

**Zeitschrift:** Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG  
**Herausgeber:** Eisenbibliothek  
**Band:** 72 (2000)

**Artikel:** Oberflächenstrukturen (gekürzte Vortragsfassung)  
**Autor:** Menk, Werner  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-378349>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Oberflächenstrukturen (gekürzte Vortragsfassung)

Moderne Technik und Natur gelten allgemein als derart verschiedene, ja sogar unvereinbare Dinge, dass kaum jemand erwarten würde, Berührungspunkte oder sogar Ähnlichkeiten zwischen natürlichen und modernen technischen Formen finden zu können. Der folgende Beitrag möchte versuchen zu zeigen, dass dem in vielen Dingen nicht so ist. Moderne Konstruktionsprinzipien lehnen sich oft an die in der Natur bewährten «Konstruktionen» an, versuchen das technisch Mögliche aus der Natur zu übernehmen, hat letztere doch Millionen Mal mehr Zeit zur Optimierung gehabt. Der Vergleich technischer mit natürlichen Konstruktionen zeigt aber auch die Grenzen heutiger Technik im Vergleich zur Natur auf und erzeugt in uns eine grosse Bewunderung vor den Errungenschaften der Natur.

Dass Oberflächen schon seit Urzeiten ein Thema für die Menschen sind, zeigt uns *Abb. 1*, eine Darstellung von Bewohnern des Kessler-Lochs, einer Fundstelle prähistorischer Menschen in der Nähe von Thayngen bei Schaffhausen. Schon diese Urzeit-Menschen wussten, dass sie sich dank einer «Oberfläche» – sprich Kleidung – aus Tierfellen vor der Kälte schützen konnten. Sie haben sich also aus der Natur Anregungen geholt und sich die Natur zum Vorbild genommen.

Als Ingenieur, der sich mit der Entwicklung von Fahrzeugbauteilen befasst, ist es für den Autor naheliegend, Vergleiche zwischen Konstruktionsprinzipien in der Technik, im vorliegenden Fall speziell natürlich im Bereich der Entwicklung von Gussteilen für Automobile, und der Natur anzustellen. Als erstes Beispiel soll

**Dr. Werner Menk**  
Georg Fischer  
Fahrzeugtechnik AG  
8200 Schaffhausen

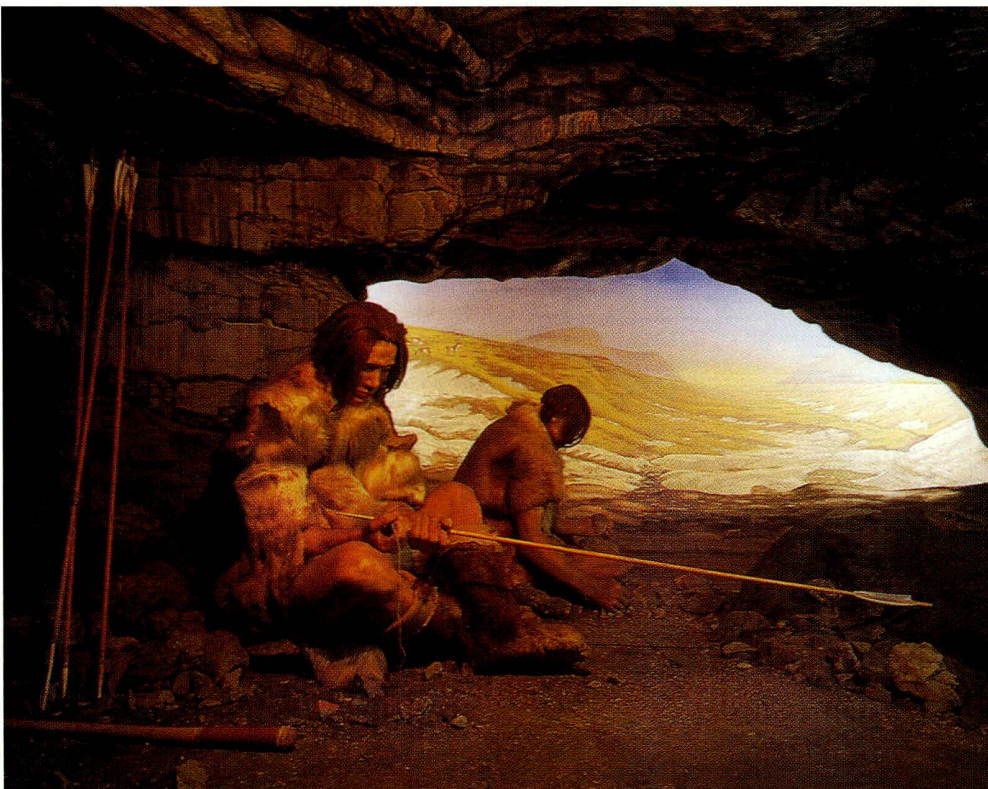


Abb. 1: Rentierjäger im Kesslerloch/Thayngen (Schweiz). Szene im Diorama des Museums zu Allerheiligen in Schaffhausen.



## Bildquellen

Abb. 1: Museum zu Allerheiligen in Schaffhausen, Diorama. Alle übrigen Abbildungen: Georg Fischer Fahrzeugtechnik AG, Schaffhausen.



Abb. 2: Fahrwerksteil (MPV-Schräglenker) nach einer Schwingprüfung: Dank «weicher» Übergänge mit grossen Radien erfolgt der Bruch in der Prüfung nicht in der Anbindung des Arms.

hier ein MPV-Schräglenker, das ist ein Sicherheitsbauteil im Bereich der Rad- aufhängung eines Leicht-Transporters, aufgeführt werden (Abb. 2). Sogenannte «Anbindungen» sind in der Technik von grosser Bedeutung, da damit verschiedene Funktionen miteinander verbunden werden. Das Bild zeigt, wie eine Funktion des nach vorne ragenden Armes mit der Funktion des Hauptträgers verbunden wird. Um möglichst geringe Spannungen im Übergang vom Arm zum Träger zu erzeugen, wird dieser

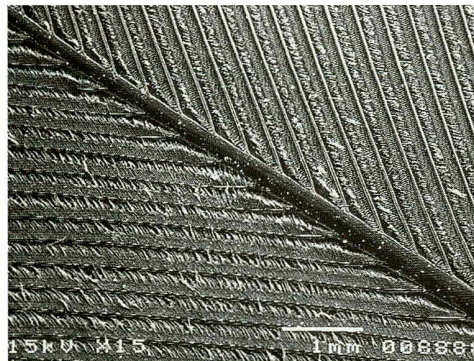


Abb. 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Vogelfeder (Oberseite).



Abb. 4: Ausschnitt aus Abb. 3 im Bereich der Seitenholme bei höherer Vergrösserung.

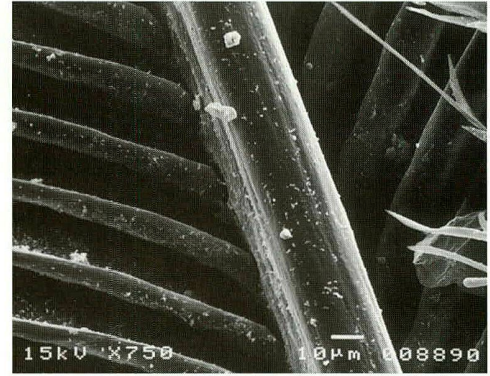


Abb. 5: Ausschnitt aus Abb. 4.

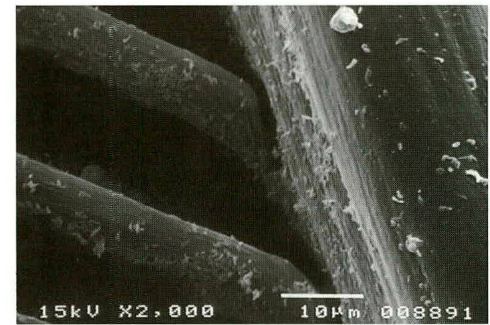


Abb. 6: Ausschnitt aus Abb. 5.

Übergang mit möglichst grossen Radien «weich» ausgeführt. Der Effekt dieser Massnahme ist deutlich daran zu erkennen, dass der Lenker in der Bauteilprüfung nicht in diesem Übergang, sondern eben daneben zu Bruch gegangen ist, d.h. das Konstruktionsziel, diesen Übergang möglichst sicher zu gestalten, hat funktioniert. Als Vergleich aus der Natur dazu könnte die Struktur einer Vogelfeder betrachtet werden (Abb. 3 bis 6). Bei einer Vogelfeder sind ebenfalls Funktionen miteinander verbunden: An den tragenden Kiel sind Seitenholme angebunden, an diese die feinen Härchen, welche dazu führen, dass die Feder fast wie eine Segelfläche wirkt. Bei grosser Vergrösserung im Rasterelektronenmikroskop aufgenommen (bitte beachten Sie die  $\mu$ -Striche auf den REM-Aufnahmen –  $1 \mu = 0.001 \text{ mm}$ ) kann man erkennen, dass diese Härchen ebenfalls mit sehr «weichen» Übergängen am Holm angebunden sind, jedoch nur auf der Unterseite. Nach oben sind sie frei und abgknickt. Dadurch wird eine Beweglichkeit des Härchens so erzeugt, dass beim Flügelschlag nach unten die Härchen am Holm anstehen, d.h. sich nicht nach oben bewegen können, während sie sich beim Flügelschlag nach oben nach unten bewegen und damit den Raum öffnen und die Luft durchströmen lassen.



Dadurch wird beim Flügelschlag nach unten ein Auftrieb, beim Schlag nach unten jedoch (praktisch) kein Abtrieb erzeugt. Man stellt also fest, dass die technische Lösung einer Anbindung durchaus der Natur abgeguckt ist, aber bei weitem nicht deren Genialität nachzuzahlen imstande ist.

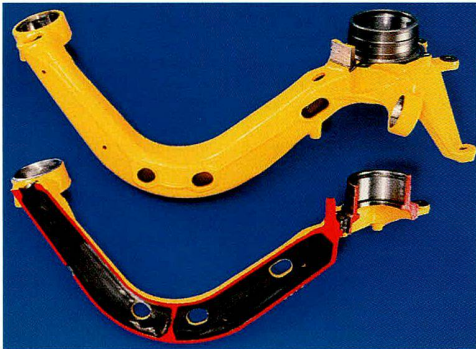


Abb. 7: Leichtbau von PKW-Fahrwerksteilen: Dank des Herstellverfahrens Giessen sind Hohlstrukturen darstellbar, welche bei geringem Gewicht hohe Steifigkeit ergeben.

Ein weiteres Beispiel ist der vor allem im Automobilbau so eminent wichtige «Leichtbau»: Insbesondere die Giess-technologie ist mit ihrer Möglichkeit,



Abb. 8: Leichtbau in der Natur: Schilf.



Abb. 9: Ausschnitt: Filigrane Stiele tragen hohe Gewichte.

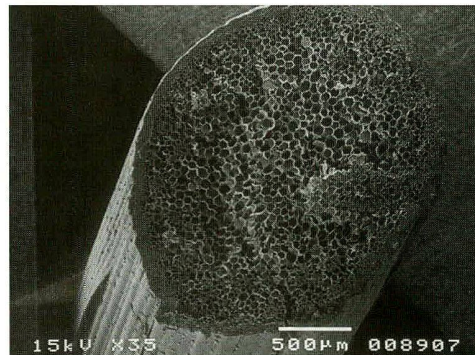


Abb. 10: Querschnitt eines Schilfrohes im Raster-elektronenmikroskop: Die hohe Steifigkeit des Schilfhalmes wird durch eine Wabenstruktur erzeugt.

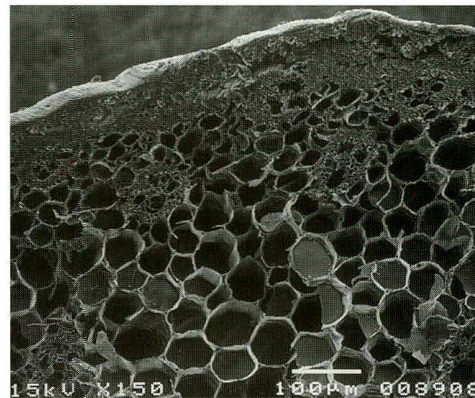


Abb. 11: Ausschnitt aus Abb. 10.

Hohlräume darzustellen, prädestiniert, Leichtbau zu realisieren. Ein Beispiel dazu ist der in Abb. 7 gezeigte PKW-Längslenker. Durch seine hohle Struktur, d.h. hochfeste Oberfläche und innen hohl, ist es möglich, mit sehr wenig Masse hochsteife und hochfeste Strukturen bei minimalem Gewicht zu erzeugen.

Als Vergleich aus der Natur kann das uns allen wohlbekannte Schilfrohr herangezogen werden (Abb. 8–11). Die extrem hohe Steifigkeit des Schilfrohes bei minimalstem Gewicht wird erzeugt durch eine quasi hohle Struktur mit einer hochfesten Aussenhaut und einer inneren Wabenstruktur, wobei interessanterweise die Waben in Oberflächennähe sehr fein sind und nach innen immer grösser werden. Eine topmoderne Entwicklung versucht exakt, dieses Konstruktionsprinzip der Natur nachzuzahlen: In Abb. 12 sind Schnitte von Schaumaluminium-Strukturen dargestellt, mit welchen versucht wird, dank einer hochfesten, dichten Aluminium-Oberfläche und einem Kern aus geschäumtem Aluminium hochsteife Konstruktionsteile mit geringstem Gewicht zu entwickeln.



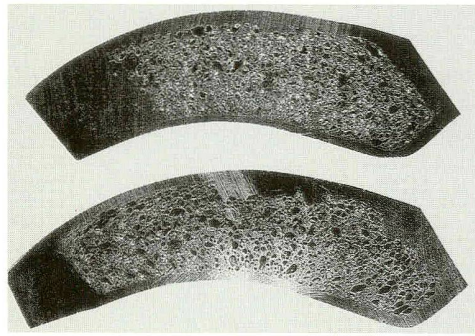


Abb. 12: Übertragung der Schilfstruktur in die Technik: Schaumaluminium.

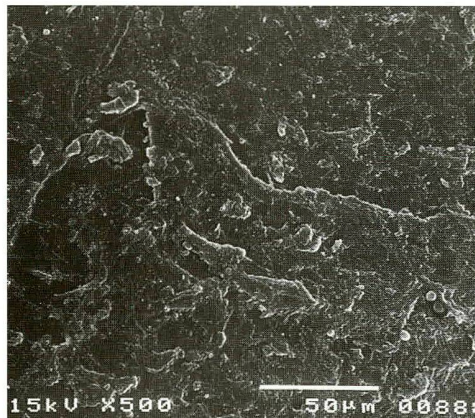


Abb. 13: Zur Verankerung der Feder ist die Oberfläche des Kiels stark strukturiert – Vergleich zur sehr glatten Oberfläche des Seitenholmes (Abb. 14).

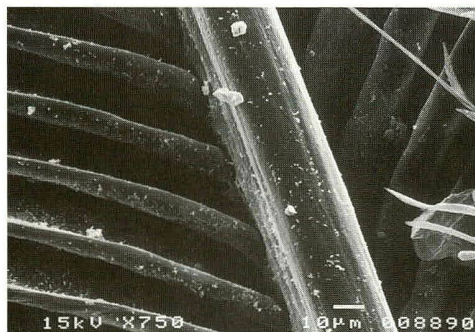


Abb. 14: Sehr glatte Oberfläche des Seitenholmes der Vogelfeder.

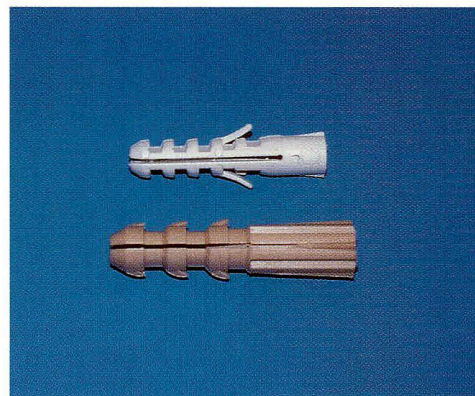


Abb. 15: Technische Lösungen von Verankerungen: Dübel.

Als nächstes Beispiel einer Oberflächenstruktur ist in *Abb. 13* ein Federkiel im Verankerungsbereich gezeigt, welcher zu diesem Zweck eine sehr «raue» Oberflächenstruktur aufweist – im Gegensatz dazu das Beispiel zur Oberfläche des Seitenholmes, welcher lediglich tragende, aber keine Verankerungsfunktion aufweist (*Abb. 14*). In der Technik werden ähnlich raue Oberflächenstrukturen zur Verankerung eingesetzt, wie dies in *Abb. 15* anhand von Dübeln illustriert ist.

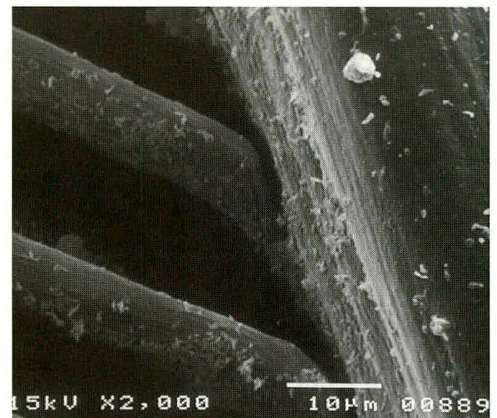


Abb. 16: Perfekte natürliche Lösung des Problems Übergänge am Beispiel des Seitenholmes der Vogelfeder.

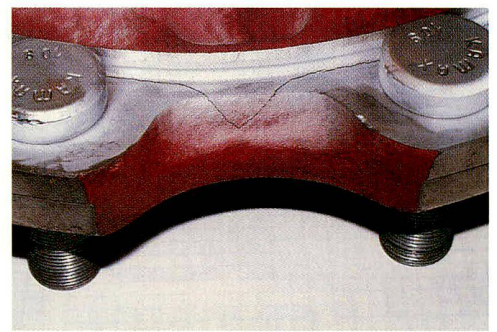


Abb. 17: Technische Lösung von Übergängen durch bearbeitete Radien am Beispiel einer LKW-Nabe nach einer Schwingprüfung: Bruchausgang in den Radien.

Zurück zu den Anbindungen von Funktionen: Wir haben schon gesehen, wie perfekt die Natur die Anbindung eines Querholmes an den Federkiel gelöst hat (*Abb. 16*). In der Technik spielen Übergangsradien ebenfalls eine sehr wichtige Rolle: In LKW-Radnaben gibt es immer einen Übergang vom Flansch zum eigentlichen Nabenkörper (*Abb. 17*). Der Verschraubung mit dem Rad wegen ist dieser Übergang immer bearbeitet – zwangsläufig mit einem Übergangsradius. Je grösser dieser Radius ist, um



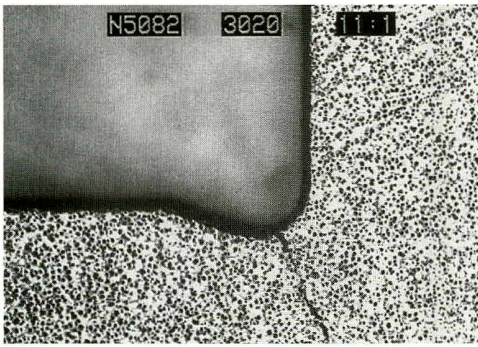


Abb. 18: Querschliff durch Bruchausgangsbereich einer Radnabe. Beim einem 1 mm-Radius trat der Bruch des Bauteils nach 239'000 Lastwechseln auf.

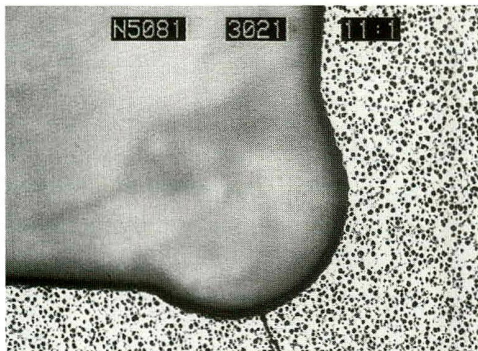


Abb. 19: Dieselbe Radnabe ertrug mit einem 2 mm-Übergangsradius bearbeitet 511'000 Lastwechsel.

so kleiner sind die Spannungen unter Betriebslast. Das in den Abb. 18 und 19 gezeigte Beispiel demonstriert dies sehr eindrücklich: Unter definierten Prüfungsbedingungen hat die Nabe mit einem Übergangsradius von 1 mm 239'000 Lastwechsel, diejenige mit einem 2 mm-Radius jedoch 511'000, d.h. mehr als das Doppelte bis zum Bruch der Nabe ertragen.

Insbesondere bei Gussteilen spielen «Durchbrüche» eine sehr grosse Rolle. Hohlkörper werden beim Giessen durch Kerne gebildet, welche aber logischerweise irgendwie festgehalten bzw. posi-

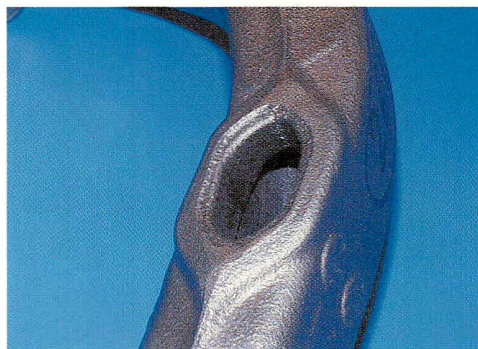


Abb. 20: Um die Schwächung der Struktur durch notwendige Kerndurchbrüche zu kompensieren, wird an diesem Beispiel eines PKW-Schwenklagers der Durchbruch mit einem Wulst verstärkt.

tioniert werden müssen. Dazu müssen die Kerne über Durchbrüche durch die Aussenkontur des Gussteils herausgeführt werden, damit sie im Formstoff, welcher die Aussenkontur des Gussteils abbildet, festgehalten werden können. Derartige Durchbrüche durch die Aussenkontur stellen logischerweise Schwachstellen dar. Sie werden daher mit Wülsten, wie sie in Abb. 20 sichtbar sind, verstärkt. Genau dasselbe tut die Natur ebenso, indem sie Durchbrüche durch den Chitinpanzer, welche für sensorisch aktive «Antennen» notwendig sind, mit Wülsten oder sogar Kegeln verstärkt (Abb. 21–24).

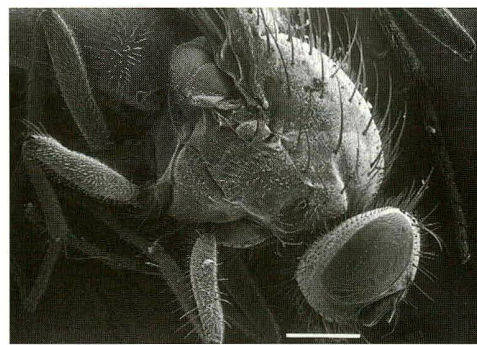


Abb. 21: So präsentiert sich eine Fliege im Rasterelektronenmikroskop.

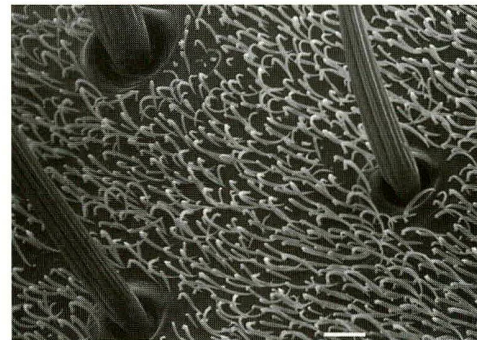


Abb. 22: Ausschnitt aus dem in Abb. 21 hellen Bereich des Kopfes hinter dem Auge. Die Oberfläche ist fein behaart, Durchbrüche von offenbar sensorischen Antennen durch den Chitinpanzer werden durch Wülste verstärkt.

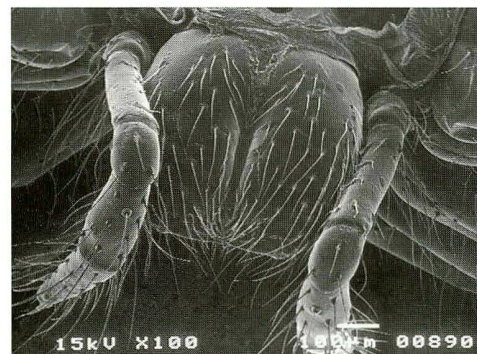


Abb. 23: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Spinnenkopfes.



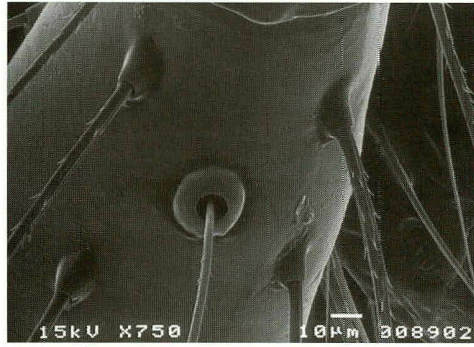


Abb. 24: Der Ausschnitt aus Abb. 23 zeigt ein Detail eines Fühlers. Durchbrüche sind mit kräftigen Wülsten oder Kegeln verstärkt.

Apropos «Sensorik»: Beim Betrachten von Wespenfühlern bei immer grösserem Abbildungsmaßstab (Abb. 25–28) erhält man einen Eindruck davon, was die Natur an Sensorik zu leisten vermag – abertausende von Sensoren befinden sich auf diesen Fühlern und es erstaunt nicht mehr, dass Wespen zielsicher unser Marmeladenbrot finden. Selbstverständlich gibt es auch in der Technik Sensoren – selbst an Gussteilen, wie dies am Beispiel eines Schwenklagers mit angegossenem Auge für die Aufnahme des ABS-Sensors ersichtlich ist (Abb. 29). Wie bescheiden aber wirkt dieses Beispiel im Vergleich mit den Sensoren eines Wespenfühlers!

Das Fazit aus unseren Betrachtungen: Die eingehendere Beschäftigung mit Oberflächenstrukturen in der Natur ist etwas Faszinierendes und auch für einen Ingenieur lehrreich. Vieles können wir der Natur abschauen und versuchen nachzuahmen. Diese Beschäftigung lehrt uns aber auch Ehrfurcht vor den immensen Errungenschaften der Natur und zeigt uns, wie «klein» wir eigentlich sind und wie viel wir noch lernen können. Trösten mag uns dabei der Gedanke daran, dass die Insekten, mit denen wir uns hier überwiegend beschäftigt

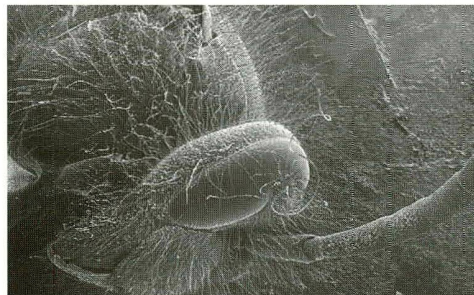


Abb. 25: Kopf einer Wespe (die tote Wespe hatte vor der Präparation lange im Staub gelegen und ist deshalb stark verschmutzt).

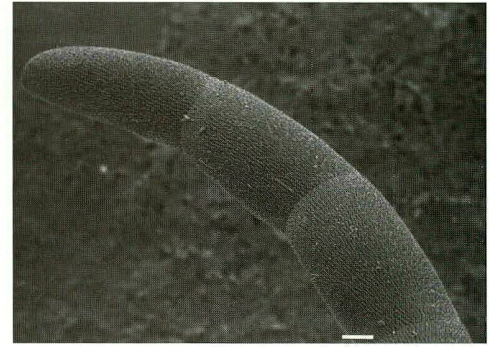


Abb. 26: Detailaufnahme des Endbereiches einer der charakteristischen Fühler der Wespe.

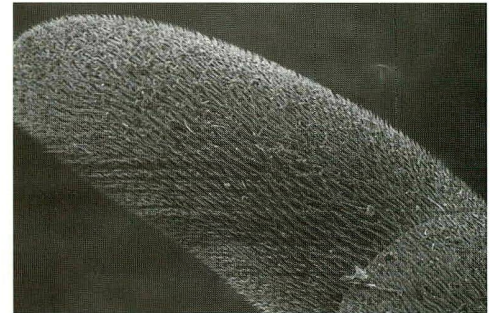


Abb. 27: Ausschnitt aus Abb. 26 bei etwas grösserer Vergrößerung.

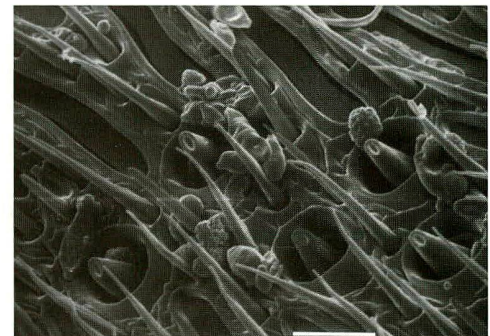
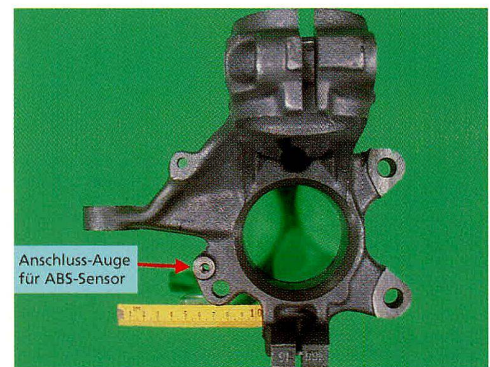


Abb. 28: Bei starker Vergrößerung der Fühler-Oberfläche zeigt sich, dass dieser mit Tausenden von Geruchssensoren bestückt ist.



haben, eine Entwicklungszeit von über 300 Millionen Jahren hinter sich haben, während sich der Homo Sapiens erst seit weniger als 0,1 Millionen Jahren auf der Erde bewegt. Wir haben also noch viel Zeit, von der Natur zu lernen!