

ISSN 0077-6025 Natur und Mensch	Jahresmitteilungen 1996 Nürnberg 1997	Seite 53 - 64	Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg e.V. Gewerbemuseumplatz 4 · 90403 Nürnberg
------------------------------------	------------------------------------------	------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Otto Bess

Insektenfüher als Richtantennen für Infrarot-Strahlung Eine Hypothese

Die geltende Lehrmeinung über die Arbeitsweise der Insektenfüher läßt befriedigende Erklärungen vermissen. Sie geht dogmatisch von rein chemischen Prozessen in den Sinnesorganen aus und mißachtet offenkundige Widersprüche und Zweifel. Neue Überlegungen auf der Grundlage bewährter Naturgesetze, der modernen Nachrichtentechnik und der physikalischen Eigenschaften organischer Moleküle führen zu einfachen widerspruchsfreien Erklärungen für die Funktion dieser Sinnesorgane.

Zugleich zeigen sich wertvolle natürliche Vorbilder für die Weiterentwicklung der Nachrichtentechnik im Sinne der „Bionik“.

A. Notwendige Vorbemerkungen

Als Menschen nehmen wir die Umwelt mit unseren fünf Sinnen wahr und haben Mühe mit der Vorstellung, daß andere Lebewesen „mit ganz anderen Augen“ sehen, hören, riechen, schmecken und fühlen als wir. Die Fähigkeiten ihrer Sinnesorgane entsprechen nicht unserem, sondern ihrem eigenen Bedarf.

Unser vergleichendes Urteil, bestimmte Tierarten würden besser, schlechter, mehr oder weniger sehen, riechen oder hören können als wir, ist allzu subjektiv. Die Welt der Tiere, jeder Tierart, ist eine andere. Im Rahmen ihrer Bedürfnisse sind alle für die Wahrnehmung ihrer Umgebung so bewundernswert vollständig ausgerüstet wie wir Menschen.

Unser Familienmitglied Hund interessiert sich nicht für die schönste Urlaubslandschaft, obwohl er sie gut sieht. Auf unseren Ferienfotos (die er auch gut sieht) kann er seine vielen Geruchserlebnisse nicht wiederfinden: Die Papierbildchen riechen alle gleich - nach Chemie, die Leinwand- und Videobilder nach nichts. Seine Bedürfnisse sind andere. Er versteht unsere Begeisterung nicht, wir können seine Genüsse nicht nachempfinden. Schwierigkeiten macht uns das Verstehen von

Sinnesorganen, die wir nicht besitzen, weil sie für unser Leben nicht nötig sind:

Frei fliegende Vögel müssen lebensnotwendig langsame, schwache Luftdruckänderungen erkennen, um zu beurteilen, ob und wie schnell sie im Flug „steigen“ oder „sinken“. Sie sind dafür sicher besonders eingerichtet. Segelflieger verwenden „Variometer“ mit dieser Anzeige als wichtige Hilfsgeräte, die den augenblicklichen mit einem verzögerten Druck vergleichen.

Schnelle Luftdruckänderungen sind für uns hörbare Töne, Sprache, Musik. Wir wissen nicht, was diese Luftschwingungen für Vögel und andere Tiere bedeuten. Wir wissen zwar, daß für Wale langsame Wasserschwingungen (für uns tiefe Töne), für Fledermäuse sehr schnelle Luftschwingungen (für uns Ultraschall) zum Leben gehören, weil sie damit Hindernissen ausweichen und Beute verfolgen können, – dienen die „Töne“ den Walen nur zur Orientierung oder auch zur Verständigung mit Artgenossen? Beides zusammen wäre verwirrend und ist unwahrscheinlich. Und ebenso: Können die Fledermäuse den Ultraschall auch als Töne hören und sich damit verständigen?

Wir schaffen uns Hilfsmittel wie Fernrohre und Mikroskope, um im elektromagnetischen Spektrum des sichtbaren Lichtes weit entfernte und sehr kleine Dinge zu erkennen. Wir verwenden elektromagnetische Mikrowellen, für die wir keine Sinnesorgane haben, um Flugzeuge und Schiffe sicher über die Kontinente und Weltmeere zu lenken, um vom bequemen Sessel aus rund um die Welt zu sprechen, zu hören, zu sehen - und gleichzeitig um im Mikrowellenherd unser Essen aufzuwärmen. Und wir verwenden seit einigen Jahren anstelle elektrischer Ströme in Kupferdrähten mit großen Vorteilen infrarotes Licht in dünnen Quarz- oder Kunststofffasern, um Sprache, Musik, Fernsehbilder und Computerdaten über große Entfernungen zu leiten (Abb. 1).

Diese Gedanken gehören nur scheinbar nicht zum Thema. Sie sollen daran erinnern, daß mit gleichen Mitteln ganz unterschiedliche Aufgaben und daß gleiche Aufgaben mit unterschiedlichen Mitteln gelöst werden können.

Gemeinsam ist den Sinnesorganen von Menschen, Tieren und Pflanzen (die natürlich auch Umgebungseinflüsse empfinden und darauf reagieren müssen), daß für sie alle die gleichen Naturgesetze, die gleiche Chemie, die gleiche Physik gelten müssen, denen bekanntlich unsere Technik in allen Einzelheiten unterworfen ist.

Wir müssen uns bewußt sein, daß die Natur ihre Gesetze seit vielen Jahrmillionen kennt und vorbildlich anwendet, daß aber unsere Wissenschaft und Technik erst vor wenigen Jahrzehnten begonnen hat, diese Gesetze in Worte zu fassen, rechnerisch zu behandeln und damit zu arbeiten. Wir haben noch vieles von der Natur zu lernen und tun gut daran, zweifelhafte Annahmen immer wieder kritisch zu überprüfen.

„Die Physik beschäftigt sich mit den Vorgängen in der unbelebten Natur“ steht ernsthaft in einem Physik-Lehrbuch für Mediziner, ebenso ernst gemeint im neuesten „Duden“ und in anderen Nachschlagewerken. Diese Definition ist tatsächlich noch - Ende des 20. Jahrhunderts - verbreiteter Arbeitsgrundsatz in Teilgebieten der biologischen Wissenschaften.

Ist eine *belebte* Natur, sind vor allem die Sinnesorgane ohne Beschäftigung mit Licht, Wärme, Schall und anderen Schwingungen überhaupt vorstellbar? Diese *physikalischen* Vorgänge sind mit *unveränderten chemischen* Stoffeigenschaften verbunden. Der Gedanke, die Natur würde ausgerechnet sehr schnelle Schwingungsvorgänge mit chemischen Prozessen erfassen und verarbeiten, stammt aus den Frühzeiten biologischer Forschung und paßt nach hundert Jahren Funk-, fünfzig Jahren Radar- und Fernsichttechnik, mit Computern auf jedem Schreibtisch, nicht mehr zum Ende des 20. Jahrhunderts.

Das Dogma der geltenden Lehrmeinung über die Arbeitsweise der angeblich „chemischen“ Sinnesorgane verhindert wichtige Fortschritte in der Physiologie und anderen Zweigen der biologischen Wissenschaften. Diese kritiklos seit einigen Generationen verbreitete Lehre ist deshalb auch unbrauchbar und schädlich als Vorbild für fortschrittliche technische Entwicklungen im Sinne der Bionik.

Um so dringender ist es notwendig, die belebte Natur, insbesondere ihre Sinnesorgane, aus physikalischer Sicht zu betrachten.

B. Die Insektenfühler – Aufgaben, Aussehen

Besonderes Interesse verdienen die Insektenfühler, deren Länge oft die Körpergröße der Tiere weit überragt. Sie dienen als Mehrfachwerkzeuge - in enger Zusammenarbeit mit den benachbarten Augen - der Orientierung im Nah- und Fernbereich, der Richtungs- und Entfernungsbestimmung zu Punktzielen (Nahrung und Partner), als Riech- und Tastorgane („Fühler“), zur Temperaturmessung, zur Feststellung von Luftschwingungen, Windrichtung und Windstärke.

Die Fühler (Abb. 2 u. 3) erfüllen diese Aufgabe je nach den Lebensumständen und Erfordernissen ihrer Träger, beim Leben auf oder unter der Erde, in Holz, in Wasser oder in der Luft. Die Fühler stehen als leichte, frei bewegliche Gebilde bei allen Tieren paarweise unmittelbar in Augennähe, sind also wie diese zum räumlichen Sehen geeignet.

Die Fühler besitzen auffallende Ähnlichkeiten mit (Richt-)Antennen der Nachrichtentechnik (Abb. 4). Paarweise angeordnet können sie die Richtung und die Entfernung zu Punktzielen erfassen; ihre Größe deutet auf die Eignung für Infrarot-(IR-)Wellenlängen.

Im gleichen Wellenbereich, etwa zwischen 2 und 50 (100) μm , nehmen organische Moleküle, also auch alle Duftstoffe, Strahlungsenergie auf oder geben sie ab (absorbieren oder emittieren Energie). Duftstoff-Moleküle aus der Insektennahrung oder von Insektenpartnern könnten also die Sender der von den Fühlern zu empfangenden IR-Wellen sein.

C. Zur Physik organischer Moleküle

Die Radioastronomie sucht und findet im Welt- raum, in einigen tausend Lichtjahren Entfernung, große Wolken organischer Moleküle wie Methylalkohol, Ameisensäure und viele andere. Diese Moleküle kommen nicht persönlich zur Erde und in die Teleskope. Uns erreichen nur ihre für jeden Stoff charakteristischen Molekülstrahlen, mit der Lichtgeschwindigkeit von 300 Millionen Metern je Sekunde. Es sind in jedem Fall Strahlenspektren, also Serien einzelner IR-Wellen.

lenlängen zwischen dem sichtbaren Licht und dem Mikrowellenbereich (Abb. 1).

Die Untersuchung dieser Strahlen ist ein wichtiges Arbeitsgebiet der Physik und der Organischen Chemie. Dabei werden IR-Spektrogramme (Abb. 6) und IR-Spektren-Kataloge von Zehntausenden von Molekülen zur Analyse und Strukturklärung organischer Stoffe verwendet. Die strukturabhängigen und deshalb stoffcharakteristischen Eigenschwingungen der Molekülbau- steine und die damit verbundenen Molekülstrahlen sind um so intensiver, je höher die Temperatur ist. Sie werden verstärkt durch Energieaufnahme (Absorption mit Erwärmung) aus wärmerer Umgebung, sie müssen an kühlere Umgebung Wärmeenergie abstrahlen (Emission mit Abkühlung).

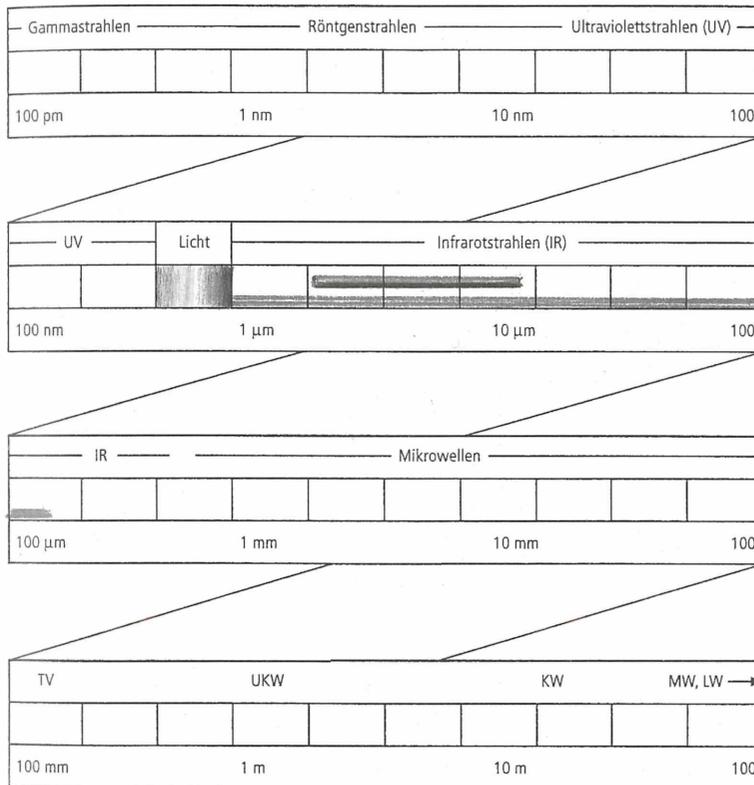


Abb. 1: Das elektromagnetische Spektrum: Farbspektrum des (für Menschen) sichtbaren Lichtes und wahrscheinlicher Bereich der Nachrichten im Tier- und Pflanzenreich (für Menschen: Düfte, Gerüche). Gezeichnet sind jeweils (nach rechts) doppelte Wellenlängen („Oktaven“). Die Strahlungsenergie nimmt mit abnehmender Wellenlänge (zunehmender Frequenz) linear zu, ist also für blaues Licht fast doppelt so stark wie für rotes. Eingezeichnet ist noch der IR-Spektralbereich 2 - 15 µm von Abb. 6.

Die Eigenschwingungen, das Frequenz- bzw. Wellenlängenspektrum, bleiben bei diesen Vorgängen unverändert, so daß Moleküldämpfe als IR-Sender oder IR-Empfänger mit sehr konstanten Strahlungseigenschaften wirken können. (Abgegebene Molekülstrahlen sind mit Laserstrahlen verwandt, die nur je *eine* Wellenlänge eines Stoffes enthalten.)

Riechbare Stoffe haben nur zwei Eigenschaften gemeinsam: sie sind (bei gegebener Temperatur) flüchtig, und sie müssen wenigstens zweiatomig sein, anders ausgedrückt: Sie müssen als Moleküldampf mit schwingungsfähigen Dipolstrukturen elektromagnetische Strahlungsenergie abgeben können, die sie vorher als Wärmeenergie aufgenommen haben. (Ein Parfüm wird auf warmer Haut geprüft, um alle Duftanteile erkennen zu lassen.)

Blüten erhöhen ihre Temperatur um beachtliche Wärmegrade (gemessen wurden bis über 40°C), wenn sie auf befruchtende Insekten warten. Insektenweibchen (♀) geben Duftstoffe ab, um Männchen (♂) anzulocken. Immer entstehen dabei „thermisch angeregte“ Molekülwolken, die ihre artbedingten Wellenlängen in alle Richtungen senden.

Jeder geeignete Empfänger kann diese Strahlung aufnehmen, wenn er genau darauf abgestimmt ist und „in Resonanz“ kommt, d.h. Energie daraus aufnimmt. Ideale, den Antennen nachgeschaltete Empfänger sind z.B. absorptionsbereite Moleküle der genau gleichen Art wie die des Senders. Wie Licht oder Funkwellen kommen diese Strahlungen ohne Rücksicht auf Wind- einflüsse mit Lichtgeschwindigkeit so zum

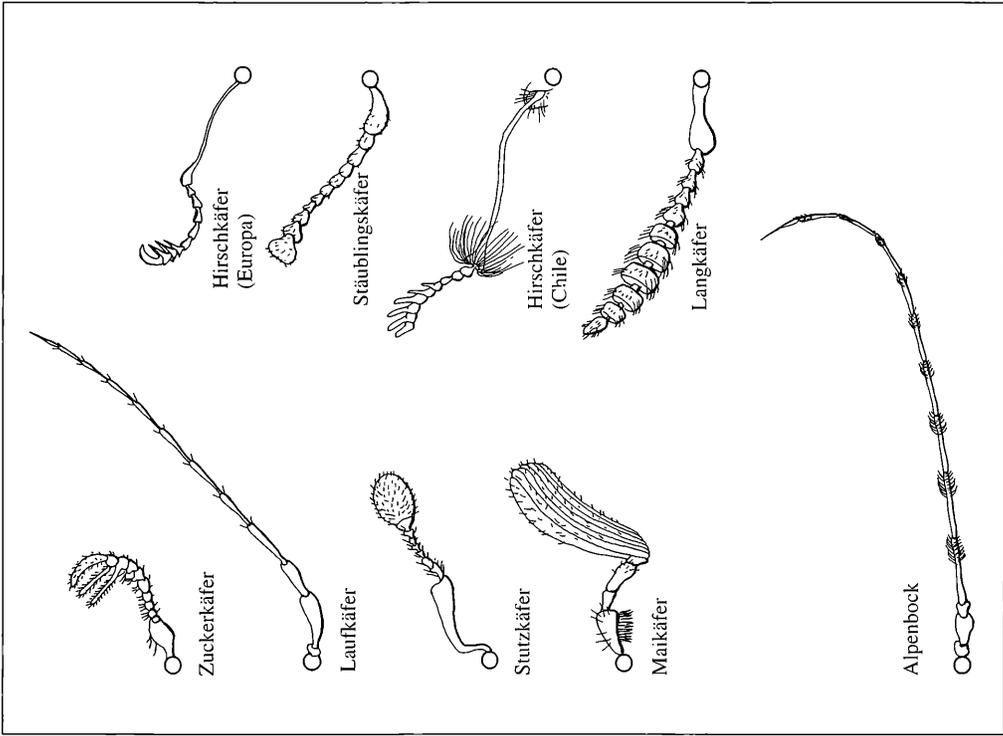


Abb. 3: Insektenfüher aus verschiedenen Antennenformen, nach STANEK. Zeichnungen: Ute eI MelouDie

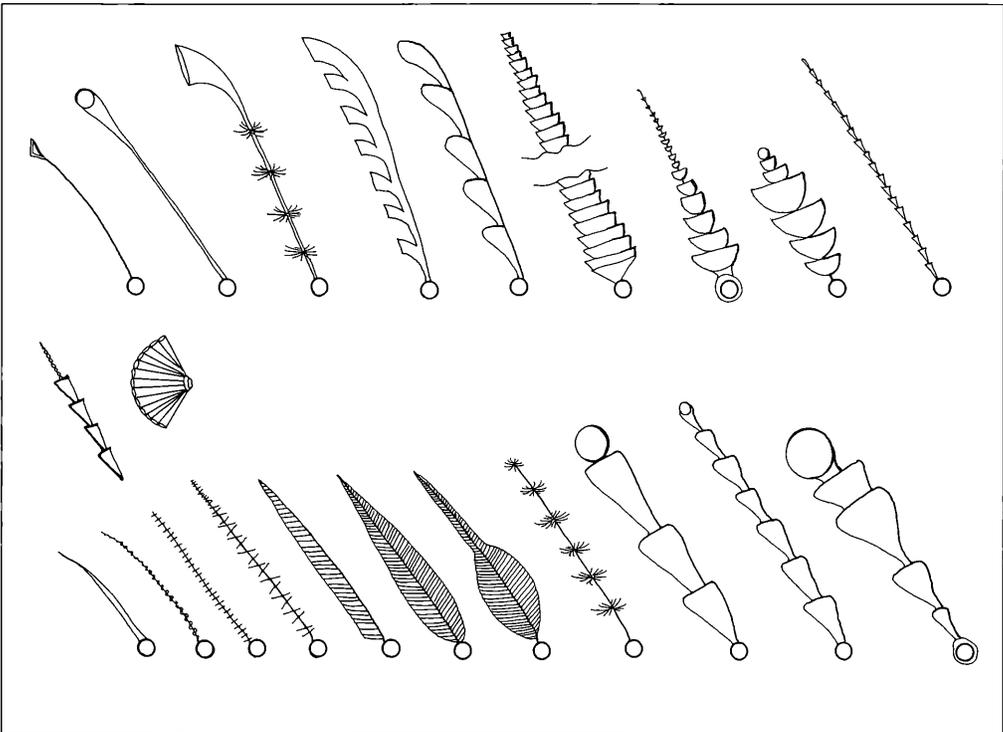


Abb. 2: Grundformen verschiedener Insektenfüher (schematisch). Mitte oben: ähnliche Antennen-Bauelemente von Insektenfüherm und Facettenaugen.

E. Insektenfühler als Antennen

Schon die oberflächliche Betrachtung der Fühler mit bloßem Auge, mit Lupe oder Mikroskop läßt sehr unwahrscheinlich erscheinen, daß auch nur einige dieser so verschiedenen Gebilde zum Auswählen, Einfangen und zur (naß-)chemischen Analyse einzelner ganz bestimmter Moleküle geeignet sein sollen, die dann auch noch spezifische Wirkungen vollbringen sollen, wie die Wissenschaft bisher ausnahmslos annimmt.

(Die seit Jahren in der Fachliteratur von verschiedenen Instituten des In- und Auslandes veröffentlichten elektrischen „Messungen“ an abgeschnittenen Fühlern von Nachtschmetterlingen sind - zu meinem großen Bedauern - leider nur als grob dilettantisch zu bezeichnen: Jedes andere tote Material, irgendein Kunststoff, Holz oder eine Aluminium-Fernsehantenne hätte bei gleichen Versuchsbedingungen ähnliche Meßwerte ergeben, denn gemessen wurden Oberflächenwiderstände beim Anblasen mit verschiedenen Duftstoff-Nebeln.)

Abb. 2 u. 3 zeigen (schematisch, ohne Maßstab, überwiegend ♂-) Fühler ganz verschiedener Insektenarten. Ihre natürliche Länge liegt im mm- und cm-Bereich, die Einzelemente sind oft nur unter dem Mikroskop zu erkennen.

Unverkennbar ist die Ähnlichkeit aller Fühler mit technischen Antennenbauarten (Abb. 4 u. 8). Die Abmessungen der Bauelemente, besonders der verschiedenen Linsenformen, im Millimeter- und Submillimeterbereich gehören zu IR-Wellenlängen, ebenso viele nur mikroskopisch zu erkennende haar- oder borstenartige Gebilde, die in der Literatur ohne Erklärung ihrer Funktion häufig als Sensoren, Sensillen, Rezeptoren bezeichnet werden.

Die (Resonanz-)Empfangsmoleküle können unmittelbar in den optischen Brennpunkten (Fokus, Fokuspunkten, -ebenen, -linien) liegen oder in Nervenknoten, die über IR-leitende Nervenfasern (Axone) mit den optischen Teilen verbunden sind. Der Resonanzfall bedeutet eine Temperaturerhöhung dieser Moleküle, die für Meldung an andere Moleküle sorgt.

Alle Fühler sind offenbar für den Empfang der IR-Strahlung organischer Duftmoleküle bestimmt, so ausnahmslos, daß jeder Zufall ausgeschlossen erscheint. Natürlich müssen sie nicht nur eine, sondern zugleich ein ganzes Spektrum

mehrerer Wellenlängen aufnehmen, woraus die teilweise komplizierten Fühlerformen zu erklären sind. (Weniger elegante Konstruktionen für die gleiche Aufgabe zeigen unsere Hausdächer mit Antennen für verschiedene Wellenbereiche an einem Dachständer.)

Die Fühler sind *paarweise* angeordnet, also für die Erfassung von Richtung und Entfernung zum Zielpunkt bestimmt („Räumliches Sehen“). Die Entfernungsmessbasis ist durch die Fühlerlänge bzw. durch den Abstand der paarweise zusammengehörenden Antennenelemente gegeben; sie liegt also bei Insekten weit unter 1 bis über 100 mm. (Zum Vergleich: Augenabstand bei Menschen 60 - 70 mm.)

Die Fühler sind Mehrzweckgeräte: Antennen für den Molekül- und Wärmestrahlungsempfang, mechanische Tastorgane („Fühler“), oft zugleich für die Erfassung von Luftvibrationen und Luftströmungen nach Stärke und Richtung geeignet.

Die Fühlerlänge ist dem Lebensraum der Träger angepaßt. Größere Entfernungen bedeuten längere Fühler und/oder (mit allen Vor- und Nachteilen) größere Linsenbauarten. Bewegliche Fühler können auffallend kurz sein oder fehlen, wenn größere Augen (Libellen) oder andere Fühlerbauarten (Buckelzirpen, Abb. 7) die räumliche Orientierung über ausreichende Entfernungen übernehmen.

Die Einzelglieder der Fühler können gleich oder verschieden groß sein, ihre Zahl liegt zwischen 3 und 200. Die Formen sind - mit der Lupe erkennbar - einfache runde Linsen an den Fühlerenden von Tagfaltern, oft viele Ringlinsen (Abb. 5) und verschieden angeordnete unsymmetrisch trichterförmige Linsenformen.

Fühler bei Augen: Augen und Fühler stehen immer so auffallend unmittelbar nebeneinander, daß der Gedanke an enge Zusammenarbeit nahe liegt: Die Fühler-Zielpunkte sind in das räumliche Augen-Bild so eingeblendet, daß die sichere Orientierung gewährleistet ist. (Was der Radar- und Fernsehtechnik selbstverständlich ist, kennt die Natur schon seit Jahrmillionen.)

♂-Fühler: Soweit ♂ andere, größere, längere Fühler besitzen, betreffen wohl die bei ♀ und ♂ gleichen (kopfnahen) Teile die (gegebenenfalls) für beide gleichen Interessen (Nahrung, Wärme, Wasser). Verlängerungen der ♂-Fühler empfangen die Lockstoff-Sendungen der ♀. Das läßt

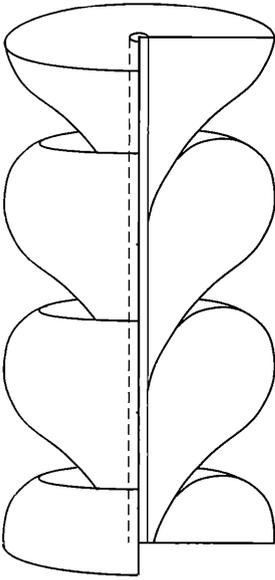


Abb. 5: Ringlinsen-Elemente (Fühlerausschnitt, schematisch, Strahlung von oben)

daran denken, daß ♀ in größerer Entfernung gesucht werden als die Nahrung, also in fremden Revieren - ein einfaches Mittel, um Inzucht zu vermeiden (das ♀ auf dem gleichen Ast ist schneller zu erreichen, aber nah verwandt).

Alle Fühlerbauarten haben Vor- und Nachteile: IR-Empfindlichkeit, Länge, Querschnitt, Gewicht, Werkstoffe, Festigkeit, Beweglichkeit, Bewegungsmechanismus, Sichtbarkeit,

Lebensdauer u.v.a. entsprechen so genau dem Bedarf ihrer Träger wie bei anderen Tieren die Augen, das Gebiß und der Schwanz. Der Fühlerbau gibt wenigstens ebenso wertvolle Hinweise auf die Lebensweise eines Insekts wie bei anderen Tieren die Haare und Krallen.

Leider fehlt ein Katalog der Insektenfühler, mit makro- und mikroskopischen Bildern, Maßangaben, den Unterschieden ♀/♂ und den Lebensbedingungen der Tiere. Alle Doktorarbeiten, Lehrbücher und Nachschlagewerke in den uns zugänglichen Sprachen stimmen auffallend darin überein, diese Themen völlig zu vernachlässigen.

F. Senderkennung wie bei Leucht- und Funkfeuern

Insekten-♀ geben (wie bei Seidenspinnern festgestellt wurde) den Duftstoff nicht stetig, sondern in einer gleichbleibenden Folge von mehreren Einzelstößen je Sekunde ab. Die ♀-Strahlung ist dadurch wie die Strahlung eines Leucht- oder Funkfeuers mit einer Kennung versehen, die sie deutlich von der Dauerstrahlung der Blüten unterscheidet. Die ♂ sehen also in die Umgebung eingeblickt sowohl blinkende als auch unveränderte Punkte.

G. Fühleraufbau und Molekülspektren

Zwei Duftmolekülspektren lassen den Zusammenhang von IR-Spektrum und Fühleraufbau erkennen: Abb. 6 zeigt zwei Spektren organischer Aromastoffe von 2-15 µm Wellenlänge (für Chemiker: Wellenzahlen 5000-666/cm). Aufgezeichnet ist die Durchlässigkeit (Transmission) von Lösungen dieser Stoffe abhängig von der Wellenlänge. Die Pfeile zeigen die Wellenlängen, für deren Empfang Antennen zu bemessen sind.

Die Unterschiede zwischen den beiden Spektren 6a und b machen deutlich, daß die dafür bestimmten Antennen verschieden gebaut sein müssen. Genaue Angaben darüber sind noch nicht möglich; die Beispiele zeigen nur das Prinzip. Die Kenntnis eines größeren Spektralbereiches wäre für die Fühlerbeurteilung wichtig, denn die Wellenlängen von Duftstoffen reichen bis zum Mehrfachen von 15 µm.

H. Empfangs- und Resonanzmoleküle

Wie erwähnt, müssen genau auf die Senderwellen abgestimmte Resonanzelemente den Antennen nachgeordnet sein. Am besten sind dies Moleküle der gleichen Art wie die der Sender. Diese Empfänger-moleküle können im Fühler selbst, am Fuß des Fühlers oder im Zentralnervensystem (Oberganglion) liegen, wenn Axone der Nervenfasern die nötigen IR-Verbindungen herstellen. Die Sexualmoleküle dürften innerhalb der Arten vererbt, die Nahrungsmoleküle bei neuen Angeboten gelegentlich auch ergänzt werden.

An manchen Fliegenfühlern finden sich sackartige Gebilde, denen keine Antennenfunktion zugeordnet werden kann. Sie dürften, den Ernährungsgewohnheiten dieser Tiere entsprechend, vielerlei Resonanzmoleküle enthalten.

I. Die Wärmemessung mit den Fühlern

Wärmestrahlung hat in jedem Fall ein kontinuierliches IR-Spektrum, nicht einzelne Wellenlängen. Wenn alle Antennenelemente eine gleichmäßige Hintergrundstrahlung melden, dann kann es sich nur um Wärmestrahlung handeln, deren Intensität einer Temperatur entspricht (Thermographie-Geräte). Die Unterschiede zwischen Wärme- und Kältequellen ergeben sich aus Temperaturvergleichen mit der Umgebung.

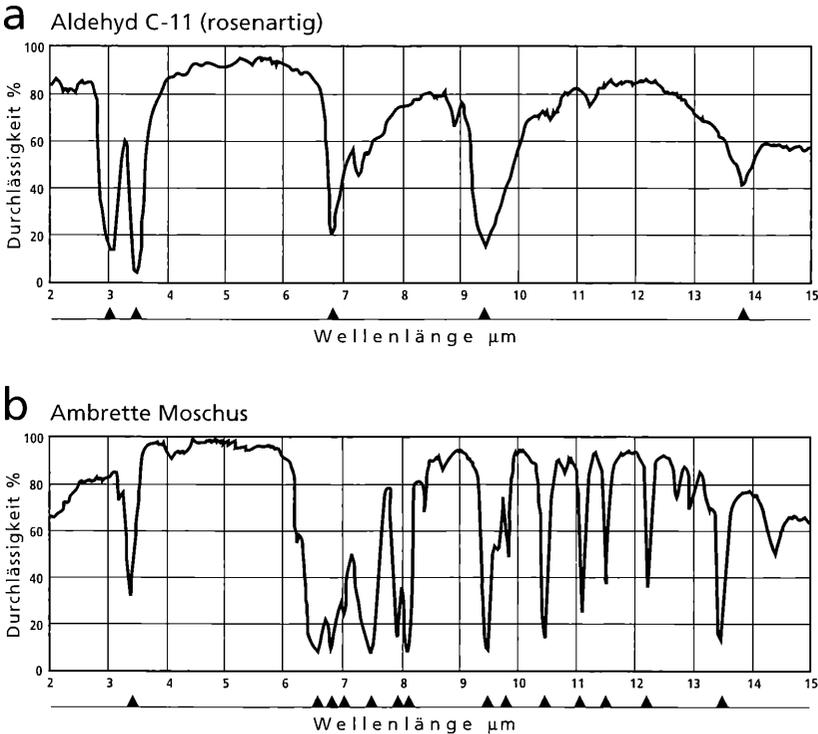


Abb. 6: Zwei mit Spektrographen aufgenommene IR-Spektren (Absorptionsmaxima) organischer Duftstoffe. Die Pfeile unter den Kurven deuten auf die Sende- oder Empfangs-Wellenlängen der Molekül-Eigenschwingungen.

K. Putzapparate zur Fühlerreinigung

Es ist bekannt, daß Insekten wie die Honigbiene an den Vorderbeinen besondere Putzeinrichtungen besitzen, die für ungestörten Nachrichtempfang ebenso sorgen, wie wir einen Kinderdrachen aus der Fernsehantenne entfernen müßten.

L. Unbewegliche Antennen der Buckelzirpen und Hirschkäfer

Der Saarbrücker Zoologe Werner NACHTIGALL (1980) schreibt unter der Überschrift *Gibt es Zierformen?*:

In Sammlungen tropischer Insekten kann man Buckelzirpen bewundern. Abenteuerliche Ästchen, Knötchen, Kügelchen schleppen diese Tiere mit sich herum, ganze büschelige, gewiehartige Auswüchse, gespickt mit Dornen, Garben und Zinken. Wozu soll das gut sein? Niemand weiß es. Doch kann man immerhin die Gattungen und Arten danach bestimmen. Aber für den syste-

matischen Ehrgeiz des Menschen hat der Konstrukteur alles Lebenden die abenteuerlichen Buckel dieser Zirpen sicher nicht geschaffen. Vielleicht wollte er spielen? Einem Ingenieur wäre das zuzutrauen. Jeder noch so nüchterne Techniker gestattet sich gelegentlich Skurrilitäten. Bei dem naturwissenschaftlich argumentierenden Biologen stellt sich ein tiefes Mißtrauen ein, wenn er Begriffe wie Zweckfreiheit, Luxurierung, Selbstdarstellung und ähnliches auf Formen des Lebens angewendet findet.

Die allgemeine Erfahrung eines Forscherlebens ist einfach die: es gibt keine

zweckfreien Strukturen, die die Natur spielerisch baut. Erscheinen Strukturen als zweckfrei, so kann man sicher sein, daß man einfach ihre Funktion noch nicht erkannt hat.

Gibt es reine Zierformen in der Natur? Das einzige, was dafür zu sprechen scheint, ist unser derzeit verzweifelt geringes Wissen über viele Struktur-Funktions-Zusammenhänge.

Auffallend ist, daß Buckelzirpen zwar gewiehähnliche Gebilde mit beachtlichen Ausmaßen (Abb. 7), meist aber keine erkennbaren Fühler der beweglichen Art besitzen.

Brauchen Buckelzirpen keine Duftnachrichten wie andere Insekten?

Die Tiere sind nicht benachteiligt: Die „Geweih“ sind kräftig gebaute, unbewegliche Antennen, teilweise mit Linsenformen ähnlich denen der beweglichen Fühler. Die Natur hat keine Schwierigkeiten, optische Bauteile wachsen zu

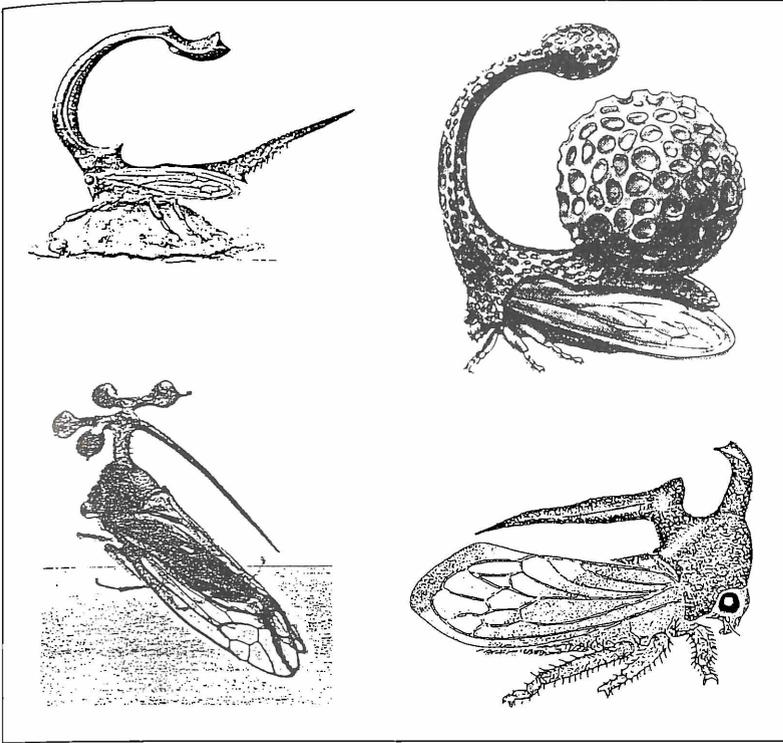


Abb. 7: Buckelzirpen

lassen, die nicht von Kugelflächen begrenzt sind und deren Brechzahl sich innerhalb des Bauteils beliebig stufenlos ändert (vergleichbar den zusammengesetzten Foto-Objektiven mit Linsen aus verschiedenen Glassorten). Unsere Technik baut bisher keine optischen Geräte mit Geweihformen.

Diese Festantennen erfassen *gleichzeitig* viele Punkte, Linien oder Teilbilder, die bewegliche Fühler nur *nacheinander* abtasten können. Diese ebenfalls in das lichteoptische Gesamtbild der Augen eingblendeten Teilbilder bedeuten zweifellos Vorteile, wenn auch zu Lasten von Größe und Gewicht der Antennen.

Sicher gibt es Gründe für diese Bauarten: nur ♂ tragen die großen „Geweih“, ♀ besitzen wesentlich kleinere oder nur Andeutungen von „Buckeln“. Entsprechende bewegliche Konstruktionen wären (was wissen wir schon Näheres?) zu lang, zu schwer, unpraktisch, gefährdet, sicher unzuverlässig. Skarabäen mit ihren Geweihansätzen und Nashornkäfer sind tüchtige Erd- und Mistarbeiter, die „normale“ Fühler bei ihrer Arbeit weder als Sinnesorgane noch als Werkzeuge brauchen könn-

ten. Von den großen Hirschkäfern (Abb. 9) wissen wir, daß sie in Baumwoll leben (leben?), die ♂ mit großer Geweihzange, die ♀ nur mit Andeutungen davon, beide aber zusätzlich sehr zweckmäßig ausgerüstet mit versenkbaren, nur im Freien ausgeklappten beweglichen Fühlern.

Es ist unwahrscheinlich, daß die Geweih der Hirschkäfer ausschließlich für ♂-Kämpfe bestimmt sind, wie sie schon beobachtet wurden. Warum sollten stabile Antennen nicht mechanischen Zwecken dienen? (Was machen nicht manche Sportler mit ihren Köpfen?)

M. Sonderfall: (Nicht-Insekten, aber auch Gliederfüßer:) Spinnen

Im Gegensatz zu Insekten, die extrem auf bestimmte Nahrung und Lebensweisen speziali-

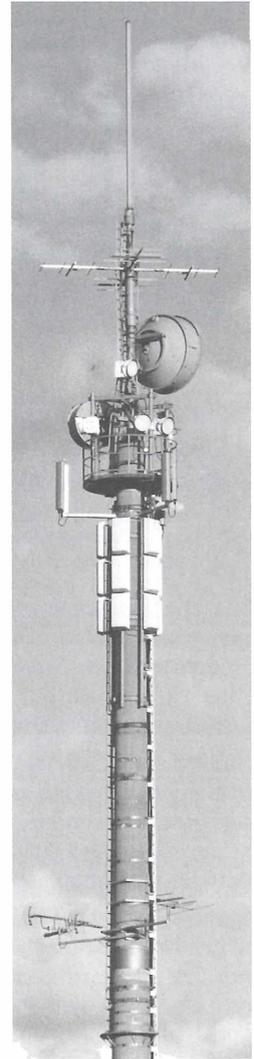


Abb. 8: Funkmast mit vielgestaltigen technischen Antennenbauarten.

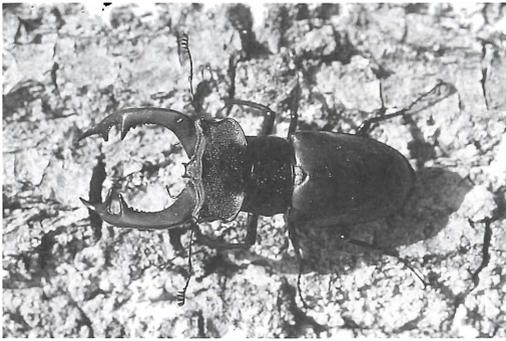


Abb. 9: Hirschkäfer

Foto: L. Mayer

siert sind und vielfach weite Gebiete besuchen, leben alle Spinnenarten in eng begrenzten Lebensräumen mit vielseitiger Ernährung: „Im Netz einer Kreuzspinne fängt sich fast alles, was fliegt, eine Wolfsspinne fängt alles, was sich bewegt und was sie bewältigen kann“ (SAUER/WUNDERLICH 1982).

Fast alle Spinnen leben von Insekten. Viele Spinnen bauen Netze, andere leben ohne Netz in Bodenstreu, an Steinen, in Baumrinden und Mauerritzen oder auf Bäumen. Nur wenige jagen, die meisten warten in Ruhe auf ihre Opfer. Spinnen sind Tag- und Nachttiere, wenn auch zu verschiedenen Anteilen. Wohl alle möchten wenig gesehen werden, aber selbst um so besser sehen; sie halten sich deshalb auch bei Tag in dunkler Umgebung auf.

Spinnen besitzen 3 oder 4 Augenpaare. Fachleute glauben zudem zu wissen, daß „Spinnen auch mit den Beinen riechen können“ (SAUER/WUNDERLICH 1982). Die 4 Beinpaare könnten besondere Aufgaben erfüllen für die Spinne, deren Fangerfolg vom unbeweglichen Stillsitzen in kleiner Entfernung von der Beute abhängt.

Augen sind Strahlungsempfänger für sichtbares Licht (wie Fühler für IR). Die Sehfärbstoff-Moleküle der Netzhaut haben Absorptionsmaxima im sichtbaren Licht (bei Menschen in der „Oktave“ zwischen 0,4 und 0,8 μm , bei Bienen etwa 0,35 bis 0,7 μm). Die aufgenommene Energie muß im längerwelligen IR wieder abgegeben, also über die Sehnerven zum Gehirn geschickt werden. Diese IR-Strahlung ist (bei Mensch und Tier) ein genaues Abbild der aufgenommenen sichtbaren Lichtstrahlung.

(Die Axone des Nervensystems sind „Lichtwellenleiter“ für IR, in denen die Nachrichten mit

(fast) Lichtgeschwindigkeit zu den Empfangsorganen kommen. Augen sind also physikalische, *nicht* chemische Sinnesorgane.)

Die 6 oder 8 Augen sind einlinsig vom Ocellentyp in zahlreichen Varianten, unterschiedlich oder gleich groß, sehr verschieden angeordnet. Sie liegen unbeweglich in der Chitinkapsel des Kopfes, die zugleich die Augenlinsen bildet. Bei Zwergspinnen können sie auf „bizarren Auswüchsen, Türmen, Hügeln, Einbuchtungen, Spalten“ sitzen (SCHMIDT 1980); auch Vogelspinnen besitzen kleine Augenhügel.

Die Hauptaugen (vorn Mitte) haben eigene Muskeln zur seitlichen oder dreidimensionalen Verschiebung der Netzhaut. Die einfacher gebauten Nebenaugen liegen symmetrisch um die Hauptaugen vorne, oben oder seitlich am Kopf.

Lange Fühler wären unbrauchbar für die Lebensweise aller Spinnen, die ja nicht an Punktzielen und nicht an größeren als cm-Entfernungen interessiert sind. Deshalb liegt die Vermutung nahe, daß ein Teil der Augenpaare anstelle der Fühler je einen Oktavbereich (wie andere Augen) im IR erfassen kann, um das besonders wichtige lichtarme Bild- und Nahsehen zu ermöglichen.

Die scheinbar geringe Auflösung durch längerwelliges IR und durch die kleine Zahl der Netzhautelemente ist nicht nachteilig, denn die ausschließlich aus kurzen Entfernungen gewonnenen Bilder sind ausreichend scharf.

Insektenfühler sehen IR-Spektren von Zielpunkten, sind also Geruchsorgane, während IR-Augen Intensitätsbilder im IR, also Wärmebilder, wahrnehmen, die für Spinnen wichtiger sind:

Flugvorbereitende und abfliegende Insekten nehmen im Flugmuskelbereich Temperaturen bis 38°C an, wie mit IR-Thermographie-Messungen an Honigbienen festgestellt wurde (STABENTHEINER et al.). Es besteht also für Spinnen erhebliches Interesse daran, eine mögliche Beute nicht nur zu sehen, sondern deren Wärmebild zu kennen. Für die allseitige IR-Geruchs-Untersuchung des Fanges mit abtastenden Beinen bleibt *nach* dem Fang und dem Ruhigstellen der Beute genügend Zeit.

N. Staatenbildende Insekten: Bienen, Ameisen, Termiten

Für staatenbildende Insekten gelten selbstver-

ständig alle oben beschriebenen Gedanken. Zusätzlich scheinen diese Tiere von der IR-Molekülstrahlung Gebrauch zu machen:

Den „Nestgeruch“ dürfte (wie bei den meisten anderen Tieren) die Strahlung von Molekülen verursachen, die ständig an den Bewohnern und ihrer Behausung haften.

Auffallend ist bei Insektenvölkern die schlagartig gleichzeitige Alarmierung aller Tiere bei Gefahr durch äußere Störung oder Ausfall der Königin. Dabei ist an zentral erzeugte Alarmstoffe (zusätzlich zum Nestgeruch) zu denken. Mit einer Diffusion von Molekülen über die Luft in alle Teile der weitläufigen Räume und Gänge ist diese Alarmleistung nicht zu erklären, wohl aber mit der den ganzen Bau durchdringenden Molekülstrahlung eines Alarmstoffes, der von einem einzelnen Tier stammen kann. Die Strahlungsenergie kleinster Stoffmengen reicht für die wenigen Meter Entfernung aus; die trockenen Wände des Baues bedeuten kaum eine Dämpfung.

Andere Nachrichten für Tiere der nächsten Umgebung werden durch Absetzen winziger Stoffmengen verbreitet, die als Nahsender dienen. Dabei können verschiedene Stoffe aus mehreren Drüsen zusammengesetzt eine Art „Sprache“ mit unterschiedlichen Nachrichten bilden. Diese Art eines hochentwickelten Nachrichtenwesens verschiedenartiger Tierstaaten ist ausführlich und spannend in „Ameisen“ von den Beobachtern HÖLDOBLER und WILSON (1994) beschrieben.

O. Zusammenfassung und Folgerungen

1) Der *Geruchssinn* der Insekten und wohl weitester Bereiche der belebten Natur kann nicht mehr als „chemischer Sinn“ bezeichnet werden. Zwar sind Duft- und Riechstoffe als Absender der Nachrichten chemisch definierte organische Moleküle; die Absendung der IR-Strahlung, die Übertragung mit Lichtgeschwindigkeit und der Empfang über Antennen und Resonanzelemente sind aber rein physikalische Vorgänge. Diese Sachlage gilt für den Geruchssinn aller Menschen und Tiere, ebenso für die Verständigung zwischen Tier und Pflanze und innerhalb des Pflanzenreiches.

2) *Pheromone* - vereinzelt Moleküle bestimmter Wirkstoffe - sollen als „Botenmoleküle“ persönlich vom Absender über große und sehr große

(Kilometer-)Entfernungen zum Empfänger kommen, dort als Einzelmoleküle (naß-)chemisch analysiert werden und dann noch bestimmte Aufgaben erfüllen. Tatsächlich sind die Wirkungen eindeutig wahrnehmbar: Seidenspinner-♂ fanden nachweisbar über 11 km Entfernung zum ♀.

Diese Annahmen der zuständigen Wissenschaft sind unvereinbar mit bekannten, bewährten Naturgesetzen: Auch die Sprecher von Rundfunksendern sind aus Fleisch und Blut, und die weit entfernten Hörer reagieren seit Jahrzehnten *ohne* Botenmoleküle auf ihre Nachrichten.

Die Lehrmeinung über „Pheromone“ kann nur als unbeweisbare, durch kritiklose Verbreitung zum Dogma erhobene Spekulation in aller Schärfe verurteilt werden, auch wenn sie von „Forschern“ stammt und gelehrt wird. Derartige Dogmen stören und verhindern die ernsthafte Forschung. Warum kann „die Wissenschaft“ gegen jede Vernunft nicht eine Annahme als Vermutung bezeichnen und zugeben, irgend etwas noch nicht zu wissen?

3) *Augen und Fühler* sind nahe verwandt. Sie können abhängig von ihrer Bauart und den in den Netzhauzelementen verwendeten Resonanzmolekülen (Sehfarbstoffen) sowohl ein- oder mehrfarbige Licht-Bilder als auch IR-Wärmebilder oder IR-Geruchsbilder aufnehmen. Das Gehirn kann diese Bilder erkennen, speichern, miteinander und mit den übrigen Sinneseindrücken verbinden und zu geeigneten Befehlen an andere Organe verarbeiten.

Diese Annahmen gelten für Spinnenaugen ebenso, wie für (Punktziel-)Fühler, für die Haupt- und Stirn- und für ähnliche Sinnesorgane aller anderen Tiere.

Was hier für Insekten beschrieben wurde, gilt für jede Geruchsverbreitung, nicht nur für Sexual-Lockstoffe. Daran ändert die Tatsache nichts, daß bei Menschen die Riechstoffmoleküle zum abgeschirmten Riechepithel (mit Dipolanordnungen passender Größe) in die Nebenhöhlen kommen müssen, während Hunde Riechorgane mit Sicht nach außen besitzen, und die Riechorgane der Insekten im Freien stehen und beweglich sind.

P. Insekten und Umwelt

Wärmestrahlung = IR-Strahlung mit vielen Megawatt Leistung strahlt aus den heißen Rauchgasen jedes hohen Kamins mit 150-200 °C über der



Abb. 10: Antenne für IR-Strahlung oder „Molekülsieb“? Fühler des kleinen Nachtpfauenauges (*Saturnia pavonia*). Foto: Hermann Schmidt

Umgebungstemperatur in die Landschaft. Jede Großanlage schickt stündlich drei, fünf oder zehn Millionen Kubikmeter, also durchschnittlich weit über tausend m³ je Sekunde dieser Verbrennungsprodukte in die Atmosphäre, die bis zum Abkühlen als IR-Sender auf die Natur einwirken. (Die höhere Verlustwärme von Kernkraftwerken wird, natürlich ohne Kamin, an das Kühlwasser und über große Kühltürme an die Atmosphäre abgegeben.)

Die Hälfte bis zwei Drittel aller aus Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran gewonnenen Wärmeenergie geht unmittelbar als „Verlustleistung“ in den Kraftwerken und Leitungen in die Atmosphäre und in Gewässer, bevor der Rest vom „Verbraucher“ als Kilowattstunden (kWh) bezahlt wird und von ihm, von seinen Geräten aus die Umwelt erwärmt.

Jede „verbrauchte“ kWh belastet die Atmosphäre mit 3 kWh Wärme. Diese Wärme nimmt seit Jahrzehnten exponentiell zu. Sie trifft als IR-Strahlung die Natur 24 Stunden täglich, zusätzlich zur Sonnenstrahlung. Ebenso exponentiell und seit Jahrzehnten 24-stündig nimmt die Energiestrahlung aller Wellenlängen aus vielen tausend Funk-, Fernseh-, Radar- und anderen Großsendern mit hohen kW-Leistungen zu.

Jedes Kind weiß, daß Menschen, Tiere und Pflan-

zen krank werden und sterben können, wenn sie zu wenig oder zu viel „Sonne“, also Licht und Wärme, bekommen. Hat das Wald- und Tiersterben, das Artensterben in aller belebten Natur, wirklich nur mit Schadstoffen (Chemie) und nichts mit Physik, mit Schadstrahlungen zu tun?

Wann endlich interessiert sich die Biologie für Physik?

Q. Literatur:

- H. BELLMANN: Spinnen beobachten, bestimmen. Weltbild-Verlag, Augsburg 1992
- R.F. FOELIX: Biologie der Spinnen. 2. Aufl. Thieme, Stuttgart 1992
- B. HÖLDOBLER/E.O. WILSON: Ameisen, die Entdeckung einer faszinierenden Welt. Birkhäuser, Basel 1995 (Originalausgabe: Journey to the Ants, A Story Of Scientific Exploration. Harvard University Press, Cambridge/Mass. 1994)
- W. NACHTIGALL/M.P. KAGE: Faszination des Lebendigen. Herder, Freiburg 1980
- F. SAUER/J. WUNDERLICH: Die schönsten Spinnen Europas. Fauna-Verlag, Karlsfeld 1982
- G. SCHMIDT, Spinnen. Philler Verlag, Minden 1980
- A. STABENTHEINER, S. SCHMARANZER (Zoologisches Institut der Universität Graz), Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft 1986, 1989, 1993
- V. J. STANEK: Das farbige Buch der Käfer. Artia Prag/Dausien, Hanau 1984

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Otto Bess

Postfach 1242

91002 Erlangen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Mensch - Jahresmitteilungen der naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [1996](#)

Autor(en)/Author(s): Bess Otto

Artikel/Article: [Insektenfühler als Richtantennen für Infrarot-Strahlung 53-64](#)