

Maritime Landwirtschaft

Themenkurzprofil Nr. 55 | Sonja Kind | Mai 2022

Die Weltbevölkerung wird in den nächsten 30 Jahren auf über 10 Mrd. Menschen anwachsen. Zugleich ist die aktuell zur Verfügung stehende Anbaufläche für Nahrungsmittel weltweit bereits sehr stark ausgeschöpft. Entsprechend rücken innovative Konzepte für den Anbau von Pflanzen auch im maritimen Kontext in den Fokus der Wissenschaft.

Ansätze einer maritimen Landwirtschaft umfassen u.a. schwimmende Farmen, Unterwasserlandwirtschaft, die Nutzung von entsalztem Meerwasser für den Anbau konventioneller Pflanzen oder die Entwicklung und den Anbau salzresistenter Pflanzen. Kommerziell am weitesten fortgeschritten ist der Algenanbau, der oft mit der Züchtung von Schalentieren, wie Muscheln, Krebsen, Garnelen oder Schnecken, und zuweilen auch mit weiteren Zielen, wie der Renaturierung von Böden, kombiniert wird.

Die mit einer maritimen Landwirtschaft verbundenen Hoffnungen sind durchaus groß. Die potenziellen Beiträge zielen ab auf eine verbesserte Ernährungssicherheit, die Verringerung von Treibhausgasen durch CO₂-Bindung in den Pflanzen, die Bekämpfung von Trinkwassermangel, die Erschließung neuer Quellen für erneuerbare Energien oder die Schaffung von Anbauflächen für Regionen, in denen Landwirtschaft bislang kaum möglich war, etwa auf Inseln oder in Wüstenstaaten.

Immer mehr junge Unternehmen und Forschungseinrichtungen widmen sich daher der Aufgabe, neue Ansätze einer maritimen Landwirtschaft zu entwickeln. Das Meer erlaubt theoretisch eine immense Ausweitung der Anbaufläche, sind doch fast 70 % der Erde von Wasser bedeckt, während nur ca. 11 % der Landoberfläche bzw. 3 % der globalen Gesamtoberfläche für den Pflanzenanbau verwendet werden. Auch ist Meerwasser im Gegensatz zu Süßwasser im Überfluss vorhanden.

Allerdings sind die technischen Herausforderungen groß und ein Anbau im industriellen Maßstab zeichnet sich für konventionelle Pflanzen – außer bei Algen – noch nicht ab.

Von der Europäischen Kommission werden Algen als eine Option für die Ernährungssicherheit gesehen. In der Regel dienen Makroalgen dem Verzehr. Sowohl Mikro- als auch Makroalgen können zudem als Nahrungsergänzungsmittel, Tierfutter, Rohstoff für Kosmetik oder Biomasse für erneuerbare Kraftstoffe eingesetzt werden. Die Produktionsmenge in Europa ist im weltweiten Vergleich noch gering. In Europa ist Frankreich beim Anbau von Makroalgen und Deutschland bei der Produktion von Mikroalgen führend. Herausforderungen bestehen vor allem noch bei der Erforschung der Auswirkungen von Algenmonokulturen auf maritime Ökosysteme und der Abschätzung der Potenziale von Algen in den Bereichen Ernährung, Biokraftstoffe sowie CO₂-Sequestrierung und bei der Schaffung von wettbewerbsfähigen Produktionsverfahren.

Hintergrund und Entwicklung

Die Anbaufläche von Nahrungsmitteln ist weltweit bereits sehr stark ausgeschöpft. Darum rücken seit einigen Jahren weitere Ansätze in den Fokus, mit denen auf den Anbau von Pflanzen im maritimen Kontext gesetzt wird. Nachfolgend werden die wichtigsten Entwicklungsstränge einer maritimen Landwirtschaft vorgestellt.

Anbau von Algen

Von den weltweit über 50.000 bekannten Algenarten¹ werden lediglich rund 220 kommerziell genutzt, davon ca. 10

1 <https://www.seaweed.ie/qanda/index.php> (1.6.2022)

intensiv (Ferdouse et al. 2018, S.1). Viele Algen sind Einzel- und extrem klein (Mikroalgen), manche Arten erreichen jedoch eine Größe von über 40 m. Große Meeresalgen (Makroalgen) können roh als Salat oder gekocht als Gemüse verzehrt werden. Traditionell stehen Algen überwiegend in asiatischen Ländern auf dem Speiseplan. Allein in Japan werden jährlich ca. 300.000 t verzehrt.² Zusätzlich werden auch Mikroalgen (z.B. Spirulina) als Nahrungsergänzungsmittel verbraucht, weltweit ca. 89.000 t pro Jahr (Costello et al. 2020, S.14).

Algen besitzen einen sehr hohen Anteil an Mineralstoffen, Spurenelementen, Kohlenhydraten, ungesättigten Fettsäuren und Betacarotinen (Ferdouse et al. 2018, S.1). Bereits mit der Aufnahme kleiner Mengen Algen kann die täglich benötigte Menge an Jod erreicht werden. Daher stellen Algen eine wichtige Nahrungsergänzung dar, weil Jodmangel ein ernstzunehmendes Problem in der Welternährung ist.

Neben einem Beitrag als Nahrungsmittel sollen Algen auch zunehmend fossile Brennstoffe ersetzen und zur Kohlenstoffsequestrierung beitragen. Seetanggebiete sollen pro ha mehr als 10-mal so viel Kohlenstoff absorbieren können wie ein vergleichbar großes Regenwaldgebiet (Goergen 2020). Jüngere Forschungsergebnisse deuten zudem darauf hin, dass einige Arten von Meeresalgen als Futtermittelbeigabe zu einer geringeren Methanproduktion bei Wiederkäuern und damit zur Verringerung klimarelevanter Gase führen können (Costello et al. 2020, S.15).

Algen zeichnen sich durch ein sehr schnelles Wachstum aus und brauchen in der Regel keine zusätzlichen Düngemittel. Besondere Hoffnung wird in schnell wachsende Algen gesetzt, die über das gesamte Jahr wachsen und mit einer Erntemenge von 20 t/ha jene von landbasierten Pflanzen wie Soja (10 t/ha) oder Mais (3 t/ha) deutlich übersteigen (Costello et al. 2020, S.16).

Algen können auf verschiedene Weisen angebaut werden (Polon 2020). Die erste und wichtigste Variante für Makroalgen sind **Algenfarmen** in Küstenregionen.³ Dies kann beispielsweise mithilfe horizontaler Taue erfolgen, die mit Bojen oder Plattformen verbunden sind. Von den horizontalen Tauen hängen vertikale Taue, an denen Seetang wächst. Die Taue können zusätzlich auch mit anderen Vorrichtungen verknüpft sein, an denen Mies- oder Jakobsmuscheln Halt finden oder mit Käfigen, in denen Austern, Krebse oder Garnelen heranwachsen (Goergen 2020). Eine visionäre Variante sind Algenfarmen im offenen Meer, die außerhalb von Schiffsrouten liegen. Die schwimmenden Farmen sollen – so die Vorstellung – jeweils über 1 Mio. t

Algen pro Jahr produzieren können (Buschmann et al. 2017, S.399).

Eine weitere Möglichkeit des Algenanbaus findet mittels **Fotobioreaktoren** statt, in denen die Temperatur, der pH-Wert und die Nährstoffe entsprechend der idealen Wachstumsbedingungen von Algen justiert werden. In den Fotobioreaktoren werden in der Regel Mikroalgen gezüchtet (z.B. Chlorella oder Spirulina).

Eine dritte, noch im Entwicklungsstadium befindliche Möglichkeit sind **Algenrasenfilter** (algal turf scrubbing) (Siville/Boeing 2020). Ursprünglich fanden diese Filter in der Aquaristik Anwendung, um das Aquariumbecken frei von Algen zu halten. Bei diesem Verfahren wird Wasser beschleunigt und über eine raue, beleuchtete Oberfläche, den Filter, geleitet. Dadurch wird im Fließgewässer das Wachstum der Algen angeregt, die sich am Filter ansiedeln (Salvi et al. 2021).⁴ Die Algenbiomasse wird alle 2 Wochen von den Filtern geerntet und kann z.B. als Düngemittel in der Landwirtschaft oder als Biokraftstoff verwendet werden. Noch eine andere Variante sind **BICCAPS** (bicarbonate-based integrated carbon capture and algae production system) (Leong et al. 2021; Zhu et al. 2022). Hierbei handelt es sich ebenfalls um Bioreaktoren, in denen Bicarbonat, das z.B. bei der CO₂-Abscheidung anfällt, als Nahrung für das Algenwachstum verwendet werden kann.

Unterwasserfarming

Landwirtschaft unter Wasser wird aktuell insbesondere mit dem Forschungsprojekt „Nemo’s Garden“⁵ von der Ocean Reef Group 70 km westlich der italienischen Hafenstadt Genua vorangetrieben. Die Pflanzen wachsen in ca. 3,6 m hohen mal 3 m breiten transparenten Acrylglasmetallkonstruktionen, ähnlich großen Ballons, in einer Tiefe zwischen 0,5 und 10 m unter dem Meeresspiegel. In jeder

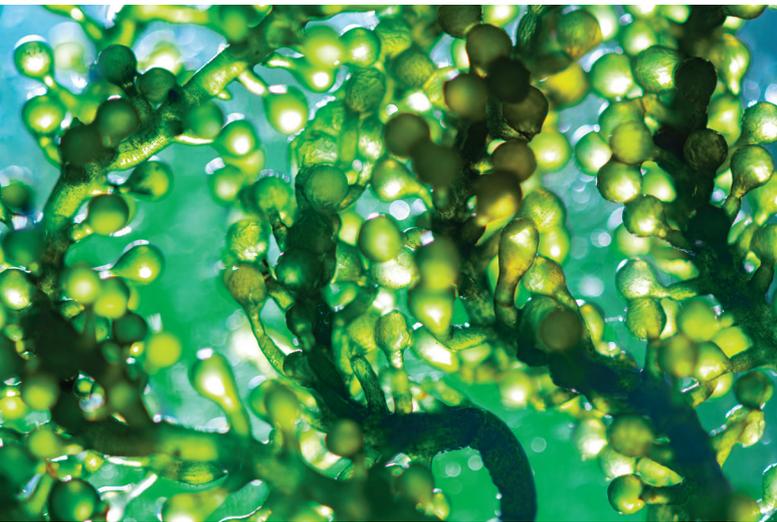
4 <https://hydromentia.com> (1.6.2022)

5 <http://www.nemosgarden.com> (1.6.2022)

2 <https://japanlink.de/land-leute/essen-trinken/kultivierung-von-algen/#:~:text=Kultivierung%20von%20Algen.%20Mai%2025%2C%202000.%20Bild%3A%20%28c%29,spielt%20in%20der%20japanischen%20K%3BCche%20eine%20gro%C3%9Fe%20Rolle> (1.6.2022)

3 <https://youtu.be/LIK71UMFqw8>, <https://www.greenwave.org> (1.6.2022)





Kuppel sind spiralförmig ca. 60 Saatbeete mit Hydrokultur angebracht, die über ein Schlauch- und Tanksystem bewässert und gedüngt werden. Ein durch Sonnenkollektoren angetriebener Ventilator erzeugt einen Luftstrom. Das auftreffende Sonnenlicht reicht für das Pflanzenwachstum aus. In den Biosphären kondensiert das Wasser an den Innenwänden und durch die konstante Meerestemperatur herrschen ideale Wachstumsbedingungen. Bislang wurden Basilikum, Kopfsalat, Bohnen und Erdbeeren angebaut. Erste Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass der höhere Druck unter Wasser zu einer schnelleren Keimung führt, sodass das Wachstum der Pflanzen möglicherweise beschleunigt werden kann. Der Schritt hin zu einer gewerblichen Nutzung und Skalierung des Systems steht jedoch noch aus.

Meerwasser für die Landwirtschaft

Salzwasser ist für viele Pflanzen schädlich und eignet sich in der Regel nicht für die Bewässerung. Nur bestimmte Pflanzenarten können Salz tolerieren, z.B. die Halophyten. Bekannt sind besonders die salztoleranten Mangrovenwälder, die z.T. in riesigen Ausdehnungen an tropischen Küsten wachsen. Die meisten als Grundnahrungsmittel landwirtschaftlich angebauten Pflanzen jedoch, insbesondere Mais oder Reis, reagieren genauso wie das meiste Gemüse und Früchte empfindlich auf einen hohen Salzgehalt im Wasser oder im Boden.

Seit vielen Jahrzehnten wird versucht, Pflanzen in Richtung Salztoleranz zu züchten oder entsprechend genetisch zu verändern. Länder wie China, Indien, die Niederlande und die Vereinigten Arabischen Emirate haben inzwischen Pflanzensorten entwickelt, die einem gewissen Salzgehalt des Bodens standhalten können (Couch 2020). Die niederländische Firma Salt Farm Texel⁶ baut z.B. neue Sorten von Kartoffeln, Möhren, Tomaten und Kohl unter Bewässerung mit Brackwasser an und betreibt 16 Testfelder in sieben Ländern.

6 <https://www.saltfarmtexel.com>, <https://www.salineagricultureworldwide.com/saline-agriculture> (1.6.2022)

Eine Bewässerung von konventionellen Pflanzen mit reinem Salzwasser war bislang jedoch noch nicht von Erfolg gekrönt. Weitere Vorhaben fokussieren sich auf den Anbau essbarer Pflanzen wie Salicornia (Seespargel), die von Natur aus salztolerant sind. Die britische Firma Seawater Solutions etwa möchte innerhalb der nächsten 3 Jahre mithilfe von 30 salztoleranten Pflanzen neue Gemüsevarianten und Nebenprodukte anbieten.⁷ Pilotprojekte zum **Anbau salztoleranter Pflanzen** befinden sich in Küstengebieten von Ghana, Malawi, Namibia und Vietnam. Dort wird ein künstliches Salzwasserfeuchtgebiet geschaffen, in dem die salztoleranten Pflanzen ohne Zugabe von Düngemitteln wachsen. Zusätzlich zur Produktion von Nahrung sollen die Pflanzen zur Renaturierung von Böden oder auch zur CO₂-Sequestrierung genutzt werden. Perspektivisch soll dies auch in Wüstengebieten möglich sein.⁸

Es werden auch **landbasierte Aquakulturen** (land-based integrated multi-trophic aquaculture) entwickelt, die Meerwasser nutzen und z.B. in Wüsten etabliert werden könnten. Bereits 2010 startete das visionäre „Green Sahara Concept“, das auf dem Prinzip der Polykultur beruht. Neben dem Algenanbau sollten gleichzeitig Fische und andere Meerestiere gezüchtet werden. Das System umfasste Aquaponikkulturen sowie Biogas- und Wasserkrafterzeugung. Das anfallende salzhaltige Abwasser sollte in Reservoirs einer tieferen Region der Sahara abfließen, um dort salzliebende Grünwassermikroalgen zu nähren, die wiederum als Futter für Salzwassergarnelen, Weichtiere und Vögel dienen sollten (Buschmann et al. 2017, S.399). Zwar konnte dieses Wüstenprojekt noch keine praktische Anwendung erreichen, mittlerweile werden jedoch u.a. in Frankreich, Spanien und Südafrika in Ansätzen vergleichbare Pilotvorhaben entwickelt.⁹

In weiteren Projekte wird **entsalztes Meerwasser** genutzt, um damit konventionelle Pflanzen anzubauen (Martinez-Alvarez et al. 2020). Diese Methode gilt als vielversprechender Ansatz und eignet sich besonders für Küstenregionen, in denen Wasserknappheit herrscht. Allerdings zeigen die vorliegenden Pilotvorhaben u.a. in Südspanien, Israel und auf den Kanarischen Inseln, dass die Methode in der konkreten Umsetzung bzw. Anwendung aufgrund der hohen Kosten noch sehr limitiert ist. Statt einer Entsalzung wird in einigen Vorhaben auch die **Verdunstungskälte von Salzwasser** genutzt, um damit Gewächshäuser in heißen Regionen unter idealen Wachstumsbedingungen zu betreiben. Zusätzlich kann das gewonnene entsalztes Wasser für die Bewässerung außerhalb der Gewächshäuser (für einen Oaseneffekt) genutzt werden.¹⁰ In Jordanien etwa startete

7 <https://seawatersolutions.org> (1.6.2022)

8 <https://bluegreencarbon.org> (1.6.2022)

9 <https://aquavitaeproject.eu/value-chains-case-studies/ii-integrated-multi-trophic-aquaculture-imta-land-based-and-sea-based-new-species-and-systems/#1566566507613-e12d85d0-3a1b> (1.6.2022)

10 <https://seawatergreenhouse.com/> (1.6.2022)



2017 ein Pilotprojekt, bei dem mit durch Wind- oder Sonnenkraft betriebenen Ventilatoren die Verdunstung von Wasser an der Entsalzungsanlage angeregt wird. Auf einer Flächengröße von ca. vier Fußballfeldern werden u.a. Tomaten und Gurken mit dem so gewonnen Wasser angebaut (Ruggeri 2018). Allerdings muss das Wasser noch per Tanklastwagen zu den Gewächshäusern gebracht werden. Darüber hinaus sind Pilotprojekte der Firma Seawater Greenhouse u.a. auf Teneriffa, im Oman, in Australien und Somalia zu nennen.¹⁰

Schwimmende Farmen

Weitere Forschungsgruppen versuchen, schwimmende Gewächshäuser zu entwickeln, in denen mit entsalztem Meerwasser Pflanzen in Hydrokultur bewässert werden (Couch 2020). Ein Beispiel ist das modulare schwimmende Gewächshaus des in Italien entwickelten Projekts „Jellyfish Barge“, bei dem durch Sonnenergie die Entsalzung angetrieben wird. Es wurde erstmalig auf der Expo 2015 in Mailand vorgestellt (Steffen 2020). Ein anderes Vorhaben ist das von dem japanischen Start-up N-ARK entwickelte System „Green Ocean“. Hier sollen einerseits Algen unterhalb der schwimmenden Plattform sowie andererseits salztolerante Pflanzen im Gewächshaus mithilfe von mit Meerwasser gemischtem Regenwasser kultiviert werden (Setting Mind 2021). Die Realisierung des Vorhabens ist für 2022 geplant.

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Verlust von Anbaufläche und steigender Nahrungsmittelbedarf

Hauptgründe für den Bedarf alternativer Landwirtschaftsformen und Anbaumethoden liegen vor allem im zu erwartenden steigenden Nahrungsmittelbedarf durch eine wachsende Weltbevölkerung und dem gleichzeitigen Rückgang landwirtschaftlich bebaubarer Flächen.

Schon in den vergangenen Jahren hatte der zunehmende Flächenbedarf bzw. -verbrauch massive Auswirkungen auf die Biodiversität und Leistungsfähigkeit von Ökosystemen. Zwischen 1985 und 2005 nahm die landwirtschaftliche Fläche weltweit um 154 Mio. ha zu, was dem 4,3-Fachen der Fläche Deutschlands entspricht. Heute machen die Agrarflächen von der gesamten weltweiten Landfläche bereits 38 % aus (4,86 Mrd. ha in 2015) (FAO 2020; Statista 2022). Die Flächenumwandlung betraf besonders den Tropenwald und ging mit einem massiven Verlust von dessen ökologischer Leistungsfähigkeit einher. Bis 2050 erwartet die Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO 2018, S.128f.) gegenüber 2010 einen Anstieg an Agrarflächen um 6 bis 21 % bzw. um 90 bis 325 Mha (Mbow et al. 2019, S.441).

Gleichzeitig stellt allein der Erhalt der bestehenden landwirtschaftlichen Flächen eine Herausforderung dar. So gehen inzwischen weltweit jährlich rund 12 Mio. ha Agrarfläche durch Überweidung, ungeeignete Anbaumethoden, Erosion oder durch Straßen- und Städtebau verloren. Unter der Prämisse, dass sich der Verlust von landwirtschaftlich nutzbaren Flächen fortsetzt, würde der globale Ernteertrag in den nächsten 25 Jahren um bis zu 12 % sinken (BMEL 2018, S.5). Auch in Deutschland gibt es einen Verlust landwirtschaftlicher Fläche. Dem Deutschen Bauernverband zufolge nahm die Landwirtschaftsfläche durch Verkehrs- und Siedlungsprojekte zwischen 1992 und 2019 um rund 1,38 Mio. ha ab, was ungefähr der Fläche Schleswig-Holsteins entspricht.¹¹

Darüber hinaus werden auch die Auswirkungen des Klimawandels die landwirtschaftliche Produktivität und damit die Ernährungssicherheit wahrscheinlich vermindern. Besonders Witterungsextreme durch Hitze, Kälte, Trockenheit

¹¹ <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/verlust-landwirtschaftlicher-flaechen-taeglich-gehen-58-hektar-verloren> (1.6.2022)

oder Nässe können zu erheblichen Ertragsausfällen führen (WD 2019, S.6). Davon betroffen ist auch die deutsche Landwirtschaft, aber noch viel stärker Regionen in Asien und Afrika (Axa 2017). Die klimabedingten Entwicklungen sind jedoch auch mit der Annahme verbunden, dass heute noch für die Landwirtschaft unerschlossene Gegenden in Sibirien und Nordkanada in den nächsten Jahren für den Anbau etwa von Kartoffeln, Mais und Soja geeignet sein könnten. Schon heute entwickeln Kanada und Russland Strategien, wie die nördlich gelegenen Regionen für die Landwirtschaft gewonnen werden könnten (Lee et al. 2020). Diese Gebiete könnten demzufolge für eine zukünftige Welternährung eine wichtige Rolle spielen.

Grundsätzlich ist Folgendes zu erwarten: Das Bevölkerungswachstum wird den schon bestehenden Wettbewerb zwischen der Landwirtschaft und anderen Nutzungsarten von Land, etwa für den Siedlungsbau, erneuerbare Energien oder nachhaltige Kunststoffe, weiter verschärfen.

Es entwickelt sich eine Start-up-Szene der maritimen Landwirtschaft

Noch ist die Marktlandschaft im Bereich der maritimen Landwirtschaft überschaubar und bis auf das Teilsegment Algenanbau primär von Start-ups geprägt, die mit Pilotvorhaben neue Ansätze erproben. Infolge dessen finden sich noch keine Studien, anhand derer sich der Markt „Maritime Landwirtschaft“ im Detail charakterisieren ließe. Immerhin gibt es valide Hinweise auf aktive Unternehmen im Bereich „Seawater Farming“. Der österreichische Blog „StartUs Insights“¹² zählt weltweit 100 Start-ups in diesem Bereich mit geografischen Schwerpunkten in Europa, USA, Indien und Ozeanien.

Markt für Algen nach zunächst starkem Wachstum auf inzwischen gleichbleibendem Niveau

Da der Algenanbau bislang am besten etabliert und daher auf Marktpotenziale untersucht ist, fokussieren sich die weiteren Ausführungen auf dieses Segment. Verschiedene Studien geben Auskunft über den Stand von Anbau, Handel und Nutzung von Algen weltweit und in Europa (Araújo et al. 2021; Buschmann et al. 2017, S.396; Costello et al. 2020; Ferdouse et al. 2018).

Die Europäische Kommission (EC 2021) sieht im Algenanbau – sowohl Makro- als auch Mikroalgen – eine vielversprechende Option für die Ernährungssicherheit, weshalb dessen Förderung im Rahmen von „Blue Farming“ Teil des „European Green Deals“ ist. Bislang hat Europa an der weltweiten Produktion von Makroalgen (ca. 30 Mio. t pro Jahr) allerdings nur einen sehr geringen Anteil von ca. 1 %, der überwiegend auch nicht aus dem Anbau resultiert, sondern aus der direkten Ernte im Meer (Loctier 2020). Im Gegensatz dazu stammt global betrachtet der größte Anteil

(97%) geernteter Meeresalgen aus dem Anbau (Ferdouse et al. 2018).

Trotz der Vielzahl an Meeresalgen konzentriert sich der extensive Anbau auf etwa zehn Arten, davon hat die Seetangart Kelp, die häufig für Brühen bzw. Suppen verwendet wird, mit 33 % den größten Anteil (Ferdouse et al. 2018, S.1).

Der globale Markt für Meeresalgen umfasst rund 6 Mrd. US-Dollar pro Jahr (entspricht ca. 12 Mio. t pro Jahr), davon entfallen ca. 85 % auf Nahrungsmittel oder Nahrungsergänzungsmittel (z.B. Geliermittel wie Carrageen, Agar-Agar oder Alginate) (Ferdouse et al. 2018, S.1). Der Rest entfällt auf Düngemittel, Medizinprodukte/Kosmetik oder Zusatzstoffe für Futtermittel (Costello et al. 2020, S.13). Von 2005 bis 2015 verdoppelte sich die Algenproduktion auf eine Ernte von 30,4 Mio. t pro Jahr (Ferdouse et al. 2018, S.2).

Noch wird von einem Marktwachstum von jährlich 2 bis 3 % ausgegangen, allerdings werden von der FAO keine weiteren Sprünge mehr prognostiziert (Ferdouse et al. 2018, S.4). Erwartet wird lediglich ein moderates Wachstum durch den anhaltenden Trend zu in hohem Maße industriell verarbeiteten, prozessierten Lebensmitteln und damit einhergehend zu einem erhöhten Bedarf an Verdickungsmitteln sowie der Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln wie Omega-3-Fettsäuren als vegane Alternative zu Omega-3-Fettsäuren aus Fisch (Ferdouse et al. 2018, S.72). Sollten sich Ernährungsgewohnheiten jedoch ändern oder Nutzungen von Algen kosteneffizienter werden und sich Algen deshalb z.B. als Futtermittel oder Energiepflanze eignen, würde dies die Wachstumsperspektiven deutlich verbessern.

Meeresalgen werden in über 50 Ländern angebaut, besonders in China, Indonesien, Japan und Südkorea. China und Indonesien allein produzieren mehr als 85 % der weltweit verarbeiteten Algenmenge (Costello et al. 2020, S.13). Zunehmend steigt aber auch die Nachfrage nach Algen in Eu-



¹² <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/discover-5-top-seawater-farming-solutions> (1.6.2022)



ropa und Nordamerika – hauptsächlich, weil Algen dort als gesundes Superfood betrachtet werden und mit der Verwendung von Algen in der westlichen Küche experimentiert wird. Sowohl der Export, wenngleich nur moderat, als auch der Import von Meeresalgen stiegen von 2012 bis 2016 in Europa (Ferdouse et al. 2018, S.30).

Eine Studie zur Algenindustrie in Europa zeigt, dass ca. 450 Unternehmen in 23 Ländern Algen produzieren. Mehr als 50% dieser Unternehmen produzieren allerdings Mikro- und nicht Makroalgen. Erst seit einigen Jahren etabliert sich der Anbau von Makroalgen auf dem Land und im Wasser. Führend beim Anbau von Makroalgen in Europa sind Frankreich, Irland und Spanien, während Deutschland, Spanien und Italien beim Anbau von Mikroalgen an der Spitze liegen. Der europäische Algensektor verspricht ein durchaus relevantes wirtschaftliches Potenzial (Araújo et al. 2021). Noch ist die Algenproduktion in Europa durch technologische, rechtliche und marktbezogene Hindernisse eingeschränkt, vor allem fehlt es an einer ausreichenden Skalierung der Produktion.

Herausforderungen der maritimen Landwirtschaft und Forschungsbedarfe

Grundsätzlich sind nicht nur bei der Algenproduktion, sondern auch mit der Einführung der anderen genannten innovativen Formen maritimer Landwirtschaft zahlreiche technologische, rechtliche und marktbezogene Hindernisse verbunden, die eine Produktion in großem Maßstab bisher einschränken. Die wesentlichen Vor- und Nachteile der hier beschriebenen Anbauoptionen sind in der Tabelle zusammengefasst.

Die Barrieren einer maritimen Landwirtschaft sind für den Algenanbau am besten beschrieben. Eine wesentliche Herausforderung besteht in der möglichen Dimensi-

on des **Anbaus von Algen**, um substantielle Mengen für die Ernährung bereitstellen zu können. Berechnungen zufolge müssten die aktuellen Anbaumengen von Meeresalgen nämlich extrem erhöht werden und zwar um das 147-Fache der derzeitigen Algenproduktion für Nahrungsmittel, um nur 1% der menschlichen Ernährung durch Algen zu substituieren (Forster/Radulovich 2015). Allein bezogen auf verfügbare Flächen scheint eine substantielle Erweiterung des Anbaus aber grundsätzlich machbar. Gemäß Froehlich et al. (2019) eignen sich 48 Mio. km² Meeresfläche aufgrund der Temperatur- und Nährstoffverhältnisse für den Algenanbau. Die Wasserflächen betreffen Territorien von 132 Ländern, von denen 37 bereits Algen anbauen.

Ein wesentliches Forschungsfeld beinhaltet Untersuchungen dazu, welche **Auswirkungen** der Anbau von Algenmonokulturen in den **Gewässern und Ökosystemen** hat. Relevante Faktoren sind u.a. Beschattung, Absorption von Nährstoffen, Verringerung der kinetischen Wellenenergie, neuer Lebensraum für Krankheiten, Parasiten und andere Organismen oder die Einführung invasiver Arten (Campbell et al. 2019; Costello et al. 2020, S.16). Insbesondere ist der Einfluss von Meeresalgenproduktionsstätten auf Meeresäugetiere zu untersuchen. Aktuell beschäftigen sich u.a. Forschungsgruppen in Norwegen und USA mit den Nutzen und Risiken von Algenfarmen (Froehlich et al. 2017).

Überdies gibt es noch Forschungsbedarf dahingehend, inwieweit sich Algen als Beigabe für Futtermittel eignen und eine Methanemission bei Wiederkäuern durch eine Neutralisierung bestimmter Enzyme im Pansen verringern (Costello et al. 2020, S.15). Da die Nährstoffanteile und potenziell erhofften Wirkungen der Algenarten variieren, müssen noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden, welche Algen für welche Zwecke besonders geeignet sind.

Tab. Formen maritimer Landwirtschaft

Anbauform	Vorteile	Herausforderungen	Pflanzen	Entwicklungsstadium
Algenfarmen in Küstennähe oder im offenen Meer	<ul style="list-style-type: none"> • große Anbaufläche • keine zusätzlichen Düngemittel erforderlich • leicht skalierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Algenblüte möglich • potenzielle Störung von Ökosystemen, z. B. durch übermäßigem Sauerstoffverbrauch, Abgabe toxischer Stoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Makroalgen 	<ul style="list-style-type: none"> • industrieller Maßstab in Küstennähe • Pilotvorhaben auf offener See
Fotobioreaktoren für Algen	<ul style="list-style-type: none"> • können auch mit Brauchwasser gespeist werden • hohe Wachstumsdichte • hohe CO₂-Aufnahme • leichte Ernte 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Kosten für Bau und Unterhalt der Reaktoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroalgen 	<ul style="list-style-type: none"> • industrieller Maßstab
Algenrasenfilter	<ul style="list-style-type: none"> • Schwermetalle und andere toxische Stoffe können durch die Algen aus dem Wasser gefiltert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • erfordert größere Flächen • Kosten für Bau und Unterhalt 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroalgen 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotanlagen
BICCAPS – Bioreaktoren für Algen	<ul style="list-style-type: none"> • Bicarbonat kann als Nährstoff für Algen recycelt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Algenausbeute 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroalgen 	<ul style="list-style-type: none"> • einzelne Anlagen im industriellen Maßstab
Unterwasserfarming von Landpflanzen	<ul style="list-style-type: none"> • geschlossener Kreislauf, in dem kein Wasser verdunstet • Temperatur kann konstant gehalten werden • Keimung scheint beschleunigt zu sein 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Kosten für Bau und Unterhalt der Biosphären • hohe Komplexität, da der Anbau unter Wasser stattfindet 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemüse und Obst 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotanlage
Nutzung von Salzwasser für Aquakulturen auf dem Land	<ul style="list-style-type: none"> • multiple Nutzen durch parallele Erzeugung von Algen, Meerestieren und Energie • Nutzung unwirtlicher Regionen wie Wüsten und Marschland 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr voraussetzungsreich 	<ul style="list-style-type: none"> • Makro- und Mikroalgen 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotanlage
Anbau von salztoleranten Pflanzen	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung unwirtlicher Regionen wie Wüsten und Marschland 	<ul style="list-style-type: none"> • Ernährungsgewohnheiten müssen sich an neue Gemüsesorten anpassen 	<ul style="list-style-type: none"> • natürliche salztolerante Pflanzen • gezüchtete und genetisch veränderte Pflanzen mit Salztoleranzeigenschaft 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotanlage
Nutzung von entsalztem Meerwasser	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Verfügbarkeit von Salzwasser in Küstenregionen • Nutzung unwirtlicher Regionen wie Wüsten 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Energiekosten für die Entsalzung • geringer Mineralgehalt des entsalzten Wassers • hochkonzentrierte Salzlauge bleiben zurück • Pilotvorhaben 	<ul style="list-style-type: none"> • konventionelle Pflanzen (Korn, Gemüse, Obst) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotanlage
schwimmende Farmen	<ul style="list-style-type: none"> • modular erweiterbar • große Anbaufläche möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • für den Anbau konventioneller Pflanzen Entsalzung von Meerwasser erforderlich • Beschränkung auf salztolerante Pflanzen bei Nutzung von Meerwasser • hohe Kosten für Bau und Unterhalt 	<ul style="list-style-type: none"> • je nach Ausrichtung jede Pflanzenart 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotanlage

Zu konstatieren ist, dass der Algenanbau aktuell **nicht wettbewerbsfähig** ist und mit anderen Maßnahmen zur Erzeugung von Lebensmitteln sowie Pflanzenkraftstoffen oder Methoden zur Kohlenstoffabsorption konkurriert. Ein wichtiger Kostenfaktor liegt darin begründet, dass zahlreiche Algen nach der Ernte aufwendig und kostenintensiv getrocknet werden müssen. Diesbezüglich wird jedoch Potenzial darin gesehen, durch höhere Skalierung sowie verbesserte Produktions- und Ernteverfahren die Kosten noch deutlich zu senken (Costello et al. 2020, S.16).

Schließlich bestehen bezüglich der Nutzung von Algen noch Hürden in den üblichen Ernährungsgewohnheiten, da Algen geschmacklich typischerweise an Fisch erinnern und auch die Konsistenz ungewohnt ist. In Europa und vielen anderen Ländern stehen Algen bislang kaum auf dem Speiseplan. Gastronomisch lassen sich erste Ansätze mit neuen Gerichten zumeist in der Spitzenküche finden, ebenso halten Rezepte in Kochportale wie chefkoch.de oder in die Rezeptvorschläge von Supermarktketten Einzug.¹³ Algen als direkte Nahrungsquelle müssten in der Bevölkerung erst noch an **Akzeptanz** gewinnen, bevor sie für die Ernährung insgesamt als substanziiell angesehen werden könnten. Wahrscheinlicher ist, dass Algen zunächst vor allem als Zusatzstoff in prozessierten Nahrungsmitteln, z.B. in Fleischprodukten wie Würstchen oder in Nudeln und Brot sowie in fermentierten Lebensmitteln wie Joghurt oder in veganen Fleischersatzprodukten Verwendung finden werden (Ścieszka/Klewicka 2019). In Forschungsprojekten wird zudem daran gearbeitet, die typische grüne Farbe und den Eigengeschmack von Algen dahingehend zu ändern, dass sie dem Verbrauchergeschmack entsprechen (Durell 2022).¹⁴

Förderung und Regulierung

Ähnlich wie die konventionelle Landwirtschaft muss zukünftig auch die maritime Landwirtschaft reguliert werden, um einerseits Umweltschäden zu vermeiden und andererseits wirtschaftliche Aktivitäten zu befördern.

Ein wichtiger Aspekt für die Nutzung von Meeresflächen ist dabei die marine Raumplanung. Hier nimmt in Deutschland das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie mit der von ihr verantworteten Meeresraumplanung eine wichtige Rolle ein. Durch die marine Raumplanung werden verschiedene Nutzungsinteressen und Schutzansprüche zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Umwelt koordiniert.¹⁵ Sie kann bei der Wahl des optimalen Standorts helfen und dazu beitragen, konfligierende Nutzungsinteressen auszugleichen. Für internationale Gewässer stehen diverse Hilfen wie Acqua Mapper zur Verfügung.

Landbasierte Systeme der Landwirtschaft verfügen gegenüber maritimen Systemen über einen besseren Zugang zu Investitionen, Subventionen und Versicherungen. Ein verbesserter Zugang zu diesen Ressourcen könnte helfen, Innovationen zu befördern und die Kosteneffizienz der Produktion zu steigern (Costello et al. 2020, S.16). Die Finanzierung größerer kommerzieller Algenprojekte scheint mit einer der größten Hürden zu sein, weil noch zahlreiche Forschungsfragen auch zur Machbarkeit offen sind (Polon 2020).

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Die hier beschriebenen Ansätze für eine maritime Landwirtschaft sind unterschiedlich weit fortgeschritten. Die vielversprechendste Variante ist der Algenanbau, bei dem Deutschland in Bezug auf Mikroalgen bereits führend in Europa ist.

Das vorliegende Themenkurzprofil mit der weiterführenden Literatur ermöglicht eine umfassende Orientierung zum Stand der Entwicklung maritimer Technologien zur Landwirtschaft. Da sowohl Forschung als auch Kommerzialisierung von Ansätzen maritimer Landwirtschaft – mit Ausnahme des Algenanbaus – insgesamt noch nicht sehr weit fortgeschritten sind, bietet sich eine vertiefende Bearbeitung zum jetzigen Zeitpunkt nicht an. Fragen, die zu einem späteren Zeitpunkt untersucht werden könnten, sind z.B.:

- Wie ist der Forschungs- und Entwicklungsstand in Bezug auf Pflanzenanbau mit Meerwasser in Deutschland und international?
- Durch welche Stärken und Schwächen zeichnen sich die unterschiedlichen Ansätze aus?
- Welche wirtschaftliche Bedeutung hat diese Art landwirtschaftlicher Produktion für Deutschland?
- Welche Akteure und Netzwerke gibt es in diesen Bereichen?
- Welcher Regulierungsbedarf besteht für eine erfolgreiche Kommerzialisierung und für den Umweltschutz?
- Welche Faktoren behindern möglicherweise eine Kommerzialisierung?

13 Z. B. <https://www.rewe.de/ernaehrung/algen> (1.6.2022)

14 <https://www.ivv.fraunhofer.de/de/lebensmittel/entwicklung/makroalgen.html> (1.6.2022)

15 https://www.bsh.de/DE/THEMEN/Offshore/Meeresraumplanung/meeresraumplanung_node.html (1.6.2022)

Literatur

- ▶ Araújo, R.; Vázquez Calderón, F.; Sánchez López, J.; Azevedo, I.; Bruhn, A.; Fluch, S.; Garcia Tasende, M.; Ghaderiardakani, F.; Ilmjärv, T.; Laurans, M.; Mac Monagail, M. et al. (2021): Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. In: *Frontiers in Marine Science* 7, DOI 10.3389/fmars.2020.626389
- ▶ Axa Versicherung Rückversicherung (2017): Landwirtschaft der Zukunft? Braucht viel Meer Wasser. 2.3.2017, <https://axaxl.com/de/fast-fast-forward/articles/landwirtschaft-der-zukunft-braucht-viel-meer-wasser> (31.3.2022)
- ▶ BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2018): Welternährung verstehen – Fakten und Hintergründe. Berlin, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Welternaehrung-verstehen.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (31.3.2022)
- ▶ Buschmann, A.; Camus, C.; Infante, J.; Neori, A.; Israel, Á.; Hernández-González, M.; Pereda, S.; Gomez-Pinchetti, J. L.; Golberg, A.; Tadmor-Shalev, N.; Critchley, A. (2017): Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. In: *European Journal of Phycology* 52(4), S.391–406
- ▶ Campbell, I.; Macleod, A.; Sahlmann, C.; Neves, L.; Funderud, J.; Øverland, M.; Hughes, A.; Stanley, M. (2019): The Environmental Risks Associated With the Development of Seaweed Farming in Europe – Prioritizing Key Knowledge Gaps. In: *Front. Mar. Sci.* 6, S.107
- ▶ Costello, C.; Cao, L.; Gelcich, S.; Cisneros-Mata, M.; Free, C.; Froehlich, H.; Golden, C.; Ishimura, G.; Maier, J.; Macadam-Somer, I.; Mangin, T. et al. (2020): The future of food from the sea. High Level Panel for A Sustainable Ocean Economy. World Resources Institute, 19.8.2020, https://oceanpanel.org/sites/default/files/2019-11/19_HLP_BP1%20Paper.pdf (31.3.2022)
- ▶ Couch, C. (2020): The race is on to grow crops in seawater and feed millions. 17.6.2020, <https://www.wired.co.uk/article/growing-crops-in-seawater> (31.3.2022)
- ▶ Durell, K. (2022): Race for pale algae: Neutral taste and color enable plant-based fortification. *food ingredients 1st*, 7.1.2022, <https://www.foodingredientsfirst.com/news/race-for-pale-algae-neutral-taste-and-color-enable-plant-based-fortification.html> (31.3.2022)
- ▶ EC (European Commission) (2021): A new strategic vision for sustainable aquaculture production and consumption in the European Union. Blue farming in the European Green Deal. European Commission, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, <https://data.europa.eu/doi/10.2771/233809> (1.6.2022)
- ▶ FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2018): The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome, <https://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf> (31.3.2022)
- ▶ FAO (2020): Land use in agriculture by numbers. 7.5.2020, <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/> (31.3.2022)
- ▶ Ferdouse, F.; Holdt, S.; Smith, R.; Murúa, P.; Yang, Z. (2018): The global status of seaweed production, trade and utilization. GLOBEFISH research programme vol. 124, Rom
- ▶ Forster, J.; Radulovich, R. (2015): Chapter 11 – Seaweed and food security. In: Tiwari, B.; Troy, D. (Hg.): *Seaweed sustainability. Food and non-food applications*. Amsterdam u.a.O., S.289–313
- ▶ Froehlich, H.; Afflerbach, J.; Frazier, M.; Halpern, B. (2019): Blue Growth Potential to Mitigate Climate Change through Seaweed Offsetting. In: *Current biology* 29(18), S.3087-3093.e3
- ▶ Froehlich, H.; Smith, A.; Gentry, R.; Halpern, B. (2017): Offshore Aquaculture: I Know It When I See It. In: *Front. Mar. Sci.* 4, S.154
- ▶ Goergen, R. (2020): Die Zukunft der Landwirtschaft liegt im Meer – infosperber.infosperber, 8.4.2020, <https://www.infosperber.ch/umwelt/wasser-gewaesser/die-zukunft-der-landwirtschaft-liegt-im-meer/> (31.3.2022)
- ▶ Lee, H.; Roehrdanz, P.; Krishna, B.; Fraser, E.; Donatti, C.; Saenz, L.; Wright, T.; Hijmans, R.; Mulligan, M.; Berg, A.; van Soesbergen, A. (2020): The environmental consequences of climate-driven agricultural frontiers. In: *PLoS one* 15(2), S.e0228305
- ▶ Leong, Y.; Chew, K.; Chen, W.-H.; Chang, J.-S.; Show, P. (2021): Reuniting the Biogeochemistry of Algae for a Low-Carbon Circular Bioeconomy. In: *Trends in plant science* 26(7), S.729–740
- ▶ Loctier, D. (2020): Seaweed farming: an economic and sustainable opportunity for Europe. *Euronews green*, 15.10.2020, <https://www.euronews.com/green/2020/06/09/seaweed-farming-an-economic-and-sustainable-opportunity-for-europe> (31.3.2022)
- ▶ Martinez-Alvarez, V.; Bar-Tal, A.; Diaz Peña, F.; Maestre-Valero, J. (2020): Desalination of Seawater for Agricultural Irrigation. In: *Water* 12(6), S.1712
- ▶ Mbow, C.; Rosenzweig, C.; Barioni, L.; Benton, T.; Herrero, M.; Krishnapillai, M.; Liwenga, E.; Pradhan, P.; Rivera-Ferre, M.; Sapkota, T.; Tubiello, F.; Xu, Y. (2019): Food Security. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. IPCC, <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2021/07/210714-IPCCJ7230-SRCCL-Complete-BOOK-HRES.pdf> (31.3.2022)
- ▶ Polon, R. (2020): Not All Heroes Wear Capes: How Algae Could Help Us Fight Climate Change. *The Aggie Transcript*, 10.7.2020, <https://aggietranscript.ucdavis.edu/not-all-heroes-wear-capes-how-algae-could-help-us-fight-climate-change/> (31.3.2022)
- ▶ Ruggeri, A. (2018): How to use seawater to grow food – in the desert. *BBC*, 24.9.2018, <https://www.bbc.com/future/article/20180822-this-jordan-greenhouse-uses-solar-power-to-grow-crops> (31.3.2022)

- ▶ Salvi, K.; da Silva Oliveira, W.; Horta, P.; Rörig, L.; de Oliveira Bastos, E. (2021): A new model of Algal Turf Scrubber for bioremediation and biomass production using seaweed aquaculture principles. In: Journal of Applied Phycology 33(4), S.2577–2586
- ▶ Ścieszka, S.; Klewicka, E. (2019): Algae in food: a general review. In: Critical reviews in food science and nutrition 59(21), S.3538–3547
- ▶ Setting Mind (2021): N-ARK's Floating Greenhouse Aims to Address Rising Sea Levels and Flood Salinity. Setting Mind, 10.11.2021, <https://settingmind.com/n-arks-floating-greenhouse-aims-to-address-rising-sea-levels-and-flood-salinity/> (31.3.2022)
- ▶ Siville, B.; Boeing, W. (2020): Optimization of algal turf scrubber (ATS) technology through targeted harvest rate. In: Bioresource Technology Reports 9, S. 100–360
- ▶ Statista (2022): Langzeitentwicklung der globalen Agrarfläche. 21.1.2022, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1180400/umfrage/flaeche-des-weltweiten-ackerlandes/> (31.3.2022)
- ▶ Steffen, A. (2020): The Jellyfish Barge: A Self-Sustaining Modular Floating Greenhouse. Intelligent Living, 16.12.2020, <https://www.intelligentliving.co/the-jellyfish-barge-modular-floating-greenhouse/> (31.3.2022)
- ▶ WD (Wissenschaftliche Dienste) (2019): Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft in Deutschland. Deutscher Bundestag, WD 5-3000-052/19, Berlin, <https://www.bundestag.de/resource/blob/652784/908b20ab5815805e075f2adc41734577/WD-5-052-19-pdf-data.pdf> (31.3.2022)
- ▶ Zhu, C.; Chen, S.; Ji, Y.; Schwaneberg, U.; Chi, Z. (2022): Progress toward a bicarbonate-based microalgae production system. In: Trends in biotechnology 40(2), S.180–193

Das Horizon-Scanning ist Teil des methodischen Spektrums der Technikfolgenabschätzung im TAB.

Horizon
SCANNING

Mittels Horizon-Scanning werden neue technologische Entwicklungen beobachtet und diese systematisch auf ihre Chancen und Risiken bewertet. So werden technologische, ökonomische, ökologische, soziale und politische Veränderungspotenziale möglichst früh erfasst und beschrieben. Ziel des Horizon-Scannings ist es, einen Beitrag zur forschungs- und innovationspolitischen Orientierung und Meinungsbildung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zu leisten.

In der praktischen Umsetzung werden im Horizon-Scanning softwaregestützte Such- und Analyseschritte mit expert/innenbasierten Validierungs- und Bewertungsprozessen kombiniert.

Herausgeber: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Gestaltung und Redaktion: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweise: © romrodinka/iStock (S. 1); © pilipphoto/iStock (S. 2); © greenleaf123/iStock (S. 3); © Courtesy of Pnat srl – Jellyfish Barge (S. 4);

© Kanawa_Studio/iStock (S. 5); © Sasithorn Phuapankasemsuk/iStock (S. 6)

ISSN-Internet: 2629-2874