

# Das Aeroplankton in der Norddeutschen Tief- ebene über Schleswig-Holstein

von Holger Weidel

## Summary

### **Aerial plankton above north German lowlands of Schleswig-Holstein**

The result of the present study shows, that aerial plankton on the basis of its reduced mobility with the help of own buoyancy and up drift potential is transported and accumulated into high atmospheric strata through adiabatic lift of thermal bubbles of convection currents (bubble in a bubble). The study has been performed with quantitative samplers (Aeroplankton Sampler - APS) connected to aircraft in altitudes between 300 ft and 6000 ft (92 m - 1830 m). Two samples from two different heights collected during one flight were compared where 500 ft (153 m) was used as a reference altitude. Due to the collecting method, the size of insects could be analysed. In contrast to point source radar observations, the high number of samples during several years shows that an increased density of individuals and species occurs at the altitude of the convection boundary layer. This observation also holds for the wingless and smallest species. All species groups show similar dispersion behaviour (pattern) along the altitude. The density distribution of the aerial plankton does not decrease continuously with altitude. The density at 3000 ft (915 m) is compared with the density at 500 ft reduced by 72%. An increase and condensation of the aerial plankton has been observed at the mean upper convection boundary layer 3280 m (1000 m) with a significant maximum of the density at about 3500 ft - 4200 ft (1068 m - 1220 m, top of planetary boundary layer) and a mean temperature of 13,8 degrees. Thus, the density at 3500 ft - 4200 ft exceeds the density at 500 ft by 48% (density maximum).

Above the density maximum, e.g. 3500 ft, the density of the aerial plankton decreases to a higher density than observed at 500 ft. In 5000 ft altitude we observed similar densities as at 300 ft - 500 ft. Overall, the density of insects above 4200 ft till 6000 ft is higher than between 300 ft and 3000 ft.

The dispersion and distribution of the aerial plankton according to height indicates a dependence on thermal and its energy content also above the convection boundary layer and the convection condensation level (ccl). The higher density might be related with the threshold for flying activities of small insects at 10 degrees. With a mean temperature of 7,7 degrees in 4000 ft (1220 m) the flying activity of small insects has already been fallen below its threshold.

The measurement of the airflow through the samplers enabled a quantification of the catches. A mean density of 6 individuals per 1000 m<sup>3</sup> and 12 individuals per 1000 m<sup>3</sup> at the density maximum were observed. Single catches at main flying days of aerial plankton show enhanced densities up to 64 individuals per 1000 m<sup>3</sup>, which means a tenfold

increase. Calculations show that ca. 3 kg biomass of aerial plankton is available per km<sup>3</sup> of air, and that 82 tonnes above the area of Schleswig Holstein is present.

**Keywords:** Aerial plankton, insects, planetary boundary layer, convected boundary layer, dispersion, atmospheric boundary layer, altitudinal distribution

### Zusammenfassung

Nach der vorliegenden Untersuchung wird das Aeroplankton entgegen seiner eingeschränkten Mobilität mit Hilfe seines Schwebvermögens und seiner Auftriebshilfen im adiabatischen Aufstieg der Thermikblasen von Konvektionsströmen („bubble in a bubble“) in die Höhe getragen und akkumuliert dort. Die Untersuchung wurde mit quantitativ arbeitenden Fanggeräten (Aeroplanktonsammler – APS) an Flugzeugen in Höhen zwischen 300 ft und 6000 ft (92 m - 1830 m) durchgeführt. Es wurden 2 Fangproben aus unterschiedlichen Höhen eines Fluges miteinander verglichen, wobei meist 500 ft (153 m) als Referenzhöhe galten. Aufgrund der Fangmethode mit dem APS können Angaben zur Größe der Insekten des Aeroplanktons gemacht werden. Die Anzahl der Probenentnahmen über mehrere Jahre im gleichen Luftraum liefern, gegenüber den punktuellen Beobachtungen von Radarmessungen, einen Nachweis über das Artenvorkommen und die regelmäßig erhöhte Individuendichte in der Höhe der Konvektionsgrenzschicht, auch von ungeflügelten und kleinsten Arten. Alle Artengruppen zeigen ein ähnliches Dispersionsverhalten über die Höhe. Das Aeroplankton nimmt nicht kontinuierlich über die Höhe ab. Die Dichte ist nur zunächst in einer Höhe von 3000 ft (915 m) gegenüber einer Höhe von 300 ft – 500 ft um 72% reduziert. Über 3000 ft wird regelmäßig eine Zunahme und Verdichtung des Aeroplanktons an der durchschnittlichen oberen atmosphärischen Grenzschicht 3280 ft (1000 m) mit einem signifikanten Maximum der Individuendichte bei ca. 3500 ft – 4200 ft (1068 m – 1220 m) und einer durchschnittlichen Temperatur von 13,8 °C nachgewiesen. In 3500 ft – 4200 ft übersteigt die Insektendichte gegenüber der Dichte in 300 ft – 500 ft um 48% (Dichtemaximum). Oberhalb des Dichtemaximums bzw. oberhalb von 3500 ft nimmt die Individuendichte wieder ab. In 5000 ft wurden gleiche Dichteverhältnisse wie in 500 ft festgestellt. Insgesamt ist die Insektendichte oberhalb von 3500 ft bis 6000 ft höher als zwischen 300 ft und 3000 ft.

Die Dispersion und Höhenverteilung des Aeroplanktons lässt auf eine Abhängigkeit von der Thermik und ihrem Energiegehalt auch oberhalb der Konvektionsgrenzschicht und des Konvektionskondensationsniveaus (KKN) schließen. Die höhere Dichte wird auch mit der Flugaktivitätsgrenze von 10 °C für Kleininsekten in Verbindung gebracht, weil mit einer durchschnittlichen Temperatur von 7,7 °C die Flugaktivitätsschwelle für Kleininsekten ab 4000 ft (1220 m) bereits unterschritten ist. Mit der Angabe der Individuenzahl pro Fang und des Luftmassendurchsatzes durch die Fanggeräte kann eine mittlere Dichte von 6 Ind./1000 m<sup>3</sup> und im Dichtemaximum von 12 Ind./1000 m<sup>3</sup> errechnet werden. An Hauptflugtagen des Aeroplanktons ist in Einzelfängen die Individuendichte mit 64 Ind./1000 m<sup>3</sup> über das Zehnfache erhöht. Es werden ca. 3 kg Biomasse/km<sup>3</sup> Luft in Form von Aeroplankton erhoben und auf 82 t Biomasse für den Zeitpunkt eines Fangfluges und die Fläche Schleswig-Holsteins hochgerechnet.

**Schlüsselwörter:** Luftplankton, Insekten, planetarische Grenzschicht, atmosphärische Grenzschicht, Konvektionsgrenzschicht, Dispersion, Höhenverteilung

## Einleitung

Neben Feinstpartikeln, wie mineralischem Staub, oder organischem Material, wie Pollen, Pilzsporen und Pflanzensaat, werden auch Tiere, wie Insekten und Spinnen (RICHTER 1970, VUGTS & VAN WINGERDEN 1976, SUTER 1992, SUTER 1999, THORBEC et al. 2002), ihrer Verbreitungsstrategie entsprechend, passiv mit der Thermik und anderen Luftturbulenzen über dem Land in die Höhe getragen und durch Winddrift verfrachtet (AMOS 2001, GREENSTONE et al. 1987, GREENSTONE 1990).

Während Aerosole neben organischen auch anorganische Feinstpartikel der Luft oder elektrische Ladungen als Elektroaerosole mit einschließen, versteht man unter Aerobios die Lebensgemeinschaft des freien Luftraumes (HENTSCHEL & WAGNER 2004). Vom Aerobios bewegen sich die größeren Organismen aus eigener Kraft aktiv und gezielt durch den freien Luftraum. Unter Aeroplankton versteht man die Organismen, die im freien Luftraum lediglich den Schwebezustand erreichen können und ohne aktive Streckenflüge und Richtungsänderungen allein durch Luftbewegungen passiv verdriftet werden (FREEMAN 1945, JOHNSON 1969, ABRAHAM 1970, HEYDEMANN 1997), etwa dem marinen Plankton vergleichbar (RUSSEL 1994). Mit der Winddrift werden so von kleinen Organismen große Distanzen überbrückt. Über die Verbreitung und Zusammensetzung in der Höhe ist jedoch nur wenig bekannt (DRAKE & FARROW 1988, RUSSEL & WILSON 1997). Es gibt Berichte über Insektenvorkommen von Fängen mit dem Flugzeug aus erstaunlichen Höhen von 14 000 ft (4270 m) (COAD 1931, GLICK 1939). COAD (1931) gibt an, dass Kleinschmetterlinge, wie die Baumwollmotte *Pectinophora gossypiella*, Höhen bis 3000 ft (915 m) im aktiven Flug erreichen können. Auch konnte die Windverfrachtung von Schmetterlingsraupen an ihrem Seidenfaden (z.B. *Lymantria dispar* L.) bis in Höhelagen von 4500 ft (ca. 1370 m) nachgewiesen werden, wobei Entfernungen von 19 km für einen Flug belegt sind (WELLINGTON & HENSON 1947, TAYLOR & RELING 1986).

Die Ergebnisse von „Radarentomologen“ über Insekten in großen Höhen sind ursprünglich aus Untersuchungen der Atmosphäre mit dem Wetterradar hervorgegangen. Die Radarentomologen stellen auch an klaren, wolkenlosen Tagen in größeren Höhen der unteren Atmosphäre Radarechos als „fine lines“, „ghost echos“ oder „angel echos“ fest. Die Echos entstehen am Morgen und lösen sich gegen Abend wieder auf (DRAKE & FARROW 1988, McLAUGHLIN 1994, RUSSEL & WILSON 1997, GEERTS & MIAO 2005). Die unterste Schicht der Atmosphäre, die durchschnittlich 3280 ft (1000 m) hohe planetarische Grenzschicht (Planetary Boundary Layer, PBL; Atmosphärische Grenzschicht, Atmospheric Boundary Layer, ABL), ist durch den physikalischen Einfluss der durch Sonneneinstrahlung erwärmten Erdoberfläche (Konvektion) und Ablenkung von Luftmassen an Geländeformationen (Windrichtung, Luftmassenauf- und -abstieg) gekennzeichnet. Die Austauschprozesse in der planetarischen Grenzschicht sind nicht linear, sondern turbulent. In dieser Schicht spielt sich das hauptsächliche Wettergeschehen ab. Sie unterliegt einem starken Wandel, der durch Tagesgang, Wetterlage und Jahreszeit beeinflusst ist. So kann die planetarische Grenzschicht bei hoher solarer Einstrahlung um mehrere hundert Meter anwachsen und z.B. Luftschadstoffe bis in Höhen von 2000 m und mehr transportieren, während sie an anderen Tagen eine Höhe von 100 m nicht überschreitet (LAMMERT 2004). Nach oben grenzt diese Schicht (PBL, ABL) an die Freie Atmosphäre an und tritt dadurch in Wechselwirkung mit der Freien Atmosphäre. Der Übergangsbereich zwischen der turbulenten planetarischen Grenzschicht und der freien Troposphäre ist durch kleinskalige Mischungsprozesse gekennzeichnet und durch die Variabilität der Grenzschicht an sich. Dieser Bereich wird als Entrainmentzone bezeichnet.

Ein Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, konkrete Nachweise zu den Erkenntnissen von Radaruntersuchungen und den Modellen der Verteilung des Zooaeroplanktons über die Höhe in den niederen Luftschichten der Atmosphäre zu erbringen. Durch die Verwendung einer neu entwickelten Fangmethode gehen die Untersuchungshöhen über das mit Drachen zu erreichende Maß von HARDY & MILNE (1938) oder Blimps (WOOD 2007) hinaus.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Studie konzentriert sich auf die Verteilung und Dichte des Aeroplanktons sowie die Abschätzung seiner Massen in der atmosphärischen Grenzschicht und darüber hinaus. Nur der Einsatz eines Luftfahrzeugs erlaubt eine Beschreibung der vertikalen Zonierung des Aeroplanktons im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht und der Entrainmentzone (ISARD et al. 1990). Gegenüber den punktuellen Beobachtungen von Radarmessungen, liefert die vorliegende Untersuchung durch das mechanische Einsammeln von Aeroplankton über einen längeren Zeitraum in Verbindung mit der Flexibilität eines Flugzeugs einen Nachweis über das tatsächliche Artenspektrum innerhalb und oberhalb der planetarischen Grenzschicht. Es werden folgende Fragestellungen bearbeitet: 1) Welche Arthropodenarten bzw. -gruppen kommen überhaupt in und über der planetarischen Grenzschicht vor? 2) Wie verteilen sich Dichte und Masse von Arthropoden in der planetarischen Grenzschicht? 3) Kommen einige Organismengruppen nur in bestimmten Höhen vor oder sind alle gleich verteilt? 4) Welche physikalischen Prozesse sind für die vertikale Verteilung des Aeroplanktons verantwortlich? 5) Können konkrete Parameter der Atmosphäre für das Verteilungsverhalten des Aeroplanktons herausgearbeitet werden? 6) Welche Schlussfolgerungen können zu Dispersionsmechanismen des Aeroplanktons und zur ökologischen Bedeutung abgeleitet werden?

## Methode

Die vorliegende Arbeit behandelt das Aeroplankton über Schleswig-Holstein, in der durchschnittlichen Größenordnung von Kleininsekten unter 0,5 mg (z.B. Blattläuse). Es wurde mit zwei eigens konstruierten, quantitativ arbeitenden Fanggeräten (Aeroplanktonsammler = APS) rechts und links unter den Tragflächen von Kleinflugzeugen des Typs Piper PA18 in Höhen zwischen 300 ft und 6000 ft (90 m - 1830 m) gearbeitet (WEIDEL 2008). Die Höhenangaben werden in Fuß wiedergegeben, weil im Luftverkehr Höhenangaben in Fuß üblich sind und aufgrund der Flugzeuginstrumentierungen nach Fuß geflogen wird (1 ft = 30,5 cm). Das Fanggerät APS besteht aus einem aus Aluminium gefertigten, rechteckigen Gehäuse mit den Ausmaßen Länge = 58 cm, Breite = 34 cm und Höhe = 32 cm. An den Stirnseiten befinden sich die vorderen und hinteren Öffnungs- und Schließmechanismen, sodass das rechteckige Gehäuse im geöffneten Zustand einen Strömungskanal bildet. Im Strömungskanal läuft eine mit einem Elektromotor angetriebene Haftmitteltrommel, deren Achse quer zur Anströmrichtung der Luft angeordnet ist. Über Luftleitbleche wird der Fahrtwind trichterförmig auf die Trommel konzentriert. Weil mit einem Haftmittel gearbeitet wurde, das die auftreffenden Organismen mit allen Extremitäten sofort fixierte, blieb das Fanggut zur Identifizierung weitestgehend vollständig. Bei einer Fangzeit von exakt 1 Std. wurde ein APS von 1290 m<sup>3</sup> Luft durchströmt. Danach wurde die Höhe gewechselt und der zweite APS für exakt 1 Std. geöffnet. Die angewandte Fangmethode lässt gegenüber Netzfängen auch den Fang von kleinsten, überhaupt vorkommenden Insektenarten zu.

Die Probennahmen von Aeroplankton verteilten sich über die Jahre 1998 - 2004. Bei einzelnen Testflügen im April wurde noch kein Aeroplankton festgestellt. Die Flüge wurden ausschließlich in der warmen Jahreszeit zwischen Mai und Oktober mit Schwerpunkt Juli/August durchgeführt. Weil das Flugverhalten von Insekten tageszeitlich abhängig von Temperatur, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit ist (ABRAHAM 1975a, 1975b), wurden die Aeroplanktonfänge meist zur wärmsten und strahlungsreichsten Tageszeit gegen Mittag oder frühen Nachmittag durchgeführt. Während der Flüge wurde die Temperatur in der jeweiligen Fanghöhe unmittelbar am APS gemessen sowie ein Protokoll über weitere Wetterdaten gefertigt. Die Flüge fanden unter, zwischen und über den Wolken statt.

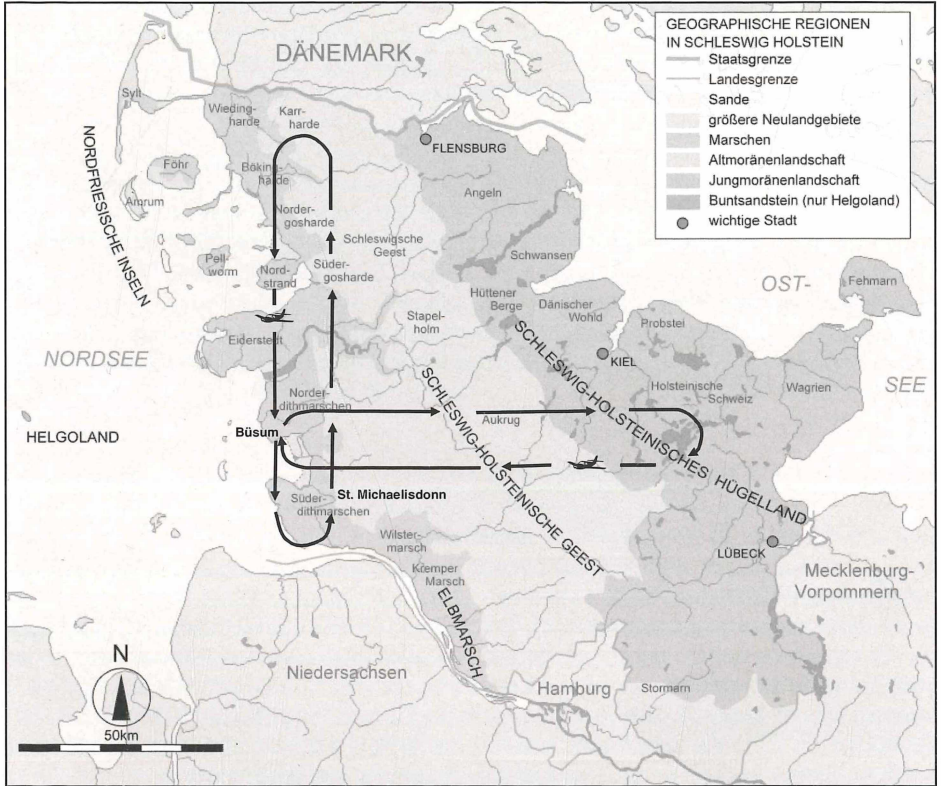


Abb. 1: Flugrouten 1998 bis 2002 in Nord-Süd-Richtung und Flugrouten 2003 bis 2004 in Ost-West-Richtung (Karte verändert nach Wikipedia GNU Free Documentantion).

Ausgangspunkte für die Untersuchung waren die Flugplätze Heide-Büsum und St. Michaelisdonn an der Westküste Schleswig-Holsteins. Ausgehend von den o.g. Flugplätzen wurden langgezogene Race-track-pattern in Nord-Süd-Richtung landseitig und seeseitig des Küstenstreifens an der Nordsee sowie Race-track-pattern über dem Binnenland in Ost-West-Richtung, von der Westküste bis über die Plöner Seenplatte im Östlichen Hügelland nahe der Lübecker Bucht geflogen (Abb. 1).

Für die Auswertungen in dieser Arbeit wurden folgende Höhenstufen zusammengefasst: 300 - 500 ft, 600 - 1000 ft, 2000 - 2500 ft, >2500 - 3000 ft, 3500 - 4200 ft, 4500 - 6000 ft. Die beiden Fangproben aus unterschiedlichen Höhenstufen eines Fluges werden mit-

einander verglichen, wobei die unterste 1. Fanghöhe von 500 ft als Referenzhöhe gilt. Die Fangproben und Messergebnisse aller Flüge werden zusammengefasst und als Gesamtübersicht in einem Jahresverlauf dargestellt.

Je nach Wellenlänge des Radars und der Größe sowie Gewicht der Insekten werden verschiedene Dichten des Aeroplanktons diskutiert. Nach GEERTS & MIAO (2005) sind Dichten von 1 Ind./0,3 – 3 m<sup>3</sup>, 1 Ind./100 m<sup>3</sup>, 1 Ind./30-300 m<sup>3</sup> und 1 Ind./1000 m<sup>3</sup> bekannt. Ihre eigenen Ergebnisse liegen bei 1 Ind./m<sup>3</sup> im Zentrum der Radarechos und 1 Ind./100 - 1000 m<sup>3</sup> im Hintergrund der Radarechos. Auf der Grundlage des Luftmassendurchsatzes von 1290 m<sup>3</sup>/h, die durch die APS strömten, konnten die Aeroplanktonfänge quantitativ ausgewertet werden. Für die Berechnung der Biomasse wird ein durchschnittliches Gewicht 0,5 mg/Ind. angenommen

Die Temperaturwerte waren normal verteilt und konnten mit einer einfaktoriellen ANOVA statistisch analysiert werden. Die Fangergebnisse der Tiere waren nicht normal verteilt. Daher wurden sie statistisch mit der Kruskal-Wallis ANOVA ausgewertet. Hierfür wurde das Programm Statistica 6 verwendet (STATSOFT 2004)

Zur Bestimmung der Insekten wurde die Gruppe der Coleoptera und Araneida von Herrn Prof. Dr. U. Irmeler des Institutes für Ökosystemforschung der Universität Kiel übernommen. Die Diptera wurden von Herrn Dr. H. Meyer vom Institut für Ökosystemforschung der Universität Kiel und die Hymenoptera von Herrn Prof. Dr. R. Abraham (Universität Hamburg) durchgesehen. Die Gruppen Psocoptera, Psyllina, Formicidae und Heteroptera wurden vom Autor der vorliegenden Arbeit selbst nach OSSIANNILSSON (1992), GÜNTHER (1974), SMITHERS (1990), BROHMER (2006) und STRESEMANN (2000) bearbeitet (Anhang Tab. 2). Die Gruppen der Aphidina, Thysanoptera und Collembola wurden nicht näher bestimmt.

## Ergebnisse

### Temperaturprofil

Die in den Fanghöhen gemessenen, in 1000 ft Stufen  $\pm$  500 ft zusammengefassten mittleren Temperaturen aller Fangflüge geben den durchschnittlichen, klassischen Verlauf eines Temperaturprofils in der planetarischen Grenzschicht an einem Schönwettertag im Sommer wieder (Abb. 2). Die Gruppenwerte im Temperaturprofil sind mit  $p < 0,001$  signifikant (F: 7,9). Vor den Starts wurden am Boden die höchsten Temperaturen von durchschnittlich 21,7 °C gemessen. Bis 1000 ft gingen die Temperaturen um 4,6 °C auf mittlere 17,1 °C zurück. Oberhalb von 1000 ft blieben die gemittelten Temperaturen bis 3000 ft zwischen 17,1°C und 17,8 °C nahezu konstant (Höhendifferenz 2000 ft = 610 m). Zwischen 3000 ft bis 4000 ft wurde ein deutlicher Temperaturrückgang um 9,5 °C, von 17,2 °C in 3000 ft auf 7,7 °C in 4000 ft gemessen (Höhendifferenz 1000 ft = 305 m). Noch in 3500 ft Höhe lagen die Temperaturen durchschnittlich bei 13,8 °C. Zwischen 3500 ft bis 4000 ft erfolgt innerhalb von nur 500 ft (150 m) Höhendifferenz ein signifikanter Temperaturrückgang um 6,1 °C auf gemittelte 7,7 °C. Oberhalb von 4000 ft erhöhten sich die Temperaturen leicht von durchschnittlich 7,7 °C in 4000 ft auf 9,6 °C in 5000 ft (Warmluftüberschichtung = Inversionskennzeichen) und gingen dann erneut auf 7,1 °C in 6000 ft zurück.

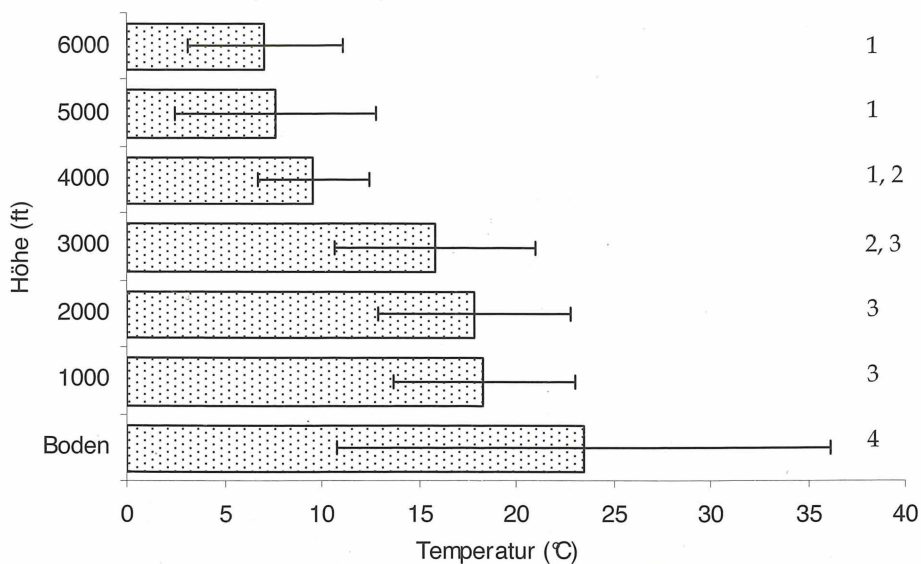


Abb. 2: Temperaturprofil gemittelter Messwerte während der Fangflüge von Bodennähe (Meereshöhe) bis 6000 ft (1830 m) Höhe; unterschiedliche Zahlen geben signifikant unterschiedliche Gruppen nach ANOVA wieder.

### Individuendichte und Biomasse

Aus 53 Fangflügen konnten 103 auswertbare Fangproben gewonnen werden. Das Gesamtaeroplankton nimmt nicht kontinuierlich über die Höhe ab (Abb. 3). Die Dichte wird zunächst bis 3000 ft (915 m), aufgrund der Verteilung über den Raum, um 72% gegenüber der Dichte in 500 ft reduziert. Deutlich abgegrenzt wird innerhalb weniger Höhenmeter eine markante Zunahme und Verdichtung des Aeroplanktons um das 5,3fache an der durchschnittlichen, oberen atmosphärischen Grenzschicht (1000 m = 3280 ft) mit einem signifikanten Maximum der Individuendichte bei ca. 3500 ft (1070 m) – 4200 ft (1280 m) nachgewiesen (Entrainmentzone, Abb. 3). Nach dem Kruskal-Wallis-Test sind die Höhenunterschiede signifikant:  $H(5, N=103) = 12,65, p=0,027$ .

In 3500 ft lag die Insektdichte gegenüber der Dichte in 500 ft um 48% höher (Dichtemaximum). Oberhalb des Dichtemaximums bzw. oberhalb von 3500 ft – 4200 ft nahm die Dichte des Aeroplanktons im Vergleich zur Höhe von 500 ft auf einem Niveau einer höheren Dichte wieder ab. In 4500 ft – 6000 ft wurden fast die gleichen Dichteverhältnisse wie in 300 ft – 500 ft festgestellt. Insgesamt war die Insektdichte oberhalb des Dichtemaximums von 3500 ft bis 6000 ft höher als unterhalb des Dichtemaximums zwischen 500 ft und 3000 ft (Abb. 3).

Auch bei den einzelnen Flügen spiegelte der relative Unterschied zwischen der Referenzhöhe bei 500 ft und der Flughöhe über 3500 ft bereits das Gesamtergebnis mit einer höheren Dichte in den oberen Höhenstufen wider. In 58 % der Fälle fielen die Individuenzahlen in den Höhen der zweiten Fangprobe, gegenüber der 1. Fangprobe aus der Referenzhöhe von 500 ft, gleichhoch oder höher aus. Obwohl viele Pflanzenarten ausge-



klügelte Anpassungen für die Windverbreitung entwickelt haben, wurden, außer gelegentlichem Grasschnitt in zwei Fällen, keine Pflanzenreste mit den APS aufgenommen.

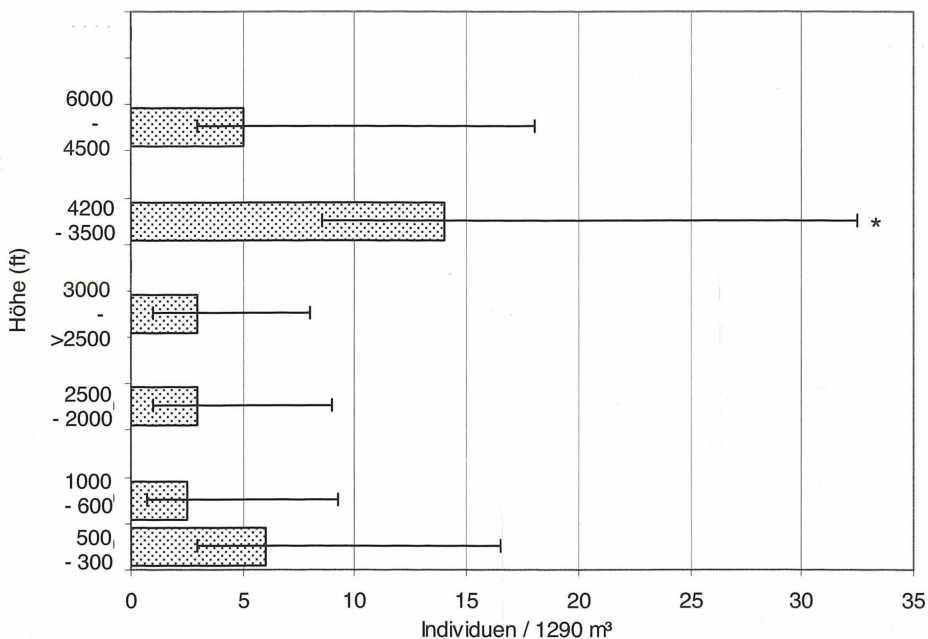


Abb. 3 Mediane sowie untere und obere Quartile der Individuendichte in Abhängigkeit von der Höhe; \* markiert signifikanten Unterschied ( $p < 0,05$ ) zu den übrigen Gruppen nach Kruskal-Wallis Test mit Bonferroni Korrektur.

### Artengruppen und ihre Häufigkeiten

Es haben sich überwiegend kleine und kleinste Insekten sowie aeronautische Spinnen in den Fangproben befunden. Folgende Artengruppen wurden festgestellt:

Hautflügler (Hymenoptera): Erzwespen (Chalcidoidea): Zwergwespen (Mymaridae), Encyrtidae, Eulophidae, Pteromalidae, Torymidae, Aphelinidae, Blattlauswespen (Aphidiidae), Brackwespen (Braconidae), Zehrwespen (Proctotrupoidea): Ceraphronidae, Platygasteridae, Gallwespen (Cynipoidea): Eucoilidae, Ameisen (Formicoidea);

Fliegen (Brachycera): Dungfliegen (Sphaeroceridae) Schwingfliegen (Sepsidae), Buckeltanzfliegen (Hybotidae), Buckelfliegen, Rennfliegen (Phoridae), Schwebfliegen (Syrphidae), Obst-, Essig-, Taufiegen (Drosophilidae);

Mücken (Nematocera): Trauermücken (Sciaridae), Gallmücken (Cecidomyiidae), Zuckmücken (Chironomidae), Dungmücken (Scatopsidae), Schmetterlingsmücken (Psychodidae), Gnitzen (Ceratopogonidae), Haarmücken (Bibionidae), Pilzmücken (Mycetophilidae);

Käfer (Coleoptera): Kurzflügler (Staphylinidae), Moderkäfer (Lathridiidae), Wasserkäfer (Hydrophilidae), Laufkäfer (Carabidae), Glanzkäfer (Nitidulidae), Federflügler (Ptiliidae);

Blattflöhe (Psyllidae): Triozidae;

Zikaden (Auchenorrhyncha): Spornzikaden (Delphacidae);



Rindenläuse, Staubläuse (Psocoptera): Staubläuse (Lachesillidae), Stenopsocidae;

Wanzen (Heteroptera): Langwanzen, Bodenwanzen (Lygaeidae);

Blattläuse (Aphidina): unbearbeitet;

Fransenflügler (Thysanoptera): unbearbeitet;

Springschwänze (Colembola): unbearbeitet;

Spinnen (Araneida): Baldachinspinnen (Linyphiidae), Kugelspinnen, Haubennetzspinnen (Theridiidae, oftmals Jungtiere und nicht bestimmbar)

Von der Gesamtindividuenzahl war unter den geflügelten Insekten die Gruppe der Blattläuse (Aphidina) mit 240 Individuen bzw. einem prozentualen Anteil von 29% am stärksten vertreten (Abb. 4). Als zweitgrößte Gruppe folgten die Fransenflügler (Thysanoptera) mit 137 (13%) Individuen. Unter den Dipteren waren unterschiedliche Mückenarten (Nematocera) mit 123 Individuen (15%) und die Fliegen (Brachycera) mit 78 Individuen (10%) vertreten. Nennenswert waren die Vorkommen der Hautflügler (Hymenoptera) mit 103 Individuen, die sich hauptsächlich aus Apocrita zusammensetzten. Unter den Käfern (Coleoptera), die mit 56 Individuen (7%) vertreten waren, überwogen anteilmäßig die Kurzflügelkäfer (Staphylinidae). Regelmäßige Vorkommen in der Höhe konnten von den Blattflöhen (Psyllina) mit 25 Individuen (3%) und den Staubläusen (Psocoptera) mit 11 Individuen (1%) nachgewiesen werden (Tab. 1). Flügellose Arthropoden kamen mit 32 Spinnen (4%) und 7 Springschwänzen (Collembola) (< 1%) im Fanggut vor. Eine genauere Liste der erfassten Arten und Artengruppen gibt Tabelle 2 im Anhang wieder.

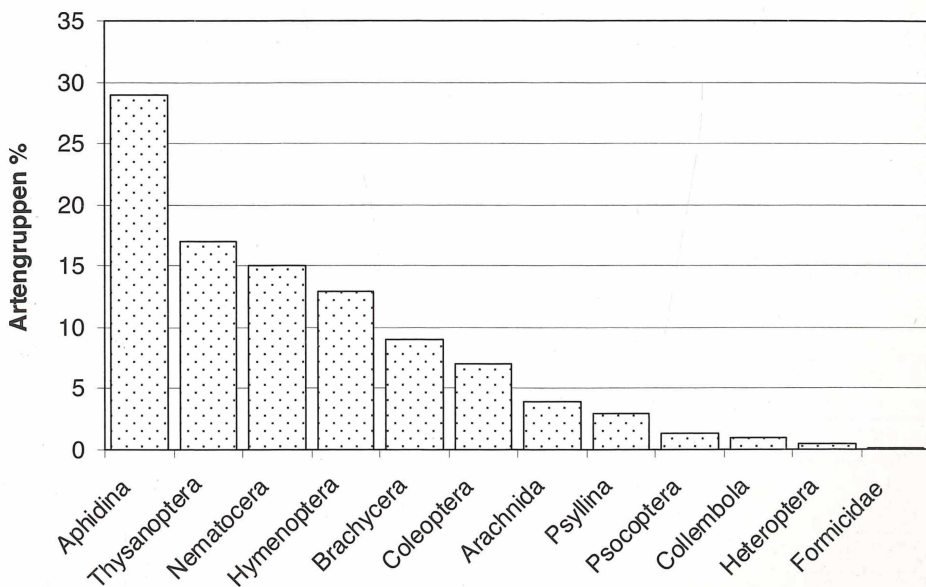


Abb. 4 Prozentuale Zusammensetzung der im Aeroplankton vorkommenden Artengruppen.

Die größten und schwersten in dieser Untersuchung vorkommenden Arten des Aeroplanktons waren unter den Hymenoptera mit einer geflügelten Ameise (Formicidae, *Lasius flavus* F.) 7,0 mm aus 600 ft Höhe und 2 Syrphidae (9,0 mm) aus 600 ft Höhe zu

finden. 4 Wanzen (4,0 mm) ausschließlich derselben Art (Heteroptera; Lygaeidae, *Kleidocerys resedae* Panz.) wurden in Höhen zwischen 500 ft bis 5000 ft gefangen. Unter den Staphyliniden wurden nicht nur kleine Formen, sondern auch größere Exemplare von 9,2 mm, z.B. *Philonthus carbonarius* (GRAV.) und *Philonthus cognatus* STEPH., erfasst.

### Verteilungsmuster der Artengruppen in der Höhe

Betrachtet man die Verteilungsmuster der Individuendichte in den einzelnen Artengruppen, ergibt sich für die meisten Gruppen ein ähnliches Bild wie im Verteilungsdiagramm der Gesamtindividuen (Abb. 3). Die Individuenzahlen der meisten Artengruppen nehmen bis 3000 ft kontinuierlich ab, erreichen aber dann ein Maximum im Bereich um 3500 ft – 4200 ft (Tab. 1) Auch die flügellosen Arten, wie die aeronautischen Spinnen (Araneida), wurden in der Höhe um 3500 ft – 4200 ft mit maximaler Individuenzahl festgestellt, obwohl hier eine realistische Beurteilung aufgrund der geringen Individuenzahl auch kritisch gesehen werden kann. Die Staubläuse (Psocoptera) und die Blattflöhe (Psyllina) weisen (auch aufgrund ihrer geringen Individuenzahl) nicht die o.g. Verteilung über die Höhe auf. Dennoch tauchten beide Gruppen regelmäßig in allen Höhenbereichen auf. Springschwänze (Collembola) wurden, wenn auch in sehr geringen Individuenzahlen, bis in einer Höhe von 3000 ft vorgefunden.

Tabelle 1: Verteilung der mittleren Dichte (Ind./1290 m<sup>3</sup>) der Artengruppen über die Höhe mit Erhöhung der Dichte im Bereich 3500 ft.; highest value of each group underlined

Höhe (ft)	Höhe (m)	Aphidina	Thysanoptera	Nematocera	Hymenoptera	Brachycera	Coleoptera	Arachnidae	Psyllina	Psocoptera
300	91	2,40	.	0,60	0,80	1,40	0,20	.	0,80	.
330	101	1,00	.	.	.	1,00	0,00	.	<u>2,00</u>	.
500	152	4,00	2,00	1,70	1,26	0,56	0,59	0,44	0,19	0,30
600	183	1,50	0,50	1,00	1,00	0,50	.	.	0,50	<u>0,50</u>
1000	305	1,10	0,40	1,10	0,60	0,75	0,45	0,20	0,05	0,00
2000	610	0,83	0,33	1,17	0,67	0,50	.	.	.	.
2100	640	1,00	2,33	0,33	0,33	0,33	0,00	.	0,33	.
2500	762	2,00	.	1,00	.	.	.	.	1,00	.
3000	914	0,40	0,10	0,20	0,80	0,70	0,10	.	0,40	.
3300	1006	1,50	3,00	<u>3,00</u>	<u>2,00</u>	0,50	0,25	.	0,25	0,25
3500	1067	<u>4,50</u>	1,50	2,50	1,50	<u>4,50</u>	0,50	<u>5,50</u>	1,00	.
3800	1158	0,00	4,00	1,00	<u>2,00</u>	1,00	<u>6,00</u>	0,00	0,00	.
4000	1219	3,00	1,67	0,33	1,67	0,00	5,33	0,33	0,33	.
4200	1280	1,00	<u>10,00</u>	.	1,00	.	.	.	.	.
4500	1372	0,50	.	.	.	.	.	.	.	.
5000	1524	4,17	1,75	1,33	1,58	1,08	0,33	0,33	0,17	.
6000	1829	1,33	3,00	1,33	0,33	0,67	0,33	.	.	0,33

## Diskussion

### Aeroplankton und Thermik

Turbulenz kommt in der Atmosphäre in Skalen von wenigen Millimetern bis zu einigen 1000 Kilometern vor. Thermik (Konvektion) ist eine besondere Form von Turbulenz, die meist von lokalen Temperaturunterschieden erzeugt wird. Die Aufwinde in der Thermik entstehen durch die Erwärmung des Erdbodens und der bodennahen Luft durch die Sonneneinstrahlung. Am Erdboden lösen sich konvektive Elemente als sogenannte „Thermikblasen“ ab. Die Erwärmung der Erdoberfläche wird durch eine große Zahl von Parametern beeinflusst. Die verfügbare Einstrahlung hängt von der geographischen Breite, der Jahreszeit, der Tageszeit, dem Bedeckungsgrad und der Lufttrübung ab. Gleichzeitig bestimmen die Exposition der bestrahlten Fläche und die Eigenschaften des Erdbodens (Bodentyp, Albedo, Feuchtegehalt und Vegetation) den Wärmebetrag, der übrig bleibt, um die thermische Konvektion anzutreiben (HAFNER 1993, ISARD & GAGE 2001). Bei schwacher Thermik beträgt die mittlere Steiggeschwindigkeit bis 1 m/sec, und die Obergrenze der Konvektionsschicht erreicht durchschnittlich eine Höhe bis 1000 m über Grund (planetarische Grenzschicht). In der Luftfahrt spricht man in einer Werteskala von schwacher (bis 1m/sec), mäßiger (bis 2,5 m/sec), guter (bis 5 m/sec) und bei Werten über 5 m/sec von sehr guter Thermik. Die Obergrenze der Konvektionsschicht kann bei Aufwindgeschwindigkeiten über 5 m/sec Höhen über 2000 m erreichen (HAFNER 1993). Mit Eintritt der Thermik in die obere Konvektionsgrenzschicht (Entrainmentzone) lässt der Auftrieb der Warmluft durch Temperaturengleich nach und die Thermikblasen lösen sich auf.

IRMLER (1998) stellte mit Fensterfallen über Höhengradienten bis 27 m im Bereich der Børnhöveder Seenkette in Schleswig-Holstein fest, dass die meisten flugaktiven Coleoptera in Wäldern aus der Familie der Staphylinidae stammen. Auch im Aeroplankton stellen die Staphylinidae mit Abstand die größte Gruppe der Coleoptera bis in große Höhen von 5000 ft.

Um in den Genuss des Thermikaufstieges zu kommen sind die Arten des Aeroplanktons an die Aufwinde der Thermik angepasst. Im Zusammenhang mit der geringen Größe des Aeroplanktons und dem Zähigkeits- und Trägheitswiderstand gegenüber der Luft (kleine Reynoldszahl) können die Flügel von Kleininsekten eher als widerstandsvergrößernde Auftriebshilfen, denn als Tragflügel beschrieben werden (z.B. Fransenflügler, Federflügler). Andere Auftriebshilfen können die Spinnfäden von Raupen oder Spinnen sein. Alle über die Höhe mit unterschiedlichen Auftriebshilfen nachgewiesenen Artengruppen weisen ähnliche Verteilungsmuster wie die Gesamtheit aller Individuen auf. Einmal durch artenspezifische Verhaltensweisen und Startaktivitäten aus der Bodengrenzschicht (surface layer) über die Baumwipfelhöhe in die darüberliegende atmosphärische Grenzschicht gelangt, haben die Kleininsekten den Aufwinden der Thermik nur ihr Eigengewicht entgegenzusetzen und werden in die Höhe getragen. Alle Artengruppen, auch die Gruppen mit vergleichsweise wenig gefangenen Individuen, wie z.B. die Blattflöhe und Staubläuse, konnten über fast alle Fanghöhen bis in 5000 ft und 6000 ft nachgewiesen werden. Aus den sich ähnelnden Verteilungsmustern der Organismengruppen, die in der Stufe von 3500 ft – 4200 ft ihr Dichtemaximum haben, lässt sich ableiten, dass in der planetarischen Grenzschicht geflügelte und ungeflügelte Formen des verdrifteten Aeroplanktons den gleichen Dispersionsmechanismen durch Konvektionsströme und Turbulenzen unterliegen.

Der Nachweis eines Dichtemaximums des Aeroplanktons an der Obergrenze der durchschnittlichen planetarischen Grenzschicht und die Ausdünnung der Dispersion mit zunehmender Höhe und nachlassender Thermik oberhalb des durchschnittlichen Konvek-

tionsgeschehens, lässt auf eine Abhängigkeit des Vorkommens von Aeroplankton in der Höhe von der Häufigkeit und dem Energiegehalt der Thermik schließen. Nur wenn genug Energie in den Thermikblasen enthalten ist, kann auch das Aeroplankton über die Konvektionsgrenzschicht, d.h. über die planetarische Grenzschicht und Entrainmentzone hinaus, in stabile Inversionsschichten hineingetragen werden.

Oberhalb der planetarischen Grenzschicht kann das Aeroplankton ohne Thermik aus eigener Kraft, aufgrund von Abkühlung sowie Austausch- und Absinkvorgängen der Luft, nicht weiter aufsteigen bzw. wird abwärts transportiert. Geraten die Tiere mit Abkühlung und Absinkvorgängen wieder in niedrigere Bereiche mit aufsteigenden, insektenbeladenen Thermikblasen, wird das Aeroplankton mit dem von unten kommenden Plankton angereichert und zusammen mit der Thermik erneut in die Höhe getragen. Durch das wiederholte Auf- und Absteigen in der Entrainmentzone kommt es zu einer Ansammlung und einem Dichtemaximum des Aeroplanktons im Durchmischungsreich (Entrainmentzone) an der Obergrenze der planetarischen Grenzschicht.

Die Variabilität der Höhe der planetarischen Grenzschicht und der Wärmeenergie lassen Thermikblasen unterschiedlich hoch aufsteigen, sodass auch das Aeroplankton in Einzelfällen viel weiter in die Höhe getragen werden kann als hier untersucht wurde. Aber es kann auch in umgekehrten Einzelfällen in niedrigeren Höhen sein Dichtemaximum erreichen. Das Ergebnis des feuchtadiabatischen Aufstiegs von Thermikblasen sind Wolken in der Höhe des Konvektionskondensationsniveau's (KKN). Im Sichtflugverkehr wurde für die Untersuchung ausschließlich außerhalb von Wolken geflogen. Es kann vermutet werden, dass sich innerhalb von Wolken andere Organismendichten verbergen (WEIDEL 2008).

### **Aeroplankton und Temperatur**

Die Flugaktivitätsgrenze von Kleininsekten liegt bei 10 °C. Projiziert man den Verlauf der Individuendichte in den Temperaturverlauf über die gesamte Untersuchungshöhe von 300 ft bis 6000 ft, so fallen die durchschnittliche Höhe der planetarischen Grenzschicht, das Individuendichtemaximum und der Temperaturübergangsbereich unter die 10 °C-Grenze bei ca. 3500 ft zusammen (Abb. 5).

Mit einer durchschnittlichen Temperatur von 7,7 °C ist die Flugaktivitätsschwelle für Kleininsekten (10 °C) ab ca. 3500 ft - 4200 ft unterschritten. Für die Obergrenze der planetarischen Grenzschicht wurde während der Flüge vereinzelt festgestellt, dass die Organismen des Aeroplanktons spät im Jahr (Oktober) nach den ersten Bodenfrösten an der Obergrenze der planetarischen Grenzschicht in Bereiche unterhalb des Gefrierpunktes gerieten, während am Boden vor Abflug gegen Mittag bereits Temperaturen über der 10 °C-Flugaktivitätsgrenze für Kleininsekten herrschten. Weil bei Unterschreitung des Grenzwertes von 10 °C die Tiere den Flügelschlag einstellen, kann die höhere Dichte an der Obergrenze der planetarischen Grenzschicht auch mit der Flugaktivitätsgrenze von 10 °C für Kleininsekten in Verbindung gebracht werden. Maximale Sinkraten von Kleininsekten werden je nach Art mit 1 - 2 m/sec angenommen (PEDGLEY et al. 1982). THOMAS et al. (1977) stellten im Labor fest, dass Blattläuse mit einem durchschnittlichen Gewicht von 0,49 mg mit angelegten Flügeln eine Fallgeschwindigkeit von 1,78 m/s und mit ausgebreiteten Flügeln von 0,82 m/sec erreichen können. Im aktiven Sinkflug erlangen die Tiere mit dem Abdomen voran eine maximale Abwärtsgeschwindigkeit von 0,70 m/sec. Da Thermik hingegen sehr viel höhere Aufwindgeschwindigkeiten beinhalten kann, sind die Tiere immer wieder, sozusagen im Gegenstromverkehr, den insektenbeladenen Aufwinden entgegen ihrer maximal möglichen Sinkrate ausgesetzt. Die Tiere werden von den aufsteigenden Thermikblasen in der Schwebelage gehalten, bzw. immer

wieder emporgehoben. Es kommt zur Akkumulation des Aeroplanktons, selbst wenn der Flügelschlag unter 10 °C eingestellt wird und die Flügel angelegt sind. Geraten die Tiere durch Absinkvorgänge wieder in niedrigere Höhenbereiche mit Temperaturen über 10 °C, kann der Flügelschlag erneut einsetzen und erneut den Schwebезustand unterstützen. Schmetterlingsraupen und Spinnen können ihr Schwebevermögen über die Länge ihres Spinnfadens beeinflussen (Ballooning). Die Organismen des Aeroplanktons nutzen aktiv, mit Hilfe ihrer unterschiedlichen Auftriebshilfen, Thermik und Temperatur als begrenzte Steuermechanismen zum energiesparenden, längeren Transport an der Obergrenze der planetarischen Grenzschicht. Mit Nachlassen der Sonneneinstrahlung gegen Abend und Auflösen der Thermik sinkt das Aeroplankton wieder zu Boden - die von den Radarentomologen festgestellten „ghost echos“ bzw. „angel echo’s“ der Radarentomologen verschwinden.

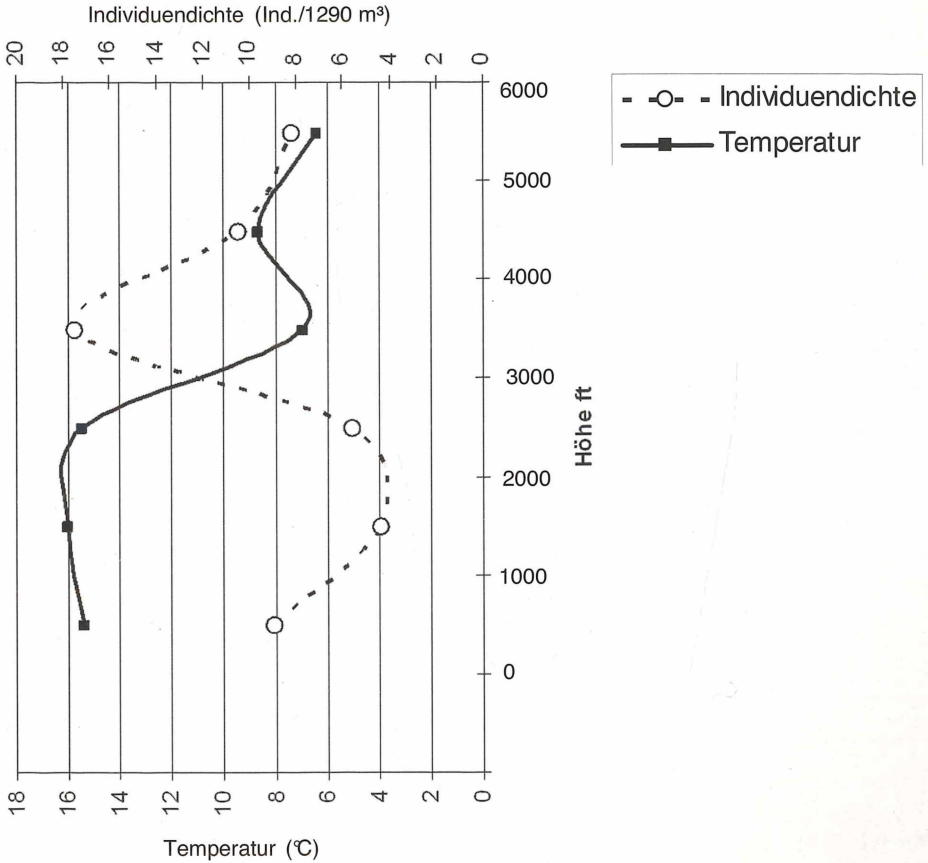


Abb. 5: Gemeinsame Darstellung des mittleren Temperaturverlaufes in °C und der durchschnittlichen Individuendichte von 300 ft bis 6000 ft.

Die Fallgeschwindigkeit von Saatgut beträgt durchschnittlich 1 m/sec und die Reichweiten sind nur gering (NATHAN et al. 2005). Dass die eingeschränkten, motorischen Aktivitäten des zoologischen Aeroplanktons schon in Bodennähe gegenüber dem Saatgut einen großen Vorteil für den Transport mit der Thermik bieten, belegt das fast völlige

Fehlen von pflanzlichem Material in den Aeroplanktonsammlern in allen Fanghöhen. Im Gegensatz zu den Pflanzenresten unterstützt das Zooaeroplankton durch Start-, Flug- und Sinkaktivitäten seine Verbreitung über große Höhen. Das Zooaeroplankton hat mit dem längeren Aufenthalt und stärkeren Windverhältnissen in großer Höhe sehr viel chancenreichere Dispersionsmöglichkeiten über große Entfernungen als das Saatgut.

### Fazit

Dispersion ist trotz großer Verluste für Kleininsekten eine äußerst erfolgreiche und effektive Strategie zur Verbreitung (GATEHOUSE 1997). Das Überleben der Kleininsektenpopulationen ist auf die Verbreitung über große Höhen eingestellt. Meist ist der Dispersionsmechanismus nicht aufgrund des Weges über große Höhen letal, sondern aufgrund des Transportes in unpassende Lebensräume (JOHNSON 1969). Die Dispersion muss kollektiv gesehen werden und nicht auf das einzelne Individuum bezogen. JOHNSON (1969) sieht die Verbreitung über große Höhen als adaptiv an, weil geflügelte Arten an ihre Verbreitungsform durch aktive Nutzung ihrer Flügel angepasst sind. Offensichtlich ist für die Populationen oder Teile von ihnen das adaptive Verhalten, die Erdoberfläche nach geeigneten Habitaten „Abzuscannen“, zur Arterhaltung so erfolgreich, dass große Verluste in Kauf genommen werden. Lebensräume können durch Ausschwärmen immer wieder neu besiedelt werden, z.B. nach Bränden oder Überflutungen. So werden die Halligen an der Westküste Schleswig-Holsteins 3 - 5 km vom Festland entfernt, auf denen endemische Arten fehlen, durch 2 - 3 mm kleine Hymenoptera (Pteromalidae) regelmäßig neu besiedelt (ABRAHAM 1971). Auf 30 - 40 km von der Küste entfernten Feuerschiffen in der Nordsee sind die überwiegend mehr weiblichen Pteromalidae nach dem Flug aktiv, damit sie nach Eintreffen ihres zufällig erreichten Zielgebietes aktiv nach Nahrung und Wirten für die Eiablage suchen können. Auch durch Spinnen findet immer wieder eine Rekolonialisierung freigewordener Habitats statt (GREENSTONE 1990, SUTER 1999).

Weil in den letzten Jahren in der Meteorologie Grenzschichten mit immer mehr Interesse verfolgt werden, kann die Beobachtung des Aeroplanktons zum weiteren Verständnis und Klärung von Windmodellen (airflow pattern) und biologischen Transportprozessen in der Atmosphäre beitragen. Die Beobachtung des Aeroplanktons kann zur Dokumentation von Veränderungsprozessen im Rahmen des Klimawandels und zur Vorbereitung für Land- und Forstwirtschaft auf ökologische Begleiterscheinungen des Klimawandels beitragen.

### Danksagung

Sehr zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Prof. Dr. Franciscus Colijn für die Unterstützung und die Bereitschaft, die Arbeit am Technologiezentrum Westküste in Büsum durchführen und die technischen Einrichtungen des Institutes nutzen zu dürfen. Herrn Dr. Karl Hesse danke ich für die Anregungen, die Unterstützung und Ermutigung, meinen langgehegten Wunsch zur Untersuchung des Aeroplanktons umzusetzen. Dr. Thomas Tischler danke ich für die Betreuung, Gespräche und Durchsicht der Arbeit. Burkhard Meier, dem „genialen“ Techniker, danke ich für die Umsetzung der technischen Idee und die Realisierung des ersten Prototyps eines Aeroplanktonsammlers aus Holz. Janine Geisler half mir bei den ersten Funktionsprüfungen mit dem Prototypen mit erdgebundenen Fahrzeugen. Uwe Lentz des IFM der Universität Kiel bewies viel Geduld für die endgültigen Nachbauten und Nachbesserungen der Fanggeräte aus Metall. Meinem ehemaligen Berufsschullehrer Herrn von Ahlen von der Staatlichen Gewerbeschule für Fertigungs- und Flugzeugtechnik in Hamburg bin ich sehr verbunden für die Nutzungsmöglichkeit



des Windkanals und die Simulation der Strömungsverhältnisse an den Fanggeräten. Herrn Dipl. Ing. Bernhard Hinz danke ich für die Berechnung der Lastannahmen am Flugzeug durch die Aeroplanktonsammler. Herrn Siebenborn, luftfahrtechnischer Betrieb AVIATEC in Lübeck, übernahm den Bau und die Anpassung der Halterungen für die Anbringung der Fanggeräte an die Luftfahrzeuge und trat als Prüfer für den Aeroplanktonsammler als eigenständig genehmigtes Luftfahrtgerät auf. Dank geht an Herrn Jens Grafs von der luftfahrtechnischen Oscar Ursinus Stiftung. Mit ihm verkürzte sich die Unterbrechung für das Genehmigungsverfahren der Anbringung der Aeroplanktonsammler an den Luftfahrtgeräten (2001/2002) inmitten der Probennahme und Fangflüge auf nur ein Jahr. Danke für seine Hilfestellung bei der Entwicklung des Flugerprobungsprogramms, beim Verfassen des Flughandbuches sowie sein Einsatz als Testpilot. Auch Norbert Kruse und Mark Riemann danke ich für die Bereitstellung ihres Flugzeuges D-EKYL, das 2002 in Dänemark leider, glücklicherweise ohne Personenschäden, verloren ging. Dem Flugsportclub Heide-Büsum danke ich für die Nutzungsmöglichkeit der D-ECQA, insbesondere Herrn Fritz Yung, der mir die Spornradfliegerei beibrachte, sowie Hans-Joachim Knobloch. Beide Vereinskameraden haben immer zu mir und meiner Unternehmung gestanden. Unbekannterweise danke ich Herrn Düsing vom Luftfahrt Bundesamt, der das Genehmigungsverfahren wohlwollend mit mir durchführte.

Prof. Dr. Ulrich Irmeler und Herrn Dr. Hans Meyer des Instituts für Ökosystemforschung der Universität Kiel bin ich für die Bearbeitung der Arachniden, Coleopteren und Dipteren und insbesondere für die kritische Durchsicht des Manuskriptes zu Dank verpflichtet. Meinem ehemaligen akademischen Lehrer Herrn Prof. Dr. Rudolf Abraham von der Universität Hamburg danke ich für die Übernahme der Bestimmung der Hymenopteren. Herrn Dr. Markus Quante des GKSS-Forschungszentrums in Geesthacht danke ich für die Beurteilung des meteorologischen Teils. Alle genannten Personen haben im Wesentlichen auf ihre Weise zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

### Literatur

- ABRAHAM R. (1970): Ökologische Untersuchungen an Pteromaliden (Hymenoptera, Chalcidoidea) im Grenzraum Land - Meer an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins. *Oecologia* (Berl.) 6, 15-47.
- ABRAHAM R. (1971): Zur Bionomie und Ökologie der Pteromalidae (Ins., Hymenoptera) an der Nordseeküste von Schleswig-Holstein. *Faun. Ökol. Mitt.* 4, 40-47.
- ABRAHAM R. (1975a): Über die Wirkung der Temperatur auf die Flugaktivität parasitischer Hymenopteren. *Z. ang. Ent.* 79, 113-123.
- ABRAHAM R. (1975b): Die Erfassung von flugaktiven Insekten mit einer Zeitfalle unter Berücksichtigung von Klimadaten. *Faun. Ökol. Mitt.* 5, 11-22.
- AMOS W. (2001): Live in thin air. *Miscap Magazine*. Nov. 2001
- BROHMER P. (2006): *Fauna von Deutschland*. Quelle und Meyer Verlag, 809 S.
- COAD B.R. (1931): Insects captured by airplane are found in surprising heights. *Yearb. US Dep. Agric.* 320-3.
- DRAKE V.A. & FARROW R.A. (1988): The Influence of atmospheric structure and motions on insect migration. *Ann. Rev. Entomol.* 33, 183-210.
- FREEMAN J.A. (1945): Studies in the distribution of insects by aerial currents. The insect population of the air from ground level to 300 feet. - *J. Anim. Ecol.* 14, 128-154.
- GATEHOUSE A.G. (1997): Behavior and ecological genetics of wind-borne migration by insects. *Ann. Rev. Entomol.* 42, 475-502.

- GEERTS B. & MIAO Q. (2005): Airborne radar observations of flight behavior of small insects in the atmospheric convective boundary layer. *Environ. Entomol.* 34, 361-377.
- GLICK P.A. (1939): The distribution of insects, spiders and mites in the air. *Tech. Bull. U.S. dep. Agric. No. 673*, 1-150.
- GREENSTONE M.H., MORGAN C.E., HULTSCH A.L., FARROW R.A. & DOWSE J.E. (1987): Ballooning spiders in Missouri, USA, and New South Wales, Australia: family and mass distribution. *J. Arachnol.* 15, 163-170.
- GREENSTONE M.H. (1990): Meteorological determinants of spider ballooning: the roles of thermals vs. the vertical windspeed gradient in becoming airborne. *Oecologia* 84, 164-168.
- GÜNTHER K.K. (1974): Tierwelt Deutschlands. Teil 61 Staubläuse, Psocoptera.
- HAFNER T. (1993): Handbook of meteorological forecasting for soaring flight. World Meteorological Organisation Techn. Note 158: 85pp. Deutsche Übersetzung.
- HARDY A.C. & MILNE P.S. (1938): Studies in the distribution of insects by aerial currents. Experiments in aerial tow-netting from kites. *J. Anim. Ecol.* 7, 199-229.
- HENTSCHEL E.J. & WAGNER G.H. (2004): Wörterbuch der Zoologie. Spektr. Akad. Verlag, 601 S.
- HEYDEMANN B. (1997): Neuer Biologischer Atlas. Ökologie für Schleswig-Holstein und Hamburg. Wachholtz Verlag, Neumünster, 591 S.
- IRMLER U. (1998): Die vertikale Verteilung flugaktiver Käfer (Coleoptera) in drei Wäldern Norddeutschlands. *Faun.-Ökol. Mitt.* 7, 387-404.
- ISARD S.A., IRWIN M.E. & HOLLINGER S.E. (1990): Vertical distribution of aphids (*Homoptera:Aphididae*) in the planetary boundary layer. *Environ. Entomol.* 19, 1473-1484.
- ISARD S.A. & GAGE S.H. (2001): Flow of live in the air. Michigan State Univers. Press. 239 pp.
- JOHNSON C.G. (1969): Migration and dispersal of insects by flight. Methuen, London, 763 S.
- LAMMERT A. (2004): Untersuchung der turbulenten Grenzschicht mit Laserfernerkundung. Universität Hamburg FB Geowissenschaften. Dissertation. 80 S.
- McLAUGHLIN S.A. (1994): FM-CW radar observations of insects and birds in the planetary boundary layer at White Sands Missile Range, New Mexico. In: AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (eds.) Proc. 21<sup>st</sup> Conf. Agric. For. Meteorol. & 11<sup>th</sup> Conf. Biometeorol. and Aerobiol., San Diego, 7-10 March 1994. AN01800, pp. 419-422
- NATHAN R., SAPIR N., TRAKHTENBROT A., KATUL G.G., BOHRER G., OTTE M., AVISSAR R., SOONS M.B., HORN H.S., WIKELSKI M. & LEVIN S.A. (2005): Long-distance biological transport process through the air: can nature's complexity be enfolded in silico? *Diversity and Distributions* 11, 131 -137.
- OSSIANNILSSON, F. (1992): The Psylloidea (Homoptera) of Fennoscandia. *Fauna Entomologica Scandinavia*. Vol. 26
- PEDGLEY D.E., REYNOLDS D.R., RILEY J.R. & TUCKER M.R. (1982): Flying insects reveal small-scale wind systems. *Weather* 37, 295-306.
- RICHTER C.J.J. (1970): Aerial dispersal in relation to habitat in eight wolf spider species (*Pardosa*, *Araneae*, *Lycosidae*). *Oecologia* 5, 200-214.
- RUSSEL R.W. (1994): Explorations in Aeolian Ecology: Radar and visual studies of the aero fauna during the convection and precipitation/electrification (CaPE) experiment. Ph.D. Dissertation. University of California, Irvine, 209 pp.
- RUSSEL R.W. & WILSON J.W. (1997): Radar observed „fine lines“ in the optically clear boundary layer: Reflectivity contributions from aerial plankton and its predators. *Boundary-Layer Meteorology* 82, 235-262.

- SMITHERS C.N. (1990): Keys to the Families and Genera of Psocoptera (Arthropoda: Insecta) Technical Reports of the Australian Museum. No. 2.
- STATSOFT (2004): STATISTICA für Windows [Software-System für Datenanalyse] Version 6. Tulsa, USA.
- STRESEMANN E. (2000): Exkursionsfauna 2: Insekten. Spektr. Akad. Verlag GmbH Heidelberg Berlin 959 S.
- SUTER R.B. (1992): Ballooning: Data from spiders in freefall indicate the importance of posture. *Journal of Arachnology* 20, 107-113.
- SUTER R.B. (1999): An aerial Lottery: The physics of ballooning in a chaotic atmosphere. *Journal of Arachnology* 27, 281-293.
- TAYLOR R.A.J. & RELING D. (1986): Density/height profile and long range dispersal of first-instar gypsy moth (Lepidoptera: Lymatriidae). *Environ. Entomol.* 15, 431-435.
- THOMAS A.A.G., LUDLOW A.R. & KENNEDY J.S. (1977): Sinking speeds of falling and flying *Aphis Fabae Scopoli*. *Ecol. Entomol.* 2, 315-326.
- THORBEC P., TOPPING C.J. & SUNDERLAND K.D. (2002): Validation of a simple method for monitoring aerial activity of spiders. *Journal of Arachnology* 30, 57-643.
- VUGTS H.F. & VAN WINGERDEN W.K.R.E. (1976): Meteorological aspects of aeronautic behavior of spiders. *Oikos* 27, 433-444.
- WEIDEL H. (2008): Die Verteilung des Aeroplanktons über Schleswig-Holstein. Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Universität Kiel. Bericht 46. Dissertation 71 S.
- WELLINGTON W.G. & HENSON W.R. (1947): Notes and effects of physical factors on the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.). *Can. Entomol.* 79, 168-170.
- WOOD C.R. (2007): The biometeorology of high altitude insect layers. Department of Meteorology. University of Reading, Dissertation 223 pp.

Adresse des Autors  
Dr. Holger Weidel  
Riesewohld 3  
25767 Albersdorf

## Anhang

Tabelle 2: Anzahl, Höhenbereich und zeitliches Vorkommen der in Aeroplankton gefundenen Taxa; ww: Weibchen, mm: Männchen

Taxon	Anzahl	Höhen (ft)	Monate
<u>Diptera</u>			
Cecidomyiidae			
Lestremiinae indet.	7 ww, 1 mm	500 - 4500	Juli, August
<i>Lestremia cinerea</i>	11 ww, 1 mm	500 - 6000	Juli, August, Oktober
<i>Contarinia</i> sp.	1 mm	1000	August
<i>Lasioptera</i> sp.	1 ww	3000	Juli
Chironomidae	21 ww, 1 mm	500 - 6000	Juli bis Oktober
Bibionidae	1 ww, 1 mm	300 - 1000	August
Sciaridae	46 ww, 1 mm	500 - 4000	Mai bis August
Ceratopogonidae	6 ww	500 - 2100	Mai, Juni, Oktober
Psychidae	2 ww	2500 - 5000	Juni, August
Scatopsidae	2 ww	500	Juli, September
Mycetophilidae	1 ww	1000	Oktober
Brachycera indet.	20	330 - 6000	Juni bis Oktober
Drosophilidae	21	500 - 6000	Juni bis Oktober
Syrphidae	1 ww, 3	500 - 600	Juli, August
Phoridae	13	300 - 5000	August bis Oktober
Sphaeroceridae	7	300 - 3000	Juni, Juli, Oktober
Sepsidae	1 mm, 1	500 - 1000	Juli, August
Hybotidae			
<i>Platypalpus pallidicornis</i>	1 mm	3300	August
<u>Hymenoptera</u>			
Pteromalidae			
<i>Cyrtogaster vulgaris</i>	6 ww, 1 ww?, 1 mm	300 - 2000	Juni bis August
<i>Asaphes vulgaris</i>	3 ww	500 - 5000	August bis Oktober
<i>Mesopolobus</i> (?)	2 ww, 1mm	500 - 3500	Juli, August
<i>Pachyneuron</i>	6 ww, 3 mm, 1	500 - 5000	Juli bis September
<i>Pteromalus</i>	3 ww	500 - 4000	Juni, August
<i>Halticoptera</i>	1 mm	5000	September
Miscogastrinae (?)	1 ww	3500	Oktober
Eulophidae	9 ww, 2	500 - 5000	Juli, August
Encyrtidae	4 ww, 1 mm	500 - 5000	Juli bis September
Aphelinidae	3 ww, 1 mm	500 - 3000	Juli, August
Torymidae	1 ww	2000	August
Mymaridae	1 ww, 4	500 - 5000	Juli bis September
Aphidiidae	4 ww, 7 mm, 9	500 - 5000	Juni bis September
Braconidae	1 mm, 1	2100 - 5000	Mai, August
Cerauthoronidae	2 ww, 3 mm, 15	500 - 5000	Juli bis September
Platygastridae	1 mm, 1 ww	500, 6000	Juli, August
<i>Inostenma</i>	1 ww	3500	Juli
Scelionidae	1	500	August
Eucoilidae	1 ww, 3 ww	300, 3000	August

Taxon	Anzahl	Höhen (ft)	Monate
<b>Formicidae</b>			
<i>Lasius flavus</i>	1 ww	600	Juli
<b>Coleoptera</b>			
<b>Staphylinidae</b>			
<i>Amischa analis</i>	15	500 - 6000	Mai bis September
<i>Amischa decipiens</i>	1	500	Juni
<i>Atheta fungi</i>	3	500 - 5000	Juli, September
<i>Atheta sodalis</i>	1	5000	Juli
<i>Atheta volans</i>	1	1000	Mai
<i>Acrotona aterrima</i>	1	1000	August
<i>Aloconota gregaria</i>	1	1000	August
<i>Aleochara bipustulata</i>	1	3300	August
<i>Calodera nigrita</i>	1	500	Oktober
<i>Anotylus tetracariniatus</i>	1	1000	Mai
<i>Anotylus rugosus</i>	1	1000	Juni
<i>Stenus ciciindeloides</i>	1	500	Juli
<i>Xantholinus longiventris</i>	2	3800 - 5000	September
<i>Philonthus cognatus</i>	2	500 - 5000	August, September
<i>Philonthus carbonarius</i>	3	500 - 3000	September
<i>Tachyporus hypnorum</i>	1	500	Oktober
<b>Hydrophilidae</b>			
<i>Megasternum boletophagum</i>	1	1000	Juli
<b>Lathridiidae</b>			
<i>Corticarina fuscula</i>	1 ww	1000	August
<b>Carabidae</b>			
<i>Amara plebeja</i>	1	3500	Juli
<b>Nitidulidae</b>			
<i>Meligethes aeneus</i>	1	5000	Juli
<b>Ptiliidae</b>			
<i>Acrotrichis</i>	1	3800 - 5000	September
<b>Hemiptera</b>	3	1000, 3000	Juli, August
<b>Psyllidae</b>			
<i>Cacopsylla melaneura</i>	7	300 - 5000	Juni, Juli
<i>Aphalara crispicola</i>	6	300 - 5000	August bis Oktober
<i>Psylla betulae</i>	3	500	Juli
<b>Triozidae</b>			
<i>Triozia urticae</i>	1	500 - 2100	Oktober
<b>Psocoptera</b>	4	500 - 6000	Juli, August
<b>Lachesillidae</b>			
<i>Lachesilla pedicularia</i>	2	500, 4000	August, September
<b>Stenopsocidae</b>			
<i>Graphosocus cruciatus</i>	5	500 - 5000	August
<b>Auchenorrhyncha</b>			
<b>Delphacidae</b>	1	3000	Juni
<b>Heteroptera</b>			
<b>Lygaeidae</b>			
<i>Kleidocerys resedae</i>	4	500 - 5000	September, Oktober

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Faunistisch-Ökologische Mitteilungen](#)

Jahr/Year: 2009-2016

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Weidel Holger

Artikel/Article: [Das Aeroplankton in der Norddeutschen Tiefebene über Schleswig-Holstein 111-129](#)