

Funktionale Strukturen in biobasierten und biologisch abbaubaren Materialien

Ille C. Gebeshuber, TU Wien

**Forschung, Technologie, Innovation:
Highlights der Biobasierten Industrie und
Netzwerktreffen Algen**

WKO, 17. November 2025





Einstieg: Warum sprechen wir über Materialien?

- **100 Gigatonnen Primärmaterial pro Jahr → 50 Gigatonnen Abfall**
- Die „Materialmauer“ wächst jedes Jahr weiter
- Recycling stagniert: **7,2 %** im Jahr 2023
- Immer komplexere Materialien → immer schlechtere Kreislauffähigkeit
- **BILD:** „Material Wall“ Illustration aus dem Good-Enough-Paper

van Nieuwenhoven, R. W., Drack, M., & Gebeshuber, I. C. (2024). Engineered materials: bioinspired “good enough” versus maximized performance. *Advanced Functional Materials*, 34(35), 2307127.

Warum der Einsatz von technischen Materialien oft nicht optimal ist

Eigenschaften menschgemachter High-Tech-Materialien:

- maximiert für EINEN Parameter
- komplexe Herstellung
- kaum zerlegbar
- Recycling erst NACH Lebensende geplant → ineffizient

Botschaft:

„Wir bauen Perfektion – aber keine Kreisläufe.“

van Nieuwenhoven, R. W., Drack, M., & Gebeshuber, I. C. (2024). Engineered materials: bioinspired “good enough” versus maximized performance. *Advanced Functional Materials*, 34(35), 2307127.

Die Natur macht es völlig anders



Prinzipien biologischer Materialien:

- lokale Ressourcen
- wasserbasierte Chemie
- Wachstum in funktionaler Form → keine Montage
- Reparatur & Turnover eingebaut
- Abbaubarkeit von Anfang an mitdesignt
- Multifunktionalität statt Single Use

van Nieuwenhoven, R. W., Drack, M., & Gebeshuber, I. C. (2024). Engineered materials: bioinspired “good enough” versus maximized performance. *Advanced Functional Materials*, 34(35), 2307127.

Das ‚Good Enough‘-Prinzip

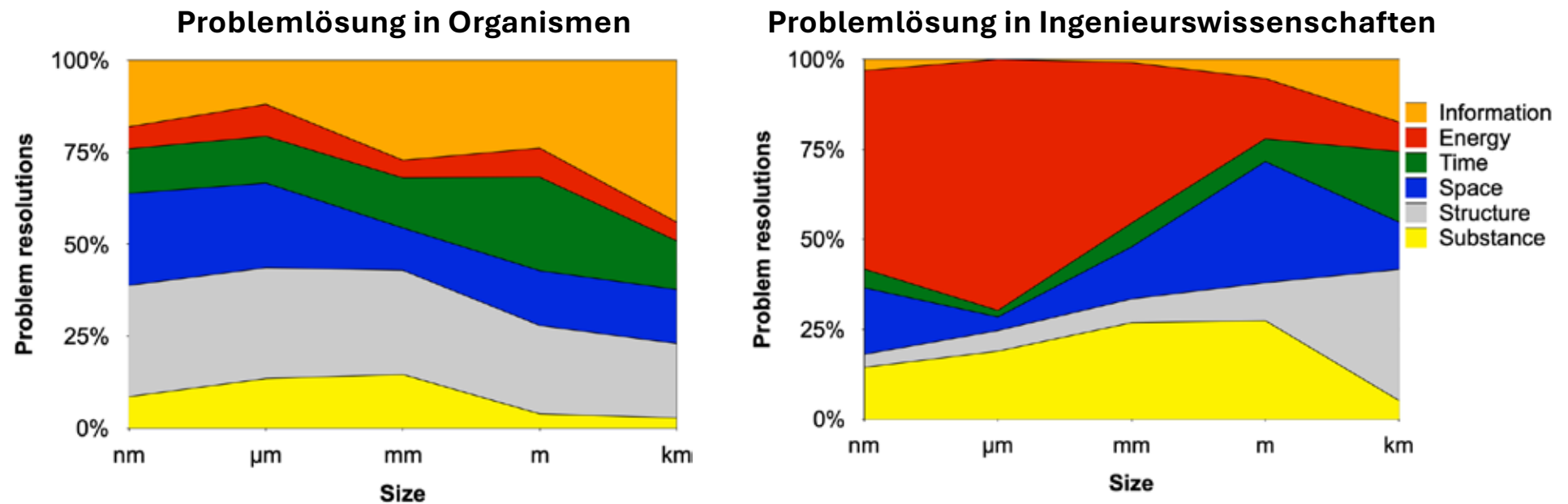
Kernidee:

Die Natur optimiert nicht für maximale Leistung, sondern für maximale Zirkularität.

→ Funktionalität entsteht in vielen Fällen durch **Struktur**, nicht allein durch chemische High-Tech-Komplexität.

van Nieuwenhoven, R. W., Drack, M., & Gebeshuber, I. C. (2024). Engineered materials: bioinspired “good enough” versus maximized performance. *Advanced Functional Materials*, 34(35), 2307127.

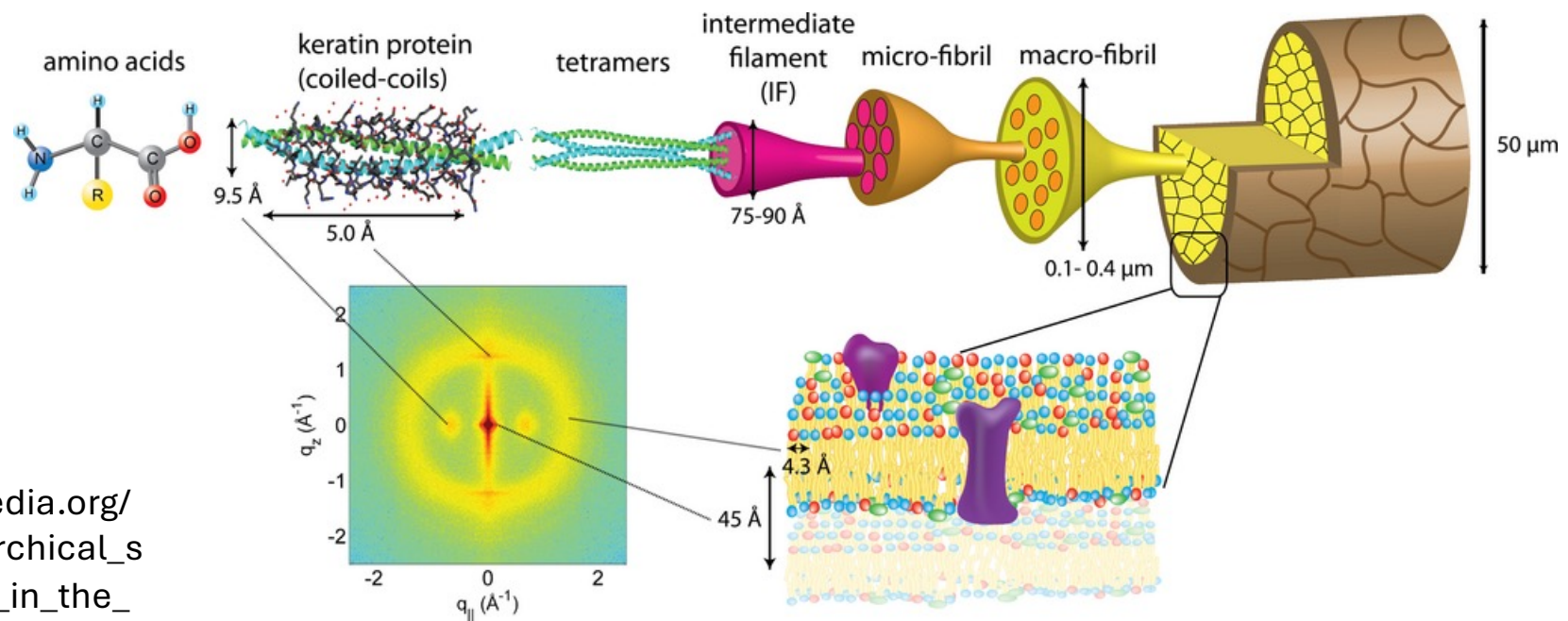
Übergang: Was bedeutet das für die Materialwissenschaft?



Vincent, J. F., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A. K. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471-482.

Übergang: Was bedeutet das für die Materialwissenschaft?

Wenn wir nachhaltige Materialien entwickeln wollen, sollten wir verstehen, wie die Natur Struktur über Skalen hinweg nutzt.



https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Hierarchical_structure_of_hair_in_the_cortex_and_cuticle.png

Chitin & Keratin:

Zwei Supermaterialien der Natur

Chitin: Schmetterlingsflügel, Insektenpanzer, Krustentiere

Keratin: Wolle, Federn, Haare, Hörner, Hufe

Eigenschaften:

leicht & stark

antibakteriell

isolierend

strukturfarbenfähig

biologisch abbaubar

massenhaft verfügbar (Abfälle!)

Ressourcen: Wir haben mehr als genug!

- 8 Mio. t Chitin aus Krustentierabfällen/Jahr
- 9 % aller Geflügelabfälle = Federn
- 688.000 t Wollabfälle weltweit

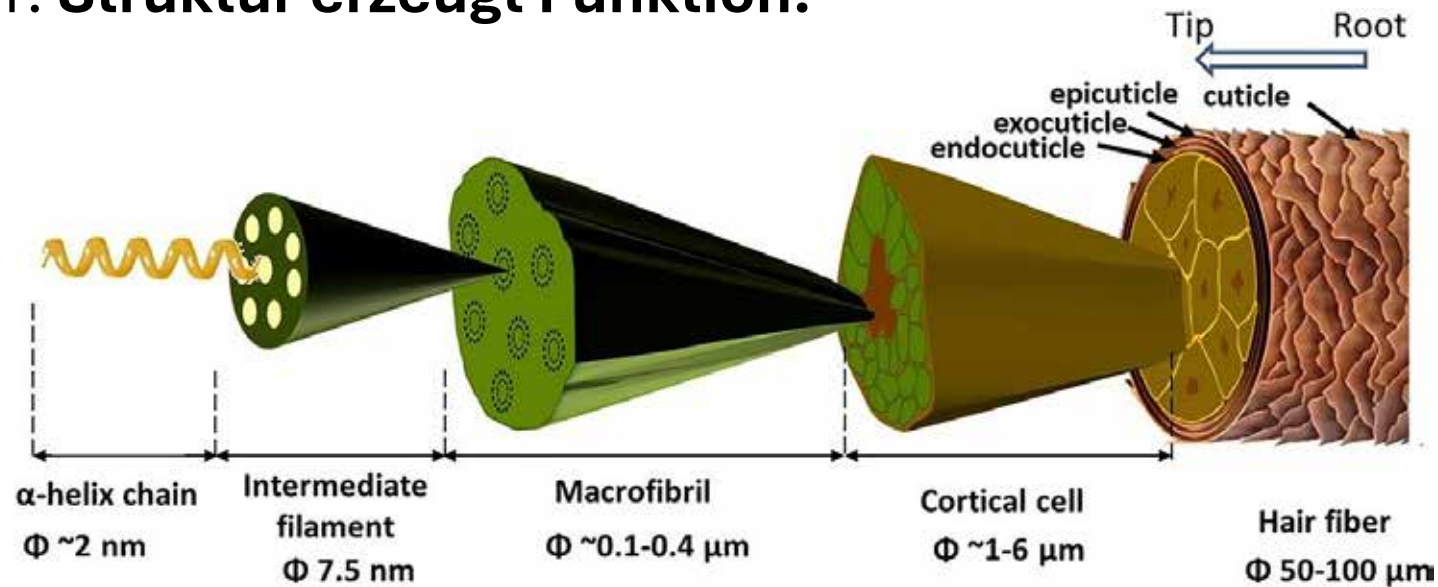
→ alles wertvolle Quellen für Chitin & Keratin



Shearing the Rams von Tom Roberts, 1890

Hierarchische Struktur von Keratin (Nano → Makro)

α -Helix → Filament → Makrofibrille → kortikale Zelle → Haar
Zeigt klar: **Struktur erzeugt Funktion.**



Freigassner, J., van Nieuwenhoven, R. & Gebeshuber, I. (2025). From nanostructure to function: hierarchical functional structures in chitin and keratin. Zeitschrift für Physikalische Chemie, 239(9), 1443-1497.

Beispiel 1: Strukturfarben

Die nanostrukturbasierten Farben von Morpho-Schmetterlingen wurden erfolgreich auf Malerfarben übertragen.

Zobl, S., Salvenmoser, W., Schwerte, T., Gebeshuber, I. C., & Schreiner, M. (2016). *Morpho peleides* butterfly wing imprints as structural colour stamp. *Bioinspiration & biomimetics*, 11(1), 016006.



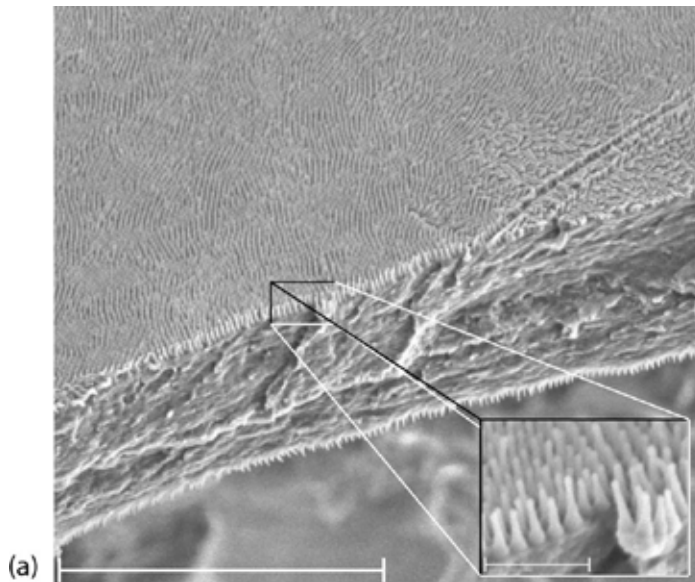
©Mathias Heisler, TU Wien, 2024

Beispiel 2:

Antibakterielle Nanostrukturen

Zikadenflügel

→ mechanisches Zerreißen von Bakterien → völlig chemiefrei!



SEM of a *Kikihia scutellaris* cicada cut wing surface (scale bar 10 μm) showing a detailed pillar view in the zoom window (scale bar 1 μm).

van Nieuwenhoven, R. W., Bürger, A. M., Mears, L. L., Kienzl, P., Reithofer, M., Elbe-Bürger, A., & Gebeshuber, I. C. (2024). Verifying antibacterial properties of nanopillars on cicada wings. *Applied Nanoscience*, 14(3), 531-541.

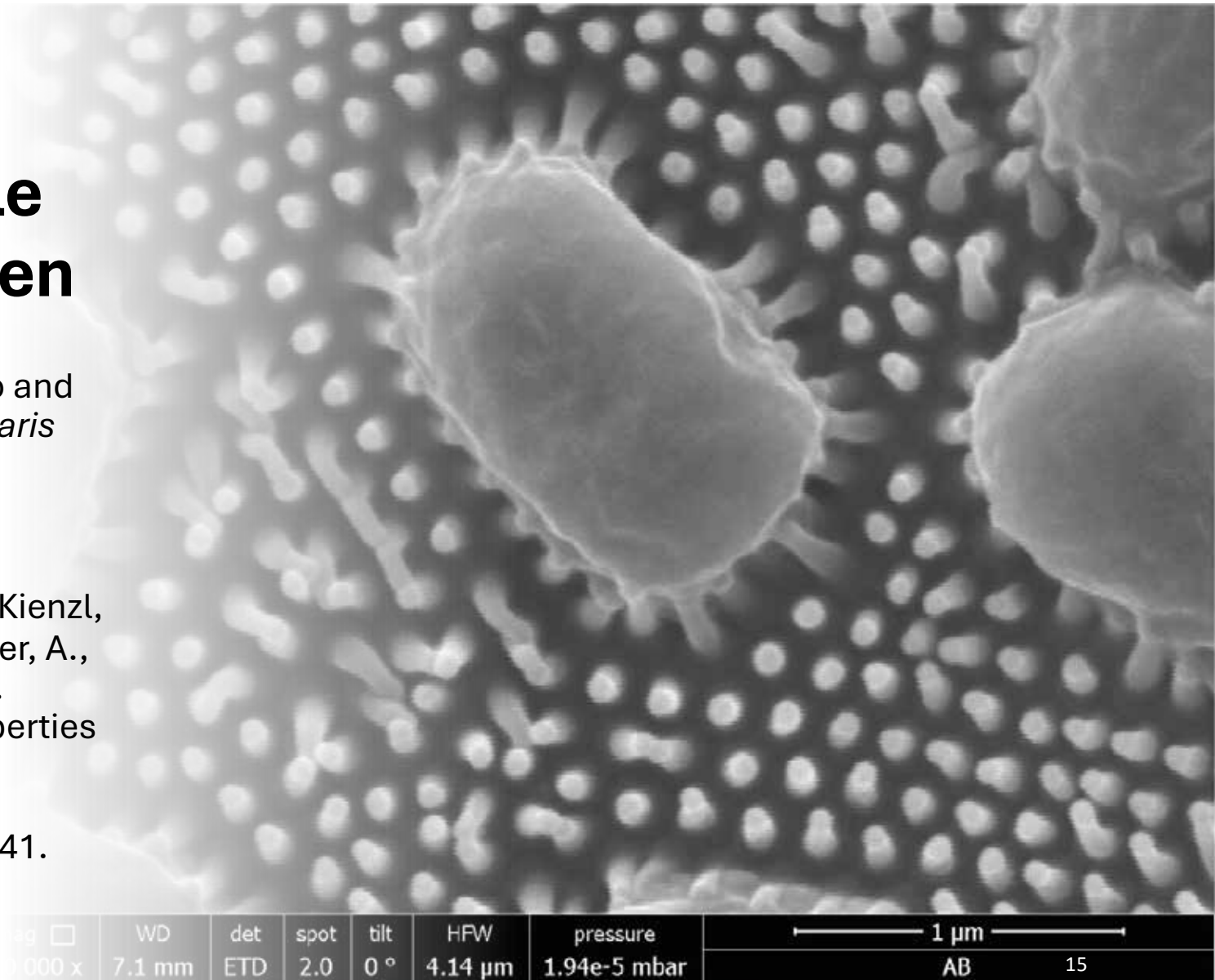


https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kikihia_scutellaris_dorsal.jpg

Beispiel 2: Antibakterielle Nanostrukturen

E. coli bacteria attached to and killed by the *Kikihia scutellaris* nanopillars.

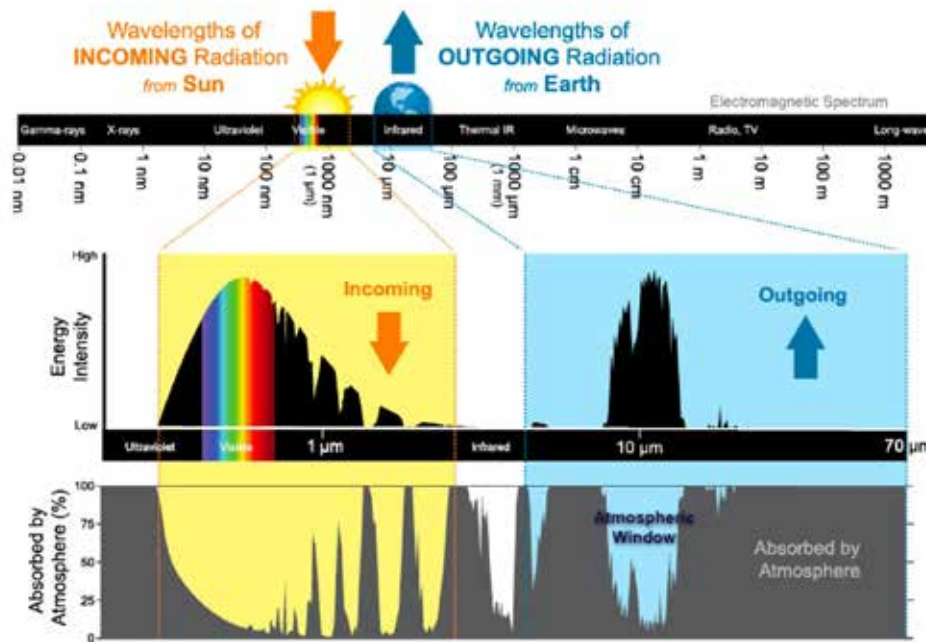
van Nieuwenhoven, R. W.,
Bürger, A. M., Mears, L. L., Kienzl,
P., Reithofer, M., Elbe-Bürger, A.,
& Gebeshuber, I. C. (2024).
Verifying antibacterial properties
of nanopillars on cicada
wings. *Applied
Nanoscience*, 14(3), 531-541.



Beispiel 3:

Passive Strahlungskühlung

Sahara-Wüstennameise (Nanostrukturen reflektieren IR & sichtbar)
→ Inspiriert aktuelle Arbeiten (Markus Zimmerl)

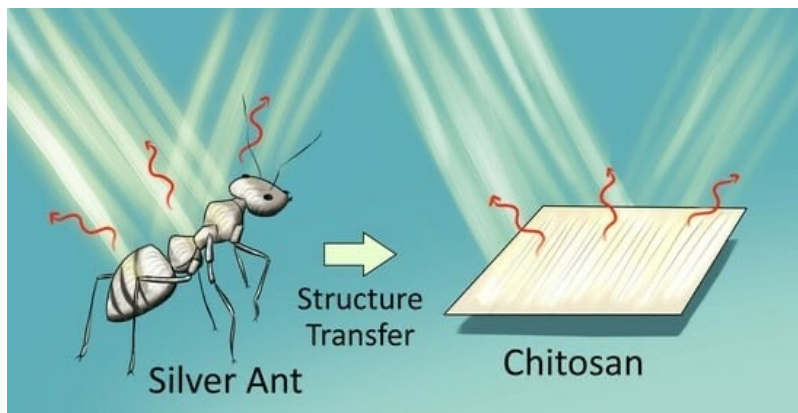
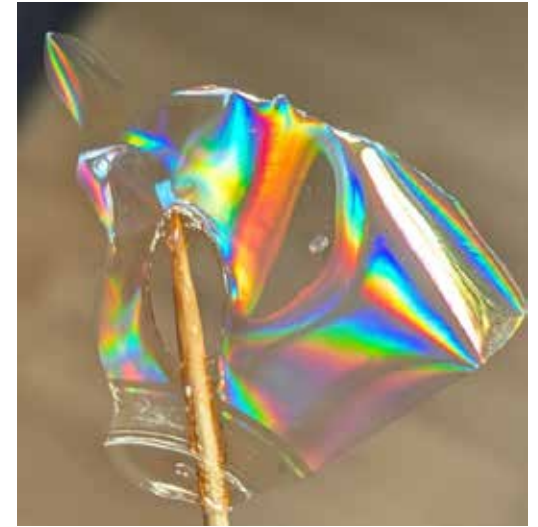


Zimmerl, M., van Nieuwenhoven, R. W., Whitmore, K., Vetter, W., & Gebeshuber, I. C. (2024). Biomimetic Cooling: Functionalizing Biodegradable Chitosan Films with Saharan Silver Ant Microstructures. *Biomimetics*, 9(10), 630.

Beispiel 3: Passive Strahlungskühlung



N.N. SHI ET AL/SCIENCE 2015

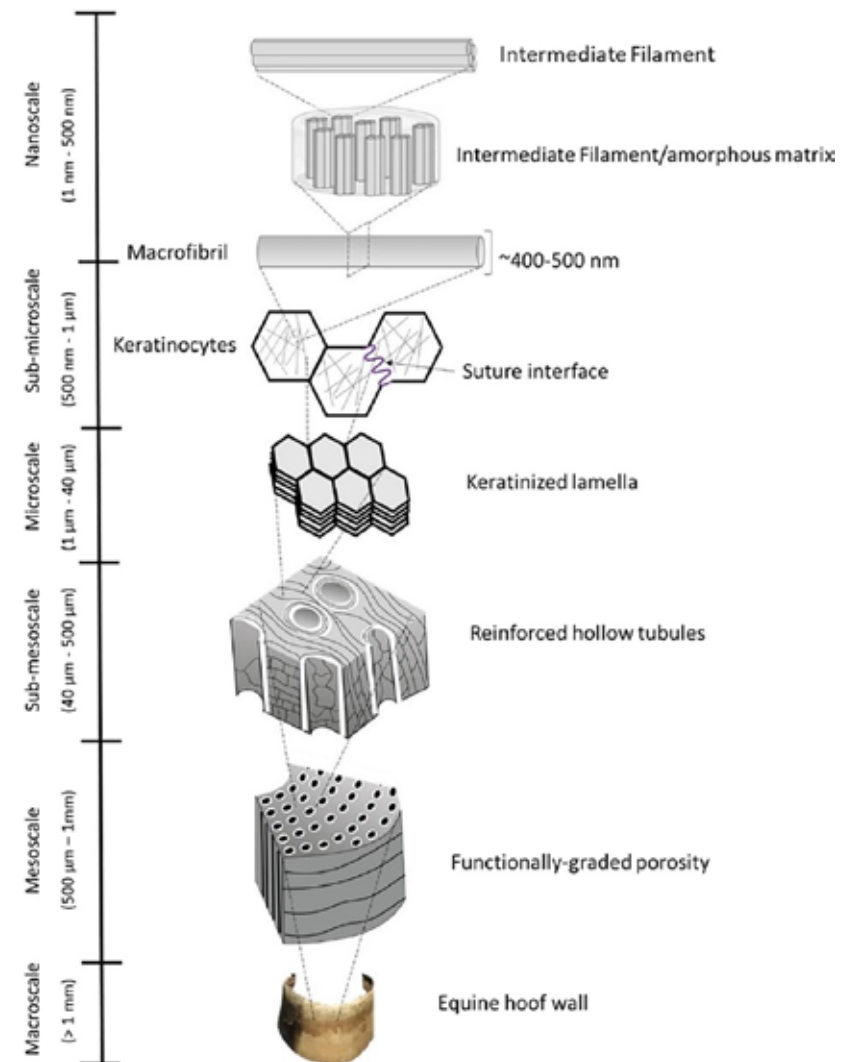


Zimmerl, M., van Nieuwenhoven, R. W., Whitmore, K., Vetter, W., & Gebeshuber, I. C. (2024). Biomimetic Cooling: Functionalizing Biodegradable Chitosan Films with Saharan Silver Ant Microstructures. *Biomimetics*, 9(10), 630.

Beispiel 4: Mechanische Robustheit

Pferdehuf
(Keratin-Multiskalen-Architektur)
→ extrem robust trotz einfacher Chemie

Freigassner, J., van Nieuwenhoven, R. &
Gebeshuber, I. (2025).
From nanostructure to function:
hierarchical functional structures in chitin
and keratin. Zeitschrift für Physikalische
Chemie, 239(9), 1443-1497.



Hierarchische Struktur des Pferdehufes

Beispiel 5: Leichtbau & Thermoisolation

Feder-Keratin

→ Wärmeisolierung

→ reversible Klett-Mechanik

(Häkchen und Federästchen)

Abbildung aus A. Portmann (1969, S. 308):
Einführung in die vergleichende Morphologie
der Wirbeltiere; Schwabe & Co. Verlag, Basel
und Stuttgart.

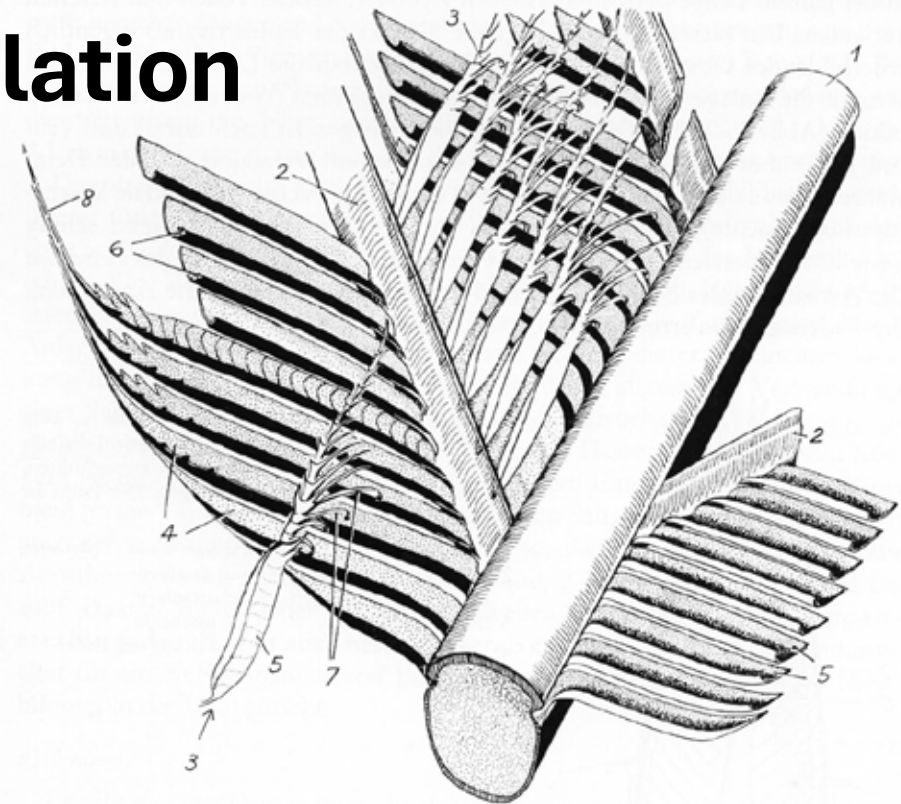


Abb. 254. Schema einer Konturfeder, um die Verbindung von Haken- und Bogenstrahlen der Federfahne zu zeigen (die Bogenstrahlen sind teilweise abgeschnitten).

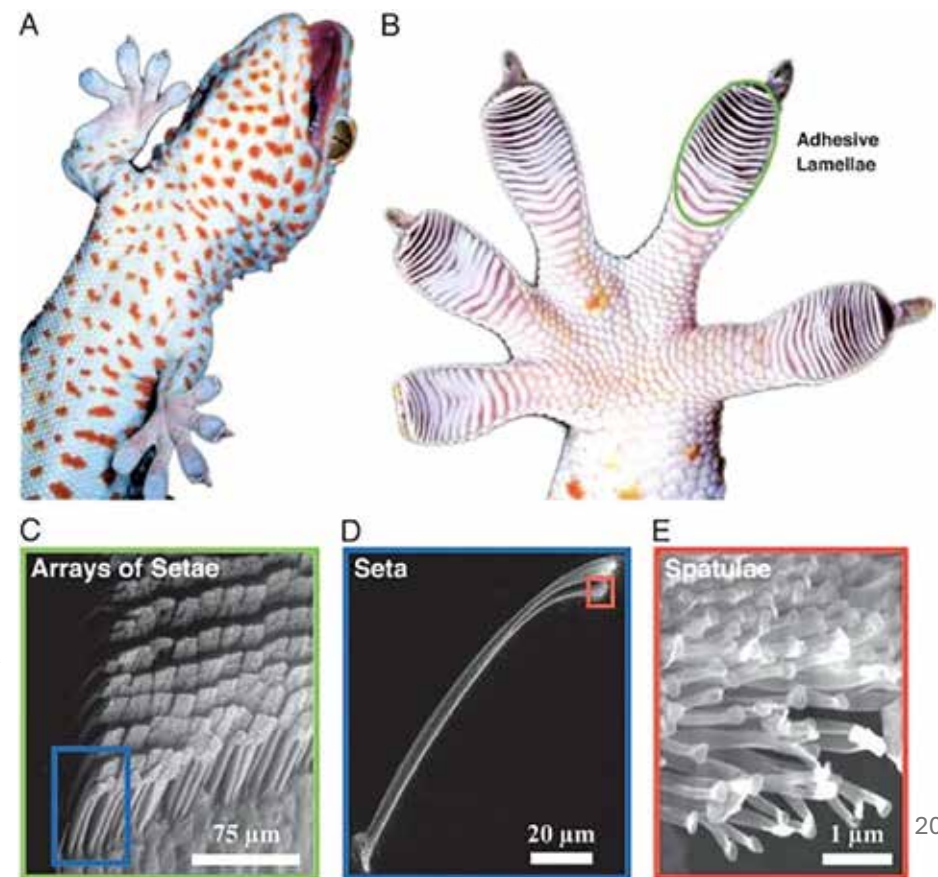
- 1 Schaft (Rhachis)
- 2 Ast (Ramus)
- 3 distale Radien (Hakenstrahlen),
nur an den Ästen ansetzend
- 4 proximale Radien (Bogenstrahlen),
auch am Schaft ansetzend

- 5 Basallamelle
- 6 Krempe, für das Einhaken der Hamuli
- 7 Hamuli der Hakenstrahlen
- 8 Pennulum

Beispiel 6:

Gecko-Inspirierte Haftung

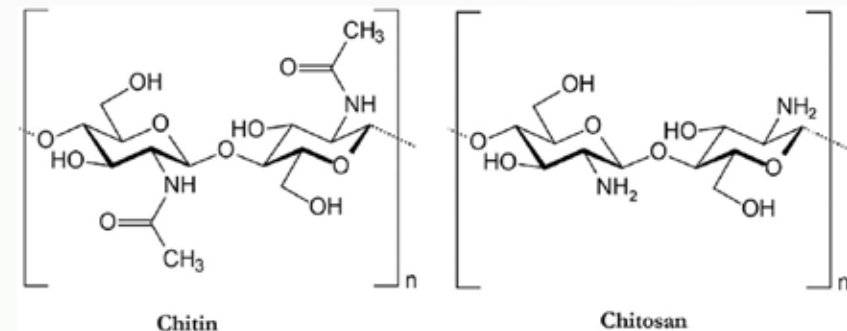
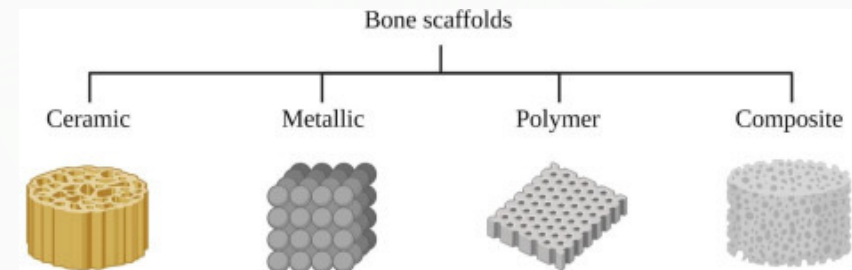
Setae-Strukturen
trocken haftend, reversibel



Freigassner, J., van Nieuwenhoven, R. & Gebeshuber, I. (2025). From nanostructure to function: hierarchical functional structures in chitin and keratin. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 239(9), 1443-1497.

Pharma & Medizin: Chitin/Keratin als Zukunftsmaterialien

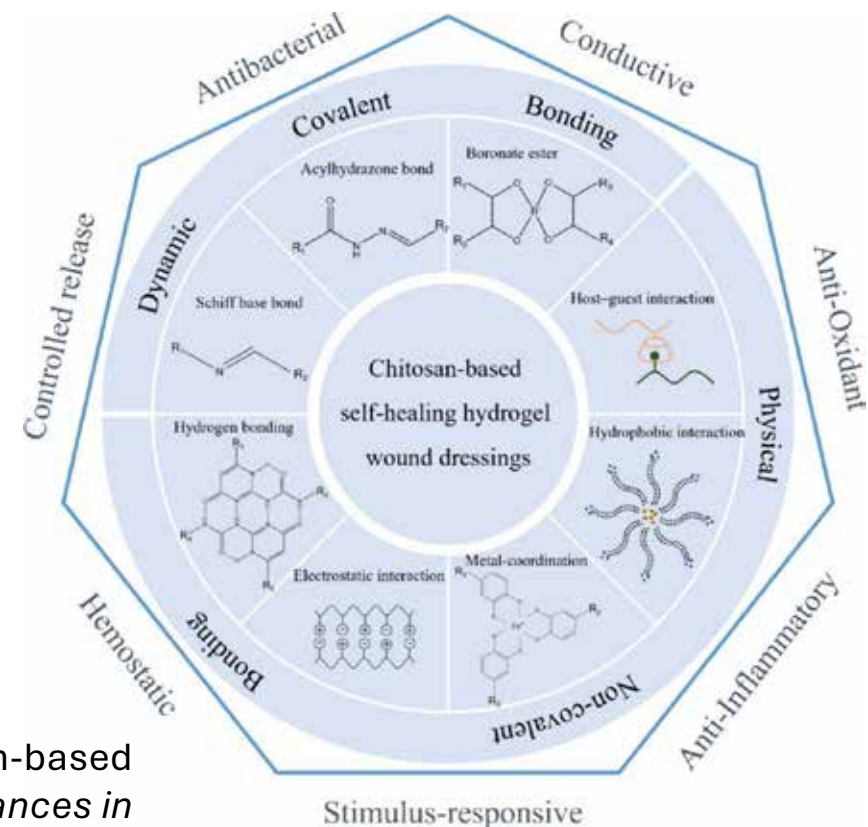
Wundheilung
Tissue Engineering
Drug Delivery
Krebsbehandlung
Knochenheilung



Anwendungen für die biobasierte Industrie

- funktionale Textilien
- nachhaltige Architektur
- antibakterielle Oberflächen
- Kühltechnologien
- Verpackungen
- Kosmetikprodukte
- High-Performance-Leichtbau

Zhang, X., Liang, Y., Huang, S., & Guo, B. (2024). Chitosan-based self-healing hydrogel dressing for wound healing. *Advances in colloid and interface science*, 332, 103267.

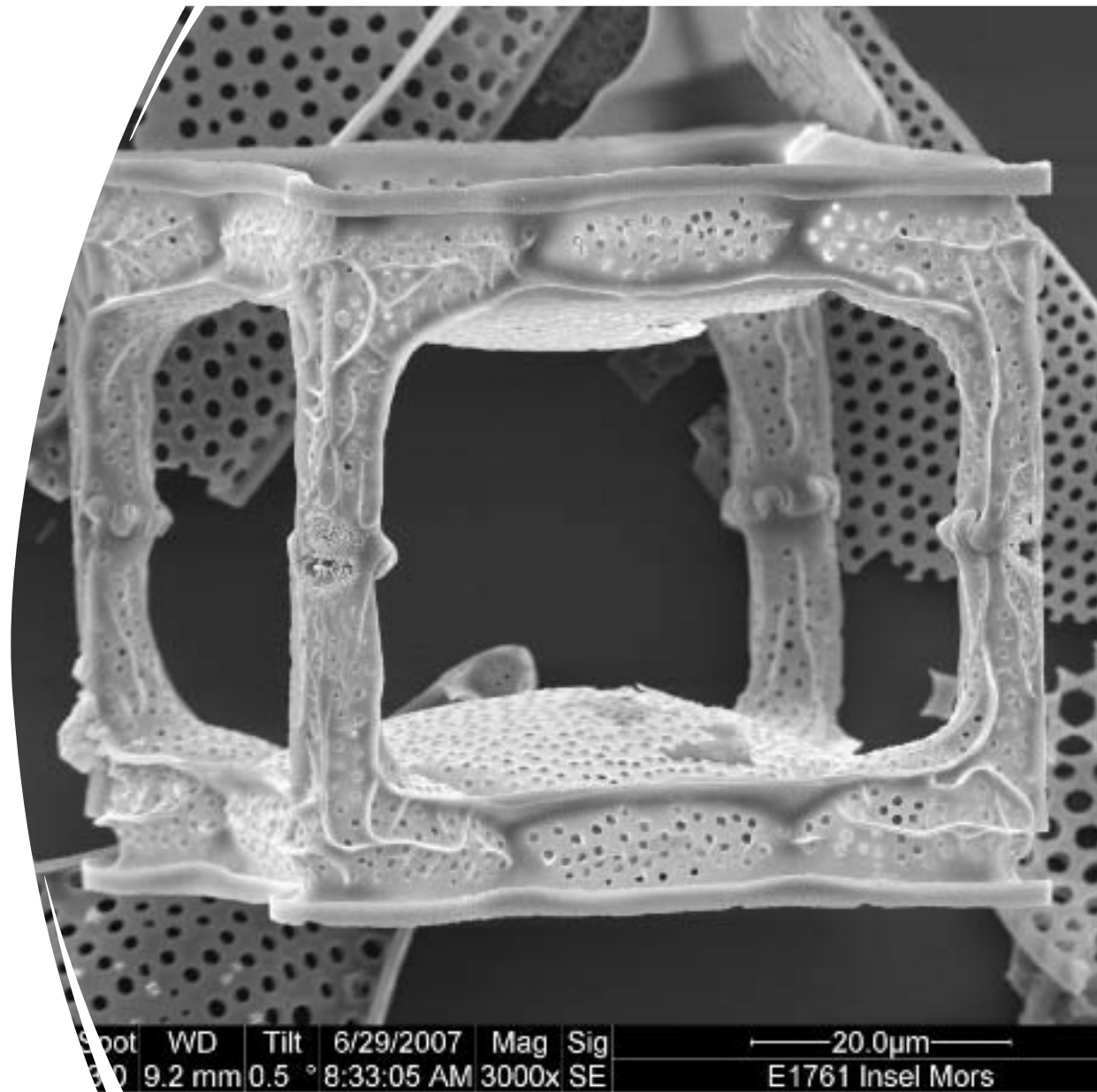


Ein Blick zu den Algen am Nachmittag

Algen, insbesondere Diatomeen, sind Meister funktionaler Strukturen.

Projektvorstellungen (Netzwerk Algen)

Florian Zischka: Algae-based engineered living materials (ELMs), bio based and biodegradable





Transformation braucht Forschung, Ausbildung & Mut

FTI-Relevanz:

- Ausbildung einer neuen Generation von Materialdenkerinnen
- Interdisziplinarität: Physik + Chemie + Biologie + Technik
- Frauen in der Forschung stärken
- Bionik als Innovationsmotor

Die Vision: 3,8 Milliarden Jahre F&E

Wenn wir die Natur als
Ingenieurin begreifen, können wir
funktionale, kreislauffähige
Materialien schaffen –
biobasiert, abbaubar, schön,
robust, multifunktional.

Vielen Dank!