

# **Der Kreative Prozess in Forschung und Kunst**

**Robert Magerle (Chemnitz)**

**&**

**Robert Weber (Berlin)**

# **Der Kreative Prozess in der Forschung**

**Prof. Dr. Robert Magerle**

**Technische Universität Chemnitz  
Fakultät für Naturwissenschaften**

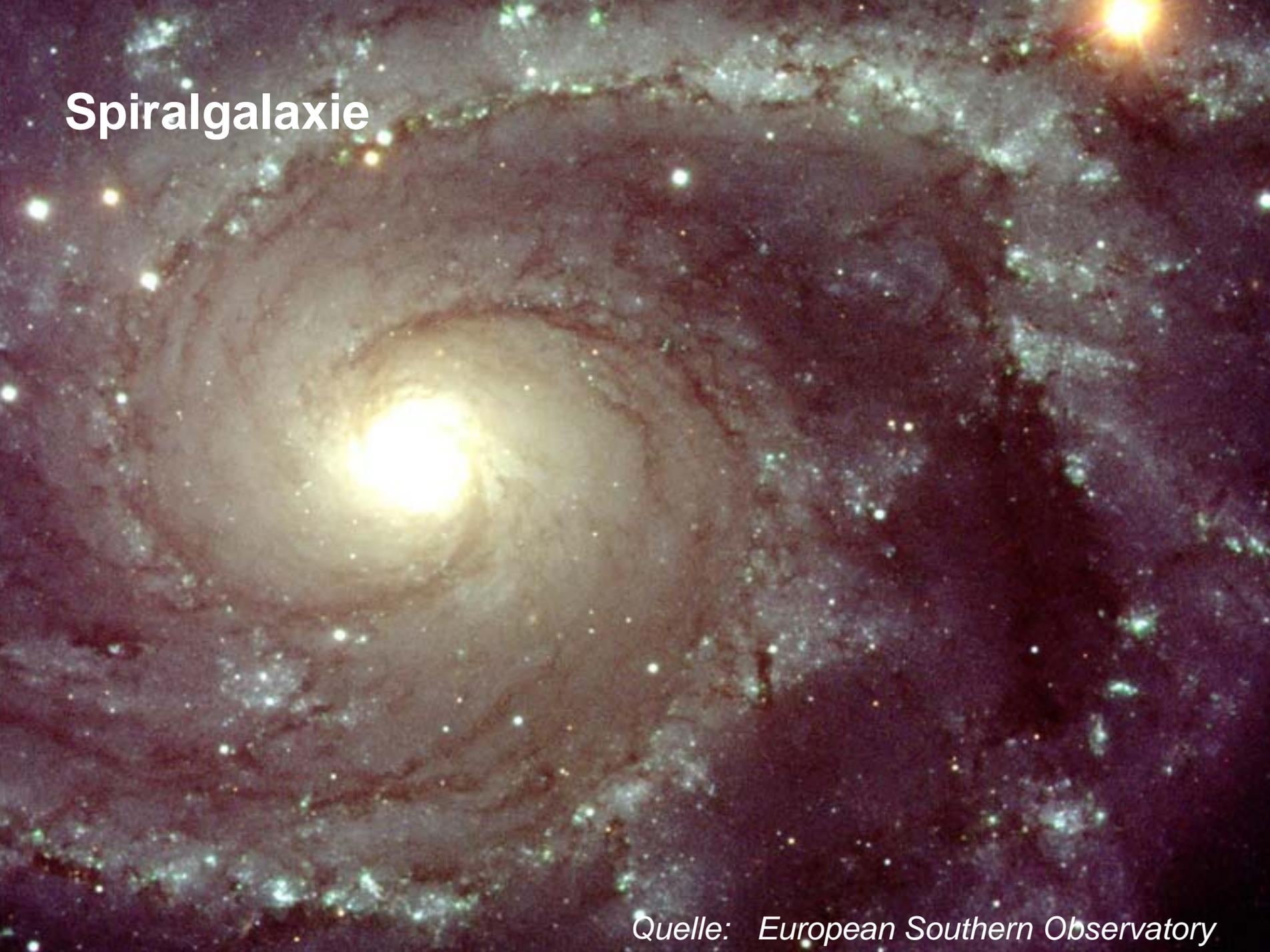
**„Kunst gibt nicht das Sichtbare wieder,  
sondern macht sichtbar.“**

*Paul Klee*

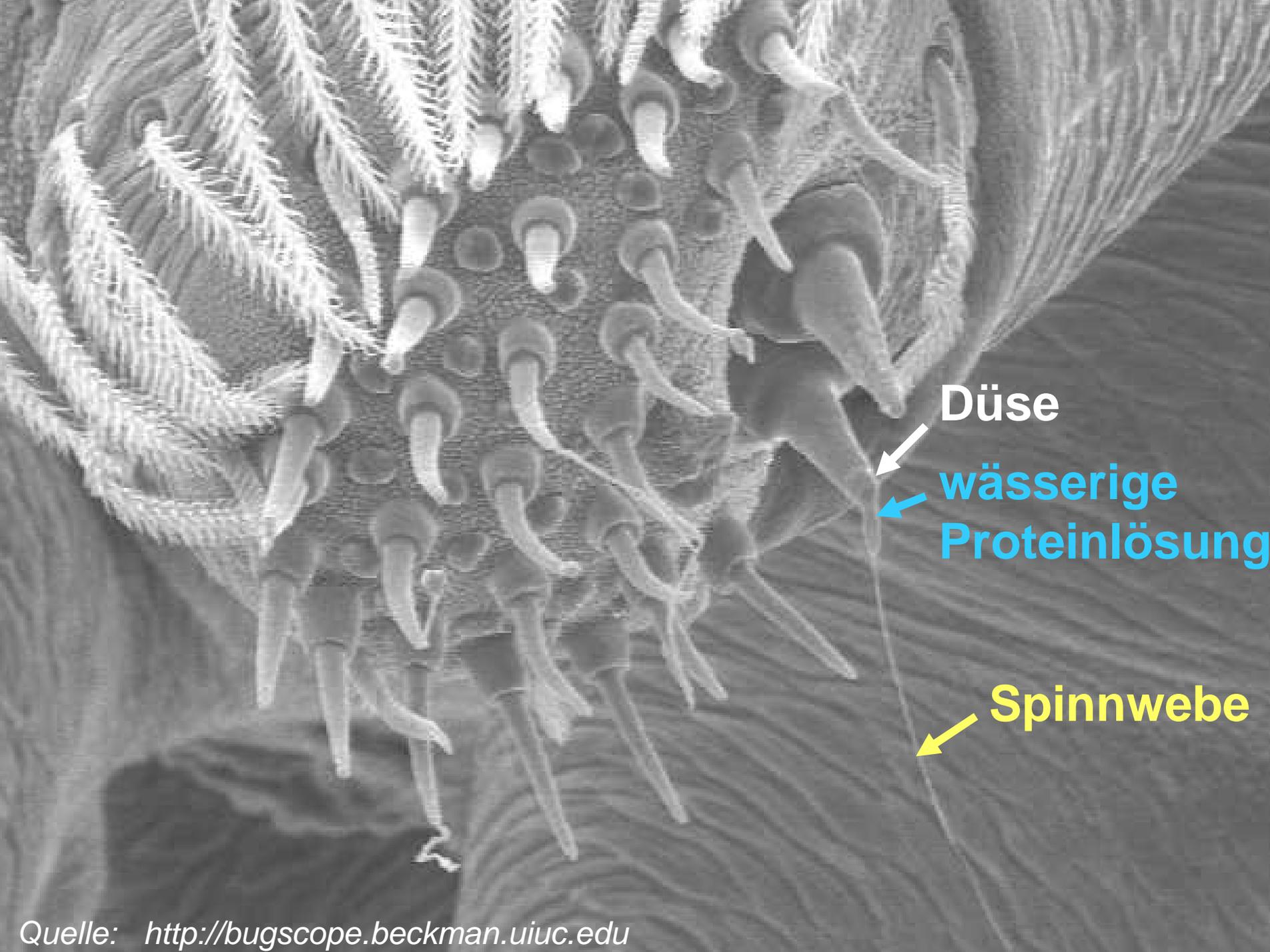
**Wissenschaft gibt nicht das Sichtbare wieder,  
sondern macht sichtbar.**

*Beispiele aus der Physik*

# Spiralgalaxie



Quelle: *European Southern Observatory*



Düse

wässrige  
Proteinlösung

Spinnwebe

# **Struktur polymerer Materialien**

*mein persönliches Interesse*

# Abstrakte Modelle: Aspekte der Realität

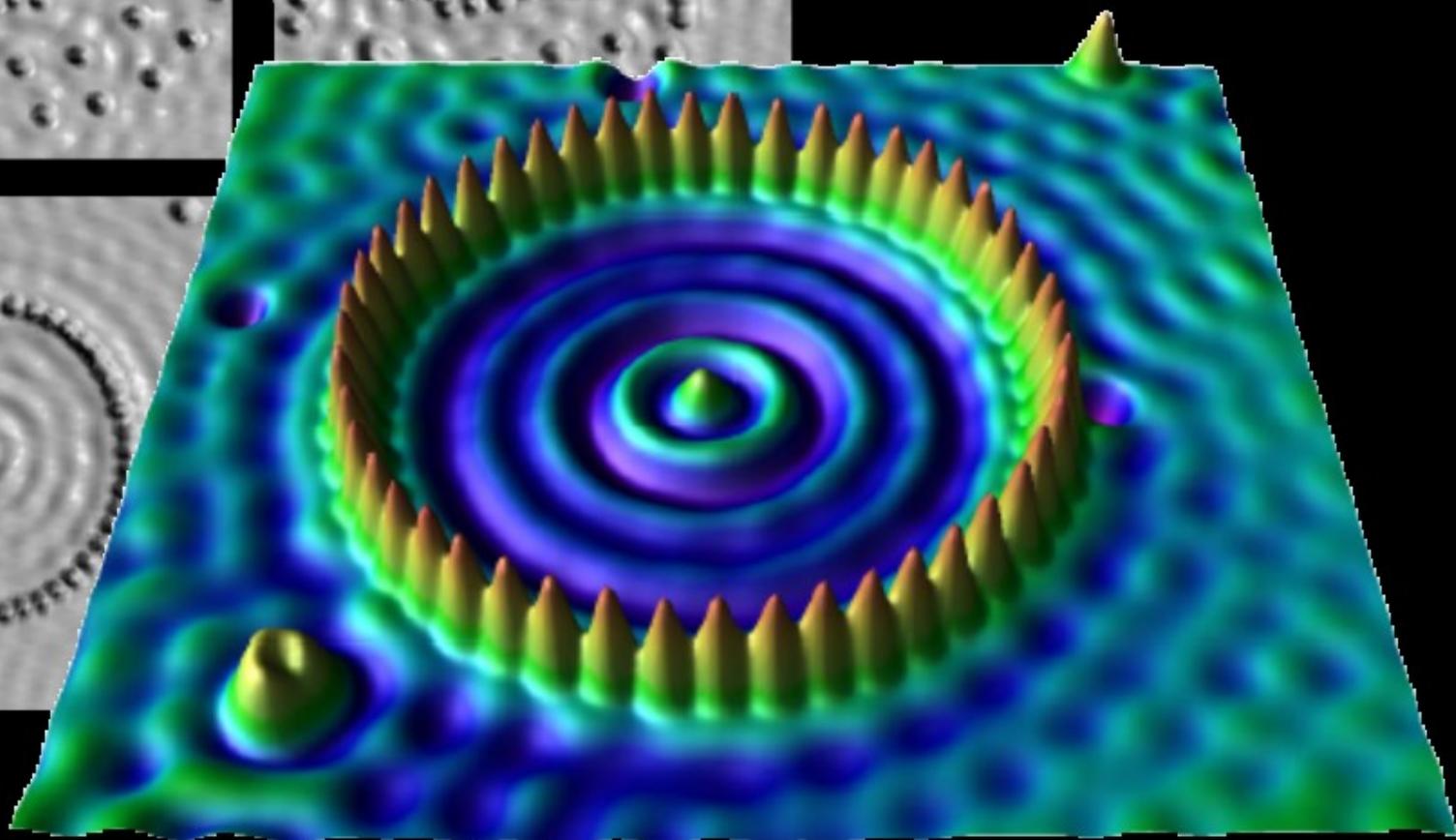
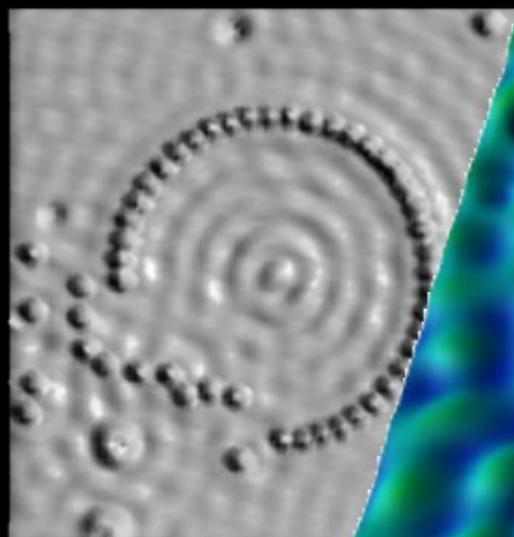
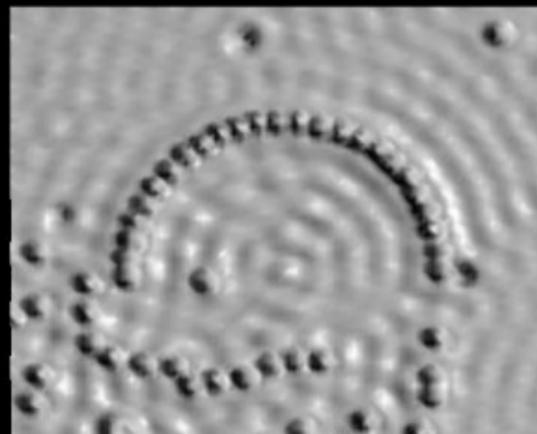
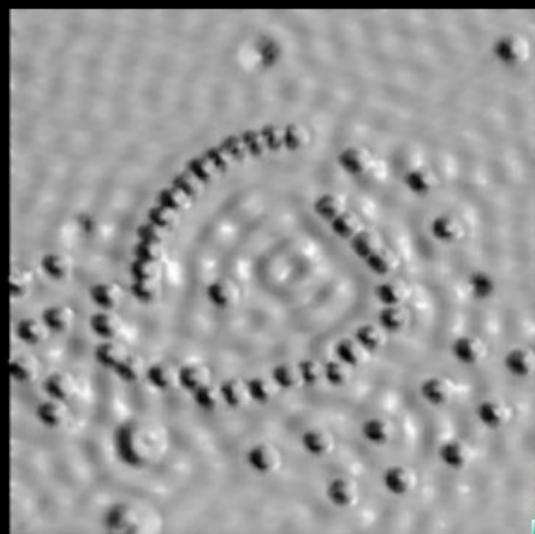
$$E = m c^2$$

*Albert Einstein (1905)*

Wellenfunktion  $\Psi$

*Erwin Schrödinger (1926)*

# Quantum Corral



*M.F. Crommie, C.P. Lutz, D.M. Eigler - Science 262, 218 (1993)*

# Der kreative Prozess in der Forschung

## Die Begeisterung

*das Geheimnisvolle, das Unbekannte, das Neue,  
Freude am Entdecken und Erkennen*

## Der Weg

*ein langer Prozess*

*Intuition und Erfahrung als Wegweiser*

*Ratio und Experiment als Richter*

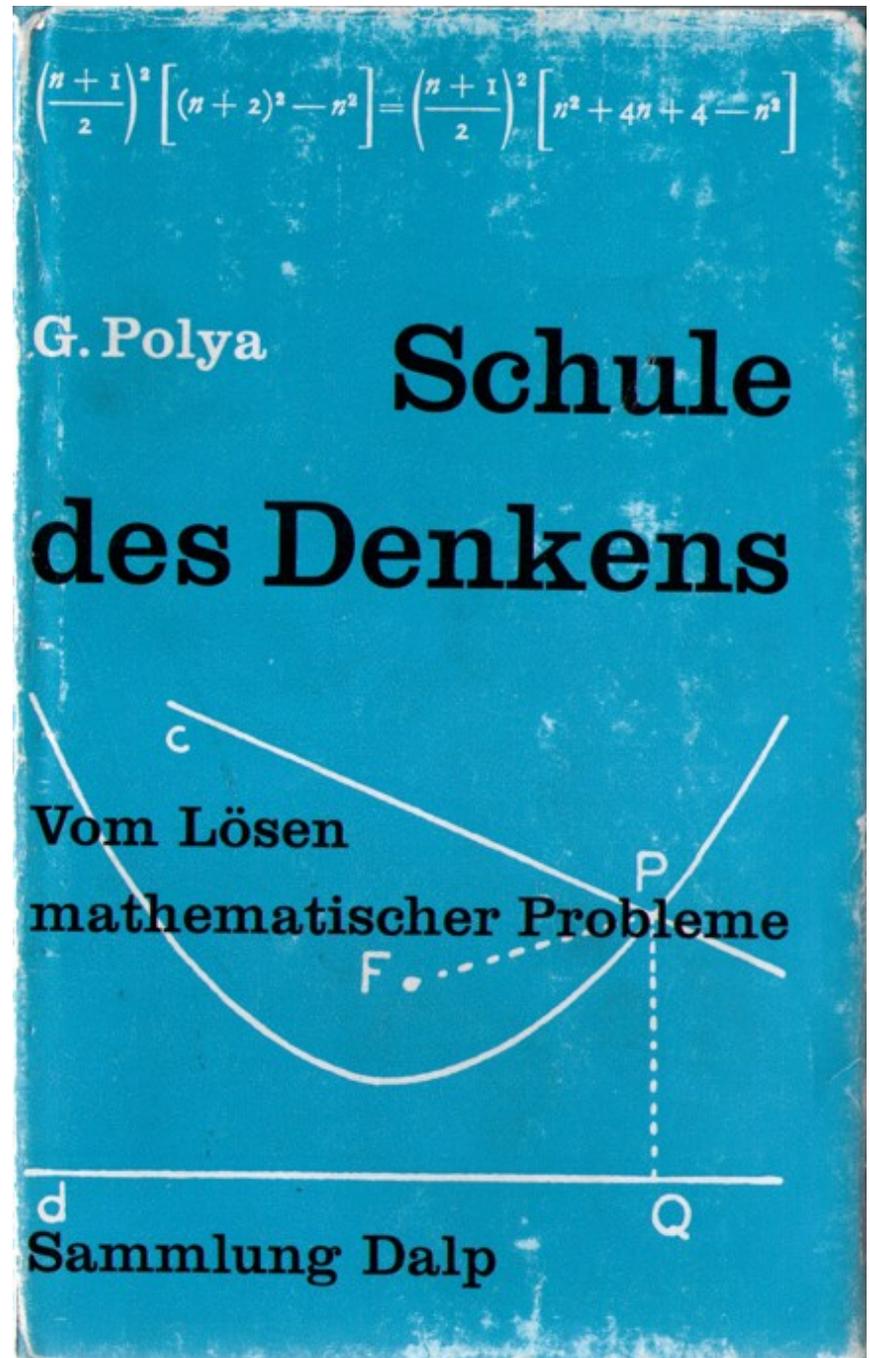
## Das Ergebnis

*die Erkenntnis, die Veröffentlichung*

# Heuristik

Strategien für die Suche  
nach Lösungen

*zum Beispiel:*



ERSTENS

Du mußt die Aufgabe *verstehen*

ZWEITENS

Sucheden Zusammenhang zwischen den Daten und der Unbekannten

Du mußt vielleicht Hilfsaufgaben betrachten, wenn ein unmittelbarer Zusammenhang nicht gefunden werden kann

Du mußt schließlich einen *Plan* der Lösung erhalten

DRITTENS

*Führe* Deinen Plan aus

VIERTENS

*Prüfe* die erhaltene Lösung

VERSTEHEN DER AUFGABE

- Was ist unbekannt? Was ist gegeben? Wie lautet die Bedingung?
- Ist es möglich, die Bedingung zu befriedigen? Ist die Bedingung ausreichend, um die Unbekannte zu bestimmen? Oder ist sie unzureichend? Oder überbestimmt? Oder kontradiktorisch?
- **Zeichne eine Figur!** Führe eine **passende Bezeichnung** ein!
- Trenne die verschiedenen Teile der Bedingung! Kannst Du sie hinschreiben?

AUSDENKEN EINES PLANES

- Hast Du die Aufgabe schon früher gesehen? Oder hast Du dieselbe Aufgabe in einer wenig verschiedenen Form gesehen?
- **Kennst Du eine verwandte Aufgabe?** Kennst Du einen Lehrsatz, der förderlich sein könnte?
- **Betrachte die Unbekannte!** Und versuche, Dich auf eine Dir bekannte Aufgabe zu besinnen, die dieselbe oder eine ähnliche Unbekannte hat.
- *Hier ist eine Aufgabe, die der Deinen verwandt und schon gelöst ist. Kannst Du sie gebrauchen?* Kannst Du ihr Resultat verwenden? Würdest Du irgendein Hilfselement einführen, damit Du sie verwenden kannst?
- Kannst Du die Aufgabe anders ausdrücken? Kannst Du sie auf noch verschiedene Weise ausdrücken? Geh auf die Definition zurück!
- Wenn Du die vorliegende Aufgabe nicht lösen kannst, so versuche, zuerst eine verwandte Aufgabe zu lösen. Kannst Du Dir eine zugänglichere verwandte Aufgabe denken? Eine allgemeinere Aufgabe? Eine speziellere Aufgabe? Eine analoge Aufgabe? Kannst Du einen Teil der Aufgabe lösen? Behalte nur einen Teil der Bedingung bei und lasse den anderen fort; wie weit ist die Unbekannte dann bestimmt, wie kann ich sie verändern? Kannst Du etwas Förderliches aus den Daten ableiten? Kannst Du Dir andere Daten denken, die geeignet sind, die Unbekannte zu bestimmen? Kannst Du die Unbekannte ändern oder die Daten oder, wenn nötig, beide, so daß die neue Unbekannte und die neuen Daten einander näher sind?
- Hast Du alle Daten benutzt? Hast Du die ganze Bedingung benutzt? Hast Du alle wesentlichen Begriffe in Rechnung gezogen, die in der Aufgabe enthalten sind?

AUSFÜHREN DES PLANES

- Wenn Du Deinen Plan der Lösung durchführst, so **kontrolliere jeden Schritt.** Kannst Du deutlich sehen, daß der Schritt richtig ist? Kannst Du beweisen, daß er richtig ist?

RÜCKSCHAU

- Kannst Du das *Resultat kontrollieren*? Kannst Du den Beweis kontrollieren?
- Kannst Du das Resultat auf verschiedene Weise ableiten? Kannst Du es auf den ersten Blick sehen?
- Kannst Du das Resultat oder die Methode für irgendeine andere Aufgabe gebrauchen?

## 1. Verstehen der Aufgabe

Was ist unbekannt? Was ist gegeben? Wie lautet die Bedingung?

**Zeichne eine Figur!** Führe eine **passende Bezeichnung** ein!

## 2. Ausdenken eines Plans

Kennst Du eine verwandte Aufgabe? Betrachte die Unbekannte!

## 3. Ausführen des Plans

Kontrolliere jeden Schritt.

## 4. Rückschau

Prüfe die erhaltene Lösung.

*aus: G. Pólya, Schule des Denkens (1949)*

# **Intuition und Erfahrung entscheidet zuerst:**

**Welches Thema?**

**Welches Phänomen?**

**Welche Methode? Welches Experiment?**

**Welche (Zwischen-)Ergebnisse?**

**Welches Modell?**

**Welche Aussage?**

# **Kritische und rationale Prüfung erst danach:**

**Selbstkritik**

**Diskussion mit Kollegen**

**Peer Reviewing**

# Protokoll einer Veröffentlichung

## LETTERS

---

# Direct imaging and mesoscale modelling of phase transitions in a nanostructured fluid

A. KNOLL<sup>1\*</sup>, K. S. LYAKHOVA<sup>2</sup>, A. HORVAT<sup>1</sup>, G. KRAUSCH<sup>1</sup>, G. J. A. SEVINK<sup>2</sup>, A. V. ZVELINDOVSKY<sup>2†</sup>  
AND R. MAGERLE<sup>1‡§</sup>

<sup>1</sup>Physikalische Chemie II, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth, Germany

<sup>2</sup>Leiden Institute of Chemistry, Leiden University, PO Box 9502, 2300 RA Leiden, The Netherlands

\*Present address: IBM Research GmbH, Säumerstrasse 4, CH-8803 Rüschlikon, Switzerland

†Present address: Centre for Materials Science, Department of Physics, Astronomy & Mathematics, University of Central Lancashire, Preston, PR1 2HE, United Kingdom

‡New address: Institut für Physik, Technische Universität Chemnitz, D-09107 Chemnitz, Germany

§e-mail: robert.magerle@uni-bayreuth.de

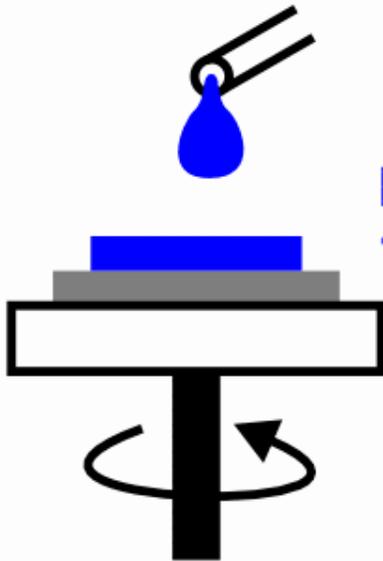
*Nature Materials* **3**, 886 (2004)

# **Protokoll einer Veröffentlichung**

**18.2.2002      Daten gemessen**

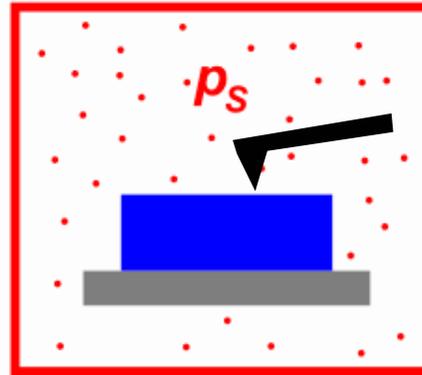
# Rasterkraftmikroskopie von Polymerlösungen

## 1. Lackschleudern



Filmdicke:  
10 - 100 nm

## 2. Quellen in $\text{CHCl}_3$ -Dampf

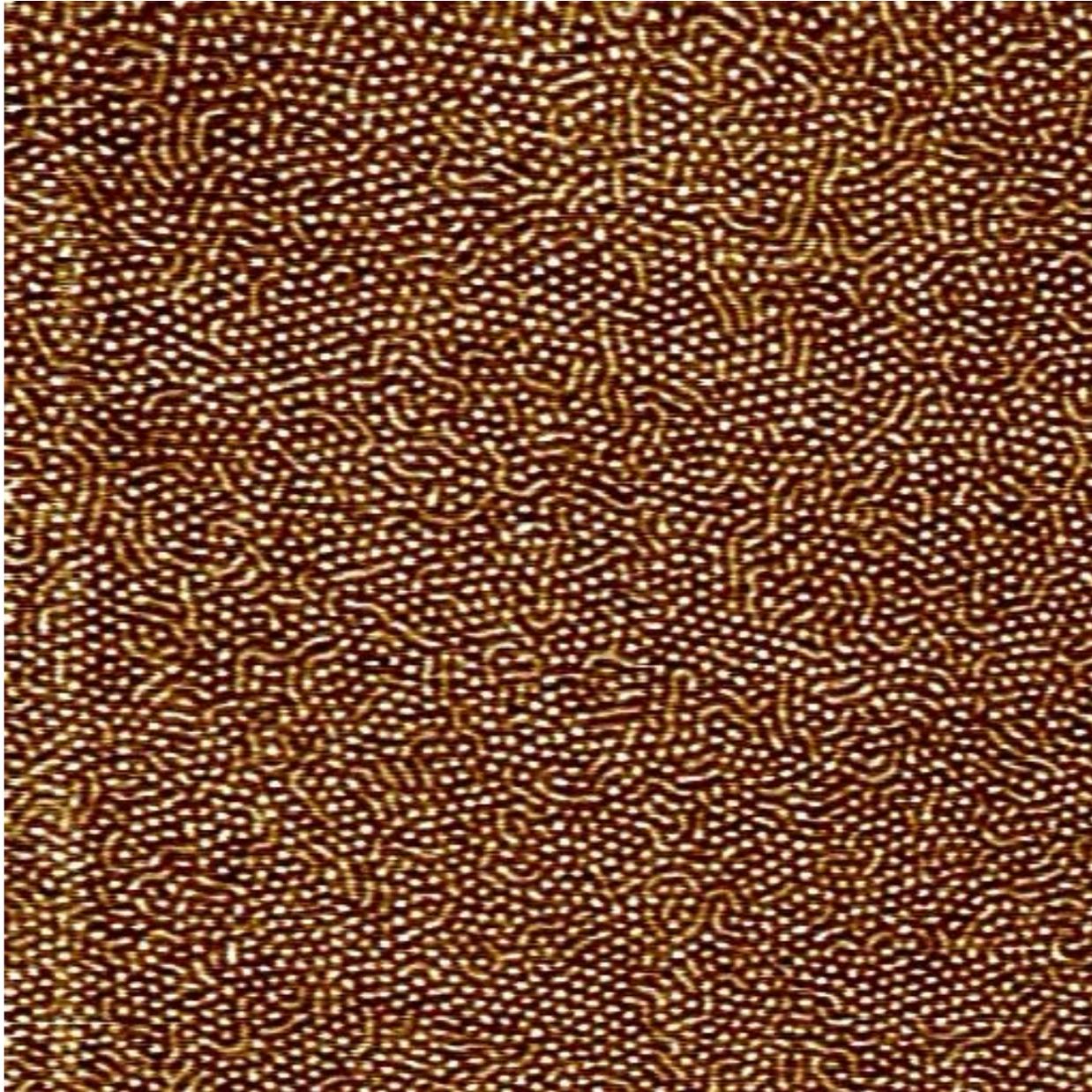


## 3. In-situ AFM

**Ellipsometrie:**  
Filmdicke, Quellgrad und  
Polymerkonzentration.

**SAXS:**  
Volumenstruktur

# In-situ TappingMode™ AFM einer *Blockcopolymer-Lösung* !



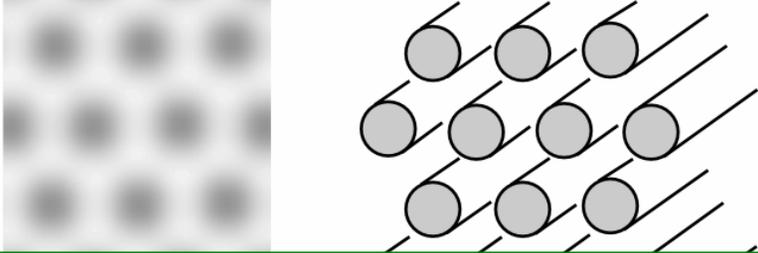
(A. Knoll)

Phasenbilder  
PS = hell

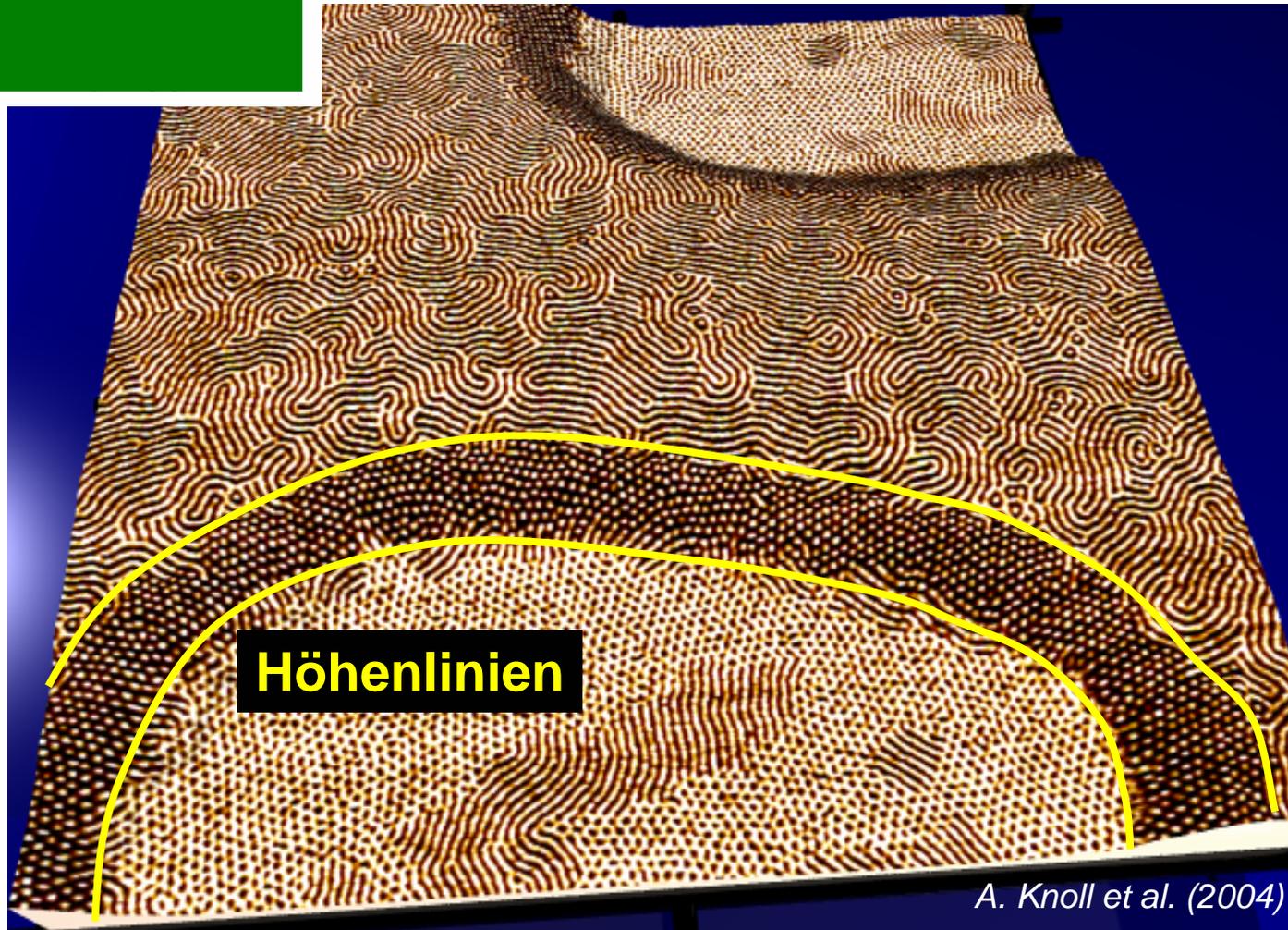
2.6 min/Bild

4 x 4  $\mu\text{m}$

# Eingeschränkte Geometrie



## Dünner Film: Terrassen

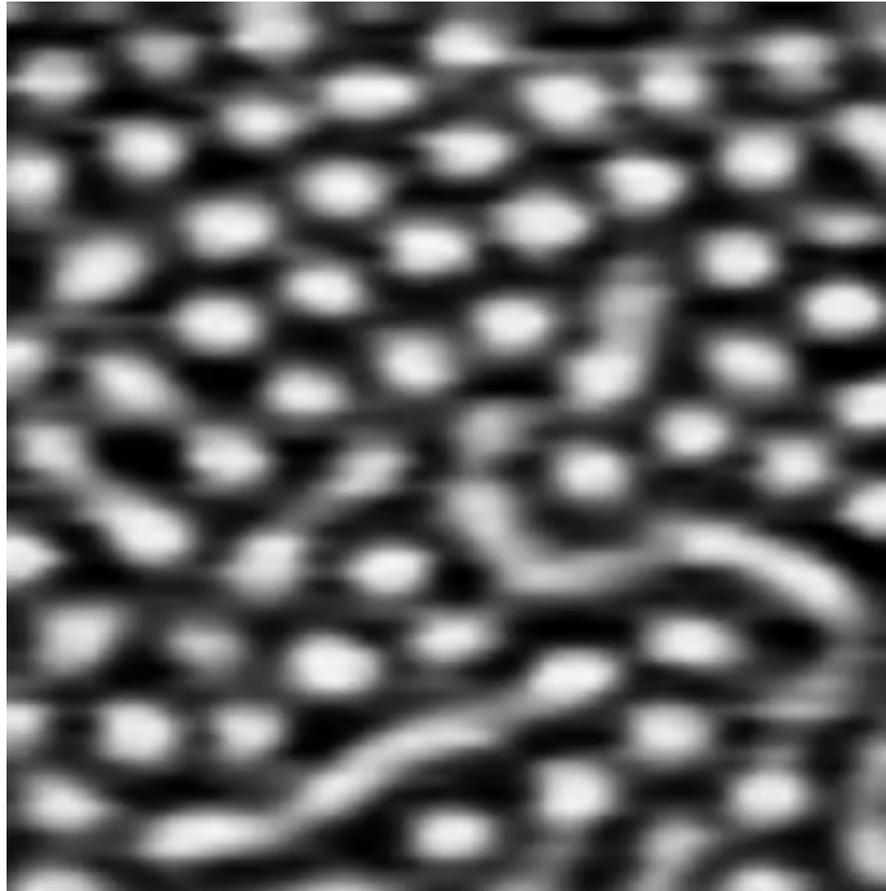


**Höhenlinien**

# In-situ TappingMode™ AFM einer *Blockcopolymer-Lösung* !

(A. Knoll)

$C_{\perp} \rightarrow C_{\parallel} \rightarrow PL$



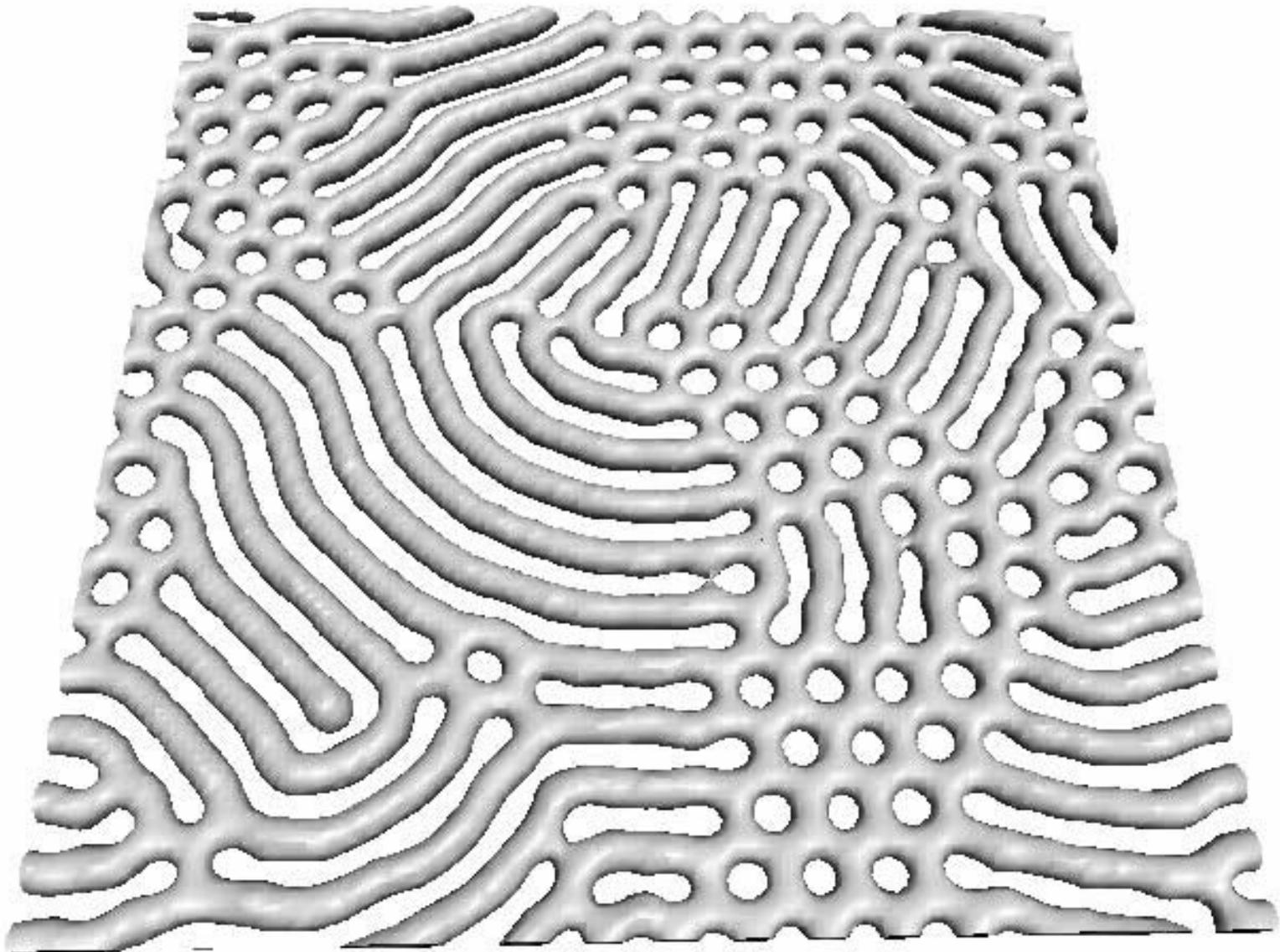
Phasenbilder

PS = hell

2.6 min/Bild

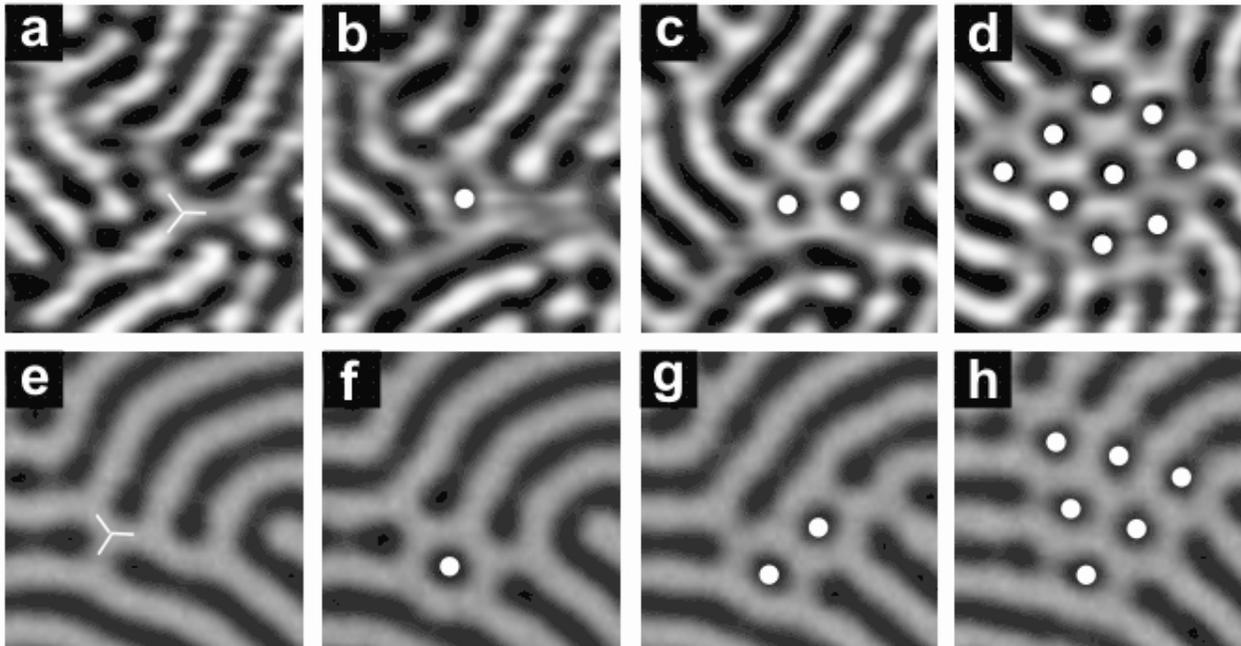
  
50 nm

# Computersimulation *(Katya Lyakhova)*



# Experiment und Simulation stimmen überein !

## Experiment



## Simulation

—  
100 nm

# **Protokoll einer Veröffentlichung**

- |                  |  |
|------------------|--|
| <b>18.2.2002</b> | <b>Daten gemessen</b>                            |
| <b>10/2002</b>   | <b>Bildartefakte korrigiert, Film produziert</b> |
| <b>in 2002</b>   | <b>Computersimulationen durchgeführt</b>         |
| <b>04/2003</b>   | <b>Idee für eine Auswertung, erste Bilder</b>    |
| <b>05/2003</b>   | <b>erster Manuskriptentwurf</b>                  |

# Protokoll einer Veröffentlichung

- |                  |   |
|------------------|---|
| <b>18.2.2002</b> | <b>Daten gemessen</b>                                       |
| <b>10/2002</b>   | <b>Bildartefakte korrigiert, Film produziert</b>            |
| <b>in 2002</b>   | <b>Computersimulationen durchgeführt</b>                    |
| <b>04/2003</b>   | <b>Idee für eine Auswertung, erste Bilder</b>               |
| <b>05/2003</b>   | <b>erster Manuskriptentwurf</b>                             |
| <b>11/2003</b>   | <b>Bei <i>Nature</i> eingereicht, <i>Peer Reviewing</i></b> |

# Peer Reviewing

*Physical Review Letters* publish **new results**. [...]

The paper must satisfy criteria of **validity, importance, and broad interest**. The work must be sound, free of detectable error, and presented in reasonable detail.

Results must not be simply a marginal extension of previously published work. [...]

*Physical Review Letters*, Editorial Policies and Practices (July 2006)

# Protokoll einer Veröffentlichung

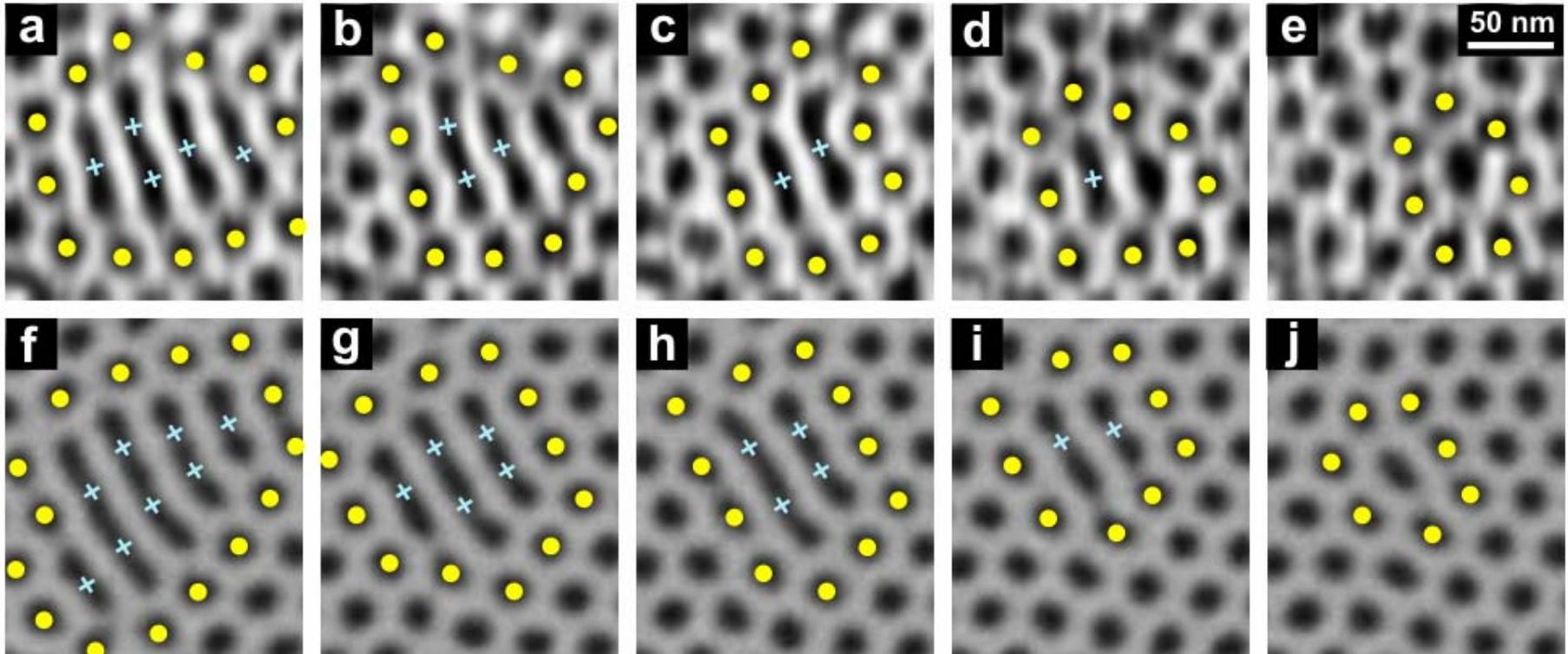
- |                  |   |
|------------------|---|
| <b>18.2.2002</b> | <b>Daten gemessen</b>                                       |
| <b>10/2002</b>   | <b>Bildartefakte korrigiert, Film produziert</b>            |
| <b>in 2002</b>   | <b>Computersimulationen durchgeführt</b>                    |
| <b>04/2003</b>   | <b>Idee für eine Auswertung, erste Bilder</b>               |
| <b>05/2003</b>   | <b>erster Manuskriptentwurf</b>                             |
| <b>11/2003</b>   | <b>Bei <i>Nature</i> eingereicht, <i>Peer Reviewing</i></b> |
| <b>04/2004</b>   | <b>von <i>Nature</i> abgelehnt</b>                          |

# Protokoll einer Veröffentlichung

- |           |  |
|-----------|--|
| 18.2.2002 | Daten gemessen                                       |
| 10/2002   | Bildartefakte korrigiert, Film produziert            |
| in 2002   | Computersimulationen durchgeführt                    |
| 04/2003   | Idee für eine Auswertung, erste Bilder               |
| 05/2003   | erster Manuskriptentwurf                             |
| 11/2003   | Bei <i>Nature</i> eingereicht, <i>Peer Reviewing</i> |
| 04/2004   | von <i>Nature</i> abgelehnt                          |
| 07/2004   | neue Auswertung, neues Modell                        |

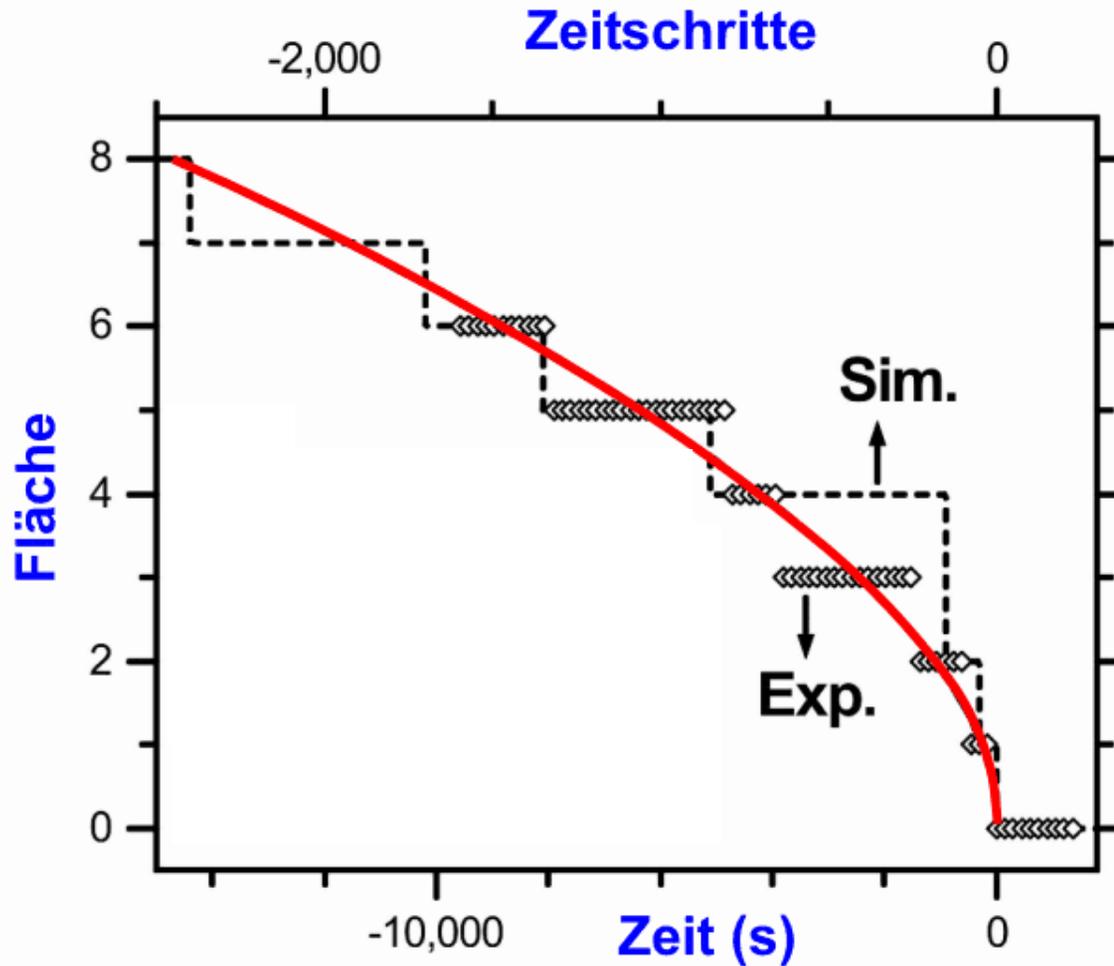
# Zerfall einer $C_{||}$ -Domäne

## Experiment



## Simulation

# Zerfall einer $C_{||}$ -Domäne



**Gibbs-Thomson Effekt:**

**Grenzflächenspannung  
zwischen PL und  $C_{||}$**

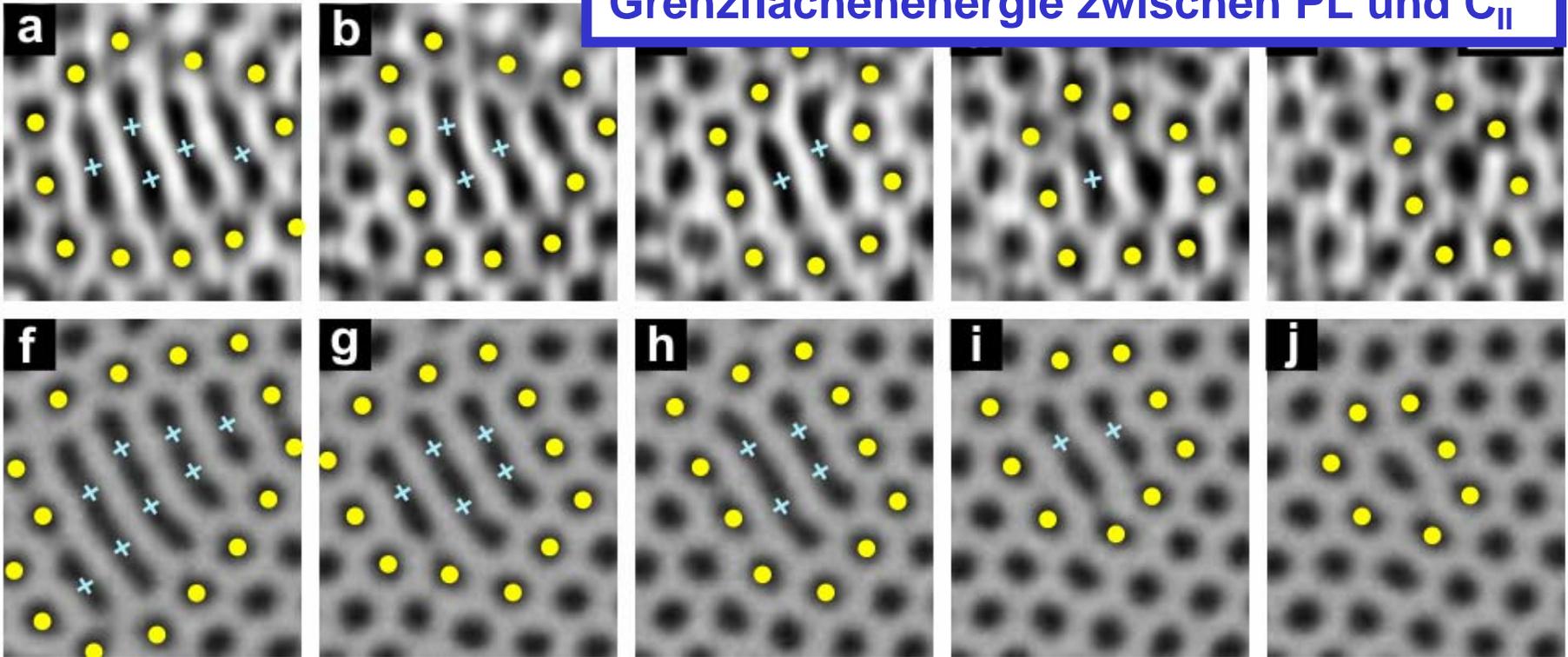
**$2.5 \mu\text{N/m}$**

# Zerfall einer $C_{||}$ -Domäne

**Experiment**

2.5  $\mu\text{N/m}$

Grenzflächenenergie zwischen PL und  $C_{||}$



**Simulation**

# Protokoll einer Veröffentlichung

- |           |  |
|-----------|--|
| 18.2.2002 | Daten gemessen                                       |
| 10/2002   | Bildartefakte korrigiert, Film produziert            |
| in 2002   | Computersimulationen durchgeführt                    |
| 04/2003   | Idee für eine Auswertung, erste Bilder               |
| 05/2003   | erster Manuskriptentwurf                             |
| 11/2003   | Bei <i>Nature</i> eingereicht, <i>Peer Reviewing</i> |
| 04/2004   | von <i>Nature</i> abgelehnt                          |
| 07/2004   | neue Auswertung, neues Modell                        |
| 08/2004   | bei <i>Nature Materials</i> eingereicht              |

# Protokoll einer Veröffentlichung

- 18.2.2002 Daten gemessen
- 10/2002 Bildartefakte korrigiert, Film produziert
- in 2002 Computersimulationen durchgeführt
- 04/2003 Idee für eine Auswertung, erste Bilder
- 05/2003 erster Manuskriptentwurf
- 11/2003 Bei *Nature* eingereicht, *Peer Reviewing*
- 04/2004 von *Nature* abgelehnt
- 07/2004 neue Auswertung, neues Modell
- 08/2004 bei *Nature Materials* eingereicht
- 28.11.2004 bei *Nature Materials* veröffentlicht

ca. 3 Jahre bis zur Veröffentlichung!

# Der kreative Prozess in der Forschung

## Die Begeisterung

*das Geheimnisvolle, das Unbekannte, das Neue,  
Freude am Entdecken und Erkennen*

## Der Weg

*ein langer Prozess*

*Intuition und Erfahrung als Wegweiser*

*Ratio und Experiment als Richter*

## Das Ergebnis

*die Erkenntnis, die Veröffentlichung*