Beitrag zur Kenntnis der männlichen Antennenmorphologie von *Attacus atlas* (LINNAEUS, 1758) (Lepidoptera: Saturniidae)

RIZKY PAUKSTADT & ULRICH PAUKSTADT

Contribution on the morphology of the male antennae in *Attacus atlas* (LINNAEUS, 1758) (Lepidoptera: Saturniidae)

Abstract: This contribution particularly deals with the morphology of the antennae of the giant atlas moth *Attacus atlas* (LINNAEUS, 1758) from the island of Jawa, Indonesia (Lepidoptera: Saturniidae). The authors present several SEM-, macro- and micro-pictures, which are demonstrating the rather complex antennal surface structures of the male *A. atlas* moth. The antennae are mostly quadripectinate (cf. SCOBLE, 1995; = doubly bipectinate sensu PEIGLER, 1989) with scape, pedicle and about 39–48 flagellar segments, the distal segments of the antennae are bipectinate because the distal rami each segment are fully reduced. There are mostly two pairs of branches (rami) each segment, of which the distal rami usually are slightly longer than the proximal rami. Proximal and distal segments are with shortest rami, while the longest ones arise from central segments. The distal rami arise from middorsally each segment and are proximally more bent, but the proximal rami arise from near laterally and are more straight. Therefore the rami of the antennae form two layers in cross-section. Segments and rami are covered with different sensillae, which are generally classified according to their external morphology. In *A. atlas* the rami are one-sided covered with Sensilla trichodea, the most conspicuous type of sense organ at the antenna. The antenna forms with its rami and Sensilla trichodea a sieve-like filter for the air containing odorous substances and pheromones. Much different types of sensillae are present at the antennae bear mechanoreceptive, chemoreceptive, thermoreceptive, hygroreceptive sensory cells (receptors), of which some of those might be combined in one sensilla type. The structures of the male antennae of *A. atlas* are figured and described in detail.

Key words: Lepidoptera, Saturniidae, *Attacus*, wild silkmoth, morphology, antenna, sensillum, sensilla.

Einleitung

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts waren zwei unterschiedliche Lehren über die Antennen von Insekten verbreitet. Einige Wissenschaftler vertraten die Meinung, dass der Fühler als Tastorgan zu sehen sei und das Riechorgan an

der Öffnung der Stigmen oder an anderen Körperpartien zu suchen sei, während die anderen der Ansicht waren, dass die Antenne hauptsächlich das Riechorgan sei, aber nicht ausschlossen, dass auch an anderen Körperpartien wie z.B. den Palpien eine Geruchs- bzw. Geschmackswahrnehmung stattfinden könnte. Verfechter beider Lehren erbrachten Beweise für die These, die sie vertraten bzw. erhoben mit ihren Untersuchungen Zweifel an der anderen These. Karl von Frisch erbrachte durch seine Versuche mit dressierten Bienen, denen er die Antennen amputierte, endgültige Beweise, dass es sich bei den Antennen nicht nur um Tastorgane handelt, sondern diese zum Grossteil zur Geruchswahrnehmung beitragen (vgl. V FRISCH, 1919, 1921).

Früh wurden Grundlagen für elektrophysiologische Untersuchungen an den Antennen geschaffen. SCHNEIDER & KAIßLING (1956, 1957, 1959) untersuchten systematisch und umfassend den Bau der Antenne des Seidenspinners *Bombyx mori* (LINNAEUS, 1758) (Lepidoptera: Bombycidae), während BOECKH et al. (1960) *Antheraea* (*Telea*) *polyphemus* (CRAMER, 1775) (Lepidoptera: Saturniidae) untersuchten.

Dabei legten SCHNEIDER & KAIßLING (1956) zur besseren Orientierung bei der Beschreibung für die Antennen von *Bombyx mori* eine Richtungs-Nomenklatur fest. Sie unterschieden, ausgehend von der Normalstellung (nicht erregter Zustand: Körbchenöffnung zeigt nach unten): dorsal – ventral, vorn – hinten, vordere – hintere Astreihe und für das Körbchen (gebildet aus den V-förmig abgehenden Rami) innen – außen. Im erregten Zustand soll die Körbchenöffnung mehr nach vorn gedreht sein.

Aktuelle Forschungen zeigen, dass die Antenne nicht nur Riech- und Tastorgan ist, sondern noch weitere Sinnesmodalitäten wie z.B. Temperatur- und Feuchtigkeitsempfmdung aufweist. Die Antenne ist mit unzähligen kleinen Sinneshärchen, den Sensillen, ausgestattet, welche klassisch aufgrund der Form ihrer cuticularen Apparate (in licht- und rasterelektronenmikroskopischen Bildern) typologisiert wurden (vgl. SCHENK, 1903; BOECKH et al., 1960): Sensilla trichodea („Haare"), S. basiconica („Schläuche", „Kegel" sensu SCHENK, 1903), S. coeloconica („Grubenkegel"), S. chaetica („Borsten"), S. styloconica („Endkegel") und S. campaniformia („Kuppeln"). Desweiteren S. ampullacea („FOREL'sche Flaschen") und S. placodea („Porenplatten"). Zusätzlich wurden S. capitula (vgl. YOKOHARI, 1981), S. scolopalia und S. squamiformia („Sinnesschuppen") (vgl. SCHNEIDER & KAIßLING, 1957) beschrieben.

Da in diversen Untersuchungen gezeigt werden konnte, daß die SCHENK'sche Typologisierung nicht spezifisch zur Reizmodalität der Sensillen ist (siehe unten), teilte ALTNER (1977) die Vielzahl von Sensillen

nach Strukturmerkmalen (in raster- und transmissionselektronenmikroskopischen Bildern) in ‚ohne Poren' (np-Sensillen) (z.B. Thermohygrosensillen), mit ‚terminalem Porus' (tp-Sensillen) (z.B. Kontaktchemosensillen) und mit ‚Wandporen' (wp-Sensillen) ein. Die letztgenannte Gruppe, in die olfaktorische (geruchssensible) Sensillen gehören, unterteilte er weiterhin in Haare mit ‚einfacher Wand' (sw-Sensillen), ‚doppelter Wand' (dw-Sensillen) und ‚unregelmäßig gekammerter Wand', während er die anderen Gruppen in ‚Sockel beweglich' und ‚Sockel starr' unterschied.

In zahlreichen elektrophysiologischen Ableitungen wurde versucht, den adäquaten Reiz für die einzelnen Sensillen bzw. deren Sinneszellen (Rezeptorzellen) zu spezifizieren und mehr über deren Funktion herauszufinden. So wurde aufgezeigt, dass die haarförmigen Sensillen (S. trichodea und S. basiconica) der Geruchswahrnehmung dienen, wobei die S. basiconica scheinbar „unspezifisch" wahrnehmen, während die S. trichodea (welche dem antennalen Sensilleninventar der weiblichen *Antheraea* (*T.*) *polyphemus*-Falter fehlen, vgl. BOECKH et al., 1960) auf Pheromonrezeption spezialisiert sind (vgl. SCHNEIDER et al., 1964; KAISSLING, 1987; MENG et al., 1989). Bei S. basiconica von weiblichen Bombyx-Faltern scheint eine der Sinneszellen auf Pflanzendüfte zu reagieren und kann somit z.B. zum Auffinden von Futterpflanzen bzw. Eiablageplätzen behilflich sein (vgl. SCHNEIDER & STEINBRECHT, 1968). Weitere Typen chemosensorischer Sensillen sind S. coeloconica und borstenförmige S. chaetica, letztere stellen Kontaktchemorezeptoren dar (vgl. KAISSLING, 1987). Die kuppelförmigen S. campaniformia dienen der Mechanorezeption (vgl. KAISSLING, 1987; BARTH & BLICKHAN, 1984). Bei *Antheraea pernyi* (GUÉRIN-MÉNEVILLE, 1855) gelang es die S. styloconica als Thermohygrorezeptoren zu charakterisieren (vgl. HAUG, 1985; GÖDDE & HAUG, 1990). Hierdurch wurde auch aufgezeigt, dass auch mehrere Sinnesmodalitäten in einem Sensillentyp vertreten sein können. Dabei soll allgemein eine Kombination von meist drei von vier verschiedenen Sinneszellen (Feuchtigkeit-/Trockenrezeptor und Kalt-/Warm-Rezeptor) erfolgen (vgl. YOKOHARI, 1999). Bei *Antheraea pernyi* und *Antheraea polyphemus* findet man Feuchtigkeit-, Trocken- und Kalt-Rezeptorzellen als Kombination (vgl. HAUG, 1985; GÖDDE & HAUG, 1990).

Die Zuordnung von Sinnesmodalitäten zu bestimmten Sensillen nach der SCHENK'schen Klassifikation (1903) sollte familienspezifisch gesehen werden. STEINBRECHT (1999) erwähnt hierzu, daß die S. coeloconica von *Bombyx mori* olfaktorische wp-Sensillen sind, während die S. coeloconica von *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) thermo- und hygrosensible np-Sensillen sind.

©Kreis Nürnberger Entomologen; download unter www.biologiezentrum.at

Sensillum trichodeum		
Zeichnung:	Boeckh et al. (1960)	*Antheraea* (*Telea*) *polyphemus*[1]
	Schneider & Kaißling (1957)	*Bombyx mori*[2]
	Schneider & Steinbrecht (1968)	*Antheraea* (*A.*) *pernyi*[1]
	Scoble (1995)	keine Angabe
LM/REM:	Keil & Steinbrecht (1984)	*Bombyx mori*[2]
REM:	Dietz & Humphreys (1971)	*Apis mellifera*[8]
	Hong et al. (1991)	*Antheraea* (*A.*) *yamamai*[1]
	Keil et al. (2001)	keine Angabe
	Steinbrecht (1999)	*Bombyx mori*[2]
Sensillum basiconicum		
Zeichnung:	Altner et al. (1973)	*Periplaneta americana*[9]
	Boeckh et al. (1960)	*Antheraea* (*Telea*) *polyphemus*[1]
	Schneider & Kaißling (1957)	*Bombyx mori*[2]
	Schneider & Steinbrecht (1968)	*Necrophorus vespillio*[6]
	Scoble (1995)	keine Angabe
REM:	Altner et al. (1973)	*Periplaneta americana*[9]
	Dietz & Humphreys (1971)	*Apis mellifera*[8]
	Hong et al. (1991)	*Antheraea* (*A.*) *yamamai*[1]
	Keil et al. (2001)	keine Angabe
	Steinbrecht (1999)	*Bombyx mori*[2]
Sensillum coeloconicum		
Zeichnung:	Boeckh et al. (1960)	*Antheraea* (*Telea*) *polyphemus*[1]
	Schneider & Kaißling (1957)	*Bombyx mori*[2]
	Schneider & Steinbrecht (1968)	*Locusta migratoria*[5]
	Scoble (1995)	keine Angabe
REM:	Dietz & Humphreys (1971)	*Apis mellifera*[8]
	Hong et al. (1991)	*Antheraea* (*A.*) *yamamai*[1]
	Keil et al. (2001)	keine Angabe
	Steinbrecht (1999)	*Bombyx mori*[2]
Sensillum chaeticum		
Zeichnung:	Boeckh et al. (1960)	*Antheraea* (*Telea*) *polyphemus*[1]
	Schneider & Kaißling (1957)	*Bombyx mori*[2]
	Scoble (1995)	keine Angabe
REM:	Ozaki & Tominaga (1999)	*Boettcherisca peregrina*[4]
	Steinbrecht (1989)	*Bombyx mori*[2]
Sensillum ampullaceum		
REM:	Dietz & Humphreys (1971)	*Apis mellifera*[8]

Tabelle 1.

©Kreis Nürnberger Entomologen; download unter www.biologiezentrum.at

Sensillum styloconicum		
Zeichnung:	Boeckh et al. (1960)	*Antheraea* (*Telea*) *polyphemus*[1]
	Haug (1985)	*Antheraea* (*A.*) *pernyi*[1]
	Schneider & Kaißling (1957)	*Bombyx mori*[2]
	Steinbrecht (1989)	*Bombyx mori*[2]
	Steinbrecht et al. (1989)	*Bombyx* sp.[2], *Antheraea* sp.[1]
	Yokohari (1999)	*Periplaneta* sp.[9]
LM:	Boeckh et al. (1960)	*Antheraea* (*Telea*) *polyphemus*[1]
REM:	Altner et al. (1983)	*Scotia exclamationis*[3]
	Haug (1985)	*Antheraea* (*A.*) *pernyi*[1]
	Hong et al. (1991)	*Antheraea* (*A.*) *yamamai*[1]
	Steinbrecht (1989)	*Bombyx mori*[2]
	Yokohari (1999)	*Periplaneta* sp.[9]
Sensillum campaniformium		
Zeichnung:	Boeckh et al. (1960)	*Antheraea* (*Telea*) *polyphemus*[1]
REM:	Dietz & Humphreys (1971)	*Apis mellifera*[8]
	Hong et al. (1991)	*Antheraea* (*A.*) *yamamai*[1]
Sensillum placodeum		
Zeichnung:	Schneider & Steinbrecht (1968)	*Apis mellifica*[8]
REM:	Dietz & Humphreys (1971)	*Apis mellifera*[8]
	Keil et al. (2001)	keine Angabe
	Steinbrecht (1999)	*Apis mellifica*[8]
	Steinbrecht (1999)	*Bolbelasmus gallicus*[7]
Sensillum capitulum		
Zeichnung:	Yokohari (1981)	*Periplaneta americana*[9]
REM:	Tominaga & Yokohari (1982)	*Periplaneta americana*[9]
Sensillum scolopalium		
Zeichnung:	Schneider & Kaißling (1957)	*Bombyx mori*[2]
Sensillum squamiformium		
Zeichnung:	Schneider & Kaißling (1957)	*Bombyx mori*[2]

Tabelle 1. Literaturverweise zur Identifikation der Sensillen mit Angabe der untersuchten bzw. abgebildeten Insekten (LM: licht-mikroskopische Abbildung, REM: rasterelektronenmikroskopische Abbildung).

Fussnote: [1]Lepidoptera: Saturniidae, [2]Lepidoptera: Bombycidae, [3]Lepidoptera: Noctuidae, [4]Diptera: Calliphoridae, [5]Orthoptera: Acrididae, [6]Coleoptera: Silphidae, [7]Coleoptera: Geotrupidae, [8]Hymenoptera: Apidae, [9]Blattaria: Blattidae.

©Kreis Nürnberg... ...logiezentrum.at

Tiere. Antennen von männlichen *Attacus atlas* (LINNAEUS, 1758) (West-Jawa, Indonesien). Bestimmung nach PEIGLER (1989).

Lichtmikroskopie. Antennen von männlichen Falter-Präparaten wurden an der Basis abgebrochen, über Wasserdampf geweicht und zwischen zwei Objektträgern getrocknet. Aufnahmen erfolgten mit einem Olympus Stereo-Zoom-Mikroskop SZ-40 mit Olympus OM-4 Ti auf Agfa APX-25 Film. Es wurden hierbei keine Dauerpräparate angelegt, sondern die Antennen nach erfolgter Untersuchung dem Falter wieder angeklebt.

Rasterelektronenmikroskopie. Nach Schlüpfen eines männlichen Falters wurde dieser in 4%igem Formalin fixiert. Anschliessend erfolgte Abpräparation beider Antennen. Nach Trocknung erfolgte die Aufbringung auf einem Objektträger (für REM) mit doppelseitig klebendem Klebestreifen und anschliessender Bedampfung mit Gold-Palladium in einem Coolsputter Coater von der Firma Fisons. Aufnahmen erfolgten mit einem Zeiss DSM 960 Rasterelektronenmikroskop und Agfa APX-25 Film. Fotos wurden digitalisiert und zur Zusammenstellung nachbearbeitet.

Zuordnung der Sensillen erfolgte in dieser Arbeit nach der Form ihrer cuticularen Apparate (im Rasterelektronenmikroskop und Aufnahmen) im Vergleich zu Strukturmerkmalen in Beschreibungen und bei gegebenen Abbildungen und Zeichnungen von Sensillen (siehe Tabelle 1).

Aufgrund anderer Antennenhaltung bei männlichen *Attacus atlas*-Faltern (im Vergleich zu männlichen *Bombyx mori*-Faltern, SCHNEIDER & KAIßLING, 1956) erfolgte in dieser Arbeit eine andere Richtungsbezeichnung (siehe unter ‚Ergebnisse').

Ergebnisse

Untersucht man die Antennen von männlichen *Attacus atlas*-Faltern, so eröffnet sich eine vielfältige Mikrowelt aus einem segmentierten Stamm mit je zwei Astpaaren und vielen verschiedenen kleinsten Sinnesorganen, den Sensillen.

Das Flagellum (Antenne ohne Scapus und Pedicellus) ist bei *Attacus atlas* nicht beschuppt. Der Hauptstamm ist in 39-48 Segmente gegliedert. Von jedem Segment gehen jeweils ein proximales und ein distales Astpaar ab, die in der Regel jeweils gegenständig versetzt angeordnet sind. Es handelt sich um eine überwiegend quadripectinate Antenne (vgl. SCOBLE, 1995);

©Kreis Nürnberger Entomologen; download unter www.biologiezentrum.at

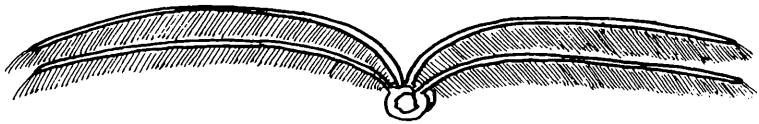


Abb. 4. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Querschnitt eines Antennensegmentes.

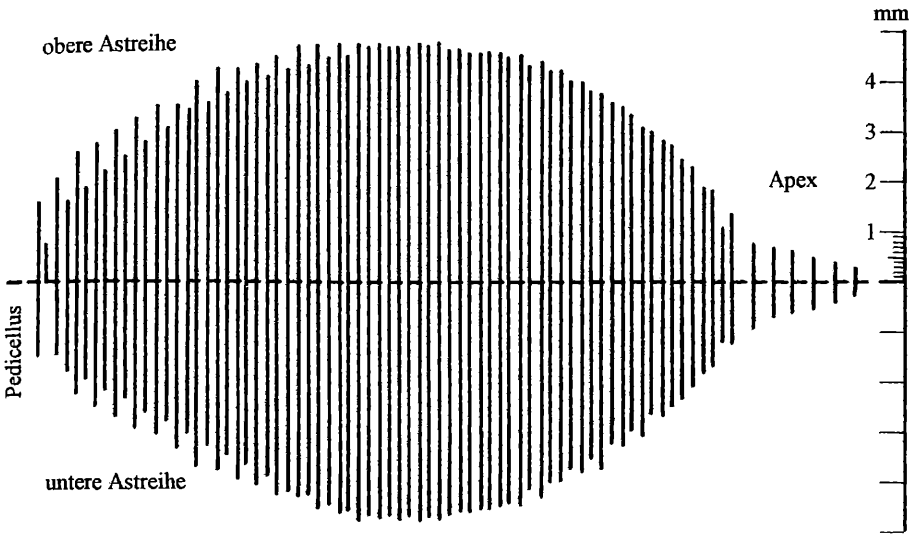


Abb. 5. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Längen beider Astreihen (proximal und distal) einer rechten Antenne (Ordinaten), 44 Glieder, Gesamtlänge 17,6 mm (von Pedicellus bis Apex). Die gestrichelte Mittellinie entspricht den Stammsegmenten beginnend ab Pedicellus (2. Glied), Scapus (1. Glied) nicht abgebildet.

Abb. 1-3. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Lichtmikroskopische Aufnahmen. 1) Antennenaufsicht im präparierten Zustand; 2) Details der Stammsegmente, zu erkennen ist, dass die proximalen Äste eher seitlich und die distalen Äste eher medial entspringen; 3) durch den Versatz der Äste bilden die Sensillen einen dichten Kamm.

Auf den Segmenten sind zahlreich Sensilla basiconica zu erkennen (siehe Abb. 7, Abb. 8, Abb. 12 Pfeil b und Abb. 14). Desweiteren sind Sensilla chaetica meist im distalen Drittel eines Segmentes zu sehen (siehe Abb. 7 Pfeil b und Abb.12 Pfeil c).

Auf einem basalen Segment fand sich ein uns unbekanntes langes geschweiftes Härchen (siehe Abb. 9 Pfeil a), welches sich in höherer Vergrößerung durch eine gitterartige Oberflächenstruktur mit vielen Poren (wp-Sensillum) von anderen Sensillen deutlich unterscheidet (siehe Abb. 10) [Sensillum trichodeum: (keine REM-Aufnahme), Sensillum basiconicum: (keine REM-Aufnahme, ähnliche Oberflächenstruktur wie S. chaeticum), Sensillum chaeticum: (siehe Abb. 19 und Abb. 26), Sensillum styloconicum (siehe Abb. 21)].

Es fiel auf, dass sog. Sensilla styloconica nach apikal zunehmend am distalen Rand der Vorderseite eines Segments zu finden sind (siehe Abb. 6 Pfeil a und Abb. 7 Pfeil a), während diese Sensillen auf basalen Segmenten nicht zu finden waren (siehe Abb. 8).

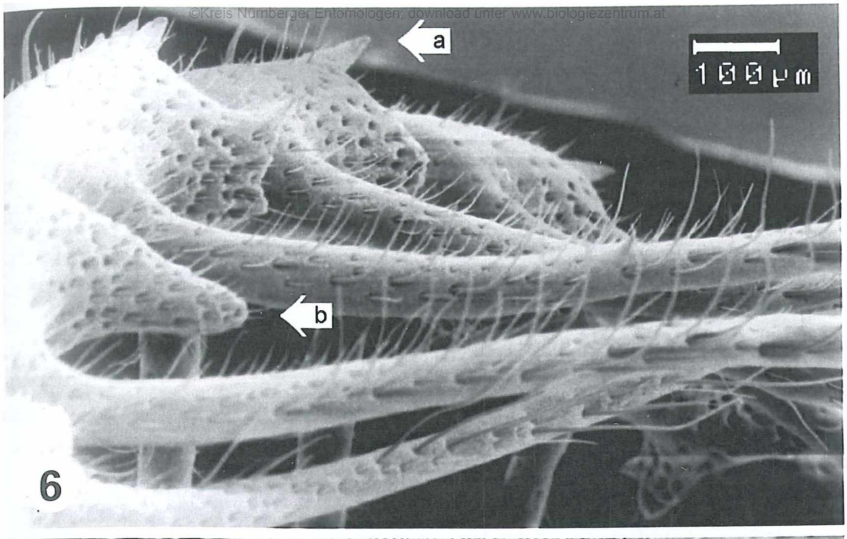
Desweiteren fiel eine unbekannte Struktur aus vier nahe aneinander liegenden Löchern in Vertiefungen auf einem der apikalen Segmente auf (siehe Abb. 12 Pfeil a und Abb. 13).

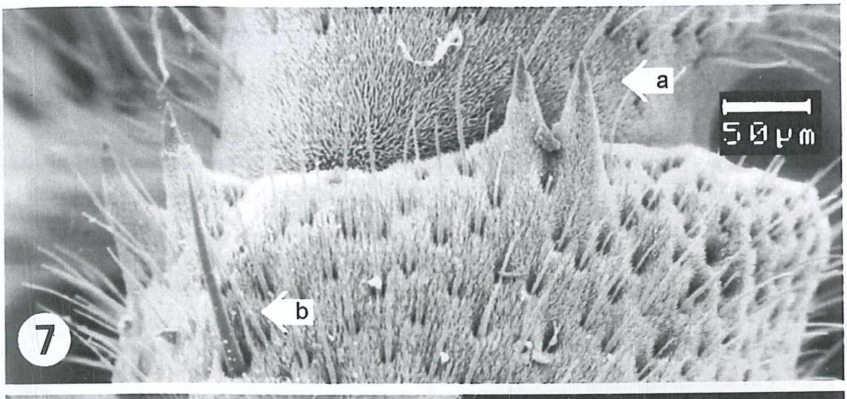
Auf den Seitenästen finden sich einseitig mehrreihig angeordnet die Sensilla trichodea. Bei den basal gelegenen Ästen sind 4-5 Reihen erkennbar, während apikal gelegene Äste 3-reihig und weniger bestückt sind (siehe Abb. 6, Abb. 8 und Abb. 11 Pfeil a). Dazwischen fanden sich spärlich verteilt Sensilla basiconica (siehe Abb. 11 Pfeil b und Abb. 16 Pfeil b), welche in höherer Vergrösserung längsgerichtete Furchen mit erkennbaren Poren (keine REM-Aufnahme) in den Vertiefungen aufweisen

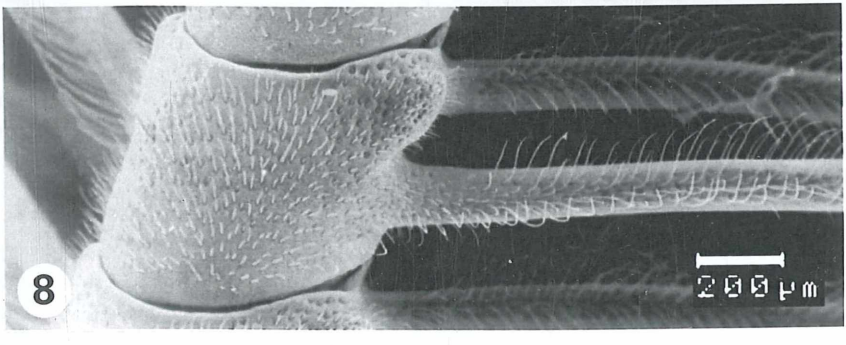
---

Abb. 6-8. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. 6) Aufnahme von apikalen Stammsegmenten mit Sensilla styloconica (Pfeil a) am distalen Rand der Segmente und reduzierten bzw fehlenden distalen Ästen (Pfeil b); auf den Segmenten sind zahlreiche kleinere Härchen, sog. Schläuche, erkennbar (Sensilla basiconica); auf den Ästen sind lange Härchen erkennbar (Sensilla trichodea); 7) distaler Rand eines apikalen Stammsegmentes in Detailaufnahme; zu erkennen sind vier Sensilla styloconica (Pfeil a) und ein gerades dickeres Härchen (Sensillum chaeticum, Pfeil b); zahlreiche Sensilla basiconica sind auf dem Segment verteilt; der proximale Rand des nachfolgenden Segmentes ist in Gelenknähe sensillenfrei; 8) Aufnahme von basalen Stammsegmenten mit erkennbar fehlenden Sensilla styloconica; auf den Ästen sind Sensilla trichodea mehrreihig angeordnet.

©Kreis Nürnberger Entomologen; download unter www.biologiezentrum.at







(wp-Sensillum). Die Oberflächenstruktur ähnelt damit denen der S. chaetica (siehe Abb. 19 und Abb. 26).

Im Gegensatz zu den Sensilla basiconica haben die Sensilla trichodea in höherer Vergrösserung eine querverlaufende ringförmige Furchung mit wieder in den Vertiefungen erkennbaren Poren (keine REM-Aufnahme) (wp-Sensillum).

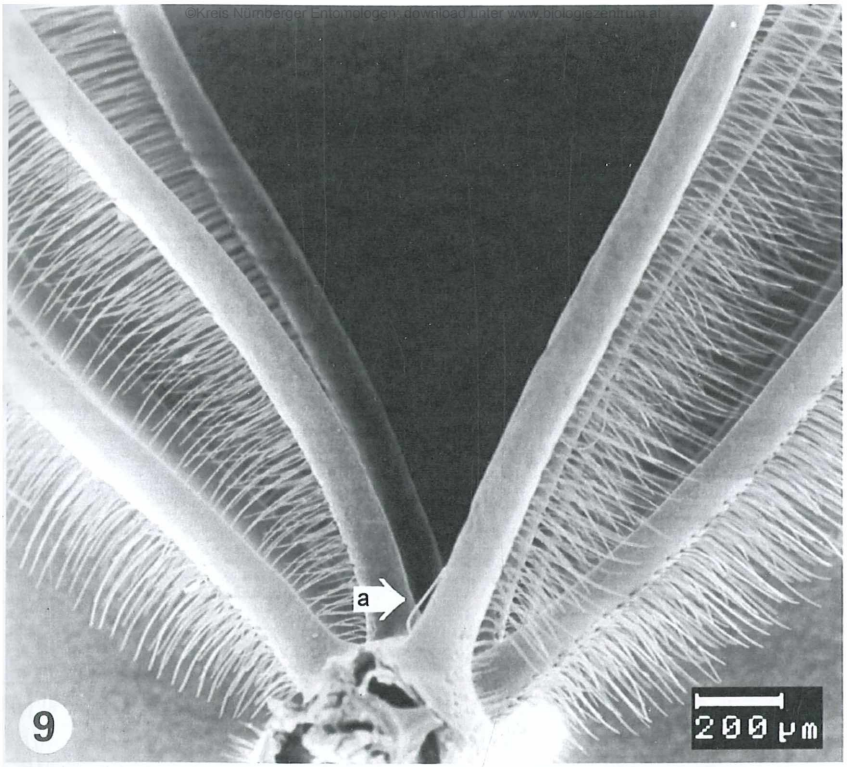
Am Apex eines Seitenastes sind in der Mehrzahl zwei bis drei gerade borstenförmige Sensilla chaetica zu sehen (siehe Abb. 17 Pfeil a und Abb. 25), deren Oberflächenstruktur (siehe Abb. 19) in höherer Vergrösserung denen der Sensilla basiconica ähneln (wp-Sensillum). Vereinzelt finden sich diese Sensillen ohne erkennbarem Muster im Verlauf des Seitenastes zusammen mit den anderen Sensillen (siehe Abb. 18 Pfeil a und Abb. 23) oder als Einzelgänger auf der Sensilla trichodea-freien Seite (siehe Abb. 20 Pfeil a und Abb. 24 Pfeil a).

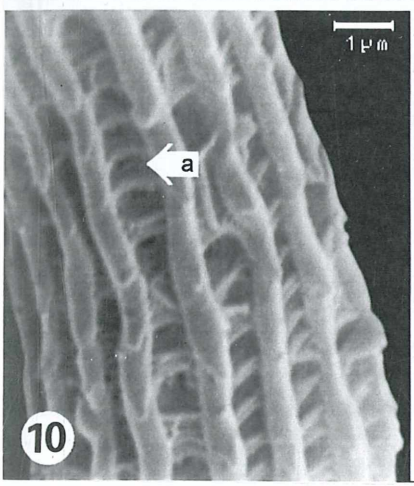
Desweiteren konnten die bereits erwähnten Sensilla styloconica an wenigen apikalen Ästen gesehen werden (siehe Abb. 20 Pfeil c). Bei höherer Vergrösserung zeigte sich der Stylus bedeckt mit dornen- und schuppenförmigen unechten Haaren (siehe unten) und der Conus, der eine porenlose Oberflächenstruktur aufweist (siehe Abb. 21 und Abb. 22). Es könnte sich hierbei um ein np-Sensillum oder um ein tp-Sensillum handeln, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass der Conus eine terminale Pore besitzt.

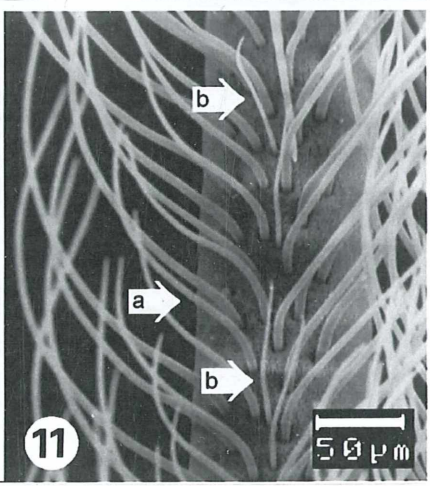
Die sog. Grubenkegel, Sensilla coeloconica, fanden sich auf einigen Ästen (siehe Abb. 20 Pfeil b). Auf den Stammsegmenten waren keine zu sehen.

Abb. 9-11. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. 9) Ansicht eines Querschnitts senkrecht zur Längsachse der Stammsegmente; erkennbar ist der dichte Kamm aus Sensilla trichodea an den Ästen und mitunter die zweischichtige Anordnung der proximalen und distalen Äste; bei dem hier deutlich zu erkennenden V-förmigen Stand der Astpaare zueinander dürfte es sich um ein Trocknungsartefakt handeln; Pfeil a zeigt auf ein unbekanntes Härchen; 10) Detailaufnahme des in Abb. 9 Pfeil a zu sehenden Härchens; zu erkennen ist die Furchung in Längsrichtung mit Querstreben (gitterartig) und Poren (Pfeil a); es handelt sich nach der ALTNER'schen Klassifikation um ein wp-Sensillum; 11) Aufnahme eines Asts mit 4-5 reihig angeordneten Sensilla trichodea (Pfeil a); dazwischen sind in der Medianlinie Sensilla basiconica zu erkennen (Pfeile b).

©Kreis Nürnberger Entomologen; download unter www.biologiezentrum.at







©Koninklijke Nederlandse Entomologen, download unter www.biologiezentrum.at

Zuordnung	Poren[1]	Morphologie
S. trichodeum	wp	lang, dünn, haarförmig, leicht gebogen, querverlaufende Furchung
S. basiconicum	wp	kurz, dünn, haarförmig, leicht gebogen, längsverlaufende Furchung
S. chaeticum	wp	kurz, dicker als S. trichodeum/basiconicum, borstenförmig, starr-wirkend, gerade, längsgerichtete Furchung
S. styloconicum	?[2]	kurz, breite Basis, spitz zulaufend, dornenförmig, glatte, porenfreie Oberfläche
S. coeloconicum	?[3]	Mulde mit kleinem stehendem Kegel im Zentrum
?[4]	wp	kurz, dünn, fadenförmig, stark gebogen, gitterartige Oberfläche

[1]: wp: Wandporen; tp: terminaler Porus; np: ohne Poren (sensu ALTNER, 1977)
[2]: könnte np oder tp sein
[3]: keine Nahaufnahme, bzw. nicht näher untersucht
[4]: Zuordnung war nicht möglich

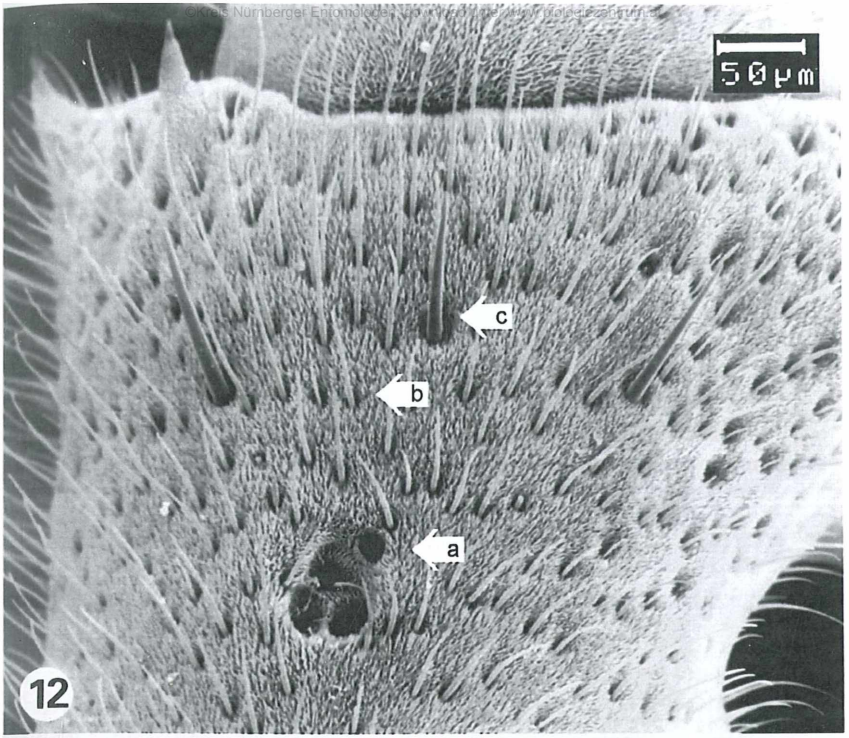
Tabelle 2. Morphologie der untersuchten Strukturen bzw. Sensillen mit möglicher Zuordnung

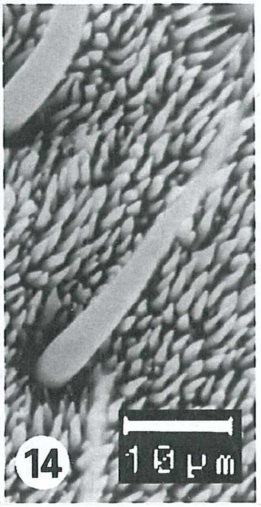
Die Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die nach SCHENK (1903) und nach ALTNER (1977) von uns zugeordneten bzw. eingeteilten Sensillen mit ihrer jeweiligen beim männlichen *A. atlas*-Falter gefundenen Morphologie.

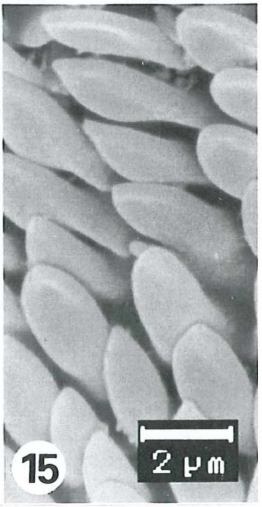
Die sensillenfreie Oberfläche der Antennen ist von dachziegelartig angeordneten dornen- und schuppenförmigen unechten Haaren bedeckt (siehe Abb. 15).

Abb. 12-15. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. 12) Aufnahme eines apikalen Stammsegmentes mit nur auf diesem Segment beobachteten vier nahe beieinander liegenden Löchern (Pfeil a); weiter erkennbar sind die zahlreichen Sensilla basiconica (Pfeil b) und drei Sensilla chaetica (Pfeil c); 13) Detailaufnahme der bei Abb. 12 bereits erwähnten vier nahe beieinander liegenden Löchern, deren Funktion unklar ist; 14) Detailaufnahme eines Sensillum basiconicum; 15) Detailaufnahme einer sensillenfreien Fläche auf dem Stammsegment; zu erkennen ist eine Bedeckung durch dornen- und schuppenförmige unechte Haare.

©Natur Nürnberger Entomologen, download unter www.biologiezentrum.at







©Kreis Nürnberger Entomo

ter www.biologiezentrum.at

Die Antennen verschiedener Insektenfamilien einschließlich einiger Gattungen der Bombyciden und Saturniiden wurden bereits gründlich untersucht. So wurde der Bau der Antennen bei *Bombyx mori* von SCHNEIDER & KAIßLING (1956, 1957, 1959) und bei *Antheraea* (*Telea*) *polyphemus* von BOECKH et al. (1960) beschrieben.

Die in diesem Beitrag dargestellte Morphologie der Antennen soll als eine einführende Untersuchung in die faszinierende und mannigfaltige Sinneswelt des männlichen *Attacus atlas*-Falters verstanden werden und beansprucht keine Vollständigkeit.

Aufgrund des beschreibenden Charakters dieser Arbeit sollen nur einige Punkte andiskutiert werden und als Anregung für weitergehende Forschungen verstanden werden.

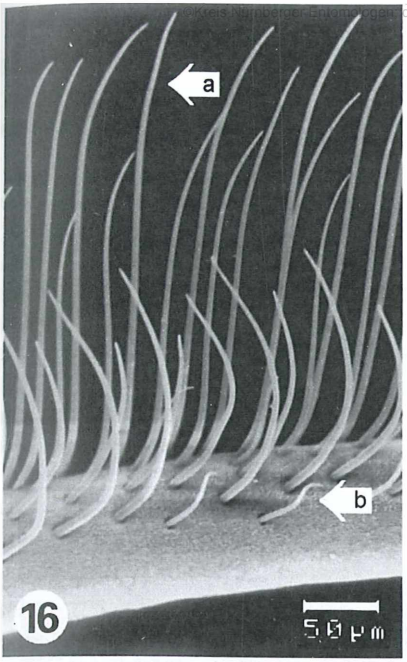
Auf Längenangaben der Sensillen wurde im Text verzichtet. Aufgrund der Probleme der 2-dimensionalen Projektionsansicht eines 3-dimensionalen Objektes können in Abhängigkeit des Betrachtungswinkels evtl. Längen über den angegebenen Massstab nicht eindeutig bestimmt werden.

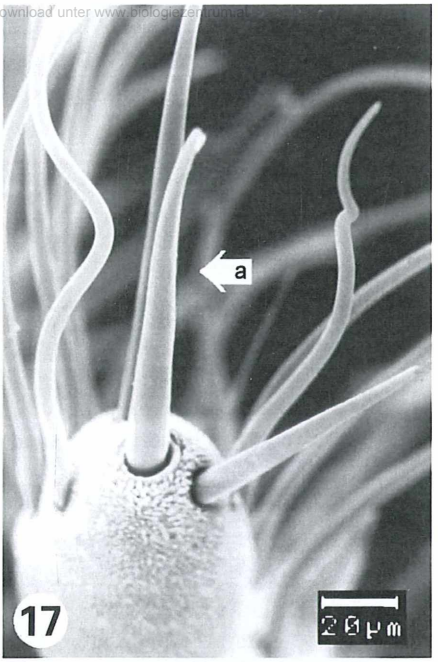
Die Anordnung und Verteilung der S. trichodea und S. basiconica auf den Rami der Antenne lässt vermuten, dass diese Sensillen eine olfaktorische Funktion besitzen könnten. Zusätzlich besitzen sie zahlreiche Wandporen, welche eine modalitätsspezifische Struktur für geruchssensible Sensillen darstellen solle (vgl. ALTNER, 1977). Jedoch ist zu sagen, dass über die Funktion der Sensillen beim *Attacus atlas* ohne weitergehende elektrophysiologische Untersuchungen nur spekuliert werden kann.

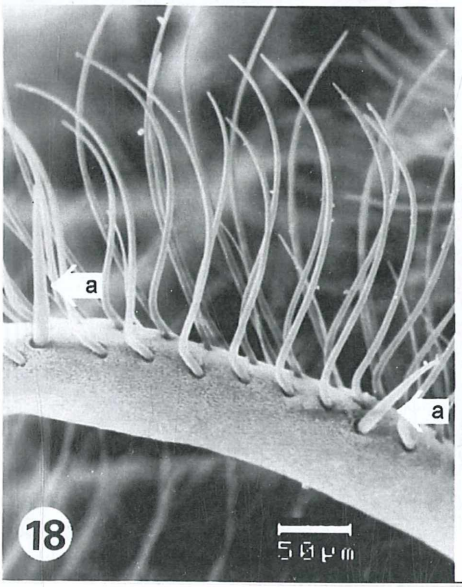
Wie bereits in der Einleitung erwähnt zeigt STEINBRECHT (1999) in seinen Untersuchungen auf, dass die Funktion der Sensillen familienspezifisch gesehen werden sollte, da diese trotz der gleichen Morphologie bei verschiedenen Familien unterschiedliche Funktionen aufweisen.

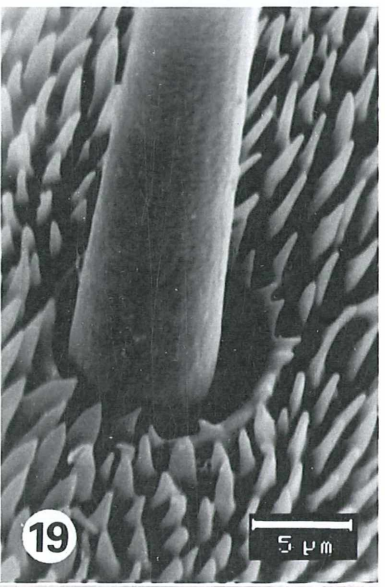
Abb. 16-19. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. 16) Seitansicht eines Astes; zu sehen sind Sensilla trichodea (Pfeil a) und Sensilla basiconica (Pfeil b); 17) Aufnahme einer Astspitze; zu erkennen sind drei Borsten, sog. Sensilla chaetica (Pfeil a); 18) Seitansicht eines Astes; hier sind zwei Sensilla chaetica im Verlauf eines Astes zu erkennen (Pfeil a); 19) Detailaufnahme eines Sensillum chaeticum mit erkennbarem ringförmigen cuticulären Sockel und Furchung in Längsrichtung; Poren sind in den Vertiefungen (siehe Abb. 26 Pfeile a).

Entomologen download unter www.biologiezentrum.at









Da keine Aussage getroffen werden kann, ob die Sensillenfunktion nicht auch gattungs- oder artspezifisch unterschiedlich sein könnte, soll an dieser Stelle keine Übertragung der Funktionen von den bereits gut erforschten *Antheraea* auf *Attacus* erfolgen.

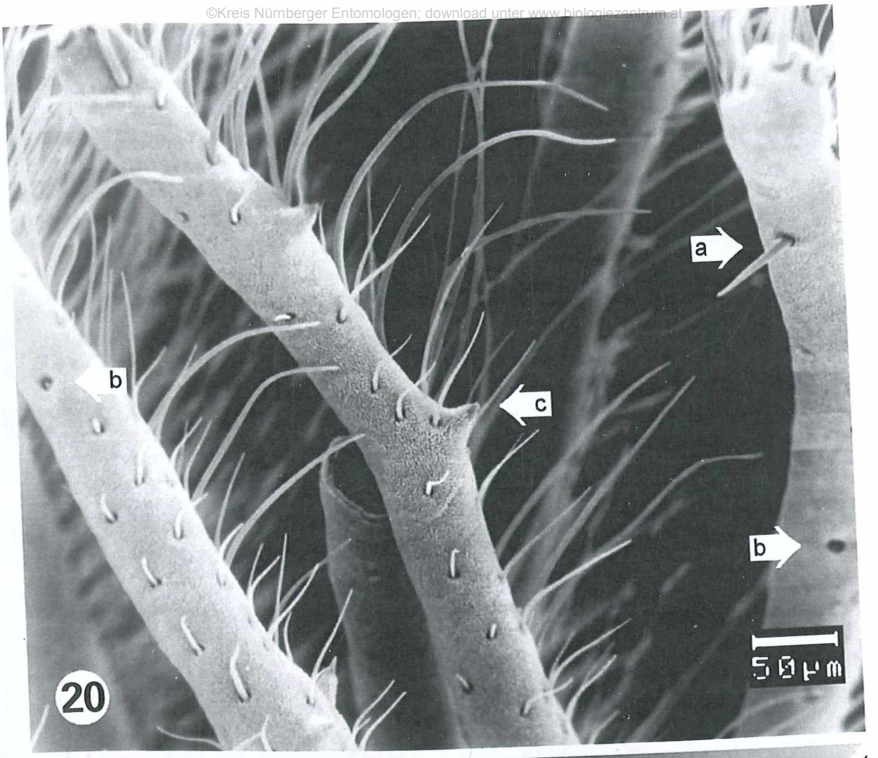
Das in Ergebnisse erwähnte auf einem basalen Stammsegment gesichtete fadenförmige Härchen (siehe Abb. 9 Pfeil a) lässt noch viele Fragen offen. Es unterscheidet sich mit seiner gitterartigen Oberfläche (mit zahlreichen Wandporen) von allen anderen bei *Attacus atlas* gefundenen wp-Sensillen (S. trichodeum, S. basiconicum und S. chaeticum). In der gesichteten Literatur tauchte keine vergleichbare Abbildung auf, so dass eine Zuordnung des „Sensillum" nach der SCHENK'schen Klassifikation (1903) nicht erfolgen konnte. Bei IWASAKI et al. (1999) ist die Rede von einem filiformen Sensillum („Fadenhaar"), welches bei *Gryllus bimaculatus* (Saltatoria: Gryllidae) als mechanorezeptives Sensillum beschrieben wird. Dieses soll bereits bei leichten Luftbewegungen reagieren und könne somit möglicherweise sich bewegende Objekte (z. B. Räuber) spüren.

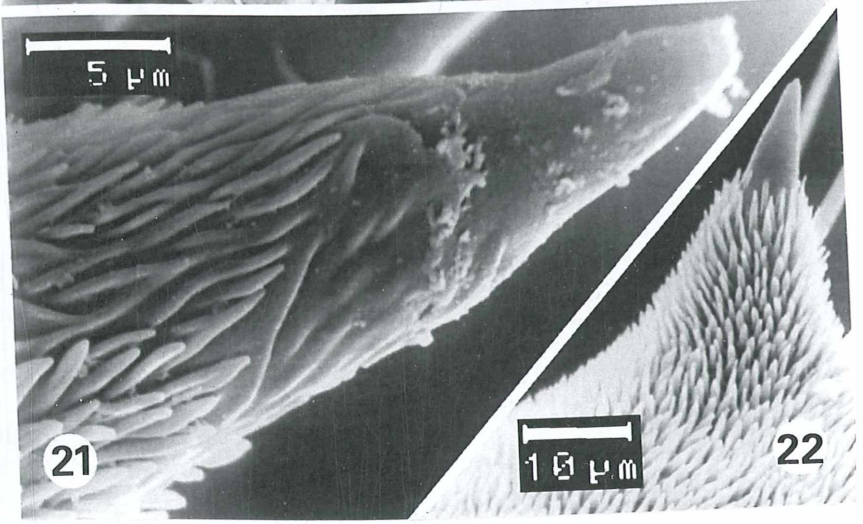
Auch die erwähnten vier Löcher auf einem Stammsegment (siehe Abb. 12 Pfeil a und Abb. 13) lassen Fragen offen. SCHENK (1903) gibt mit einem Zitat von HERMANN MÜLLER (1871) vermutlich einen Hinweis auf eine solche Struktur, die bei Bienen (Apiden) überwiegend an der männlichen Antenne gesichtet worden sei. Demnach schreibe MÜLLER von „... größere, borstenlose, mit schlingenbildenden Nerven versehene Gruben " (Anmerkung: MÜLLER bezieht die Grösse im Vergleich zu den „borstentragenden Gruben"). Diese wurden damals von ihm als „Riechorgan" gedeutet. SCHENK (1903) hält die S. placodea als die von MÜLLER beschriebenen borstenlosen Gruben. Jedoch konnten wir keine ähnliche Morphologie zu vorhandenen Abbildungen feststellen. Evtl. könnten diese Löcher die Öffnungen von Drüsenausführungsgängen, wie sie bei SCHNEIDER & KAIßLING (1957) beschrieben werden,

---

Abb. 20-22. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. 20) Ansicht mehrerer Äste, teilweise sind Astspitzen zu sehen; ein Sensillum chaeticum ist auf einer Sensilla trichodea-freien Seite eines Astes zu sehen (Pfeil a); desweiteren sind Sensilla coeloconica (Grubenkegel) zu sehen (Pfeile b) und dornenartige Strukturen sind erkennbar (Pfeil c), welche Sensilla styloconica sind; 21) Detailaufnahme eines Sensillum styloconicum; erkennbar sind der Stylus und die porenfreie Oberfläche des Conus; 22) Detailaufnahme eines Sensillum styloconicum.

©Kreis Nürnberger Entomologen; download unter www.biologiezentrum.at



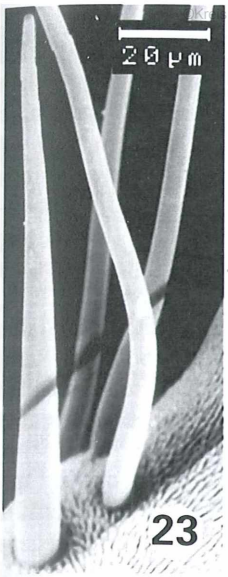


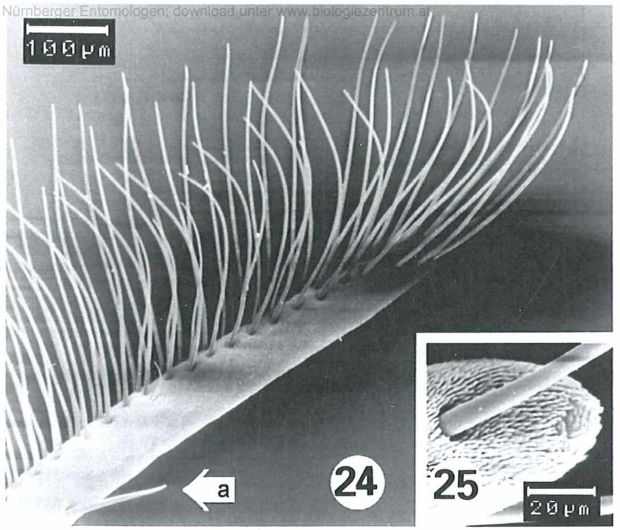
bzw. die sog. Sensilla ampullacea (FOREL'sche Flaschen), welche nach KRÄPELIN eine Art Drüsenorgan darstellen sollen (Zitat von SCHENK, 1903), sein. Jedoch ergibt sich bei dieser Möglichkeit die Frage, warum nicht auch an anderen Segmenten solche Strukturen zu sehen waren. Sicherheit hierüber gibt letztendlich eine Untersuchung der Querschnitte, mit denen man sowohl den Drüsengang als auch in der Tiefe die Drüsen selbst eindeutig nachweisen kann. Als weitere Möglichkeit wäre ein Vorliegen eines Artefakts nicht ausgeschlossen. So könnten vielleicht in diesen Löchern Schuppen befestigt gewesen sein, die sich während der Präparation oder in nachfolgenden Schritten lösten.

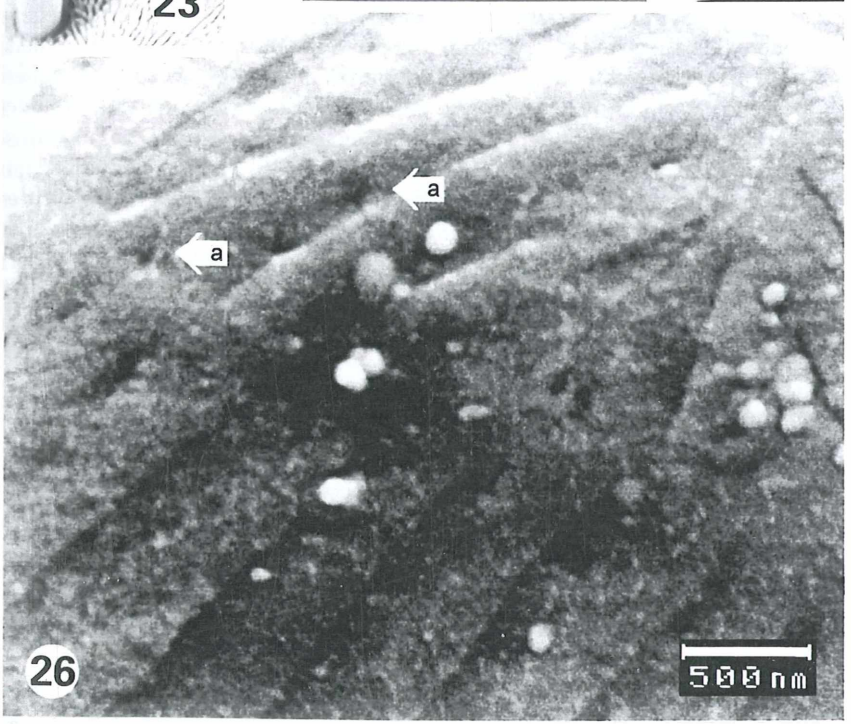
Weiterführende detaillierte Untersuchungen zum Verständnis der Antennen bei *Attacus atlas* halten wir für notwendig. Viele Fragen bleiben noch offen. Insbesondere die Erforschung der spezifischen Reizmodalitäten und -qualitäten einzelner Sensillen.

Abb. 23-26. ♂ *Attacus atlas* (Jawa). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. 23) Ausschnitt eines Astes; zu erkennen sind das gerade verlaufende Sensillum chaeticum mit einer abgerundeten Spitze; im Hintergrund sind einige olfaktorische Sensillen zu sehen; der schwarze Streifen stellt ein Artefakt dar; 24) Seitansicht eines Astes mit seiner Spitze; zu sehen sind die zahlreichen Sensilla trichodea und ein Sensillum chaeticum (Pfeil a); 25) Detailaufnahme einer Astspitze; zu erkennen ist ein Sensillum chaeticum und eine etwas sensillen- und „haar"freie Oberfläche; 26) Detailaufnahme einer Spitze eines Sensillum chaeticum; zu erkennen sind im unteren linken Anteil des Bildes längsverlaufende Furchen, die zur Spitze hin zusammenlaufen; in den Furchen sind Poren erkennbar (Pfeile a).

©Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg e.V.; Nürnberger Entomologen; download unter www.biologiezentrum.at







Zusammenfassung: Die komplexen Antennenstrukturen des Atlasspinners *Attacus atlas* (LINNAEUS, 1758) (Lepidoptera: Saturniidae) aus jawanischen Populationen werden anhand zahlreicher rasterelektronenmikroskopischer (REM-) Aufnahmen dargestellt und beschrieben. Die aus etwa 39–48 Segmenten bestehende Antenne ist an ihrer Basis über den astfreien Scapus und den Pedicellus beweglich mit dem Kopf verbunden. Die Hauptsegmente tragen jeweils proximal und distal paarweise Äste (Rami), die gegenständig versetzt angeordnet sind und deshalb als quadripectinat bezeichnet werden (vgl. SCOBLE, 1995; = doppelt bipectinat sensu PEIGLER, 1989). Die distalen etwa 7 Segmente sind bipectinat, weil die distalen Ramipaare reduziert sind. Die distalen proximal stärker gebogenen Rami entspringen den dorsalen und die proximalen geraderen Rami den lateralen Bereichen der Segmente. Dadurch bilden die im Querschnitt zweilagig und in der Aufsicht versetzt angeordneten Rami zusammen mit ihren einseitig befindlichen Sensilla trichodea ein siebartiges Gebilde, durch das die mit Duftmolekülen und Pheromonen versetzte Luft ‚gefiltert' wird. Sensilla trichodea ist nur einer, aber der augenfälligste Sensillentyp. Verschiedene andere Sensillen sind an den Rami und den Segmenten vorhanden, die meist nach ihrer äusseren Morphologie klassifiziert sind. Die Sensillen beherbergen verschiedene Rezeptoren die auf mechanische, chemische oder thermische Reize reagieren oder auch feuchtesensibel sind. Die Funktionsweisen einzelner Teile der Antenne werden erklärt, soweit sie aus der uns zur Verfügung stehenden Fachliteratur bekannt sind, oder abgeleitet werden können. In diesem Beitrag wollen wir nicht nur die sehr komplexen Antennenstrukturen des Atlasspinners darstellen und beschreiben, sondern auch die Möglichkeiten der REM-Aufnahmen im entomologischen Bereich aufzeigen, insbesonders aber auch einen tiefen Einblick in die komplexe Morphologie eines nur kleinen Teils des Atlasspinners geben.

Literatur

Altner, H. (1977): Insektensensillen: Bau- und Funktionsprinzipien. – Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft, 70: pp. 139–153

Altner, H., Ernst, K. D., Kolnberger, I. & Loftus, R. (1973): Feinstruktur und adäquater Reiz bei Insektensensillen mit Wandporen. – Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft, 66: pp. 48–53

Altner, H. & Loftus, R. (1985): Ultrastructure and Function of Insect Thermo- and Hygroreceptors. – Annual Review of Entomology, 30: pp. 273–295

Altner, H., Schaller-Selzer, L., Stetter, H. & Wohlrab, I. (1983): Poreless sensilla with inflexible sockets. – Cell and Tissue Research, 234: pp. 279–307

Barth, F. G. & Blickhan, R. (1984): Mechanoreception. – *in*: Bereiter-Hahn, J., Matoltsy, A. G., Sylvia Richards, K. (eds): Biology of the Integument, Volume 1, Invertebrates. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York; pp. 554–582

Boeckh, J., Kaißling, K.-E. & Schneider, D. (1960): Sensillen und Bau der Antennengeißel von *Telea polyphemus*. – Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Anatomie und Ontogenie der Tiere, 78 (4): pp. 559–584

Dietz, A. & Humphreys, W J. (1971): Scanning Electron Microscopic Studies of Antennal Receptors of the Worker Honey Bee, Including Sensilla Campaniformia. – Annals of the Entomological Society of America, 64 (4): pp. 919–925

Gödde, J. & Haug, T (1990): Analysis of the electrical responses of antennal thermo-hygroreceptors of *Antheraea* (Saturniidae, Lepidoptera) to thermal, mechanical, and electrical stimuli. – Journal of Comparative Physiology A, 167: pp. 391–401

Haug, T. (1985): Ultrastructure of the dendritic outer segments of sensory cells in poreless (‚no-pore') sensilla of insects. – Cell and Tissue Research, 242: pp. 313–322

Hong, J., Hu, C., Ye, G. & Gao, Q. (1991): Scanning Electron Microscopy of the Adult Antennae of *Antheraea yamamai*. – *in*: Hu, C., Feng, S., He, Z., Li, Z., Shen, X., Xu, J. Ji, T. & Zhu, S. (eds.): A Collection of Research Papers on the Japanese Oak Silkworm, *Antheraea yamamai* GUÉRIN-MÉNEVILLE. – Shanghai Scientific & Technical Publishers; pp. 34–38, b/w-pls. 16–18

Iwasaki, M., Itoh, T. & Tominaga, Y (1999): Mechano- and Phonoreceptors. – *in*: Eguchi, E., Tominaga, Y (eds.): Atlas of Arthropod Sensory Receptors. – Springer-Verlag, Tokyo Berlin Heidelberg New York; pp. 177–190

Kaissling, K. E. (1987): RH Wright Lectures On Insect Olfaction. Ed.. Colbow K, Simon Fraser University, Burnaby, B.C., Canada

Keil, T. A., Hartlieb, E., Bock, C. & Steinbrecht, R. A. (2001): Die Mikrowelt der Insektennasen. – Naturwissenschaftliche Rundschau, 54 (10): pp. 519–525

Keil, T. A. & Steinbrecht, R. A. (1984): Mechanosensitive and Olfactory Sensilla of Insects. – *in*: King, R. C., Akai, H. (eds): Insect Ultrastructure, Volume II. – Plenum Press New York London; pp. 477–516

Meng, L. Z., Wu, C. H., Wicklein, M., Kaissling, K.-E. & Bestmann, H. J. (1989): Number and sensitivity of three types of pheromone receptor cells in *Antheraea pernyi* and *A. polyphemus*. – Journal of Comparative Physiology A, 165: pp. 139–146

Ozaki, M. & Tominaga, Y (1999): Contact Chemoreceptors. – *in*: Eguchi, E., Tominaga, Y. (eds.): Atlas of Arthropod Sensory Receptors. – Springer-Verlag, Tokyo Berlin Heidelberg New York; pp. 143–154

Peigler, R. (1989): A Revision of the Indo-Australian Genus *Attacus*. – The Lepidoptera Research Foundation, Inc., Beverly Hills, California

Schaller, L. (1982): Structural and functional classification of antennal sensilla of the cockroach, *Leucophaea maderae*. – Cell and Tissue Research, 225: pp. 129–142

Schenk, O. (1903) Die antennalen Hautsinnesorgane einiger Lepidopteren und Hymenopteren mit besonderer Berücksichtigung der sexuellen Unterschiede. – Zoologische Jahrbücher. Abtheilung für Anatomie und Ontogenie der Thiere, 17 (3): pp. 573–618, b/w-pls. 21–22

Schneider, D. & Kaißling, K.-E. (1956): Der Bau der Antenne des Seidenspinners *Bombyx mori* L. I. Architektur und Bewegungsapparat der Antenne sowie Struktur der Cuticula. – Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Anatomie und Ontogenie der Tiere, 75 (2): pp. 287–310

Schneider, D. & Kaißling, K.-E. (1957): Der Bau der Antenne des Seidenspinners *Bombyx mori* L. II. Sensillen, cuticulare Bildungen und innerer Bau. – Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Anatomie und Ontogenie der Tiere, 76 (2): pp. 223–250

Schneider, D. & Kaißling, K.-E. (1959): Der Bau der Antenne des Seidenspinners *Bombyx mori* L. III. Das Bindegewebe und das Blutgefäß. – Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Anatomie und Ontogenie der Tiere, 77 (2): pp. 111–132

Schneider, D., Lacher, V & Kaissling, K.-E. (1964): Die Reaktionsweise und das Reaktionsspektrum von Riechzellen bei *Antheraea pernyi* (Lepidoptera, Saturniidae). – Zeitschrift für vergleichende Physiologie, 48: pp. 632–662

Schneider, D. & Steinbrecht, R. A. (1968): Checklist of Insect Olfactory Sensilla. – Symposia of the Zoological Society of London, 23: pp. 279–297

Scoble, M. J. (1995): The Lepidoptera: Form, Function and Diversity. – Oxford University Press (corrected reprint)

Steinbrecht, R. A. (1984): Chemo-, Hygro-, and Thermoreceptors. – *in*: Bereiter-Hahn, J., Matoltsy, A. G., Sylvia Richards, K. (eds): Biology of the Integument, Volume 1, Invertebrates. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York; pp. 523–553

Steinbrecht, R. A. (1989): The fine structure of thermo-/hygrosensitive sensilla in the silkmoth *Bombyx mori*: Receptor membrane substructure and sensory cell contacts. – Cell and Tissue Research, 255: pp. 49–57

Steinbrecht, R. A. (1999): Olfactory Receptors. – *in*: Eguchi, E., Tominaga, Y. (eds.): Atlas of Arthropod Sensory Receptors. – Springer-Verlag, Tokyo Berlin Heidelberg New York; pp. 155–176

Steinbrecht, R. A., Lee, J.-K., Altner, H. & Zimmermann, B. (1989): Volume and surface of receptor and auxiliary cells in hygro-/thermoreceptive sensilla of moths (*Bombyx mori*, *Antheraea pernyi*, and *A. polyphemus*). – Cell and Tissue Research, 255: pp. 59–67

Tominaga, Y & Yokohari, F. (1982): External structure of the sensillum capitulum, a hygro- and thermoreceptive sensillum of the cockroach, *Periplaneta americana*. – Cell and Tissue Research, 226: pp. 309–318

v. Frisch, K. (1919): Zur alten Frage nach dem Sitz des Geruchssinnes bei Insekten. – Verhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien, 69 (1/2): pp. 17–26

v. Frisch, K. (1921): Über den Sitz des Geruchssinnes bei Insekten. – Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Allgemeine Zoologie und Physiologie der Tiere, 38 (4): pp. 449–516

Yokohari, F (1981): The Sensillum Capitulum, an Antennal Hygro- and Thermoreceptive Sensillum of the Cockroach, *Periplaneta americana* L. – Cell and Tissue Research, 216: pp. 525–543

Yokohari, F (1999): Hygro- and Thermoreceptors. – *in*: Eguchi, E., Tominaga, Y (eds.): Atlas of Arthropod Sensory Receptors. – Springer-Verlag, Tokyo Berlin Heidelberg New York; pp. 191–210

Verfasser:

Rizky Paukstadt & Ulrich Paukstadt
Knud-Rasmussen-Strasse 5
D-26389 Wilhelmshaven, Germany
e-mail: ulrich.paukstadt@t-online.de
web site: http://www.wildsilkmoth-paukstadt.de
http://www.wildsilkmoth-indonesia.com

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Galathea, Berichte des Kreises Nürnberger Entomologen e.V.

Jahr/Year: 2003

Band/Volume: 12_Supp

Autor(en)/Author(s): Paukstadt Rizky

Artikel/Article: Beitrag zur Kenntnis der männlichen Antennenmorphologie von Attacus atlas (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Saturniidae) 27-51