in der Zusammensetzung der Peptide und der Verzweigung untereinander aufweisen. Nur wenige Fucoidane, wie beispielsweise die der Stachelhäuter, liegen linear, also ohne Verzweigungen, vor (PEREIRA et al., 1999). Das pulverförmige Fucoidan muss unter anderem deshalb im Anschluss chemisch charakterisiert werden, um die Qualität des Produkts zu gewährleisten, damit spezifischere Tests durchführen werden können.

Pharmakologische & Toxikologische Tests – Aufgrund der Vielfalt von Fucoidanen und der damit einhergehenden geringen Menge der jeweiligen Substanz ist es notwendig, vorab genau festzuhalten, welche Fucoidane für welche Anwendungen nutzbar sind und welche Voraussetzungen damit an das entsprechende Fucoidan gestellt werden. Dabei ist die Reihenfolge pharmakologischer und toxikologischer Tests festzulegen und eine Dokumentation und Kommunikation der Ergebnisse zu gewährleisten. Vor allem positive Eigenschaften sind herauszustellen, um eine Replizierbarkeit der Ergebnisse zu überprüfen, um weiterführende, anwendungsspezifische, klinische Studien zu ermöglichen.

Endprodukte – Entsprechend ihres Anwendungsfeldes müssen die Fucoidane eine unterschiedliche Homogenität aufweisen. Dabei sind die jeweiligen Anforderungen von den Abnehmern an die Homogenität der Fucoidane zu formulieren und auf der entsprechenden Wertschöpfungsstufe an anwendungsorientierte Verbraucher zu übergeben. Anwender lassen sich grob in folgende Industrien aufteilen: Die Kosmetik-, die Nahrungsmittel- und die Pharmaindustrie. Wogegen die Anforderungen an die in der Kosmetikindustrie meist geringer sind, ist die Stoffreinheit bei medizinischen Applikationen von höchster Relevanz. Durch die

Identifikation dieser potenziellen Industrien können auch konkrete Anwender gesucht und angesprochen werden. In der Kosmetikindustrie sind hier beispielsweise kleine mittelständische Unternehmen, die sich in der Nische der Naturkosmetik bewegen, zu nennen. Die in Patentdatenbanken beobachtete Patentaktivität globaler Unternehmen lässt aber auch die Forschungsaktivität im größeren Maßstab vermuten. In der Lebensmittelindustrie sind in erster Linie Nahrungsergänzungsmittel mit Fucoidananteil zu nennen. Als „Health Food“ könnten Fucoidane innerhalb der Individual- und der Systemgastronomie (Restaurantketten) neue Anwendungsgebiete finden. Das größte, aber auch komplexeste Potential liegt in therapeutischen und medizinischen Anwendungen als Präparat, da hier gänzlich neue Funktionalitäten entstehen können. Hierfür müssen Fucoidanfraktionen abhängig von den Eigenschaften und dem Anwendungsfeld im Körper standardisiert, analysiert und kategorisiert werden. Dazu gilt es, die jeweiligen Wirkmechanismen bestmöglich aufzudecken, um den rechtlichen Anforderungen zur Vermarktung eines Fucoidanpräparats gerecht zu werden. Durch den hohen Veredelungsgrad und die Abwesenheit direkter Substitute kann ein wirtschaftlich lukratives Produkt entstehen.

Neben der Vernetzung direkter wertschöpfender Akteure können auch weitere externe Stakeholder Einfluss auf die Entwicklung der marinen Biotechnologie nehmen. Hiervon sollen im Folgenden die fünf in Abbildung 2 vorgestellten Stakeholder vorgestellt werden.

Zunächst werden gesetzgebende Instanzen beschrieben, die an gegebener Stelle im erläuterten Prozess bereits genannt wurden. Vor allem öffentliche Bundes- & Landesbehörden in Deutschland aber auch internationale Vorgaben beeinflussen Prozessschritte der Algenernte und die Zulassung des finalen fucoidanhaltigen Präparates. Auch in der aktuellen Roten Liste der Weltnaturschutzunion „International Union for Conservation of Nature and Natural Resources“ weltweit vom Aussterben gefährdeter Tier- und Pflanzenarten werden einige Algenarten gelistet, wobei Braunalgen jedoch selten erwähnt werden. Im zweiten Band der aktuellen Roten Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands werden dagegen einige Stachelhäuter sowie rund 350 marine Makroalgen genannt (*Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands*, 2014). In Deutschland werden diese Listen direkt vom Bundesamt für Naturschutz in Bonn herausgegeben und haben lediglich den rechtlichen Status von wissenschaftlichen Sachverständigenutachten, wodurch sie dem Gesetzgeber und den Behörden als Informationsquelle und Beurteilungsgrundlage dienen. Nichtsdestotrotz werden sie von den Landesämtern wie dem Landesamt für Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein laut Interviews als vorrangige Bemessungsgrundlage genutzt. Da fucoidanhaltige Produkte zur Aufnahme im menschlichen Körper bestimmt sind, werden hohe gesetzliche Anforderungen an sie gestellt. Neben den Bestimmungen für Kosmetikprodukte und Lebensmittel sind die strengsten Regelungen im Zusammenhang mit der Zulassung von Arzneimitteln zu finden. So beinhaltet das deutsche Arzneimittelgesetz unter anderem die Zulassung und Registrierung von Arzneimitteln und die Sicherung der Kontrolle und Qualität. Gerade die Anforderungen der gleichbleibenden Qualität ist bei Naturstoffen wie inhomogenen Polysacchariden anzuführen, da hier Verfahren zur Nachbehandlung der Produkte entwickelt werden müssen, um eine solche (ARZNEIMITTELGESETZ 2017) zu gewährleisten.

Umweltverbände umfassen Organisationen wie den NABU oder den BUND, die sich mit dem Schutz und der Erhaltung von Lebewesen und Landschaften befassen. Da die Ernte von wildem Fucus aber auch der Aufbau von Algenfarmen in öffentlichen Gewässern natürlichen Lebensräume beeinflusst, müssen Natur- und Umweltschutzorganisationen ebenfalls in die Diskussion und Entwicklung nachhaltiger Maßnahmen einbezogen werden.

Zu den Kapitalgebern zählen neben Großinvestoren, die oftmals erst in späteren Phasen des Technologieentwicklungsprozesses eintreten, vor allem staatliche Einrichtungen, die durch strukturpolitische Initiativen die Forschungsaktivitäten und Etablierung wirtschaftlicher Aktivitäten fördern. Konkrete Programme sind beispielsweise INTERREG Projekte, die aus Geldern des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung die Zusammenarbeit von

länderübergreifenden Programmregionen fördern. Da im Zuge der Etablierung eines Innovationsökosystems auch die kapitalintensive Technologieentwicklung aktiv gefördert wird, ist die Einbringung und das Management dieser öffentlichen Gelder eine wichtige Aufgabe, vor allem, bevor industrielle Akteure aktiv werden.

Die Medien stehen als Kommunikationskanal in direkten Kontakt mit den Kunden, da sie aufgrund ihrer Reichweite das Image der Fucoidanprodukte beeinflussen. Eine dementsprechende breite Medienwirksamkeit von Druck- und elektronischen Medien sollte daher gefördert und erhalten werden.

Von der Nachfrageseite werden die Kunden als wichtigste Stakeholdergruppe abgebildet. Zunächst ist die Einstellung und das Verhalten der Kunden zu betrachten. Das Umweltbewusstsein und die damit einhergehende Nachfrage nachhaltiger Bioprodukte und alternativer Medizin ist während der letzten Jahre global angestiegen. Dennoch existieren geografische Unterschiede beim Konsum. So ist die Verwendung von Algen und deren Inhaltsstoffen im ostasiatischen Raum schon seit langer Zeit zu beobachten (GODLEWSKA et al., 2017). Beim Aufbau lokaler Innovationsökosysteme kann dazu zusätzlich auf den Erfahrungen von Leitmärkten ähnlicher Produkte aufgebaut werden (BEISE, 2004). Auch spezielle Anwendungen, für die es bisher kein anderes Präparat mit gleichen Eigenschaften gibt, wie der Einsatz von Fucoidanen in der Augenheilkunde, gewinnen an Relevanz, da die Anzahl der Menschen mit Augenerkrankungen aufgrund des demographischen Wandels ebenfalls stark zunimmt.

Diskussion von Innovationsbarrieren und Maßnahmen zur Stärkung des Innovationsökosystems

Beim Aufzeigen der Prozessschritte, der jeweilig beteiligten Akteure und der externen Stakeholder haben sich verschiedene Schwierigkeiten herausgestellt, auf die beim Aufbau des Innovationsökosystems explizit eingegangen werden muss. Dies ist auch im Zuge der durchgeführten Interviews mit verschiedenen Experten des Ökosystems bestätigt worden. Im Folgenden werden daher erst Barrieren systematisch zusammengefasst und diskutiert, die dann als Grundlage für Verbesserungsmaßnahmen von Prozessen innerhalb des Ökosystems genutzt werden, um die Abläufe zwischen Technologieentwicklung und Kommerzialisierungsmaßnahmen zu koordinieren und beschleunigen. Dazu werden diese Barrieren zunächst in Abbildung 3 zusammengefasst.



Abb. 2 Externe Stakeholder.



Abb. 3 Barrieren im Innovationsökosystem.

Zunächst sind ferne Leitmärkte bei der Betrachtung einer **geographischen Distanz** zu berücksichtigen. Da sich die Technologie noch in einer frühen Entwicklungsphase befindet, kann die konventionelle Algennutzung als „Vorreitertechnologie“ aufgefasst werden. Der größte Konsum von Algen für klassische Anwendungen, wie der Zubereitung von Algennahrungsmitteln, ist im ostasiatischen Raum zu beobachten (GODLEWSKA et al., 2017). Dies unterstützt auch die Patent- und Publikationsintensität dieser Region. Sowohl von Angebots- als auch von Nachfrageseite weisen Leitmärkte Vorteile und Strukturen auf, von denen neue Märkte profitieren können, da sie mit der Technologie, in diesem Fall der Braunalge und deren Charakteristiken, schon sehr vertraut sind (BEISE, 2004). Anbieter und Anwender weisen dabei möglich kognitive Vorteile auf, da sie den Naturstoff und seine Eigenschaften ebenfalls besser kennen als ihre Konkurrenten und Kunden adaptieren Produkte auf Algenbasis möglicherweise schneller, da sie diese schon aus anderen Bereichen des Alltags kennen. Ebenfalls ist eine geografische Distanz durch die Vielzahl kleiner mittelständischer Unternehmen zu begründen. Diese sind oft in Nischenmärkten aktiv und ihre geografische Reichweite ist trotz der Globalisierung ressourcenbeding begrenzt. Als fester Bestandteil im Ökosystem wird ihnen eine feste Aufgabe zukommen und sie haben den Vorteil durch ihre Netzwerkposition zu profitieren.

Eine **kognitive Distanz** ist an mehreren Stellen im Prozess zu beobachten. Zunächst sind die verwendeten Fachterminologien unterschiedlicher Forschungsdisziplinen zu nennen. Diese unterscheiden sich gleich mehrfach, da beispielsweise Meeresbiologen, Chemiker, Mediziner und Anwender je nach Anwendungsgebiet unterschiedliche Bezeichnungen verwenden und eine unterschiedliche Breite und Tiefe der jeweiligen Informationen benötigen. Je nach Anforderung des Endprodukts an die Beschaffenheit des Fucoidans ist zudem ein unterschiedliches Fachwissen notwendig. Ferner wird die Zusammenarbeit zwischen Forschungsteams gleicher fachlichen Herkunft laut Interviewpartnern immer noch bevorzugt. Die Definition von Begriffen, gemeinsame Workshops, eine direkte moderierte Kommunikation und Kategorisierungssysteme können zur besseren Kommunikation im Netzwerk beitragen. Außerdem kann ein externes Projekt- und Planungsmanagement verschiedene Akteure aktiv zusammenbringen und einzelne Akteure in jeweilige Untergruppen einteilen.

Die beobachtete **kulturelle Distanz** ist den unterschiedlichen institutionsspezifischen Zielsetzungen der Akteure geschuldet. So verfolgen die meisten, vor allem naturwissenschaftlich geprägten Forschungsteams primär eine Veröffentlichung ihrer Ergebnisse in Fachzeitschriften. Dadurch wird die langfristige Entwicklung anwendungsorientierter Ergebnisse sowie die Generierung von Patenten und die Entwicklung langfristiger Geschäftsmodelle oft vernachlässigt. Anwendungsorientierten Unternehmen fehlt dagegen oft die Expertise aus der Wissenschaft, um naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen und fachspezifisch zu erläutern. Auch hierbei hilft die aktive Koordination multidisziplinärer Einheiten innerhalb des Ökosystems.

Ressourcenlimitationen entstehen durch eine vernachlässigte Berücksichtigung des langfristigen wirtschaftlichen Nutzens und der Akquise von Fördergeldern. Das öffentliche Interesse muss daher geweckt werden und die Vorteile der Technologie aktiv nach außen hin kommuniziert werden, da es die kostenintensive Etablierung rechtfertigt. Langfristig wird zwar die Industrie die Technologieweiterentwicklung fördern, solange muss die Beschaffung von finanziellen Mitteln allerdings noch aktiver Bestandteil der Aufgaben des Koordinationsteams sein.

Die größte Herausforderung der Technologieentwicklung bietet die **Aufskalierung** der Fucoidane. Zunächst müssen die Umweltbedingungen (Spezies, Herkunftsort, Wettereigenschaften, Wassereigenschaften, Größe, Tiefe, etc.) des Ernteprodukts festgehalten werden, da Korrelationen zwischen diesen und den Eigenschaften der Fucoidane, wie Kettenlänge, Sulfatgehalt, Molekulargewicht, Proteingehalt und der Monosaccharidzusammensetzung, festgestellt worden sind (FITTON et al., 2015; LAHRSEN et al., 2018). Außerdem müssen die chemischen Eigenschaften der jeweiligen Fucoidane getestet

werden und Parallelen zwischen diesen und den Ursprungspezies gezogen werden. Gleiches gilt für biologische und medizinische In-vitro-Studien. Fucoideane zeigen nämlich zusätzlich eine unterschiedliche Wirkung in verschiedenen Zelltypen im menschlichen Körper auf und sind damit auch anwendungsspezifisch genauer zu unterscheiden (FITTON et al., 2015). Ein Beispiel ist durch zwei Studien zur antikanzerogenen Wirkung gegeben: Fucoideane des Blasentang (*fucus vesiculosus*) sind gegenüber anderen getesteten Spezies im Stände, die Adhäsion von Brustkrebszellen an Thrombozyten zu hemmen (CUMASHI et al., 2007). Fucoideane des Mozuku (*Cladosiphon okamuranus*) können dagegen das Wachstum von Darmkrebszellen abschwächen (AZUMA et al., 2012). Damit ist die Spezies zwar eingegrenzt, aber die jeweiligen bioaktiven Fucoideane müssen noch genauer charakterisiert werden, um den Wirkmechanismus beschreiben zu können. Es sind daher verschiedene Kategorisierungen notwendig, die beispielsweise in einer angelegten Datenbank festgehalten werden können. Diese Datenbank muss normiert und zugänglich für die Akteure des Innovationsökosystems sein. Durch die gemeinsame Entwicklung können damit Ressourcen eingespart werden und die Entwicklung nachhaltiger gestaltet werden. Eine alternative Methode ist die Synthese beziehungsweise enzymatische Modifizierung von Fucoideanen, deren Entwicklung unter anderem an der Technischen Universität Dänemark in Kopenhagen vorangetrieben wird (ALE und MEYER, 2013). Durch eine derartige Modifikation könnten homogene Fucoideane synthetisiert und Qualitätsstandards eingehalten werden.

Zusammenfassung

Nach der Identifizierung relevanter Netzwerkpartner entlang der Wertschöpfungskette innerhalb des potenziellen Innovationsökosystems gilt es, diese nachhaltig zu vernetzen und deren Interaktion langfristig zu koordinieren, bis dieses selbstständig in der Lage ist, sich auch jenseits etablierter Technologie- und Marktgrenzen selbstständig zu entwickeln. Hierfür müssen Intermediäre eingesetzt werden, die die Bedürfnisse der Akteure verstehen und diese miteinander vernetzen. In diesem Zuge müssen sie den Produktfluss überwachen und koordinieren, die Kommunikation des multidisziplinären Teams bei der Zusammenarbeit unterstützen und neue Akteure und Interessensgruppen einschließen. Dabei müssen Sie potenzielle Barrieren im Blick halten und das Ökosystem dementsprechend konditionieren. Die Überwachung und Motivation zur Pflege der Datenbank der Netzwerkpartner ist eine zentrale Aufgabe der Intermediäre. Dazu zählt auch die Aufmerksamkeit bezüglich der Technologie an verschiedenen Stellen zu fördern. In diesem Zusammenhang müssen Behörden innovative Konzepte vorgestellt werden, wie die Aufforstung und ressourcenschonende Nutzung der Braunalgen. Öffentliche Kapitalgeber müssen von dem enormen gesellschaftlichen Interesse der Technologieentwicklung, beispielsweise durch potenzielle Erhöhung bestimmter Heilungschancen überzeugt werden. Kunden müssen an auf den Mehrwert der Bioressource herangeführt werden. Industrieinvestoren, vor allem im Pharmabereich, müssen neben öffentlichen Investoren das Potenzial der Technologie erkennen, um den Wettbewerb und damit Marktaktivitäten anzutreiben. Langfristig kann der Aufbau eines Innovationsökosystems damit die systematische Etablierung einer Technologie wie den Fucoideanen vorantreiben.

Danksagung

Die Finanzierung des Vorhabens erfolgte durch das Interreg Projekt Fucosan der Deutsch-Dänischen Grenzregion. Zudem sei dem gesamten Fucosan Projektteam unter Leitung von Alexa Klettner des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel an dieser Stelle gedankt.

Literatur

- ADNER, R., 2006: Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. Harvard business review 84 (4), 98.
- ALBAN, S., A. SCHAUERTE UND G. FRANZ, 2002: Anticoagulant sulfated polysaccharides: Part I. Synthesis and structure-activity relationships of new pullulan sulfates. Carbohydrate Polymers 47 (3), 267-276.
- ALE, M.T. UND A.S. MEYER, 2013: Fucoideans from brown seaweeds: An update on structures, extraction techniques and use of enzymes as tools for structural elucidation. RSC Adv 3 (22), 8131-8141.

- ALLEN, M.J. UND M. JASPARS, 2009: Realizing the potential of marine biotechnology: CHALLENGES & OPPORTUNITIES. *Industrial Biotechnology* 5 (2), 77–83.
- ARZNEIMITTELGESETZ 2017: verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/amg_1976/ [abgerufen am 15.07.2018].
- AZUMA, K., T. ISHIHARA, H. NAKAMOTO, T. AMAHA, T. OSAKI, T. TSUKA, T. IMAGAWA, S. MINAMI, O. TAKASHIMA, S. IFUKU, M. MORIMOTO, H. SAIMOTO, H. KAWAMOTO UND Y. OKAMOTO, 2012: Effects of oral administration of fucoidan extracted from *Cladosiphon okamuranus* on tumor growth and survival time in a tumor-bearing mouse model. *Marine drugs* 10 (10).
- BEISE, M., 2004: Lead markets: Country-specific drivers of the global diffusion of innovations. *Research Policy* 33 (6-7), 997–1018.
- CHAPIN, F.S., P.A. MATSON UND H.A. MOONEY (Hrsg.), 2002: Principles of terrestrial ecosystem ecology, New York, Springer.
- CUMASHI, A., N.A. USHAKOVA, M.E. PREOBRAZHENSAYA, A. D'INCECCO, A. PICCOLI, L. TOTANI, N. TINARI, G.E. MOROZEVICH, A.E. BERMAN, M.I. BILAN, A.I. USOV, N.E. USTYUZHANINA, A.A. GRACHEV, C.J. SANDERSON, M. KELLY, G.A. RABINOVICH, S. IACOBELLI UND N.E. NIFANTIEV, 2007: A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant, antiangiogenic, and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds. *Glycobiology* 17 (5), 541–552.
- DO, H., N.-S. KANG, S. PYO, T.R. BILLIAR UND E.-H. SOHN, 2010: Differential regulation by fucoidan of IFN- γ -induced NO production in glial cells and macrophages. *Journal of cellular biochemistry* 111 (5), 1337–1345.
- FITTON, J.H., D.N. STRINGER UND S.S. KARPINIEC, 2015: Therapies from Fucoidan: An Update. *Marine drugs* 13 (9), 5920–5946.
- GODLEWSKA, K., A. DMYTRYK, Ł. TUHY UND K. CHOJNACKA, 2017: Algae as Source of Food and Nutraceuticals. In: *Prospects and Challenges in Algal Biotechnology*, Springer, S. 277–294.
- HENNINGSON, J.A., R. FALSHAW, R.H. FURNEAUX UND K. THOMPSON, 2006: Structure and Antiviral Activity of the Galactofucan Sulfates Extracted from *Undaria Pinnatifida* (Phaeophyta). *Journal of Applied Phycology* 18 (2), 185.
- JACKSON, D.J., 2011: What is an innovation ecosystem. National Science Foundation 1.
- KANG, S.-M., K.-N. KIM, S.-H. LEE, G. AHN, S.-H. CHA, A.-D. KIM, X.-D. YANG, M.-C. KANG UND Y.-J. JEON, 2011: Anti-inflammatory activity of polysaccharide purified from AMG-assistant extract of *Ecklonia cava* in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Carbohydrate Polymers* 85 (1), 80–85.
- KLETTNER, A., 2016: Fucoidan as a Potential Therapeutic for Major Blinding Diseases—A Hypothesis. *Marine drugs* 14 (2).
- KUZNETSOVA, T.A., N.N. BESEDNOVA, A.N. MAMAIEV, A.P. MOMOT, N.M. SHEVCHENKO UND T.N. ZVYAGINTSEVA, 2003: Anticoagulant Activity of Fucoidan from Brown Algae *Fucus evanescens* of the Okhotsk Sea. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine* 136 (5), 471–473.
- LAHRSEN, E., A.-K. SCHOENFELD UND S. ALBAN, 2018: Size-dependent pharmacological activities of differently degraded fucoidan fractions from *Fucus vesiculosus*. *Carbohydrate Polymers* 189, 162–168.
- LI, C., Y. GAO, Y. XING, H. ZHU, J. SHEN UND J. TIAN, 2011: Fucoidan, a sulfated polysaccharide from brown algae, against myocardial ischemia-reperfusion injury in rats via regulating the inflammation response. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association* 49 (9), 2090–2095, DOI:10.1016/j.fct.2011.05.022.
- OH, D.-S., F. PHILLIPS, S. PARK UND E. LEE, 2016: Innovation ecosystems: A critical examination. *Technovation* 54, 1–6.
- PEREIRA, M.S., B. MULLOY UND P.A. MOURÃO, 1999: Structure and anticoagulant activity of sulfated fucans. Comparison between the regular, repetitive, and linear fucans from echinoderms with the more heterogeneous and branched polymers from brown algae. *The Journal of biological chemistry* 274 (12), 7656–7667.
- Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, 2014. Bonn-Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz.
- SYNYTSYA, A., W.-J. KIM, S.-M. KIM, R. POHL, A. SYNYTSYA, F. KVASNIČKA, J. ČOPIKOVÁ UND Y. IL PARK, 2010: Structure and antitumor activity of fucoidan isolated from sporophyll of Korean brown seaweed *Undaria pinnatifida*. *Carbohydrate Polymers* 81 (1), 41–48.
- THOMES, P., M. RAJENDRAN, B. PASANBAN UND R. RENGASAMY, 2010: Cardioprotective activity of *Cladosiphon okamuranus* fucoidan against isoproterenol induced myocardial infarction in rats. *Phytomedicine : international journal of phytotherapy and phytopharmacology* 18 (1), 52–57.
- VENKATESAN, J., I. BHATNAGAR UND S.-K. KIM, 2014: Chitosan-alginate biocomposite containing fucoidan for bone tissue engineering. *Marine drugs* 12 (1), 300–316.
- WUESINGHE, W.A.J.P., Y. ATHUKORALA UND Y.-J. JEON, 2011: Effect of anticoagulative sulfated polysaccharide purified from enzyme-assistant extract of a brown seaweed *Ecklonia cava* on Wistar rats. *Carbohydrate Polymers* 86 (2), 917–921.
- YANG, M., C. MA, J. SUN, Q. SHAO, W. GAO, Y. ZHANG, Z. LI, Q. XIE, Z. DONG UND X. QU, 2008: Fucoidan stimulation induces a functional maturation of human monocyte-derived dendritic cells. *International immunopharmacology* 8 (13-14), 1754–1760.
- YOO, Y.-C., W.-J. KIM, S.-Y. KIM, S.-M. KIM, M.-K. CHUNG, J.-W. PARK, H.-H. SUH, K.-B. LEE UND Y.-I. PARK, 2007: Immunomodulating Activity of a Fucoidan Isolated from Korean *Undaria pinnatifida* Sporophyll. *ALGAE* 22 (4), 333–338.
- YOON, S.-J., Y.-R. PYUN, J.-K. HWANG UND P.A.S. MOURÃO, 2007: A sulfated fucan from the brown alga *Laminaria cichorioides* has mainly heparin cofactor II-dependent anticoagulant activity. *Carbohydrate research* 342 (15), 2326–2330.
- ZOYSA, M. de, C. NIKAPITTYA, Y.-J. JEON, Y. JEE UND J. LEE, 2008: Anticoagulant activity of sulfated polysaccharide isolated from fermented brown seaweed *Sargassum fulvellum*. *Journal of Applied Phycology* 20 (1), 67–74.