

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Brockel, Matthias; Graw, Kai-Uwe

Direktnutzung von Meeresenergie in der Biomasseproduktion auf See

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103697>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Brockel, Matthias; Graw, Kai-Uwe (2009): Direktnutzung von Meeresenergie in der Biomasseproduktion auf See. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserkraftnutzung im Zeichen des Klimawandels. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 39. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 133-142.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Direktnutzung von Meeresenergie in der Biomasseproduktion auf See

Direct Ocean Energy Utilisation for Seaborne Biomass Production

Matthias Brockel, Kai-Uwe Graw

Die Forschung zur Nutzung der Meeresenergie konzentriert sich im Wesentlichen auf die Gewinnung elektrischer Energie und deren Netzeinspeisung. Im folgenden Beitrag werden die Möglichkeiten des direkten Einsatzes von Meeresenergie in der Steigerung der Biomasseproduktion auf See, deren Nutzen und auch Grenzen aufgezeigt.

1 Verteilung der Biomasseproduktion auf See

Die Quantität der Biomasseprimärproduktion auf See wird im Wesentlichen von zwei limitierenden Faktoren, Licht und Nährstoffen wie Phosphaten und Nitraten, beeinflusst (Koske 1975). Die Anwesenheit dieser beiden Faktoren unterliegt großen räumlichen und zeitlichen Schwankungen, woraus sich eine sehr ungleichmäßige Verteilung der Biomasseproduktion ergibt.

In extratropischen Meeren kommt es in den Wintermonaten zu Orbitalströmungen, welche durch die Abkühlung der Wasseroberfläche und der daraus resultierenden größeren Dichte der höheren Wasserschichten angetrieben werden. Aufgrund dieser Strömungen steigt die oberflächennahe Nährstoffkonzentration signifikant an. Die Biomasseproduktion wird jedoch bis zum Frühjahr durch die schwache Solarstrahlung limitiert. Im Frühjahr kommt es infolge des großen Licht- und Nährstoffdargebots zu einem sprunghaften Anstieg der Biomasseproduktion, der sogenannten Algenblüte. Die oberflächennahen Nährstoffe sind jedoch relativ schnell aufgebraucht, so dass ausreichende Nährstoffkonzentrationen für eine ausgeprägte Biomasseproduktion erst in

großer Tiefe (vgl. Abb. 1) erreicht werden, in der jedoch kein ausreichendes Lichtdargebot vorhanden ist. Der Nährstoffmangel führt zu einem Abschwächen der Biomasseproduktion in den Sommermonaten.

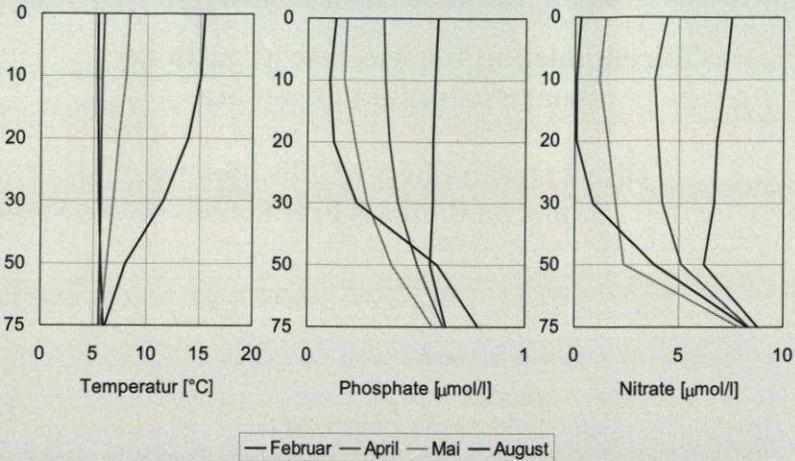


Abbildung 1 Temperatur, Phosphat- und Nitratgehalt über die Tiefe [m] in der Nordsee ($4,5^\circ$ Ost/ $56,5^\circ$ N) (erstellt mit Daten von Conkright)

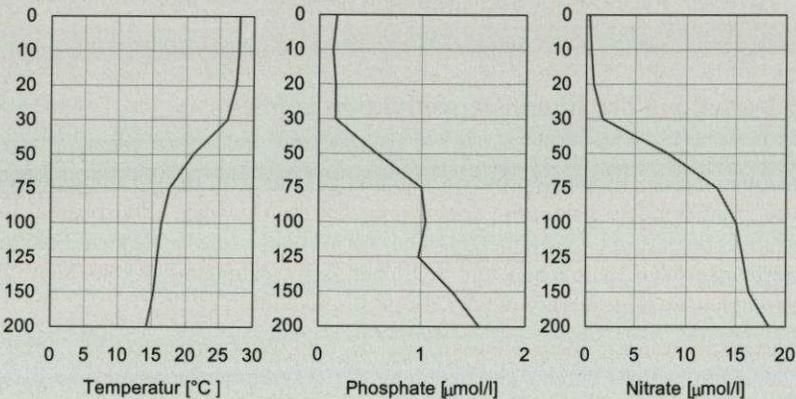


Abbildung 2 Temperatur, Phosphat- und Nitratgehalt über die Tiefe [m] im tropischen Teil des Atlantischen Ozeans nahe der Afrikanischen Küste ($4,5^\circ$ Ost / $3,5^\circ$ Nord) (erstellt mit Daten von Conkright)

In tropischen Gebieten herrschen das ganze Jahr über weitgehend konstante Produktionsbedingungen. Auch hier werden die lichtdurchfluteten, warmen Oberflächenschichten durch die Thermokline von den nährstoffreichen, kalten Tiefenschichten getrennt. Die tropische Thermokline ist jedoch durch ein

stärkeres Temperaturgefälle gekennzeichnet (*Karstensen 1999*), das mehr als 20 Kelvin betragen kann (vgl. Abb. 2). Da die tropische Thermokline aufgrund der konstant hohen Temperaturen das ganze Jahr über vorhanden ist, kommt es zu einem stark eingeschränkten Austausch von Sauerstoff und Nährstoffen zwischen den Schichten (*Backhaus*). Dieser Zustand behindert das Wachstum von Plankton und Algen und folglich auch das Auftreten höherer Meeresbewohner so stark, dass man von „wüstenartigen“ Erscheinungen sprechen kann (*Backhaus*).

Die maritime Biomasseproduktion erfolgt jedoch hauptsächlich im Bereich von Auftriebsgebieten. Hier kommt es zu einem geografisch bedingten Aufsteigen von nährstoffreichem Tiefenwasser, die Thermokline wird durchbrochen, so dass ganzjährig ausreichend Nährstoffe für die Biomasseproduktion zur Verfügung stehen. Beispiele hierfür sind neben dem Auftriebsgebiet vor Peru auch die Nordwest- und die Südwestküste Afrikas sowie die Küste Argentiniens.

2 Konzepte zur Steigerung der Biomasseproduktion auf See

2.1 Zweck der Steigerung der Biomasseproduktion auf See

Die Konzepte zur Steigerung der Biomasseproduktion auf See verfolgen im Wesentlichen zwei Ziele.

Zum einen hat sich durch die ausgeprägte (populär-) wissenschaftliche Diskussion des Klimawandels, die Bindung und Speicherung von Kohlenstoff als wichtigstes Argument für die Förderung der maritimen Biomasseproduktion herausgebildet. Bei diesen Konzepten wird zumeist die Steigerung des Planktonwachstums angestrebt, so dass ausschließlich in die Nährstoffkonzentration des Wassers eingegriffen wird.

Zum anderen wird die Produktionssteigerung maritimer Nahrungsmittel angestrebt. Hierbei kann zwischen Nahrungsmitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs unterschieden werden. Die Nutzung von Algen als Nahrungsmittel beschränkt sich dabei nicht auf den direkten Verzehr, obwohl dieser insbesondere im asiatischen Raum von Bedeutung ist. In Europa ist die Nutzung der Algen insbesondere auf die Gewinnung von Nahrungsmittelzusätzen (E 400 bis E 407) (*European Parliament 1995*) beschränkt, deren Bedeutung aber stetig zunimmt.

Die Förderung der Fischproduktion ist insbesondere angesichts des steigenden Nahrungsmittelbedarfs der wachsenden Weltbevölkerung sowie der weltweit katastrophalen Entwicklung der Fischbestände von Bedeutung. Die FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) sieht bereits heute 75 % der

Fischbestände als überfischt oder voll befischt an und schließt somit einen weiteren Ausbau des Fischfangs aus (FAO 2004).

Bei den Konzepten, welche die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion berücksichtigen, werden auch Algen- und Fischkulturen vorgeschlagen. Dabei kommen geschlossene und offene (käfigfreie) Aquakulturen, sogenannte Zuchtmodule, zum Einsatz.

Als weitere Ziele der gesteigerten Biomasseproduktion auf See können die Gewinnung von Biomasse als regenerative Energiequelle, als Düngemittel und als Rohstoff für die Papierproduktion genannt werden, diese werden jedoch zumeist als zweitrangig angesehen.

2.2 Düngung der oberflächennahen Wasserschichten

Es gibt inzwischen zahlreiche Bestrebungen, den Nährstoffmangel in den oberflächennahen Wasserschichten durch Zugabe der fehlenden Nährstoffe auszugleichen und so die Biomasseproduktion in den Meeren zu erhöhen. In der Regel verfolgen diese Konzepte ausschließlich die Bindung von Kohlenstoff im Sinne des Klimaschutzes.

Im European Iron Fertilization Experiment (EIFEX) wurden beispielsweise fehlende Nährstoffe, in diesem Fall Eisensulfat, welche in weiten Teilen der Weltmeere in zu geringem Umfang vorkommen, dem Meerwasser zugegeben und eine starke Erhöhung des Planktonwachstums beobachtet (Bathmann 2004). Die beteiligten Wissenschaftler betonten jedoch, dass diese Methode der Primärproduktionssteigerung für das Meer eher schädlich als nützlich sei, da sie die Eutrophierung fördert.

EIFEX war zwar in der Lage nachzuweisen, dass es zu einer ausgeprägten Planktonsedimentation in diesem Fall in fast 4000 m Tiefe kommt. Es konnte jedoch nicht festgestellt werden, in welchem Umfang das sedimentierte Plankton, beispielsweise durch Bakterien, abgebaut wird (Bathmann 2004).

2.3 Förderung der Nährstoffe aus tiefen Wasserschichten

Zur Förderung des nährstoffreichen Tiefenwassers stehen neben der maritimen Wasserkraft auch konventionelle Energiequellen zur Verfügung. Aufgrund des großen maritimen Energiedargebots, sowie im Sinne einer nachhaltigen Energiepolitik sollen konventionelle Energiequellen hier nicht weiter berücksichtigt werden. Ebenso ist die Nutzung anwendungsunabhängiger Energiequellen möglich, welche lediglich der Energieversorgung des Systems, respektive den Pumpen, dienen. Hier wäre beispielsweise die Nutzung von Windenergie denkbar.

Ein Verfahren der direkten Nutzung der Meeresenergie zur Steigerung der Biomasseproduktion ist die Nutzung des nährstoffreichen Kondensatorwassers eines Meereswärmekraftwerks (OTEC). Das Kondensatorwasser, welches in konventionellen Meereswärmekraftwerken unter die euphotische Zone gepumpt wird (Vega 1999), kann direkt zu einem Zuchtmodul geleitet werden (vgl. Abb. 3). Ein zu schnelles Absinken aufgrund der größeren Dichte des nährstoffreichen Tiefenwassers wird zum einen durch Erwärmen des Wassers im Kondensator und zum anderen durch eine gute Durchmischung mit dem vorhandenen Oberflächenwasser erreicht. Da in tropischen Regionen das ganze Jahr über große Temperaturunterschiede zwischen den oberen und unteren Wasserschichten anzutreffen sind, kann eine OTEC-Anlage eine äußerst gleichmäßige Nährstoffversorgung garantieren.

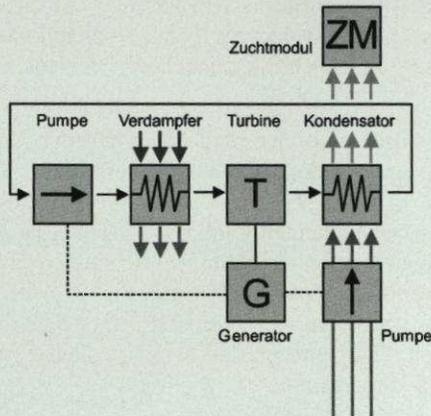


Abbildung 3 Meereswärmekraftwerk mit integriertem Zuchtmodul (Brockel 2006)

Meereswärmekraftwerke, die zur Gewinnung elektrischer Energie konzipiert sind, können gleichzeitig zur Nährstoffförderung genutzt werden. Zusätzlich können Meereswärmekraftwerke mit offenem Kreislauf, außer zur Erzeugung von elektrischer Energie, auch zur Meerwasserentsalzung eingesetzt werden (Vega 1999). Mit einem küstennahen Meereswärmekraftwerk könnte man somit elektrische Energie, Trinkwasser, Algen und Fisch produzieren (Golmen 2005). Der Einsatz von Meereswärmekraftwerken ist – aufgrund der erforderlichen Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen und Tiefenwasser – auf tropische Regionen beschränkt.

Ebenso nutzbar sind Wellenenergiewandler, welche durch ihre Arbeitsweise Wasserströmungen verursachen. Beispielsweise könnte eine „hose-pump“ direkt nährstoffarmes Oberflächenwasser in nährstoffreiche, tiefe Wasserschichten

pumpen (Brockel 2006). Durch den Dichteunterschied würde das Oberflächenwasser wieder aufsteigen und aufgrund von Durchmischungen nährstoffreiches Tiefenwasser in die euphotische Zone transportieren.

Vorteile für die direkte Nutzung der Meeresenergie zur Steigerung der Biomasseproduktion sind die Netzunabhängigkeit, die Nutzung der Tiefenwasserförderung als Nebenprodukt und die sehr einfache Technologie.

3 Möglichkeiten und Grenzen der Biomasseproduktion auf See

3.1 Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf der Erde

Den Einfluss der gesteigerten Biomasseproduktion auf die dauerhafte Bindung von Kohlenstoff im Meer und damit auf das Kohlendioxidaufkommen in der Atmosphäre kann aufgrund nicht ausreichender Untersuchung nur abgeschätzt werden.

Der Kohlenstoffaustausch zwischen dem Meer und der Atmosphäre weist auf der Seite des Meeres einen Aufnahmeüberschuss von $2,3 \pm 0,8 \text{ Gt/a}$ (Stock 2002) auf, wobei vermutlich der größte Teil in Lösung verbleibt, also nicht in Meeresbiomasse gebunden wird. Eine gesteigerte Biomasseproduktion würde die CO_2 -Konzentration im Wasser reduzieren und den Aufnahmeüberschuss des Meeres erhöhen, und somit die CO_2 Konzentration in der Atmosphäre verringern. Dies setzt jedoch eine dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs voraus. Im unbeeinflussten Kreislauf erfolgt dies nahezu ausschließlich über Sedimentation.

In der Literatur wird die Sedimentation im Kohlenstoffkreislauf des Meeres als sehr unbedeutende Größe meist nicht berücksichtigt. Betrachtet man den sehr großen Zeitraum, in dem die heute vorhandenen fossilen Energieträger entstanden sind, und stellt die vorhandenen Ressourcen ins Verhältnis zum gesamten Kohlenstoffumsatz während dieser Zeit, wird deutlich, wie gering das Senkenpotential ist.

Im Meer werden jährlich etwa 50 Gt Kohlenstoff in Biomasse umgesetzt (Field 2004). Etwa 0,5 Gt Kohlenstoff sedimentieren (Field 2004). Nimmt man an, dass der sedimentierte Kohlenstoff ausschließlich durch Absinken von Biomasse entsteht, bedeutet dies ein Sedimentationsanteil von ca. 1%. Wahrscheinlich wird dieser Wert noch deutlich unterschritten.

Nach recht kurzer Zeit wird somit der Biomasseaufbau der Respiration entsprechen und keine zusätzliche Kohlenstoffbindung erfolgen.

Eine zweite Möglichkeit wäre eine dauerhafte Speicherung des Kohlenstoffs durch den Menschen, beispielsweise durch eine künstlich gesteigerte

Sedimentation oder durch Entnahme und Konservierung der Biomasse. Neben der Frage der Sinnhaftigkeit einer solchen Einlagerung – schließlich könnte die Biomasse auch als regenerative Energiequelle genutzt werden – bleibt auch die Finanzierung einer solchen Anlage ungewiss.

Eine staatliche Finanzierung ist nur zur Erreichung von Klimaschutzziele insbesondere im Sinne des Kyotoabkommens bzw. seiner Nachfolgeabkommen zu erwarten. Ein privatwirtschaftliches Engagement ist nur zu erwarten, wenn dadurch Emissionszertifikate (Senkenzertifikate bzw. Removal Units) ebenfalls auf Grundlage des Kyotoabkommens erzeugt werden können. Beide Wege setzen eine Anerkennung als Senkenprojekt voraus.

Im Kyotoabkommen wurde in Artikel 3 Absatz 3 prinzipiell die Möglichkeit eingeräumt, Senkenprojekte zur Erfüllung der Emissionsziele anzurechnen. Allerdings ist die Anrechnung auf die vom Menschen verursachte Landnutzungsänderungen und forstwirtschaftlichen Maßnahmen begrenzt. Von der deutschen Bundesregierung wurde die Anrechenbarkeit sehr kritisch bewertet. Sie verfolgt das Ziel, dass "die Reduktion von Treibhausgasemissionen absoluten Vorrang" (*Langrock 2003*) hat. Außerdem stellt sie fest, dass "im Zusammenhang mit der Abrechnung und Durchführung von Senkenprojekten zahlreiche wissenschaftliche wie auch praktische Fragen nur unzureichend beantwortet" (*Langrock 2003*) sind. Es ist zum Beispiel sehr schwierig zu bestimmen, in welchem Umfang der Biomassegewinn auf die Aktivitäten des Menschen zurückzuführen ist.

Obwohl die Anrechenbarkeit äußerst umstritten ist, wurde auf der Konferenz der Vertragspartner 6b (COP 6b) in Bonn eine praktische Anrechenbarkeit von Senken bei der Erfüllung der Verpflichtungen vereinbart (*Betz 2003*). Danach beschränken sich mögliche Senkenprojekttypen auf "Aufforstung und Wiederaufforstung, Bewirtschaftungsmaßnahmen auf bestehenden Forst-, Acker- und Grünlandflächen, sowie Begrünung von Ödland" (*Betz 2003*). Des Weiteren wurden für jedes Vertragsland Höchstwerte für die Anrechnung von Emissionseinsparungen durch Senken festgelegt (z.B. Deutschland 4,54 Mt CO₂ / a; EU 32,79 Mt CO₂ / a; Welt bis 297,89 Mt CO₂ / a in der ersten Verpflichtungsperiode 2008-2012) (*Betz 2003*).

Mit einer Anerkennung von Projekten zur Steigerung der Meeresbiomasseproduktion als Senkenprojekt im Sinne des Kyotoabkommens ist nicht zu rechnen, da es sich erstens um kein Landnutzungs- oder Bewirtschaftungsprojekt von Landflächen handelt, zweitens die Sedimentationswirkung noch nicht quantifizierbar und vermutlich sehr gering ist sowie drittens eine Speicherung des Kohlendioxids in den Algen aufgrund des kurzen Erntezyklus äußerst kurz ist (*Brockel 2005*).

3.2 Einfluss auf Plankton-, Algen- und Fischbestände

Die kontinuierliche Nährstoffversorgung wird sich auf den Jahresrhythmus von Plankton, Algen und Fischen auswirken. Dies könnte dazu führen, dass sich fremde Arten im Einflussbereich solcher Anlagen ansiedeln können, mit einer großräumigen Veränderung der Populationen ist aber nicht zu rechnen. Werden die Anlagen in ausreichendem Abstand zur Küste installiert, sollte der Einfluss verhältnismäßig gering sein; dies gilt insbesondere für das Phytobentos, welches sich aufgrund der großen Wassertiefe nur im Bereich der Zuchtmodule ansiedeln kann.

Infolge der Steigerung des Nahrungsangebotes werden solche Anlagen höhere Lebewesen, z.B. Fische, anlocken. Ähnliche, wenn auch nicht so ausgeprägte, Effekte kann man an Störstellen, wie z.B. Bohrinseln beobachten, wo es durch Verwirbellungen des Wassers zu erhöhtem maritimen Wachstum kommt (*Backhaus*).

Die Plankton-, Algen- und Fischpopulation wird sich wahrscheinlich ähnlich einem natürlichen Auftriebsgebiet entwickeln. Insofern wird lokal ein neues Ökosystem geschaffen, welches dem Charakter nach demjenigen natürlicher Auftriebsgebiete ähnlich sein wird.

Trotz der Erhöhung der Plankton- und Algenproduktion werden die negativen Folgen der Eutrophierung nicht verstärkt, da keine zusätzlichen Nährstoffe ins Meer eingetragen, sondern mit den Algen und Fischen entnommen werden. Zudem werden Nährstoffe nur zu den Zeiten und an den Orten gefördert, wo Nährstoffmangel vorherrscht.

Insgesamt wird der Lebensraum Meer abwechslungsreicher gestaltet. Für einige zumeist küstennah lebende Arten werden sogar neue Lebensräume geschaffen. So wird sich nach einer Anpassungszeit ein stabiles, bereichertes Ökosystem ausbilden.

4 Zusammenfassung und Danksagung

Die beschriebenen Methoden zur Direktnutzung der Meeresenergie für die Biomasseproduktion auf See stellen eine komplexe Kombination vieler Einflussfaktoren und Wirkungen dar. Eine Wirkung und Finanzierung der Projekte als CO₂-Senke ist eher unwahrscheinlich, eine positive Einwirkung auf die Nutzung der Meere hinsichtlich der Nahrungsversorgung oder der Erzeugung von Biomasse zur Energieerzeugung kann jedoch vorhergesagt werden. Maritime Energiequellen sind dabei nur in einigen Fällen gegenüber anderen regenerativen Energiequellen im Vorteil – immer dann, wenn mit diesen

Systemen maritimer Energieerzeugung größere Mengen Wasser verlagert werden.

Prof. Jan Backhaus sei an dieser Stelle für seine Anregung zu dieser Thematik und der Betreuung der durchgeführten Arbeiten gedankt.

Literatur

Backhaus, Jan O., Prof. Dr., (-), Photosynthetic Renewable Energy Converter - an Outline -, Institut für Meereskunde, ZMK

Bathmann, U.; Ecological and Biogeochemical Response of Antarctic Ecosystems to Iron Fertilization and Implications on Global Carbon Cycle; 11th International Symposium on Polar Sciences, Dynamics of Polar Pelagic Ecosystem, South Korea, September 2004

Betz, R.; Schleich, J.; Wartmann, S.: Flexible Instrumente im Klimaschutz Emissionsrechteland, Joint Implementaion, Clean Development Machanism, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden Württemberg, Stuttgart, Mai 2003

Brockel, M.: Alternative Methode zur direkten Nutzung regenerativer Energien im Meer - SUPMARE -; Großer Übungsbeleg; Universität Leipzig; Oktober 2005

Brockel, M.: Konstruktionskriterien für ein System zur direkten Nutzung regenerativer Energie für Algen- und Fischproduktion im Meer; Universität Leipzig; Diplomarbeit; Februar 2006

Conkright, E.; Locarnini, R.; Garcia, H.; O'Brien D.; Boyer, P.; Stephens, C.; Antonov, I.: World Ocean Atlas 2001, <http://odv.awi-bremerhaven.de/data/ocean/world-ocean-atlas-2001.html> (22.12.2005)

European Parliament; EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL DIRECTIVE No 95/2/EC of 20 February 1995 on food additives other than colours and sweeteners; http://europa.eu.int/comm/food/fs/sfp/addit_flavor/flav11_en.pdf; 21.10.2005

FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations); Editorial Production and Design Group Publishing Management Service; The state of world fisheries and aquaculture (SOFIA) 2004; ISBN 92-5-105177-1; 2004

Field, Ch. B.; Raupach; M. R.: The global carbon cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World; Scope 62 Island Press; März 2004

- Golmen, L.; Masutani, S.; Oucji, K.: Ocean Thermal Energy Conversion and the Next Generation Fisheries; WREC; 2005
- Karstensen, J.; Über die Ventilation der Thermokline des Indischen Ozeans; Dissertation, Universität Hamburg ; Hamburg 1999
- Koske, P., Lenz J., Nellen W., Zeitschel B.: Die Produktion mariner Organismen unter natürlichen Bedingungen und in Kulturen, Zentralstelle für Luft- und Raumfahrdokumentation und Information (ZLDI) der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt, München, 1975
- Langrock, T.; Sterk, W; Wiehler, H.: Akteurorientierter Diskussionsprozess >>Senken und CDM/JI<< Endbericht; Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; 2003
- Stock, A.; Türk, A.: Climate Change Science and Policy; <http://www.acc.gv.at/publ/ClimateScience.pdf>; Dezember 2002
- Vega, A.; Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC); Dezember 1999 <http://library.greenocean.org/oteclibrary/otecpapers/> (16.01.06)

Autoren:

Dipl.-Ing. Matthias Brockel,
TU Dresden
Institut für Wasserbau und
Technische Hydromechanik
George-Bähr-Straße 1
D-01069 Dresden
Tel.: +49 - 351 - 46334696
Fax: +49 - 351 - 46337141
matthias.brockel@tu-dresden.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Kai-Uwe Graw,
TU Dresden
Institut für Wasserbau und
Technische Hydromechanik
George-Bähr-Straße 1
D-01069 Dresden
Tel.: +49 - 351 - 46333837
Fax: +49 - 351 - 46337141
kai-uwe.graw@tu-dresden.de