

Abbau von Erdöl durch Bakterien

Grundlegendes aus mikrobiologischer Sicht

Friedrich Widdel
Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, Bremen

Eine Ölkatastrophe stellt Verantwortliche, Beteiligte und Umweltschutz vor große technische und organisatorische Herausforderungen: Austritt und Ausbreitung müssen umgehend eingedämmt werden. Das ausgetretene Öl ist so weit wie möglich zu sammeln – ein aufwändiges Unterfangen, vor allem, wenn schon die Küsten betroffen sind. Doch was passiert mit dem bereits weit verteilten Öl, das als dunkle, oft schillernde Schicht Wasser und Küstenboden bedeckt und nicht mehr gesammelt werden kann? Dass Ölschichten nach und nach verschwinden, jedenfalls größtenteils, dass sich die Umwelt allmählich „selbst“ reinigt, ist Bakterien zu verdanken, die das Öl mit Sauerstoff abbauen. Bei plötzlichen, sehr massiven Verschmutzungen gibt es jedoch Abbauprobleme. Deshalb wird bei einer Ölkatastrophe über Erdöl-abbauende Bakterien viel diskutiert: Was für Bakterien sind das? Wo und wie leben sie? Könnte man sie gezielt zur Bekämpfung der Ölverschmutzung einsetzen? Kann man sie züchten? Wie kann sich der Sauerstoffverbrauch aufs Ökosystem auswirken? So vielfältig die Thematik auch erscheinen mag, der natürliche Erdölabbau basiert auf überschaubaren mikrobiologischen und chemischen Prinzipien.

Was ist Öl?

Wenn von Ölfeldern, Ölförderung und Ölunfällen die Rede ist, muss nicht extra gesagt werden, dass Erdöl und nicht etwa Speiseöl gemeint ist. Die Unterscheidung zwischen Speiseöl und Erdöl ist offensichtlich: Speiseöl dient als Nahrungsmittel und ist entsprechend gut verdaulich. Erdöl dient der Treibstoffgewinnung. Im Körper wäre es unverdaulich, höchst ungesund und der Gesundheit abträglich. Auch in Farbe und Geruch unterscheiden sich beide: Erdöl ist tiefbraun und riecht nach Autobenzin, während Speiseöle meist gelblich oder leicht grünlich sind und nicht oder nur schwach nussartig riechen. Angesichts der Herkunft sind die Unterschiede nicht verwunderlich: Während Speiseöl frisch von lebenden Pflanzen gebildet wird, ist Erdöl über Jahrmillionen aus alter Biomasse durch chemische Umwandlungen tief im Untergrund entstanden. Speiseöl und Erdöl haben aber auch Gemeinsamkeiten: Pflanzenöl kann grundsätzlich auch der Treibstoffgewinnung dienen. Die auffälligste Gemeinsamkeit ist, dass sich sowohl Erdöl als auch Speiseöl nicht mit Wasser mischen lassen, „obenauf“ schwimmen und außerdem nicht so leicht wie Wasser, sondern etwas dickflüssig, eben „ölig“, fließen. Alle Flüssigkeiten mit diesen Eigenschaften heißen umgangssprachlich „Öle“. Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden am besten durch die chemische Zusammensetzung erklärt.



Abbildung 1. Öl ist nicht gleich Öl. Speiseöle haben eine andere chemische Zusammensetzung als Erdöl (Rohöl) und verhalten sich biologisch auch anders. Dennoch gibt es auch einige Gemeinsamkeiten.

Speiseöl

In Speiseölen sind verschiedene Fettsäuremoleküle mit Glycerin als Trägermolekül verbunden. Sind solche Verbindungen bei Raumtemperatur fest, spricht man nicht von Ölen, sondern von Fetten. Erst beim Erhitzen werden Fette flüssig und zeigen ihre große Ähnlichkeit mit Ölen. Glycerin in freier Form ist eine zähe, mit Wasser gut mischbare süße Flüssigkeit. In der Verbindung mit Fettsäuren ist die Wasserlöslichkeit des Glycerins verschwunden, und die Verbindung ist ausgesprochen wasserabweisend. Der Nähr- und Gesundheitswert wird durch die Fettsäuren bestimmt. Der Körper nutzt sie vor allem als Energiespeicher und Energiequelle. Fettsäuren (Abbildung 2a) bestehen zu einem sehr hohen Anteil aus den Elementen Kohlenstoff (Symbol: C) und Wasserstoff (Symbol: H). Daneben enthalten sie – und das ist entscheidend für deren Verdaulichkeit – das Element Sauerstoff (Symbol: O) in gebundener Form. Dieser ermöglicht auch die chemische Anbindung an das Glycerin.

Erdöl und Erdöl-Produkte

Erdöl und daraus gewonnene Produkte (Dieselöl, Heizöl, Schmieröl, Paraffinöl) sind sehr komplexe Gemische aus hunderten von Substanzen. Die mengenmäßig vorherrschenden, meist über 85% vom Gewicht, gehören alle einer chemischen Klasse an, den Kohlenwasserstoffen. Mit anderen Worten, Erdöl besteht größtenteils aus Kohlenwasserstoffen. Chemisch bestehen diese, und darum werden sie so genannt, nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff. Kohlenwasserstoffe sind für Mensch und Tier unverdaulich, oft unverträglich und teils auch giftig. Unverdaulich – wenn auch ungiftig – sind beispielsweise reines (pharmazeutisches) Paraffinöl, Vaseline und Kerzenparaffin. Unverdaulich und gleichzeitig giftig sind zum Beispiel Benzol und Toluol.

In Kohlenwasserstoffen sind die Atome der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff auf vielfältige Weise miteinander verknüpft. Jede Verknüpfungs- oder Kombinationsmöglichkeit stellt einen ganz bestimmten Kohlenwasserstoff mit chemischem Namen dar (z.B. Propan, Hexan, Octan, Benzol oder Toluol). Ein häufiges Kombinationsprinzip zeigt Abbildung 2b,c. Hier sind die Kohlenstoffatome zu verschieden langen Ketten verbunden. Die Kohlenstoffatome am Kettenende sind von drei, alle anderen von zwei Wasserstoffatomen umgeben. Die Ähnlichkeit mit Fettsäuren ist auffällig, nur fehlen die Sauerstoffatome. Diese Gebilde heißen offenkettige gesättigte Kohlenwasserstoffe oder in der Fachsprache kurz *n*-Alkane. *n*-Alkane mit Ketten von 4 bis 17 Kohlenstoffatomen sind bei Raumtemperatur flüssig. Bei kürzeren Kohlenstoffketten sind *n*-Alkane gasförmig und bei längeren wachsähnlich fest.

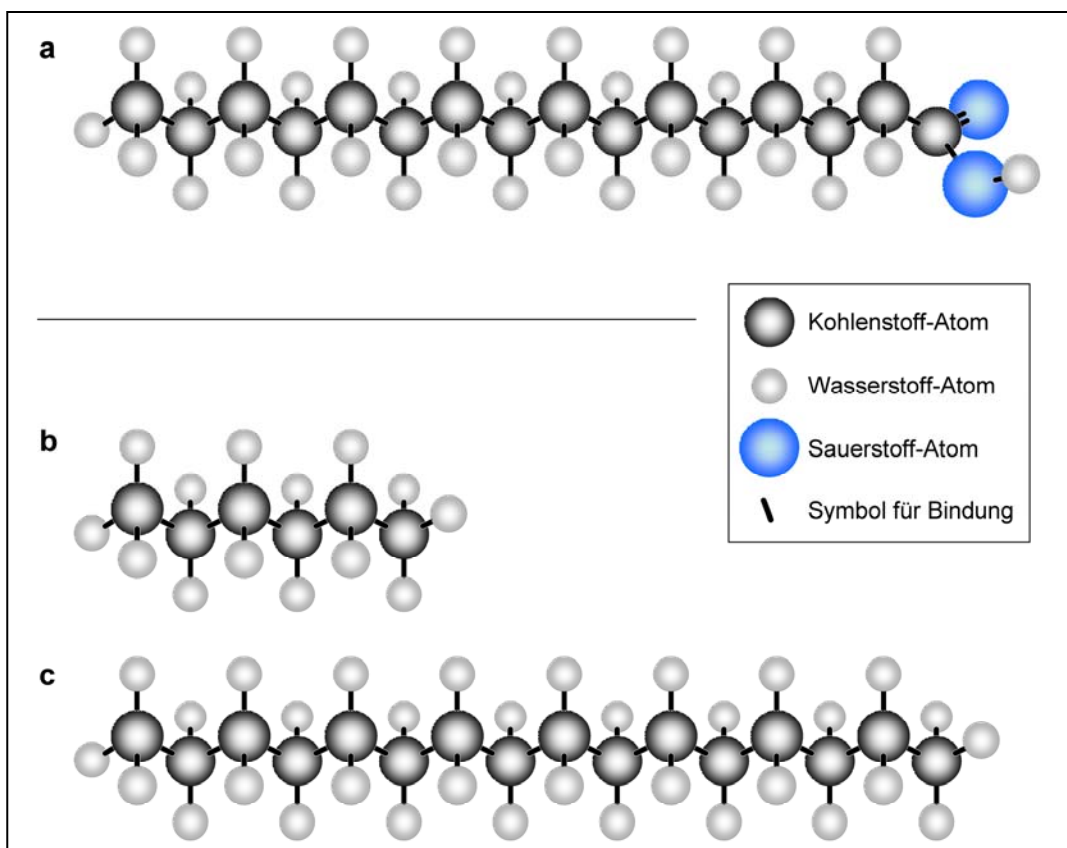


Abbildung 2: Fettsäure aus Speiseöl und Kohlenwasserstoffe aus Erdöl – drei Beispiele als Molekülmodell. Ähnlichkeiten und Unterschiede sind augenfällig.

a. Palmitinsäure, eine gesättigte Fettsäure, wie sie chemisch gebunden in Speiseölen und Nahrungsfett vorkommt.

b. Der Kohlenwasserstoff Hexan verdunstet sehr leicht und ist entsprechend feuergefährlich. Leichtbenzin enthält viel Hexan. Es riecht wie Waschbenzin aus der Apotheke.

c. Der Kohlenwasserstoff Hexadecan verdunstet sehr langsam und ist schwerer entzündlich. Einmal entzündet brennt es jedoch ebenfalls heftig. Es ist fast geruchlos. Dieselöl und Lampenöl enthalten recht viel Hexadecan.

Bei Entzündung an der Luft verbrennen alle Kohlenwasserstoffe unter starker Hitzeentwicklung. Darum sind Kohlenwasserstoffe Energieträger. Im praktischen Gebrauch sind und bleiben Kohlenwasserstoffe als Energieträger unübertroffen. Bei geringem spezifischen Gewicht (sie sind spezifisch leichter als Wasser) liefern sie sehr viel Energie. Die Verbrennung kommt durch den Sauerstoff (O_2) der Luft zustande. Dieser verbindet sich mit dem Kohlenstoff zu Kohlendioxid (CO_2) und mit dem Wasserstoff zu Wasser (H_2O). Produziert werden somit – eine saubere Verbrennung vorausgesetzt – gasförmiges Kohlendioxid und Wasserdampf, der sich als Kondenswasser niederschlägt. Der hohe Energiegehalt zusammen mit Sauerstoff und die Verbrennung zu flüchtigen ungiftigen Produkten führten zum „Siegeszug“ von Erdöl-Kohlenwasserstoffen als Energiequellen unserer technisierten Welt. Auto, Flugzeug, Motorschiff ebenso wie Gas- und Ölheizung brauchen zum Betrieb nur Kohlenwasserstoffe und Luft.

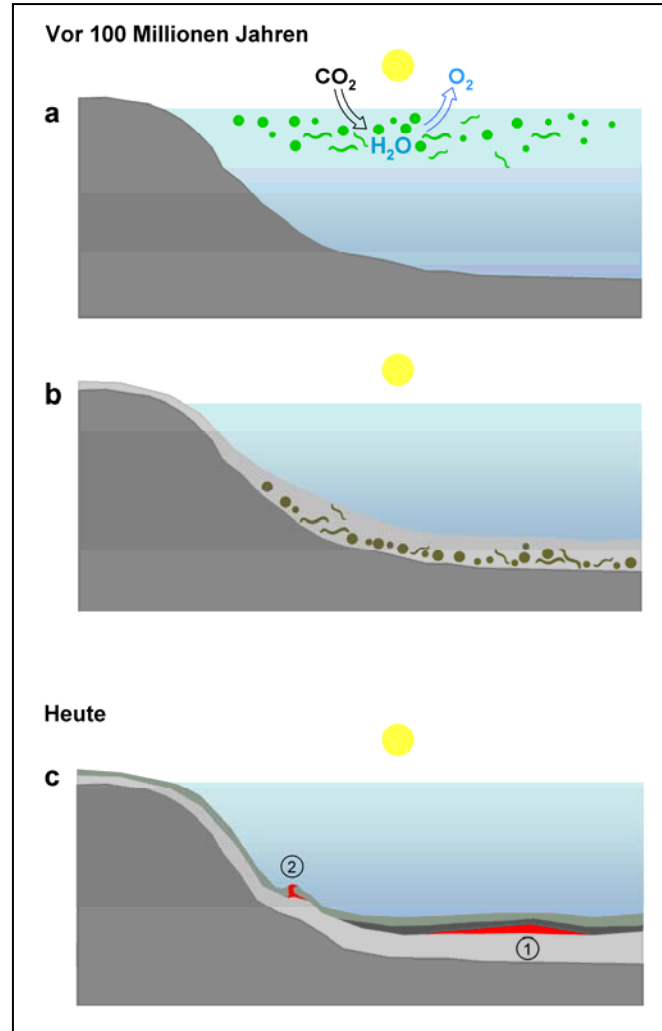
Woher stammt Erdöl?

Erdöl ist einst aus kleinen Meeresorganismen, wahrscheinlich vor allem Algen und Cyanobakterien, entstanden (Abbildung 3). Es muss Epochen in der Erdgeschichte gegeben haben, in denen die Meeresorganismen in küstennahen oder abgegrenzten Meeresbereichen besonders üppig wuchsen. Sie verwandelten, wie ihre heutigen Verwandten, CO_2 in lebende Biomasse und setzten Sauerstoff frei, getrieben durch die Energie des Sonnenlichts. Der Prozess ist als Photosynthese bekannt. Nach dem Absterben und Absinken wurde ein Teil der toten Biomasse durch Bakterien wieder zu CO_2 abgebaut. Ein Teil der Biomasse wurde jedoch am Meeresgrund im Sediment begraben. Wiederum ein Teil davon, unter anderem auch natürliche Fettsäuren, wurde durch komplexe chemische Umwandlungen bei den erhöhten Temperaturen in der Tiefe allmählich in Erdöl verwandelt. Das Erdöl wanderte dann langsam aus den tiefen Gesteinsschichten seiner Entstehung in jüngere, darüber liegende. Wenn es von einer jüngeren Gesteinsschicht nicht durchgelassen wurde, sammelte es sich darunter. Das sind dann die typischen Reservoirs, die durch „Anbohren“ erschlossen werden. Wenn keine öldichte Deckschicht vorhanden war, zwängte sich das Erdöl durch Kanäle und Spalten weiter bis zur Oberfläche des Meeresbodens. Teils verdickte es zu einer asphaltähnlichen Masse, teils trieb es im Wasser hoch. So wurde die Umwelt schon lange vor der Zeit des Menschen ständig mit Erdöl konfrontiert, allerdings in einem sehr langsamen Prozess. Auch heute findet man solche natürlichen Erdölaustritte am Meeresboden (Abbildung 4).

Die Entstehungsgeschichte verdeutlicht, dass Erdöl umgewandelte Biomasse ist und damit die in Vorzeiten gespeicherte Sonnenenergie enthält. Wenn Erdöl von uns als Energiequelle genutzt wird, mag das deshalb „naturnah“ und damit unproblematisch erscheinen, allerdings nur auf den ersten Blick. Denn die Menschheit kann in einem Zeitraum von vielleicht nicht einmal zwei Jahrhunderten verbrauchen, was sich in der Erdgeschichte über viele Jahrmillionen angesammelt hat. Es ist, als würde jemand die Ersparnisse aus

Generationen innerhalb einer Stunde ausgeben. Außerdem wurde die begrabene Biomasse bei der chemischen Umwandlung „entfremdet“. Erdöl hat kaum noch Ähnlichkeit mit der ursprünglichen Biomasse und schadet den meisten Lebewesen, ist also kein rein biologisches Produkt.

Abbildung 3. Vereinfachtes Schema der Erdölbildung.
a. Über Photosynthese, d.h. durch Nutzung von Sonnenlicht, wurden in früheren Epochen Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) in Algen-Biomasse und Sauerstoff (O_2) verwandelt.
b. Was nach dem Absterben nicht durch andere Mikroorganismen verwertet wurde, wurde im Sediment begraben.
c. Im Laufe von Jahrmillionen entstand daraus durch langsame chemische Umwandlungen bei erhöhter Temperatur in den tiefen Schichten Erdöl (rot dargestellt), das sich entweder unter dichtem Gestein ansammelte ① oder langsam bis zum Wasser hochwanderte ②.



Wo und wie leben Erdöl abbauende Bakterien?

Trotz ständiger Freisetzung aus natürlichen Quellen über Jahrmillionen hat sich Erdöl auf den Weltmeeren nicht angesammelt. Es wurde und wird von Bakterien laufend verzehrt und auf diese Weise beseitigt. Ohne diese wären weite Küstenlandschaften mit Krusten aus verwittertem Erdöl bedeckt, und das höhere Leben hätte sich dort wahrscheinlich kaum entwickeln können. Erdöl-abbauende Bakterien sind somit fast überall auf der Welt verbreitet, im Meerwasser, an Stränden, in Böden und in Binnengewässern. Dennoch kommen sie in sauberen Gewässern und Böden normalerweise in viel geringeren Zahlen als andere Bakterien vor. Sie ernähren sich dann von den geringen Kohlenwasserstoff-Mengen, die stets in der Umwelt vorkommen, und von anderen Nährstoffen. Erst

wenn Erdöl oder Erdölprodukte in die Umwelt gelangen, kommt es zur Massenvermehrung dieser speziellen Bakterien. Eine große Rolle spielen sie auch an natürlichen Austrittsstellen wie den „Ölquellen“ und „Asphaltvulkanen“ im Meer. Hier wird sogar eine ganz eigene Fauna mit besonderen Tierformen (Abbildung 4) durch Erdöl-abbauende Bakterien unterhalten. Diverse Bakterien ernähren sich vom Erdöl und Abbauprodukten, und die Tiere wiederum von den Bakterien.

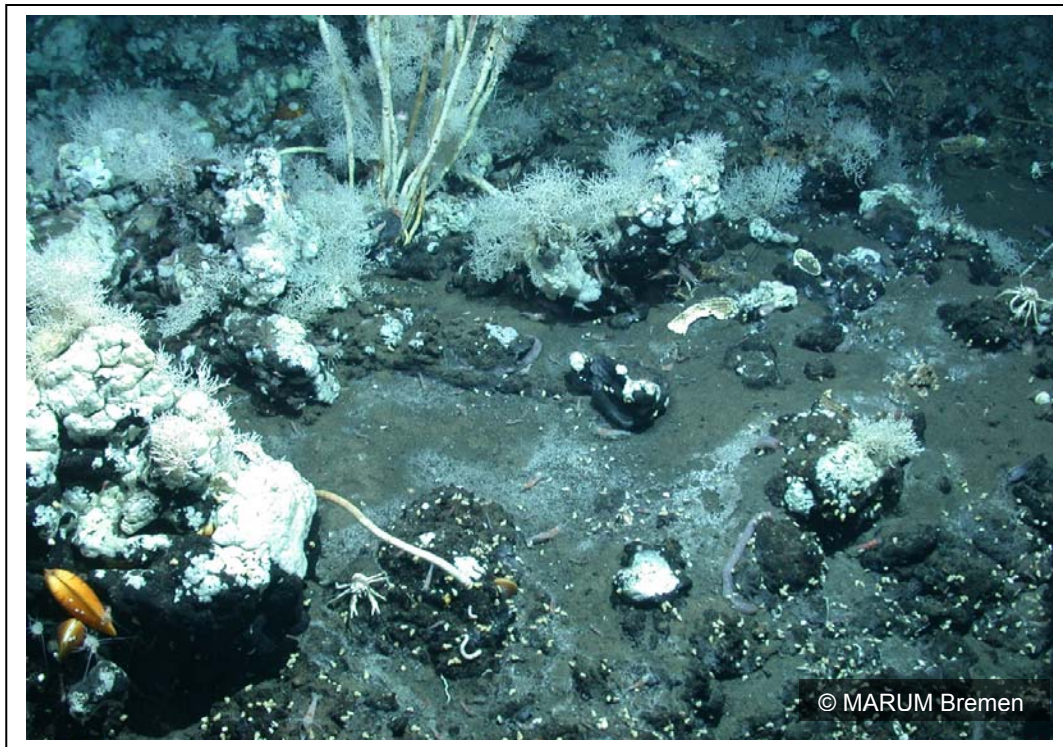


Abbildung 4: Oberfläche eines sogenannten Asphaltvulkans, einer natürlichen Erdölquelle, am Meeresgrund. Erkennbar sind dunkle Asphalt-ähnliche Klumpen, die aus dem ölhaltigen Sediment herausragen und oft von Kaltwasserkorallen besiedelt werden. Auch andere Besiedler wie zum Beispiel die Muschel links unten oder die Krustenschwämme darüber sind zu erkennen. Die Tiere ernähren sich von Bakterien. Die Bakterien wiederum leben von Erdöl und seinen Abbauprodukten. Weil das Erdöl mittels Sauerstoff nur von der Oberfläche her genutzt werden kann, sind die Klumpen und das Sediment tiefer drinnen frei von Sauerstoff und teerig-ölig. Studie: Antje Boetius.

Aus Wasser-, Sediment- und Bodenproben, insbesondere wenn diese schon lange mit Erdöl oder Treibstoffen belastet sind, lassen sich Erdöl-abbauende Bakterien mit mikrobiologischen Verfahren kultivieren und im Labor untersuchen. Erdöl-abbauende Bakterien wurden bereits um das Jahr 1900 entdeckt. In der zweiten Hälfte des 20ten Jahrhunderts wurden immer weitere Arten gefunden und deren Wachstum und Stoffwechsel untersucht. Es gibt sicherlich etliche hundert Arten Erdöl-abbauender Bakterien. Aber auch wenn sicherlich noch nicht alle Arten Erdöl-abbauender Bakterien entdeckt wurden, ist es im Vergleich zu

den hunderttausenden geschätzter Bakterienarten in der Natur nur eine kleine Gruppe von „Spezialisten“.

Genauer müsste man sagen, dass es sich bei den hier genannten Erdöl-abbauenden „Spezialisten“ unserer direkten Umwelt um Sauerstoff-atmende Bakterien handelt. Seit jüngerer Zeit kennt man auch Erdöl-abbauende Bakterien, die ohne Sauerstoff leben. Diese wachsen jedoch extrem langsam und spielen bei der Beseitigung von Öl nach Unfällen kaum eine Rolle. Sie leben von Bestandteilen des Erdöls tiefer im Meeresboden, in Küstensanden oder in Sümpfen. Bei der Sanierung von Erdölverschmutzungen in unserer vertrauten Umwelt geht es also vor allem um den Erdölabbau mit Sauerstoff.

Nahrungsmittel werden grundsätzlich mit Enzymen verdaut. Erdöl abbauende Bakterien haben besondere Enzyme, mit denen sie die Kohlenwasserstoffe angreifen und in Fettsäuren verwandeln. Für Organismen, die über diese besonderen Enzyme nicht verfügen, und das gilt für Mensch, Tier und die meisten Bakterien, sind Kohlenwasserstoffe unverdaulich. Abbildung 2 zeigt, dass eigentlich „nur“ zwei Sauerstoffatome in den Kohlenwasserstoff eingebaut werden müssen, um daraus eine ganz normal verdauliche Fettsäure zu bilden. Das klingt einfach, ist aber biochemisch schwierig und verlangt daher Spezial-Enzyme. Die Bakterien veratmen („verbrennen“) dann die gebildeten Fettsäuren zu Kohlendioxid und Wasser und erhalten so ihre Energie zum Leben, so wie Mensch und Tier die üblichen Fettsäuren aus ihrer Nahrung veratmen. Erdöl-abbauende Bakterien als Spezialisten können das, was sonst nur ein Verbrennungsmotor kann: Kohlenwasserstoffe als Energieträger nutzen.

Bei der Zucht dieser Bakterien in Mini-Ökosystemen im Labor ist deren gutes Gedeihen mit Kohlenwasserstoffen als Nahrung immer wieder beeindruckend (Abbildung 5), vorausgesetzt, dass die Wachstumsbedingungen wie pH-Wert und Mineralsalzmischung richtig eingestellt wurden. Auf dem Kulturmedium, einer Lösung von Mineralsalzen einschließlich Stickstoff-, Phosphat- und Eisenquelle, bildet das Erdöl nach der Zugabe zunächst einen zusammenhängenden bräunlichen Film. Innerhalb weniger Tage zerreißt der Film (sofern er nicht zu dick ist) in kleinere Inseln und bildet beim Schütteln kleine dunkle Tröpfchen, die sich nicht wieder zu einem Film vereinigen (Abbildung 6). Im Verlauf weiterer Tage werden diese Tröpfchen kleiner und die Wasseroberfläche wird fast ölfrei. Es sammeln sich aber auch schwarze kleine Flocken von Erdölbestandteilen an, die wahrscheinlich nur sehr langsam weiter abgebaut werden. Unter dem Mikroskop erkennt man ein üppiges Wachstum von Bakterienzellen. Aus solchen Kulturen lassen sich diverse Bakterienarten isolieren (Abbildung 7).

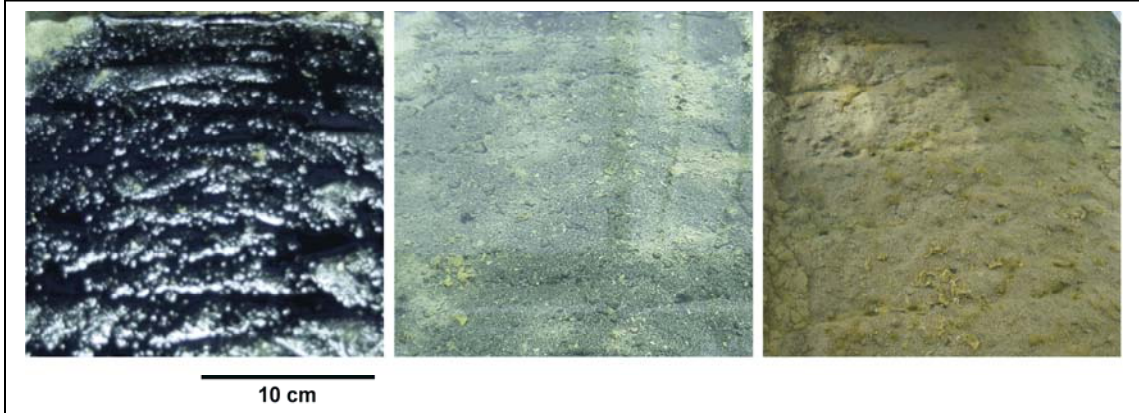


Abbildung 5: Abbauersuch im Laboraquarium mit Erdöl unter Zusatz von Stickstoff- und Phosphat-Dünger. Ein Stück Wattenmeer-Oberfläche wurde mit einer dünnen (1 Millimeter) Ölschicht bedeckt, die sich mit dem Schlamm verband, und geflutet. Die Fotos am 1. Tag (links), nach 6 Tagen (Mitte) und 26 Tagen (rechts) zeigen die natürliche „Sanierung“ der Oberfläche. Doch darunter befindet sich weiterhin eine zähe Ölschicht, die nur sehr langsam weiter abgebaut wird. Foto: Florin Musat.

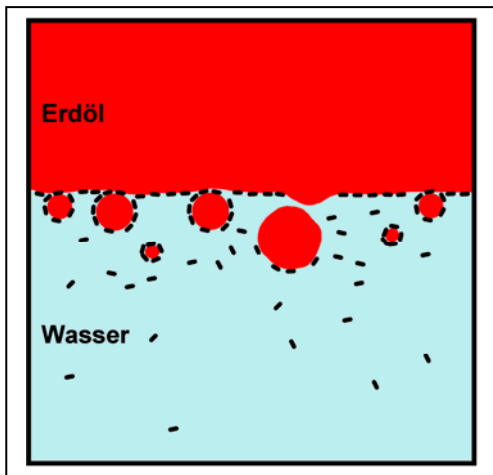


Abbildung 6: Schema der natürlichen Dispersion von Erdöl durch Bakterien. Die Bakterien leben im Wasser an der Oberfläche des Erdöls, jedoch nicht im Erdöl. Durch Wasserbewegung und Abbau entstehen immer kleinere Tröpfchen. Infolge der Besetzung durch Bakterien können sich die Tröpfchen nicht wieder zu einer zusammenhängenden Masse vereinigen: Es entsteht eine Emulsion.

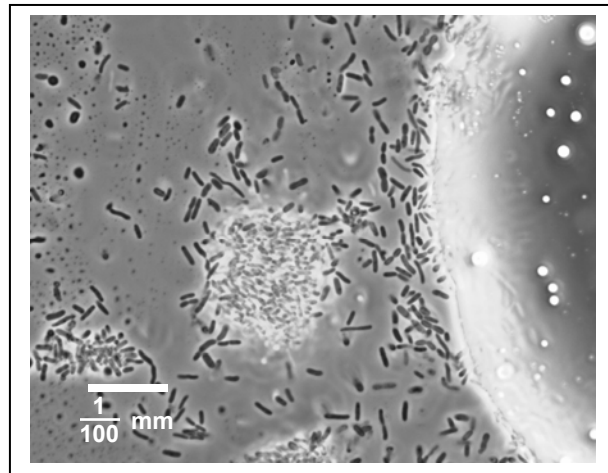


Abbildung 7: Ein Erdöl abbauender Bakterienstamm unter dem Mikroskop bei 1500-facher Vergrößerung. Die dunkel erscheinenden Stäbchen sind Bakterienzellen. Das rundliche Gebilde rechts ist ein Öltröpfchen – hier erscheint es riesig. Foto: Johannes Zedelius.

Weshalb ist Ölverschmutzung ein Problem, trotz biologischen Abbaus?

Bei einer Ölkatastrophe gibt es mehrere Faktoren, die das Öl zum Problem werden lassen, obwohl es grundsätzlich durch Bakterien abgebaut werden kann.

1) Ein Ölunfall befördert in einem Meeresgebiet binnen kurzer Zeit sehr große Mengen in die Umwelt, sei es durch Auslaufen eines Tankers oder durch Austritt über ein Bohrloch aus der unter Druck stehenden Lagerstätte. Eine solch plötzliche und massive Anhäufung übertrifft natürliche Erdölaustritte, bei denen sich das Erdöl allmählich durch Kanäle und Risse in der Gesteins- und Schlammdeckschicht empor zwängt, bei weitem. Die in der zuvor noch sauberen Umwelt vorhandenen Bakterienzahlen sind viel zu gering, um die Ölmassen abzubauen. Gemessen an der Austrittsgeschwindigkeit des Öls sind auch Vermehrung und Abbauleistung der Bakterien zu langsam, so beeindruckend sie sonst auch sein mögen. Die Ölmassen breiten sich als braune Schwimmteppiche aus, töten Tiere und verschmutzen die Strände.

2) Erdöl liefert zwar reichlich Energie für den Bakterienstoffwechsel, aber so gut wie keine anderen Faktoren, die Lebewesen auch noch benötigen. Den Erdöl abbauenden Bakterien mangelt es an lebenswichtigen Mineralien, vor allem an gebundenem Stickstoff (N), Phosphor (P) und Eisen (Fe). Diese sind im Meerwasser Mangelware. Bei einem Erdöl-Unglück ist das Verhältnis von Energiequelle zu lebenswichtigen Mineralien somit extrem unausgewogen. Auch kein Mensch könnte ausschließlich von Fetten und Kohlenhydraten, das heißt „allein von Energie“, leben.

3) Bakterien benötigen als Lebensmilieu Wasser. Sie können nicht im Erdöl wachsen. Also wachsen sie dort, wo sie beides haben, Wasser und Erdöl, und das ist an der Oberfläche des Erdöls im Wasser. Je größer die Ölmenge, desto ungünstiger ist allerdings das Verhältnis der Oberfläche zum Volumen. Daher käme eine feine Verteilung und damit eine Vergrößerung der Oberfläche des Erdöls dem Bakterienwachstum und Abbau sehr zugute. So kam es schon vor Jahrzehnten zu der Idee, mit chemischen Dispersionsmitteln nachzuhelfen. Das Wirkprinzip von Dispersionsmitteln ist ganz ähnlich wie das von Spül- und Waschmitteln: Der wasserabweisende Charakter des Öls, sprich seine Eigenschaft, sich vom Wasser abzugrenzen, wird vermindert.

4) Ist das Erdöl an Stränden erst einmal durch Verdunstung der leichten Bestandteile und Witterungseinflüsse verdickt, wird es durch Wasserbewegung nicht mehr zerteilt, sondern bildet im Gegenteil mit Sand und anderen Partikeln zusammenhängende teerähnliche Ballen und Lagen. Diese sind für einen Abbau durch Bakterien viel zu kompakt und bleiben wahrscheinlich über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte auf und unter der Sandoberfläche liegen.

5) Der Abbau von Erdöl verzehrt Sauerstoff. An „freier Luft“ an Stränden ist dieses das geringste Problem. Im Wasser löst sich jedoch nur wenig Sauerstoff aus der Luft, nämlich in einem Liter etwa 7 Milliliter (ml), gerechnet als Gas. Dieser ist schnell aufgezehrt, wenn er nicht durch Wellenschlag, Strömung und Durchmischung nachgeliefert wird. Der Abbau von nur einem Tropfen Erdöl (0,2

ml) würde den Sauerstoff aus 80 Litern Meerwasser verbrauchen (Abbildung 8)! Zwar wird Erdöl nicht in einem Augenblick abgebaut, so dass Zeit zur Nachlieferung von Sauerstoff besteht. Doch bei einer Erdölverschmutzung gibt es mehr als nur einen Tropfen pro 80 Liter Wasser. Wassertiere können infolge Sauerstoffmangels ersticken. Ferner werden dann auch plötzlich ganz andere Bakterien aktiv, die ohne Sauerstoff leben und aus Sulfat, einem Meerwasser-Mineral, giftigen Schwefelwasserstoff bilden. Dieser ist an einer Schwarzfärbung des Meeressediments zu erkennen. Das Ökosystem „kippt um“.

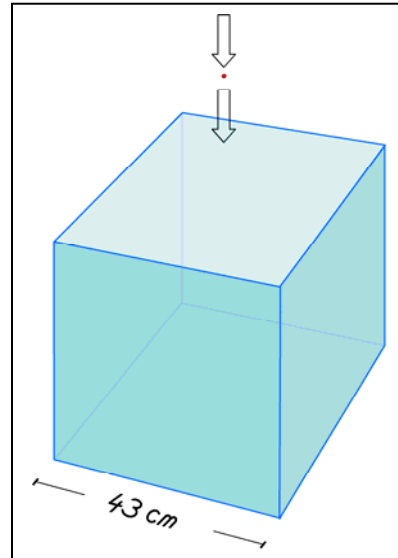


Abbildung 8: Wenig Erdöl – großer Sauerstoffverbrauch für den Abbau. Ein Tropfen (0,2 Milliliter) benötigt für den Abbau durch Bakterien Sauerstoff aus 80 Litern Meerwasser.

Lassen sich Bakterien züchten und einsetzen, die besonders effizient Erdöl abbauen?

Die Wunschvorstellung, Ölschichten und Ölteppiche durch Besprühen mit besonders effizienten Bakterien-Zuchtstämmen zum Verschwinden zu bringen, ist verständlich. Auch Gedanken an eine gentechnische Kombination mehrerer nützlicher Eigenschaften in einem „Super-Bakterienstamm“ mögen aufkommen. Doch sehr wahrscheinlich wird es eine Wunschvorstellung bleiben. Vom übergreifenden biologischen Gesichtspunkt erscheint ein solches Anliegen nicht einmal vernünftig:

1) Es herrscht überhaupt kein Mangel an Bakterienarten, die effizient Erdöl abbauen. Die Entwicklungsgeschichte des Lebens über viele hundert Millionen Jahre hat uns ein reiches Angebot an Bakterienarten mit der Fähigkeit zum Abbau diverser Erdölbestandteile beschert. Je nach Erdöltyp und Temperatur am betroffenen Standort vermehren sich die einen oder anderen natürlich vorkommenden Arten. Es müssen nur die Wachstumsbedingungen günstig sein, das heißt, dass Nährsalze vorhanden sein müssen und dass das Erdöl nicht in kompakten Massen vorliegen darf.

2) Erdöl abbauende Bakterien wirken arbeitsteilig im Team. Stets sind viele Arten gleichzeitig aktiv. Die einen verwerten zum Beispiel Alkane mit kurzen Kohlenstoffketten, die anderen solche mit langen Kohlenstoffketten, und wiederum andere Benzol-ähnliche Kohlenwasserstoffe. Das Zusammenwirken von Bakterien im Team ist auch sonst ein „bewährtes“ Prinzip beim natürlichen Recycling toter Biomasse. Die Alles-könnende Super-Bakterienart wurde von der Natur nicht hervorgebracht, und wahrscheinlich gibt es einen sehr prinzipiellen Grund dafür. Auch in unserer Gesellschaft finden wir keine Person, die gleichermaßen kompetent Backwaren herstellt, Haare schneidet und Steuererklärungen bearbeitet.

3) Die Überlebensfähigkeit spezieller Zuchtstämme außerhalb des Labors in der Natur ist sehr fraglich. Würde man, wie auch immer, durch gentechnische Maßnahmen ein Bakterium "herstellen", das im Labor z.B. Erdöl besonders gut fein verteilt (dispergiert), was ja tatsächlich ein Vorteil wäre, so würde es sich höchst wahrscheinlich in der rauen Wirklichkeit nicht durchsetzen.

4) Vor allem wäre das Problem des Mineralmangels nicht gelöst. Auch ein Labor-Zuchtstamm könnte nicht ohne gebundenen Stickstoff, Phosphat und Eisen wachsen.

Ein Aufbringen Erdöl abbauender Bakteriengemische auf verschmutzte Bereiche könnte bestenfalls einen kleinen zeitlichen Vorsprung bei der Vermehrung am betroffenen Standort bewirken, wenn die natürlichen Zahlen dieser Bakterienzellen zu Beginn niedrig sind. Gemessen an der Sanierungsdauer ist dieser Vorsprung aber sehr wahrscheinlich unbedeutend.

Welche Maßnahmen sind geeignet?

Bei Ölunfällen ist zwischen zwei Arten von Maßnahmen zu unterscheiden, den akuten und den langfristigen.

1) Akute Maßnahmen sind immer technischer (physikalischer) Art. Ein weiterer Austritt und die Ausbreitung des ausgetretenen Öls müssen verhindert werden. Öl, das die Küsten erreicht hat, muss soweit es geht eingesammelt werden. Bei diesen Maßnahmen spielen Bakterien keine Rolle. Mit anderen Worten: möglichst wenig Öl in die Umwelt!

Allerdings versucht man, die spätere Arbeit der Bakterien hier schon vorzubereiten. Dispersionsmittel sollen bewirken, dass sich das Öl infolge Wellenschlags in feinste Tröpfchen verteilt und nicht wieder vereinigt. So könnte es besser von Bakterien besiedelt und abgebaut werden kann. Die Wunschvorstellung von einem Dispergierungsmittel wäre, dass dieses ungiftig, preiswert und auch selbst biologisch abbaubar ist. Es sollte aber nicht zu schnell abgebaut werden, denn es soll ja wirken, solange die Bakterien noch nicht die Dispergierung übernommen haben. Ein solch ideales Dispergierungsmittel gibt es nicht, weshalb die Maßnahme nicht unumstritten ist. Es gilt vielmehr, zwischen kleinerem und größerem Übel abzuwägen. Je nach Art und Ort des Ölunfalls ist zu klären, ob das mittels einer Chemikalie fein verteilte Öl tatsächlich

das kleinere Übel für die Lebewelt im Wasser ist. Es gibt auch biologische Dispergierungsmittel, die man aus Zuchtbakterien gewinnen kann. Die verfügbaren Mengen reichen jedoch bei weitem nicht, und die Kosten wären immens.

2) Langfristige Maßnahmen sind biologischer Art. Sie schließen sich den technischen Maßnahmen an und bestehen vor allem darin, den natürlichen Abbau durch Düngung mit Mangel-Mineralen (Nitrat-, Ammonium-, Phosphat- und Eisensalze) und physikalische Bearbeitung wie Lockern des Untergrunds zu unterstützen. Auf kleinen Experimentierflächen können die Behandlungsmethoden zur Optimierung des biologischen Abbaus erprobt und dann auf größeren Flächen angewendet werden. Auf diese Weise konnte der Ölabbau gegenüber dem auf unbehandelten Flächen manchmal bis fünffach beschleunigt werden. Dennoch ist es ein langsamer Prozess, der sich über Monate oder gar Jahre hinziehen kann. Im offenen Wasser ist eine Düngung ölverschmutzter Bereiche schwierig, weil dort die Mineralsalze ausverdünnt werden. Es gibt zwar Versuche, die Mineralsalze fürs Bakterienwachstum an chemische Träger zu binden, die eine Affinität zum Öl haben und so den Ölteppich gezielt düngen; wirkliche Erfolge gibt es jedoch noch nicht.

Fazit: Es gibt nicht das Patentrezept. Wie die technischen Maßnahmen, so sind auch die biologischen der jeweiligen Situationen anzupassen. Das Finden des jeweils geeigneten Mittels hat auch immer experimentellen Charakter.

3) Die beste Maßnahme bleibt die Vorbeugung. Was zunächst trivial klingen mag, ist ein dringliches Anliegen. Es geht auch um den Schutz entlegener Bereiche unseres Planeten, über die wir erst wenig wissen, wo aber dennoch Erdöl zukünftig abgebaut werden könnte. Tiefsee und Polarregion sind technisch wie auch logistisch schwer zu erschließen. In der Tiefsee herrschen hoher Druck und niedrige Temperaturen, und in Polargebieten eisige Kälte und Mangel an flüssigem Wasser. Wie weit und wie schnell Öl von Mikroorganismen unter diesen Bedingungen abgebaut werden kann, ist noch weitgehend unbekannt, doch auf jeden Fall weniger effektiv als in unserer nächsten Umwelt. Auch das physikalische Verhalten von Öl und Gas aus tiefen warmen Reservoirs in Tiefen beim Mischen mit kaltem Wasser unter hohem Druck ist nicht gut verstanden. Unbekannte Faktoren haben auch zu großen Problemen bei der Bekämpfung des Ölaustritts im Golf von Mexiko geführt. In polaren Gebieten wie der Arktis würden saisonale Dunkelheit und die Ferne zu Hafenlogistik die Möglichkeiten, auf einen Erdöl-Unfall prompt zu reagieren, stark einschränken.

Noch mehr Sicherheit stellt noch weitere Anforderungen an die technisch ohnehin schon sehr aufwändige und beeindruckende Erdölförderung. So wird Erdöl noch mehr zu einem Wertstoff, der uns als tägliche Nutzer zu bewussterem Umgang mit dieser derzeit immer noch wichtigsten aller Energiequellen mahnt.