

Alles Berechnung

Erschienen am 1. Februar 2024 im [Magazin „mare – die Zeitschrift der Meere“](#)

Text: Tim Schröder | Illustrationen: Jörn Kaspuhl

Künstliche Intelligenz beschleunigt die Bestimmungsarbeit in der Meeresforschung um das 1000-fache und erkennt Muster in den Datenströmen, die uns Menschen nie auffallen würden. Beginnt jetzt eine neue Ära in der Wissenschaft?

Wenn Arjun Chennu in Korallenriffen tauchen geht, dann hat er einen recht großen Apparat dabei. Mit langsamen Flossenschlägen gleitet er voran und schiebt das Gestell von der Größe eines Kaffeeautomaten vor sich her. Im Fuß des Gerätes sitzt eine Kamera, die im Vorübergleiten Korallen, Schwämme, Algen und Bakterienrasen ablichtet. Arjun Chennu ist damit schon viele Hundert Stunden durch die Korallenriffe an der Küste der Karibikinsel Curaçao, vor Papua-Neuguinea und Polynesien getaucht, um Momentaufnahmen zu machen, um festzuhalten, welche Tiere und Pflanzen dort leben – und um später vergleichen zu können, ob sich die Bewohnerschaft der Riffe mit dem Klimawandel verändert.

Die meiste Zeit aber steht der Apparat in Einzelteile zerlegt in zwei schwarzen Kunststoffkisten in Chennus Büro am Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung in Bremen. Denn die Tauchgänge sind nur ein Teil von Arjun Chennus Arbeit. Chennu ist Physiker. Er hat sich auf die automatische Analyse von Unterwasseraufnahmen spezialisiert. Sein Tauchapparat, der „Hyperdiver“, sei wichtig, um die Bilder zu schießen, sagt Chennu. Die eigentliche Arbeit aber beginne, wenn sein Team wieder zurück in Bremen sei.

Zusammen mit seinen Mitarbeitern arbeitet er an Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI), die in Bildsequenzen Korallen, Schwämme und andere Lebewesen mit hoher Trefferquote identifizieren. Am Ende entstehen daraus Karten, auf denen die Riffe mitsamt ihren Bewohnern dargestellt sind. „Natürlich gibt es erfahrene Biologen, die die verschiedenen Arten bestimmen können – doch dauert diese Bildanalyse von Hand extrem lange. Zudem muss man verschiedene Fachleute zusammenholen, die auf die verschiedenen Tier- und Pflanzengruppen spezialisiert sind“, sagt Arjun Chennu. „Weltweit sind bis heute weniger als ein Prozent der Riffe überhaupt kartiert. Wir kennen also noch nicht einmal den aktuellen Zustand der Riffe – wie wollen wir

dann einschätzen, wie sich die Situation in den kommenden Jahren verändert?“ Künstliche Intelligenz könne die Bestimmungsarbeit mehr als 1000-mal schneller machen, sagt er – und helfen, die Korallenriffe regelmäßig zu kontrollieren.

Chennus Arbeit beginnt mit den Aufnahmen im Korallenriff. Der Hyperdiver lichtet die Riffe mit einer Hyperspektralkamera ab. Anders als herkömmliche Kameras nimmt sie nicht nur rotes, grünes und blaues Licht wahr, sondern alle Wellenlängen des Lichts, quasi alle Farben des Regenbogens – und noch dazu infrarotes und ultraviolettes Licht, das Menschen gar nicht sehen können. Viele Lebewesen im Riff erscheinen im Roten, Grünen und Blauen betrachtet eher farblos, leuchten aber beispielsweise im ultravioletten Licht hell auf. Das hilft dem Computer, die verschiedenen Arten voneinander zu unterscheiden.

Für ihre Analysen setzen die Bremer Rechenverfahren des „Maschinellen Lernens“ ein, die stets nach einem ähnlichen Muster arbeiten. Im ersten Schritt werden sie trainiert. Dazu füttert man den Computer mit Bildern – und teilt ihm zugleich mit, was darauf zu sehen ist – etwa eine bestimmte Korallen- oder Schwammart. Dafür sind Hunderte von Aufnahmen nötig, die das Objekt aus verschiedenen Winkeln und bei unterschiedlichen Belichtungen zeigen. So lernt das Rechenverfahren das Objekt immer besser kennen. Ist das Training beendet, gibt man Bilder ein, ohne zu verraten, was darauf zu sehen ist. Erkennt der Computer die Bilder, war das Training erfolgreich. Liegt er falsch, muss weiter trainiert werden.

Der wesentliche Unterschied zwischen den maschinellen Verfahren und dem Menschen besteht darin, dass der Mensch ein erlerntes Objekt wie zum Beispiel einen Hai in einem Bild sehr leicht wiedererkennt – selbst, wenn das Objekt schlecht belichtet oder nur ein Teil davon zu sehen ist. Einem Computer hingegen erscheint ein Bild zunächst als chaotische Wolke aus vielen unterschiedlich gefärbten Pixeln. Alle diese Pixel muss der Computer einem Objekt zuordnen. Das wird zur Herausforderung, wenn in einem Riff Korallen, Schwämme oder Algen dicht an dicht sitzen. Arjun Chennu entwickelt deshalb auch Rechenverfahren, die jedes Pixel auf Plausibilität prüfen und so die Ergebnisse der Bildanalyse automatisch bewerten. Nur so können am Ende naturgetreue Karten der Riffe entstehen.

Bis heute werden Korallenriffe kartiert, indem Taucher ein Maßband quer hindurchlegen und dann entlang dieses Bands Foto nach Foto schießen. Anschließend werten Biologen die Fotos aus. Doch erfassen sie damit nur einen winzigen Teil eines Riffs. Zudem dauert die Arbeit Wochen oder gar Monate.

Mit dem Hyperdiver und der vollautomatischen Analyse lassen sich Riffe jetzt in einem Bruchteil dieser Zeit sehr viel genauer erfassen. „Unsere Karten helfen Meeresbiologen zu erkennen, ob sich Lebensgemeinschaften verändern“, sagt Arjun Chennu. Den Vertretern von Behörden oder Politikern wiederum können sie auf einen Blick zeigen, wo besonders schützenswerte Gebiete liegen. „Das ist für mich ganz entscheidend. Nur das, was wir kennen, können wir auch schützen.“ Für die meisten Küstenregionen der Welt aber sei noch immer nicht bekannt, wie es am Meeresboden eigentlich aussehe. „Künstliche Intelligenz könnte uns bei der Kartierung von Lebensräumen weit voranbringen. KI ist für mich das Meeresbeobachtungswerkzeug der nächsten Jahrzehnte schlechthin.“

Das sieht auch Oliver Zielinski so. Der Direktor des Instituts für Ostseeforschung in Warnemünde ist Sensorexperte und hat schon viele Geräte für den Einsatz am Meer entwickelt. „Wenn es um den Schutz der Ozeane geht, dann hat KI für mich vor allem einen großen Vorteil: Sie hilft uns, der ungeheuren Mengen an Messdaten Herr zu werden, die die Geräte schon heute liefern.“ Dazu gehören Temperatur-, Salz- und Sauerstoffmessungen, die Werte von Lasermessgeräten, Tonaufnahmen aus Unterwassermikrofonen oder Bilder. Hinzu kommen Satellitendaten, die den Eispanzer der Arktis oder Algenmassen im Meer zeigen. „Dank der vielen Messwerte können wir den Zustand des Meeres heute besser denn je einschätzen. Doch sind die Datenmengen so groß und die Informationen so komplex, dass wir ohne KI nicht mehr auskommen.“

KI ist besonders gut darin, im riesigen Datenstrom sogenannte Muster zu erkennen. In der Biomedizin etwa setzt man KI-Verfahren darauf an, im genetischen Code eines Menschen nach auffälligen Veränderungen zu suchen, nach veränderten Genen, die Ursache für eine seltene Krankheit sein könnten. Zielinski hat zusammen mit Kollegen im Projekt PlastikObs ein KI-System für den Einsatz im Flugzeug entwickelt, das im Überflug Plastikmüll am Strand erfassen, zählen und sogar bestimmen kann. Am Flugzeug ist ein spezieller Lichtsensor installiert, der den Boden abscannt. Jedes Objekt und jede Substanz absorbiert, reflektiert und streut Licht anders – und hat damit ein charakteristisches optisches Muster. Der Sensor am Flugzeug nimmt das von den Gegenständen zurückgestreute Licht wahr, die KI erkennt das optische Muster. Damit kann das System ermitteln, um welches Material es sich handelt und sogar verschiedene Plastiksorten bestimmen.

Muster in Bruchteilen von Sekunden erkennen zu können, das ist, wenn es um den Schutz des Meeres geht, die derzeit wohl wichtigste Eigenschaft der KI. So haben

mehrere Forschungsgruppen weltweit damit begonnen, Wale anhand ihrer Rufe automatisch zu bestimmen. Das charakteristische Muster eines Rufs ergibt sich aus der Tonhöhe, der Dauer oder dem Rhythmus des Walgesangs. Die US-amerikanische Nationale Ozean- und Atmosphärenbehörde (NOAA) etwa hat im Cook Inlet, einer Bucht an der Westküste von Alaska, Hydrofone installiert, um die Rufe von Belugawalen aufzunehmen. Die Behörde will herausfinden, wie selten die Walart dort geworden ist. Dazu hat sie zusammen mit Informatikern ein Maschinelles Lernverfahren mit Beluga-Rufen trainiert. Inzwischen kann die Software rund 97 Prozent der Rufe erkennen. Das ist genug, um damit Tonaufnahmen routinemäßig zu analysieren.

Natürlich kann KI allein nicht die Meere retten. Sie etabliert sich derzeit aber als unentbehrliches Werkzeug, um den Zustand der Meereslebensräume schneller und besser einzuschätzen. Mit ihr lässt sich auch überprüfen, ob Umweltschutzmaßnahmen zum Ziel führen – etwa beim Schutz der Meerforelle an der Ostsee.

Die Meerforelle ist ein Wanderer zwischen den Welten, zwischen dem salzigen Wasser der Ostsee und den Flüssen. Einmal im Jahr verlässt sie das Meer. Sie schwimmt die Flüsse hinauf, gräbt kleine Kuhlen in den Kies und legt darin ihre Eier ab. Doch die Meerforelle ist selten geworden. An vielen Stellen versperren Wasserkraftwerke den Weg. Woanders hat man Flüsse kanalisiert. Damit gingen Laichplätze verloren.

Um zu verhindern, dass die Meerforelle ausstirbt, wurden in Mecklenburg-Vorpommern in den vergangenen Jahren Fischtreppen gebaut, Rinnen, in denen die Tiere flussauf wandern und Kraftwerke umschwimmen können. An anderen Stellen hat man begradigte Flüsse zurückgebaut, Flussbiegungen in die Landschaft modelliert und ruhige Stellen zum Ablachen geschaffen. Um zu überprüfen, ob der Bestand der Meerforelle in der Ostsee jetzt wieder wächst, hat das Land Mecklenburg-Vorpommern vor einiger Zeit das Institut für Fisch und Umwelt damit beauftragt, die Fische zu zählen. Die Mitarbeiter bauen Hindernisse in die Flüsse, um die Meerforellen an einer Filmkamera vorbeizulotsen.

Bislang dauerte die Auswertung der Filmaufnahmen rund drei Monate. Zudem wurden nur sechs der Flüsse in Mecklenburg-Vorpommern untersucht. Um die Arbeit zu automatisieren, fragten die Meerforellenexperten beim Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD) in Rostock an, das sich seit vielen Jahren mit dem Maschinellen Lernen befasst. Tatsächlich ist es gelungen, die Algorithmen für die Meerforellen-Detektion zu trainieren.

„Das war wirklich anspruchsvoll“, sagt die Fraunhofer-Mathematikerin Eva Eggeling. „Wenn die Meerforellen vorbeihuschen, ist oft nur ein Teil ihres Körpers zu sehen.“ In der Tat: Schaut man sich ein Video an, blitzen die Forellen im Licht der Kamera nur kurz auf. Sie sind als Fisch kaum zu erkennen. Trotzdem muss die KI im Bruchteil einer Sekunde entscheiden, ob es sich um eine Forelle, ein vorbeitreibendes Blatt oder den Fuß einer Ente handelt. Die IGD-Forscher fütterten ihre Algorithmen mit Forellenbildern und schärften die Software.

„Ein Trick besteht darin, Algorithmen dazu zu bringen, selbständig die wichtigsten Merkmale zu definieren – zu lernen, was einen Fisch zu einem Fisch macht“, sagt Eva Eggeling. „Das kann die Form der Flosse, der Glanz der Schuppen oder etwas ganz anderes sein.“ Mittlerweile entgeht dem System kein einziger Fisch mehr. Die Sensitivität liegt bei 100 Prozent. Statt drei Monaten braucht es gerade einmal zwei Tage, um das Videomaterial zu sichten. Das ist so schnell, dass die Meerforellen inzwischen in allen Flüssen in Mecklenburg-Vorpommern gezählt werden.

KI ist auch dann hilfreich, wenn der Mensch buchstäblich im Trüben fischt, wenn ihm Algen und aufgewühlter Schlamm die Sicht nehmen – etwa am Grunde der Ostsee. Mit diesem Problem befasst sich der Informatiker Sebastian Bader vom Institut für Visual and Analytic Computing an der Universität Rostock. Er entwickelt ein Assistenzsystem für die Piloten von ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen, von Remotely Operated Vehicles (ROVs).

ROVs werden unter anderem zur Inspektion von Offshore-Windradmasten oder für die Suche nach Munition aus dem zweiten Weltkrieg benötigt. Tausende Tonnen alter Granaten liegen heute noch auf dem Grund der Ostsee und anderer europäischer Gewässer. Sie verrostet und geben nach und nach giftige Substanzen ins Meerwasser ab. Meeresbiologen drängen darauf, die Munition zu bergen.

„Mit einer normalen Kamera kann man in trüben Gewässern nur wenige Meter weit gucken“, sagt Sebastian Bader. Um größere Bereiche zu überblicken, nutzt man daher die Bilder von Sonaren, die den Meeresboden mit Schallimpulsen abtasten und deutlich weiter reichen. Doch sind solche Sonar-Bilder verrauscht wie die Ultraschall-Aufnahme eines Babys im Mutterleib. Bisher sind Computer nicht besonders gut darin, in Sonarbildern Objekte zu erkennen – schon gar nicht in Echtzeit. Genau das will Sebastian Bader der KI jetzt beibringen.

Doch anders als bei der Meerforelle gibt es bislang kaum Sonarbilder von Weltkriegsmunition, mit denen er Algorithmen trainieren könnte. Er geht deshalb einen anderen Weg: Er füttert die KI-Software mit den Konstruktionszeichnungen der

verschiedenen Granatentypen und lässt dann eine Software darauf los, die mit Wahrscheinlichkeiten arbeitet. Sie analysiert das Sonarbild, indem sie die gespeicherten Konstruktionszeichnungen miteinander vergleicht und dann berechnet, um welchen Gegenstand es sich mit größter Wahrscheinlichkeit handelt. ROV-Piloten sollen damit künftig Munitionsreste am Grund der Ostsee deutlich schneller und einfacher aufspüren können.

Inzwischen erhellen Forscher mithilfe der KI sogar Mythen. Der Informatiker Dion Häfner vom Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen hat kürzlich herausgefunden wie Monsterwellen entstehen – jene bis zu 30 Meter hohen Brecher, die ganze Schiffe verschlingen und lange als Seemannsgarn galten. Häfner hat mit seiner KI eine Fülle an Messwerten analysiert – Daten von Bojen, die Informationen über die Meereshöhe, den Wellengang, die Wassertiefe und das Wissen um die Gestalt des Meeresbodens – alles zusammen Daten über mehr als eine Milliarde Wellen. Damit wollte er nicht nur ausrechnen, mit welcher Wahrscheinlichkeit Monsterwellen auftreten, sondern auch die Ursache verstehen, die Kausalkette.

Tatsächlich gelang es der Software, alle Parameter miteinander zu verknüpfen. Das Ergebnis ist eindeutig: Demnach entstehen Monsterwellen, wenn sich mehrere Wellen unterschiedlicher Geschwindigkeit überlagern und einander verstärken. Physiker sprechen bei derartigen Überlagerungen von „linearer Superposition“. Am Ende lieferte die KI eine Formel, die das Wissen um die Kausalkette enthält. Sie soll den Programmen zur Vorhersage von Monsterwellen eingepflanzt werden, um die Schifffahrt sicherer zu machen und Kapitäne rechtzeitig zu warnen. Immerhin, so sagen die Forscher, tritt jeden Tag weltweit mindestens eine Monsterwelle auf.

Solche Projekte zeigen, wie vielfältig KI-Lösungen für die Meeresforschung heute schon sind. Ob sie die Ozeane retten können, hinge vor allem davon ab, so Technik-Experte Oliver Zielinski, ob sie den Sprung aus dem Labor in den Markt schaffen. Meeresforschung sei meist gemeinwohlorientiert und nicht auf Return of Investment getrimmt. „Doch damit verlieren wir viele gute Lösungen.“ Vielen Forschungsgruppen falle es schwer, ein tragfähiges Geschäftsmodell zu entwickeln. „Es gibt viele kleine Technolielichter, ein ganzes Lichtermeer. Was fehlt, sind die Leuchttürme.“

Eine der wenigen Ausnahmen sei der Imaging FlowCytobot (IFCB), den die US-amerikanische Meeresbiologin Heidi Sosik von der Woods Hole Oceanographic Institution entwickelt hat. Das Hightechgerät saugt Meerwasser ein und bestimmt in rasender Geschwindigkeit mithilfe von KI die Planktonorganismen, die darin enthalten sind. Der IFCB verkauft sich bestens. Er erspart Meeresbiologen weltweit Hunderte

von Stunden mühsamer Bestimmungsarbeit am Mikroskop. Zielinski: „Wir brauchen mehr von solchen KI-Projekten, die ein kommerzieller Erfolg werden.“

Bei aller Kritik sieht Oliver Zielinski aber auch das große Potential der KI, etwa bei der Idee von einem Digitalen Zwilling der Ozeane. Digitale Zwillinge sind in der Industrie bereits seit mehr als zehn Jahren ein Thema. Digitale Zwillinge sind im Computer gespeicherte digitale Modelle einer realen Maschine oder eines ganzen Industriekomplexes. Der Digitale Zwilling wird permanent mit Sensoren gefüttert, die den Zustand der echten Maschine oder des Industrieparks überwachen. Der Vorteil: Am Modell kann man ausprobieren, wie sich die Maschine oder der Industriepark verhalten, wenn man Einstellungen verändert, etwa um Energie zu sparen. Man kann bei einem Digitalen Zwilling auch in die Zukunft schauen und überprüfen, wann Bauteile verschleifen – um diese dann bei der echten Maschine auszutauschen, ehe ein Schaden entsteht.

Dafür wird jede Menge KI benötigt. Die Europäische Union und die Raumfahrtbehörde ESA treiben derzeit die Entwicklung eines Digitalen Zwillings für die Erde und die Ozeane voran, laut Zielinski ein „vielversprechendes Projekt“. Wenn es gelänge, die Daten der vielen Umweltsensoren, von Satelliten und Messgeräten in einem Digitalen Zwilling zu verknüpfen und mithilfe der KI nach auffälligen Mustern zu durchsuchen, sagt Zielinski, dann ließe sich der Zustand der Meere künftig vielleicht sogar in Echtzeit überwachen. Bei Bedarf könnte man im Digitalen Zwilling dann verschiedene Umweltschutzmaßnahmen durchspielen und die beste aussuchen. „Das ist ein ziemlich ambitioniertes Ziel und wahrscheinlich wird man zunächst nur kleinere Meeresregionen in den Blick nehmen können. Aber es ist wert darüber nachzudenken. Die KI würde uns damit einen einzigartigen Blick erlauben – einen holistischen Blick auf die Meere der Welt.“

Marc Hildebrandt vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz in Bremen blickt mit seiner Forschung sogar über die Erde hinaus. Er hat zusammen mit seinem Team in den vergangenen Jahren ein Konzept für autonome Unterwasserfahrzeuge (AUV) entwickelt, die in einigen Jahren das Meer auf dem eisigen Jupitermond Europa erforschen werden. Schon länger ist bekannt, dass der Mond einen dicken Eispanzer trägt, unter dem ein tiefes Meer verborgen liegt. Künftig sollen AUVs von allein bis zum Meeresboden hinabtauchen. Sie werden von einer kleinen Andockstation unter dem Eis zu wochenlangen Exkursionen aufbrechen. Um die Andockstation wiederzufinden, braucht es KI. Denn auf dem Jupitermond gibt es kein Navigationssystem wie etwa GPS.

Um seine aktuelle Position zu ermitteln, muss der Bordcomputer Daten von verschiedenen Sensoren verrechnen – etwa über die Motorendrehzahl, die Wasserströmung oder die Ausrichtung im Wasser. Allerdings kann sich mit der Zeit auf der Außenhaut Schmutz ablagern. Der Motor und die Antriebswelle verschleifen – und damit verändern sich die Eigenschaften des AUVs nach und nach, etwa die Geschwindigkeit, die bei einer bestimmten Drehzahl erreicht wird. „Unsere KI kann diese vielen kleinen Veränderungen am Gerät erkennen, zueinander in Beziehung setzen und so stets die richtige Geschwindigkeit ermitteln“, sagt Marc Hildebrandt. Die Geschwindigkeit ist die wichtigste Größe, um die Position bestimmen zu können.

Dank der KI sollen die AUVs für lange Zeit durch das Meer auf dem Jupitermond Europa kreuzen – rund 700 Millionen Kilometer von der Erde entfernt.

Als Zoologe weiß Tim Schröder, Jahrgang 1970, Autor in Oldenburg, gut, wie mühsam das Auszählen von Planktonorganismen ist. „Schade, dass es die KI dafür in meiner Studienzeit noch nicht gab“, sagt er.

Jörg Kaspuhl, geboren 1980, Illustrator in Hamburg, glaubt, dass die KI seinen Beruf verändern wird. Angst, als Illustrator bald überflüssig zu werden, verspürt er aber nicht, eher „eine gewisse Neugier“.