

Michael Dienst

Zur Fluid-Struktur-Wechselwirkung biologischer Finnen

Beitrag zur FSI biologischer und artifizierlicher Fluidsysteme

Wissenschaftlicher Aufsatz

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2015 GRIN Verlag
ISBN: 9783668001664

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/302479>

Michael Dienst

Zur Fluid-Struktur-Wechselwirkung biologischer Finnen

Beitrag zur FSI biologischer und artifizierlicher Fluidsysteme

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

Zur Fluid-Struktur-Wechselwirkung biologischer Finnen

Beitrag zur FSI biologischer und artifizierter Fluidsysteme

BIONIC RESEARCH UNIT der Beuth Hochschule Berlin

Michael Dienst

Berlin im Sommer 2015

Die belebte Natur hat in den Jahrmillionen der biologischen Evolution äußerst effiziente und Ressourcen schonende Lösungen hervorgebracht. Wir beobachten die Vielfalt biologischer Bauweisen, wir beschreiben und messen die teilweise bis an das physikalisch Machbare optimierten Funktionen, wir bewundern die von einer Einfachheit getragene Eleganz der Gestalt vieler Lebewesen. Die belebte Natur inspiriert Ingenieure zur Entwicklung neuer Produkte und Verfahren.

Aufgabe der Bionik ist es, Prinzipien der belebten Natur zu entschlüsseln mit dem Ziel, diese auf Technik zu übertragen und neuartige Problemlösungen zu entwickeln [Rech-94][Bapp-99][Bech-97][Nach-98][Nach-00].

Die Biosystemanalyse liefert dabei den Stoff, aus dem die Bionik Innovationen generiert. Eingedenk der Komplexität der Lebewesen ist es für einen Ingenieur mitunter bemerkenswert biologischen Gestaltungslösungen zu begegnen, die sich im Laufe der Evolution zu Konstruktionen entwickelt haben und weitestgehend selbstständig und mit geringstem kognitivem und strukturellem Aufwand komplizierte Aufgaben erfüllen. Für dieses Phänomen wurde der Begriff der „intelligenten Mechanik“ geprägt¹.

Strahlenflosser² sind eine sehr erfolgreiche Klasse der Knochenfische³, die mit ca. 30.000 bekannten rezenten Arten über 96 Prozent der lebenden Fischarten

¹ Siewert, M; Kleinschrodt, H-D; Krebber, B; Dienst, Mi. (2010) FSI- Analyse auto-adaptiver Profile für Strömungsleitflächen. In: Tagungsband, ANSYS Conference & 28th CADFEM Users' Meeting Aachen 2010.

² Actinopterygii. Strahlenflosser (Actinopterygii) sind eine Klasse der Knochenfische (Osteichthyes).

³ Osteichthyes. Knochenfische (Osteichthyes) oder Knochenfische im weiteren Sinne sind diejenigen Fischgruppen, deren Skelett im Gegensatz zu dem der Knorpelfische (Chondrichthyes) vollständig oder

und damit etwa die Hälfte aller beschriebenen Wirbeltierarten stellen. Obwohl ihre Anatomie und die Mechanik ihres Bewegungsapparates Gegenstand zahlreicher Studien und wissenschaftlichen Untersuchungen ist, wird die Vielfalt von Funktion und Design der namensgebenden Flossenstrahlen, ihr evolutiver Werdegang, das individuelle Wachstum und die Differenzierung während der Individualentwicklung derzeit wenig erforscht. Zuordnungen von Merkmalen und Funktionen der Flossenstrahlen verschiedener Arten mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Gewohnheiten, wie Jagen, Flüchten, Wühlen oder verschiedene Schwimmstile sind teilweise noch völlig unbekannt.

Betrachten wir die Fischflosse im Kontext Fischkörpers, so sind Flossenstrahlen Teil des Wirbeltierskeletts, welches eine Schar fester, gelenkiger (Skelett-) Elemente bildet, die in Zusammenarbeit mit den Muskeln für die Fortbewegung des Wesens wichtig sind. Die sichtbare Membran der Fischflosse wurde im Laufe der Evolution möglicherweise ursprünglich nur von dermalen Schuppen in der sie bedeckenden Haut gestützt. Die Flossen höher entwickelter Knochenfische werden im inneren Bereich durch eine Reihe schlanker Flossenstrahlen stabilisiert. Grundsätzlich sind die Flossenstrahlen der Knorpelfische schlank, nicht gegliedert, elastisch und heißen Ceratotrichia⁴. Flossenstrahlen der Knochenfische sind breiter, gegliedert, proximal paarig, distal verzweigt und verknöchert und heißen Lepidotrichia⁵, Sie werden evolutionsbiologisch von Schuppen abgeleitet beschrieben [W-06][W-06][Hild-01]. Die Schwanzflosse der Strahlenflosser wird innerhalb ihrer fleischigen Basis von mehreren (modifizierten) Neuralbögen (Epuralia), Haemalbögen (Hypuralia⁶) und Fortsätzen unterstützt und dient den Fischen zur Vortriebskraftherzeugung, zur Stabilisierung der antriebslosen geradlinigen Fortbewegung und zum Manövrieren.

Wenn das Tier in seiner fluidischen Umgebung Inhomogenitäten auffindet, also ein Geschwindigkeitsfeld respektive einen geeigneten Druckgradienten, kann es dies zur eigenen Mobilität nutzen, indem es sich im Zickzack von Wirbel zu Wirbel hangelt und für diese Art der Fortbewegung nur relativ geringe Muskelkraft aufwendet. Das Zusammenspiel und Wechselwirken von in einer

teilweise verknöchert ist. Von den Osteichthyes sind die Knochenfische im engeren Sinne, die Echten Knochenfische (Teleostei), zu unterscheiden.

⁴ ceratotrichia. (english) Slender soft or stiff filaments of an elastic protein, superficially resembling keratin or horn (from the Greek keratos, horn, and trichos), hair. Ceratotrichia run in parallel and radial to the fin base and support the fin webs.

⁵ lepidotrichia (uncountable, zoology) dermal elements located at the distal margin of fins. Das Erbgut der Neunaugen.. Jeremiah Smith von der University of Kentucky in "Nature Genetics

⁶ Hypuralia sind Stützelemente aus dem Schwanzflossenskelett der Echten Knochenfische (Teleostei). Sie bestehen aus vergrößerten Hämalbögen der Schwanzwirbel und bilden den Ansatz der Schwanzflossenstrahlen.

Strömung transportierten Wirbeln mit einer Flossenmembran ist ein grundsätzliches Phänomen wirbel- und inversionsbehafteter Strömung und Gegenstand der Analyse der aktiven und passiven Wirbelkontrollmechanismen von Wasserlebewesen. Die Prinzipien der Wirbelkontrolle sind von großer Bedeutung für das Verständnis, wie Fische schwimmen und manövrieren. Nach Gopalkrishnan et al (1994), Streitlien et al (1996) und Anderson (1996), kann ein harmonisch oszillierender Tragflügel in einer mit großen Wirbeln behafteten Strömung vorteilhaft interagieren und Schub erzeugen, wenn sowohl die Wirbelgröße und die Frequenz des harmonisch oszillierenden Profil in der Strömung fitten, also schwingungsharmonisch aufeinander passen. Fluid-Struktur-Interaktion von flexiblen Körpern in wirbelbehafteten Strömungen ist Gegenstand der rezenten Forschung [Gopa-94][Read-02][Ande-99][Albe-09][Liao-06][Tria-02][Floc-09][Stre-96].

Die Fluid-Struktur-Wechselwirkung beim Impulsaustausch mit dem Fluid über die Membrantragfläche der Fischflosse, kann produktiv oder generativ sein. Bei einer produktiven Wechselwirkung arbeitet die Flossenmembran als Krafttragfläche und koppelt Energie aus der Strömung in die Membran ein. Bei einer generativen Fluid-Struktur-Interaktion wirkt die Flossenmembran als Arbeitsfläche und koppelt Energie aus der Struktur in das Fluid ein. Produktion und Generation können in einem zeitlich-örtlich ineinander verschränkten, komplexen Gesamtgeschehen stattfinden.

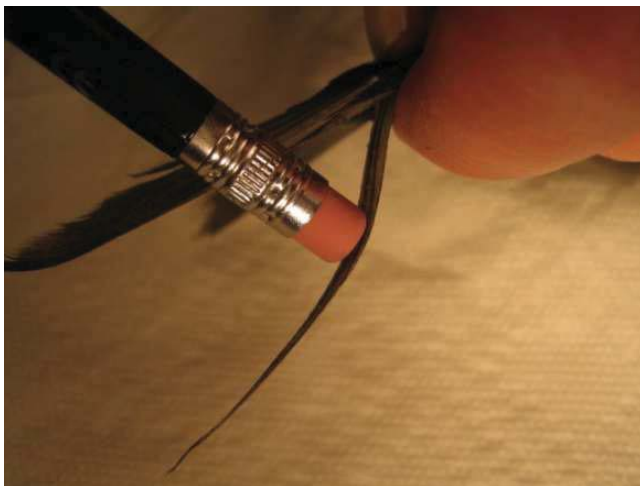


Abbildung 1: Das nichtorthodoxe Beaufschlagungs-Bewegungs-Gebaren einer Makrelenfinne. Fotografische Darstellung, Mi. Dienst (2008)

Anders als in der Technik, wo der Energie- und Informationsaustausch an Kraft- und Arbeitstragflächen vergleichsweise eindeutig beschrieben und zugeordnet werden kann, stellen sich biologische Tragflügelkonstruktionen als komplexe, zur Rückkopplung und zur Adaption fähige Multifunktionssysteme dar. Diese sind optimiert und in der Lage, ihre fluidische Umgebung zu kontrollieren, gestaltend auf sie einzuwirken und sie für ihre Transport- und Mobilitätsbelange zu konditionieren derart, dass das Lebewesen den zeitlichen Ablauf seiner Körperbewegung so ausführt, dass der genezierte Wirbel die in seiner Umgebung vorgefundenen Struktur vorteilhaft ergänzt. Dabei haben Periodizität, Frequenz, Phase und Drehrichtung der von in einer Strömung zu einer Flossenmembran transportierten Wirbelgebilde erheblichen Einfluss auf die Qualität der Fluid-Struktur-Wechselwirkung mit der Flossenmembran.

Flossen bestehen aus einer Membrantragfläche (Flossenhaut), die durch Flossenstrahlen stabilisiert ist und in ihrer ausgewogenen Kombination aus Steifigkeit und Flexibilität dem Lebewesen eine fein abgestimmte hydrodynamische Interaktion mit seiner Umgebung ermöglicht. Grundsätzlich sind Fische in der Lage, mit ihren Flossenmuskeln an der Wurzel der Flossenstrahlen aktiv die Krümmung jedes einzelnen Flossenstrahls zu steuern und damit die gesamte Membran in einer sehr komplexen Weise zu formen. Ist der Impulsaustausch an der Membranoberfläche groß, verhält sich die biologische Flosse biegenachgiebig-elastisch und weicht einer transversalen Anströmung aus. Die Beaufschlagungs-Formänderungs-Wechselwirkung verhält sich kausal gegenüber beaufschlagenden Krafrichtung und im Sinne eines konventionellen Belastungs- Verformungsregimes mechanisch „orthodox“. Im Normalbetrieb aber, technisch gesprochen also „im Auslegungsbereich des Strömungsbauteils“, führen die Flossenstrahlen passiv eine elastische, konkave Verformung aus, deren Krümmung der Belastungsrichtung entgegengerichtet ist. Hier zeigt die Fischflosse also ein „mechanisch nichtorthodoxes“, ja paradoxes Verformungsgebaren und eine der Krafteinleitungsrichtung entgegenwirkenden Verformung realisierende Belastungs-Formänderungs- Interaktion. Die Ursache der nichtorthodoxen Krümmung biologischer Flossenmembranen findet sich im bemerkenswerten Design der biegeflexiblen Innenstruktur der Flossenstrahlen, einer Schar regelmäßig von durch Stege verbundenen, durch ein plastisch verformbare Inlets gedämpfte und mit Flossenhaut ummantelte Halbtubensysteme.

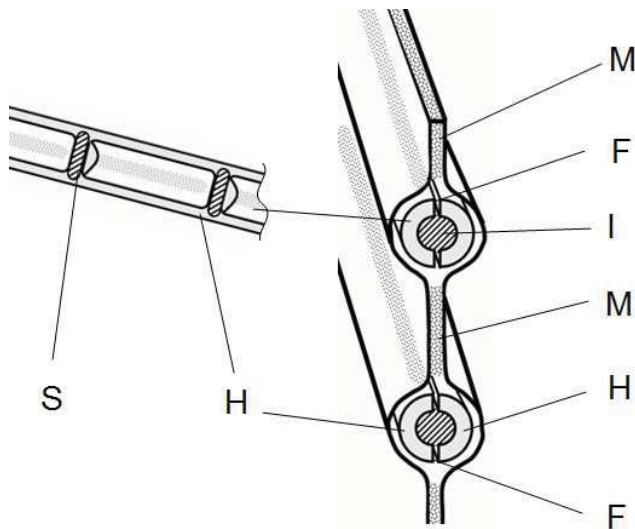


Abbildung 3. Schematische Darstellung einer Flossenmembran⁷.

Steg S, Halbtube H, Membran M, Fuge F und Inlet I,

Aus der Sichtweise der Bionik stellten strömungsadaptive Tragflächenprofile nach dem Vorbild fluidischer Biosysteme grundsätzlich eine Möglichkeit der passiven Strömungskontrolle dar. Dies führte in der vergangenen Dekade zu einer ambitionierten Erforschung der „intelligenten Mechanik“ biologischer und technischer Flossensysteme. In mehreren Forschungsvorhaben der Beuth Hochschule für Technik Berlin wurden seit 2006 die biologischen Hintergründe "intelligenter Mechanik" betrachtet, an der Wirkungsweise biologischer Flossen die „prinzipielle Lösung“ für artifizielle autoadaptive Profile herausgearbeitet, erste technische Kinematiken entworfen [MIR-05], numerische Lösungsansätze erarbeitet [KRE-08], Systeme mit Fluid-Struktur-Wechselwirkung untersucht [Sie-10], [Sie-11] und Patente für belastungsadaptive Bauteile angemeldet [USP-12][DEP-11]. Da zu dieser Zeit numerische Modelle der Fluid-Struktur-Wechselwirkung nur für ausgesuchte Randbedingungen existierten, wurde im Rahmen der Forschungskampagne eine Prozesskette entwickelt, welche die Lösungen von Körperverformung (Finite Element Methode, FEM) und Strömungsgebiet (Computational Fluid Dynamics, CFD) in einem gemeinsamen Simulationsansatz unter den speziellen Bedingungen hochkomplexer dynamischer Außenströmung miteinander koppelt (Fluid Structure Interaction, FSI). Die Simulations- und Berechnungsergebnisse bildeten die Basis für den Entwurf realer Strömungsbauteile mit intelligenter Mechanik.

⁷ Dienst, Mi.(2013) About the nonorthodox Behavior of Fish Fins. Intelligent Mechanics (i-mech) in Nature and Design, GRIN-Verlag GmbH München, ISBN 978-3-656-44320-9.

Bibliographie, weiterführende Literatur, Patente und Internet-Links

- [Albe-09] Alben, S. (2009) On the swimming of a flexible body in a vortex street. in J. Fluid Mech. (2009), vol. 635, pp. 27–45. Cambridge University Press 2009
- [Albe-06] Alben, S., Madden, P.G., Lauder, V.L. (2006) The mechanics of active fin-shape control in ray finned fishes. Journal of the Royal Society. Interface Vol.: 2007/4, S. 243-256.
- [Ande-99] Anderson, J.M. (1999) NEAR-BODY FLOW DYNAMICS IN SWIMMING FISH, The Journal of Experimental Biology 202, 2303–2327 (1999)
- [Antm-05] Antman S.S. (2005) Nonlinear problems of elasticity. 2nd edn. Springer; New York, NY.
- [Batc-67] Batchelor G.K. (1967) An introduction to fluid dynamics, 1st edn. Cambridge University Press; Cambridge, UK.
- [Bann-02] Bannasch, Rudolph. (2002) Vorbild Natur. In: design report 9/02, S.20ff. Blue.C Verlag Stuttgart.
- [Bapp-99] Bappert, R. Bionik, (1999) Zukunftstechnik lernt von der Natur. SiemensForum München/Berlin und Landesmuseum für Technik und Arbeit (Herausgeber).
- [Barg-11] Bagaric, B. (2011). Modellierung, Simulation und Parametrisierung eines virtuellen Strömungskanals mit dem Programmsystem FS-Flow. Untersuchung typischer Szenarien endlicher Traglügel. Bachelorarbeit a.d. BeuthHS Berlin (082011).
- [Bech-93] Bechert, D.W.: Verminderung des Strömungswiderstandes durch bionische Oberflächen. In: VDI-Technologieanalyse Bionik, S. 74 – 77. VDI-Technologiezentrum Düsseldorf 1993.
- [Bech-97] Bechert, D.W., Biological Surfaces and their Technological Application. 28th AIAA Fluid Dynamics Conference: 1997
- [Curr-25] Curry, M. (1925) Die Aerodynamik des Segels und die Kunst des Regatta-Segelns. Diessen vor München: Jos. C. Huber, 1925.
- Floc-09] France Floch,F. Laurens, J.M. (2009) Comparison of hydrodynamics performances of a porpoising foil and a propeller. in: First International Symposium on Marine Propulsors smp'09, Trondheim, Norway, June 2009

- [Gopa-94] Gopalkrishnan, R.(1994) Active vorticity control in a shear flow using a flapping foil. in J. Fluid Mech. (1994), vol. 274, pp. 1-21 Cambridge University Press.
- [Hild-01] Hildebrand, M., Goslow, G.E., (2001) Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere. Springer Verlag Berlin, N.Y.
- [Liao-03] Liao, J.C.; Beal, D.; Lauder, G.; Triantayllou, M. (2003): Fish Exploting Vortices Decrease Muscle Activty, In: Science 2003, S. 1566-1569. AAAS.
- [Liao-06] Liao, J.C.; Passive propulsion in vortex wakes. in J. Fluid Mech. (2006), vol. 549, pp. 385–402. c_ 2006 Cambridge University Press
- [Kreb-08-2] Krebber, B.: “i-mech”. Untersuchung der intelligenten Mechanik von Fischflossen mit Hilfe von FSI- Simulation. Forschungsbericht der Technischen Fachhochschule Berlin 2007/08
- [Kreb-08-1] Krebber, B., H.-D. Kleinschrodt und K. Hochkirch: (2008) Fluid-Struktur-Simulation zur Untersuchung intelligenter Mechanik von Fischflossen. ANSYS Conference & 26. CADFEM Users´ Meeting,
- [McCu-70] McCutchen C.W. (1970) The trout tail fin, a self-cambering hydrofoil. J. Biomech. 1970/3, S. 271–281.
- [Nach-98] Nachtigall, W.: Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1998.
- [Nach-00] Nachtigall, W.; Blüchel, K. Das große Buch der Bionik. Stuttgart: Deutsche Verlags Anstalt: 2000.
- [Mirs-05] Mirsch, F.; Dienst, M.: FlowBow-Artifizielle adaptive Strömungskörper nach dem Vorbild der Natur. In: Forschungsbericht der Technischen Fachhochschule Berlin 2005
- [PaBe-93] Pahl. G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, 3.Auflage. Berlin-Heidelberg- New York-London-Paris-Tokio: Springer 1993
- [Pfeif-07] Pfeiffer,Rolf; Bongard, Josh (2007): How the body shapes the way we think, The MIT Press
- [Read-02] D.A. Read (2002) Forces on oscillating foils for propulsion and maneuvering, in Journal of Fluids and Structures 17 (2003) 163–183 Cambridge University Press
- [Rech-94] Rechenberg, Ingo, (1994) Evolutionsstrategie. Frommann Holzboog Verlag Stuttgart- Bad Cannstatt.
- [Sege-87] Segel L.A. (1987) Mathematics applied to continuum mechanics. 1st edn. Dover Publications; New York, NY.

- [Siew-10] Siewert, M; Kleinschrodt, H-D; Krebber, B; Dienst, Mi. (2010) FSI-Analyse auto-adaptiver Profile für Strömungsleitflächen. In: Tagungsband, ANSYS Conference & 28th CADFEM Users' Meeting Aachen 2010.
- [Siew-11] Siewert, M; Kleinschrodt, H-D.(2011) Bionical Morphological Computation. In: Nachhaltige Forschung in Wachstumsbereichen Bd.1, Logos Verlag Berlin.
- [Stre-96] Streitlien, K. (1996) Efficient foil propulsion through vortex control, Aiaa Journal - AIAA J , vol. 34, no. 11, pp. 2315-2319, 1996
- [Tria-95] Triantafyllou, M. (1995): Effizienter Flossenantrieb für Schwimmroboter, Spektrum der Wissenschaft 08-1995, S. 66–73, Wiss. Verlagsges. mbH, Heidelberg 1995.
- [Tria-95] Triantafyllou, M., Triantafyllou, G. (1996): An Efficient Swimming Machine. Scientific American, March 1996. p.64-70.
- [Tria-02] Triantafyllou, M. (2002) Vorticity Control in Fish-like Propulsion and Maneuvering, INTEGR. COMP. BIOL., 42:1026–1031 (2002)

Ebenso:

- [Die12-US] Dienst, Mi. (2012) [COMPONENTS DESIGNED TO BE LOAD-ADAPTIVE.](#)
US-Pat. 13/517,181 (based on PCT/DE2010/075164, 19062012).
- [Die12-WO] Dienst, Mi. (2012) [COMPONENTS DESIGNED TO BE LOAD-ADAPTIVE.](#)
WO: PCT/DE2010/075164 (based on PCT/DE2010/075164, 19062012).
IPC: B63H (2012.01)
- [Die12-EU] Dienst, Mi. (2012) [COMPONENTS DESIGNED TO BE LOAD-ADAPTIVE.](#)
EU-Pat. 10809144.8 (based on PCT/DE2010/075164,).
- [Die12-DE] Dienst, Mi. (2012) [Belastungsadaptiv ausgebildete Bauteile.](#) Dt.
Patent PTC/DE2010/075164, EP: 10809144.8, Offenlegung.
22062011

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren

