

5.7 Die Nutzung von Öl- und Gasvorkommen in einer nahezu eisfreien Arktis

MANFRED A. LANGE

The utilization of oil and gas reservoirs in a nearly ice-free Arctic: The exploitation of arctic hydrocarbons represents on the one hand a significant, as yet largely untapped energy reservoir and on the other a potentially dangerous source of contamination of marine ecosystems. Similarly –and prompted by an increasingly retreating summer sea ice cover- enhanced shipping activities may pose significant environmental risks to the sensitive Arctic marine ecosystem. The spillage/leakage of oil in ice-covered-, but also in ice-free waters is of particular importance in this regard. Sea ice and the low air- and water temperatures reduces the natural degradation of oil and lead to an extensive distribution of contaminated ice in the Arctic Ocean as a result of ice drift and ocean circulation. Sea ice offers a unique habitat for especially adapted sea ice communities. These communities are of significant importance for the entire arctic food chain and are particularly vulnerable to oil contamination. Natural degradation processes are slow in the Arctic compared to mid-latitude conditions. Oil-combat technologies utilizing bioremediation through the provision of nutrients that enhance natural biodegradation processes have therefore been developed in recent years.

Hintergrund und Einleitung

Die Polargebiete galten lange als nahezu schadstofffrei und wurden als »Reinlabore« der Erde betrachtet. Dass diese Auffassung der Revision bedarf, ist bereits seit einigen Jahrzehnten bekannt und besonders eindringlich in den Berichten des *Arctic Monitoring and Assessment Programme* (AMAP) dargestellt (AMAP 1998 ff.). Für viele der beobachteten hohen Konzentrationen von Verunreinigungen ist der atmosphärische und hydrologische Transport von Schadstoffen aus den industriellen Zentren der Nordhalbkugel verantwortlich (s. Kap. 5.4 - KALLENBORN). Daneben nehmen aber die in der Arktis selbst freigesetzten Schadstoffe eine immer bedeutendere Rolle ein (z.B. ARCTIC CENTRE 1991). Hierbei ist insbesondere der Abbau und Transport natürlicher Ressourcen (Öl, Gas, metallische und mineralische Rohstoffe) hervorzuheben.

Das Problem von Ölunfällen in arktischen bzw. nordischen Gewässern hat vor allem im Zusammenhang mit der Erschließung von Ölvorkommen an der Nordküste Alaskas (Alaskan North Slope; Arctic Alaska Basin in Abb. 5.7-1) Anfang der 1980er Jahre verstärkt Beachtung gefunden. Die Nutzung von Öl- und Gaslagerstätten vor der nordnorwegischen bzw. der schottischen Küste erforderte ähnlich gelagerte Untersuchungen. Der schwere Ölunfall der Exxon Valdez im Prince William Sound vor Alaskas Küste im Jahre 1989, bei dem 11 Mio. Gallonen Rohöl (etwa 42.000 Kubikmeter) ins Meerwasser gelangten, hat mit Nachdruck die Fragen der Sicherheit bei Förder- und Transportvorgängen von Kohlenwasserstoffen in nordischen Gewässern zum Bewusstsein gebracht. Weitere Aktualität erlangt diese Frage durch die verstärkten Bemühungen der Russischen Föderation in den letzten Jahren, die Erdgas- und Erdölvorkommen in ihren nordischen und arktischen Regionen abzubauen. Diese Vorkommen (Abb. 5.7-1 und Tab. 1.8-2 im Kap. 1.8 - PIEPIJOHN) ha-

ben durch den Wegfall von Fördergebieten in ehemals zur Sowjetunion gehörigen Teilrepubliken erheblich an Bedeutung gewonnen. Aber auch in anderen Regionen des arktischen Beckens finden sich erhebliche Öl- und Gas Vorkommen, etwa in den arktischen Regionen Alaskas und dem East Barents Basin (Abb. 5.7-1 und Tab. 1.8-2 im Kap. 1.8 - PIEPIJOHN), die zunehmend für die Produktion erschlossen werden. Noch ambitioniertere Pläne werden von der norwegischen Regierung verfolgt, die in absehbarer Zukunft beabsichtigt, die Förderung von Kohlenwasserstoffen komplett im Rahmen der Ausbeutung des Snøhvit-Felds in der Barentssee auf den Meeresboden zu verlagern. Damit würden zwar Schwierigkeiten, die sich bei der Förderung im eisbedecktem Wasser ergeben umgangen, aber die Risiken eines Unfalls an einer solchen untermeerischen Förderstelle wären immens. Käme es zu einem blow-out, so wäre der Eintrag von Öl und Gas ins umgebende Wasser nur sehr schwer zu stoppen.

Als Folge der sich weiter beschleunigenden globalen Erwärmung, haben ich in den letzten Jahren die Meereisbedingungen im arktischen Ozean drastisch verändert. Am deutlichsten wird dies an der weiter schrumpfenden sommerlichen Meereisdecke (Abb. 5.7-2) (s. auch Kap. 2.8 - NOTZ). Daneben wird der fortschreitende Rückgang der mittleren Meereismächtigkeit beobachtet, der dazu führt, dass der Anteil mehrjähriger Meereises ebenfalls ständig zurück geht. Dadurch wird dem weiteren Rückgang der Meereisbedeckung im folgenden Sommer der Boden bereitet.

Dies hat zum einen maßgeblichen Einfluss auf die physischen aber auch die meeresbiologischen Bedingungen im Arktischen Ozean und darüber hinaus auf die, durch die Arktis beeinflussten Klima- und Wetterprozesse. Eine – zumindest für einige – positive Konsequenz dieser Entwicklung liegt darin, dass weite Bereiche der arktischen Küste nun für mehrere Mo-

nate eisfrei bleiben und damit eine nahezu problemlose Schifffbarkeit der Nordost-Passage (engl.: The Northern Sea Route) und nicht in gleichem Umfang, aber dennoch unübersehbar, auch der Nordwest-Passage möglich wird.

Dadurch ergeben sich jedoch weitere potentielle Umweltgefahren aufgrund des wachsenden Umfangs von Schiffspassagen entlang dieser beider Seewege. Die Aussicht auf eine zumindest im Sommer vollständig eisfreie Arktis hat bereits zu Überlegungen in Richtung

auf transpolare Schiffsrouten geführt. Die finanziellen Einsparungen durch deutlich verkürzte Schiffszeiten im Vergleich zu heute üblichen Routen bietet erhebliche Anreize für den internationalen Schiffsverkehr. Auch wenn es bei erhöhter Verkehrsdichte nicht zu Unfällen kommt, hat der Schiffsverkehr durch das gewollte oder ungewollte Einleiten von Öl und Ölprodukten einen steten Eintrag von Schadstoffen ins Oberflächenwasser zur Folge.

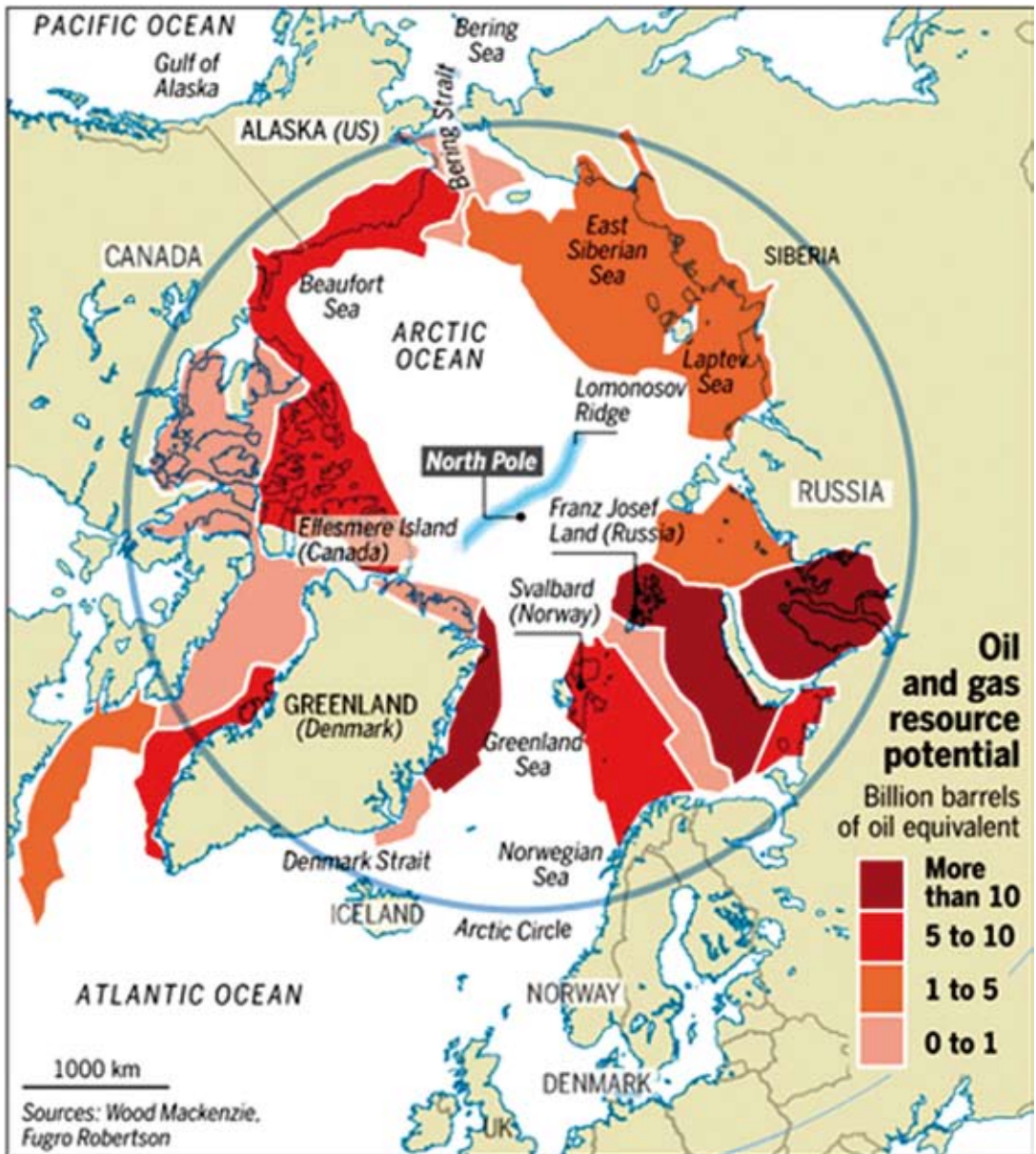


Abb. 5.7-1: Die wichtigsten öl- und ergashöffigen Regionen des Arktischen Beckens (Wood Mackenzie, Fugro Robertson; entnommen von: <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/0e9c013c-b713-11dd-8e01-0000779fd18c.html#axzz2jPq5LrVP>).

Im Folgenden will ich mich auf das Problem der Wechselwirkung zwischen Öl bzw. Ölprodukten und dem arktischen Meereis konzentrieren. Dabei soll zunächst sowohl das Meereis als auch das Öl in ihren wichtigsten Eigenschaften kurz vorgestellt werden. Dem schließt sich eine knappe Darstellung der Meereis-lebensgemein-schaften an. Schließlich soll das Gefährdungspotential für diese Lebensgemeinschaften durch das Öl und Möglichkeiten seiner Beseitigung durch natürliche und gezielte Prozesse beschrieben werden. Aufgrund der Platzbeschränkung haben diese Darstellungen nicht mehr als kursorischen Charakter. Weitere Informationen zu diesen Themen können in einer Reihe von Übersichtsartikeln gefunden werden (AMAP 1998 - Kap. 10, LANGE 2002, OPEN-UNIVERSITY-COURSE-TEAM 1991, RUOKONEN & LANGE 1996, SYDNES 1991).

Meereis und Öl

Meereis bildet eine wichtige Komponente der physischen Umwelt in den Polarregionen und stellt daneben ein wichtiges Habitat für das marine Ökosystem dar (AMAP 1998). Als Teil der polaren Umwelt ist Meereis in seinen Charakteristika eher heterogen, im Jahresgang großen Schwankungen unterworfen und

weitgehend vom Alter und der Deformationsgeschichte des Eises abhängig.

Die deutlich ausgeprägte Saisonalität zeigt sich vor allem in der Änderung der räumlichen Ausdehnung der arktischen Meereisdecke, die zwischen 16 Mio. km² im Winter und ehemals 9 Mio. km², in den letzten Jahren nicht mehr als 5,5 Mio. km², im Sommer variiert. Im Sommer werden erhebliche Anteile der oberflächenschichten abgeschmolzen und bilden, auch biologisch besiedelte Schmelztümpel, die zum Teil durch den aufgeweiteten Poren- und Klüfteraum des Meereises entwässert werden. Die noch verbleibende Meereisdecke bildet im folgenden Winter den Kern einer mehrjährigen Eisdecke. Meereis ist in der Regel nicht ortsfest sondern wird durch atmosphärische und ozeanische Zirkulationen angetrieben und bewegt. In der Arktis kommt es zur Ausprägung großskaliger Bewegungsmuster, von denen die Transpolardrift und der Beaufort-Wirbel die prominentesten sind (GORDIENKO & LAKTIONOV 1969). Der größte Teil des arktischen Meereises wird im Zuge der Transpolardrift durch die Framstraße in den Nordatlantik eingeleitet. Dort kommt es zum vollständigen Abschmelzen und den Eintrag des Schmelzwassers in den Nordatlantik.

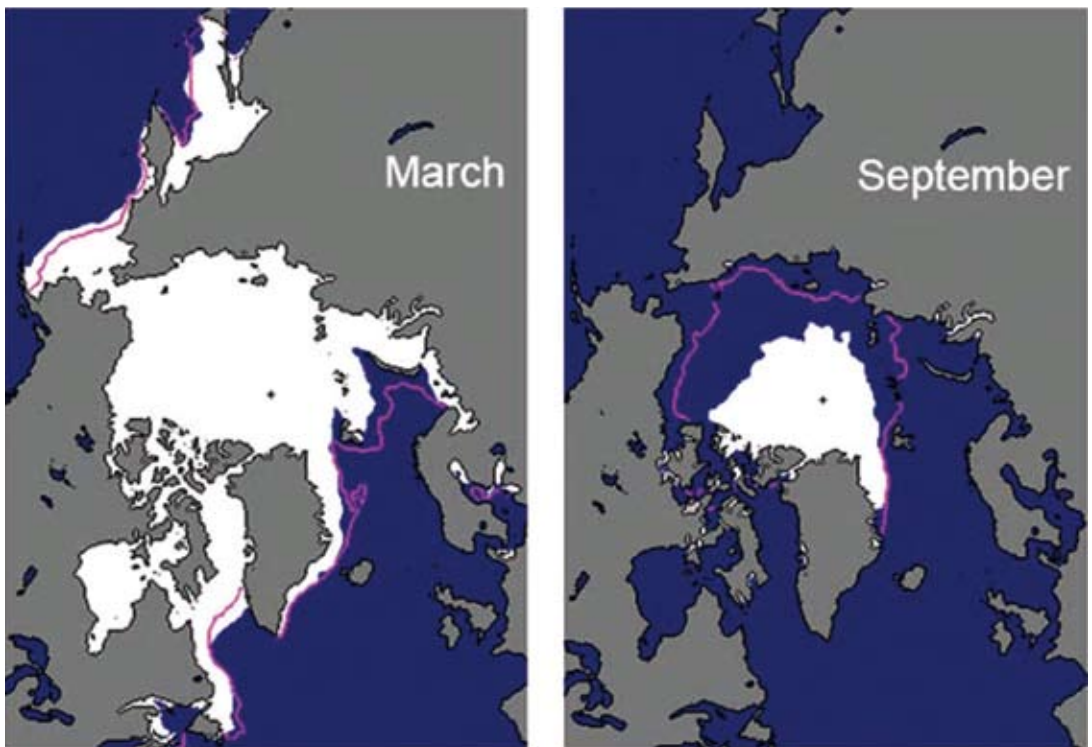


Abb. 5.7-2: Meereisausdehnung (weiß) im März und September 2012, dem Wintermaximum bzw. dem Sommerminimum. Die violette Linie zeigt die mittlere Meereisausdehnung der gleichen Monate für die Jahre 1979-2000 an (NSIDC Sea Ice Index; http://nsidc.org/data/seaice_index).

Bei der Bildung von Meereis aus Meerwasser wird ein Teil der im Meerwasser enthaltenen Salze an eine Flüssigphase abgegeben (Salzlauge, engl. brine), die zum Teil in der Eismatrix verbleibt zum Teil aber an den Ozean abgegeben wird (WEEKS & ACKLEY 1982). Die im Eis verbleibende Salzlauge sammelt sich in Salzlagentaschen oder -kanälen, die teilweise miteinander verbunden sind und damit zum Transport der Salzlauge durch das Eis beitragen. Diese an Nährstoffen reichen Porenräume sind von besonderer Bedeutung für die Meereislebensgemeinschaften, bilden aber zugleich auch Transportwege für das ins Eis eingedrungene Öl.

Rohöl besteht aus einer Mischung unterschiedlicher organischer Komponenten, die vor allem gesättigte Kohlenwasserstoffe, aromatische Kohlenwasserstoffe und Asphaltene umfassen. Diese drei Komponenten unterscheiden sich deutlich in ihren jeweiligen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Daher hängt der Grad der Beeinträchtigung der polaren Umwelt durch einen Öleintrag von den spezifischen Eigenschaften des Öls und insbesondere von der mengenmäßigen Verteilung dieser Komponenten ab. Dies hat auch Konsequenzen für die bei der Ölbekämpfung einzusetzenden Methoden und Techniken.

Die Verwitterung von Öl und Ölprodukten ist stark von der herrschenden Temperatur abhängig und unter polaren Bedingungen als ein sehr langsamer Prozess anzusehen (AMAP 1998 - Kap.10, RUOKONEN & LANGE 1996). In einem experimentellen Ölunfall waren nach 9 Monaten nur 5% des eingebrachten Öls durch Biodegradation zersetzt. Auch die sonst im offenem Wasser anzutreffende großflächige Verteilung, die einen chemischen oder photochemischen Abbau begünstigen würde, wird in eisbedeckten Gewässern als Folge der tiefen Temperaturen und damit einhergehenden geringen Reaktionsraten von Abbauprozessen weitgehend unterbunden.

Ein weiterer, bisher weniger beachteter Nebeneffekt der Nutzung arktischer Kohlenwasserstofflagerstätten liegt in der Emission von rußigem Kohlenstoff (engl.: sooty black carbon) durch das Abfackeln von Erdgas an Öl- und Erdgasförderstätten. Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass nicht weniger als 40% der gesamten Ablagerungen von rußigem Kohlenstoff aus lokalen Quellen innerhalb des Arktischen Beckens stammen. Die Ablagerung dieser Substanzen auf Schnee- und Eisoberflächen führt zu einer erheblichen Reduktion der Albedo (des Rückstrahlvermögens) und damit zu der verstärkten Aufnahme von solarer Energie. Diese beschleunigt Schmelzvorgänge und damit den weiteren Rückgang der Meereisdecke in der Arktis (MARSHALL & CLIMATEWIRE 2013).

Die arktische Meereis-lebensgemeinschaft

Sobald vorhanden, bildet Meereis ein Habitat für eine ganze Reihe von Organismen im marinen Ökosystem der Arktis. Während das Innere des Eises durch eine speziell angepasste Meereislebensgemeinschaft (HORNER 1985) besiedelt wird, dient die Meereisoberfläche als Lebensraum für Vögel und Säugetieren. Die Unterseite des Meereises dient als Substrat für das Wachstum von Untereislebensgemeinschaften die wiederum die Nahrungsgrundlage für den Krill sowie für Fische dienen.

Der Übergang von Meereis zu Ozean bildet eine ausgezeichnete und zugleich auch sehr weit ausge-dehnte Grenzschicht im Arktischen Ozean. Die Meereisunterseite ist ökologisch vergleichbar dem flachen Ozeanboden mit einer gut ausgeprägten Benthos-Lebensgemeinschaft. Die poröse Kristallmatrix der unteren Meereisschicht ist durch relativ hohe Lichtmen-gen und hohe Nährstoffgehalte charakterisiert und



Abb. 5.7-3: Schematische Darstellung der vielfältigen Ablagerungsmöglichkeiten von Öl im meereisbedeckten Ozean und damit verbundene Prozesse (nach BOBRA & FINGAS 1986).

bildet damit ein ideales Substrat für biologische Aktivitäten. Dies gilt, wie weiter unten ausgeführt wird, nicht für die Bakterienflora, die besondere Bedeutung für den Abbau von ins Wasser eingetragenen Öls hat. Die Untereisgemeinschaft hängt in Zusammensetzung und Biomasse von Faktoren wie der Mächtigkeit der Oberflächenschneeschicht, der Meereismorphologie, der Distanz von der Küstenlinie, der Jahreszeit und der geographische Position ab.

Die sog. Eisalgen (pflanzliches Plankton) der Meereisgemeinschaft bilden die Grundlage für die gegen Ende des Winters einsetzende Frühjahrsblüte im Arktischen Ozean. Ihre Produktivität während der relativ kurzen Periode von April bis Mai erreicht zwischen 6 und 33% der gesamten Primärproduktion des Jahres. Entsprechend ihres Aufenthaltsortes unterscheidet man Boden-, interne- und Oberflächen- Lebensgemeinschaften. Licht, Nährstoffkonzentrationen, Temperatur und Salzgehalt sind die wichtigsten, die Eisalgen beeinflussenden Umweltgrößen.

Die Eisfauna umfasst Organismen unterschiedlicher Vertebratenfaunen. Diese werden vor allem vom saisonalen Wechsel in den Umweltfaktoren beeinflusst, die sich auch auf die Reaktion des Zooplanktons auf Ölkontamination auswirken. Ihre unterschiedlichen Größenklassen sind die Makrofauna ($>0,5$ mm), die Meiofauna (0,062–0,5 mm) und die Mikrofauna ($<0,062$ mm). Die Mikrofauna wird durch die Protozoen und hier vor allem die Ziliaten dominiert. Bisher wurden vier Hauptarten der Makrofauna als Untereisgesellschaft identifiziert. Zooplankton bildet die Verbindung zwischen Primärproduzenten und der Vertebratenfauna und es wird vor allem vom saisonalen Wechsel in den Umweltfaktoren beeinflusst. Dieser wird sich auch auf die Reaktion des Zooplanktons auf Ölkontamination auswirken. Da Zooplankton die Salzlaugenkanäle als Migrationswege innerhalb des Meereises nutzt, ergibt sich durch das Eindringen von Öl in diese Kanäle eine besondere Gefährdung (für weitere Details, siehe RUOKONEN & LANGE 1996).

Gefährdungspotentiale

Ölunfälle durch schadhafte Pipelines oder Leckagen von Tankschiffen in eisbedeckten Gewässern stellen eine besondere Gefährdung der polaren Umwelt dar und sind grundsätzlich anders zu behandeln als solche in offenem Wasser. Dies liegt zum einen an der nur langsamen Zersetzung des Öls unter arktischen Bedingungen. Daneben aber haben eine Reihe spezifischer Eigenschaften und Prozesse des Meereisregimes (Abb. 5.7-2) einen wichtigen Einfluss auf die letztendlichen Konsequenzen eines Öleintrags für das arktische marine Ökosystem (AMAP 1998 - Kap. 10, RUOKONEN &

LANGE 1996). So führt die großskalige Bewegung des Meereises über den Zeitraum einiger Jahre zu einer weiträumigen Verbreitung des kontaminierten Eises und damit zu einer Gefährdung, die in ihrer räumlichen Ausdehnung weit über den Ort des Öleintrags hinausgeht. Die durch Oberflächenwinde hervorgerufenen Bewegungen der Eisdecke führen zur Konzentration des Öls in offenen Wasserstellen (sog. Waken und Rinnen; engl. leads) und haben damit eine besondere Gefährdung des marinen Ökosystems an diesen – biologisch oft besonders aktiven – Stellen zur Folge. Gelangt Öl auf die Eisoberfläche, so vermischt es sich in der Regel mit dem dort vorhandenen Schnee und wird damit weitgehend resistent gegen Verbrennung oder Dispersion unter Einsatz chemischer Tenside. Öl an der Eisunterseite wird entweder durch nachfolgende Gefriervorgängen oder aber durch Kapillarbewegung in den Porenraum des Eises eindringen. Aufgrund der hohen Absorptivität von Meereis (etwa 25% des Gesamtvolumens) können erhebliche Mengen des vorhandenen Öls im Eis eingeschlossen werden.

Abb. 5.7-3 zeigt (von rechts nach links) in schematischer und beispielhafter Form die zeitliche Entwicklung der Wechselwirkung zwischen eingetragenen Öl und einer Meereisdecke, beginnend im Sommer mit der Bildung von Schmelztümpeln auf dem Eis. Mit dem Schmelzen verbunden ist eine Aufweitung der Porenräume und der Salzlaugenkanäle, in die das Öl-Wassergemisch direkt ins Eis eindringen kann. Im folgenden Winter kommt es, auch durch dynamische Verformungs- und Kollisionsprozesse der Eisdecke zu einer Umverteilung des Öls und zur Bildung schwerer Komponenten (sog. mousse – ein hochviskoses Öl-Wassergemisch mit einem hohen Meerwasseranteil; Abb. 5.7-3), die in tiefere Schichten des Ozeans absinken können. Die Bildung größerer offener Rinnen und Waken in den Sommermonaten (Abb. 5.7-3) erlaubt die partielle Verdunstung der leicht flüchtigen Komponenten des Öls in den Waken. Der nachfolgende zweite Winter führt dann zur Anreicherung des (spezifisch leichteren) Öls an der Unterseite der Meereisdecke und ggf. zum Aufsteigen an die Eisoberfläche durch größerskalige, dynamisch entstandene Spaltenstrukturen. In allen Phasen der Entwicklung ergeben sich besondere Gefährdungen für die Meereisgemeinschaften: an der Grenze Eis-Schneeaufgabe im Frühjahr und Sommer, im Porenraum des Eises im Sommer und Herbst sowie an der Meereisunterseite im Winter.

Bei der Beurteilung der Langzeiteffekte eines Ölunfalls ist daher der Zeitpunkt des Öleintrags von erheblicher Bedeutung. Den schlimmstmöglichen Fall bildet ein großer Ölunfall in der Nähe einer biologisch, hochaktiven Zone während der Frühjahrsblüte etwa in

einer Polynya oder in der Meereisrandzone. Ein Ölunfall in einer weitgehend geschlossenen Packeisdecke in den Wintermonaten wird dagegen nur moderate unmittelbare Auswirkungen haben. Allerdings führt die bereits erwähnte sehr langsame Zersetzung des Öls dazu, dass die Folgen solcher Unfälle lediglich verschoben und dann im nächsten Frühjahr zum Tragen kommen. So führt die dann einsetzende Vermischung des Öls mit dem aufbrechendem Meereis zum Eintrag des Öls in den Ozean. Eine Gefährdung ganz neuer Dimension ergibt sich falls es zu der oben bereits erwähnten untermeerischen Ausbeutung von Kohlenwasserstoffvorkommen kommt. Sollte es dabei etwa im Winter zu einem Blow-out kommen, wäre dieser erst mit erheblicher Verspätung zu stoppen. Das dabei austretende Öl würde sich unter der Meereisdecke sammeln und bis zur Eisschmelze dort verbleiben.

Selbstreinigungsprozesse und technologische Ansätze

Welche natürlichen Prozesse mildern die Auswirkungen eines Ölunfalls im eisbedeckten arktischen Ozean und welche Technologien stehen heute für die Bekämpfung eines solchen Unfalls zur Verfügung? Dies ist eine Thematik, der man sich gerade angesichts der eingangs geschilderten Problemlage in den letzten Jahren vermehrt gewidmet hat (für mehr Details siehe LANGE 2002, OPEN-UNIVERSITY-COURSE-TEAM 1991, RUOKONEN & LANGE 1996, SYDNES 1991).

Natürliche Verwitterungs- und Zersetzungsprozesse von Öl in offenen Gewässern der mittleren und niederen Breiten umfassen die Ausbreitung, die Evaporation, die Lösung von eingetragener Öl und die Dispersion von Öltröpfchen in der Wassersäule. Hinzu kommen Zersetzungsprozesse durch die photochemische Oxidation von Öl und die Bildung von Wasser-in-Öl-Emulsionen, der natürliche mikrobielle Abbau, die Adsorption von Öl an Schwefelpartikeln sowie das Absinken des Öls und seine Sedimentation zum/am Meeresboden. Obgleich manche dieser Prozesse auch im eisbedeckten Ozean möglich sind, beobachtet man dort erheblich reduzierte Abbauraten und stark verlangsamten Zersetzungsprozesse, vor allem aufgrund der geringen Reaktionsraten als Folge der relativ tiefen atmosphärischen und ozeanischen Jahresmitteltemperaturen.

Insbesondere Prozesse wie die Verdunstung, die in mittleren Breiten zu erheblichen Abbauraten führen, spielen in eisbedeckten Regionen nur eine sehr geringe Rolle. Dies führt dazu, dass leicht flüchtige Komponenten in der Flüssigphase gelöst bleiben und/oder über den Einschluss des Öls in die bodennahe Eisschicht in den Meereisporraum eindringen, wo sie zu einer erheblichen Gefährdung für die Meereisorganismen

beitragen. Photooxidation ist in der Arktis als Folge der deutlichen Saisonalität in der solaren Einstrahlung auf die wenigen Sommermonate beschränkt. Dann allerdings werden Reaktionsraten erreicht, die aufgrund der langen Sonnenscheindauer erheblich über denen liegen, die in mittleren Breiten beobachtet werden. Die natürliche Biodegradation wird dagegen aufgrund der in der Arktis herrschenden Umweltbedingungen und der häufig unzureichenden Nährstoffbereitstellung nicht den Stellenwert einnehmen, der ihr in mittleren und niederen Breiten zukommt. Es muss daher damit gerechnet werden, dass eine nennenswerte natürliche Zersetzung von Öl in arktischen Gewässern sich über einen Zeitraum von Jahrzehnten erstreckt, während in mittleren Breiten bereits nach wenigen Jahren ein signifikanter Abbau des Öls zu beobachten ist.

Umso wichtiger sind daher technische Lösungen, die im Laufe der letzten ein bis zwei Jahrzehnte entwickelt wurden (siehe RUOKONEN & LANGE 1996), um Ölunfälle in eisbedeckten Gewässern wirkungsvoll zu bekämpfen. Grundsätzlich stehen vier technische Ansätze zur Verfügung: (i) mechanische Entfernung des Ölteppichs durch dessen Eindämmung und anschließendes Abschöpfen oder Abpumpen, (ii) der Einsatz chemischer Substanzen zur Zersetzung des Öls, (iii) die Eindämmung und anschließende Verbrennung des Öls sowie der künstlich hervorgerufene mikrobielle Abbau von Öl durch den Einsatz und die Aussetzung von speziellen Organismen im ölverseuchten Meeresgebiet. Dabei geht man zunächst von den Techniken aus, die für eisfreie Gebiete angewendet werden und versucht, sie an die in der Arktis herrschenden Bedingungen anzupassen. Eine der wichtigsten im offenen Wasser angewandten Techniken ist das Verbrennen des Öls an der Wasseroberfläche. Dieses Verfahren lässt sich in eisbedeckten arktischen Gebieten aber nur sehr bedingt einsetzen. Die chemische Dispersion von Öl wird durch die Beigabe von Chemikalien erreicht, mit deren Hilfe die Oberflächenspannung zwischen Öl und Wasser reduziert und damit eine Auflösung des Öls in kleine Tröpfchen möglich wird. Auch diese Methode ist für eisbedeckte Meeresoberflächen nur von untergeordneter Bedeutung. Daher ist man weitgehend auf den gezielten Einsatz von Organismen zur Beseitigung von Verunreinigungen und Schadstoffen (induzierte Bioremediation) übergegangen. Dabei wird die natürliche Biodegradation von Kohlenwasserstoffen deutlich verstärkt, indem zum einen Nährstoffe für die vorhandenen ölabbauenden Organismen bereitgestellt und zum anderen (oder auch alternativ dazu) große Mengen von ausgesuchten Mikroorganismen gezielt an der Ölunfallstelle in das Oberflächenwasser eingetragen werden. Die Bereitstellung von Nährstoffen hat sich heute als

die erfolgversprechendste Methode durchgesetzt. Sie wurde in einer Reihe von Feld- und Laborstudien untersucht und wird ständig weiterentwickelt (für weitere Informationen, siehe RUOKONEN & LANGE 1996).

Schlussfolgerungen

Der Abbau der arktischen Kohlenwasserstofflagerstätten erschließt auf der einen Seite ein bedeutendes, noch weitgehend ungenutztes Energiereservoir und bildet auf der anderen Seite ein erhebliches Gefährdungspotential für die polare Umwelt. Dabei spielen Ölunfälle in eisbedeckten Meeresgebieten eine besonders wichtige Rolle. Meereis behindert und verlangsamt einerseits den natürlichen Abbau eingetragenen Öls. Andererseits führt die großräumige Bewegung des Eises im Arktischen Ozean dazu, dass einmal eingetragenes Öl über eine Fläche verteilt wird, die weit über die vom Ölunfall direkt betroffene Fläche hinausgeht.

Meereis bildet den Lebensraum für eine speziell angepasste, vielfältige Meereislebensgemeinschaft, die für die gesamte arktische Nahrungskette von erheblicher Bedeutung ist. Der Eintrag von Öl in eisbedeckte Meeresgebiete stellt daher eine besondere Gefährdung für diese Organismengruppen und das marine Ökosystem dar. Dabei spielt der Zeitpunkt des Eintrags von Öl innerhalb des Jahresgangs sowohl für dessen Auswirkungen auf die Biosphäre als auch für seinen möglichen Abbau eine erhebliche Rolle.

Die durch den Klimawandel eingeleiteten Veränderungen im Meereisregime der Arktis, insbesondere die stetig sich verringemde Ausdehnung der sommerlichen Meereisdecke hat positive, wie auch negative Auswirkungen auf die Umweltsicherheit. Während mehr und mehr offenes Wasser die Bekämpfung von Ölunfällen in der Arktis erleichtert, erhöht die jetzt schon steigende Anzahl von Schiffsbewegungen und die Aussicht auf transpolare Schiffrouten insgesamt das Gefährdungspotential für arktische marine Ökosysteme.

Die natürlichen Selbstreinigungsprozesse, die zum Abbau des Öls in mittleren Breiten führen, laufen in der Arktis auf erheblich langsameren Zeitskalen und mit verminderten Reaktionsraten ab. Umso wichtiger werden technische Ansätze der Bekämpfung von Ölunfällen. Hier hat sich die induzierte Bioremediation durch die Bereitstellung von Nährstoffen für die Verstärkung der natürlichen Biodegradation von Kohlenwasserstoffen als wirkungsvollste Methode herausgestellt.

Literatur

- AMAP (1998): AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues.; Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, xii+859 S.
- ARCTIC-CENTRE (1991): The State of the Arctic Environment Reports; Arctic Centre, University of Lapland; Arctic Centre Publications, Rovaniemi, Finland, 405 S.
- BOBRA, A. M. & M. F. FINGAS (1986) The Behavior and Fate of Arctic Oil Spills, *Water Science Technology*, 18 (2), 13-23.
- GORDIENKO, P. A. & A. F. LAKTIONOV (1969) Circulation and physics of the Arctic Basin water. In: GORDON, A. L. & F. W. G. BAKER (eds.): *Annals of the International Geophysical Year, Oceanography*, Pergamon, New York, 46, 94-112.
- HORNER, R. A. (1985): *Sea Ice Biota*; CRC Press, Boca Raton, 215 S.
- JUMPPANEN, P., V. K. MÄKINEN & R. A. SAARIKOSKI (1989): The role of new technology in the exploitation of arctic oil and gas resources. In *Proceedings of 14th World Energy Conference, Montreal, 1989, Paper 4.2.15.*
- LANGE, M. A. (2002): Sea ice contamination: A review. In: SQUIRE, V. & P. LANGHORNE (eds.): *Ice in the Environment. Proceedings of the 16th International Symposium on Ice, Dunedin, New Zealand, 2-6 December 2002; Volume 3.* IAHR and University of Otago, Dunedin, New Zealand, 152-162.
- MARSHALL, C. & CLIMATE WIRE (2013): Oil and gas-production drives arctic ice melt, *Scientific America*. (<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=oil-and-gas-production-drives-arctic-ice-melt>)
- OPEN-UNIVERSITY-COURSE-TEAM (1991): The Arctic Ocean: Ice, oil and sovereignty. In: *Case Studies in Oceanography and Marine Affairs*; Pergamon Press in Association with Open University, England, 94-159.
- RUOKONEN, M. & M. A. LANGE (1996): Environmental Problems Related to Oil on and in Arctic Sea Ice: A Literature Survey and Synopsis, Arctic Centre, University of Lapland, Rovaniemi, Finland, 28 S.
- SYDNES, L. K. (1991): Oil, water, ice and light, *Polar Research*, 10 (2), 609 - 618.
- WEEKS, W. F. & S. F. ACKLEY (1982): The growth, structure, and properties of sea ice, U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH, USA.

Kontakt:

Prof. Dr. Manfred Lange
The Cyprus Institute (Cyl)
Energy, Environment and Water Research Center (EEWRC)
director.eewrc@cyl.ac.cy