

Mikrobieller Abbau von Erdöl im Meer: Was geht, was geht nicht, und wie schnell geht es?

Tina Treude

GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung und CAU Kiel



(c) Tampa Bay Times

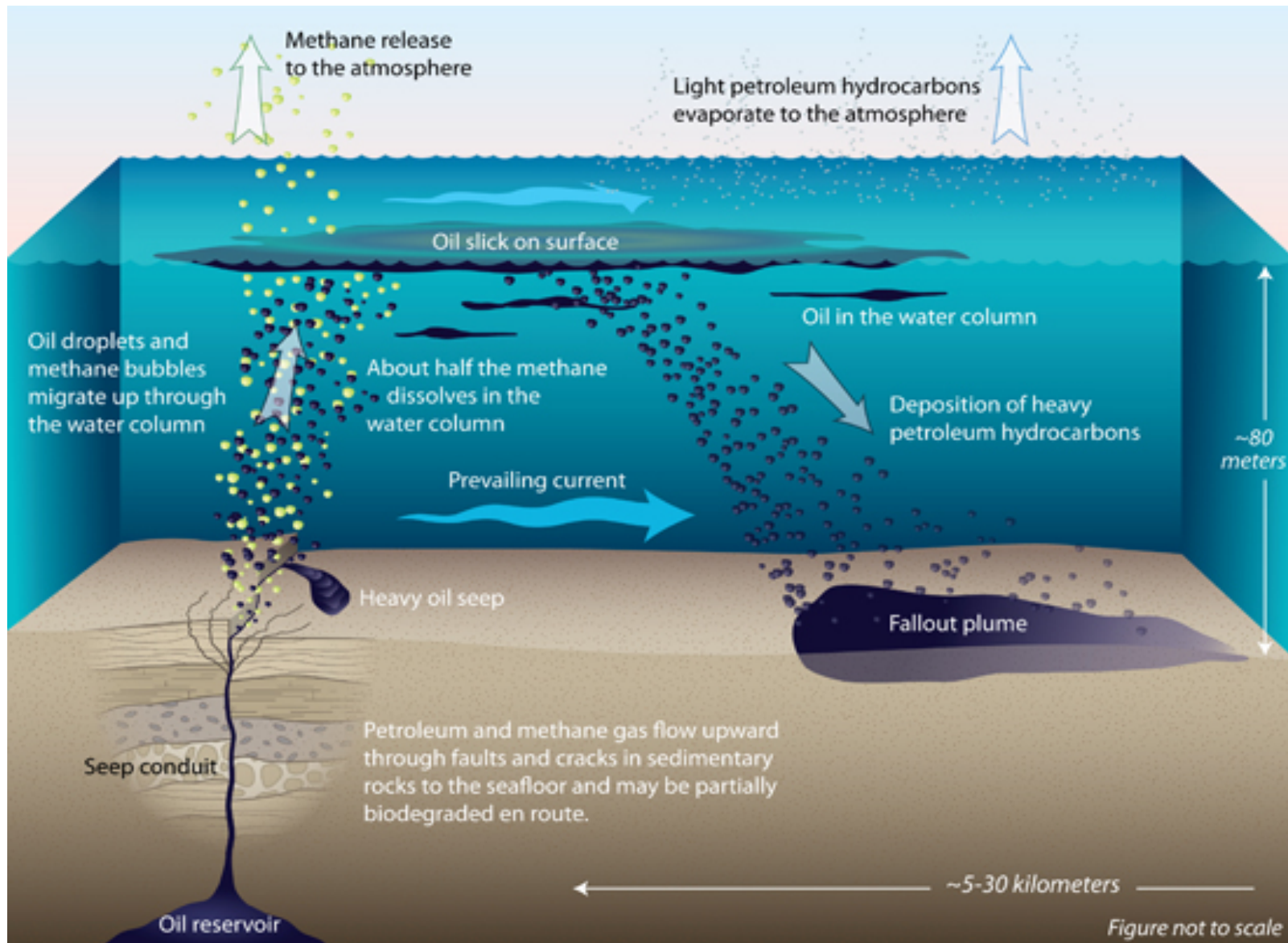
Übersicht

- Öl aus mikrobieller Sicht
- Prominente Beispiele von Ölkatastrophen im Meer
- Forschung zu ölabbauenden Mikroorganismen am GEOMAR

Übersicht

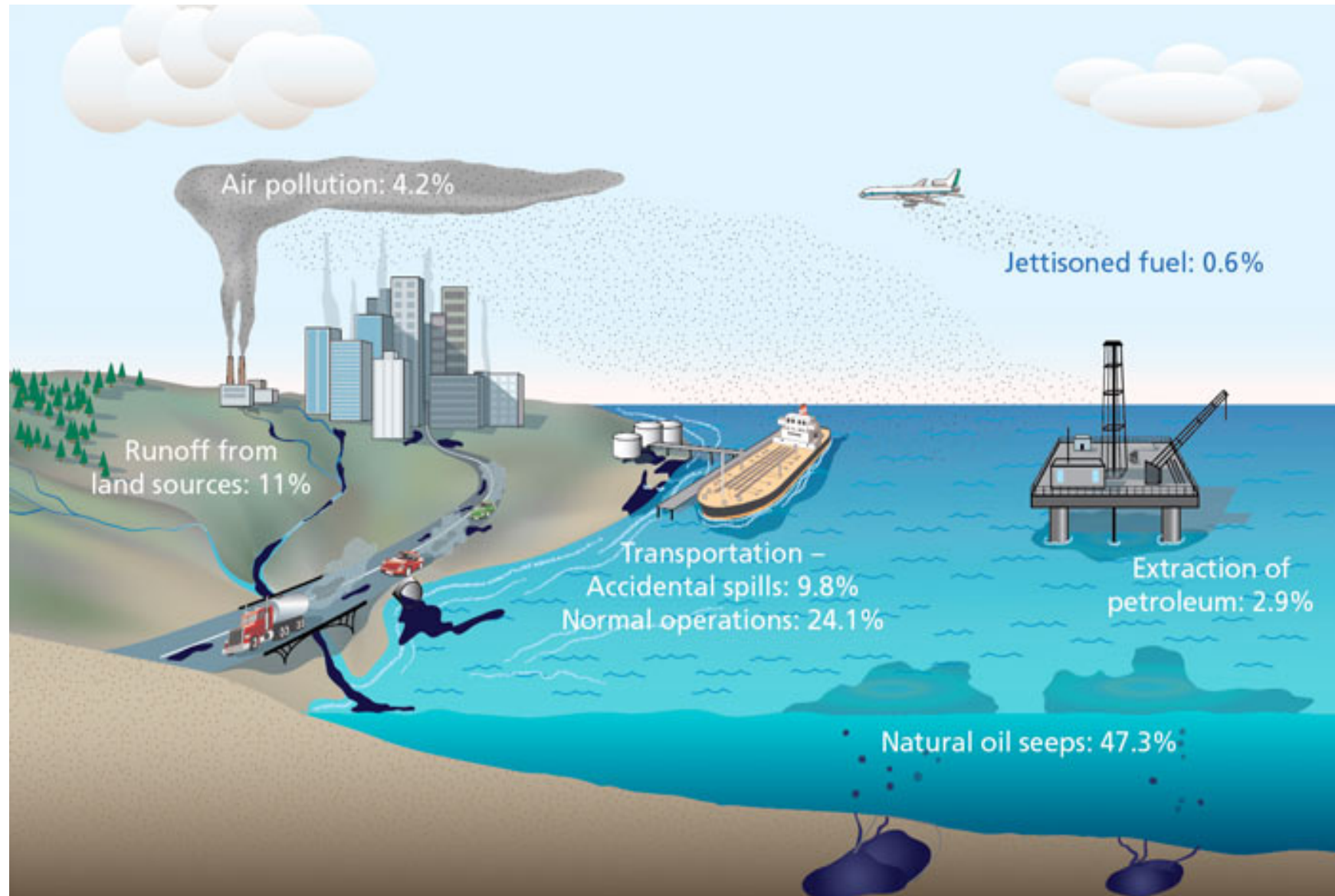
- Öl aus mikrobieller Sicht
- Prominente Beispiele von Ölkatastrophen im Meer
- Forschung zu ölabbauenden Mikroorganismen am GEOMAR

Natürliche Ölquellen im Meer



Quelle: Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution

Gesamtheit von Ölquellen im Meer



Quelle: Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution

Zusammensetzung von Öl

Zusammensetzung nach Gewicht

Element	Prozentualer Anteil
---------	---------------------

Kohlenstoff 83 - 87%

Wasserstoff 10 - 14%

Stickstoff 0.1 - 2%

Sauerstoff 0.1 - 1.5%

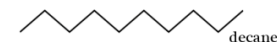
Schwefel 0.5 - 6%

Metalle weniger 1000 ppm

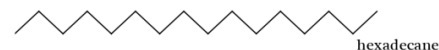


Kohlenwasserstoff	Durchschnitt	Anteil
Paraffine	30%	15 - 60%
Naphthene	49%	30 - 60%
Aromaten	15%	3 - 30%
Asphalte	6%	übrige

Linear alkanes (paraffins):

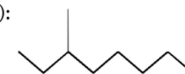


decane

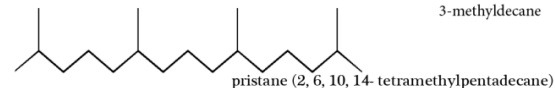


hexadecane

Branched alkanes (isoparaffins):

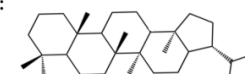


3-methyldecane

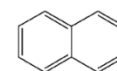


pristane (2, 6, 10, 14-tetramethylpentadecane)

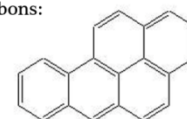
Cyclic alkanes (naphthenes):

C30 17 α , 21 β (H)-hopane

Aromatic hydrocarbons:

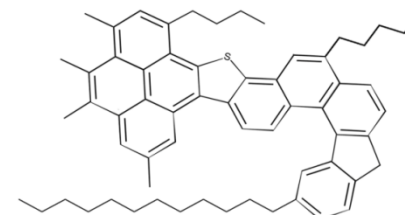


naphthalene



benzo[a]pyrene

Polar components (resins and asphaltenes):

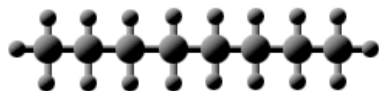


representative asphaltene

Öl aus mikrobieller Sicht



Hydrocarbon



Key:



carbon



hydrogen



- schlecht löslich in Wasser



- niedrige chemische Reaktionsaktivität bei Raumtemperatur



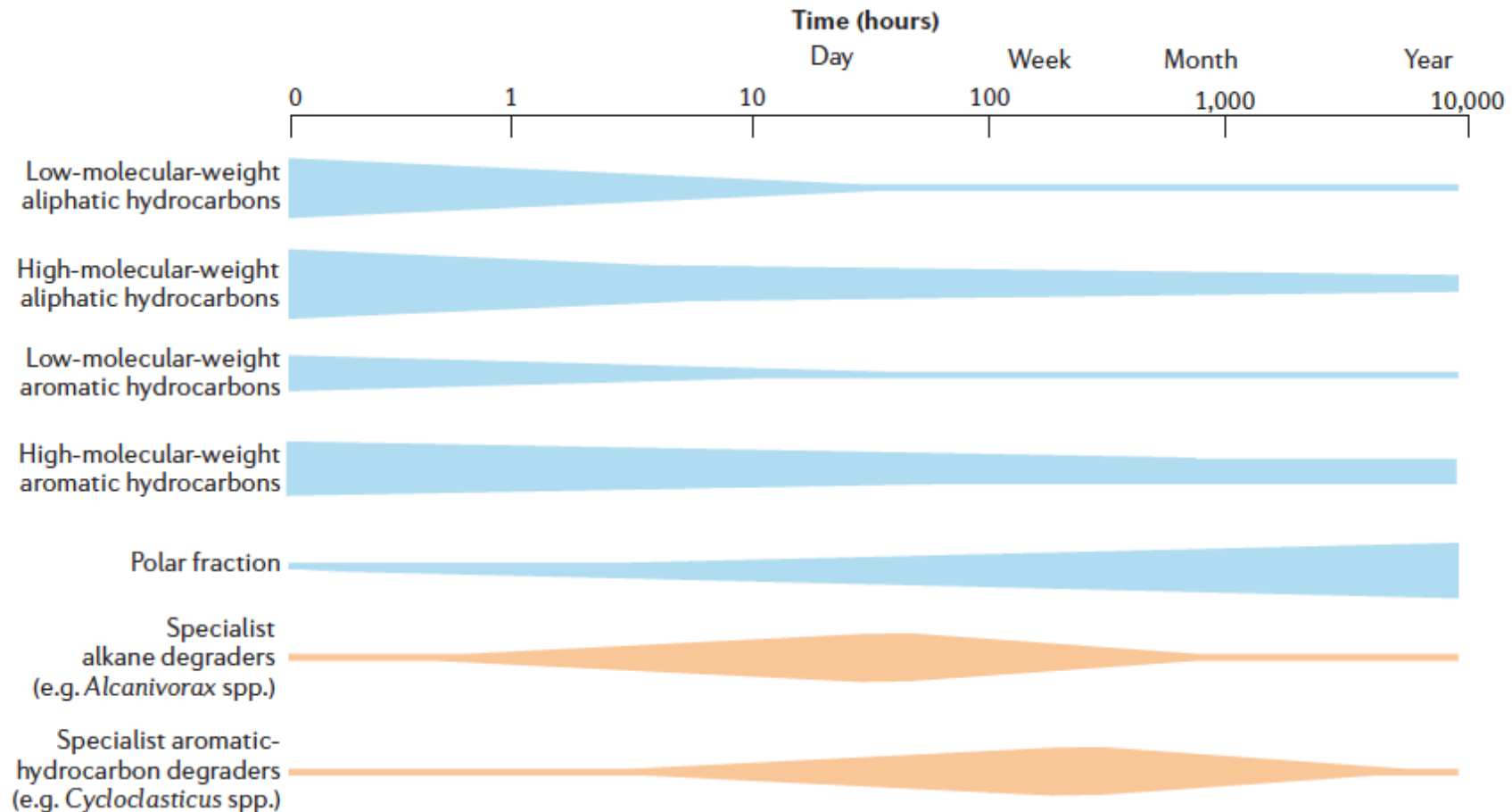
- energiereich



- viele Komponenten von Mikroben verwertbar

Während aerober (mit Sauerstoff) mikrobieller Abbau lange bekannt war, wurde der anaerobe (ohne Sauerstoff) mikrobielle Abbau erst in den 1990ern entdeckt.

Aerober Ölabbau (mit Sauerstoff)

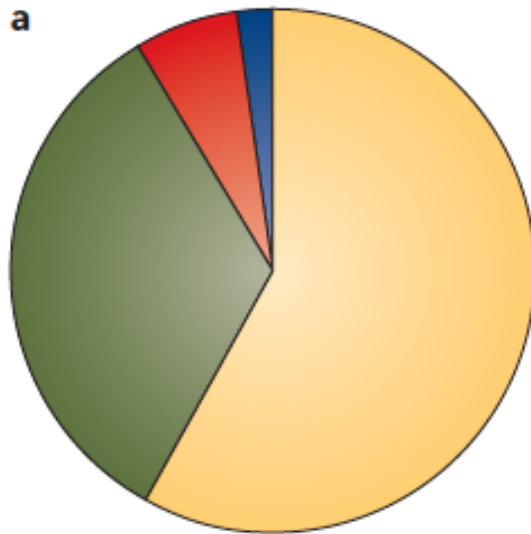


Veränderungen in der Zusammensetzung von Ölverschmutzungen und damit korrelierter Veränderung der Häufigkeit von Schlüsselorganismen

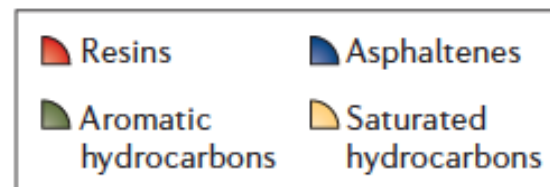
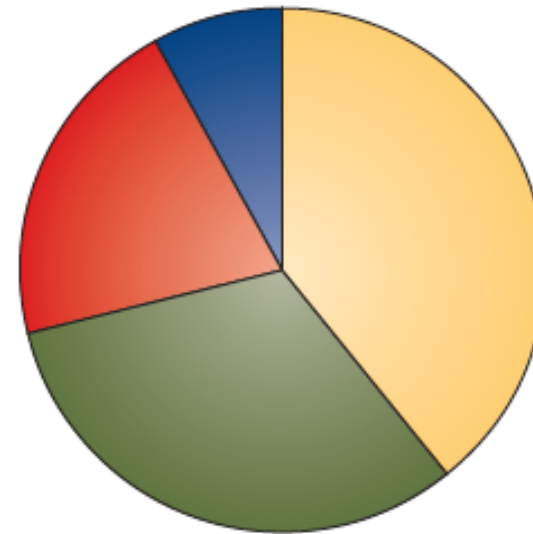
Head et al. 2006

Aerober Ölabbau (mit Sauerstoff)

Leichtes Nordseeöl,
unangetastet

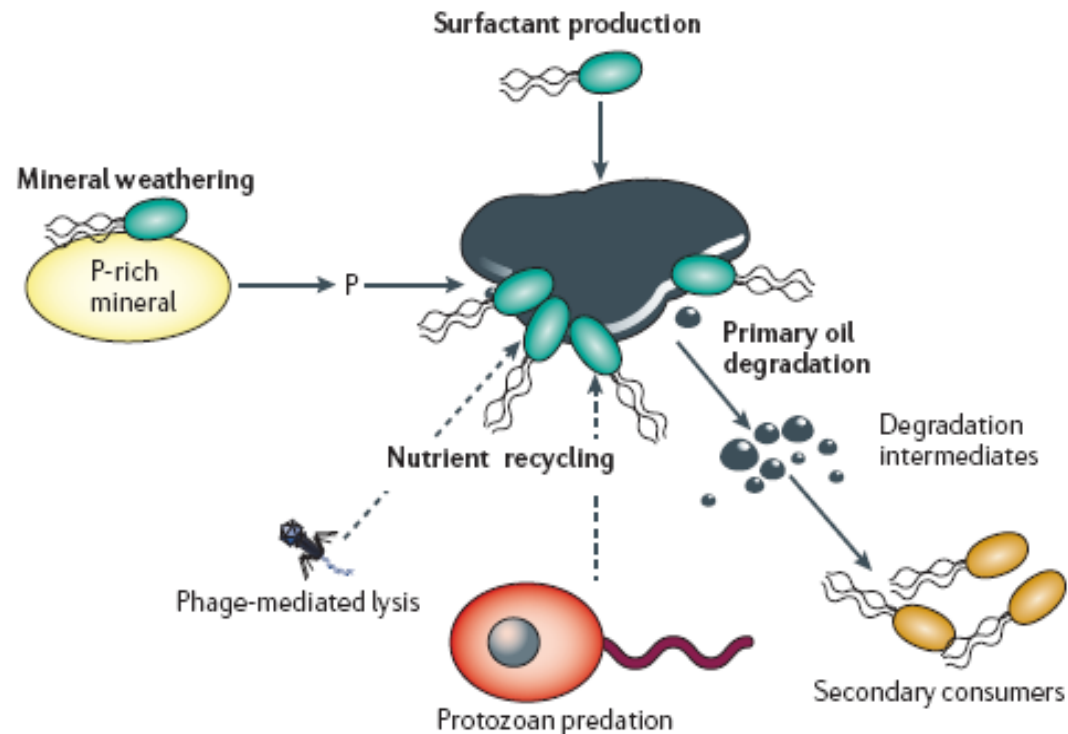


Leichtes Nordseeöl, leicht
mikrobiell abgebaut



Head et al. 2006

Mikrobielles Netzwerk in der Wassersäule

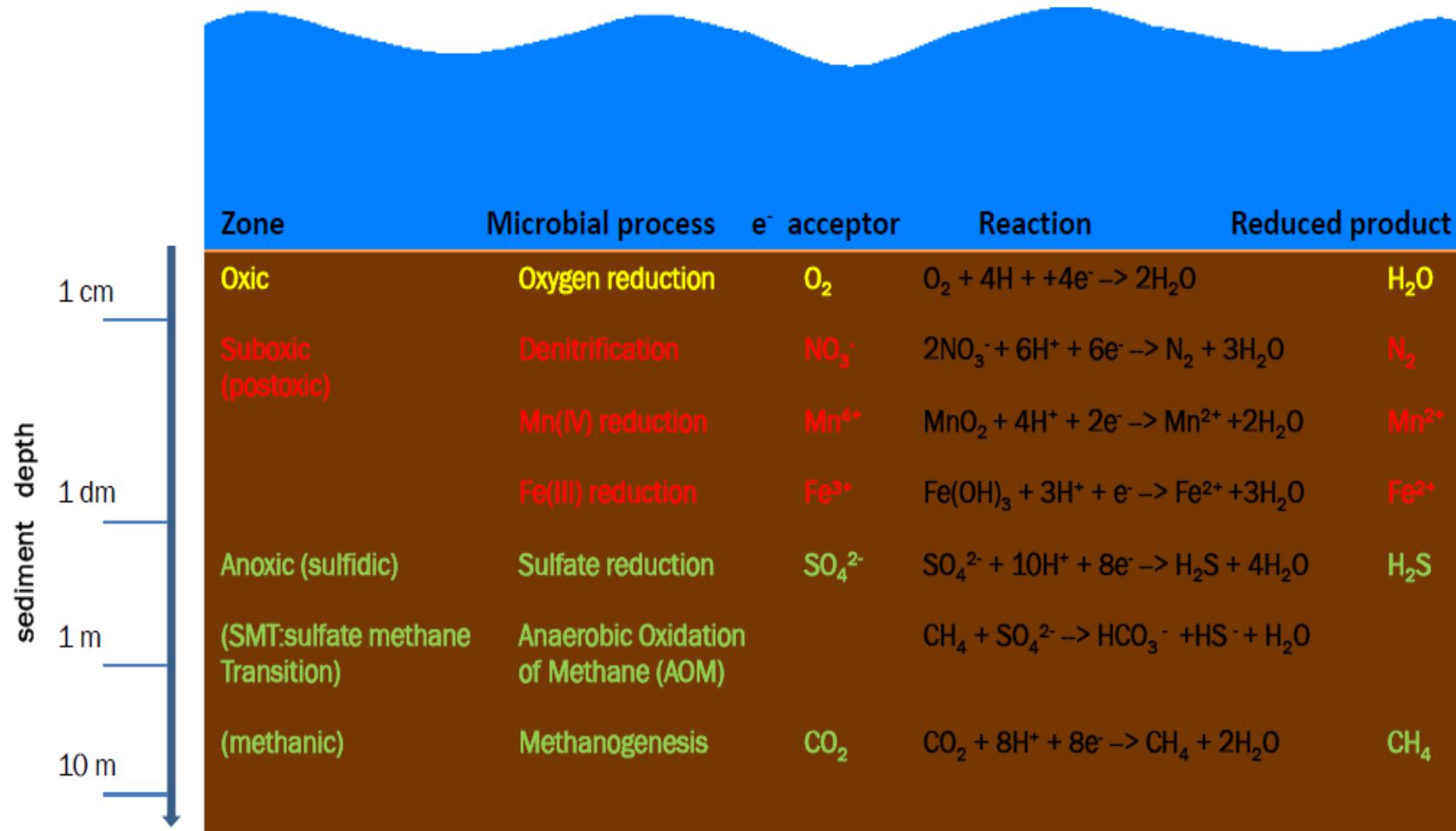


Das Netzwerk zeigt, dass Ölabbau mehr biologische Komponenten beinhaltet als der bloße direkte Abbau durch Mikroorganismen (primäre Ölabbauer)

Ölabbauende Bakterien sind in grün dargestellt.

Head et al. 2006

Mikrobielle Prozesse im Meeresboden



(Modified from Jørgensen et al.)

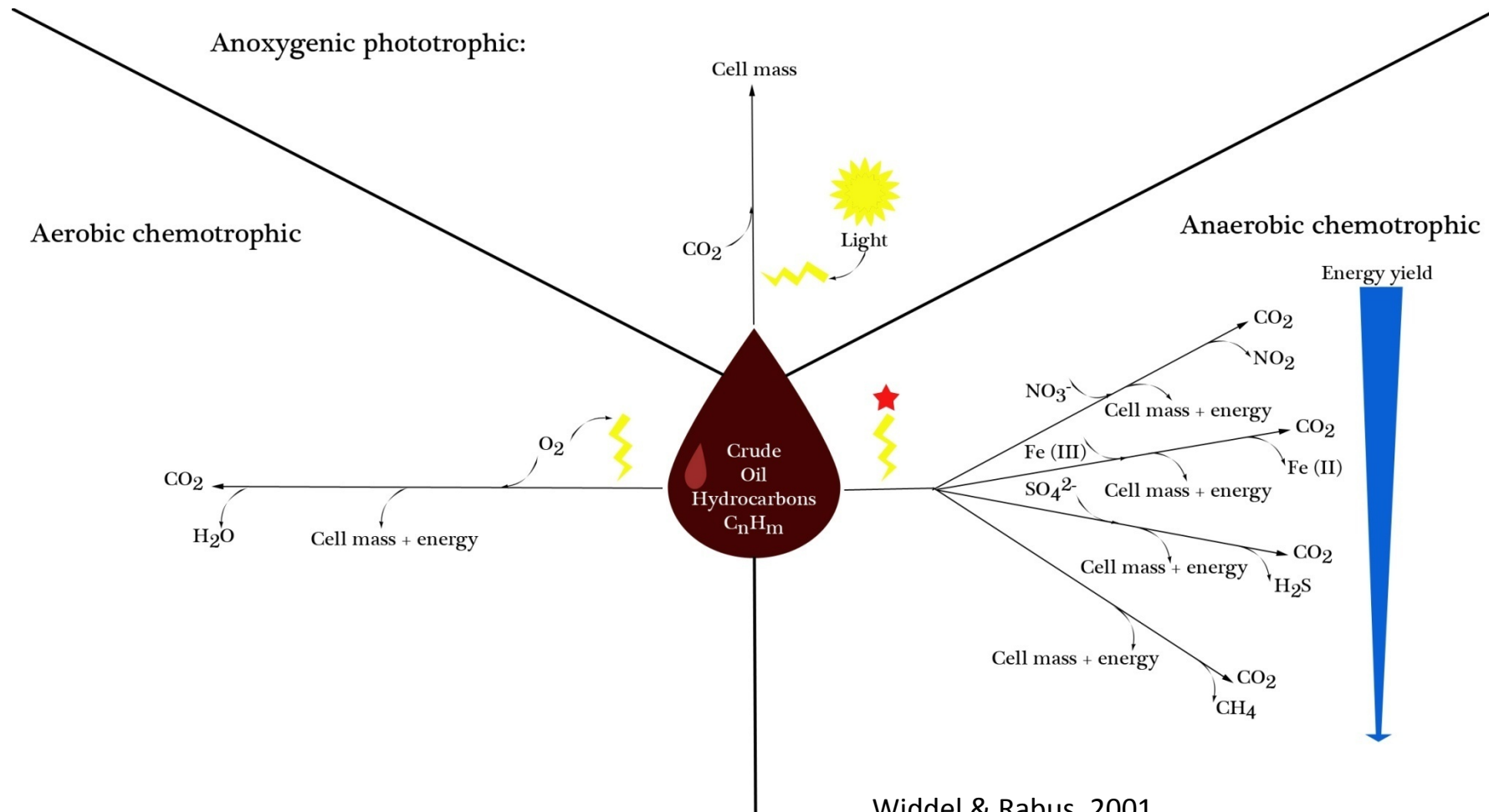
Anaerober mikrobieller Ölabbau (ohne Sauerstoff)

Table 1. Reported bacterial isolates with the capacity for the anaerobic oxidation of saturated hydrocarbons.

Genus and species or strain designation	Affiliation (16S rRNA-based)	Hydrocarbon used for isolation	Range of <i>n</i> -alkanes utilized	References
Sulfate-reducing bacteria				
Hxd3	Deltaproteobacteria	<i>n</i> -Hexadecane	C ₁₂ –C ₂₀	Aeckersberg et al., 1991
HD3	Deltaproteobacteria	<i>n</i> -Decane	C ₆ –C ₁₄	Rueter et al., 1994
Pnd3	Deltaproteobacteria	<i>n</i> -Pentadecane	C ₁₄ –C ₁₇	Aeckersberg et al., 1999
AK01	Deltaproteobacteria	<i>n</i> -Hexadecane	C ₁₃ –C ₁₈	So and Young, 2000
Denitrifying bacteria				
<i>Azoarcus</i> sp. (HxN1)	Betaproteobacteria	<i>n</i> -Hexane	C ₆ –C ₈	Ehrenreich et al., 2000
OcN1	Betaproteobacteria	<i>n</i> -Octane	C ₈ –C ₁₂	Ehrenreich et al., 2000
HdN1	Gammaproteobacteria	<i>n</i> -Hexadecane	C ₁₄ –C ₂₀	Ehrenreich et al., 2000

Widdel et al., Prokaryotes

Mikrobieller Ölabbau im Überblick



Widdel & Rabus, 2001

Was sind die Limitationen von mikrobiellen Ölabbau?



www.etc-cte.ec.gc.ca

Aufgrund des **hohen Kohlenstoffanteils** von Öl in der verhältnismäßig **geringen Konzentration anderer Nährstoffe**, die wichtig für mikrobielles Wachstum sind, hängt die Rate, mit der Öl abgebaut wird hauptsächlich von der **Verfügbarkeit von Stickstoff und Phosphor** ab.

Ein Weg, den Abbau von Öl zu erhöhen, ist die **Düngung** mit inorganischem Stickstoff- und Phosphorverbindungen.

Allerdings wird hierdurch nur die Rate, **nicht die Effizienz** des Abbaus von Öl erhöht.

Übersicht

- Öl aus mikrobieller Sicht
- Prominente Beispiele von Ölkatastrophen im Meer
- Forschung zu ölabbauenden Mikroorganismen am GEOMAR

Ölkatastrophen in der Vergangenheit

Datum	Bezeichnung	Eigner	Unglücks-ort	Frei-gesetzte Menge [Tonnen]	Gefahr-stoff	Ursache
Juni 1979	Ixtoc I	PEMEX	Golf von Mexiko	400.000 bis 1.400.000	Rohöl	Unglück auf einer Ölplattform, Blowout
März 1989	<i>Exxon Valdez</i>	Exxon (USA)	Prince William Sound, Alaska	37.000	Rohöl	Tankerunglück, Navigationsfehler
Jan 1991	Ölpest am Persischen Golf 1991	k. A.	Südkuwait, Saudi-Arabien	800.000 bis 1.700.000	Rohöl	Kriegsfolgen des zweiten Golfkriegs
April 2010	Ölpest im Golf von Mexiko 2010	BP	Golf von Mexiko	670.000	Rohöl mit hohem Gasanteil	Unglück auf Bohrinself Deepwater Horizon, Blowout

Quelle: Wikipedia

Exxon Valdez Unglück vor Alaska 1989



Über **2000 km Küste** wurden verseucht.
Hunderttausende Fische, Seevögel und andere
Tiere starben als direkte Folge des Unglücks.
Langfristig vergiften sich die dort lebenden Tiere
schleichend über die Nahrungsaufnahme, da die
Ölreste immer noch nicht abgebaut sind.

Quelle: Wikipedia

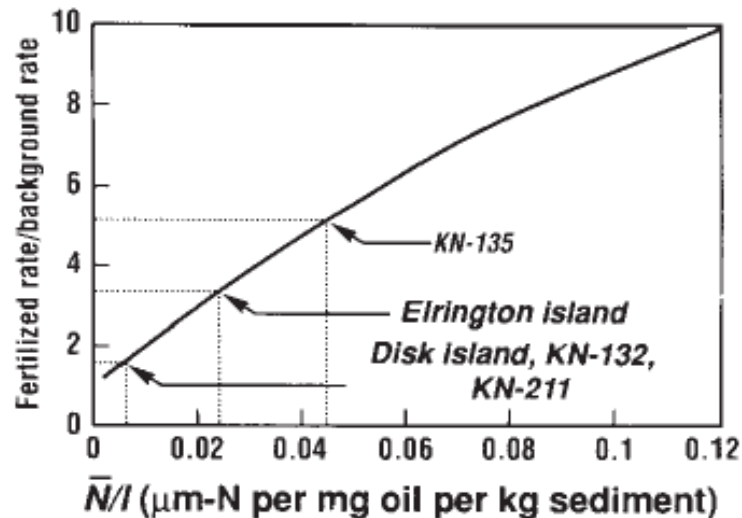
Exxon Valdez Bioremediation mit N/P/K Dünger



Fig. 3. Visual effect of Inipol fertilizer application on the removal of oil from test plots in Snug Harbor on Knight Island, Prince William Sound. Fertilizer treated area is shown on the right.

Pritchard et al. 1992

Exxon Valdez Bioremediation



Bragg et al. 1994

Limitation von Bioremediation mit Dünger:

- Kein Effekt auf **stark abgebautes Öl** (wenn polare Fraktion 60-70% erreicht, sind Nährstoffe nicht mehr der limitierende Faktor)
- Wenig effektiv, wenn **nicht genügend Sauerstoff** vorhanden (z.B. in lehmigen Sedimenten)

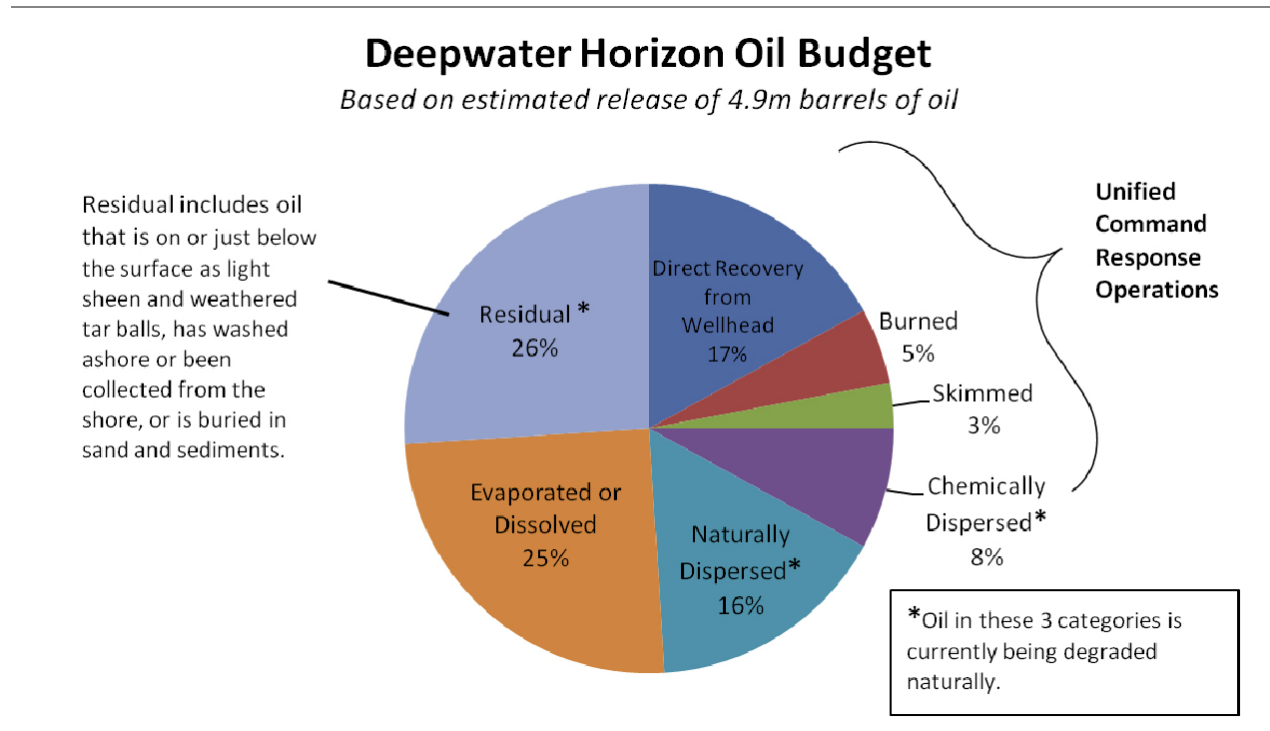
Deep Water Horizon Unglück 2010



Die Ölpest im Golf von Mexiko 2010 wurde durch die Explosion der Ölbohrplattform Deepwater Horizon am 20. April 2010 ausgelöst und ist eine der schwersten Umweltkatastrophen dieser Art. Die vom 20. April bis zum 16. Juli 2010 aus dem Bohrloch im Macondo-Ölfeld in den Golf von Mexiko ausgetretene Ölmenge wird auf **bis zu 800 Millionen Liter** geschätzt.

Wikipedia

Deep Water Horizon Streitpunkt: Das Öl war doch schnell weg oder nicht?



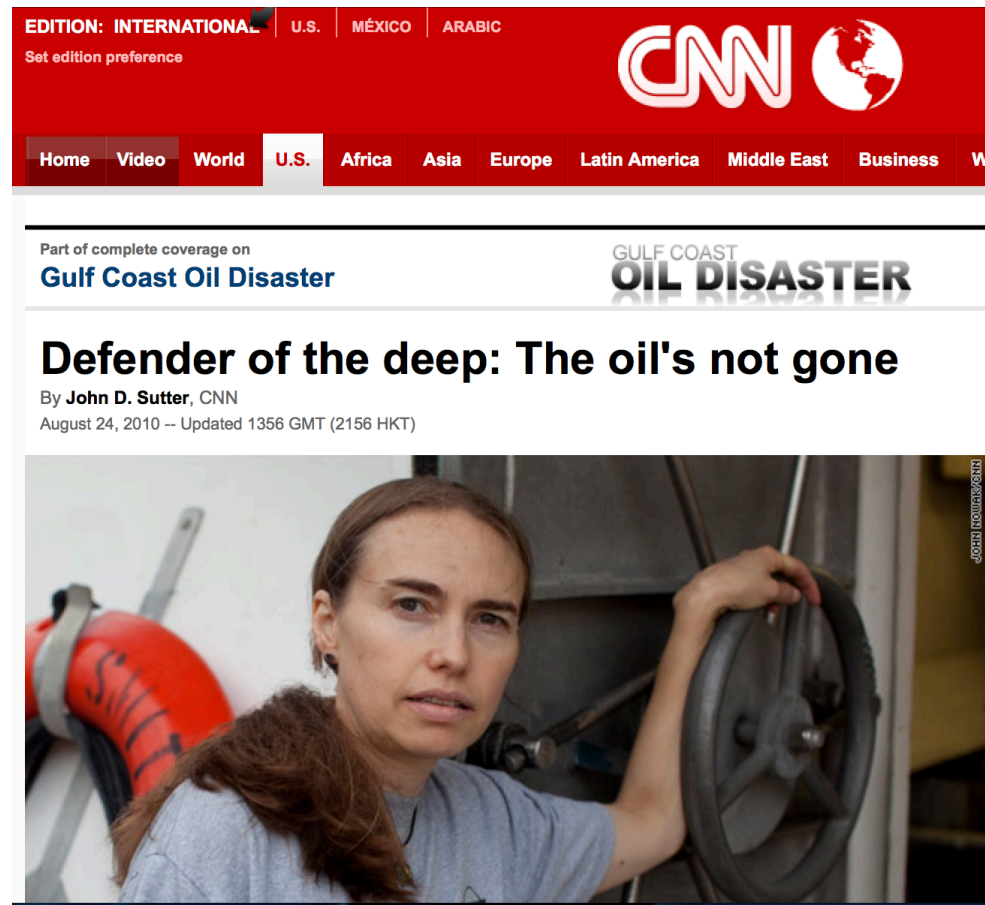
"The vast majority of the oil from the BP oil spill has either evaporated or been burned, skimmed, recovered from the wellhead or dispersed much of which is in the process of being degraded. A significant amount of this is the direct result of the robust federal response efforts."

Federal Science Report (NOAA, DOI)

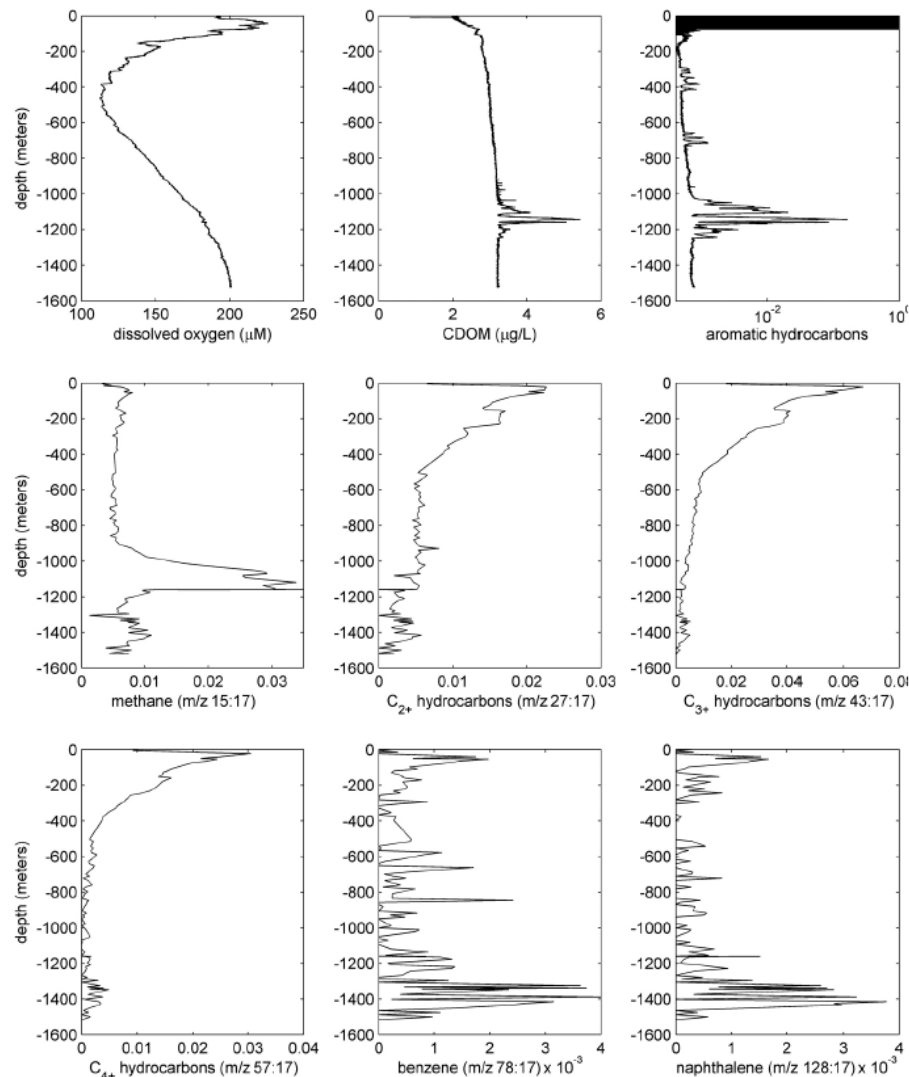
Deep Water Horizon Streitpunkt: Das Öl war doch schnell weg oder nicht?

"I'm not trying to be a 'doom and gloom' pusher, but I am trying to be realistic -- and we don't have all the answers," she said. "We're trying to pretend we do, but we don't."

Samantha Joye, UGA

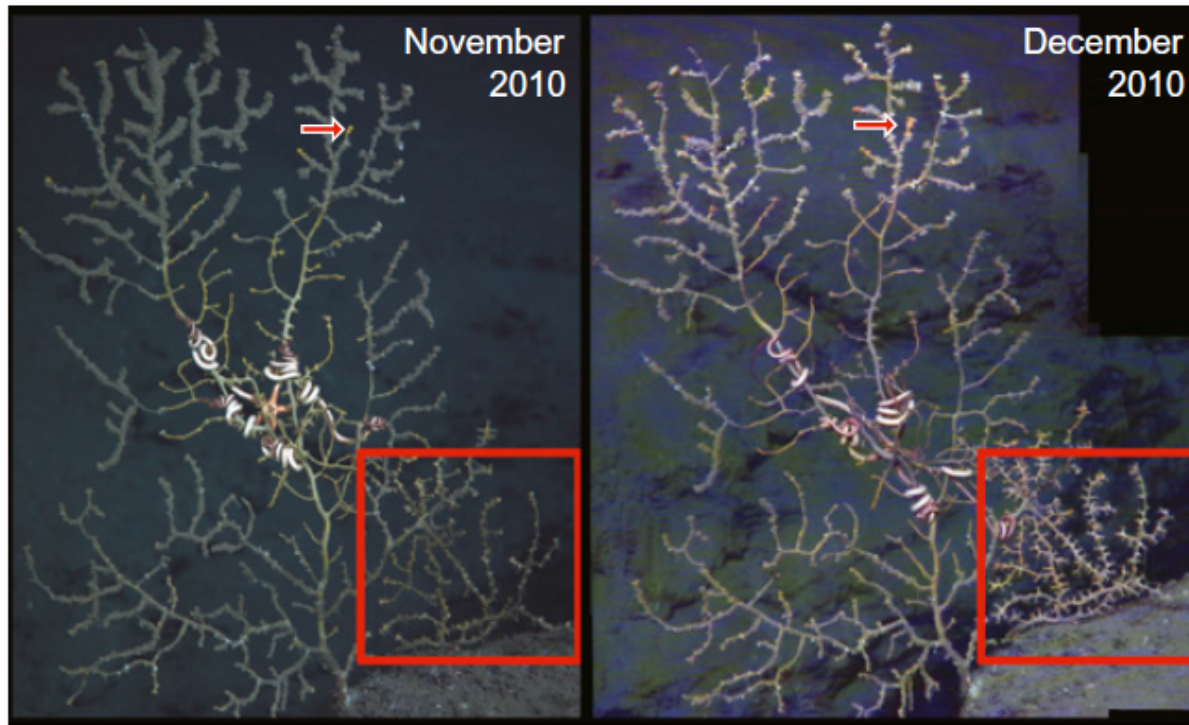


Deep Water Horizon Streitpunkt: Das Öl war doch schnell weg oder nicht?



„Our findings indicate the presence of a continuous **plume of oil, more than 35 kilometers in length, at approximately 1100 meters depth that persisted for months without substantial biodegradation**. Samples collected from within the plume reveal monoaromatic petroleum hydrocarbon concentrations in excess of 50 micrograms per liter.“
Camilli et al. 2010

Deep Water Horizon Streitpunkt: Das Öl war doch schnell weg oder nicht?



White et al. 2012

Corexit: Freund oder Feind?



Nalco spokesman Charlie Pajor said that oil mixed with Corexit is "**more toxic to marine life, but less toxic to life along the shore and animals at the surface**", because the dispersant allows the oil to **stay submerged** below the surface of the water. Corexit causes oil to form into small droplets in the water.

Quelle: Wikipedia



Corexit: Freund oder Feind?



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

PRODUCT

COREXIT® 9500

METHODS FOR CLEANING UP :

SMALL SPILLS: Soak up spill with absorbent material. Place residues in a suitable, covered, proper container. Wash affected area. **LARGE SPILLS:** Contain liquid using absorbent material, by digging diking. Reclaim into recovery or salvage drums or tank truck for proper disposal. Clean contaminated water or aqueous cleaning agents. Contact an approved waste hauler for disposal of contaminated material. Dispose of material in compliance with regulations indicated in Section 13 (Disposal Considerations).

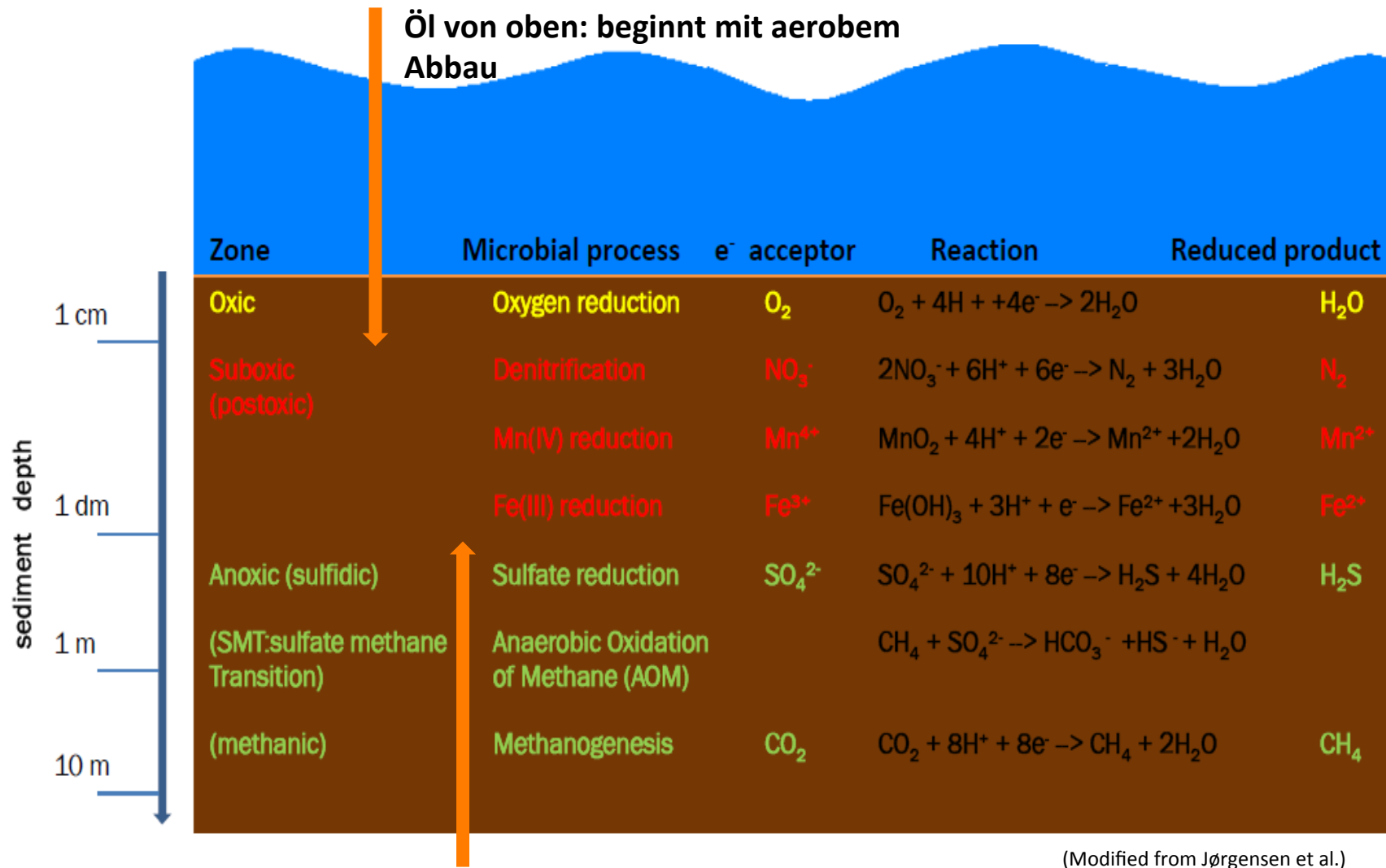
ENVIRONMENTAL PRECAUTIONS :

Do not contaminate surface water.

Übersicht

- Öl aus mikrobieller Sicht
- Prominente Beispiele von Ölkatastrophen im Meer
- Forschung zu ölabbauenden Mikroorganismen am GEOMAR

Zwei Wege wie Öl Sedimente erreicht



Öl von unten: beginnt mit anaeroben Abbau

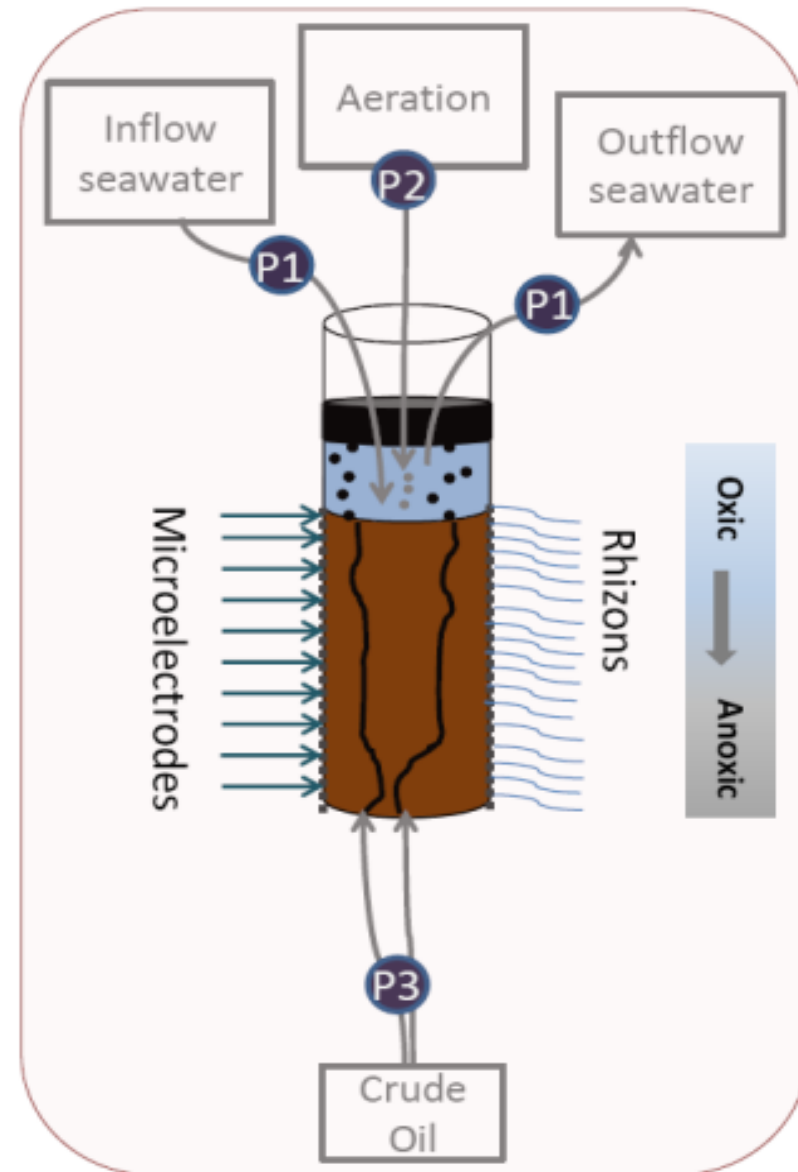
Fragestellungen

1. Wie ist die Sukzession und Geschwindigkeit des mikrobiellen Ölabbaus in marinen Sedimenten entlang des jeweiligen natürlichen Wanderwegs (von oben oder von unten)? Wie unterscheiden sie sich?
2. Welche Organismen dominieren welchen Abbauschritt? Wie ist die vertikale Zonierung der Organismen?
3. Wie reagieren unterschiedliche Sedimente (angepasste und unangepasste) auf die Ölzugabe?

Sediment Durchfluß System

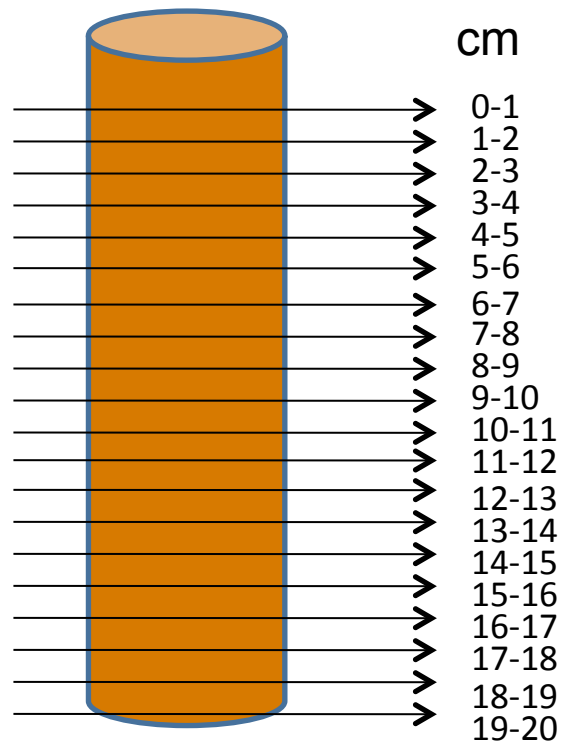


- Artifizielles Seewasser
- Intakte natürliche Sedimentkerne
- Anoxische und oxische Bedingungen
- Oil Flußrate: 3.6 $\mu\text{L}/\text{min}$
- biogeochemische Analysen online

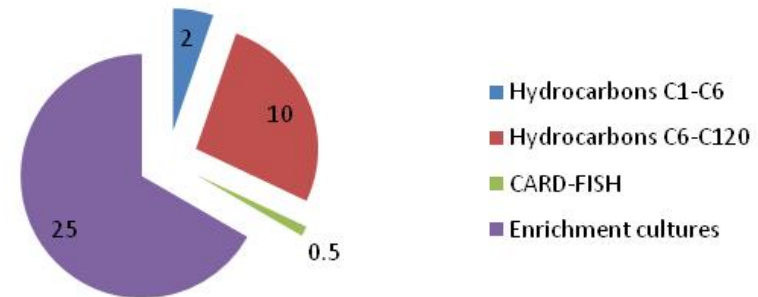


Beprobung der Kerne nach Inkubation mit Öl

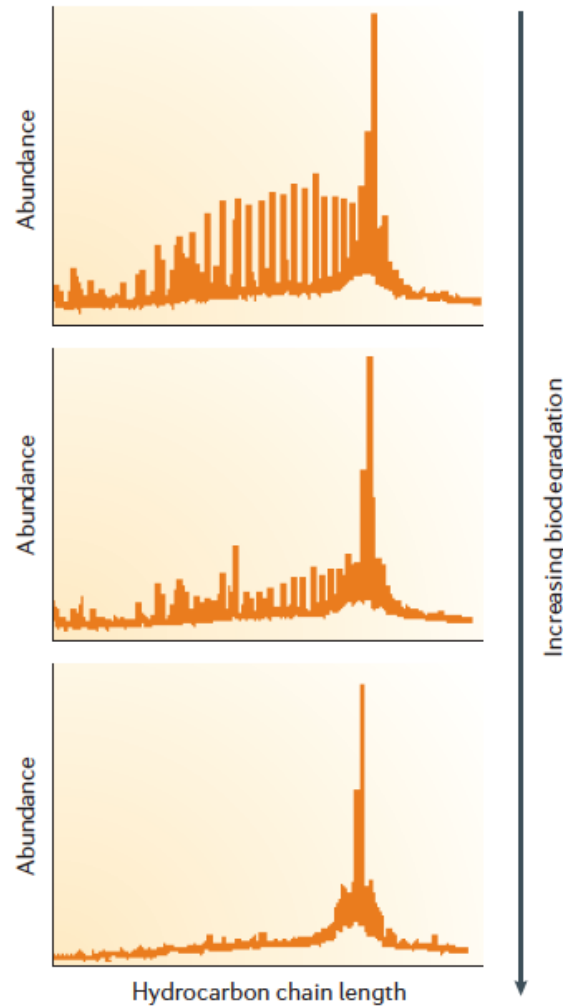
Kernbeprobung



Sediment subsampling (ml) of a 1-cm slice



Ölanalyse mit GC-MS System



Head et al. 2006

Momentane Sedimentproben

North Alex Schlammvulkan



Östliches Mittelmeer

Baku, Azerbaidshan



Kaspisches Meer

Zukünftige Sedimentproben: Arktis (Spitzbergen), Eckernförder Bucht

Schwefelwasserstoff (H₂S) Entwicklung in Sedimentkernen mit Öl über die Zeit

North Alex Schlammvulkan

Baku, Azerbaidshan

Bakterielle Sulfatreduktion mit Öl (vereinfachte Formel):



Sediment Slurry Analysen



3 x No oil

3 x Light oil

3 x Heavy oil

Sediment Slurry Analysen

North Alex Schlammvulkan

Eckernförder Bucht

Danksagung



Sonakshi Mishra
Doktorandin



Katja Laufer
ehem. Master Studentin



Peggy Wefers
GC-MS Technikerin

Danksagung



Deutsche
Forschungsgemeinschaft
DFG

Philip Steeb

Bettina Doyemeyer

Anke Bleyer

Regina Surberg

Dirk Wehrend

Asmus Petersen

Peter Feldens

Mark Schmidt

Christian Bücker

Geological Institute of Azerbaijan, Baku

