

# RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

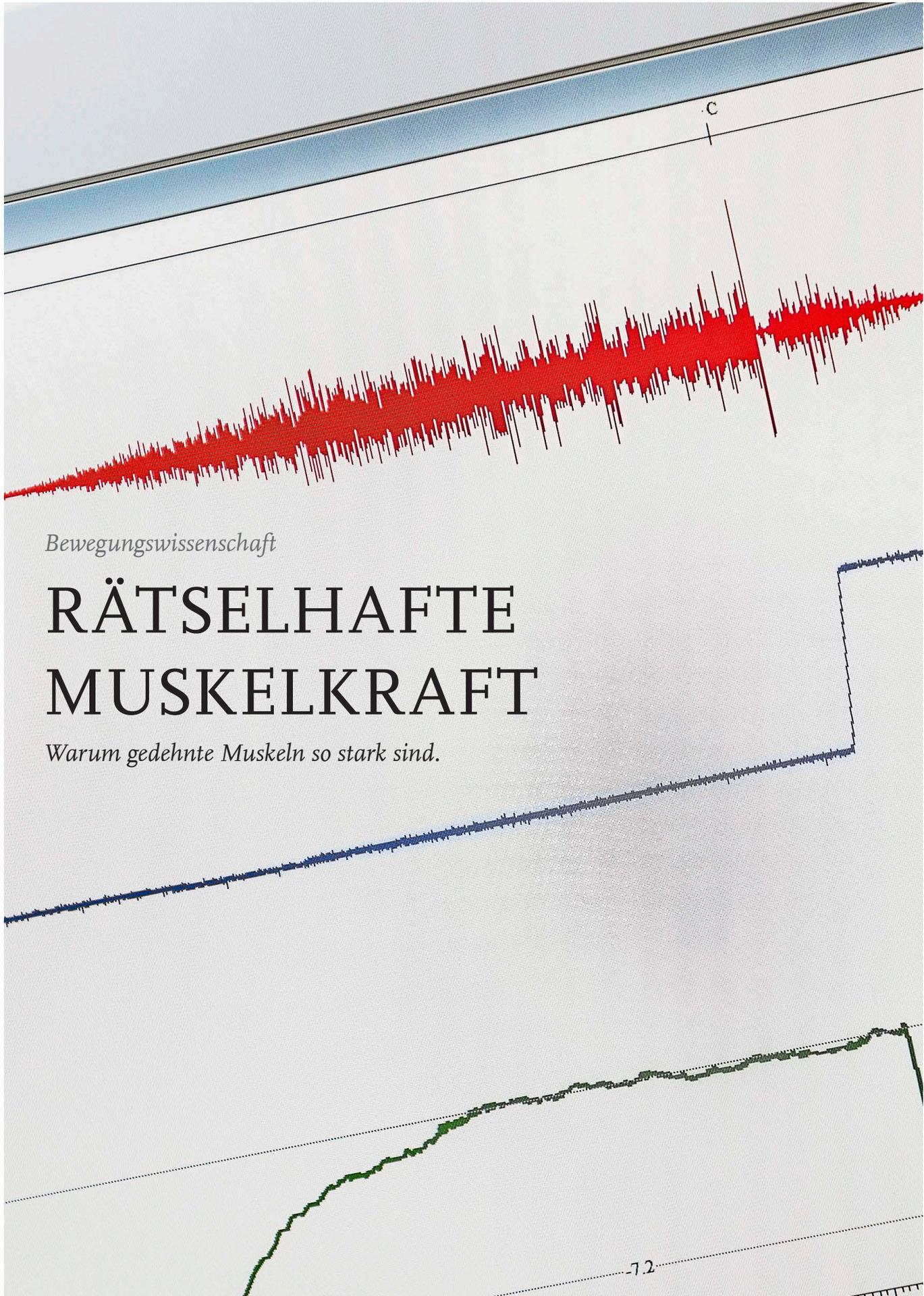
*Schwerpunkt*

## GRENZEN DER WISSENSCHAFT

**MEDIZIN:** SCHNITTSTELLE MENSCH/MASCHINE

**ASTRONOMIE:** AN DER GRENZE DES MESSBAREN

**THEOLOGIE:** GLAUBE ODER WISSENSCHAFT



*Bewegungswissenschaft*

# RÄTSELHAFTE MUSKELKRAFT

*Warum gedehnte Muskeln so stark sind.*

Sich mit einem schweren Rucksack auf dem Rücken hinzusetzen ist möglich. Aber wie kommt man dann wieder hoch? Zumeist nicht ohne Hilfe. Hinter diesem alltäglichen Phänomen steckt für Bewegungswissenschaftler wie Prof. Dr. Daniel Hahn und sein Team ein Rätsel. Die gängige Theorie zur Muskelkraft kann es nicht erklären.

Der Grund für die unterschiedlich starke Kraft, die ein Muskel erzeugen kann, liegt in seiner Dehnung. Viele Bewegungen, zum Beispiel das Gehen, basieren darauf, dass Muskeln immer wieder gedehnt werden, bevor sie sich aktiv zusammenziehen. „Wenn ich ein Gewicht hochhebe, zieht sich der entsprechende Muskel zusammen, er kontrahiert konzentrisch“, erklärt Daniel Hahn. „Wenn ich aber der Schwerkraft nachgebe, weil ich mich hinsetze oder eine Treppe hinuntergehe, wird der Muskel gedehnt. Trotzdem ist er angespannt, um die Bewegung zu kontrollieren. Wir sprechen dabei von der exzentrischen Kontraktion.“

Experimente haben gezeigt, dass die Kraft, die bei exzentrischen Kontraktionen im Muskel erzeugt wird, größer ist als die Kraft, die bei der konzentrischen Kontraktion entsteht. Dabei wird auch noch weniger Energie verbraucht. „Warum das so ist, ist eine umstrittene Frage“, so der Sportwissenschaftler. Um herauszufinden, worin dieser Unterschied begründet liegt, betrachteten Forscher zunächst nur den isolierten Muskel. Einzelne Muskelzellen, zum Beispiel von Ratten, werden dazu ohne und während Dehnung künstlich aktiviert. Es zeigte sich, dass unter diesen Bedingungen die Kraft des gedehnten Muskels 1,5- bis 2,5-mal so groß ist wie die des nicht gedehnten. Tests mit Versuchspersonen, die einen Hebel ziehen mussten, während eine Maschine diesen Hebel zurückzog und ihren Muskel dadurch dehnte, ergaben meistens ein anderes Ergebnis: Hier war die Kraft bei exzentrischer Kontraktion nicht oder kaum größer als bei der Kontraktion ohne Dehnung.

Da diese Ergebnisse nicht nur den Muskelexperimenten, sondern auch der alltäglichen Erfahrung mit exzentrischen Kontraktionen widersprachen, war das Forschungsinteresse geweckt. „Wenn wir vom Muskel beim Menschen sprechen, meinen wir eigentlich immer ein Ensemble, das auch die Sehnen, das Bindegewebe und die den Muskel ansteuernden Nerven umfasst“, beschreibt Daniel Hahn. Um das Geheimnis der exzentrischen Kraft während Dehnung beim Menschen zu enträtseln, müssen die Forscher jede dieser Komponenten betrachten.

#### **Ultraschall macht Muskelfasern sichtbar**

„Erhöhte Muskelkräfte können nur dann auftreten, wenn die Muskelfasern selbst gedehnt werden“, erläutert Daniel Hahn. „Beuge ich mein Knie, während ich eine Treppe hinuntergehe, so kann die Muskeldehnung des Oberschenkels allerdings von den elastischen Sehnen gepuffert werden, ohne dass die Muskelfasern gedehnt werden“. Das würde auch erklären, warum in vielen Experimenten mit Versuchspersonen keine erhöhten exzentrischen Kräfte gefunden wurden. Um sicherzustellen, dass die Muskelfasern bei den eigenen Experimenten gedehnt werden, verwendeten Hahn

und sein Team vom Lehr- und Forschungsbereich Bewegungswissenschaft deshalb Ultraschall. Ultraschall ermöglicht es, die Muskelfasern während der Kontraktion sichtbar zu machen und somit zu überprüfen, ob diese wirklich gedehnt werden. Mithilfe dieser Technik gelang es schließlich nachzuweisen, dass die Versuchspersonen bei exzentrischer Kontraktion immerhin 1,2- bis 1,4-mal so viel Kraft aufbringen konnten wie bei der Kontraktion ohne Dehnung. Und nicht nur das: Auch nach Ende der Dehnung, wenn die Probanden den Muskel weiter anspannten, blieben die Kräfte um etwa zehn Prozent erhöht.

#### **Die Rolle der Nervenzellen**

Zusätzlich konzentrierten sich die Forscher um Hahn auf die neuronalen Aspekte der Muskelbewegungen, also auf die Steuerung der Muskelaktivität ausgehend vom Gehirn über das Rückenmark und die entsprechenden Nervenbahnen. Die Signale laufen immer in beide Richtungen: motorische Signale vom Gehirn zum Muskel, sensorische Signale vom Muskel zum Gehirn. Diese Signale und ihre Auswirkungen untersuchten die Forscher mit verschiedenen Experimenten. Sie maßen die Muskelaktivität in nicht gedehntem und gedehntem Zustand nicht nur, wenn die Probanden den Muskel willentlich anspannten, sondern auch, wenn der Muskel zusätzlich durch elektrische Stimulation am Nerv oder am Rückenmark oder durch transkranielle Magnetstimulation zur Kontraktion gebracht wurde. Dabei werden direkt durch die Schädeldecke hindurch mit einer Magnetspule die Gehirnbereiche des motorischen Cortex stimuliert, die für die Aktivierung ganz bestimmter Muskeln zuständig sind. Da sich die Muskelkraft bei exzentrischer Kontraktion bei ▶

” WENN WIR  
VOM MUSKEL  
BEIM MENSCHEN  
SPRECHEN,  
MEINEN WIR  
EIGENTLICH  
IMMER EIN  
ENSEMBLE. “

*Daniel Hahn*



Elektroden, die auf die Haut geklebt werden, können den darunterliegenden Muskeln das Signal geben, sich zusammenzuziehen, oder umgekehrt die Muskelaktivität bei willentlicher Anstrengung messen.



Daniel Hahn (links) und Doktorand Frank Schulz werten die Messdaten aus den Experimenten aus.



Ohne dass der Proband sich willentlich anstrengt, spannen sich seine Beinmuskeln an. Die Muskelaktivität und die dabei von den Muskeln ausgeübte Kraft werden gemessen.

lebenden Organismen im Gegensatz zu isolierten Muskelzellen weniger verstärkt, lag die Vermutung nahe, dass die Nerven die Kraft hemmen. „Das war aber in unseren Experimenten nicht nachweisbar“, berichtet Daniel Hahn. Die Forscher stellten allerdings fest, dass die Nervenzellen im Gehirn nach der Dehnung eines Muskels, während die Probanden die Anspannung noch hielten, leichter erregbar waren als ohne Dehnung. Dahinter könnte sich einer von vielleicht mehreren Faktoren verbergen, der zur Kraftverstärkung nach Dehnung führt. Warum die Erregbarkeit höher ist, ist bislang unklar.

### **Verdächtig: das Protein Titin**

Mit Blick auf den Muskel selbst haben Hahn und seine Kollegen einen anderen Verdacht, was für die verstärkte Kraft bei Dehnung mitverantwortlich sein könnte: ein Protein namens Titin. Die Kontraktion des Muskels beruht darauf, dass in den Muskelzellen zwei sich überlappende Proteine – das dünne Filament Aktin und das dicke Filament Myosin – ineinandergleiten. Dadurch verkürzt sich der Muskel. Dieser Prozess ist seit 1957 in der sogenannten Querbrückentheorie beschrieben. Erst knapp 20 Jahre später wurde allerdings ein drittes Muskelprotein entdeckt, das Titin. „Man hatte es zuvor übersehen. Interessanterweise nicht, weil es so klein, sondern weil es so groß ist“, so Hahn. Das Titin könnte wie eine molekulare Feder funktionieren, die als Gegenpart oder Ergänzung zur Kontraktion in der Muskelzelle wirkt. Experimente haben gezeigt, dass diese Feder ihre Eigenschaften dynamisch verändert, bei Dehnung des Muskels also steifer

wird. Das würde dazu führen, dass mit weniger Energiezufuhr eine größere Kraft zustande käme. Die Bochumer Arbeitsgruppe wird diesen Fragen weiter auf den Grund gehen, ab 2018 in einem neuen, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt. Darin geht es um die Frage, welchen Anteil an der Kraftverstärkung bei und nach exzentrischer Kontraktion Nervensystem, Sehnen und Muskeln selbst haben.

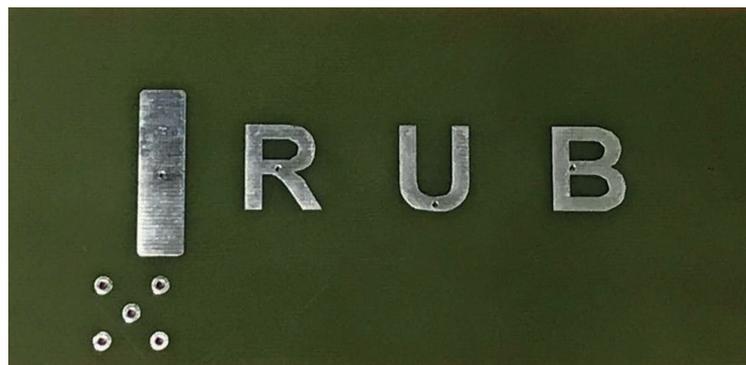
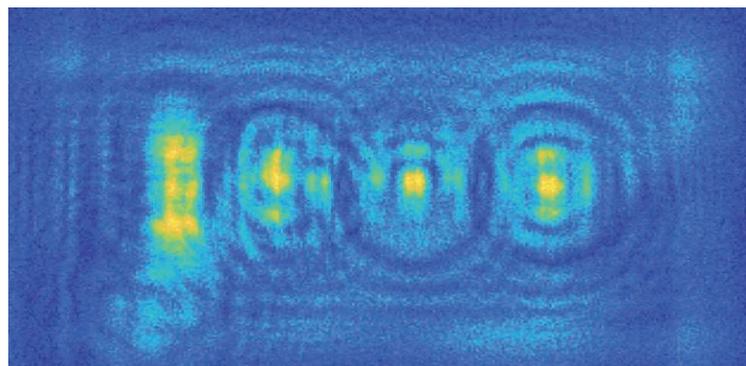
„Die Ergebnisse sind nicht nur für die Grundlagenforschung oder die Leistungssteigerung im Sport interessant, sondern auch für Fragen der Prothetik und Robotik“, sagt Daniel Hahn. Studien amerikanischer Forscher haben gezeigt, dass ein Exoskelett, das das Bein mit einer äußeren Federung unterstützte, eine Energieeinsparung beim Gehen von sieben Prozent erlaubte. Mit genauerer Kenntnis der neuromuskulären Mechanismen wäre es denkbar, solche Unterstützungssysteme immer weiter zu verfeinern und an die natürlichen Bewegungsabläufe zum Beispiel beim Gehen anzupassen. Eine Feder, die ihre Eigenschaften verändert, zum Beispiel nach Bodenkontakt der Ferse härter und später wieder weicher wird, könnte es dann geschwächten oder verletzten Personen ermöglichen, eigenständig mobil zu bleiben. „Je mehr wir über die Details der komplexen Bewegungsabläufe wissen, desto besser können wir auch künstliche Systeme bauen, die zum Beispiel Körperteile ersetzen“, so Hahn mit Blick auf die Zukunft. „Prothesen könnten dann natürlicher bewegt werden und einen runden Gang ermöglichen.“

Text: md, Fotos: dg

# REDAKTIONSSCHLUSS

Mit Radartechnik kann man durch Wände schauen und Unsichtbares sichtbar machen. Zeichnet man ein Radarbild auf, ist es allerdings, als würde man mit einer Kamera fotografieren, der die Linse zum Fokussieren fehlt. Die Fokussierung erfolgt nachträglich im Computer. Dafür braucht es spezielle Algorithmen, so wie Dr. Jan Barowski sie während seiner Doktorarbeit am Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme entwickelt hat. Das obere Motiv zeigt das mit Barowskis Algorithmen korrigierte Radarbild einer Platine mit dem Schriftzug „RUB“. Die Originalplatine ist ganz unten zu sehen. Das mittlere Bild zeigt die unkorrigierte Rohversion des Radarbildes. Im fokussierten Bild kann man in Hellblau sogar die Leiterbahnen sehen, die auf der Rückseite der Platine vom Koaxialstecker (fünf gelbe Punkte) zu den Buchstaben verlaufen. (Aufnahmen: Jan Barowski)

➔ [news.rub.de/radar-bildgebung](http://news.rub.de/radar-bildgebung)



## IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Astrid Deuber-Mankowsky (Philologie), Prof. Dr. Reinhold Gleis (Philologie), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Michael Hübner (Elektrotechnik/Informationstechnik), Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan (Medizin), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Andreas Ostendorf (Prorektor für Forschung, Transfer und wissenschaftlichen Nachwuchs), Prof. Dr. Michael Roos (Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Martin Tegenthoff (Medizin), Prof. Dr. Michael Wala (Geschichtswissenschaft)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, Fax: 0234/32-14136, [rubin@rub.de](mailto:rubin@rub.de), [news.rub.de/rubin](http://news.rub.de/rubin)

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Hofsteder Str. 66, 44809 Bochum, Tel.: 0176/29706008, [damiangorczany@yahoo.de](mailto:damiangorczany@yahoo.de), [www.damiangorczany.de](http://www.damiangorczany.de); Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, [post@people-fotograf.de](mailto:post@people-fotograf.de), [www.wasaufdieaugen.de](http://www.wasaufdieaugen.de)

COVER: Agentur der RUB

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfotos für die Seiten 12, 24, 58: Roberto Schirdewahn; Teaserfoto für Seite 18: Fotolia, Oticki; Teaserfoto für Seite 28: Damian Gorczany; Teaserbild für Seite 34: ESO/IDA/Danish 1.5 m/R. Gendler and J.-E. Ovaldsen; Teaserfoto für Seite 54: Tim Kramer

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ: Agentur der RUB, [www.rub.de/agentur](http://www.rub.de/agentur)

DRUCK: VMK Druckerei GmbH, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-110, [www.vmk-druckerei.de](http://www.vmk-druckerei.de)

AUFLAGE: 4.500

ANZEIGENVERWALTUNG UND -HERSTELLUNG: VMK GmbH & Co. KG, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-0, [www.vmk-verlag.de](http://www.vmk-verlag.de)

BEZUG: RUBIN erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter [rubin.rub.de/abonnement](http://rubin.rub.de/abonnement).

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren