

bild der Wissenschaft

Deutschlands erstes Wissenschaftsmagazin

Quanten- Revolution

Vom Mysterium zur
Alltagstechnik

Astronomie

Rätselhafte Eisriesen
im Sonnensystem

Archäologie

Gerasa – das
jordanische Pompeji

Geophysik

Versiegt der
Golfstrom wirklich?



Warum der Sprengstoff aus dem Zweiten Weltkrieg die Meere gefährdet

Gefährliches Erbe

Rund 1,6 Millionen Tonnen Sprengstoff aus dem Zweiten Weltkrieg liegen am Grund von Nord- und Ostsee. Wie groß ist das Risiko für Meer und Menschen? Und wie werden wir das Teufelszeug wieder los? Wie das Kieler Umweltministerium und deutsche Forscher versuchen, Antworten zu finden

von Roland Knauer

Kompakt

- ▶ Sprengstoffe wie TNT am Meeresgrund können sich in Tieren und Pflanzen anreichern.
- ▶ Auch Menschen sind durch die Altlasten des Zweiten Weltkriegs bedroht.
- ▶ Roboter sollen helfen, die Munitionsreste zu bergen und zu entsorgen.



Dieses Forschungsprojekt liegt direkt vor unserer Haustür“, sagt Jens Greinert. Der Meeresgeologe vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel untersucht sonst im Nordpolarmeer vor Spitzbergen oder im Pazifik in der Nähe von Neuseeland Methan, das aus dem Meeresboden strömt. Doch sein neuestes Projekt liegt in der Kolberger Heide – gerade mal eine Schiffsstunde entfernt am Ende der Kieler Förde.

Heidekraut wächst dort allerdings keines mehr, die einstige Landfläche versank 1625 in der Kieler Bucht. Nach dem Zweiten Weltkrieg hielten die Alliierten dieses Gebiet für eine geeignete Deponie, um Seeminen, Torpedos und Bomben aus der Nazizeit zu versenken. Große Mengen dieses explosiven militärischen Mülls verrotten dort noch heute am rund zehn Meter tiefen Meeresgrund.

Sieben Jahrzehnte nach Kriegsende treiben den Umweltminister von Schleswig-Holstein Robert Habeck einige Fragen um: Welche Gefahr geht von der Munition aus? Was bedeutet sie für das Ökosystem Meer? Und wie sollte man überhaupt mit den Sprengstoffen unter Wasser umgehen? Einige Antworten dazu soll das Projekt UDEMM („Umweltmonitoring für die Delaboration von Munition im Meer“) liefern, das Jens Greinert koordiniert.

Schießwolle am Strand

Im Umweltministerium von Kiel forcieren Jens Sternheim und Claus Böttcher diese Forschung. Denn das Thema ist brisant. Ein Beispiel von vielen: Am 28. Juli 2012 fand ein sechsjähriger Junge am Strand in

der Nähe der Kolberger Heide einen seltenen Stein. Neugierig schleppte er den drei Pfund schweren Brocken zur Ferienwohnung seiner Eltern. Diese wunderten sich über die kräftig gelb gefärbten Hände ihres Sohns, und auch mit viel Schrubben ging die Farbe nicht ab. Jeans, T-Shirt und Jacke waren ebenfalls verfärbt. Die konsultierten Ärzte und die Polizei waren ratlos. Helfen konnte erst die Naturschutzorganisation NABU, die schon lange die Auswirkung der verklappten Kampfmittel auf die Umwelt beobachtet. Tatsächlich hatte der Junge keinen Stein gefunden, sondern einen Brocken „Schießwolle 39“. Man kann nur hoffen, dass er keine bleibenden Schäden davontrug, denn die Substanz ist giftig. Ein Einzelfall war dieser Fund keineswegs.

Mit diesem Sprengstoff rüstete die deutsche Marine im Zweiten Weltkrieg Seeminen und die Sprengköpfe von Torpedos aus. Ein kleiner Teil der nach 1945 in der Kolberger Heide in der Ostsee deponierten 8000 Torpedo-Sprengköpfe und 10 000 Seeminen wurde inzwischen unter Wasser gesprengt, aus den Resten könnte das Strandmitbringsel des Jungen stammen.

Dieser Sprengstoff wird aus 45 Prozent Trinitrotoluol, das besser unter der Abkürzung TNT bekannt ist, 30 Prozent Ammoniumnitrat und 20 Prozent Aluminiumpulver gemischt. Weitere fünf Prozent bestehen aus Hexanitrodiphenylamin, das auch als Dipikrylamin oder „Kaisergelb“ bezeichnet wird, weil es Haut und Textilien intensiv gelb färbt. Diese Substanz schädigt die Haut und ist zudem krebserregend und toxisch. Außerdem reagiert die Schießwolle nach

so langer Zeit im Meerwasser sehr empfindlich auf Reiben oder Schlagen. Solche Funde sind daher alles andere als harmlos.

Gefährliche Altlasten

Ein weiterer Sprengstoff-Fund im April 2005 kostete drei Menschen das Leben: In der südlichen Nordsee hatte die Besatzung eines niederländischen Fischkutters mit ihren Netzen statt Fischen eine Bombe aus dem Zweiten Weltkrieg an Bord geholt. Nur drei der sechs Fischer überlebten die gewaltige Detonation der Ladung, allerdings schwer verletzt.

Die Lasten des Zweiten Weltkriegs bringen die Menschen Europas also auch noch sieben Jahrzehnte nach seinem Ende in Gefahr. Allein in den fünf Jahren von 2009 bis 2013 kamen an der Nordsee fast 2500 Mal Menschen mit Sprengstoff aus den Kriegsjahren in Kontakt, oft hatten sich Bomben und Minen in Fischernetzen verheddert.

Im Schlick und Sand vor den Urlaubsstränden lauert ein Risiko, das bislang niemand einschätzen kann. Das will der Umweltminister von Schleswig-Holstein ändern. Robert Habeck beauftragte Jens Sternheim und Claus Böttcher, sich um das Problem zu kümmern. Beide

Eine Seemine wird gesprengt. Rechts im Bild: ein Minenjagdboot der Deutschen Bundesmarine.





Den Meeresboden sicherer machen: Zwei Experten suchen auf den Monitoren eines Räumfahrzeugs die zukünftige Trasse der Kabelanbindung des Windparks Riffgat vor Borkum in der Nordsee nach Resten von Weltkriegsmunition ab. Elektronische Ortung und Kameras helfen dabei.

untersuchen zunächst, wie groß diese Altlasten überhaupt sind. „Immerhin wurde beim Militär akribisch Buch über die Munition geführt“, erklärt Jens Sternheim. Zwar wurden etliche Unterlagen in den Kriegswirren vernichtet oder verschwanden aus unterschiedlichen Gründen. Wer sich aber durch die Archive wühlt, findet genug Material für eine fundierte Schätzung.

Gewaltige Sprengstoffmenge

Allein im deutschen Bereich der Nordsee sollten demnach 1,3 Millionen Tonnen Kampfmittel liegen, weitere 300 000 Tonnen verbergen sich unter den Wellen vor den deutschen Ostsee-Stränden. „Das reicht, um einen 3000 Kilometer langen Güterzug zu beladen“, erklärt Jens Sternheim. Die mit Kampfmitteln gefüllten Wagen würden also theoretisch von Kiel bis in die türkische Hauptstadt Ankara stehen. Zu dieser gewaltigen Menge explosiver Stoffe kommen weitere 170 000 Tonnen chemischer Kampfstoffe wie Senfgas, Tabun und Phosgen, die in der Nordsee verklappt wurden, sowie rund 65 000 Tonnen solcher hochgiftigen Substanzen in der Ostsee.

Wie sich diese Substanzen verhalten, wenn ihre schützende Hülle verrotten ist und sie mit dem Salzwasser des Meeres in

Kontakt kommen, wissen Experten wie Claus Böttcher schon lange: Tabun wird zum Beispiel zu Benzoesäure abgebaut, die natürlicherweise in Preiselbeeren, Himbeeren, Heidelbeeren und Pflaumen vorkommt und die zum Haltbarmachen von Lebensmitteln verwendet wird. Auch das sehr reaktive Phosgen wird in wenigen Sekunden abgebaut.

Ganz anders sieht es beim Senfgas aus, das oft mit Kautschuk gemischt wurde, damit es besser an Haut und Kleidung der Opfer haftet. Am Meeresgrund ähnelt dieser Kautschuk einem Radiergummi, der in seinem Inneren das Senfgas über viele Jahrzehnte konserviert hat. Bricht die Gummihaut auf, verursacht es genau wie im Krieg schwere Hautschäden. Wenn Delfine mit solchen Kautschukbällen spielen, entwickeln sich an ihren Schnauzen bald große Geschwüre, die wie Brandwunden aussehen.

Große Explosionsgefahr

Im Gegensatz zu den chemischen Kampfstoffen ist über die Risiken der konventionellen Munition unter Wasser kaum etwas bekannt. Und dieses Wenige stimmt nicht gerade zuversichtlich. So haben sich die Sprengstoffe nach mehr als sieben Jahrzehnten unter Wasser deutlich verändert. Zum Beispiel sind im Laufe

der Jahre Pikrinsäure-Kristalle entstanden, die den Sprengstoff erheblich empfindlicher auf Erschütterungen reagieren lassen. „Die Energie einer zuschlagenden Tür kann dann unter Umständen ausreichen, um eine Explosion auszulösen“, erklärt Jens Sternheim. Der Sprengstoff wird dadurch deutlich gefährlicher, Taucher sollten also unbedingt ihre Finger von solchen Funden lassen.

Weil Erschütterungen die Munitions-Altlasten unter Wasser leichter explodieren lassen, ist das Bergen verklappter Munition sehr riskant. Wird der Sprengstoff an die Wasseroberfläche gehievt, verringert sich der Druck und Gase treten aus. Das ist zudem kaum ohne Erschütterungen möglich. Auch auf einem Weitertransport zur bundeseigenen Gesellschaft zur Entsorgung von chemischen Kampfmitteln und Rüstungsaltlasten GEKA in der Lüneburger Heide müssten solche Substanzen mit Samthandschuhen angefasst werden.

Das Problem wird verlagert

Wohin also mit dem gefährlichen Erbe aus dem Krieg? Spätestens wenn ein Off-Shore-Windpark geplant, ein Hafenbecken erweitert oder eine Pipeline für den Transport von Erdgas in der Ostsee verlegt wird, stoßen Experten bei der

Untersuchung des Untergrunds immer wieder auf Munitionsaltlasten. Tragen diese Zünder, die auch nach sieben Jahrzehnten unter Wasser noch funktionsfähig sein könnten, sind die hochspezialisierten Taucher der Kampfmittelräumdienste gefordert. Sie bringen dann eine kleine Ladung an, die solche Zünder mit einer Mini-Explosion absprengt.

An die Oberfläche hieven können sie den Fund trotzdem nicht, weil die Ausgasungen den Sprengstoff explodieren lassen könnten. Daher hängen die Spezialisten die Bombe an ein Seil und schleppen sie in rund zehn Meter Wassertiefe in ein Munitionsversenkungsgebiet. Während dort der Haufen mit den Hinterlassenschaften des Zweiten Weltkriegs wächst, kann im geräumten Gebiet der Windpark oder Hafen gebaut und die Pipeline oder das Stromkabel verlegt werden.

Was aber wird aus der Munition und den Sprengstoffen, die in solchen Unterwasser-Deponien geparkt werden oder die an anderen Stellen am Grund von Ost- oder Nordsee liegen? Kann und sollte man sie beseitigen?

Detonationen unter Wasser

Früher wurden solche Funde unter Wasser kurzerhand gesprengt. Allerdings entstehen beim Detonieren von einigen Hundert Kilogramm TNT gewaltige Druckwellen, die das Meeresleben im weiten Umkreis schädigen und viele Tiere töten. In großer Gefahr sind die in der Ostsee sehr seltenen Schweinswale, die noch vier Kilometer entfernt von der Detonation tödliche Verletzungen erleiden können. Und bis 30 Kilometer von der Sprengung entfernt wird das empfindliche Gehör der Tiere geschädigt, mit dem sie sich unter Wasser orientieren.

Auf Drängen der Naturschutzorganisation NABU ist in Schleswig-Holstein das Sprengen solcher Funde nur noch erlaubt, wenn die Druckwelle stark gedämpft wird. Dazu legt ein Schiff einen Schlauch in größerem Abstand um die Munition herum. Kompressoren drücken dort Luft hinein, die durch regelmäßige Löcher wieder aus dem Schlauch herausblubbert. Rund um die Explosion herum steigt so ein Vorhang aus Luftbläschen vom Meeresboden an die Wasseroberfläche. Dieser Blasenschleier dämpft die

Minen in der Kieler Bucht



C. Rehder/dpa/picture-alliance

Britische Flugzeuge haben im Zweiten Weltkrieg 3896 Minen in die Kieler Bucht abgeworfen, die am Meeresgrund auf ein- oder auslaufende Schiffe lauern sollten. Einige davon erreichten nie ihr Ziel, sondern fielen auf das angrenzende Land. Andere explodierten unter Wasser, wieder andere wurden irgendwann geräumt. Aber noch immer fehlen rund 700 dieser Minen. Viele davon dürften unter

der Wasserstraße liegen, die zu den meistbefahrenen der Welt gehört. Die Batterien ihrer Zünder sollten zwar inzwischen leer sein, für den Schiffsverkehr wären sie dann keine Gefahr mehr. Sollte aber eines der großen Fährschiffe oder ein Kreuzfahrtriese notankern müssen und dabei eine solche Uralt-Mine erwischen, könnte die immer noch explodieren.



Quelle: Heinrich Hirdes GmbH/dpa/picture-alliance

Rostige Gefahr: Diese Altmunition wurde im Mai 2012 aus der Nordsee geborgen. Sie lag auf der Kabeltrasse zum Windpark Riffgat nördlich der Ferieninsel Borkum. Nicht immer kann solche korrodierte Munition sicher gehoben werden – oft muss man sie vor Ort sprengen.



Übungseinsatz: Ein Minentaucher befestigt einen Sprengsatz an einer Seemine in der Ostsee am Marinestützpunkt der Bundeswehr in Eckernförde. Spezialisten wie er beseitigen Minen und andere Kampfmittel aus den Weltkriegen im Meer.

Kampfmittel im Meer

Ankertauminen bestehen aus einem runden oder ovalen Metallbehälter, der den Zünder und bis zu 350 Kilogramm Sprengstoff enthält. Am Meeresgrund verankert hat dieses Minengefäß genug Auftrieb, um von einem Drahtseil gehalten bis knapp unter den Wasserspiegel aufzusteigen. Berührt ein Schiff diese Mine, löst es den Zünder aus. Manchmal genügen auch schon Maschinengeräusche oder Veränderungen des Erdmagnetfeldes durch den stählernen Schiffsrumpf.

Grundminen sind meist Metallzylinder, die bis zu 850 Kilogramm Sprengstoff enthalten und auf dem Grund von Gewässern liegen. Ausgelöst werden die Zünder normalerweise durch Schiffsgeräusche oder durch Veränderungen des Magnetfeldes. Die dünnen Wände solcher Grundminen sind nach vielen Jahrzehnten im Salzwasser oft so stark korrodiert, dass der Sprengstoff offen liegt.

Wasserbomben sind meist tonnenförmig und enthalten bis zu 140 Kilogramm Sprengstoff. Beim Einsatz gegen U-Boote zünden diese Bomben oft bei einem bestimmten Wasserdruck und damit in einer bestimmten Tiefe. Andere Typen werden durch Veränderungen des Magnetfeldes gezündet.

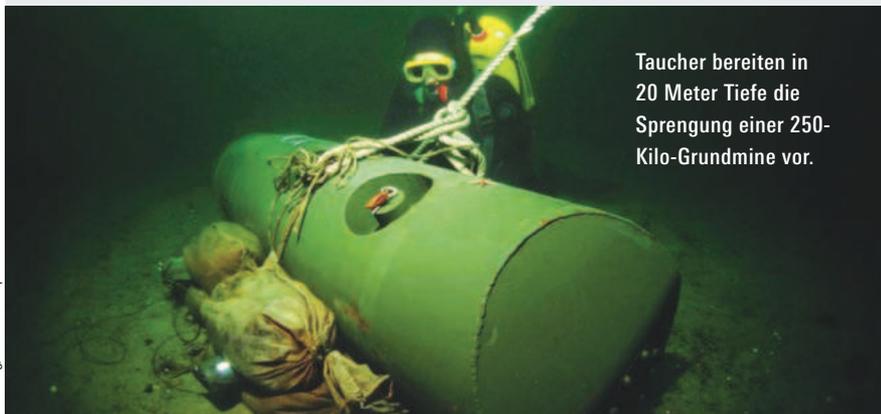
Stoßwelle der Detonation sehr stark, und Schweinswale sind nur noch im Umkreis von 400 Metern gefährdet.

Allerdings ist diese Methode nicht nur ziemlich teuer, sondern löst auch das Problem nur zum Teil. So wird das gefährdete Gebiet zwar drastisch um 97 Prozent verkleinert, aber es verschwindet nicht ganz. Und die Detonation vernichtet nicht den gesamten Sprengstoff, sondern lässt zum Teil erhebliche Mengen zurück, die durch die Explosion auch noch in der Umgebung verteilt werden. Schleswig-Holstein hat also triftige Gründe, das Sprengen der Munitionsfunde unter Wasser nur noch in Ausnahmefällen zuzulassen.

Hausarbeit mit Schall

Auf der Suche nach Partnern, die Lösungen für dieses Problem finden können, wurden Jens Sternheim und Claus Böttcher in der Nähe vom Kieler Umweltministerium fündig. Das GEOMAR-Forschungszentrum ist auf Untersuchungen des Meeresbodens und auf Analysen des Meerwassers und der darin schwimmenden Organismen spezialisiert. Allerdings wenden die Forscher ihre Methoden meist in fernen Meeren an. Das „Munitionsprojekt“ UDEMM beschert seinem Projektleiter Jens Greinert jetzt eine

Taucher bereiten in 20 Meter Tiefe die Sprengung einer 250-Kilo-Grundmine vor.



„Hausarbeit“ gleich vor den Toren des Instituts. Einen Teil dieser Hausaufgaben erledigen die Forscher mit einem „Fächercholot“. Wie ein normales Echolot tastet dieses Gerät den Untergrund mit Schallwellen ab. Aus der Zeit, die der Schall bis zum Meeresboden und wieder zurück zum Schiff braucht, berechnen Computerprogramme, wie tief das Meer an dieser Stelle ist.

Das Gerät sendet nicht nur einen einzigen Schallstrahl aus, sondern gleich einen ganzen Fächer von Schallstrahlen, die rechts und links zur Fahrtrichtung in die Tiefe geschickt werden. Auf diese Weise ermittelt das Fächercholot ein Profil des Meeresbodens auf beiden Seiten des Schiffes, das ein Computerprogramm während der Weiterfahrt dann zu einer Karte zusammensetzt.

Aufschlussreiche Karte

Auf einer solchen Karte ist ein rund 30 Meter langer, 9 Meter breiter und etwa 1,5 Meter hoher Hügel zu sehen, der aus vielen Kugeln zu bestehen scheint. „Das sind Ankertau-Minen, die nach Kriegsende auf ein Schiff geladen und an dieser Stelle verklappt wurden“, erklärt Jens Greinert.

Durch wiederholtes Abfahren des Gebiets können die GEOMAR-Forscher nicht nur die exakte Position der Munition bestimmen, sondern auch beobachten, ob etwa Unterwasserströmungen Kampfmittel langsam auf dem Meeresboden umlagern und ob die Strömungen eine Mine langsam verschütten oder sie umgekehrt freispülen.

Wie Sprengstoff wandert

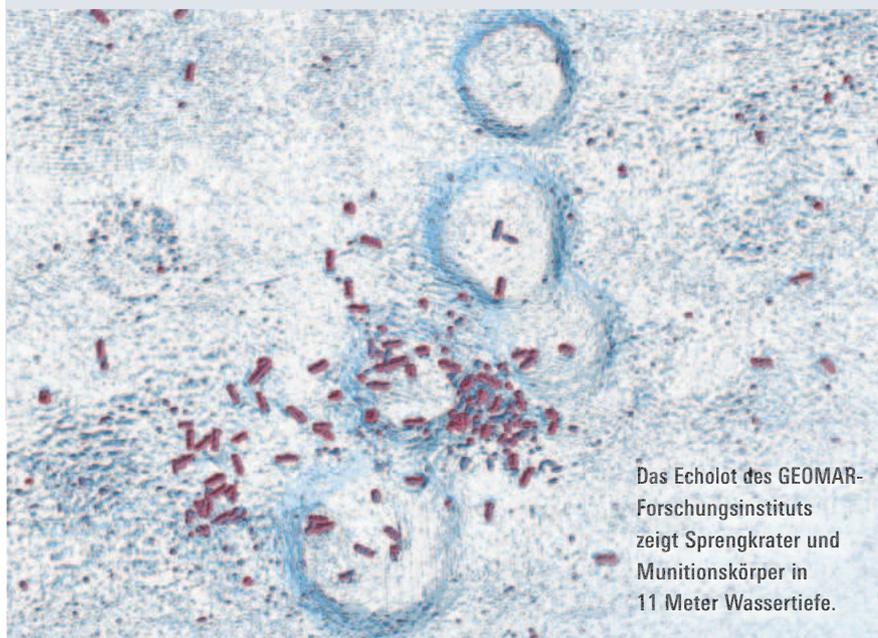
Zudem nehmen die Forscher immer wieder Wasserproben direkt an den Fundstellen der Munition und in einiger Entfernung und analysieren, welche Mengen des Sprengstoffs TNT und der daraus entstehenden Verbindungen darin enthalten sind. Schließlich sind diese Substanzen – ähnlich wie das in vielen Zündern enthaltene Quecksilber und Blei – nicht nur für viele Organismen giftig, sondern stehen auch im Verdacht, Krebs zu erzeugen.

Tatsächlich haben die Forscher im Wasser direkt neben einem Fund TNT und seine Abbauprodukte nachgewiesen.

Akribische Waffensuche

Mehr als sieben Jahrzehnte nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs sind viele militärische Hinterlassenschaften von Algen und Seesternen überwuchert oder liegen ein Stück unter dem Meeresboden. Um die Bomben und andere Munitionskörper zu finden, setzen Spezialisten Schallwellen ein, die ähnlich wie eine Ultraschalluntersuchung beim Arzt den Untergrund abbilden. Ein anderes Gerät misst Veränderungen im Magnetfeld der Erde, um verborgene Gegenstände aus Eisen oder anderen magneti-

schen Materialien im Untergrund aufzuspüren. Taucher untersuchen dann die verdächtigen Stellen und spülen den Gegenstand vorsichtig mit Wasserstrahlen frei. Im Norden der Ostsee wurden beim Bau der Nordstream-Pipeline auf diese Weise rund 100 Seeminen entdeckt, vor allem im Finnischen Meerbusen. Die meisten wurden an Ort und Stelle gesprengt, nachdem man mit Schallwellen dafür gesorgt hatte, dass eventuell in der Region schwimmende Schweinswale vertrieben wurden.



Das Echolot des GEOMAR-Forschungsinstituts zeigt Sprengkrater und Munitionskörper in 11 Meter Wassertiefe.

M. Kampmeier & J. Greinert, GEOMAR

Schon in fünf Meter Entfernung aber zeigten die Analysen nur noch sehr geringe Mengen des Sprengstoffs und in 50 Meter Entfernung ließ sich kein TNT aus der versenkten Munition mehr messen.

Zusätzlich untersuchen die Forscher am Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde, wie Strömungen, Wind und Wellen diese Substanzen verteilen, und studieren diese Transporte auch mit Computermodellen. Das liefert wichtige Daten, um Gefahren für die Umwelt abzuschätzen zu können.

Miesmuscheln für die Forschung

Toxikologen wie Edmund Maser von der Kieler Universität wissen, dass solche Sprengstoffe und die daraus entstehenden

Stoffe giftig sind. Enthält ein Liter Wasser nur drei Milligramm davon, können Fische sterben, und bereits ein Drittel dieser Konzentration behindert die Entwicklung junger Fische.

Aber werden diese Substanzen auch von Organismen im Meer aufgenommen? Um diese Frage zu beantworten, haben Edmund Maser und seine Kollegen Körbe mit Miesmuscheln unmittelbar neben offen am Grund der Kolberger Heide liegenden Sprengstoff-Brocken und einen Meter darüber aufgehängt.

Nach drei Monaten fanden die Forscher in jedem Gramm der Muscheln am Boden bis zu 300 Millionstel Milligramm TNT und seiner Abbauprodukte. Die sesshaften Tiere scheinen also den



Muscheln als Messinstrumente: An einer Grundmine sind Muschelsäcke befestigt, die alle drei Monate erneuert werden. Ziel der GEOMAR-Untersuchung ist es herauszufinden, ob die Muscheln Giftstoffe aus der Munition aufnehmen.



Jana Uhrich (2)

Risiko für Meeresfrüchte-Gourmets und Fischliebhaber kaum einschätzen, weil die Forscher dazu bisher wenige Daten gesammelt haben.

Immerhin kommen ein paar Hinweise aus chinesischen Sprengstoff-Fabriken, deren Arbeiter früher gehäuft von Blut- und Leberschäden, schwindendem Augenlicht, Hautausschlägen und Nervenleiden geplagt wurden. Obendrein kann TNT nachweislich das Erbgut verändern und Tumore wie Blasenkrebs auslösen.

Nachdenklich stimmen Edmund Maser die Ergebnisse von schwedischen Kollegen, die im Jahr 2014 Lachse in einem Teich untersucht hatten, der mit drei Milligramm TNT im Liter 60 Mal so viel Sprengstoff enthielt wie das Ostseewasser bei Sprengstoff-Funden. In jedem Gramm dieser Fische steckten bis zu 38 Tausendstel Milligramm TNT und seiner Abbauprodukte. Das war eine 100 Mal so hohe Konzentration wie bei den Miesmuscheln, die in den Verklappungsgebieten der Ostsee untersucht wurden. Nach einer ersten Modellrechnung ist Edmund Maser überzeugt: „Dieser Lachs sollte nicht verzehrt werden!“

Sprengstoff aus dem Wasser zu filtrieren. Schon einen Meter darüber aber sackt der Wert drastisch auf knapp neun Millionstel Milligramm in jedem Gramm Muschelgewebe ab.

Überraschende Ergebnisse lieferte die Untersuchung der Miesmuscheln, die einen Meter neben offen liegenden Sprengstoff-Brocken am Grund der Kolberger Heide befestigt waren. Bei ihnen fanden die Forscher ähnliche TNT-Mengen im Muschelgewebe wie am Brocken selbst. „Vielleicht haben frühere Sprengungen kleine Bröckchen der Schießwolle über den Meeresboden verteilt“, überlegt Edmund Maser.

Alarmierende Laborwerte

Wie andere Organismen im Meer mit dem Sprengstoff umgehen, ist bisher noch nicht untersucht. „Abgesehen von unseren Miesmuschel-Experimenten in der Ostsee kenne ich dazu nur Laborwerte“, sagt der Kieler Toxikologe Edmund Maser.

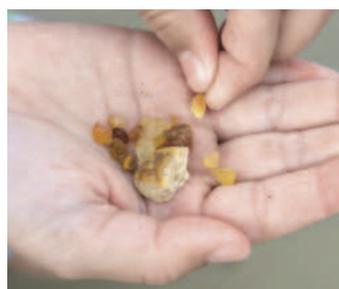
Forscher haben dazu Ruderfußkrebse, Garnelen, Würmer, Muscheln und Fische in Aquarien gehalten, deren Wasser bestimmte Mengen Sprengstoff enthielt. Ergebnis: Bei rund ein bis drei Milligramm TNT im Liter Aquariumswasser entwickelten sich diese Tiere nicht nur erheblich schlechter, sondern sie vermehrten sich auch deutlich weniger. In einem

Experiment mit drei Milligramm TNT pro Liter Wasser waren bereits nach einem Tag sämtliche Jungfische eingegangen. Da die Kieler Forscher in der Nähe von Munition im Ostseewasser immerhin ein Sechzigstel dieses Wertes fanden, sind Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere durchaus möglich.

Gefahr für den Menschen

Was Toxikologen immer wieder beobachten: Solche Schadstoffe reichern sich in der Nahrungskette an. Frist ein Fisch kleine Krebse, die ihrerseits Plankton verpeist haben, können sich bereits kleine Mengen gefährlicher Substanzen in ihm anreichern. Am Ende dieser Kette aber steht oft ein Mensch. Nur lässt sich das

Am Strand lauert Gefahr: Auf Usedom warnen Schilder vor Phosphorresten (rechts). Sie sind von Bernstein kaum zu unterscheiden.





Der Tauchroboter ROV soll die Trasse der Ostsee-Pipeline auf Munitions- und Giftgasreste untersuchen. Hier wird er vor der schwedischen Insel Gotland an Bord des Forschungsschiffs Pollux gehoben.

Nord Stream AG/ddp images/dapd

Air Force am 17. und 18. August 1943 die deutsche Heeresversuchsanstalt für Raketenforschung in Peenemünde angriff. Etwa 40 Prozent dieser Bomben landeten im Meer. Die Zünder lösten zwar aus und setzten den Brandsatz frei, aber der weiße Phosphor ging nicht in Flammen auf.

Mehr als eine Tonne dieser gefährlichen Substanz liegt seither am Grund der Ostsee. Offenbar wird der weiße Phosphor kaum abgebaut, und Stürme setzen immer wieder Brocken frei. Das Gefährliche: Mit bloßem Auge lassen sich diese Stücke kaum von Bernstein unterscheiden. Aber es reichen rund 34 Grad – und damit Körpertemperatur –, um den vermeintlichen Bernstein zu entzünden. Es kann also schlimme Folgen haben, wenn man solche vermeintlichen Bernsteinstücke in die Hosentasche steckt.

Stark giftig

Bis zu 1300 Grad Celsius erreichen diese Flammen, die zum Beispiel im Herbst 2004 einer Touristin bei Peenemünde schwere Brandverletzungen zufügten. Manchmal wird der weiße Phosphor auch in Schleswig-Holstein an den Strand gespült. So geschehen am 4. August 2017

am Wedeler Elbstrand und am 4. Oktober 2014 in St. Peter Ording. Faltblätter raten Bernsteinsammlern daher längst, ihre Funde nicht in die Hosentasche, sondern in Metallbehälter zu stecken, die bei einem Brand schnell weggeworfen werden können.

Obendrein ist weißer Phosphor auch noch stark giftig und wird über die Haut aufgenommen. Selbst wenn er sich nicht entzündet, gefährdet diese Hinterlassenschaft des Zweiten Weltkriegs also Strandbesucher. „Bereits 15 Milligramm dieser Substanz können einen Menschen vergiften, und 50 Milligramm können bereits den Tod bewirken“, erklärt Edmund Maser. Früher wurde die Substanz häufig als Rattengift eingesetzt.

Roboter sollen helfen

Angesichts solcher Risiken ist es keine gute Idee, die Munition weiter auf dem Meeresgrund verrotten zu lassen. Das Kieler Umweltministerium hat deshalb das Projekt RoBEMM („Robotisches Unterwasser-Bergungs- und Entsorgungsverfahren inklusive Technik zur Delaboration von Munition im Meer“) initiiert, mit dem Ziel, die Munition automatisiert zu entsorgen. Bisher verraten die Partner

– das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal bei Karlsruhe und Forscher der Leipziger Universität – nicht viel mehr als die Grundzüge dieses Verfahrens, weil sie dafür später Patente anmelden möchten. Demnach sollen die Sprengkörper bis in 35 oder 50 Meter Tiefe am Grund der Ostsee mit Wasserstrahlschneidern zerkleinert und verflüssigt werden. „Dann können sie nicht mehr explodieren, und die Flüssigkeit lässt sich an die Oberfläche pumpen“, erklärt Jens Sternheim. Dort werden die Substanzen dann auf schwimmenden Pontons bei hohen Temperaturen in Spezialöfen verbrannt.

Sollte RoBEMM wie geplant bis Ende 2018 als Prototyp zur Verfügung stehen, könnten bald Roboter mit den dringend nötigen Aufräumarbeiten am Grund von Ost- und Nordsee beginnen – und damit den Tauchern ihre lebensgefährliche Arbeit abnehmen.



ROLAND KNAUER ist Wissenschaftsjournalist in Ostdeutschland. Er erschrak, als er bei der Recherche von den großen Sprengstoffmengen im Meer erfuhr.

picture alliance/S. Sauer/dpa; picture alliance/Eventpress