

Die Verteilung des Aeroplanktons über Schleswig-Holstein

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel

vorgelegt von
Holger Weidel

Kiel
2008

Referent: Prof. Dr. Franciscus Colijn
Korreferent: Prof. Dr. Hans-Rudolf Bork
Tag der mündlichen Prüfung: 09.07.2008
Zum Druck genehmigt: Kiel, den 09.07.2008

Der Dekan

Danksagung

Sehr zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Prof. Dr. Franciscus Colijn für die Annahme meines Themenvorschlages, die Bereitschaft, die Arbeit am Technologiezentrum Westküste in Büsum durchführen und die technischen Einrichtungen des Institutes nutzen zu dürfen. Herrn Dr. Karl Hesse für die Anregungen, die Unterstützung und der mich ermutigte, meinen langgehegten Wunsch die Untersuchung des Aeroplanktons umzusetzen. Dr. Thomas Tischler für die Betreuung, Gespräche und Durchsicht der Arbeit. Burghard 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 Prototyp mit erdgebundenen Fahrzeugen. Uwe Lentz des IFM der Uni 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 des luftfahrtechnischen Betriebes 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 Ökologie Zentrums der Universität Kiel bin ich für die Bearbeitung der Arachniden, Coleopteren und Dipteren und insbesondere für die kritische Durchsicht 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.

Inhalt	Seite
1. Einleitung	3
2. Material und Methode	7
2.1 Untersuchungsgebiet	7
2.1.1 Naturräumliche Gliederung	7
2.1.2 Klima	8
2.1.3 Flugrouten	8
2.2 Systembeschreibung	9
2.2.1 Der Flugzeugtyp Piper PA18 als Fanggeräteträger	9
2.2.2 Bau und Funktion des Fanggerätes „Aeroplanktonsammler“ (APS)	11
2.2.2.1 Grundaufbau	11
2.2.2.2 Unterschale mit Haftmittelsumpf	11
2.2.2.3 Oberschale mit Schließmechanismen	12
2.2.2.3.1 Lufteintrittsöffnung	12
2.2.2.3.2 Luftaustrittsöffnung	13
2.2.2.4 Haftmitteltrommel	14
2.2.2.5 Haftmittel	14
2.2.2.6 Platzierung des APS	14
2.2.2.7 Halterung und Montage des APS	15
2.2.2.8 Funktion des APS	16
2.2.2.8.1 Öffnungs- und Schließmechanismus	16
2.2.2.8.2 Trommellauf	16
2.3 Flugdurchführung	17
2.4 Bergung des Fanggutes	19
2.5 Bestimmung der Artengruppen, der Individuendichte, Biomasse und Höhentemperaturprofil	21
3. Ergebnisse	23
3.1 Fangflüge pro Jahr	23
3.2 Fangflüge pro Monat	23
3.3 Fangflüge pro Höhenstufe	24
3.4 Gesamtindividuen	25
3.5 Individuendichte	28
3.5.1 Durchschnittliche Individuendichte der tatsächlich abgeflogenen Flughöhen	28
3.5.2 Durchschnittliche Individuendichte in 500 ft-Lufträumen	28
3.5.3 Durchschnittliche Individuendichte in 1000 ft-Lufträumen	29
3.6 Fangprobenpaare	31
3.6.1 Fangprobenpaare ähnlicher Größenordnung	31
3.6.2 Fangprobenpaare mit größeren Individuenzahlen in der Höhe	32
3.6.3 Gesamtübersicht und Bewertung des Vergleiches der Fangprobenpaare	32
3.7 Artenvorkommen	34
3.7.1 Artengruppen	34
3.7.2 Anteil der Artengruppen an der Gesamtindividuenzahl	35

3.8 Vorkommen der Artengruppen in der Höhe	36
3.9 Temperaturprofil in der Höhe	41
3.10 Mittlere Individuendichte in Abhängigkeit von der Jahreszeit	42
4. Diskussion / Interpretation	44
4.1 Individuengröße des Aeroplanktons	44
4.2 Dispersionsmechanismus	47
4.3 Entstehung und Struktur von Konvektionsströmen	47
4.3.1 Konvektion und Wolkenbildung	50
4.4 Aeroplankton und Thermik	52
4.5 Aeroplanktondispersion und –akkumulation	53
4.6 Aeroplanktondichte und Thermikstärke und Temperatur	56
4.7 Biomasse	60
4.8 Ökologische Bedeutung der Dispersionsmechanismen	62
5. Zusammenfassung	65
6. Summary	65
7. Literaturverzeichnis	67

1. Einleitung

Neben Feinstpartikeln, wie mineralischer Staub, oder organischem Material, wie Pollen, Pilzsporen und Pflanzensaat, werden auch Organismen, 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 Schwebzustand 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).

Über die 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) erreichen können. Auch konnte die Windverfrachtung von Schmetterlingsraupen an ihrem Seidenfaden (z.B. *Lymantria dispar* L.) bis in 1370 m Höhe (ca. 4500 ft) nachgewiesen werden, wobei Entfernungen von 19 km für einen Flug belegt sind (WELLINGTON & HENSON 1947, TAYLOR & RELING 1986).

FREEMAN (1945) untersuchte Insektenfänge nahe des Ortes Tetney an der englischen Ostküste mit Netzen bis in 300 ft (ca. 91 m) Höhe. Die Netze waren an einem Seil zwischen Funkmasten angebracht. Die Untersuchungen ergaben, dass in bodennahen Schichten bis 150 ft (ca. 46 m) die größten Insektendichten zu finden waren. Die Insektendichten nahmen mit der Höhe kontinuierlich ab. Während bei manchen Insektengruppen wie den Dipteren bis 150 ft die stärksten Dichteabnahmen zu finden waren, stieg der Anteil der Hemiptera, insbesondere der Aphididae, mit zunehmender Höhe an. FREEMAN (1945) unterschied mit der Grenze bei 150 ft zwischen terrestrischen und atmosphärischen Komponenten des Aeroplanktons.

HARDY & MILNE (1938) bestimmten Insektenvorkommen in größeren Höhen an der englischen Ostküste bei Hull mit Hilfe von Drachen und Netzenfängen. Der Aufstieg von Drachen machte Aeroplanktonfänge bis in maximale Flughöhen von 2500 ft (ca. 763 m) möglich.

Es wurden zwei Drachen hintereinandergeschaltet über ein Drahtseil aufgelassen. Das Drahtseil wurde zum Aufstieg von einer Trommel abgewickelt, die anstelle des Hinterrades auf die Hinterachse eines Automobils angebracht war. Ein kleinerer Drache diente als Zughilfe für den Aufstieg des Hauptdrachens. Am Drahtseil unterhalb des Hauptdrachens war ein Fangnetz angebracht. Über unterschiedliche Säurestärken in zwei Glasröhrchen wurde

jeweils ein Kupferdraht zersetzt, der den Öffnungs- bzw. Schließvorgang auslöste. Der Zeitpunkt für die Auslösemechanismen konnte über die Säurestärke relativ genau vorherbestimmt werden. Die Drachensysteme, die HARDY & MILNE (1938) anwandten, wurden in großen Höhen durch Pendelbewegungen instabil. Es wurden hauptsächlich Höhen unterhalb von 2500 ft (ca. 763 m) beprobt. Die Flughöhe des Drachens mit dem Fangnetz wurde über die Länge und den Winkel des von der Trommel abgelassenen Drahtseiles berechnet. Für die Höhenbestimmung musste zusätzlich das „Durchhängen“ des Seiles berücksichtigt werden. Problematisch war es bei schwankenden Windgeschwindigkeiten eine konstante Höhe des Drachens einzuhalten. Der Materialaufwand, um Höhen über 2500 ft (ca. 763 m) mit Drachen zu erreichen, wäre unverhältnismäßig viel größer, als mit einem Luftfahrzeug bzw. aufgrund der auftretenden Stabilitätsschwierigkeiten von Drachensystemen nicht möglich. Ebenso ist die Möglichkeit, Drachen in derartig große Höhen steigen zu lassen, bei der heutigen Luftverkehrsdichte nicht mehr gegeben.

Im Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit untersuchte HEYDEMANN (1967) Anfang der sechziger Jahre den Überflug von Insekten über Nord- und Ostsee hinsichtlich des alljährlichen Wiederbesiedlungspotentials auf den vorgelagerten Inseln und Halligen. Er nutzte für seine Untersuchungen die fest positionierten Feuerschiffe „ELBE I“ in der deutschen Bucht sowie die „KIEL“ und die „FEHMARN BELT“ in der Ostsee. Auf den Feuerschiffen waren Farbschalen installiert, die hauptsächlich von den aktiven Fliegern unter den größeren Insekten angesteuert wurden. HEYDEMANN stellte fest, dass an den Hauptflugtagen unter meteorologischen Optimalbedingungen die Farbschalen immer noch von 5% des Insektenaufkommens, im Vergleich zur 30 km entfernten Küste, angefliegen wurden. Es waren fast alle Insektengruppen am Untersuchungsort vertreten. Jedoch machten die Dipteren die Hauptmasse des Fanggutes aus. Hochgerechnet würde durch Insekten in den Hochsommermonaten Juli und August über einen Küstenstreifen von 30 km eine Biomasse von 270 000 kg in Nord- und Ostsee eingetragen. In den Untersuchungen von HEYDEMANN (1967) wurde nicht zwischen aktiv anfliegenden und passiv verdrifteten Insekten unterschieden. Aeroplankton konnte in der Untersuchung HEYDEMANNs (1967) als Zufallsfang in den Ergebnissen berücksichtigt werden. Zur Verbreitung des überwiegend passiv verdrifteten Aeroplanktons stellte ABRAHAM (1973) einen erhöhten Anflug von kleinen Hymenopteren (Pteromalidae) auf die Gelbschalen der Feuerschiffe bei schwachen, warmen und ablandigen Winden fest. Die Anzahl der Tiere nahm mit zunehmender Entfernung zur Küste ab. Tiere unter 1 mm wurden auf den Feuerschiffen in über 10 km Entfernung nicht mehr nachgewiesen. Größere Pteromalidae von 2 - 3 mm Größe wurden noch auf 30 - 40 km entfernten Schiffen gefunden.

Verschiedene Wetter- und Windmodelle erklären das Phänomen des Massenvorkommens von Insekten wie Stallfliegen (Diptera: Muscidae, *Stomoxys calcitrans* (L.)), Marienkäfern (Coleoptera: Coccinellidae) und dem Getreideschädling Westlicher Wurzelborer (Coleoptera: Chrysomelidae, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) an Meeres- und Seestränden. Die Insekten versuchen zu vermeiden, durch Wind auf die offene See hinausgetragen zu werden und verursachen Radarechos an Küstenlinien (RUSSEL & WILSON 2001, ISARD et al. 2001).

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). Während KONRAD (1970) die feinen Linien von Radarechos den Grenzschichten kalter feuchter Luft zuordnet, werden sie heute von anderen Autoren mit Insektenansammlungen in Verbindung gebracht (RUSSEL & WILSON 1996, RUSSEL & WILSON 1997, DRAKE & FARROW 1988, KUSONOKI 2001, GEERTS & MIAO 2005). An den Insektenansammlungen können auch kleine Windsysteme und Konvektionszellen erkannt werden (SCHAEFER 1976, PEDGLEY et al. 1982). Die Aufstiegshöhe des Aeroplanktons soll linear durch die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe limitiert werden (JOHNSON 1969). Zur Beschreibung der Verteilung des Aeroplanktons in Abhängigkeit von Wetterkonditionen werden von GEERTS & MIAO (2004) Modelle vorgeschlagen, die die Ansammlung aeroplanktischer Insekten ausschließlich in der Konvektionsschicht der Atmosphäre bis 1000 m (ca. 3278 ft) (atmosphärische Grenzschicht) vermuten. Daraus werden hinsichtlich der Verteilung des Aeroplanktons Modelle in der Atmosphäre zu kumulativen Effekten durch Konvektionsströme der Luft entworfen (GEERTS & MIAO 2005). Von CHAPMAN et al. (2002) konnten die nächtlichen Ausbreitungszüge des Kleinschmetterlings *Plutella xylostella* (Kohlschabe, Schleiermotte, Flügelspannweite 15 - 17 mm) aufgrund der Flügelschlagfrequenz Radarechos zugeordnet und beobachtet werden. Über die Radarechos im Zusammenhang mit einem Netz von Kontrollfängen und Beobachtungsstationen ließen sich die Ausbreitungswege des nachtaktiven Schmetterlings in Nordeuropa von Skandinavien und Weißrussland bis England verfolgen. Nächtliche Insektenflüge finden jedoch nicht unter konvektiven Luftbedingungen wie am Tage, sondern oft bei stratiformen Luftbedingungen statt. Manche nächtlichen Großinsekten können aktiv Höhen bis 800 m erreichen. Es werden u.a. von Nachtschmetterlingen wie Noctuiden und Pyraliden bevorzugt Höhenschichten von 200 m – 500 m (ca. 656 ft – 1639 ft) eingenommen, in denen höhere Temperaturen (nächtliche Inversion) und höhere Windgeschwindigkeiten (low level wind jet) herrschen können (BEERWINKLE et al. 1994, WOOD et al. 2006, CHAPMAN et al. 2002, REYNOLDS et al. 2005). Über 650 m sinkt die Anzahl nächtlicher Insektenflüge drastisch, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Möglichkeit des Radars, kleinere Insekten zu erfassen, mit zunehmender Höhe stark eingeschränkt ist (BEERWINKLE et al. 1994, SMITH et al. 2000). Über 1300 m (ca. 4262 ft) konnten größere Insekten mit dem Radar weder in der Nacht noch am Tage festgestellt werden (BEERWINKLE et al. 1995).

Andere Autoren bringen die Flughöhe und die Verteilung von Aeroplankton mit dem Durchgang von Wetterfronten, ablesbar an der Flughöhe ihrer Hauptpredatoren, den Vögeln, in Zusammenhang. Beim Durchgang einer Front steigen die Predatoren bei labilen Wetterkonditionen ihren Futtertieren nach und verteilen sich im Luftraum. Bei stratiformen Wetterbedingungen mit Neigung zu Nieselregen blieben die Tiere in Bodennähe (RUSSEL 1999).

Mit zunehmender Höhe ist die Verteilung der Organismen im Vergleich gegenüber der Verteilung der Organismen in Bodennähe stark ausgedünnt (HARDY & MILNE 1938, FREEMAN 1945, RUSSEL 1999, GEERTS & MIAO 2005). Der log der Dichte zum log der Höhe sollte weitgehend als linear betrachtet werden können (JOHNSON 1969).

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, konkrete Nachweise zu den Erkenntnissen von Radaruntersuchungen und den Modellen der Verteilung des Aeroplanktons über die Höhe in den niederen Luftschichten der Atmosphäre zu erbringen. Durch die Verwendung einer anderen Fangmethode gehen die Untersuchungshöhen über das mit Drachen zu erreichende Maß von HARDY & MILNE (1938) hinaus. Unter Einsatz von Flugzeugen als Geräteträger wird

für die Untersuchung eine Methode gewählt, die es erlaubt, gezielt in die oberen Areale des Konvektionsgeschehens der atmosphärischen Grenzschicht (planetary boundary layer) vorzudringen. Nur der Einsatz eines Luftfahrzeugs erlaubt eine adäquate vertikale Zonierung von Kleininsekten in der atmosphärischen Grenzschicht und darüber hinaus (ISARD et al. 1990). Die Flüge müssen über die atmosphärische Grenzschicht und über Inversionen und Wolkenbildung hinausgehen. Der Schwerpunkt dieser Arbeit konzentriert sich auf die Verteilung und Dichte des aeroplanktischen Insektenvorkommens in der Höhe sowie die Abschätzung deren Massen in der atmosphärischen Grenzschicht und darüber hinaus.

Daraus ergeben sich für diese Arbeit folgende Fragen:

1. Welche Insektenarten bzw. –gruppen kommen überhaupt in den untersuchten hohen Luftschichten vor?
2. Wie verteilen sich Dichte und Masse von Insekten im Luftraum?
3. Kommen einige Insektengruppen 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 der Insekten herausgearbeitet werden?
6. Welche Schlussfolgerungen können zu Dispersionsmechanismen des Aeroplanktons und zur ökologischen Bedeutung abgeleitet werden?

2. Material und Methode

Zur Untersuchung des Luftraumes hinsichtlich der Dichteabnahme des Aeroplanktonvorkommens werden mit dem Flugzeug Flugflächen oberhalb der erdnahen insektenreichen Luftschichten zwischen 300 ft (ca. 91 m) und 6000 ft (1828 m) eingenommen. Es werden zwei baugleiche Fanggeräte getrennt in zwei beliebigen Höhenstufen eingesetzt. Die beiden Fangergebnisse eines Flugeinsatzes aus zwei unterschiedlichen Flugflächen werden miteinander verglichen. Die Geräte erfassen auch kleinste Insekten, die aufgrund ihrer geringen Größe mit Netzen verlorengehen würden.

2.1 Das Untersuchungsgebiet

Untersuchungsgebiet ist Schleswig-Holstein, das nördlichste Bundesland der Bundesrepublik Deutschland. Schleswig-Holstein ist Teil einer Halbinsel zwischen der südlichen Nordsee und der westlichen Ostsee. Biologisch kommt dieser Halbinsel eine bedeutsame ökologische Funktion als Landbrücke zwischen Mitteleuropa und Skandinavien zu. Diese Brückenfunktion gilt vor allem für die Ausdehnung oder Einengung von Verbreitungsgebieten landlebender Pflanzen- und Tierarten und für jahresperiodische Wandervorgänge vieler Vogelarten und einiger Schmetterlings- und Schwebfliegenarten (HEYDEMANN 1997).

2.1.1 Naturräumliche Gliederung

Das heutige Oberflächenrelief in Schleswig-Holstein und dessen Ablagerungen stammen zum größten Teil aus den beiden letzten Eiszeiten. Die letzte Eiszeit (Weichsel-Eiszeit) dauerte etwa von 80 000 – 15 000 Jahre vor heute (v.h.). Die vorletzte Eiszeit (Saaleeiszeit) dauerte von 200 000 – 150 000 v.h. Das Oberflächenrelief und die Ablagerungen an der Nordseeküste stammen im Bereich der Marschen allerdings aus jungen, seit maximal etwa 15 000 Jahren (Holozän-Beginn 15 000 – 8300 v.h.) vor sich gehenden Ablagerungen und Verschiebungen der Sedimente. Schleswig-Holstein gliedert sich daher durch die Eiszeiten naturräumlich grob von Ost nach West in das Östliche Hügelland, die Vorgeest (Sanderflächen), die hohe Geest (Altmoränen), und in die an der Westküste gelegenen Marschen der Nordsee.

Typisch für die Agrarlandschaft in Schleswig-Holsteins sind gehölzbestandene Wallhecken sog. Knicks, die Ende des 18. Jahrhunderts durch die Verkoppelung der Kulturländereien zur Abgrenzung der Schläge entstanden. Dieser landschaftsprägende Ökosystemtyp ist heute trotz 40%igen Verlustes seit Mitte der 40er Jahre noch mit 45 000 km vertreten. Die küstennahe bis 15 km breite Marsch ist knickfrei.

Naturräumlich begegnen wir im östlichen Hügelland neben der Agrarlandschaft einen Schwerpunkt von Feuchtwäldern des Typs der Eschen-Auenwälder, der Erlenbruchwälder, des feuchten Buchenwaldes (Buchen-Eichen-Wald), von Hochstaudenfluren, von Sand- und Schlammufeln an Seen und von Steilküsten (Ostseeküste).

In der Geest findet sich eine Konzentration der Ökosysteme folgender Typen: Hochmoore und Flachmoore, Trockenrasen, Heiden und Binnendünen, Kratts, Eichen-Birkenwälder, Feuchtwiesen (Flussniederungen), Kiesgruben und längerfristige Brachflächen. Auf der Marsch sind als naturnahe Ökosystemtypen vor allem konzentriert: Brackwasserröhrichte, feuchte

Süßwiesen und Hochstaudenfluren (an den Grabensystemen und Sielzügen) (HEYDEMANN 1997).

2.1.2 Klima

Das Klima des Untersuchungsgebietes ist aufgrund der Lage zwischen Nord- und Ostsee als gemäßigtes, maritimes Klima mit relativ kühlen Sommern und milden Wintern zu bezeichnen. Die Niederschlagsmenge liegt durchschnittlich zwischen 725 und 825 mm/Jahr. 725 - 750 mm fallen im äußeren Westen. An der Geestkante treten Steigungsregen auf und im Bereich der Geest fallen relativ hohe Niederschläge von 800 - 825 mm/Jahr. Nach Osten nehmen die Niederschläge wieder ab. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8 °C. Die mittlere Januartemperatur auf der Geest liegt zwischen + 0,5 °C und 0 °C und die mittlere Julitemperatur oberhalb von 16,5 °C. Die mittlere Zahl der Eistage beträgt 20, die der Frosttage mehr als 80 und die der Sommertage (über + 25 °C) 15 - 20. Es herrschen westliche bis südwestliche Winde vor. Typisch für die ebene Küstenlandschaft sind eine hohe Windgeschwindigkeit und -häufigkeit. Windstille tritt selten auf. Die mittlere Windstärke beträgt in den Marschbereichen etwa 3 Bft, weiter im Binnenland ca. 2,5 Bft. Auf dem relativ offenen Geestrücken ist die Landschaft dem Wind verhältnismäßig stark ausgesetzt. Lokal gibt es nur kleinere Wärmeinseln, z.B. Abgrabungen oder hinter Gehölzen. Besondere Bedeutung hat daher das dichte Knicknetz (Wallhecken) auf der Geest. Die Knicks dienen als Windschutz und zur Abschwächung des Windes. Diese reicht in Luv bis 30 m weit. Die Windgeschwindigkeit wird bis zu 10 % gemindert. In Lee reicht die Wirkung bis zu 170 m. Auf den Flächen zwischen den Knicks (Wallhecken) ist ein Anstieg der Temperatur zu beobachten. Die Niederungen sind windoffen und weisen auch lokal keine größeren oder bedeutsamen „Wärmeinseln“ auf.

2.1.3 Flugrouten

Ausgangspunkte für die Untersuchung waren die Flugplätze Heide-Büsum und St. Michaelisdonn im Kreis Dithmarschen an der Westküste Schleswig-Holsteins. Der Flugplatz Heide-Büsum liegt unmittelbar an der Nordseeküste im Bereich der Marsch mit 2 m über NN fast in Meereshöhe. 15 km südöstlich von Büsum ist der Flugplatz St. Michaelisdonn mit einer Höhe von 38 m über NN der Heider-Itzehoer Geest zuzuordnen. Schwerpunkt des Untersuchungsgebietes war aufgrund der Lage der Flugplätze zunächst der landseitige und seeseitige Küstenstreifen. Die Flüge wurden oftmals über den küstenparallelen Geestkämmen durchgeführt. Teilweise wurde küstennah über der Nordsee geflogen. Ein nachfolgender Schwerpunkt waren Flüge in Ost-West-Richtung von der Westküste bis über die Plöner Seenplatte im östlichen Hügelland nahe der Lübecker Bucht (Abb. 1).

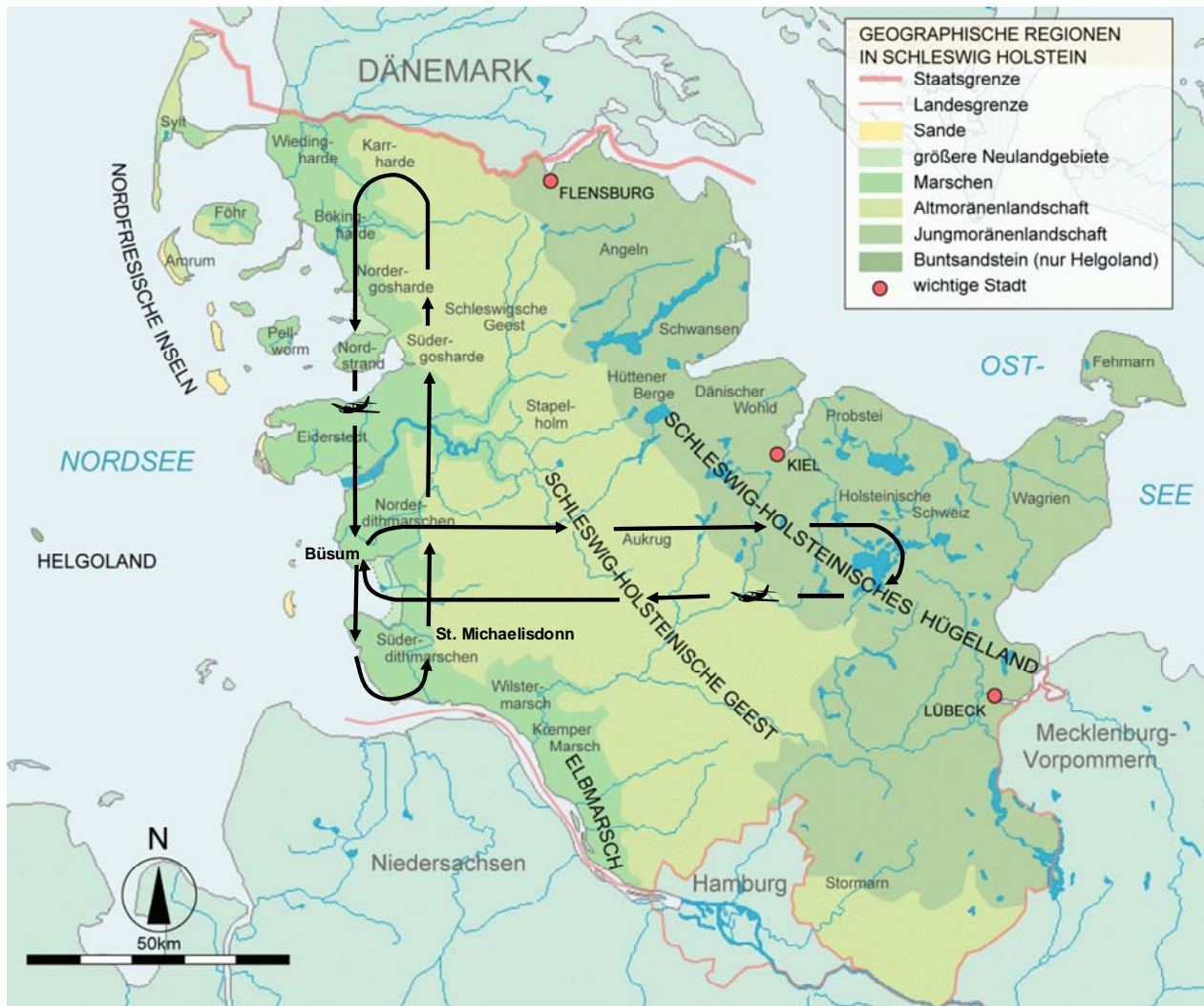


Abb. 1 Flugrouten 1998 - 2002 in Nord-Süd-Richtung und Flugrouten 2003 - 2004 in Ost-West-Richtung.

2.2 Systembeschreibung

2.2.1 Der Flugzeugtyp Piper PA 18 als Fanggeräteträger

Für die Untersuchung musste der Flugzeugtyp als Geräteträger aufgrund der Empfindlichkeit des Fanggutes gute Langsamflugeigenschaften besitzen, um die hohen Strömungsgeschwindigkeiten am Fanggerät beherrschbar zu halten. Dennoch musste die Maschine leistungsfähig genug sein, um Höhen bis mindestens 6000 ft (1830 m) leicht erreichen zu können. Weiterhin musste der Flugzeugtyp Anbringungsmöglichkeiten für Gerätschaften aufweisen. Aufgrund der Bauweise, der Flugeigenschaften sowie der Verfügbarkeit wurde für die vorliegende Untersuchung das einmotorige Flugzeug des Typs Piper PA 18 genutzt (Abb. 2 und 6). Die Flügelverstreibungen der PA 18 waren für die Befestigung der Gerätschaften zur Probenentnahme gut geeignet. Für die Flugeinsätze standen sowohl auf dem Flugplatz St. Michaelisdonn eine Privatmaschine, Baujahr 1954, Kennzeichen D-EKYL, als auch in Heide-Büsum eine Vereinsmaschine Baujahr 1953,

Kennzeichen D-ECQA, zur Verfügung. Beide Maschinen wurden vom Autor, Inhaber einer Berufspilotenlizenz mit Instrumentenflugberechtigung (CPL/IFR), selbst geflogen.



Abb. 2 Die PA 18 D-ECQA als Fanggeräteträger. (Foto: H.Weidel)

Die PA 18 ist ein einmotoriger Schulterdecker, d.h. sie besitzt oben am Rumpf ansetzende Tragflächen. Neben dem Hauptfahrwerk hat die Maschine ein hinten am Rumpf angebrachtes Spornrad. Die beiden Sitzplätze sind hintereinander angeordnet. Die zur Verfügung stehenden Maschinen waren mit einem 92 PS starken Kolbenantriebwerk des Herstellers *Continental* bei der D-EKYL und einem 90 PS starken Triebwerk desselben Herstellers bei der D-ECQA ausgestattet. Aus Gründen der Gewichtsersparnis sind die PA 18 in einer stoffbespannten Aluminiumrohrkonstruktion gehalten. Die PA 18 haben aufgrund ihrer Bauart ein sehr gutes Leistungsgewicht und besitzen aufgrund ihres stark gewölbten Tragflügelprofils ein sehr „gutmütiges“ Langsamflugverhalten. Im Langsamflug ließ sich die Geschwindigkeit des Flugzeugs bis auf durchschnittlich 45 kt (83 km/h) herabsetzen und austrimmen, dass eine stabile und sichere Fluglage beibehalten werden konnte.

Für die Anbringung der Fanggeräte erwies sich bei den zur Verfügung stehenden Maschinen als Vorteil, dass beide aus der gleichen Baureihe Anfang der 50er Jahre stammten. Wenn ein Flugzeug aus technischen Gründen ausfiel oder aufgrund anderweitiger Nutzungen nicht zur Verfügung stand, bereitete beim Wechsel der Maschine die Umrüstung der Fanggeräte keine Probleme.

2.2.2. Bau und Funktion des Fanggerätes „Aeroplanktonsammler“ (APS)

2.2.2.1 Grundaufbau

Das Fanggerät 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 Haftmitteltrommel, deren Achse quer zur Anströmrichtung der Luft angeordnet ist. Die Haftmitteltrommel wird durch einen von außen aufgesetzten batteriegetriebenen Elektromotor langsam angetrieben. Zur Bergung des Fanggutes lässt sich das Gehäuse in eine obere und in eine untere Halbschale zerlegen. Die obere und untere Halbschale sind im zusammengesetzten und einsatzbereiten Zustand mit Schrauben fest verbunden. Mit Haftmittel und Batterien versehen wiegt das Fanggerät im betriebsbereiten Zustand 12,5 kg. Weil die Arbeitsweise des Fanggerätes eher einer Sammelfunktion gleichkommt, wird es in der weiteren Abhandlung als „Aeroplanktonsammler“ (APS) bezeichnet (Abb. 3 bis 5, Anl. 3 Konstruktionszeichnung).

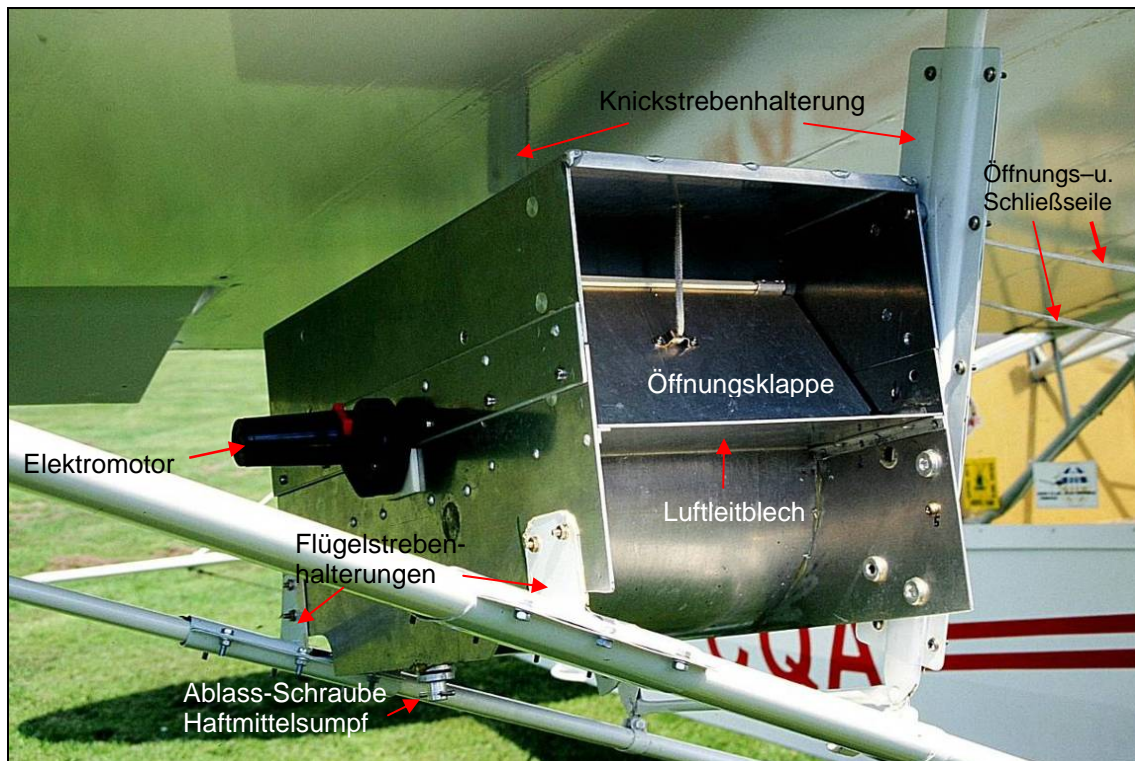


Abb. 3 Sitz des Aeroplanktonsammlers unter der rechten Tragfläche mit geschlossener Öffnungsklappe. (Foto: H. Weidel)

2.2.2.2 Unterschale mit Haftmittelsumpf

Der untere Gehäuseteil nimmt im vorderen Lufteintritt ein waagrechttes Luftleitblech auf, das die anströmende Luft unmittelbar auf die Haftmitteltrommel lenkt. Es dient gleichzeitig als unterer Anschlag der Öffnungsklappe beim Schließvorgang. Das Luftleitblech geht in einen

halbzylindrischen Haftmittelsumpf über, dessen Achse quer zur Längsrichtung des Gehäuses liegt. Der Halbzylinder hat einen Durchmesser von 28 cm. Am Boden des Haftmittelsumpfes ist eine Ablass-Schraube für das Haftmittel eingelassen. Im hinteren Luftaustritt der Unterschale läuft der Halbzylinder des Haftmittelsumpfes im gleichen Radius um 10 cm verlängert nach oben aus. Die Verlängerung dient der aerodynamischen Verwirbelung des Luftstromes im Inneren des APS und gleichzeitig als unterer Anschlag für die hintere Öffnungsklappe (Abb. 3 bis 5).

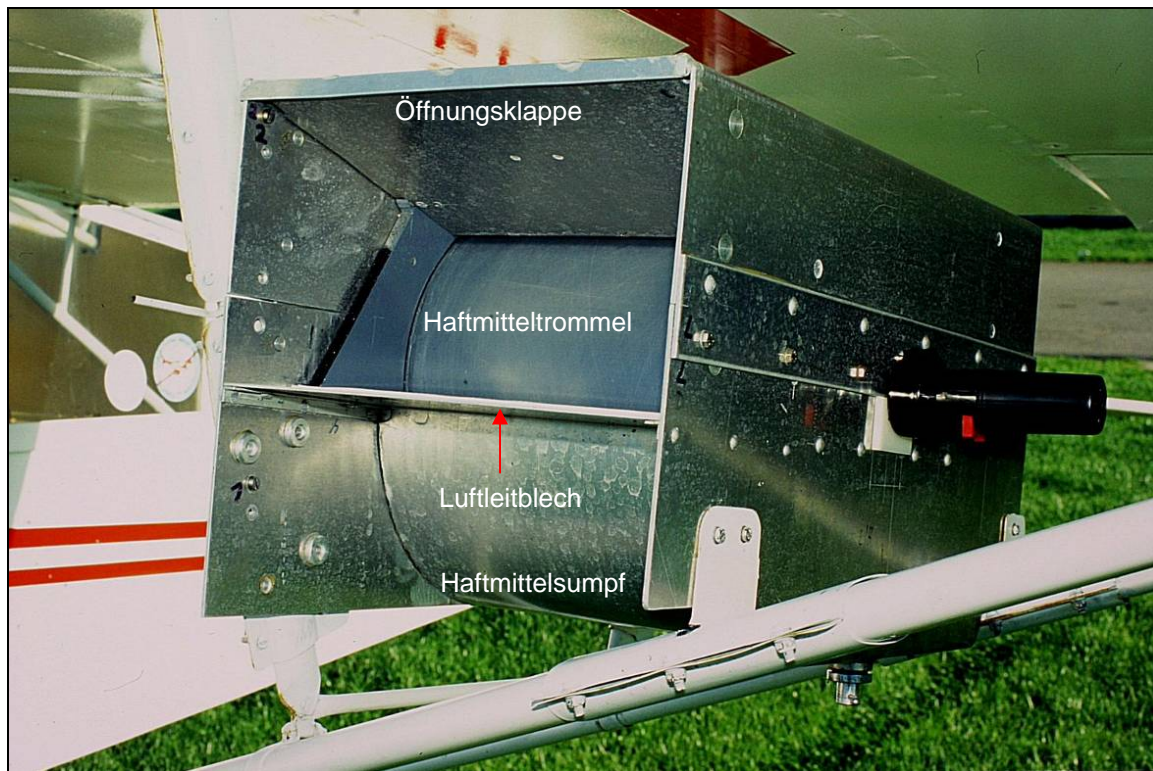


Abb. 4 Aeroplanktonsammler unter der linken Tragfläche mit geöffneter Öffnungsklappe und Blick auf die Haftmitteltrommel. (Foto: H. Weidel)

2.2.2.3 Oberschale mit Schließmechanismen

2.2.2.3.1 Lufteintrittsöffnung

Die obere Gehäusenhälfte trägt den vorderen und hinteren Schließmechanismus für den Lufteintritt bzw. den Luftaustritt. Der vordere Schließmechanismus in Form einer waagrecht angebrachten Klappe ist im Strömungskanal mit einem Scharnier an der Oberseite der Oberschale angebracht. Der Mechanismus wird per Seilzug vom Cockpit aus bedient. Die Öffnungsklappe ist im geschlossenen Zustand im 45° Winkel nach unten gerichtet. Mit Anschlag gegen das waagerechte Luftleitblech der Unterschale wird sie vom Fahrtwind geschlossen gehalten. Die Klappe öffnet nach vorn gerichtet in einem Winkelbereich von 60° . Beim Öffnen schlägt die Klappe in einen Anstellwinkel von 15° gegen die Oberschale. Der Drehpunkt des Scharniers liegt im Strömungskanal zurückversetzt, sodass die Klappe im

geöffneten Zustand bündig mit der Vorderkante der Oberschale abschließt. Sie wird auch hier vom Fahrtwind in Position gehalten und hat ebenfalls die Funktion eines Luftleitbleches. Durch das konische Zusammenlaufen des unteren waagerechten Luftleitbleches der Unterschale mit der im 15° Winkel nach oben geöffneten Klappe entsteht ein Düseneffekt. Der Fahrtwind wird aufgrund des Düseneffekts beschleunigt und gezielt auf die Mitte der Haftmitteltrommel gelenkt (Abb. 3 und 4).

2.2.2.3.2 Luftaustrittsöffnung

Der Schließmechanismus der Luftaustrittsöffnung besitzt kein eigenes Bedienseil wie die Eintrittsöffnung. Der Mechanismus reagiert selbsttätig abhängig von der Luftdurchströmung des Sammlers. Der Schließmechanismus ist frei pendelnd an einem hinteren Scharnier im Strömungskanal an der Oberseite der Oberschale eingehängt. Der Schließmechanismus wird durch den durch das Gehäuse strömenden Fahrtwind bei ca. 38 kt (70 km/h) aufgedrückt. Bei nachlassendem Fahrtwind unter 37 kt schließt der Mechanismus durch sein Eigengewicht mit Anschlag gegen die 10 cm Verlängerung der Haftmittelwanne. Demnach reagiert der hintere Schließmechanismus am Luftaustritt mit dem Öffnen und Schließen der vorderen Lufteintrittsöffnung automatisch (Abb. 5).



Abb. 5 Luftaustrittsöffnung mit geöffneter Schließklappe und Schließanzeigefähnchen.
(Foto: H. Weidel)

2.2.2.4 Haftmitteltrommel

Kernstück des APS ist die Haftmitteltrommel mit einem Durchmesser von 25 cm. Die Trommel dient der Aufnahme des Haftmittels auf ihrer Oberfläche. Sie besteht aus einem Kunststoffzylinder mit angerauhter Oberfläche und einer zentralen Niro-Stahl-Achse. Die Trommel wird in den Seitenwänden von Kunststoffgleitlagern aufgefangen. Die Höhe der Achslagerung ist so gewählt, dass die Trommel in einem Abstand von 1,5 cm in der Haftmittelwanne läuft. Ein Ende der Trommelachse ist um 3,5 cm verlängert und ist mit einem Vierkant zur Aufnahme des Antriebes versehen. Die Trommel wird von einem Elektrogrillmotor angetrieben und ist mit einer 1,5 V Batterie-Monozelle mit Energie versorgt. Der Motor wird von außen auf den Vierkant der Trommelachse aufgesetzt. Er ist bei vollaufgeladenen Batterien für eine Drehgeschwindigkeit von ca. 4 U/min ausgelegt. Als Widerlager für den Trommelmotor dient die Oberschale des Gehäuses. Die Trommel kann leicht nach Abnahme der Oberschale aus der Lagerung herausgehoben werden (Abb. 4 , 5, 7, 10 und 11).

2.2.2.5 Haftmittel

Bei der Wahl des Haftmittels stellte sich die Frage nach den Eigenschaften. Das Mittel sollte eine hohe Viskosität besitzen. Die Viskosität sollte in allen Temperaturbereichen annähernd konstant bleiben. Das Fanggut musste vom Haftmittel abgefangen werden, in ihm einsinken und ausreichend schnell fixiert sein. Dennoch durfte es nicht durch den die Haftmitteltrommel umgebenden Luftstrom verloren gehen. Das Fanggut musste aus dem Haftmittel leicht geborgen werden können. Das Lösungsmittel für das Haftmittel sollte leicht zu handhaben und leicht verfügbar sein. Synthetische Klebstoffe wären nur mit leicht flüchtigen Lösungsmitteln zu verarbeiten, die temperaturanfällig, feuergefährlich und kostspielig sein können. Ihre Eigenschaften können Klebestellen an Arbeitsgeräten anlösen.

Weil wasserlösliche Haftmittel die besten Arbeitsbedingungen lieferten, wurde für die Untersuchung klarer Glukosesirup verwendet. Glukosesirup war in annähernd gleicher Qualität überall im Handel preiswert erhältlich. Der Sirup wurde bei laufendem Trommelmotor mit einem Spatel auf die sich drehende Haftmitteltrommel mit einer Schichtdicke von 1 - 2 mm aufgetragen (Abb. 8) und musste nach jeder Bergung des Fanggutes verworfen werden.

2.2.2.6 Platzierungen der APS

Für die Anbringung der APS wurden bei dem Flugzeugtyp PA 18 die Tragflächenverstreben genutzt. Die Verstreben dienen bei hohen Belastungen im Normalbetrieb des Flugzeugs der Stabilisierung der Tragflächen. Sie bestehen bei der PA18 aus den vorderen und hinteren Flügelstreben (diagonale Verbindung des unteren Flugzeugrumpfes mit der Tragfläche) sowie den vorderen und hinteren Knickstreben (vertikale Verbindung der Mitte der Flügelstrebe mit der Tragfläche). Im rumpfabgewandten Winkel zwischen den Flügelstreben und den vertikalen Knickstreben wurde jeweils ein Gerät links und rechts unter den Tragflächen eingepasst (Abb. 3 und 4, 6). Die Sammler wurden mit der rumpfabgewandten Seitenwand an die vertikalen Knickstreben angelehnt. Mit der rumpfabgewandten Seitenwand saßen die Sammler auf den Flügelstreben auf. An der Aufsitzstelle war die rumpfabgewandte Seitenwand dem aerodynamischen Flügelstrebenprofil

nachgeahmt. Das Gerät war an dieser Stelle entgegen dem Fahrtwind mit der Flügelstrebe verhakht (Abb. 3 und 5). In der Position rechts und links unter den Tragflächen waren die APS außerhalb des Luftstromes des Propellers untergebracht (Abb. 6).



Abb. 6 Frontansicht der PA18. Position der APS außerhalb des Propellerstromes.
(Foto: H.Weidel)

2.2.2.7 Halterungen und Montage des APS

Aufgrund der durch die APS im Fluge verursachten Kräfte am Flugzeug war ein Prüfverfahren für die luftfahrttechnisch genehmigungsfähige Anbringung notwendig. Es durften keine Veränderungen an den Flugzeugen selbst vorgenommen werden. Für die Anbringung und Nutzung der APS musste eigens ein Flughandbuch erstellt (s. Anl. 5 Flughandbuch) und ein Flugerprobungsprogramm entwickelt und abgeflogen werden. Zur technischen Prüfung musste ein Flug mit einem Testpiloten durchgeführt werden. Der Sammler wurde beim Luftfahrtbundesamt (LBA) über eine „Ergänzung zur Musterzulassung“ der beiden PA 18 als eigenständiges „Luftfahrttechnisches Gerät“ in die Luftfahrtrolle der Bundesrepublik Deutschland eingetragen (s. Anl. 6 Ergänzung zur Musterzulassung). Die Zulassung wurde ausschließlich auf die beiden PA18 mit den Kennzeichen D-EKYL und D-ECQA beschränkt.

Für die Anbringung der APS mussten stabile Halterungen entwickelt werden. Es wurden aufgrund der unterschiedlich dimensionierten Knick- und Flügelstreben zwei unterschiedliche Profile der Halterungen hergestellt. Die Halterungen bestanden pro Tragfläche aus vier die

Flugzeugstreben umfassende Metallschienen aus Stahl. Eine Halterung bestand jeweils aus zwei Hälften, die um die Streben gelegt und miteinander verschraubt wurden.

Die Halterungen für die Flügelstreben hatten eine Länge von 20 cm. Sie wurden auf der vorderen und hinteren Strebe befestigt. Auf den Halterungen der Flügelstreben waren für die Befestigung der APS vertikale Bleche aufgeschweißt.

Die Schellhalterungen für die Knickstreben hatten eine Länge von 48 cm. Sie erzielten für die Strebe eine zusätzliche Versteifung. Die Halterungen wurden um die vordere und die hintere Knickstrebe gelegt und verschraubt (Abb. 3, 5 und 6, Anl. 5 Flughandbuch).

Die Montage der APS wurde an der rumpfabgewandten Seitenwand an den vertikal auf den Flügelstreben aufgeschweißten Blechen vorgenommen. Die rumpfzugewandte Seitenwand wurde mit den Halterungen an den Knickstreben verschraubt. Über die Halterungen an Knick- und Flügelstreben waren die APS insgesamt an sieben Punkten über Schrauben mechanisch sicher mit dem Flugzeug verbunden (Abb. 3 bis 5).

2.2.2.8. Funktion des APS

2.2.2.8.1 Öffnungs- und Schließmechanismus

Da sowohl unter der linken und als auch unter der rechten Tragfläche ein APS zur Verfügung stand, konnten während eines Flugeinsatzes zwei Aeroplanktonfänge gezielt in zwei unterschiedlichen „Flugflächen“ durchgeführt werden. Der Öffnungs- und Schließvorgang für die Eintrittsöffnung wurde über zwei Seilzüge pro Sammler in der gewünschten Höhenstufe ausgelöst. Die Seilzüge waren an der Öffnungsklappe befestigt und wurden über Ösen zum Cockpit geführt (Abb. 9). Im Cockpit waren die Seilenden an den vorderen Kreuzverstreben des Flugzeugrahmens befestigt. Die Seilbewegung für den Öffnungs- und Schließvorgang betrug 10 cm. Der Mechanismus konnte vom Pilotensitz durch kurzes Ziehen am Seil bedient werden. Weil die Seile nur für die Auslösung des Öffnungs- bzw. Schließvorganges benötigt wurden und der Schließmechanismus durch den Fahrtwind in Position gehalten wurde, herrschte keine Dauerlast auf den Seilen. Durch Markierungen an den Seilen konnte jederzeit der Öffnungszustand der Eintrittsöffnung des APS kontrolliert werden (Abb. 9). Die Kontrolle des automatischen Öffnungs- und Schließvorgangs der Austrittsöffnung im Fluge erfolgte über ein im geöffneten Zustand an der hinteren Seitenwand sichtbar werdendes Fähnchen des APS (Abb. 5).

2.2.2.8.2 Trommellauf

Die außerhalb des APS auf der Trommelachse aufgesteckten Elektromotoren wurden vor dem Start von außen eingeschaltet und liefen während eines Flugeinsatzes im Dauerbetrieb. Die Drehung der Trommelachse konnte zur Kontrolle von Cockpit aus eingesehen werden. Die Drehrichtung der Trommel war dem Luftstrom entgegengesetzt eingestellt (Abb. 7). Die Luft konnte erst nach dem Auftreffen auf die Haftmitteltrommel das Gerät durchströmen. Eine seitliche Umströmung der Trommel war durch angebrachte Dichtungsbrettchen nicht möglich. Die in der Luft enthaltenen Partikel und Organismen hatten zwar eine geringe Masse, trafen aber aufgrund des Fahrtwindes mit hoher Geschwindigkeit auf. Das im Luftstrom enthaltene Fanggut wurde beim Auftreffen auf die Trommel vom Haftmittel weich abgefangen und sofort

fixiert. Die Eintritts- und Austrittsgeschwindigkeit der Luft wurde im Windkanal der Gewerbeschule für Fertigungs- und Flugzeugtechnik in Hamburg simuliert und gemessen. Auf die Untersuchung übertragen konnte eine Berechnung des Luftmassendurchsatzes der APS vorgenommen werden. Im Gegensatz zur Bewegung über Grund, bewegt sich ein Flugzeug auch bei Wind gegenüber der Luft immer mit konstanter Geschwindigkeit. Im Fluge würden bei einer Geschwindigkeit von 45 kt (83 km/h) in 60 min 1290 m³ Luft durch den APS hindurchströmen (Kap. 4.7).

Pro Sammler wurde ein 750 g Becher Glukosesirup gleichmäßig auf der Haftmitteltrommel verteilt (Abb. 8). Das Haftmittel blieb sowohl bei geschlossenem APS durch die Drehung der Trommel als auch bei geöffnetem APS mit Anströmung durch den Fahrtwind gleichmäßig verteilt. Für den Fangvorgang waren die Fluggeschwindigkeit mit 45 kt, die Drehgeschwindigkeit der Trommel sowie die Viskosität und Menge des Haftmittels so aufeinander abgestimmt, dass es zu keinen Verlusten des Haftmittels durch Heruntertropfen in den Haftmittelsumpf oder durch den Fahrtwind kam. Der Haftmittelsumpf blieb während der gesamten Zeitdauer des APS-Betriebes trocken, sodass sich die Trommel mit dem Haftmittel bei laufendem Trommelmotor jederzeit ungehindert drehen konnte. Die Trommel wurde vollständig oberhalb und unterhalb der Drehachse vom Fahrtwind umströmt.

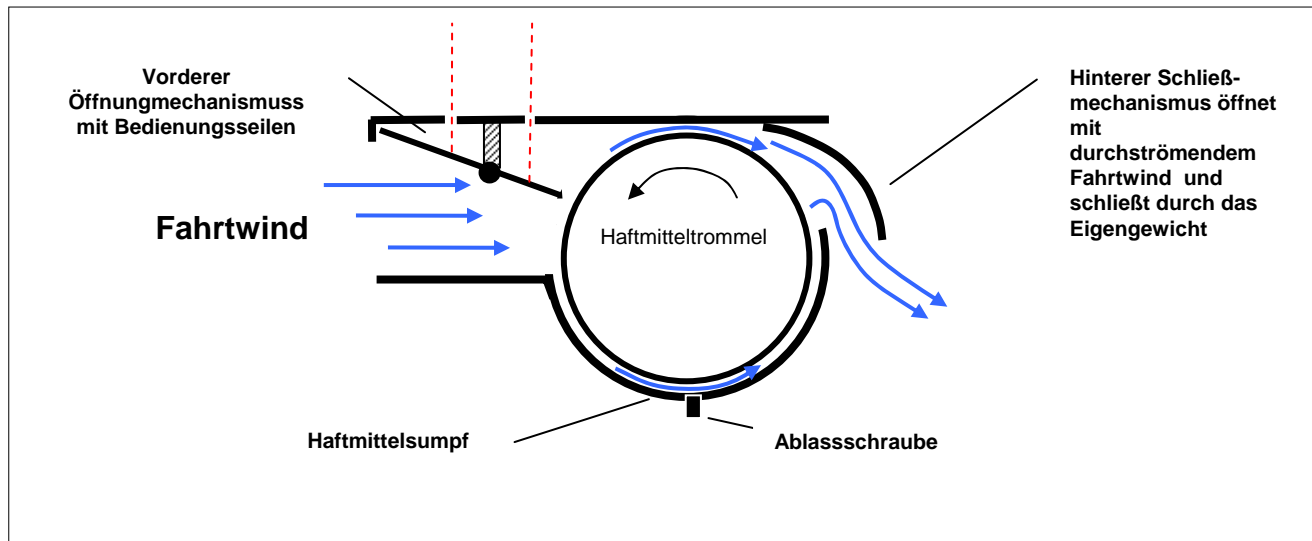


Abb. 7 Gehäuseaufbau des Aeroplanktonsammlers in Seitenansicht. Führung des Luftstromes innerhalb des APS (blau).

2.3 Flugdurchführung

Das Flugverhalten von Insekten ist tageszeitlich abhängig von Temperatur, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit (ABRAHAM 1975a, 1975b). Die Aeroplanktonfangflüge wurden deshalb meist zur wärmsten und strahlungsreichsten Tageszeit gegen Mittag oder frühen Nachmittag durchgeführt. Vor jedem Flug wurden am Boden die aktuellen Wetterdaten wie Bewölkung, Bedeckungsgrad, Windrichtung, Windstärke, Luftdruck, Luftfeuchte, Temperatur am Flugplatz-Tower in ein Protokoll aufgenommen. Nach Montage der APS wurde am linken

Fanggerät im Windschatten der Luftaustrittsklappe der Messfühler eines Digitalthermometers für die Außentemperaturmessung installiert. Die Messdaten wurden per Kabel zum Cockpit geführt. Die Temperaturmessung erfolgte vor dem Start, während Fangflüge in den Fanghöhen im 10 Minutenrhythmus und nach der Landung.



Abb. 8 Aufbringen des Haftmittels auf die Haftmitteltrommel kurz vor dem Start.
(Foto: Dr. V. Arnold)

Erst nach dem Sicherheitscheck von Flugzeug sowie Funktionstest der Fanggeräte wurde der Glukosesirup auf die Haftmitteltrommeln aufgetragen. Die Trommelmotoren wurden vor jedem Flug mit neuen Batterien bestückt. Die einsatzbereite Maschine wurde erst kurz vor dem Start aus der Halle geschoben, um eventuelle Verfälschungsrisiken im Fangergebnis zu vermeiden. Nach dem Start wurde der beabsichtigte Kurs eingenommen und nach Erreichen der ersten gewählten Flugfläche die Geschwindigkeit des Flugzeugs von 90 kt auf 45 kt gedrosselt. Die Maschine wurde in eine stabile Fluglage gebracht und ausgetrimmt, sodass eine gleichbleibende Geschwindigkeit ($V = 45$ kt) beibehalten wurde. Danach wurde zuerst der linke APS per Seilzug vom Cockpit geöffnet und die Öffnungszeit und Höhe protokolliert. Die Drehbewegung der Trommel sowie der Öffnungszustand der Schließmechanismen wurden kontrolliert. Per Funk wurden die aktuellen automatischen Flugwetterdaten (ATIS) vom Flughafen Hamburg abgehört und schriftlich festgehalten. Nach Stabilisierung des in der Höhe gemessenen Temperaturwertes (ca. 5 min) wurde das Flugwetterprotokoll im 10 min-Rhythmus fortgeführt. Die erhobenen Wetterdaten wurden später mit den Wetterdaten der Wetterdienste des Internets verglichen und gegebenenfalls angeglichen. Es wurden

Flugbeobachtungen wie z.B. hochfliegende Vögel oder Segelflugzeuge protokolliert. Nach exakt 60 min wurde der linke APS per Seilzug geschlossen. Mit dem Flugzeug wurde Geschwindigkeit aufgenommen und auf die zweite gewählte, vom Wetter und Wolkenbildung abhängige Flugfläche gestiegen sowie der Rückkurs eingenommen. Zum Öffnen und Schließen des rechten APS wurde entsprechend wie oben beschrieben, verfahren. Beginnend mit niedrigen Flughöhen und einer Tieffluggenehmigung für 300 ft wurden später Flüge in der Thermik unter den Wolken sowie über den Wolken durchgeführt. Die Flughöhe richtete sich nach den Vorschriften des Sichtflugverkehrs und war bei Flügen im kontrollierten Luftraum oberhalb 5000 ft mit Hamburg-Radar abgestimmt. Die Flüge wurden ausschließlich in der warmen Jahreszeit von Mitte/Ende Mai bis Oktober durchgeführt, da erste Probeflüge im April und Anfang Mai als Ergebnis keine Fänge erbrachten.



Abb. 9 Aeroplanktonsammler im Fluge in Fangfunktion aus Sicht des Cockpits.
(Foto: H. Weidel)

2.4 Bergung des Fanggutes

Nach der Landung wurden beide Aeroplanktonsammler unverzüglich in der geschlossenen Flugzeughalle von der Maschine abmontiert. Zur Bergung des Fanggutes wurde der APS im geschlossenen Zustand abtransportiert. In einem insektenfreien Raum wurde der Haftmittelsumpf bei laufender Trommel mit 1,5 ltr handwarmen Wasser aufgefüllt. Die Trommel drehte sich ca. 5 cm eingetaucht im handwarmen Wasserbad des aufgefüllten Haftmittelsumpfes. Die Haftmitteltrommel gab innerhalb von 30 min den Glukosesirup mit dem Fanggut an das Wasserbad ab. Das Gehäuseinnere und die Haftmitteltrommel wurde zusätzlich mit einer

Sprühflasche durch die Öffnungsklappen hindurch mit warmen Wasser gespült. Zur Bergung des Fanggutes wurde die Oberschale des APS demontiert (Abb. 10) und die Trommel aus dem Haftmittelsumpf gehoben (Abb. 11). Das Fanggut schwamm ausnahmslos, überwiegend im guten Zustand, auf der gesättigten Glukosesirup-Lösung und konnte von der Oberfläche abgelesen werden. Es wurde aufgrund des Aussprühens des Gehäuseinneren und der Trommel mit Wasser in keinem einzigen Fall lebendes Insektenmaterial geborgen. Anschließend wurde die Glukoselösung über die Ablass-Schraube im Boden des Haftmittelsumpfes abgelassen und über eine 250 µm Gaze gefiltert. Der Filter wurde zusätzlich auf Fanggut kontrolliert. Ebenfalls wurden das Gehäuseinnere und die gesamte Trommeloberfläche makroskopisch auf Fanggut abgesucht. Die Glukoselösung war nicht wiederverwendbar und wurde nach jeder Bergung des Fanggutes verworfen. Die Geräte mussten aufgrund der hohen Verpilzungsgefahr durch die Glukose nach Bergung des Fanggutes gründlich mit Wasser gereinigt werden. Die Größenordnung der Fänge mit dem APS stimmten mit den Ergebnissen anderer Autoren mit anderen Methoden gut überein (Kap 4.5 und Kap. 3.4).

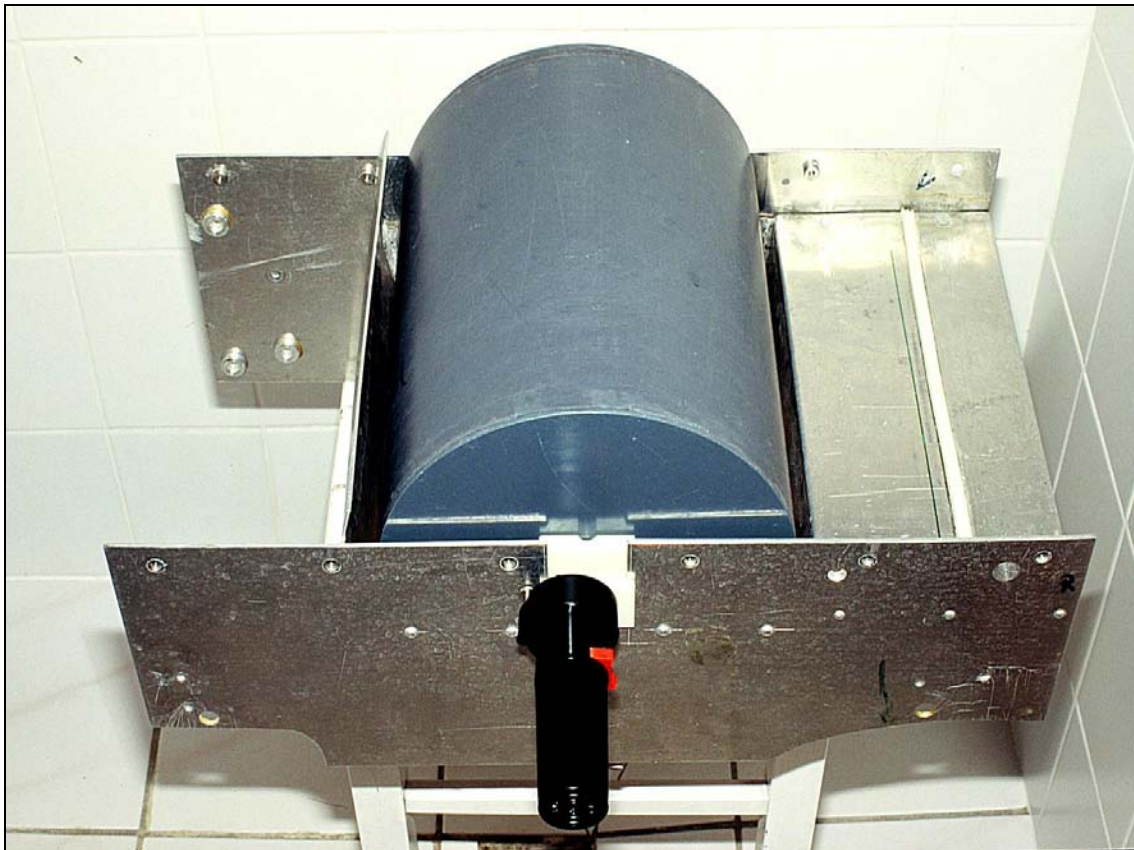


Abb .10 Geöffneter Aeroplanktonsammler vor Herausnahme der Haftmitteltrommel und des Elektromotors. (Foto: H.Weidel)



Abb. 11 Geöffneter Aeroplanktonsammler. Unterschale ohne Haftmitteltrommel u. ohne Elektromotor mit Glukoselösung zur Bergung des Fanggutes. (Foto: H.Weidel)

2.5 Bestimmung der Artengruppen, der Individuendichte, Biomasse und Höhentemperaturprofil

Aus der Anzahl der Flüge und der Anzahl der gefangenen Individuen pro Höhenstufe lässt sich die durchschnittliche Individuendichte in den tatsächlich abgeflogenen Flughöhen pro Fang bzw. pro Stunde ermitteln. Weil das Insektenaufkommen an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Jahreszeiten sehr unterschiedlich ausfiel und weil einige Flugflächen abhängig von jeweilig vorherrschenden Wetterbedingungen nur wenige mal oder nur einmal abgeflogen wurden (Abb. 15), entstanden weit gestreute Datengrundlagen (Tab. 1). Um die Datendichte zu erhöhen, werden tatsächlich geflogene Flugflächen zu Höhenstufen (Lufträumen) zusammengefasst. Rundet man die durchschnittlichen Individuendichten der tatsächlich abgeflogenen Flugflächen auf ± 250 ft ab, unterteilt sich die Gesamthöhendifferenz in 500 ft Höhenstufen (Abb. 17). In einer Unterteilung in 500 ft Höhenstufen sind z.B. die Werte der Fangproben aus 300 ft und 600 ft den Werten der 500 ft Höhenstufe zugeordnet, sodass die Höheneinteilung mit der 500 ft-Stufe beginnt. Die Werte aus 2100 ft sind der 2000 ft-Stufe zugeordnet usw. (Kap. 3.5.2). In der Darstellungsweise in 500 ft Höhenstufen gegenüber der Darstellungsweise in tatsächlich geflogene Höhen werden die Übergänge der Dichteunterschiede zwischen den einzelnen Höhenstufen deutlicher.

Aufgrund der am Fangtag nach den Sichtflugregeln gewählten Flughöhen in Verbindung mit den Rundungen zu 500 ft-Stufen konnten den Höhenstufen 1500 ft und 5500 ft keine Flüge

zugeordnet werden. Für das Gesamtergebnis zur Darstellung des Verteilungsmusters der Individuendichte über die Höhe spielen die beiden aufgrund der Abrundungen fehlenden Höhenstufen 1500 ft und 5500 ft eine untergeordnete Rolle.

Zur Prüfung der Höhenlage von Dichteverhältnissen des Aeroplanktons werden die tatsächlich abgeflogenen Höhen auch in 1000 ft-Höhenstufen +/- 500 ft zusammengefasst wiedergegeben (Kap. 3.5.3).

Windkanalmessungen ergaben, dass sich der Luftstrom in den Aeroplanktonsammlern von 12 m/sec in der Eintrittsöffnung auf 7 m/sec in der Austrittsöffnung verringerte. Das entspricht für die Durchströmung des Gerätes einer Geschwindigkeitsabnahme von 58,33 %. Übertragen auf die Fangfluggeschwindigkeit von 45 kts (23,15 m/sec) erhält man eine Durchströmgeschwindigkeit von 13,50 m/sec (Tab. 9). Über die Abmaße des Aeroplanktonsammlers und die Durchströmgeschwindigkeit errechnet sich im Fluge ein Luftmassendurchsatz von 1290 m³/h pro Gerät. Anhand der technischen Daten lässt sich die Individuendichte auf vergleichbare Volumenmaße wie 1 m³, 1000 m³ und 1 Km³ berechnen (Kap 4.5).

Um ein Vorstellung von der Größenordnung des Aeroplanktonaufkommens zu gewinnen, wird aufgrund der in dieser Arbeit gewonnenen Daten die Biomasse des Aeroplanktons für die Fläche Schleswig-Holsteins hochgerechnet. Die Hochrechnung kann aber nur als Abschätzung für eine Diskussionsgrundlage gesehen werden, da meteorologische sowie lokal landschaftliche und kleinklimatische Unterschiede bestehen, die wiederum und populationsdynamische Unterschiede hervorbringen (Kap.4.7).

Mit der Auswertung der Daten des am APS angebrachten Digitalthermometers wird zu den Fangdaten in der Höhe ein Temperaturprofil für die Fanghöhen in °C erstellt (Kap. 3.9)

Ungeachtet der Höhenzonierung, wird in einer Zusammenfassung der Individuendichten zu Monaten, der Jahresverlauf des zwischen von 300 ft und 6000 ft vorkommenden Aeroplanktonaufkommens hergeleitet (Kap. 3.10).

Zur Bestimmung der Insekten wurde die Gruppe der Coleoptera und Araneida von Herrn Prof. Dr. U. Irmeler des Ökologiezentrums der Universität Kiel übernommen. Die Diptera wurden von Herrn Dr. H. Meyer vom Ökologiezentrum der Universität Kiel und die Hymenoptera von Herrn Prof. Dr. R. Abraham (Universität Hamburg) (Anlage 1) 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 (Anlage 1). Die Gruppen der Aphidina, Thysanoptera und Collembola wurden nicht näher bestimmt.

3. Ergebnisse

3.1 Fangflüge pro Jahr

Die Fangflüge waren insgesamt über die Jahre 1998 - 2004 verteilt (Abb. 12). Es wurden insgesamt 53 auswertbare Fangflüge durchgeführt. In den 53 Fangflügen sind zwei auswertbare Testflüge aus dem Jahr 1998 mit dem Prototypen des APS aus Holz enthalten. Vier auswertbare Fangflüge stammen aus dem Flugerprobungsprogramm mit den Nachbauten aus Metall aus dem Jahr 1999. Die Flüge lieferten insgesamt 103 auswertbare Fangproben. In den Jahren 2000 - 2001 konnten, aufgrund der Unterbrechung durch das luftfahrtechnische Genehmigungsverfahren für die Anbringung der Aeroplanktonsammler an die zur Verfügung stehenden beiden Luftfahrzeuge, nur 8 Einsätze geflogen werden. Mit der D-EKYL ging 2002 eines der beiden zur Verfügung stehenden Flugzeuge verloren. 2002 konnten nur 9 Einsätze geflogen werden. Ab 2003 und 2004 wurde die Anzahl der Flüge auf 12 und 18 pro Jahr gesteigert. Die Untersuchung wurde mit dem letzten Flug am 10.10.2004 abgeschlossen.

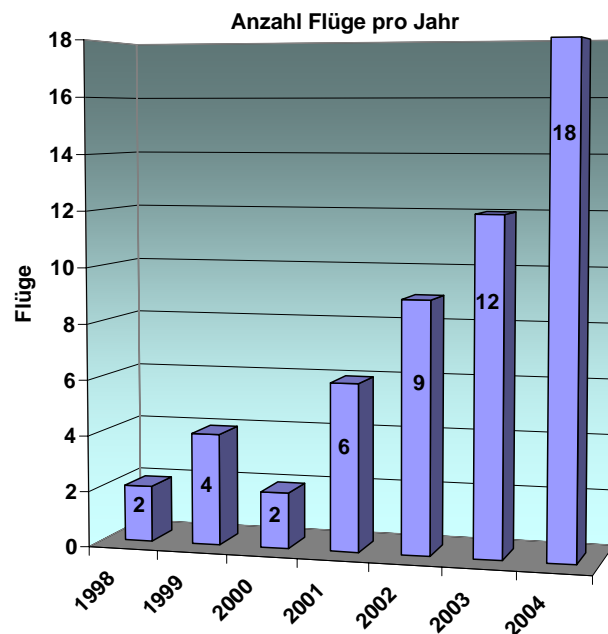


Abb. 12 Zeitliche Abfolge der Flugeinsätze von 1998 bis 2004.

3.2 Fangflüge pro Monat

Abhängig von den Wetterverhältnissen war die Durchführung der Fangflüge auf die warme Jahreszeit von Mai bis Oktober konzentriert. 1997 erbrachten die ersten nicht auswertbaren Testflüge mit dem APS-Prototypen aus Holz, dass im April noch kein Aeroplankton in einer Höhe von 600 ft vorzufinden war. Dieses Ergebnis blieb unberücksichtigt, da es sich noch um Testflüge mit undefinierten Haftmittelmengen und undefinierten Fangzeiten handelte. Jedoch wurde für die vorliegende Untersuchung der Beginn der nachfolgenden Fangflüge abhängig von Wetter und Temperatur in den Mai und Juni gesetzt. Auch im Mai und Anfang Juni sind teilweise Flüge ohne oder mit nur geringen Ausbeuten abgeschlossen worden. Die meisten Flüge wurden in den Monaten Juli und August durchgeführt (Abb. 13).

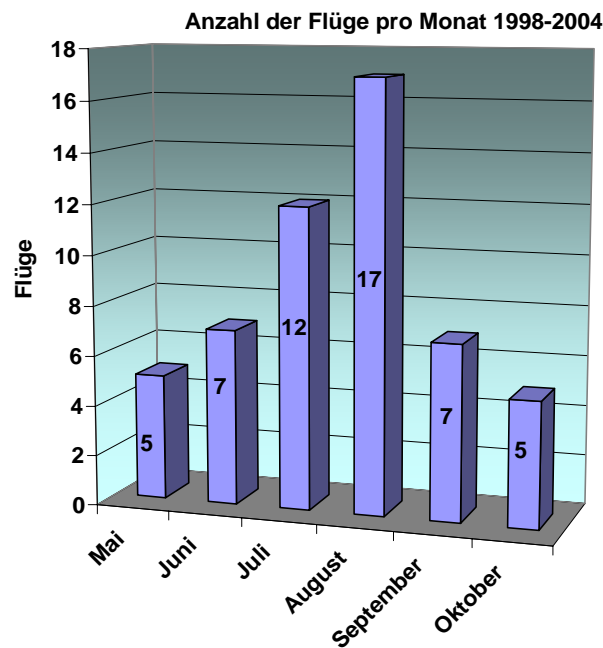


Abb. 13 Gesamtanzahl der Fangflüge pro Monat in der Zusammenfassung eines Kalenderjahres.

3.3 Fangproben pro Höhenstufe

Die Flüge mussten nach den internationalen Bestimmungen des VFR-Sichtflugverkehrs durchgeführt werden. Die Flughöhen waren aufgrund der einzuhaltenden Bestimmungen abhängig von den Sichtweiten sowie von Wolkenbildungen. Die Flughöhen sind daher teilweise spontan nach den gegebenen Wetterbedingungen erfolgt worden. Für die Flüge unterhalb der luftfahrtrechtlichen Sicherheitsmindesthöhe von 500 ft lag eine Tieffluggenehmigung der Luftfahrtbehörde des Landes Schleswig-Holstein vor. Obwohl die Luftraumstruktur über Deutschland für Flugzeuge im Sichtflugverkehr ohne Transponder mit einer Obergrenze von 5000 ft belegt ist, konnte mit freundlicher Unterstützung der Radarlotsen der Flugsicherung Bremen bei drei Flügen die Obergrenze von 5000 ft um 1000 ft überschritten werden (Abb. 14).

Die Flüge wurden aufgrund des verwendeten wasserlöslichen Haftmittels für den APS überwiegend unter trockenen Wetterbedingungen durchgeführt. Während der Flugeinsätze waren oftmals konvektive Luftströmungen vorhanden. Pro Flug wurden zwei Höhenstufen jeweils einstündig abgeflogen. Die Flughöhen für die Fangproben mit dem linken APS in niedrigen Höhen konnten unproblematisch nach den Sichtverhältnissen ausgerichtet werden. Die Flughöhen mit dem linken APS dienten zum Vergleich als Referenzhöhen für den rechten APS. Die Flughöhen mit dem rechten APS und der zweiten Höhenstufe waren abhängig von den unterschiedlichen Wolkenschichtungen, Wolkenhöhen und Bedeckungsgrad. Es wurden Flüge in den Aufwinden der Thermik unter den Wolken, zwischen den Wolken und über den Wolken durchgeführt. In die Wolken durfte aufgrund der gesetzlichen Sichtflugbestimmungen nicht eingeflogen werden.

Während der ersten 6 Flüge mit beiden APS unter den Tragflächen wurde für die erste Fangprobe mit dem linken APS, zum Vergleich für die zweite Fangprobe mit dem rechten APS, die Referenzhöhe von 300 ft eingenommen. Für die zweite Fangprobe mit dem rechten APS wurde auf die Fanghöhe von 1000 ft gestiegen.

In den Jahren 2001 – 2002 konnten aus den verschiedensten Flughöhen mit dem rechten APS Proben bis 5000 ft entnommen werden. Im Jahr 2002 diente oftmals 1000 ft als Referenzhöhe. Ab dem Jahr 2003 hat sich aufgrund der ersten Erkenntnisse über die Dichteverteilung des Aeroplanktons mit dem linken APS die luftfahrttechnische Sicherheitsmindesthöhe von 500 ft als Referenzhöhe bewährt. Mit dem zweiten rechten APS konnten die Fanghöhen bis auf 6000 ft Höhe gesteigert werden.

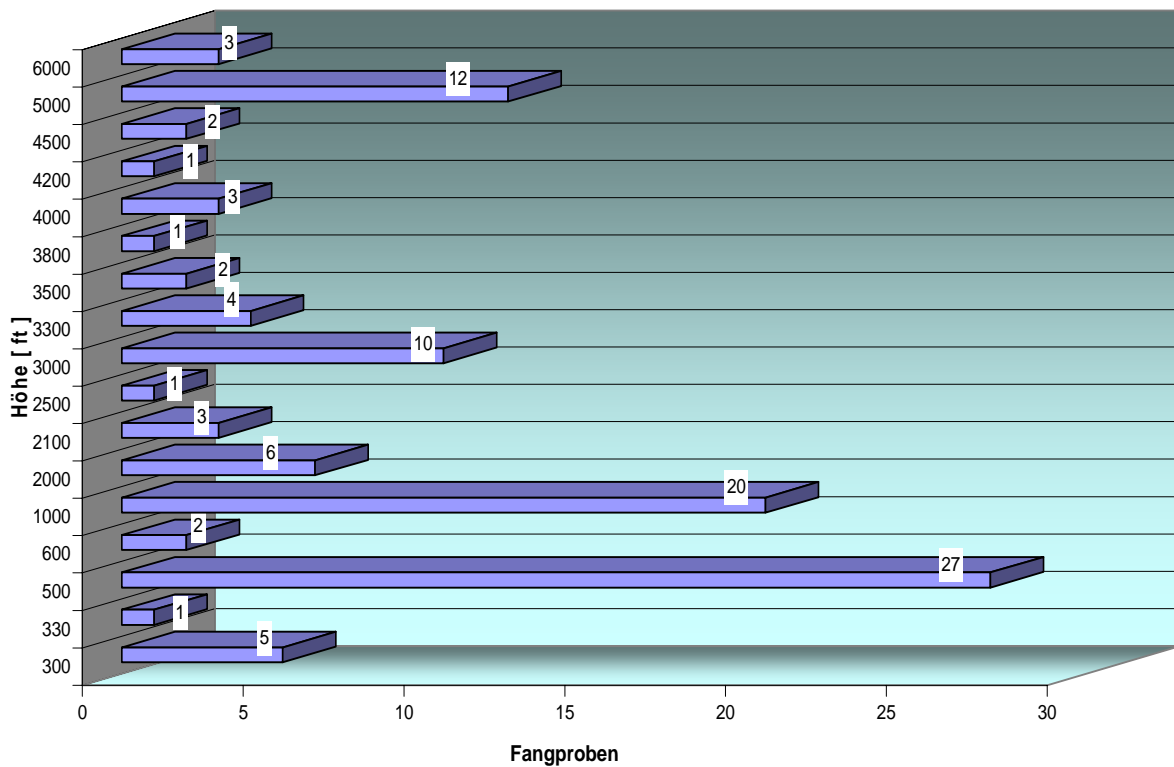


Abb. 14 Anzahl der Fangproben der tatsächlich geflogenen Höhen.

3.4 Gesamtindividuen

Aufgrund der geringen Individuendichte in der Höhe wurden insgesamt nur wenige Organismen mit den APS erfasst. In 103 einstündigen Probefängen, die mit den Aeroplanktonsammlern in den Höhen zwischen 300 ft und 6000 ft durchgeführt wurden, waren insgesamt 817 Individuen in den Fangproben enthalten (Tab. 1, Abb. 15). Es konnten durchschnittlich 15,4 Individuen pro Fangprobe (Fang pro Stunde) ermittelt werden. Die maximalen Individuenzahlen einzelner Fangproben beliefen sich auf 83 Individuen in 500 ft und 53 Individuen in 5000 ft während desselben Flugeinsatzes. Die geringsten Individuenzahlen lagen bei 0 in beiden Fangproben desselben Flugeinsatzes.

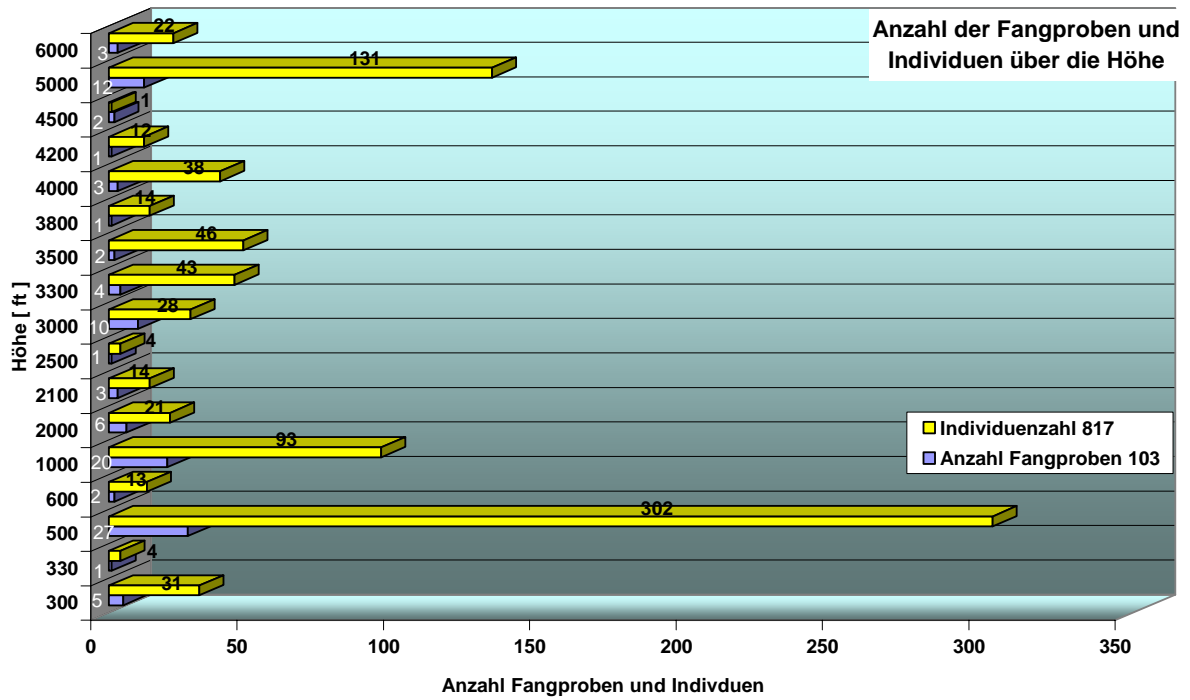


Abb. 15 Anzahl der Fangproben und Individuen in den tatsächlich abgeflogenen Höhen.

3.5 Individuendichte

3.5.1 Durchschnittliche Individuendichte der tatsächlich abgeflogenen Flughöhen

In der Übersicht in Abb. 16 zeigt die durchschnittliche Individuendichte unterhalb von 3300 ft mit zunehmender Höhe eine Abnahme. Ab 3300 ft ist jedoch ein deutlicher Anstieg der Individuendichte erkennbar. Bei 3500 ft wird ein signifikantes Maximum der Dichtewerte deutlich. Über 3500 ft nimmt die durchschnittliche Individuendichte bis 6000 ft kontinuierlich wieder ab, ist aber insgesamt noch höher als unterhalb von 3300 ft. Flüge über 6000 ft wurden nicht durchgeführt.

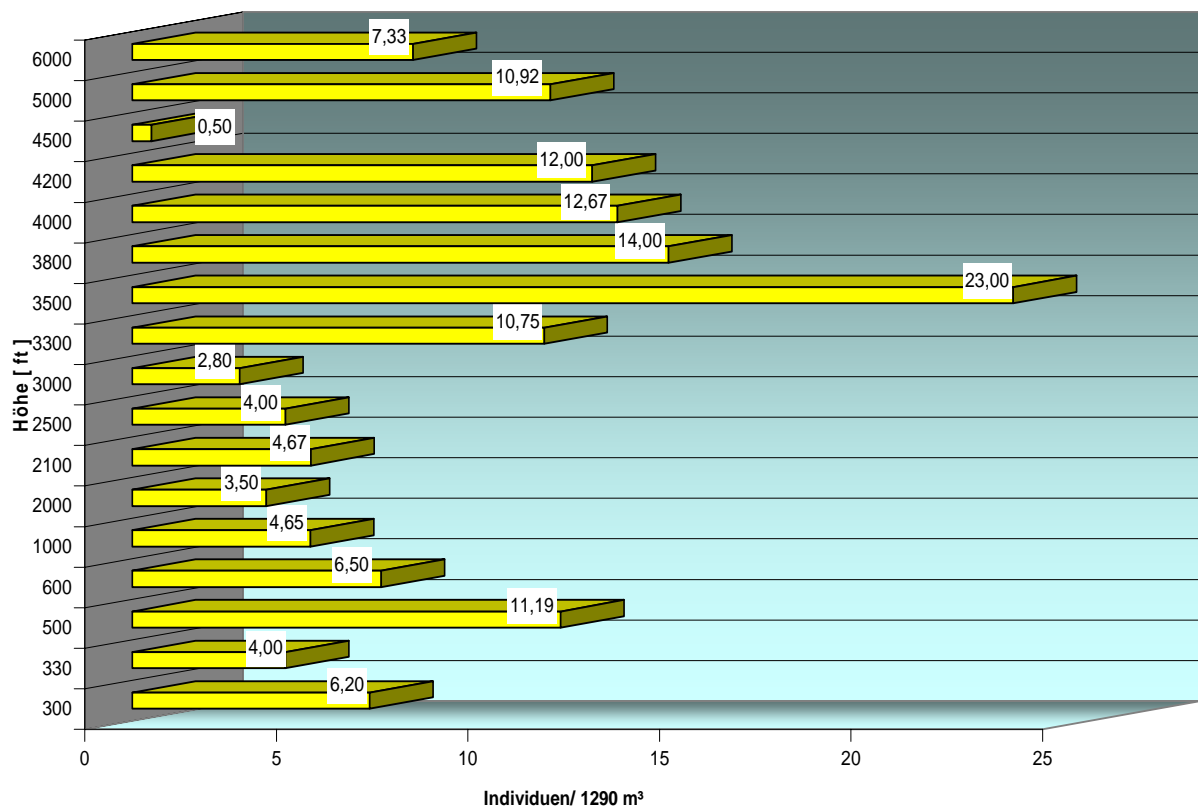


Abb. 16 Durchschnittliche Individuendichten in den tatsächlich abgeflogenen Höhen.

3.5.2 Durchschnittliche Individuendichte in 500 ft-Lufträumen

In 500 ft +/- 250 ft zusammengefassten Lufträumen nehmen oberhalb von 500 ft Flughöhe die Individuendichtewerte über die Höhendifferenz von 2500 ft von durchschnittlich 4,65 Individuen/Fang in 500 ft bis auf durchschnittlich 2,8 Individuen/Fang in 3000 ft kontinuierlich ab (Abb. 17). Im Vergleich gegenüber der Höhenstufe 500 ft sind die Dichtewerte bis zur Höhenstufe 3000 ft um ca. 72 % reduziert. In 3500 ft Höhe wird wieder der signifikante Anstieg der Individuendichte deutlich. Die Werte aus der unmittelbar darunterliegenden Höhenstufe 3000 ft werden in 3500 ft in einem markanten Maximum um 81 % überstiegen. Die Dichtewerte aus der Referenzhöhe 500 ft werden in dem Maximum in 3500 ft um ca. 48 % überstiegen. Über 3500 ft nimmt die Individuendichte mit ähnlicher Rate wie unterhalb von 3500 ft Höhe bis 6000 ft, auf höherem Niveau als unter 3500 ft, kontinuierlich um ca. 50 % wieder ab.

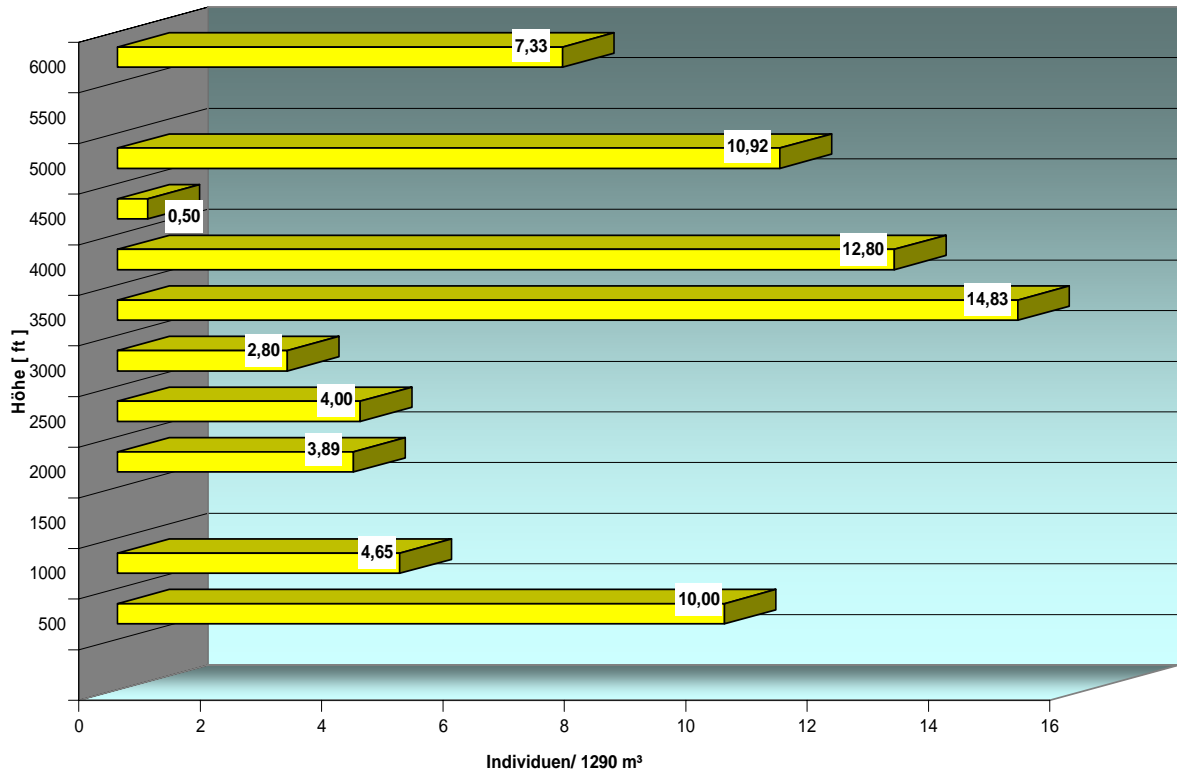


Abb. 17 Verlauf der durchschnittlichen Individuendichte in 500 ft Höhenstufen +/- 250 ft.

3.5.3 Durchschnittliche Individuendichte in 1000 ft-Lufträumen

Betrachtet man die Individuendichten nicht, wie in Kap. 3.5.2 dargestellt, über Lufträume in 500 ft-Höhenstufen, sondern in 1000 ft Höhenstufen auf +/- 500 ft gerundet, (Tab. 2), bleibt die Tendenz der Individuendichteverteilung über die Höhe wie in den vorhergehend beschriebenen Diagrammen erhalten (Abb. 16 bis 18). Die Abnahme der Individuendichte zwischen 1000 ft bis 3000 ft wird um ca. 38 % auf durchschnittlich 5,0 Individuen/Fang reduziert. Zwischen 3000 ft und 4000 ft erfolgt ein sprunghafter Anstieg der Dichte um 68 % auf 15,7 Individuen/Fang. Das Maximum verlagert sich dann leicht nach oben in den Bereich zwischen 3500 ft - 4200 ft. Über 4000 ft ist die Individuendichte wieder durch eine Dichteabnahme bis 6000 ft um ca. 54 % auf 7,33 Individuen/Fang gekennzeichnet. Die hohe Standardabweichung macht die weite Streuung und Dynamik der Individuendichten in den Fangproben deutlich (Tab. 2, Abb. 18).

Tab. 2 Höhenvarianz der zu 1000 ft Stufen gerundeten Höhenstufen. Die farblich markierten Rubriken kennzeichnen die zu Lufträumen zusammengelegten Flugflächen.

Höhenstufe	Flugfläche	Fangproben	Individuen	Höhenvarianz	Mittlere Dichte
	300 ft	5	31		
	330 ft	1	4		
	500 ft	27	302		
	600 ft	2	13		
1000	1000 ft	20	93	300-1000	8,05
	2000 ft	6	21		
2000	2100 ft	3	14	2000-2100	3,89
	2500 ft	1	4		
3000	3000 ft	10	28	2500-3300	5,00
	3300 ft	4	43		
	3500 ft	2	46		
	3800 ft	1	14		
4000	4000 ft	3	38	3500-4200	15,71
	4200 ft	1	12		
	4500 ft	2	1		
5000	5000 ft	12	131	4500-5000	9,43
6000	6000 ft	3	22	6000	7,33

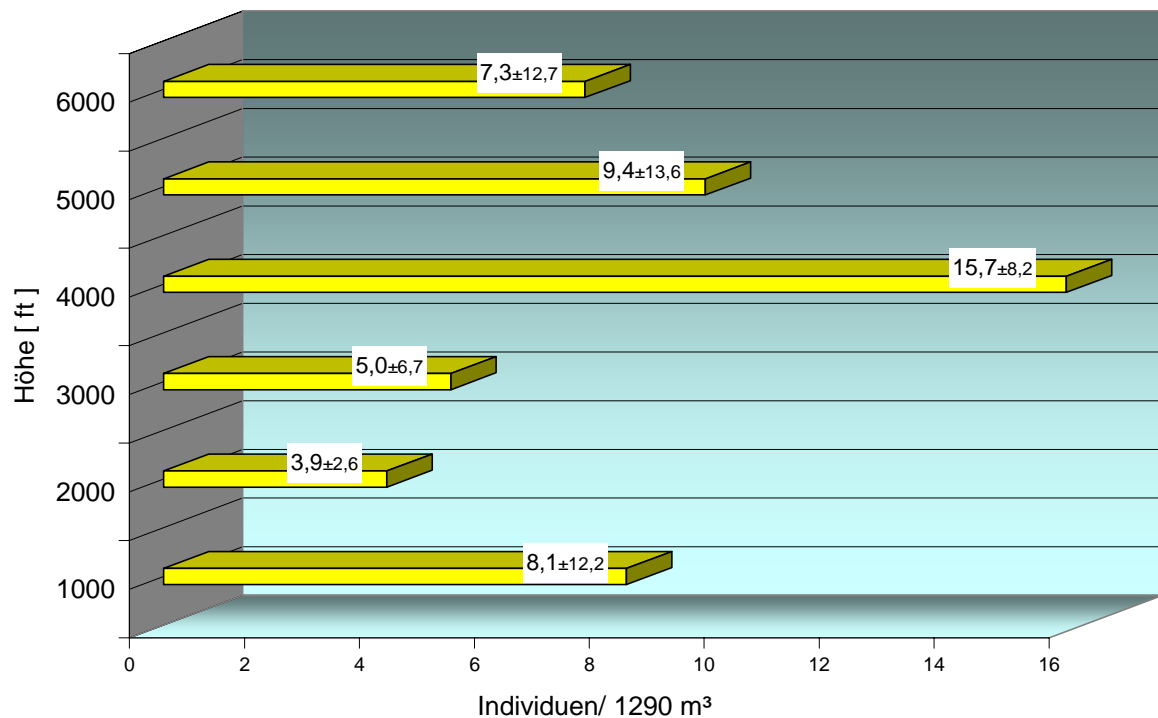


Abb. 18 Verlauf der durchschnittl. Individuendichte in 1000 ft Höhenstufen +/- 500 ft.

3.6.2 Fangprobenpaare mit größeren Individuenzahlen in der Höhe

Einige Fangprobenpaare weisen niedrigere Individuenzahlen in der Höhe auf. Andere Fangprobenpaare belegen, dass im Vergleich zur Referenzhöhe in großen Höhen ähnlich hohe (Kap 3.6.1) oder sogar höhere Individuenzahlen vorgefunden werden können (Tab. 4). Dass während der Untersuchung gegenüber den niederen Referenzhöhen in großen Höhen regelmäßig signifikant höhere Individuendichten auftraten, konnte bei mehreren Flügen im unmittelbaren Vergleich der Einzelprobe aus der Referenzhöhe zur Höhenprobe nachgewiesen werden.

Tab. 4 Beispiele für Fangprobenpaare mit signifikant höheren Individuendichten in der Höhe gegenüber der Referenzprobe aus niedrigerer Höhe. Die farblichen Markierungen und Pfeile stellen eine Auswahl von zusammengehörigen Fangprobenpaaren dar, bei denen in der Höhe eine signifikant höhere Individuenzahl zu verzeichnen war.

Höhe																																	
6000 ft	0	0	22																														
5000 ft	4	2	14	10	53	4	17	2	5	12	6	2																					
4500 ft	1	0																															
4200 ft	12																																
4000 ft	19	18	1																														
3800 ft	14																																
3500 ft	18	28																															
3300 ft	4	4	7	28																													
3000 ft	2	2	2	0	0	4	7	6	3	2																							
2500 ft	4																																
2100 ft	7	4	3																														
2000 ft	6	3	1	1	8	2																											
1000 ft	2	15	2	1	4	6	12	1	6	9	2	0	9	2	6	2	0	3	1	10													
600 ft	7	6																															
500 ft	13	3	1	6	11	6	5	13	11	1	9	1	3	8	83	13	26	6	5	36	1	9	3	5	3	19	2						
330 ft	4																																
300 ft	3	10	2	6	10																												

3.6.3 Gesamtübersicht und Bewertung des Vergleiches der Fangprobenpaare

Aus den in Kap. 3.1 erwähnten organisatorischen und technischen Gründen konnte von 53 durchgeführten Flügen bei 3 Flügen keine Höhenprobennahme erfolgen (Tab. 1, Flug Nr. 1, 2 und 51). Vergleicht man bei den verbleibenden 50 Fangprobenpaaren die Ergebnisse aus den niedrigen Referenzhöhen mit den zugehörigen zweiten Fangproben aus den größeren Höhen, so wurden bei 21 Flügen in der Höhe niedrigere Individuenzahlen festgestellt. Bei 7 Flügen ist in der Höhe eine gleichgroße Zahl von Individuen zu verzeichnen. Bei 22 Flügen jedoch ist eine höhere Individuenzahl (Tab. 5) festzustellen.

Vergleicht man die Individuenzahlen aus den Referenzhöhen und die Individuenzahlen aus den Höhenproben, ohne die variierenden Referenzhöhen und die variierenden Höhen-differenzen zu beachten, besteht in der Gesamtübersicht in den Fangprobenpaaren eine Tendenz zur höheren Individuendichte in der Höhe (Tab. 5).

Tab. 5 Vergleich aller Fangprobenpaare. Referenzhöhen zwischen 300 ft - 3000 ft gleich welcher Höhendifferenz zur Höhenprobe.

Referenzhöhen	Individuenzahl der Fangprobenpaare in der Höhe			Flüge gesamt
	niedriger	gleichhoch	höher	
300 ft	4	1	1	
500 ft	12	3	12	
1000 ft	4	1	7	
2000-2500 ft	1	1	2	
3000 ft	0	1	0	
Summe	21	7	22	50

Weil für die Probennahmen anfänglich unterschiedliche Referenzhöhen zwischen 300 ft und 3000 ft eingenommen wurden, bestehen unterschiedliche Voraussetzungen zur Bewertung der Fangprobenpaare. Während der ersten 6 Flüge mit der Referenzhöhe von 300 ft und der zweiten Fanghöhe von 1000 ft bestand eine Höhendifferenz von lediglich 700 ft. Von den 6 Flügen wurde bei vier Flügen eine niedrigere Individuenzahl in 300 ft gegenüber der Höhe von 1000 ft festgestellt (Tab. 5). Bei einem weiteren Flug wurde die gleiche Individuenzahl festgestellt. Nur ein Flug erreichte höhere Individuenzahlen in 1000 ft Höhe gegenüber der Fangprobe aus 300 ft.

Andere Ergebnisse werden bei der Auswertung der Fangprobenpaare mit möglichst niedriger Referenzhöhe und großer Höhendifferenz erzielt (s.o.). Bei niedriger Referenzhöhe aber gleichzeitig großer Höhendifferenz zur zweiten Fangprobe wird die Tendenz zur höheren Individuendichte in der Höhe deutlich.

Betrachtet man nur die Flüge, die eine Referenzhöhe von 500 ft - 1000 ft und gleichzeitig eine **zweite Fangprobe aus mindestens 3000 ft Höhe** aufweisen, ergibt sich eine höhere Anzahl bei Flügen mit höheren Individuendichten aus der Höhenprobe.

32 Flüge können den Auswahlkriterien Referenzhöhe 500 - 1000 ft einer zweiten Fanghöhe aus mindestens 3000 ft zugeordnet werden. Von den 32 Flügen weisen 11 Fangproben niedrigere Individuendichten in der Höhe auf. 4 Flüge weisen gleichhohe Individuendichten auf. Bei 17 Flügen jedoch erreichten die Fangproben aus großer Höhe von mindestens 3000 ft höhere Individuendichten (Tab. 6).

Tab. 6 Vergleich nur der Fangprobenpaare mit Referenzhöhe von 500 - 1000 ft. Zweite Fanghöhe mindestens 3000 ft.

Referenzhöhe	Individuenzahl der Fangprobenpaare mit Minimum 3000 ft in der Höhe			Flüge gesamt
	niedriger	gleichhoch	höher	
500 ft	11	3	12	
1000 ft	0	1	5	
Summe	11	4	17	32

Der Vergleich der einzelnen Fangprobenpaare macht deutlich, dass die größere Individuendichte in der Höhe kein Zufallsbefund ist, sondern häufig auftritt (Abb. 16 bis 18).

3.7 Artenvorkommen

3.7.1 Artengruppen

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

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

Zweiflügler (Diptera):

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

Nematocera (Mücken): 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 (Psyllina): Blattflöhe (Psyllidae), Triozidae

Zikaden (Auchenorrhyncha): (Spornzikaden) Delphacidae

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

Wanzen (Heteroptera): Langwanzen, Bodenwanzen (Lygaeidae)

Blattläuse (Aphidina): unbearbeitet

Fransenflügler (Thysanoptera): unbearbeitet

Als flügellose Organismen wurden erfasst:

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

Springschwänze (Colembola): unbearbeitet



Abb. 19 Typische Zusammensetzung einer Fangprobe mit den Artengruppen der Blattläuse (Aphidina), Erzwespen (Chalcidoidea), Fransenflügler (Thysanoptera), Rindenzwergwespen (Psocoptera), Fliegen (Brachycera), Zwergwespen (Mymaridae) und Mücken (Nematocera). (Foto: H. Weidel)

3.7.2 Anteil der Artengruppen an der Gesamtindividuenzahl

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. 19 und 20). Als zweitgrößte Gruppe folgten die Fransenflügler (Thysanoptera) mit 137 (17%) 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), die mit 103 Individuen (13%) sich hauptsächlich aus Apocrita wie Chalcidoidea, Ichneumonoidea und Cynipoidea zusammensetzten. 1 Ameise (Hymenoptera; Apocrita, Formicidae, *Lasius flavus* F.) wurde in der kurzen geflügelten Schwärmphase in relativ niedriger Höhe von 600 ft am 20.07.1998 erfasst. 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 (Abb. 20). Flügellose Arthropoden kamen mit 32 Spinnen (4%) und 7 Springschwänzen (Collembola) (< 1%) im Fanggut vor.

Übersicht anteiliger Artengruppen

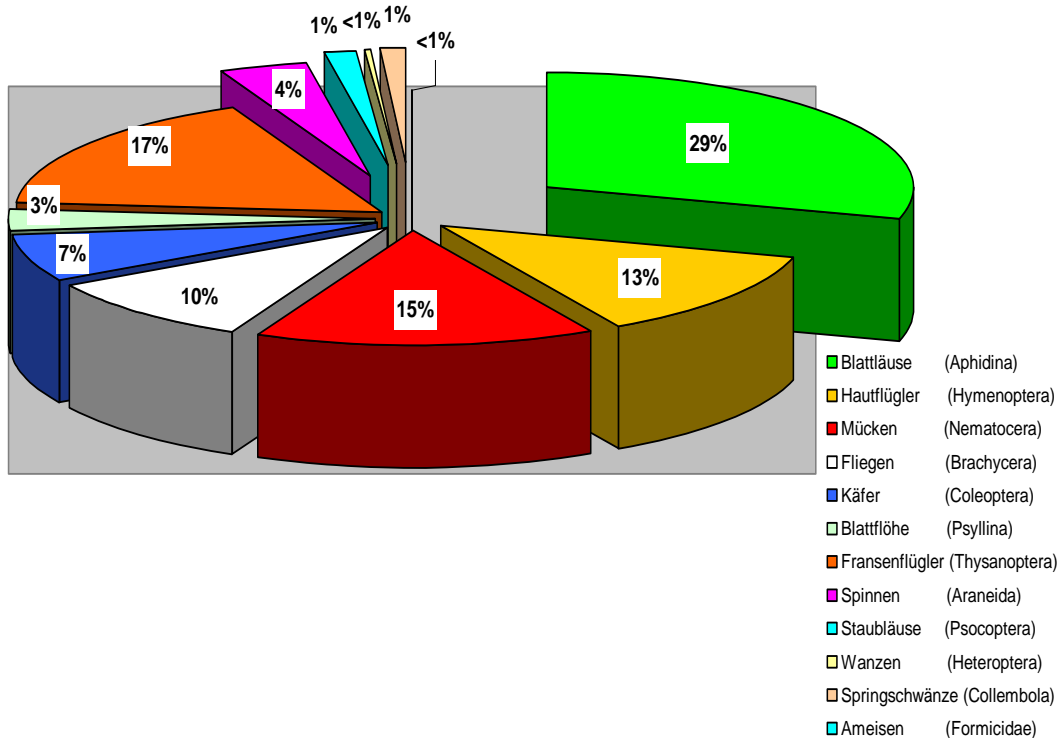


Abb. 20 Prozentuale Zusammensetzung der im Aeroplankton vorkommenden Artengruppen.

3.8 Vorkommen 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. 16-18). Die Individuenzahlen der meisten Artengruppen nehmen bis 3000 ft kontinuierlich ab, erreichen aber wieder ein Maximum im Bereich um 3500 ft (Abb. 21 bis 29). Auch die flügellosen Arten, wie die aeronautischen Spinnen (Araneida), wurden in der Höhe um 3500 ft mit maximaler Individuenzahl festgestellt (Abb. 29), obwohl hier eine realistische Beurteilung aufgrund der geringen Individuenzahl eher kritisch zu sehen ist. Die Staubläuse (Psocoptera) und die Blattflöhe (Psyllina) weisen (aufgrund ihrer geringen Individuenzahl) nicht die o.g. Verteilung über die Höhe auf, obwohl beide Gruppen regelmäßig in allen Höhenbereichen festgestellt wurden. Springschwänze (Collembola) wurden, wenn auch in sehr geringen Individuenzahlen, bis in eine Höhe von 3000 ft vorgefunden.

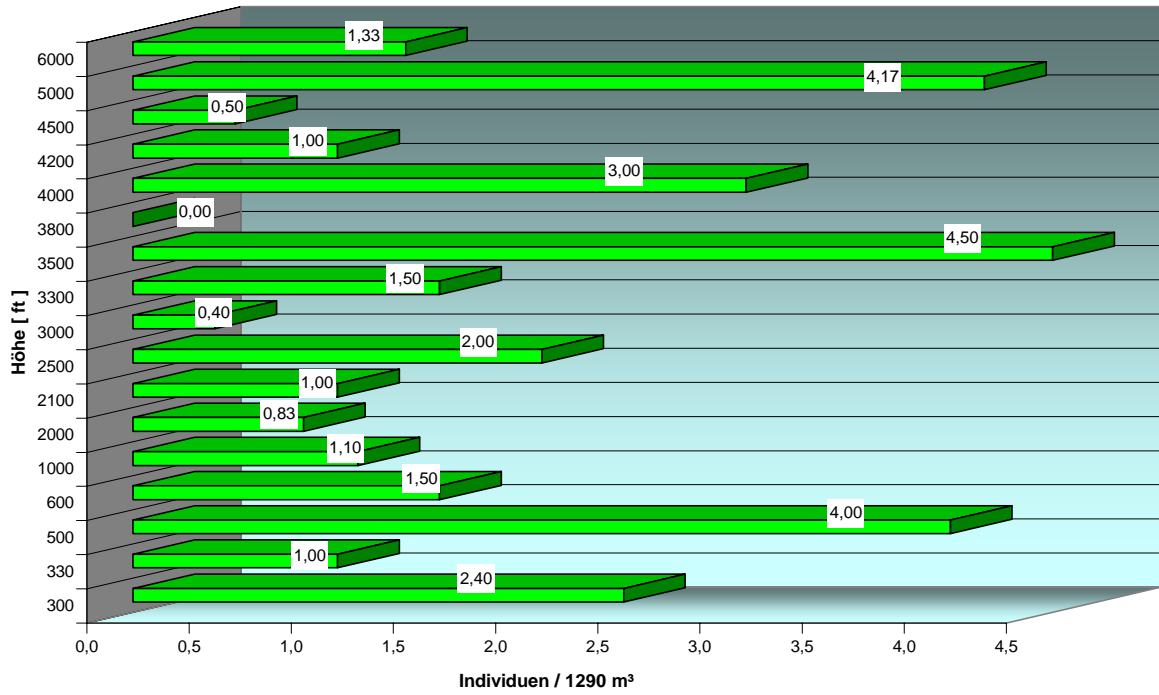


Abb. 21 Dichteverteilung der Blättläuse (Aphidina).

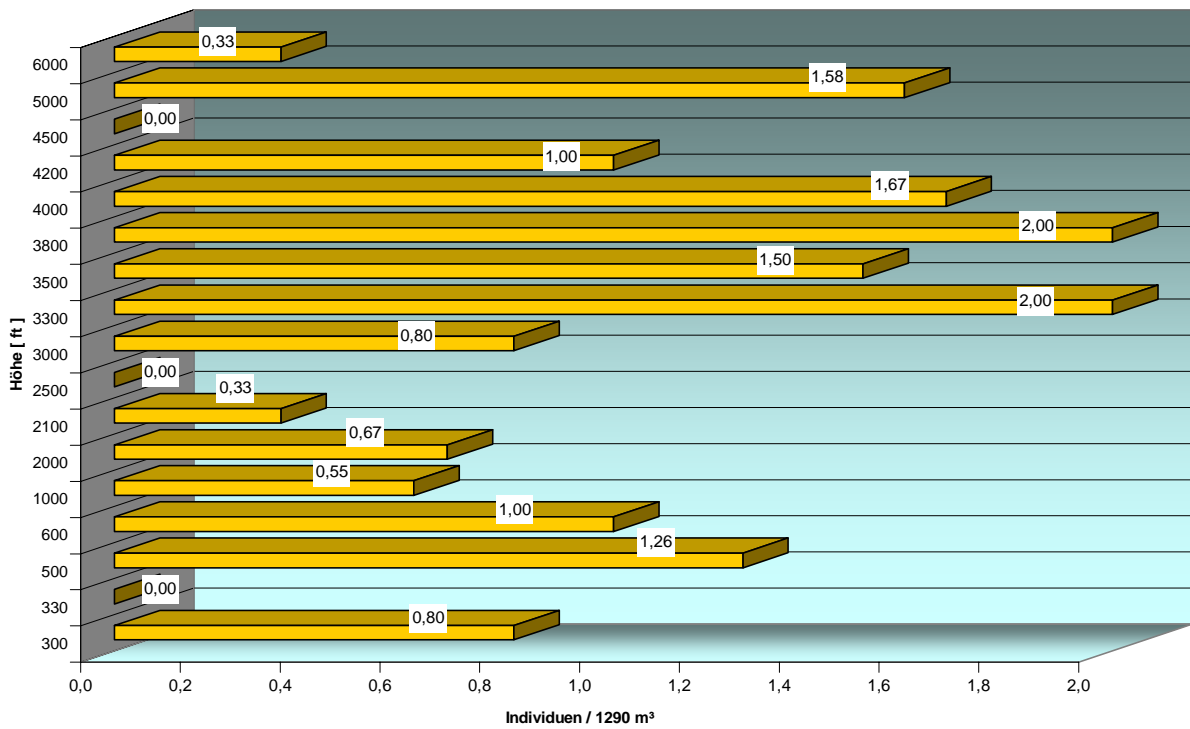


Abb. 22 Dichteverteilung der Hautflügler (Hymenoptera).

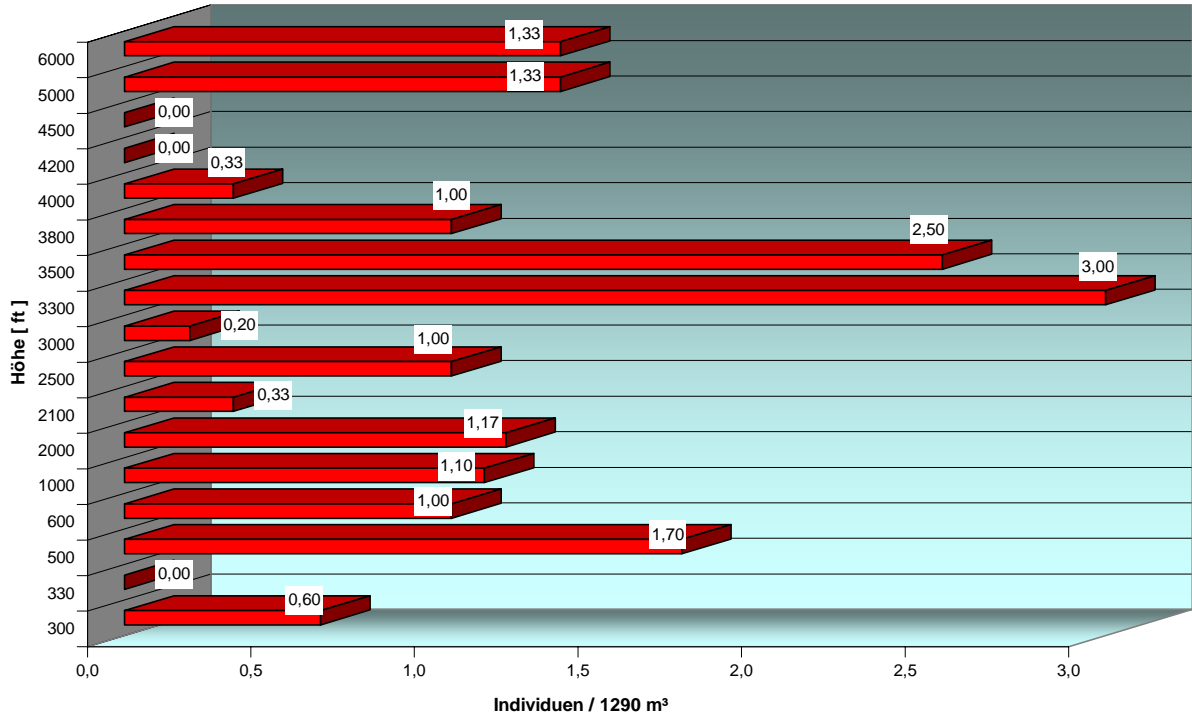


Abb. 23 Dichteverteilung der Mücken (Nematocera).

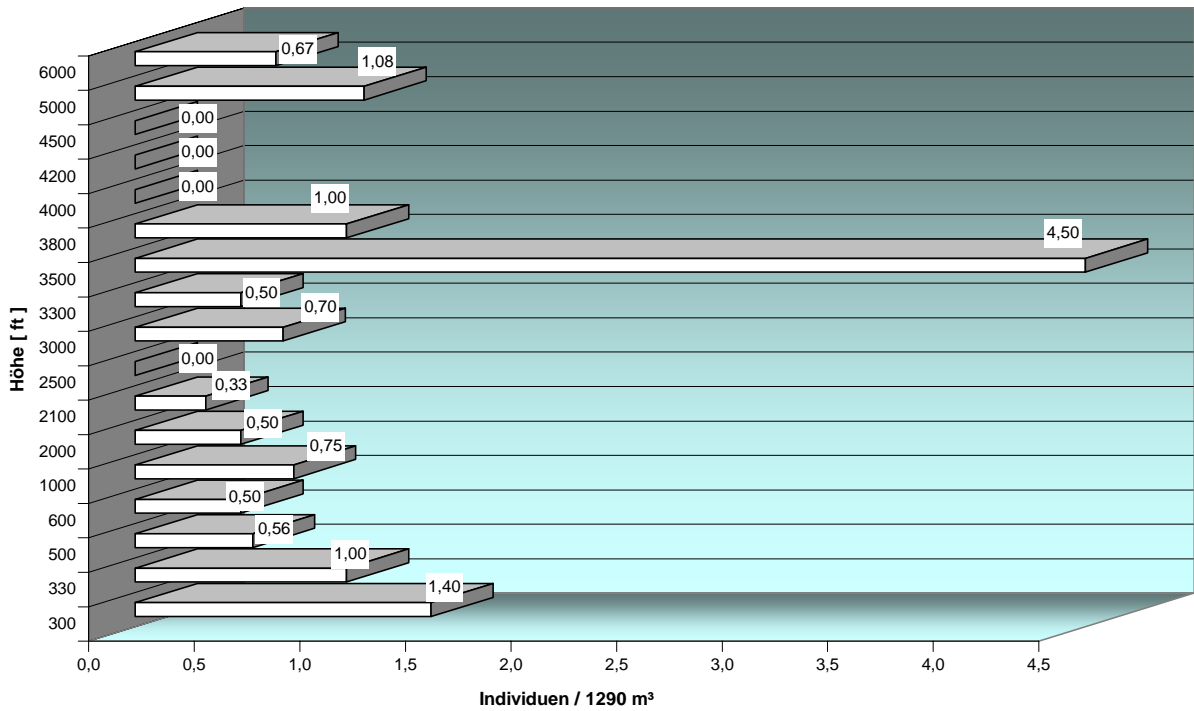


Abb. 24 Dichteverteilung der Fliegen (Brachycera).

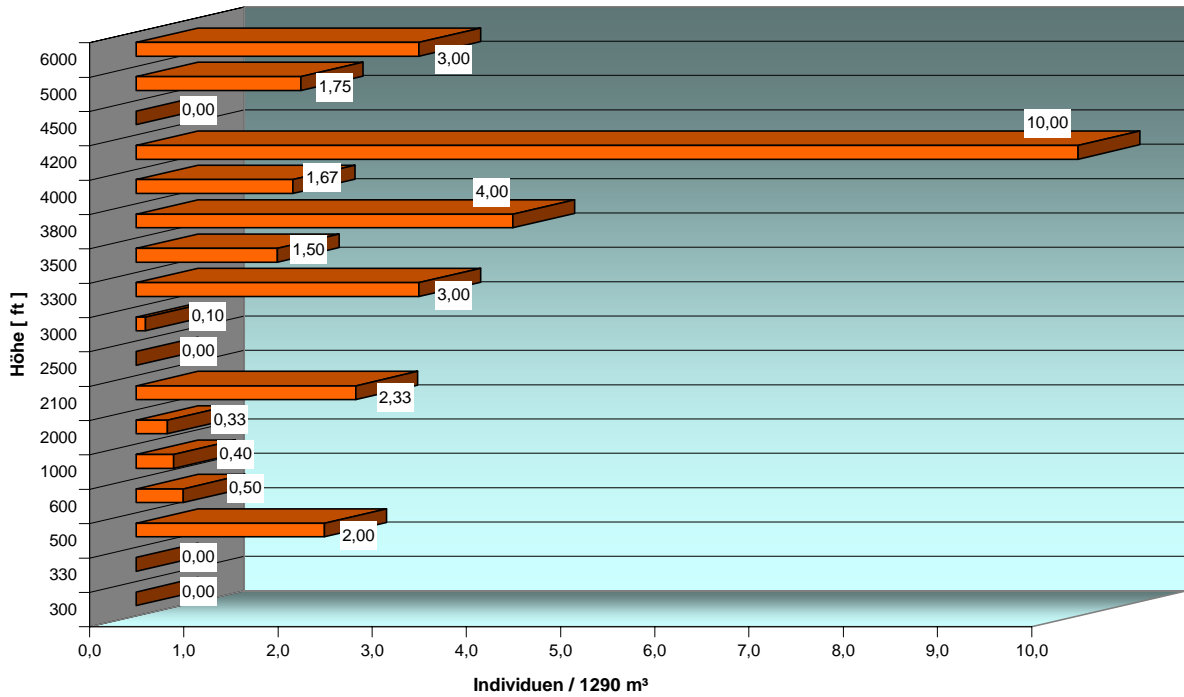


Abb. 25 Dichteverteilung der Fransenflügler (Thysanoptera).

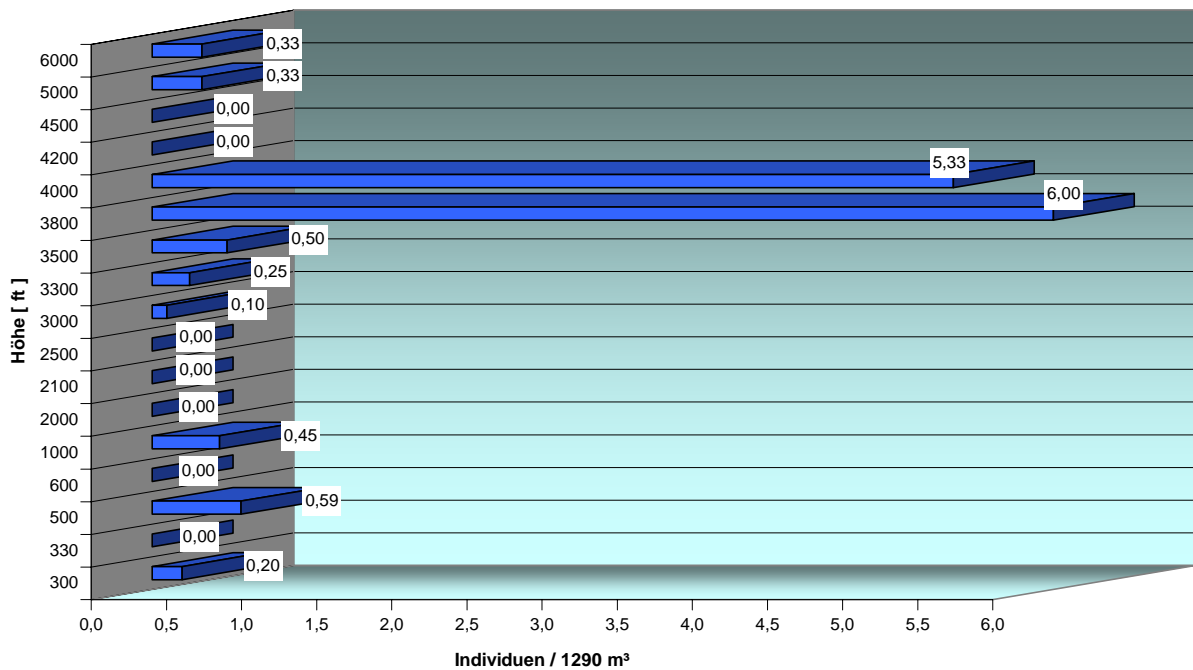


Abb. 26 Dichteverteilung der Käfer (Coleoptera).

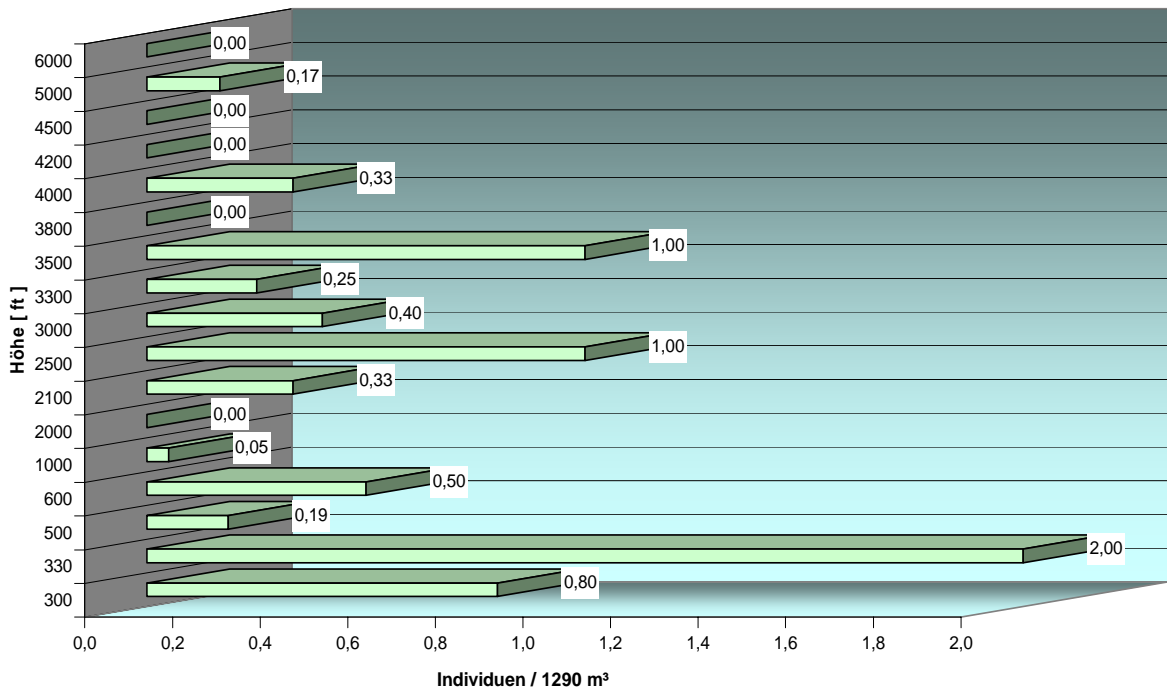


Abb. 27 Dichteverteilung der Blattflöhe (Psyllina).

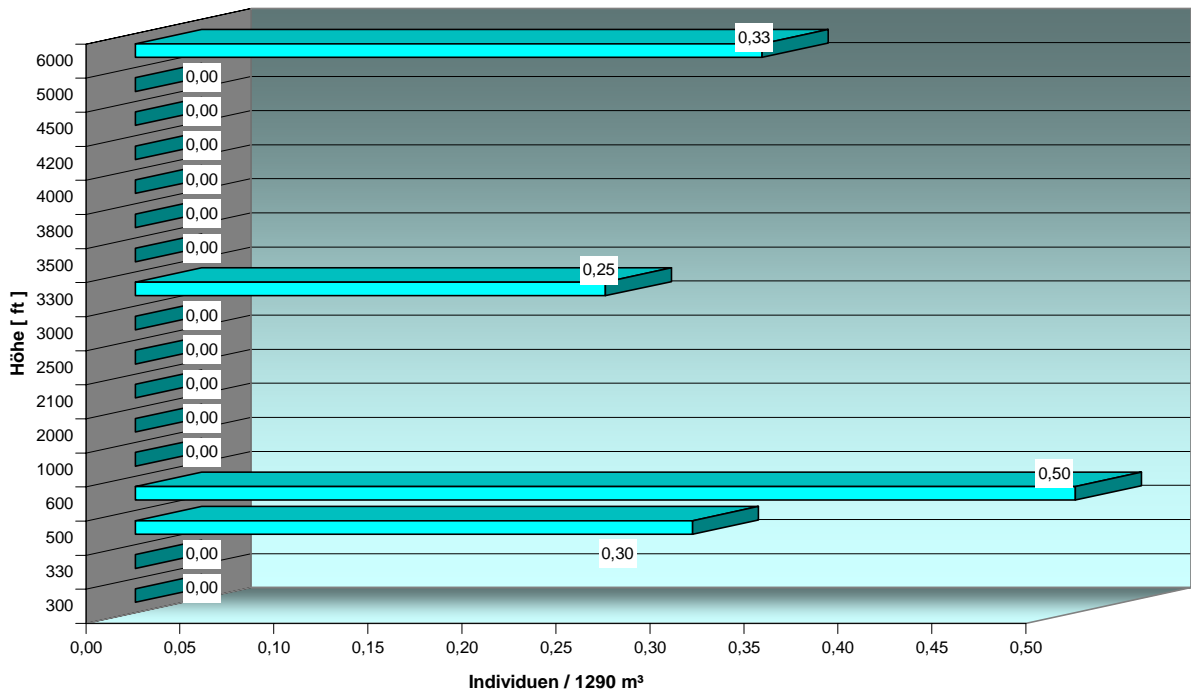


Abb. 28 Dichteverteilung der Staubläuse (Psocoptera).

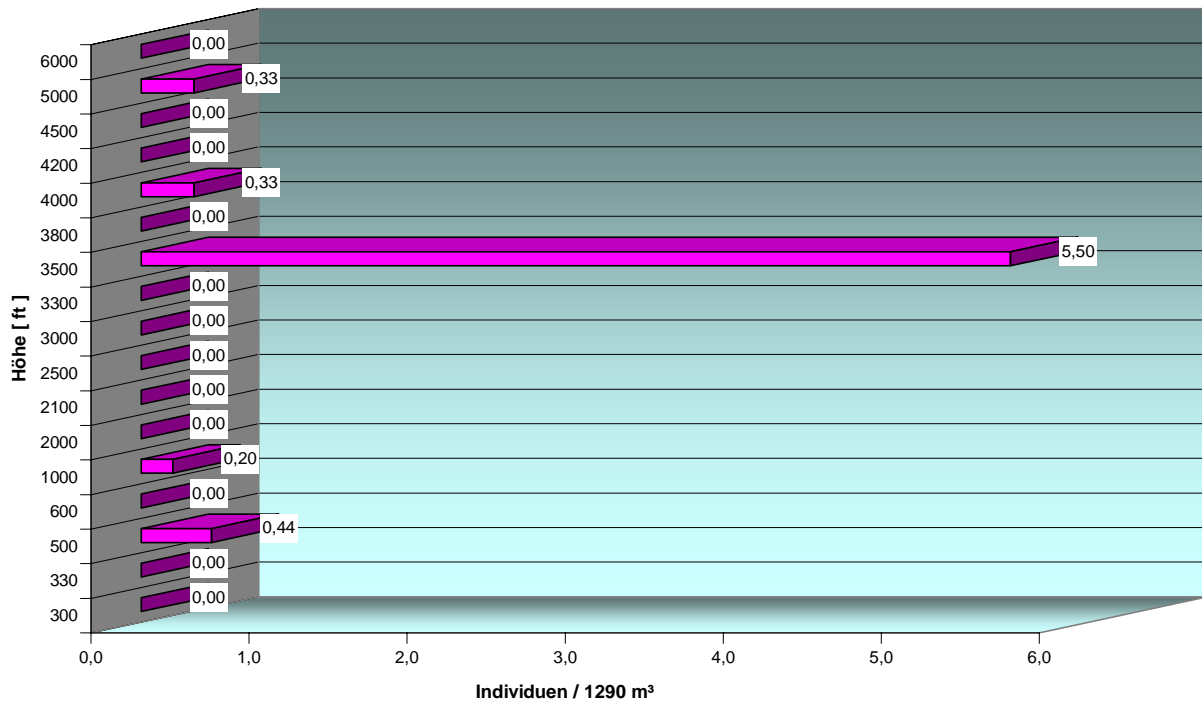


Abb. 29 Dichteverteilung der Spinnen (Araneida).

3.9 Temperaturprofil in der Höhe

Das Ergebnis der Temperaturmessungen während der Fangflüge ergab in einer Zusammenfassung der Messwerte zu 500 ft Stufen den klassischen Verlauf eines Temperaturprofils in der atmosphärischen Grenzschicht (s. Abb. 39). Am Boden wurden für die Untersuchung vor den Starts die höchsten Temperaturen von durchschnittlich 21,7 °C gemessen. Bis 1000 ft gingen die Temperaturen um 4,6 °C auf durchschnittlich 17,1 °C zurück (Abb. 30). Oberhalb von 1000 ft blieben die mittleren Temperaturen bis 3000 ft zwischen 17,1 °C und 17,8 °C annähernd konstant (Höhendifferenz 2000 ft). Zwischen 3000 ft bis 4000 ft ist ein deutlicher Temperaturrückgang um 9,5 °C, von 17,2 °C in 3000 ft auf 7,7 °C in 4000 ft ermittelt worden (Höhendifferenz 1000 ft). 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 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 und gingen dann erneut auf 7,1 °C in 6000 ft zurück. Oberhalb von 6000 ft sinken die Temperaturen noch innerhalb der Troposphäre auf Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt (s. Kap 4.3.1). Die Standardabweichungen in Abb. 30 dürfen nicht auf den einzelnen Fangflug bezogen werden, da während eines Flugeinsatzes die Temperaturen in der jeweils eingenommenen Flughöhen annähernd konstant blieben.

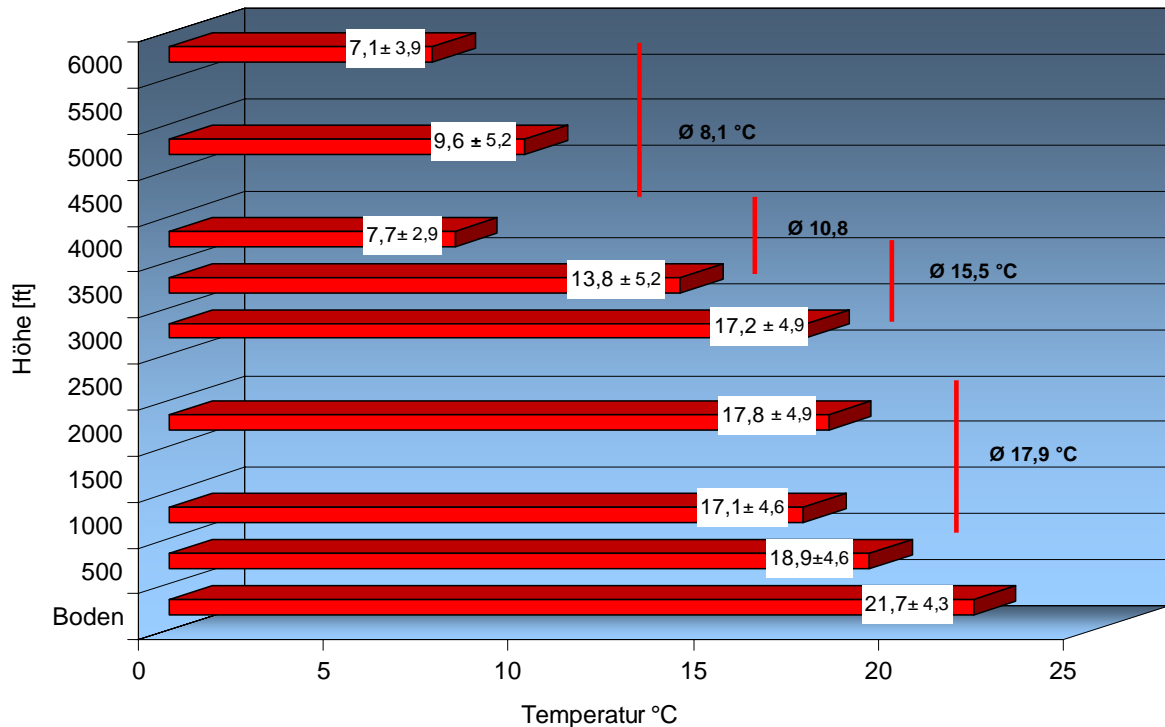


Abb. 30 Temperaturprofil gemittelter Messwerte während der Fangflüge von Bodennähe (Meereshöhe) bis 6000 ft (1830 m) Höhe in 500 ft +/-250 ft Höhenstufen.

3.10 Mittlere Individuendichte in Abhängigkeit von der Jahreszeit

Die saisonale Rhythmik des Insektenaufkommens in Bodennähe spiegelt sich auch in den Fängen in Höhe über 300 ft wider. Um eine Aussage über den Zeitrahmen der jährlichen Aktivität des Aeroplanktons in der Höhe treffen zu können, wurde die Individuendichte monatlich und bezogen auf ein Jahr zusammengefasst dargestellt (Abb. 31). Fasst man die erhobenen Daten auf Monate und bezogen auf ein Jahr zusammen, so stellt sich der Jahreszyklus des Aeroplanktonaufkommens mit dem zu erwartenden Maximum im Juli/August und einem zweiten Maximum im Oktober dar. In den beiden Zeiträumen Juli/August und Oktober finden bei den Insekten wie den Aphidina die Ausbreitungsflüge und Besiedlung der Sommerwirte (Futterpflanzen) bzw. Besiedlung der Winterquartiere statt. Im November wurden aufgrund der vorherrschend schlechten Sichtflugbedingungen keine Fangflüge durchgeführt. Obwohl an schönen Novembertagen Insektenflug am Boden erscheint, ist aufgrund der schlechteren Thermikverhältnisse und der Aktivitätsgrenze von 10 °C für Insektenflug (JOHNSON 1969) kaum Aeroplankton bis in große Höhen zu erwarten. Die Standardabweichung kann nicht für den Einzelflug gelten, da während eines Flugeinsatzes die Temperaturen in der jeweils eingenommenen Flughöhe nahezu konstant waren.

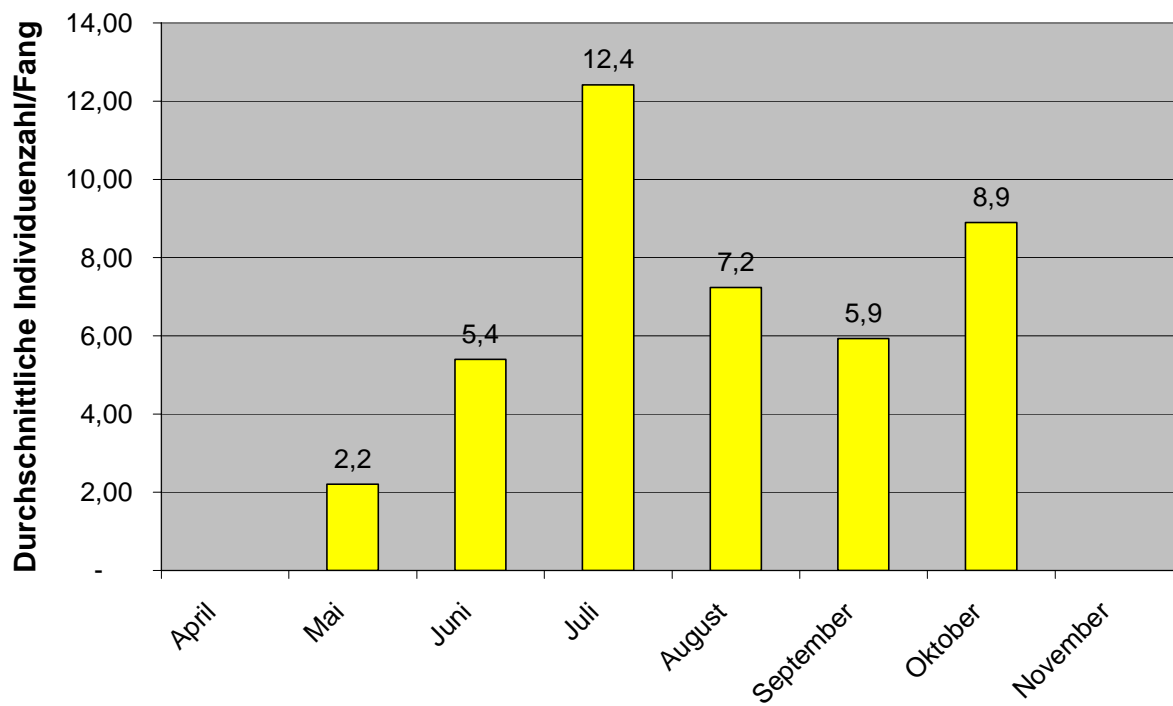


Abb. 31 Aeroplanktonaufkommen im Jahreszyklus zwischen 300 ft und 6000 ft Individuendichte pro Monat.

4. Diskussion / Interpretation

4.1 Individuengröße des Aeroplanktons

Insgesamt war bei der Klassifizierung des gefangenen Materials auffällig, dass bei der Fülle der Arten, die das Insektenreich zu bieten hat, im Aeroplankton nur wenige bestimmte Arten immer wiederkehrend auftraten (s. Anh. 1, Artenliste).

Dass nicht nur geflügelte Formen die Luft als Verbreitungsmedium nutzen, ist seit längerem bekannt (COAD 1931, GLICK 1939, HARDY & MILNE 1938, FREEMAN 1945, WELLINGTON & HENSON 1947, JOHNSON 1969, VUGTS & VAN WINGERDEN 1976, TAYLOR & RELING 1986, GREENSTONE et al. 1987; GREENSTONE 1990, RUSSEL & WILSON 1997). So waren in der vorliegenden Untersuchung die Spinnen (Araneida) mit 32 Tieren (4%) auch in großen Höhen von 5000 ft mit mehr Individuen vertreten als die geflügelten Psyllina und Psocoptera. Auch von den Springschwänzen (Collembola), die mit 7 Individuen (< 1%) festgestellt wurden, ist bekannt, dass sie regelmäßiger Bestandteil des Aeroplanktons sind (PALMEN 1944, DUNGER et al. 2002). Verschiedene Studien wiesen nach, dass ungeflügelte Arten des Aeroplanktons ihre Reise durch die Luft von ihrer Ansitzwarte aus kontrollieren (z.B. Vegetation) und aktiv ihren Start über bestimmte Verhaltensweisen beeinflussen. Während Spinnen eine erhöhte Sitzwarte erklimmen, ihren Hinterleib emporheben und sich durch Entlassen eines Spinnfadens aktiv der Verbreitung mit Hilfe von Luftbewegungen aussetzen (RICHTER 1970), richten Milben und Jungstadien der Schildläuse ihren Körper und Beinpaare zum Wind aus, um in die Luft zu kommen (NAULT & STYER 1969, JOHNSON & CROFT 1976, VUGTS and VAN WINGERDEN 1976, WASHBURN & WASHBURN 1984, SMITLEY & KENNEDY 1985, MARGOLIES 1987).

Manche Collembolenarten können Massenvorkommen an Baumstämmen bis in die Kronenregion hervorbringen (IRMLER 2002). Es liegt nahe, dass Collembolen aufgrund ihres geringen Gewichtes und ihrer springenden Fortbewegungsweise zu einem hohen Maße mit dem Wind und Regen verfrachtet werden können (DUNGER 2002).

Mit dem Einsammeln von Aeroplankton aus großen Höhen wurde in Anlehnung an die Befunde von HARDY & MILNE (1938) festgestellt, dass es sich bei Aeroplankton meist um kleine bis kleinste Arthropoden handelt. Die überwiegend festgestellte Individuengröße in der vorliegenden Untersuchung lag ca. in der Größe der Aphidina (2 - 3 mm \approx 0,5 mg) und kleiner.

Die kleinsten und leichtesten Arten aus den Fangproben der APS wurden mit 0,5 mm unter den Hymenoptera (Mymaridae Abb. 32) und mit 0,9 mm unter den Coleoptera (Ptiliidae: *Acrotichis spec.* 1,0 mm, Abb. 22) festgestellt. Die Mymaridae und die Ptiliidae stellen im Insektenreich die kleinsten existierenden geflügelten Insekten überhaupt (Mymaridae: *Alaptus spec.* = 0,21 mm, Ptiliidae: *Nanosella spec.* = 0,35 mm). Mymaridae und Ptiliidae fehlen bei anderen Autoren wie HARDY & MILNE (1938) sowie FREEMAN (1945) aufgrund ihrer Methode mit Netzfängen. Sehr kleine Insekten besitzen oft keine flächenhaften Flügelemente, sondern gefiederte Flügelanhänge, denen der Thysanoptera ähnlich (Abb. 32 bis 34). Die gefiederten Flügel dienen aufgrund der geringen Größe ihrer Träger eher als rudierende Auftriebelemente denn als Tragflügel. Diese Arten schwimmen eher durch die Luft als zu fliegen (NOYES & VALENTINE 1989). Dennoch sind z.B. Mymaridae in der Lage, die auf Feuerschiffen in der Nordsee installierten Gelbschalen anzufliegen, wenn sie nicht zu lange in der Luft gewesen waren (ABRAHAM mündl. zu HEYDEMANN 1967).

Wie die Befunde zeigen, werden kleinste Organismen, wie die Collembolen, auch ohne eigene Auftriebshilfen in die Höhe getragen. Andere Autoren berichten über den Lufttransport von Milben und Jungstadien der Napfschildläuse (DUNGER 2002, MARGOLIES 1987, JOHNSON & CROFT 1976, SMITLEY & KENNEDY 1985, NAULT & STYER 1969, WASHBURN & WASHBURN 1984). Der Nachweis von flügellosen Elementen des Aeroplanktons erklärt, dass gelegentlich auch kleine Pflanzenteile wie Staubgefäße oder Grasschnitt in den APS-Fängen zu finden waren. Das Vorkommen von Pflanzenteilen im Aeroplankton wird auch von HARDY & MILNE (1938) sowie FREEMAN (1945) beschrieben. Von den Collembolen konnten nur 8 Einzelexemplare nachgewiesen werden. Milben blieben aufgrund ihrer geringen Größe hinsichtlich des makroskopischen Absammelns von der Haftmitteltrommel unberücksichtigt.



Abb. 32 Kleinste im Aeroplankton vorkommende Insektenarten sind Zwergwespen (Mymaridae) mit gefiederten Flügeln 0,6 und 0,5 mm. (Foto: H. Weidel)

Abb. 33 Die zweithäufigste im Aeroplankton vorkommende Gruppe, die sehr kleinen Fransenflügler (Thysanoptera), besitzt ebenfalls gefiederte Flügel, 1,2 mm. (Foto: H. Weidel)





Abb. 34 Kleinste im Aeroplankton vorkommende Käferarten sind Federflügler (Ptiliidae, *Acrotrichis* spec., 0,9 mm) aus 5000 ft Höhe. (Foto: H.Weidel)

Die größten und schwersten im Aeroplankton dieser Untersuchung vorkommenden Arten 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 der Gattung *Philonthus* (*Philonthus carbonarius* (GRAV.) und *Philonthus cognatus* STEPH.) erfasst. 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 (Anh.1, Artenliste, Abb. 35).

Aufgrund ihrer Größe, ihres Gewichtes und ihrer vergleichsweise kraftvollen Flugeigenschaften weichen die erwähnten größeren Arten als einzige von den überwiegend festgestellten kleinen, typischen Aeroplanktonarten ab. Der Anteil der schwereren, kräftigeren Flieger des Aeroplanktons > 5 mm Größe machte 1,0 % aus. Dass die schwereren Arten über den gesamten Untersuchungszeitraum verteilt in Höhen zwischen 3000 ft und 5000 ft gefangen wurden, belegt, dass sie regelmäßiger Bestandteil des Aeroplanktons sind. Aeroplankton ist nicht nur auf kleine Arten beschränkt (JOHNSON 1969).

Abb. 35 Die meisten schwereren Flieger des untersuchten Aeroplanktons waren der Käferfamilie Staphylinidae zuzuordnen (hier: *Philonthus carbonarius*, 9 mm). (Foto: H.Weidel)



4.2 Dispersionsmechanismus

Alle über die Höhe nachgewiesenen Artengruppen dieser Untersuchung wiesen ähnliche Verteilungsmuster (Abb. 21 bis 29) wie die Gesamtheit aller Individuen auf (Abb. 16 bis 18). Auch ungeflügelte Formen, wie die Spinnen, zeigten bei ca. 3500 ft ein ausgeprägtes Dichtemaximum (Abb. 29). Artengruppen mit vergleichsweise wenigen Individuen, wie die Blattflöhe und Staubläuse, konnten über fast alle Höhenstufen bis in 5000 und 6000 ft nachgewiesen werden (Abb. 27 und 28). Aus den sich ähnelnden Verteilungsmustern der Organismengruppen lässt sich ableiten, dass geflügelte und ungeflügelte Formen des verdrifteten Aeroplanktons den gleichen Dispersionsmechanismen unterliegen.

Beim vorgefundenen Aeroplankton handelt es sich meist um kleine bis kleinste Arten > 3 mm, die im Verhältnis zu ihrer Masse eine große Oberfläche besitzen (HARDY & MILNE 1938, FREEMAN 1945). Ihnen sind aufgrund ihrer geringen Größe nur eingeschränkte Flugeigenschaften und ein schwacher Mobilitätsgrad gegeben (HARDY & MILNE 1938, FREEMAN 1945, RUSSEL 1999). Weil die kleinen Arten des Aeroplanktons sich aktiv den Strömungen der Luft aussetzen, aber verhältnismäßig schlechte Flieger eher Schwebler sind, haben sie nur geringe Möglichkeiten, ihren Flugweg zu beeinflussen. Sind die Organismen erst einmal mit den ihnen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten aktiv in die Luft gekommen, wird ihr weiterer Weg durch Konvektionsströme und andere Strömungen (turbulente Wirbel, lokale Systeme) der Luft bestimmt (RUSSEL & WILSON 1997, RUSSEL 1999, GEERTS & MIAO 2004, 2005). Manche Autoren vergleichen die Ausbreitung des Aeroplanktons mit der Ausbreitung des marinen Planktons (RUSSEL & WILSON 1997).

Nach Angaben von GEERTS & MIAO (2005) beträgt die Höhe der atmosphärischen Grenzschicht (planetary boundary layer), in der sich an wolkenlosen Tagen Klarluftechos (fine lines) mit dem Radar nachweisen lassen, für gewöhnlich 1 km. Die Obergrenze der atmosphärischen Grenzschicht (konvektive Grenzschicht) wird oft von Inversionen überlagert, die mit Isothermie oder mit einem Temperaturanstieg in der Höhe einhergehen. KONRAD (1970) hat die stärksten Radarechos auf den Zellobergrenzen kuppelförmiger Konvektion, im oberen Durchmesser mit 1 – 1,5 km und an der Basis 2 km, festgestellt. Die Thermikzellen expandieren von 100 – 200 m Durchmesser in Bodennähe bis auf max. 3,5 km Durchmesser in 1500 m Höhe und lösen sich in der Inversion auf. Klarluftechos erscheinen am frühen Vormittag und lösen sich mit der Thermik, ca. 4 Stunden nach Sonnenhöchststand, wieder auf (GEERTS & MIAO 2005). Weil Klarluftechos der Ansammlung von Kleininsekten zugeschrieben wird, lassen sich mit dem Radar Klarsichtturbulenzen und Konvergenzzonen aufzeigen und gegebenenfalls lokale, zeitnahe Wetterentwicklungen vorhersagen (RUSSEL & WILSON 1997). Die Masse von Insekten, die mit dem Radar erfasst werden können, ist auf > 1 mg begrenzt. Es ist möglich, dass bei Wetterlagen mit Wolkenbildung die stabilen Luftschichten über der atmosphärischen Grenzschicht regelmäßig durch insektenbeladene Thermikblasen durchstoßen werden und dass sich Insekten in bestimmten Höhen ansammeln. An dieser Hypothese setzt die folgende Diskussion an.

4.3 Entstehung und Struktur von Konvektionsströmen

Turbulenz kommt in Skalen von wenigen Millimetern bis zu einigen 1000 Kilometern vor. 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, der

durch die Sonneneinstrahlung erwärmt wird, 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). Aus den Erfahrungen von Luftfahrern und aus den theoretischen Erkenntnissen von numerischen Simulationen lässt sich allgemein ableiten, dass Thermik aus ausgedehnten Aufwindzonen besteht, die viele Aufwindblasen unterschiedlicher Vertikalgeschwindigkeit enthalten. Die kleineren Aufwindblasen sind besonders warm und besitzen besonders großen Auftrieb. Die einzelnen Blasen des Aufwindes haben eine charakteristische Ringstruktur. Hierbei findet sich das stärkste Aufwindgebiet in der Mitte, wogegen an den Rändern ein Absinken zu finden ist. Dieses Gebilde bewegt sich insgesamt nach oben (Abb. 36).

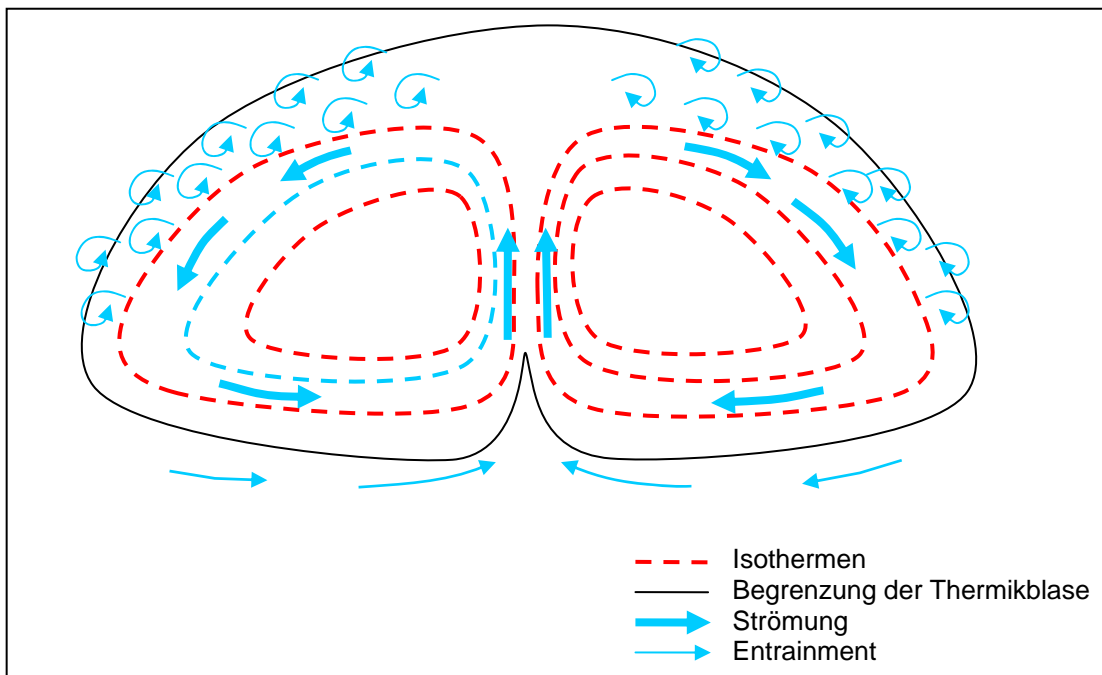


Abb. 36 Ringstruktur einer Thermikblase.

Aufsteigende Warmluftblasen transportieren im Tagesverlauf von der Sonne erwärmte Luft in größere Höhen und bringen gleichzeitig etwas kühlere Luft aus mehreren hundert Metern Höhe zum Erdboden. Beim Aufsteigen der Thermikblasen wird durch Turbulenz Umgebungsluft seitlich eingemischt (entrainment). Dadurch wird ihr Feuchtegehalt und ihre Temperatur, besonders in den Randbereichen, verändert (Abb. 37).

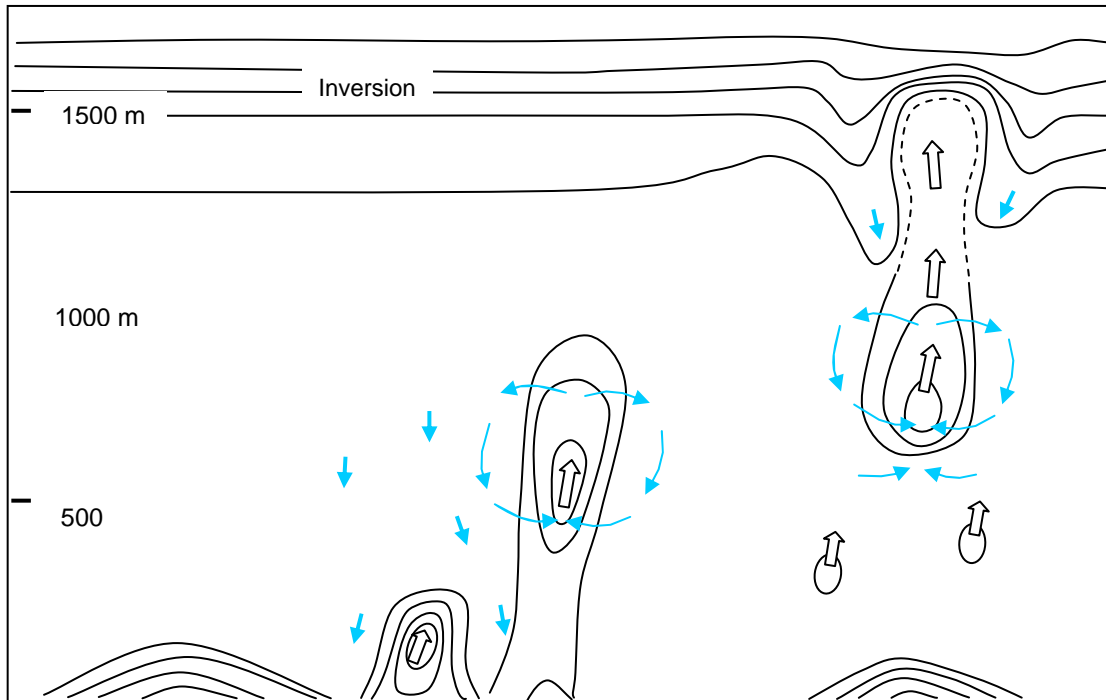
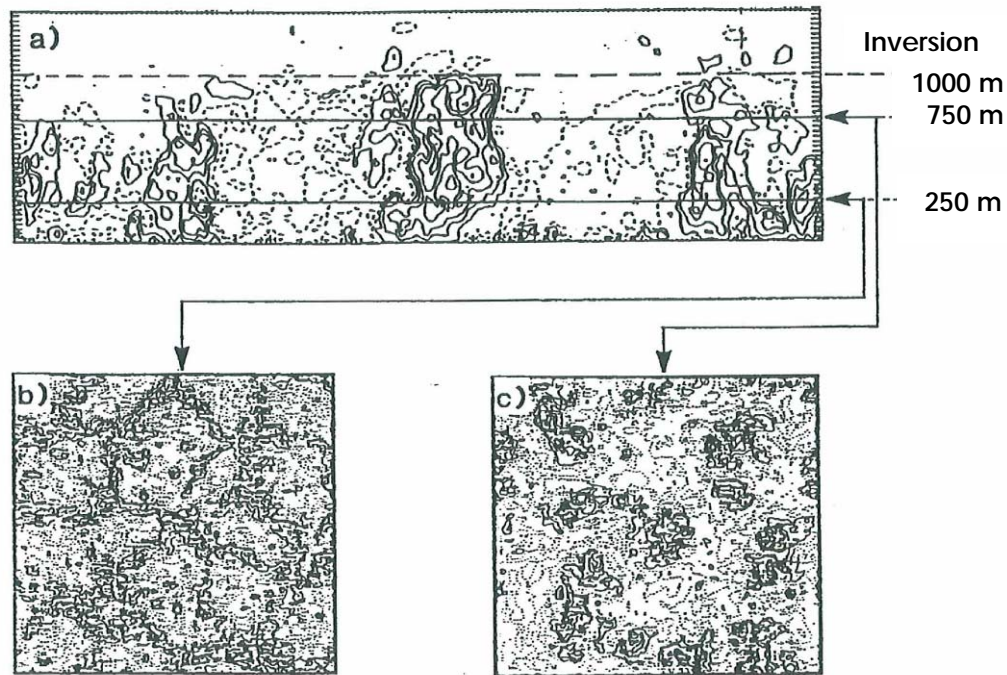


Abb. 37 Ablösung einer Thermikblase und ihre Einbindung in eine stabile Schicht (bzw. Inversion). Die durchgezogenen Linien sind Isolinien der potentiellen Temperatur. Nach HAFNER (1993).

Zur Beschreibung der Konvektion benötigt man die vertikalen Profile von Temperatur, Feuchtigkeit und Wind. Diese Profile werden durch synoptische Prozesse, wie z.B. großskalige Vertikalbewegungen (Absinken, Heben) und horizontale Advektion oder durch die Konvektion selbst ständig verändert. Aufsteigende und absinkende Thermikblasen bewirken den turbulenten Transport von fühlbarer und latenter Wärme sowie den turbulenten Impulstransport (HAFNER 1993).

Mit Hilfe von numerischen Berechnungen gelang eine realistische Beschreibung der Thermikstruktur (Large Eddy Simulation) mit einer hohen räumlichen Auflösung von 50 m (SCHMITT & SCHUMANN 1989 in HAFNER 1993). In den Ergebnissen von SCHMITT & SCHUMANN (1989) erkennt man deutlich einzelne Aufwindblasen mit darin eingebetteten kleineren Blasen unterschiedlicher Aufwindgeschwindigkeit (Abb. 38). Dazwischen befinden sich Gebiete mit schwachen Abwinden. In den unteren 250 Metern zeigt sich eine gut entwickelte zellulare Struktur, in der die kleinräumigen Aufwinde entlang von Polygonen konzentriert sind. In 750 m Höhe konzentrieren sich Aufwinde in Form von Säulen mit mittleren bis starken Aufwindgeschwindigkeiten und einer internen Feinstruktur aus einzelnen Aufwindblasen.



Numerische Simulation von thermischen Aufwinden die bis zur Inversionsschicht in 1000 m Höhe reichen.

a) Vertikalschnitt

b) Horizontalschnitt in 250 m Höhe

c) Horizontalschnitt in 750 m Höhe

Die durchgezogenen Linien umranden Aufwinde (Schmitt und Schuhmann, 1989)

Abb. 38 Numerische Simulation der Thermik aus HAFNER (1993).

An sogenannten „Hot-Spots“ kommt es durch lokale Gegebenheiten (Waldränder, Dünen, Geländerhebungen) immer wieder zur Entwicklung von besonders häufigen Aufwinden. „Hot-spots“ funktionieren bei verschiedenen Wetterlagen und Windrichtungen. Ausgenommen sind Starkwindlagen und Kaltluftadvektion. Bei leichtem und mäßigem Wind können sich Aufwinde entwickeln, die sich bei immer wiederkehrendem Nachschub warmer Luft vom Boden her längere Zeit über die Landschaft bewegen. Diese Aufwinde stehen annähernd senkrecht und sind in ihrer Aufwindstärke größeren Variationen unterworfen – je nachdem, ob ausreichend warmer Nachschub vom Erdboden erfolgt. Diese Form der Aufwinde saugen bei der Wanderung über Land Warmluftpakete regelrecht vom Boden auf (HAFNER 1993).

Die komplizierten Zusammenhänge und die Vielfalt der Thermikstrukturen gestalten eine Vorhersage der thermischen Konvektion schwierig. Allgemein kann man die Thermik mit folgendem Satz stark vereinfacht beschreiben: Eine große Aufwindblase besteht aus vielen kleinen Aufwindblasen („bubbles in the bubble“).

4.3.1 Konvektion und Wolkenbildung

Warmluftblasen steigen auf, bis sie auf die stabilen Luftschichten von Inversionen treffen (Abb. 37). Inversionen sind durch Isothermie und Anstieg der Temperatur in der Höhe gekennzeichnet. Der Übergang zur Inversion (konvektive Grenzschicht) ist in der Höhe oftmals durch die von der Erdoberfläche aufgestiegenen und sich stauenden Dämpfe, Gase

und Staub farblich scharf abgegrenzt sichtbar. Die stabilen Inversionsluftschichten deckeln die darunterliegende, labile, oftmals graubraun eingefärbte atmosphärische Grenzschicht ab. Die Abgrenzung zur Inversion ist insbesondere in luftverschmutzten Regionen gegenüber den Küstenregionen mit klarer Luft erkennbar.

Die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf hängt von der Temperatur ab. Je höher die Lufttemperatur ist desto mehr Wasserdampf kann die Luft aufnehmen. Die Taupunkttemperatur ist die Temperatur, auf die die Luft abgekühlt werden muss, damit sie mit Wasserdampf gesättigt ist. Beim Aufstieg eines ungesättigten Luftpaketes kühlt sich die Luft durch Expansion trockenadiabatisch um $0,98\text{ °C}/100\text{ m}$ ab. Cumuluswolken (Cu) entstehen, wenn die aufsteigende Warmluft am Konvektionskondensationsniveau (KKN) in der Nähe zur konvektiven Grenzschicht soweit abgekühlt ist, dass sie mit Wasserdampf gesättigt ist und Wasserdampf auskondensiert. Zum Feststellen der Wolkenhöhe benutzt man in einem thermodynamischen Diagrammpapier die Linie konstanten Mischungsverhältnisses, die am Boden durch den Taupunkt verläuft. Folgt man in dem Diagramm der Linie konstanten Mischungsverhältnisses bis sie das Temperaturniveau schneidet, ergibt der Schnittpunkt die Höhe der Cu-Basis (Abb. 39). Es entstehen die Schönwetterwolken „Cumulus humilis“. Reicht die Luftfeuchtigkeit nicht aus, entstehen in der Höhe keine Wolken und man spricht von trockener Thermik, der sogenannten Blauthermik.

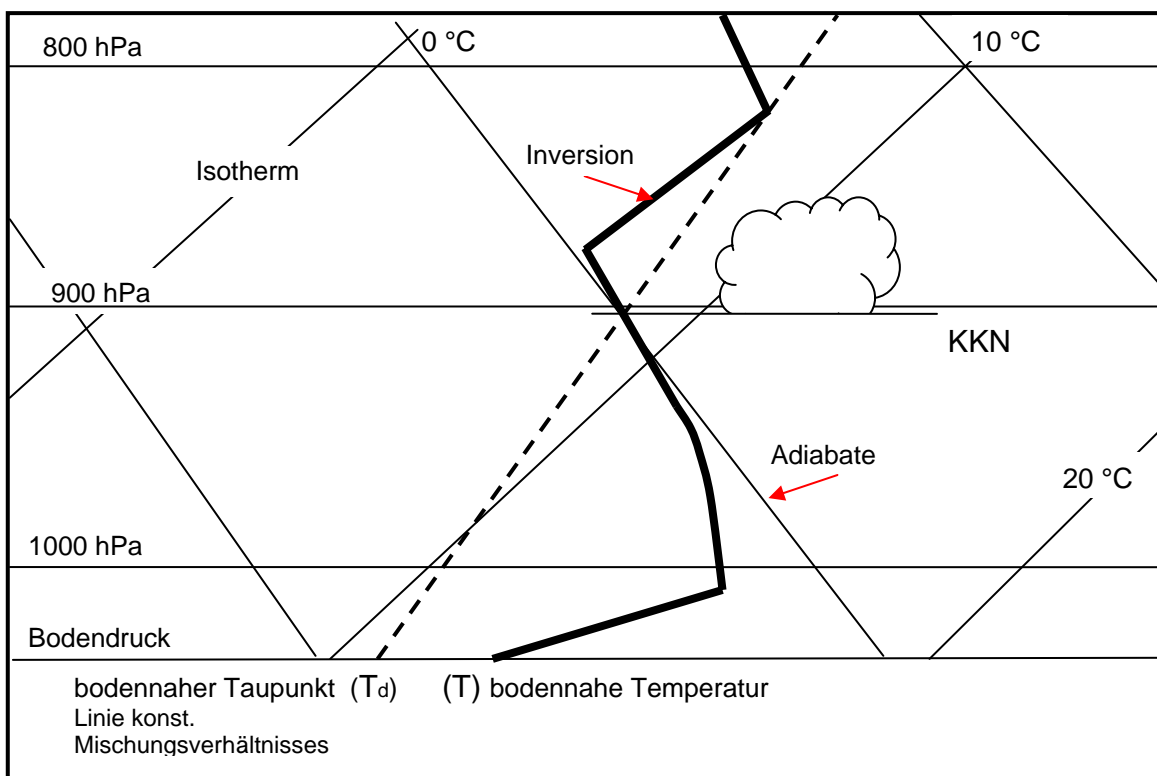


Abb. 39 Vereinfachtes Beispiel eines typischen Temperaturverlaufes über die Höhe. Die gestrichelte Linie ist eine Linie konstanten Mischungsverhältnisses.

Hat ein Luftpaket sich durch den Aufstieg soweit abgekühlt, dass der Taupunkt erreicht ist, und zu Wolken kondensiert, wird Kondensationswärme frei. Das Luftpaket erfährt erneut eine Wärmezufuhr. Wenn weiterhin Übersättigung vorliegt, wird die aufsteigende Wolkenluft nicht mehr so stark abgekühlt wie das bereits trocken aufgestiegene Luftpaket.

Die Temperatur in einer Cumuluswolke ist deshalb immer größer als in der Umgebungsluft. Die Wolke wird wie die Thermikblase weiter aufsteigen und sich nur noch feucht-adiabatisch abkühlen. Cumulus congestus (Cucon), sog. Blumenkohlwolken, prägen sich am Tage am kräftigsten aus, wenn die Sonne ihre stärkste Einstrahlung besitzt – das ist meist am frühen Nachmittag der Fall. Dabei reichen sie oftmals bis in das mittlere Wolkenstockwerk bis zu 6000 m (ca. 19 700 ft) hoch. Wenn am späten Nachmittag die Sonnenwärme und damit die Thermik nachlässt, fallen auch die Cucon wieder in sich zusammen und bei ruhigen Wetterlagen verschwinden sie in den Abendstunden gänzlich.

Wenn keine ausgeprägte Inversion vorhanden ist und die Atmosphäre mit der Höhe labiler wird, sind die Wolkenobergrenzen nicht homogen. Bei feuchtlabiler Schichtung oberhalb des Konvektionskondensationsniveaus (KKN) wird die Cumulusentwicklung erst durch die Tropopause, in den Breiten des Untersuchungsgebietes über Schleswig-Holstein in ca. 10 000 – 12 000 m (ca. 32 800 – 39 300 ft) Höhe, begrenzt. Schauer bilden sich, wenn die Quellwolken beim Aufstieg auf Temperaturen unter -10 °C abgekühlt werden. Gewitter entstehen, wenn die Quellwolken die -40 °C Grenze erreichen (HAFNER 1993).

4.4 Aeroplankton und Thermik

In der Aviatik wird die Stärke der Thermik als Geschwindigkeit gemessen. Die Aufwindgeschwindigkeit der Thermik beträgt zwischen 0,5 bis zu 10 m/sec, im Durchschnitt 1 bis 5 m/sec (KONRAD 1970, THOMAS 1977). In ihren Berechnungen gehen GEERTS & MIAO (2005) von Höchstwerten bis zu 5 m/sec aus. Bei schwacher Thermik beträgt die mittlere Steiggeschwindigkeit bis 1 m/sec und die Obergrenze der Konvektionsschicht erreicht eine Höhe bis 1000 m über Grund. In einer Werteskala von schwach (bis 1m/sec), mäßig (bis 2,5 m/sec) und gut (bis 5 m/sec) spricht man bei Werten über 5 m/sec in der Fliegerei von sehr guter Thermik (siehe Tab. 8). Die Obergrenze der Konvektionsschicht kann bei Aufwindgeschwindigkeiten über 5 m/sec Höhen über 2000 m erreichen (HAFNER 1993).

Während des Aeroplanktonfangs mit der PA 18 kam es vor, dass im permanenten Wechsel starke Auf- und Abwindfelder mit dem Flugzeug durchkreuzt werden mussten. Es traten in den unterschiedlichen Höhen der Wolkenuntergrenzen Aufwinde auf, denen mit einer Sinkrate des Flugzeugs von über 1000 ft/min (5 m/sec) entgegnet werden musste, um die Fanghöhe zu halten. Die hohe Sinkrate überstieg den maximalen Anzeigewert von 1000 ft/min des Variometers im Cockpit. Außerhalb der Aufwindzonen musste im nächsten Augenblick den Abwinden mit einer Steigrate des Flugzeugs von 500 ft/min (2,5 m/sec) entgegnet werden, um nicht in niedrigere Fanghöhen gedrückt zu werden. Das heißt, es gibt immer wieder sehr starke Aufwinde von mehr als 5 m/sec, die auch von kräftigen Absinkvorgängen der Umgebungsluft begleitet sein können (Abb. 37).

Das Aeroplankton erzeugt bei klarem Himmel unter konvektiven Wetterbedingungen in der Konvektionsschicht (= atmosphärischen Grenzschicht) wolkenartige Radarechos („angel echos“) (SCHAEFER 1976, REID et al. 1979, GOSSARD 1990, RUSSEL & WILSON 1997). Erst GEERTS & MIAO (2005) konnten mit einem in ein Flugzeug eingebauten Wolkenradar (Wellenlänge 3 mm) zeigen, dass Aeroplankton in traubenförmigen Ansammlungen sog. „plumes“ von ca. 200 m Durchmesser in der Thermik aufsteigt. In den plumes ist die Dichte der Insekten ein- bis mehrfach erhöht. Die Lücken zwischen den plumes betragen 2,4 – 3,0 km. Bei den Untersuchungen durch die o.g. Autoren stellte sich heraus, dass das Aeroplankton in allen Höhen der atmosphärischen Grenzschicht der Thermik, mit einer durchschnittlichen Sinkrate von $0,5 \pm 0,2$ m/sec im Vergleich zur

umgebenden Luft, entgegenwirkte. Die Sinkrate erhöhte sich je nach Thermikstärke bis auf 0,64 m/sec. Dass die Kleininsekten des Aeroplanktons sich in der Thermik aktiv aufhalten und gegensteuern, erklärt auch die im Radar beobachtete Plumebildung und das „rasche“ Auflösen der plumes mit Nachlassen der Thermik am späten Nachmittag (McLAUGHLIN 1994; GEERTS & MIAO 2005).

Maximale Sinkraten von Kleininsekten werden je nach Art mit 1 - 2 m/sec angenommen (PEDGLEY et al. 1982). THOMAS et al. (1977) stellte 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 0,7 m/sec. Da Thermik hingegen sehr viel höhere Aufwindgeschwindigkeiten beinhalten kann, sind die Tiere immer wieder den Aufwinden der Thermik entgegen ihrer maximal möglichen Sinkrate ausgesetzt. Sie müssten selbst mit angelegten Flügeln bei mäßiger und starker Thermik in die Höhe getragen werden.

Viele Arten des Aeroplanktons sind auf die Aufwinde der Konvektionsströme angewiesen, um ihren Verbreitungsweg über die Atmosphäre antreten zu können (WELLINGTON & HENSON 1947, VUGTS & VAN WINGERDEN 1976, TAYLOR & RELING 1986, GREENSTONE et al. 1987, GREENSTONE 1990). JOHNSON (1969) geht davon aus, dass die Kleininsekten des Aeroplanktons beträchtliche Möglichkeiten besitzen, ihren Verbreitungsweg über große Höhen vertikal zu beeinflussen oder vorherzubestimmen. Um überhaupt in die Aufwindzonen der atmosphärischen Grenzschicht zu gelangen, ist von den Organismen zunächst die durch die Topographie beeinflusste erdbodennahe Luftschicht (surface boundary layer) bis 10 m Höhe zu überwinden (ISARD et al. 1990). Bei einer ausgedehnten, geschlossenen Wolkendecke haben Kleininsekten Schwierigkeiten aufzusteigen (RUSSEL & WILSON 1997). Einmal in die atmosphärische Grenzschicht gelangt, haben die Kleininsekten den Aufwinden der Thermik nur ihr Eigengewicht entgegenzusetzen (s.o.).

Aufgrund der Stärke, die Konvektionsströme regelmäßig erreichen können, ist davon auszugehen, dass Aeroplankton auch in Höhenregionen mit Minustemperaturen gelangt. Dass Insekten bei positiven Temperaturen oberhalb ihrer Aktivitätsschwelle von 10 °C starten und in Höhen mit Minustemperaturen getragen werden, belegt z.B. das Ergebnis eines Fluges am 10.10.2004 bei guter Thermik. Nach leichtem Bodenfrost in der Nacht wurde gegen 13:00 h vor dem Start am Boden eine Temperatur von + 11,2 °C gemessen. Schon in der Referenzhöhe von 500 ft wurde eine Temperatur von + 8,5 °C unterhalb der Flugaktivitätsschwelle von Kleininsekten gemessen. Dennoch traten Blattläuse und Mücken im Fanggut des APS auf. Während der Höhenprobennahme in 5000 ft herrschte eine Temperatur von – 1,5 °C. Trotz der Temperatur unter dem Gefrierpunkt konnten Blattläuse und Fliegen in der Höhe von 5000 ft nachgewiesen werden. Wenn auch die Tiere durch die niedrigen Temperaturen in der Höhe inaktiv gewesen sein mussten, wurden sie aufgrund der Thermik dennoch in die Höhe von 5000 ft getragen und mit dem Aeroplanktonsammler erfasst.

4.5 Aeroplanktondispersion und -akkumulation

In Kap. 3.5 (Abb. 16 bis 18) wird in einer Gesamtübersicht ein durchschnittliches Verteilungsmuster der Individuendichte über die Höhe aus den Jahren 1999 bis 2004 auf ein Sommerhalbjahr zusammengefasst und dargestellt. Projiziert man das vertikale

Verteilungsmuster der durchschnittlichen Individuendichte in die durchschnittliche Höhe der atmosphärischen Grenzschicht (ca. 1000 m = 3278 ft), so stimmen der Anstieg und das Maximum der Individuendichte mit der konvektiven Grenzschicht, kurz oberhalb des durchschnittlichen Konvektionsgeschehens, bei ca. 3500 ft (1068 m) überein (Abb. 40).

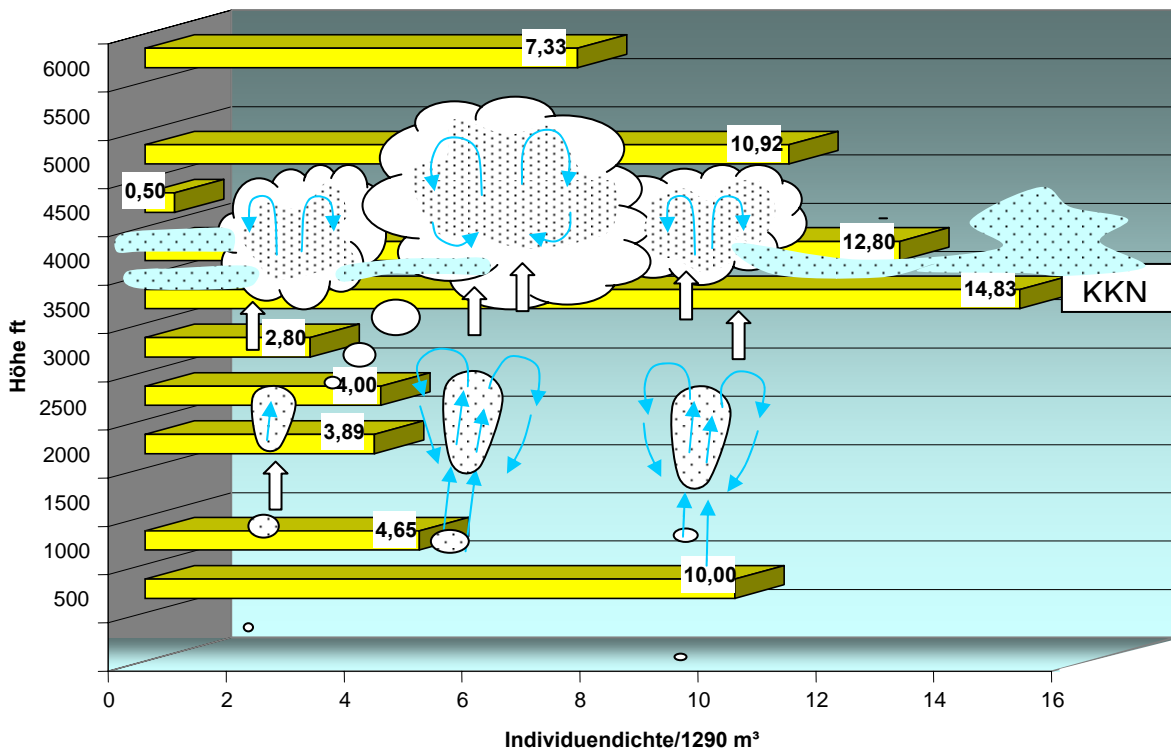


Abb. 40 Thermik, Konvektionskondensationsniveau (KKN) und Individuendichte.

Aeroplankton muss sich aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse entsprechend der Thermik verhalten. Es wird mit den Thermikblasen in Bodennähe aufgenommen und in die Höhe getragen. Die unterhalb von 3000 ft bis zur Obergrenze der Konvektionsschicht kontinuierlich mit der Höhe abnehmende durchschnittliche Aeroplanktondichte erklärt sich durch die Ausbreitung des Aeroplanktons im Raum sowie die Dynamik innerhalb der Konvektionsströme und Thermikblasen, wie sie GEERTS & MIAO (2004, 2005) beschreiben. Denkbar ist, dass bereits in die Höhe getragenes und seitlich der Aufwindsäulen mit den Abwinden absinkendes Aeroplankton der aufsteigenden Luft wieder beigemischt wird („entrainment“).

Je nach Wellenlänge des Radars und der Größe sowie Gewicht der Insekten werden verschiedene Dichten des Aeroplanktons diskutiert. HARDY (1968) kalkulierte bei einer Größe der Insekten von 2,5 mm eine Häufigkeit von 1 Ind./300 m³. GEERTS & MIAO (2005) vergleichen verschiedene Autoren und deren Dichteangaben von 1 Ind./0,3 – 3 m³ über 1 Ind./100 m³ und 1 Ind./30-300 m³ bis 1 Ind./1000 m³. Ihre eigenen Ergebnisse liegen bei 1 Ind./m³ im Zentrum der Radarechos und 1 Ind./100 - 1000 m³ im Hintergrund der Radarechos.

Die in Kap. 3 der vorliegenden Untersuchung aufgeführten Daten bezogen sich immer auf Individuen pro Fang d.h. immer auf 1 Std. Öffnungszeit in der 1290 m³ Luft mit dem APS durchfiltert wurden. Zum Vergleich zu den Dichteangaben der o.g. Autoren wurden in der

vorliegenden Untersuchung folgende durchschnittlichen Werte über alle Höhen und Größenordnungen der Insekten ermittelt:

$$0,006147 \text{ Ind./m}^3 = 1 \text{ Ind./}162,68 \text{ m}^3 = 1,84 \text{ Ind./}300 \text{ m}^3 \approx 6,2 \text{ Ind./}1000 \text{ m}^3.$$

Im Dichtemaximum bei ca. 3500 ft bis 4200 ft (1068 m – 1281 m) verdoppelt sich die durchschnittliche Dichte. Es errechneten sich für Werte von:

$$0,012186 \text{ Ind./m}^3 = 1 \text{ Ind./}82,09 \text{ m}^3 = 3,66 \text{ Ind./}300 \text{ m}^3 \approx 12,2 \text{ Ind./}1000 \text{ m}^3.$$

Interessant ist das Ergebnis eines einzelnen Fluges am 22.07.2004 mit maximalen Individuenzahlen von 83 Ind. in 500 ft und 53 Ind. in 5000 ft, das die Größe der Schwankungsbreite der Individuendichten je nach Jahreszeit und Wetter in ein und denselben Untersuchungsgebiet zeigt:

max. in 500 ft (83 Ind.):

$$0,064341 \text{ Ind./m}^3 = 1 \text{ Ind./}15,54 \text{ m}^3 = 19,39 \text{ Ind./}300 \text{ m}^3 \approx 64,3 \text{ Ind./}1000 \text{ m}^3$$

max. in 5000 ft (53 Ind.):

$$0,041085 \text{ Ind./m}^3 = 1 \text{ Ind./}24,34 \text{ m}^3 = 12,33 \text{ Ind./}300 \text{ m}^3 \approx 41,1 \text{ Ind./}1000 \text{ m}^3$$

Oberhalb der durchschnittlichen Höhe der Konvektionsschicht und oberhalb des Dichtemaximums in 3500 ft - 4200 ft, ist eine erneute Dichteabnahme der Individuen festzustellen. Bei einem Vergleich der durchschnittlichen Individuenzahlen der Fangflüge aus der Referenzhöhe 500 ft (27 Fangproben) mit den durchschnittlichen Individuenzahlen aus der Flughöhe 5000 ft (12 Fangproben) ist zu erkennen, dass sich in 5000 ft wieder die gleiche Individuendichte wie in 500 ft eingestellt hat (Abb. 16 und 17).

in 500 ft:

$$0,008671 \text{ Ind./m}^3 = 1 \text{ Ind./}115,33 \text{ m}^3 = 2,89 \text{ Ind./}300 \text{ m}^3 \approx 8,7 \text{ Ind./}1000 \text{ m}^3$$

in 5000 ft:

$$0,008463 \text{ Ind./m}^3 = 1 \text{ Ind./}118,17 \text{ m}^3 = 2,54 \text{ Ind./}300 \text{ m}^3 \approx 8,5 \text{ Ind./}1000 \text{ m}^3$$

Es ist zu vermuten, dass mit dem Abschluss des trockenadiabatischen Aufstiegs der Thermikblasen bei vorhandener Inversion der vertikale Aufstieg der Konvektionsströme und damit des Aeroplanktons begrenzt wird. Mit dem permanenten Nachschub an Aufwindblasen sowie das eigene Bestreben der Organismen sich durch Auftriebshilfen in der Luft zu halten (z.B. Spinnfäden bei Arachnida) bzw. Auf- oder Abzusteigen (eingeschränktes Flugverhalten kleiner Insekten), werden die Tiere in der Höhe in der Schwebelage gehalten und erfahren mit den Aufwindblasen fortwährenden Nachschub. Entsprechend dem Energiegehalt der Konvektion erfolgt der Aufstieg des Aeroplanktons bis in die obere Konvektionsgrenzschicht und in die Inversionsschicht. Aufgrund der sich in der Inversionsschicht auflösenden Thermik kann das Aeroplankton bei fehlendem feuchtadiabatischem Aufstieg (Wolken) nicht weitersteigen. Das Aeroplankton akkumuliert an der Untergrenze zur Inversion bzw. der konvektiven Grenzschicht bei durchschnittlich ca. 3500 ft. ISARD et al. (1990) führte dazu Untersuchungen der Luftschichten und des Temperaturgradienten im Zusammenhang mit dem Aufstieg von Blattläusen durch. An 16 Tagen von 1984 - 1985 erfolgten Hubschrauberflüge mit Fanggeräten bis ca. 1000 m Höhe (ca. 3280 ft) innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht. Die Geräte erlaubten bis zu 20 Fangproben während eines einzigen Fluges.

Das Ergebnis war, dass die Tiere bei Inversionen, die mit zunehmender Höhe durch Isothermie oder Temperaturzunahmen gekennzeichnet sind, zu stratiformen Ansammlungen neigen (ISARD et al. 1990).

4.6 Aeroplanktondichte, Thermikstärke und Temperatur

Der weitere Aufstieg von Aeroplankton, über die Konvektionsschicht hinaus, ist nur unter labilen Luftbedingungen in der Höhe gegeben. In der Regel besteht jedoch für aeroplanktonhaltige Luftpakete theoretisch die Möglichkeit, über den feuchtadiabatischen Aufstieg mit der Wolkenbildung über das KKN und den Inversionen hinauszusteigen. Je nach dem wie hoch die aufsteigenden Warmluftblasen (Wolken) in die stabilen Luftschichten oberhalb des KKN eindringen können bzw. wie labil die oberen Luftschichten gestaltet sind, müsste das Aeroplankton in diese Höhen mitgenommen werden können.

Die Befunde über 3500 ft bis 6000 ft belegen, dass die Individuendichte erst mit Abnahme der Aufstiegsgelegenheiten durch Thermik über 3500 ft wieder sinkt. Die Befunde sinkender Individuendichten zwischen 3500 ft bis 6000 ft belegen weiterhin, dass die Tiere regelmäßig über die durchschnittliche Konvektionshöhe von 3500 ft (1068 m) hinaus weitere 2500 ft (763 m) bis in die Höhe auf mindestens 6000 ft (1830 m) befördert werden. Bei Verfolgung der Abnahmerate oberhalb der Höhe von 3500 ft ist durch Interpolieren zu erkennen, dass sich der Aufstieg des Aeroplanktons regelmäßig bis in weitere Höhen über 6000 ft hinaus fortsetzt (Kap 3.5) und auch mit den Wolkenobergrenzen des feuchtadiabatischen Aufstiegs nicht endet. Die Möglichkeiten des weiteren Aufstiegs durch Eigenaktivitäten der Organismen sind sowohl durch den geringen Mobilitätsgrad und insbesondere durch die abnehmende Temperatur begrenzt, wobei 10 °C als Flugaktivitätsschwelle für Kleininsekten gilt (JOHNSON 1969, GEERTS & MIAO 2005). Dass die Kleininsekten vertikal eher passiv bis in Höhen oberhalb des Dichtemaximums von 3500 ft transportiert worden sein müssen, belegen 9 positive Fangproben der vorliegenden Untersuchung zwischen 4500 ft und 6000 ft über den Wolken und Inversionen, wobei eine Durchschnittstemperatur von 7,7 °C (min. -1,5 °C bis max. +11,9 °C) ermittelt wurde (Abb. 40). Aufgrund der Fangergebnisse aus diesen Höhen wäre deshalb ein weiterer passiver vertikaler Transport des Aeroplanktons innerhalb des feuchtadiabatischen Aufstiegs in den Wolken (aufgrund der Sichtflugregeln mit dem APS nicht erfasst) und dann mit den Absinkvorgängen außerhalb des feuchtadiabatischen Aufstiegs außerhalb der Wolken in Verbindung zu bringen (mit dem APS erfasst).

Obwohl die Luft aufgrund der Thermik durchmischt wird, waren die Temperaturen für die Dauer eines Fangfluges in der jeweils eingenommenen Höhe bis auf max ± 1 °C relativ konstant. Die Temperaturmesswerte wurden für eine Fanghöhe im 10 Minutentakt erhoben und gemittelt. In Kap. 3.9 wurde aus den gemittelten Messwerten ein Temperaturprofil in 500 ft Stufen mit einem signifikanten Temperatursprung zwischen 3500 ft und 4000 ft Höhe im Bereich des Individuendichtemaximums wiedergegeben (Abb. 30). Zur Betrachtung des Temperaturniveaus in der Höhe des Individuendichtemaximums bei ca. 3500 ft, können aber auch unterschiedliche Varianten in der Zusammenfassung der Temperaturmittelwerte zu Schichtungen diskutiert werden (Tab. 7, Abb. 41):

Für den oberen Bereich der atmosphärischen Grenzschicht und darüber zwischen 3000 ft und 6000 ft ergibt sich aus 37 Fangproben gemittelter Messwerte eine Durchschnittstemperatur von 12,0 °C (Tab. 7). Betrachtet man die Fanghöhen zwischen 3300 ft bis

6000 ft, so ergibt sich für 29 Fangflüge eine Durchschnittstemperatur von 10,4 °C. Unterhalb des Dichtemaximums, in einer Luftschicht zwischen 3000 ft und 3300 ft, wurde bei 12 Fangproben eine deutlich höhere Durchschnittstemperatur von 16,1 °C ermittelt. Vergleicht man die Temperaturenmesswerte nur in der Höhe, in der zwischen 3300 bis 4000 ft das Individuendichtemaximum liegt, fällt ein durchschnittlicher Temperaturbereich von 11,0 °C auf. In einem schmaleren Höhenband von 3300 ft bis 3750 ft lassen sich die Temperaturmittelwerte noch zu 12,2 °C zusammenfassen, während oberhalb von 4000 ft, bei einer Durchschnittstemperatur von 9,4 °C, die Flugaktivitätsschwelle für Kleininsekten bereits unterschritten ist. Die Durchschnittswerte der Temperaturmessungen zeigen, dass das Individuendichtemaximum bei ca. 3500 ft in einen Temperaturbereich fällt, der mit 11,2 °C kurz oberhalb der Flugaktivitätsschwelle für Kleininsekten liegt. Es muss betont werden, dass die Höhe der atmosphärischen Grenzschicht und die Temperaturen je nach Jahreszeit und/oder Wettersituation in der Höhe variieren und es sich ausschließlich um die während der Fangflüge zu den Fangproben gemessenen Durchschnittswerte handelt.

Tab. 7 Übersicht zusammengefasster Durchschnittstemperaturen während der Fangflüge im oberen Bereich der atmosphärischen Grenzschicht.

Höhe	Durchschnittliche Temperatur °C	Anzahl Messwerte
4500 - 6000 ft nur über Wolken/Inversion	7,7	9
4000 - 6000 ft zwischen Wolken/Inversion	9,8	21
4000 - 4750 ft Schicht	9,4	6
3350 - 6000 ft Schicht	10,1	25
3300 - 6000 ft Schicht	10,4	29
3300 - 4000 ft Schicht	11,2	10
3300 - 3750 ft Schicht	12,2	7
3000 - 3300 ft Schicht	16,1	12
3000 ft Fläche	17,8	8
3000 - 6000 ft Gesamtschicht	12,0	37

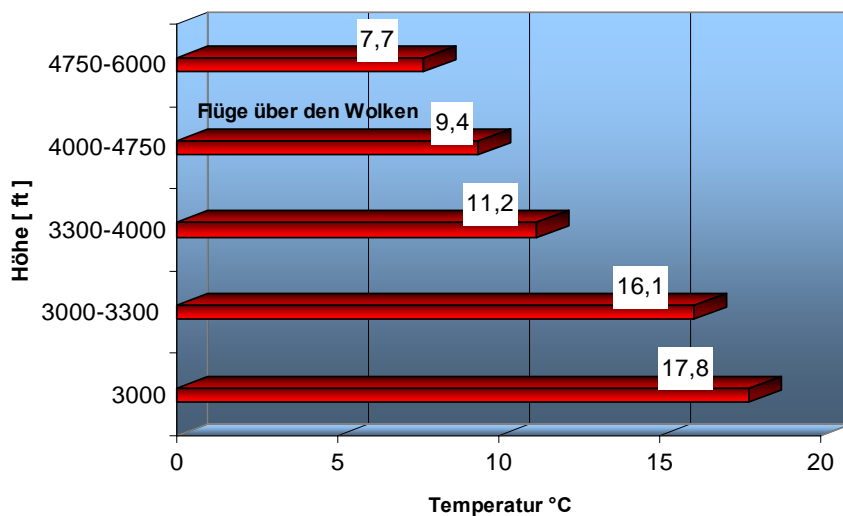


Abb. 41 Temperaturprofil während der Fangflüge in 3000 ft bis 6000 ft Höhe deren Messwerte zu Höhenstufen mit maximalen Messwertdichten zusammengefasst wurden (vergl. Kap. 3.9, s. Tab. 7).

Projiziert man den Verlauf der Individuendichte in den Temperaturverlauf über die gesamte Untersuchungshöhe von 300 ft bis 6000 ft (Kap 3.9, Abb. 30), so fallen das Individuendichtemaximum, der Übergangsbereich unter die 10 °C-Grenze sowie die durchschnittliche Höhe der atmosphärischen Grenzschicht bei ca. 3500 ft zusammen (Abb.42).

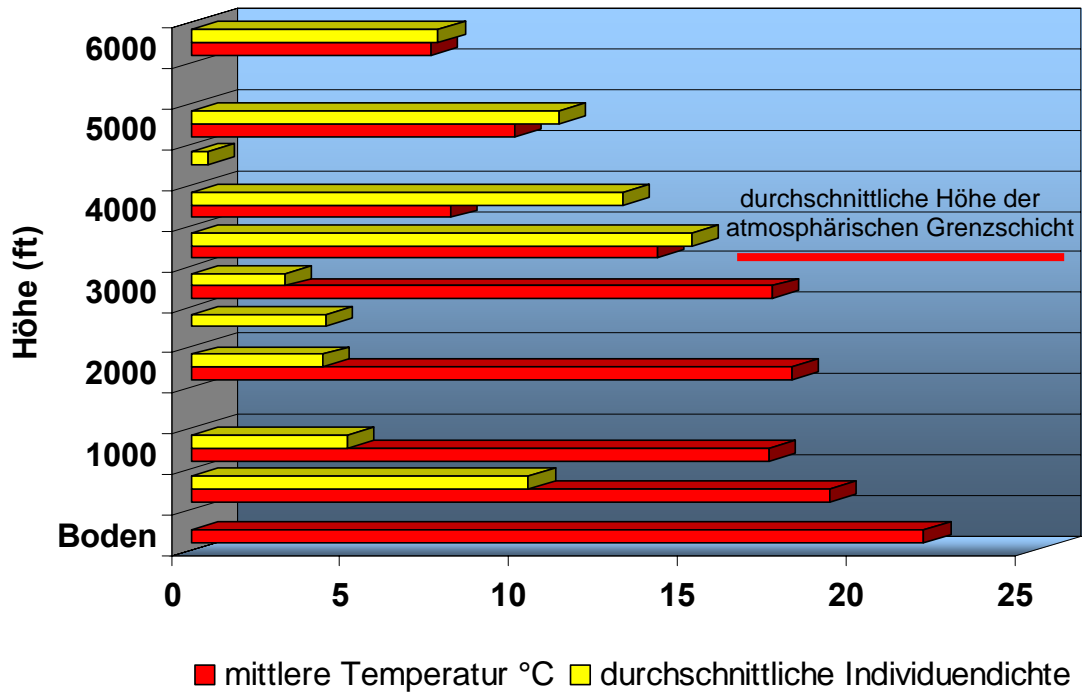


Abb. 42 Gemeinsame Darstellung des mittleren Temperaturverlaufes in °C, der durchschnittlichen Individuendichte von 300 ft bis 6000 ft sowie der durchschnittlichen Höhe der atmosphärischen Grenzschicht bei 1000 m (3278 ft).

Die Stärke der Thermik konnte während der vorliegenden Untersuchung vom Flugzeug aus nicht exakt gemessen werden, da das Variometer lediglich Steig- und Sinkraten der Maschine angibt und im Anzeigewert aufgrund der Trägheit der Druckdosenmechanik des Instrumentes nachläuft. Dennoch, gerade bei Kleinflugzeugen setzt sich der turbulente Impulstransport von Warmluftblasen der Thermik direkt in spürbare Bewegungsenergie am Luftfahrzeug um. Zu den 53 durchgeführten Fangflügen dieser Untersuchung kann zu 33 Flügen eine Aussage zur Individuendichte in der Höhe im Zusammenhang mit der „fühlbaren“ Thermikstärke und dem Variometer getroffen werden. Von den 33 Flügen wurden für 12 Flüge eine starke Thermik, für 9 Flüge eine mittlere Thermik, für 7 Flüge eine leichte und für 5 Flüge keine Thermik protokolliert (Tab. 8). Die Auswertung bestätigt die Tendenz zur höheren Individuendichte in der Höhe in Abhängigkeit von der Thermikstärke. Es wurden bei starker Thermik von 12 Flügen 7 Flüge mit hoher Individuendichte und 2 Flüge mit gleicher Individuendichte und nur 3 Flüge mit niedrigerer Individuendichte festgestellt. Mit Abnahme der Thermikstärke sinkt der Anteil der Flüge mit größeren Individuendichten in der Höhe, in den Rubriken sehr gute/gute, mäßige, schwache und keine Thermik, zugunsten der Flüge mit niedrigeren Individuendichten in der Höhe (Abb. 43). Dabei mag die Unsensibilität des Verfahrens zur Messung der Thermik eine Rolle spielen. Aber auch die Auftriebshilfen der aktiven Flieger

unter den Organismen können von Bedeutung sein, da bei Flügen ohne spürbare Thermik in zwei Fällen höhere Individuenzahlen in der Höhe nachgewiesen und überwiegend geflügelte Insekten gefangen wurden.

Tab. 8 Anzahl der Flüge im Zusammenhang mit der Thermik und höhere Individuendichten in der Höhe.

	ohne Thermik	leichte Thermik	mittlere Thermik	starke Thermik
Flüge Individ. i.d. Höhe höher	2	2	4	7
Flüge Individ. i.d. Höhe gleich	0	1	2	2
Flüge Individ. i.d. Höhe niedrig	3	4	3	3
Anzahl Flüge gesamt	5	7	9	12

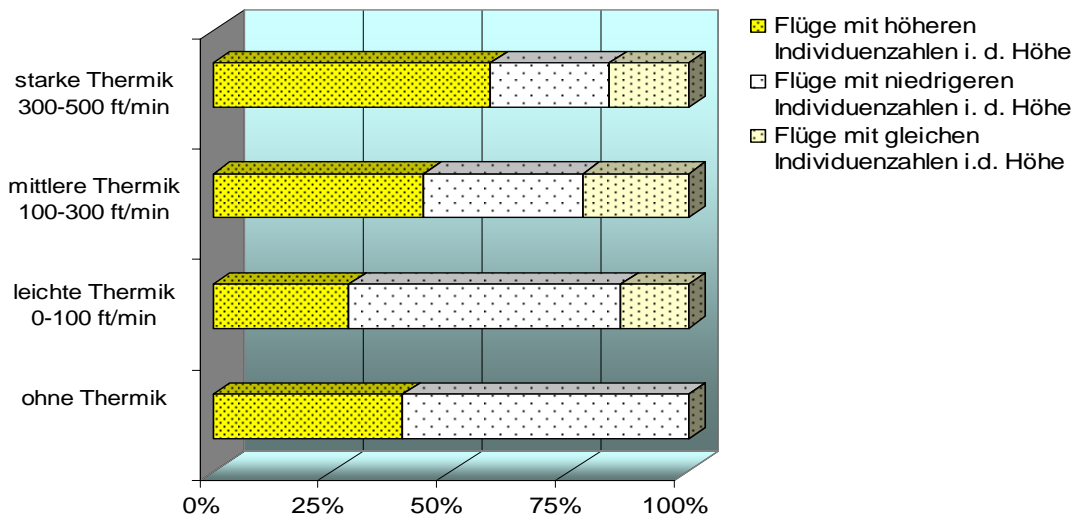


Abb. 42 Häufigkeiten von Individuendichten bezogen auf die Thermikstärke.

Wenn sich das Aeroplankton entsprechend der Thermikintensität verhält, können an Tagen mit besonders starker Thermik bzw. hochreichenden Konvektionsströmen die Verteilungsmuster viel mächtigere Dimensionen erreichen (Kap 4.3). Die Wolkenobergrenzen von Cumulusbewölkung sind von der Aufwindenergie der Thermik abhängig und beinhalten jegliche Höhenvarianz und horizontale Ausdehnung. Wenn Gewitter mit Cumulus nimbus Wolken bis in die Tropopause, die Grenzschicht zu der Stratosphäre in 11 km Höhe, vorstoßen, sind sie im oberen Bereich in der Grenzschicht zur Stratosphäre durch eine Ambossform gekennzeichnet. Wolken bestehen in diesen Höhen aus Eiskristallen. Bis Cumuluswolken in diese Höhen geraten, beinhalten ihre Konvektionsströme eine Aufwindenergie, die gefrorene Regentropfen so lange in der Schwebelage halten können, bis sie zu tennisballgroßen Hagelkörnern zusammengefroren sind und erst dann zu Boden gehen. Inwieweit solche Wettererscheinungen zur Verbreitung des Aeroplanktons beitragen, bleibt aufgrund der Überlebensmöglichkeiten der Organismen Spekulation. MANI (1962) hat einfache Insektengesellschaften im Himalaja bis oberhalb der Baumgrenze untersucht und Insekten weit oberhalb der Frostgrenze bis in 6000 m Höhe (19.673 ft) im Substrat vorgefunden.

4.7 Biomasse

In diesem Kapitel soll eine grobe Abschätzung der Biomasse vorgenommen werden, die in Form von Aeroplankton über Schleswig-Holstein vorkommen könnte. Um eine grobe Abschätzung der Biomasse vornehmen zu können, wird für die Fangproben von kleinen Gewichtsgrößen der Insekten (mg) und kleinen Messeinheiten des Luftvolumens (m^3) der Fangflüge ausgegangen. Weil die Ausdehnung auf den Luftraum Schleswig-Holsteins zu großen Rechengrößen der Massen und Volumina führt, wird das Endergebnis um den Faktor 10^9 gekürzt und in t und km^3 wiedergegeben. Gegenüber den im Text gerundeten Dezimalstellen gibt Tab. 9 genauere Rechengrößen an.

Es wurden viele, sehr kleine und leichte Individuen, aber auch wenige größere und deutlich schwerere Individuen gefangen (Kap. 4.1). Geht man für eine Abschätzung der Biomasse in Form von Aeroplankton von einer Artengruppe aus, die ein mittleres Gewicht repräsentiert und von der die meisten Individuen gefangen wurden (ca. 30% s. Abb. 20), so kann die durchschnittliche Masse der Blattläuse mit 0,49 mg/Individuum angesetzt werden (Kap. 4.2). Mit den Aphidina als repräsentative Gewichtsgröße für das Aeroplankton ist gewissermaßen eine mediane Rechengröße gewählt worden.

Bei 103 Fangproben mit der Fangdauer von je 1 Stunde und einen Luftdurchsatz von $1290 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Fanggerät ergibt sich für die vorliegende Untersuchung insgesamt ein Luftvolumen von $132\,900 \text{ m}^3$, das mit dem APS erfasst wurde. In den $132\,900 \text{ m}^3$ Luft waren 817 Individuen enthalten. Hochgerechnet sind das ca. 6,15 Mio. Individuen pro km^3 (Tab. 9). Überträgt man das stellvertretende durchschnittliche Gewicht der Blattläuse von 0,49 mg auf alle Individuen des Aeroplanktons, so enthält 1 km^3 Luft in der Höhe eine Biomasse von ca. 3 kg (Tab. 9).

Schleswig-Holstein hat eine Landfläche von $15\,731 \text{ km}^2$. Die Fangflüge wurden zwischen 300 ft (ca. 90 m) und 6000 ft (1830 m) durchgeführt, was einer Luftschichtstärke von 1740 m entspricht. Wie die Dichteverteilung des Aeroplanktons zeigt (Abb. 16 bis 18), wurde in der Luftschichtstärke von 1740 m der wesentlichste Teil des über die Höhe ab 300 ft verteilten dispersen Aeroplanktons erfasst. Nimmt man die untersuchte Luftschichtstärke von 1740 m als regelmäßigen Hauptaufenthaltsraum des dispersen Aeroplanktons an, so ergeben sich als Minimalabschätzung durchschnittlich ca. 82 t Biomasse, die die Konvektionsschicht tagsüber, während der einstündigen Fangflüge in 300 ft bis 6000 ft Höhe, enthalten haben könnte. Daraus ist zu schließen, dass für die warme Jahreszeit an 184 Tagen (Mai bis Oktober) ein Gesamtumsatz von 15 088 t Biomasse in Form von Aeroplankton möglich ist.

HEYDEMANN (1967) war bei Gelbschalversuchen auf Feuerschiffen in Nord- und Ostsee (s. Kap. 1 Seite 4) von einem durchschnittlichen Insektengewicht von 1 mg ausgegangen. Er macht deutlich, dass er sich hauptsächlich auf aktiv fliegende Formen in Meereshöhe und nicht nur auf passiv verdriftete Kleinformen des Aeroplanktons bezieht. Es werden, bezogen auf einen nur 30 km breiten Küstenstreifen, Menge und Masse von Insekten mit anderer Zusammensetzung als der des Aeroplanktons hochgerechnet. Im Ergebnis beliefen sich die Schätzungen HEYDEMANNS auf 4,5 Milliarden Individuen (4500 kg) pro Tag und $270\,000 \text{ kg}$ (270 t) Biomasse, die im Zeitraum Juli und August in einem 30 km breiten, seeseitigen Küstenstreifen auf Nord- oder Ostsee niedergehen und verloren sind. Die Ergebnisse HEYDEMANNS sind mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht vergleichbar, weil HEYDEMANN eine andere Untersuchungsmethode einsetzte und ein kleineres Areal abdeckte, was zu einer anderen Artenzusammensetzung und einer erheblich geringeren Biomasse führte.

Tab. 9 Berechnung des Luftmassendurchsatzes im APS und der durchschnittlichen Biomasse an Aeroplankton in der Luft.

		Eintrittsöffnung	Austrittsöffnung	Einheit
Windkanal	<i>VW.Kanal</i>	12	7	m/s
			58,33	%
im Flug	<i>Vflug</i>	45		kts = Nm/h
		83,34 (=23,15 m/s)	48,61	km/h
	<i>VAustritt</i>		13,5	m/s
	<i>h</i>	17,7	9	cm
	<i>b</i>	31,2	29,5	cm
	$A = b \times h$		265,5	cm ²
	<i>AAustritt</i>		0,02655	m ²
Luftdurchsatz	$m = A \times V$		0,358425	m ³ /s
im Flug			≈ 1290	m ³ /h
Anz. Fangproben			103	h
Luftdurchsatz ges.			132 870	m ³
Individ. ges.	Individ. Ges.		817	Individ.
	Individ./m ³		0,0061472947501	Individ./m ³
	Individ./km ³		6 147 294,75	Individ./km ³
			≈ 6,15	Mio. Individ./km³
Biomasse	angenommene durchsch. Masse		0,49	mg/Individ.
	Aphidina		3 012 174,4	mg/km ³
			≈ 3,0	kg/km³

Austrittsöffnung kleiner als Eintrittsöffnung
und Luftleitbleche = Düse

m=Masse
V=Geschwindigkeit
h=Höhe
b=Breite
A=Fläche
Nm=Nautical miles
kts= Knoten

Schleswig-Holstein hat 1 573 126 ha Landfläche $\approx 15 731 \text{ km}^2$
Die Flüge fanden in einer Schichtdicke von 5700 ft (300 ft - 6000 ft über Grund) $\approx 1740 \text{ m}$ statt.
entspricht einem Luftraum von $\approx 27 372 \text{ km}^3$

Dann sind durchschnittl. $3,0 \text{ kg} \times 27 372 = 82 116 \text{ kg} \approx \mathbf{82 \text{ t Biomasse}}$ als Aeroplankton in der atmosphärischen Schicht zwischen 300 ft - 6000 ft über Schleswig-Holstein enthalten.

4.8 Ökologische Bedeutung der Dispersionsmechanismen

Eine Vielzahl von Kleininsektenarten sind an der Ausbreitung über die Atmosphäre beteiligt und werden hunderte von Kilometern transportiert (COAD 1931, GLICK 1939, HARDY & MILNE 1938, JOHNSON 1969, ISARD et al. 1990, HENDRIE et al. 1985, DIXON & HOWARD 1986). Langstreckenmigrationen finden hauptsächlich in der „Planetary Boundary Layer“ (PBL) in Höhen zwischen 10 m (Surface Boundary Layer) und 2000 m statt. Es werden mit dem Radar durch Insekten verursachte „PBL Top Phenomena“ beobachtet (ZHAI & ZHANG 1993). Über 2000 m beginnt die freie Atmosphäre in der Wind und Temperatur in der Regel nicht durch regionale und topographische Gegebenheiten beeinträchtigt sind. In der freien Atmosphäre über 2000 m herrschen zu niedrige Temperaturen, um erfolgreiche Langstreckenmigrationen zu erlauben (ISARD et al. 1990). Während Eulenfalter (Noctuiden) in der Nacht bestimmte Höhen in stabileren, wärmeren Inversionen bis 800 m Höhe aufsuchen, überlässt sich das Aeroplankton am Tage eher dem Zufall (CHAPMAN et al. 2002). Dabei ist das Aeroplankton mehr den chaotischen Luftströmungen der tagsüber herrschenden Thermik ausgesetzt (BEERWINKLE et al. 1995). Dispersion ist trotz großer Verluste eine äußerst erfolgreiche und effektive Strategie zur Verbreitung für Kleininsekten (GATEHOUSE 1997). Meist ist der Dispersionsmechanismus nicht aufgrund des Weges über große Höhen letal, sondern aufgrund des Transportes in unpassende Lebensräume (JOHNSON 1969). Das Überleben der Kleininsektenpopulationen ist auf die Verbreitung über große Höhen eingestellt. 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, 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 Erreichen des zufällig erreichten Zielgebietes aktiv nach Nahrung und Wirte für die Eiablage suchen können. Auch durch Spinnen findet immer wieder eine Rekolonialisierung freigewordener Habitate statt (GREENSTONE 1990, SUTER 1999).

Die vorliegende Untersuchung ist ein Nachweis in situ darüber, dass es sich bei den mit dem Radar in der Höhe der oberen Konvektionsgrenzschicht beobachteten Klarluftechos, den „Fine Lines“, bei ca. 1000 m - 1500 m (3278 ft - 4818 ft), überwiegend um höhere Dichten sehr kleiner Insekten von 0,6 - 4,0 mm Größe handelt. Es ist der Teil der oberen konvektiven Durchmischungszone, in der u.a. für die hier beschriebenen Fangflüge Wolkenuntergrenzen und Wolkenobergrenzen zwischen 3300ft - 6000 ft (1007 m – 1830 m) abgeflogen wurden, Auf- und Abwinde durchkreuzt und ein Temperaturmittel zwischen 11,2 °C und 7,7 °C gemessen wurde. Schwärme großer Insekten können gelegentlich wohl auch startenden und landenden Flugzeugen gefährlich werden (BECKER 2002). Große Insekten > 10 mm wurden über Schleswig-Holstein in großen Höhen jedoch nicht gefangen. Im Untersuchungslufttraum über Schleswig-Holstein waren weniger als 1% der in der Höhe gefangenen Tiere größer als 4 mm. Die Einzelexemplare der wenigen größeren Kurzflügelkäfer (Staphylinidae), Wanzen (Heteroptera) und Ameisen (Formicidae) lagen mit maximal 9 mm Körperlänge in der mit dem Radar definierten Größe von Microinsekten < 10 mm (GEERTS & MIAO 2005). Vögel, die als Predatoren das

Aeroplankton nutzen könnten, wurden während der gesamten Fangflüge in der Höhe größerer Insektendichte in ca. 3500 ft nicht beobachtet. Es wäre energetisch viel zu aufwendig und nicht lohnend, in der Höhe nach Beute zu jagen, gegenüber dem dichten Nahrungsangebot in Bodennähe. Nur zweimal wurden einzelne Rauchschnalben in maximaler Höhe von 500 ft und von 700 ft (153 m - 214 m) gesehen. Zwischen 500 ft - 700 ft kreisten gelegentlich auch Möwen, Bussarde sowie Schwarz- und Weißstörche. Wie auch RUSSEL & WILSON (1997) mit dem Radar feststellten, dürften Großpredatoren in großen Höhen für Aeroplankton unmittelbar keine Rolle spielen.

JOHNSON (1969) vermutete eine höhere Insektendichte an der Wolkenbasis oder über Inversionsschichten und stellte ein Gleichnis mit quasi gewichtslosen Partikeln wie z.B. Rauch, Staub oder Dampf auf. Kleininsekten würden ihr eigenes Gewicht durch Flügelschlag tragen und dadurch gewichtlos erscheinen. GEERTS & MIAO (2005) stellten mit einem Radar vom Flugzeug aus Insektenvorkommen in Form von „plumes“ in Höhen zwischen 1000 m - 1500 m und Absinkraten von durchschnittlich $0,5 \pm 0,2$ m/sec gegenüber der Umgebungsluft fest. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung nimmt die durchschnittliche Individuendichte mit der Höhe zunächst ab, zeigt aber dann an der Konvektionsobergrenze (oftmals Wolkenuntergrenze) in ca. 3500 ft (1068 m) bei mittleren $11,2$ °C ein Dichtemaximum. Ab 4000 ft bis 4750 ft (1220 m - 1449 m) wurde wieder eine geringere Insektendichte festgestellt und eine durchschnittliche Temperatur von $9,4$ °C unterhalb der Flugaktivitätsschwelle für Kleininsekten ($10,0$ °C) ermittelt. Oberhalb von 4500 ft bis 6000 ft (1373 m - 1830 m) wurden gemittelte $7,7$ °C und mit zunehmender Höhe eine weitere Abnahme der Insekten dokumentiert. Weil das von GEERTS & MIAO (2005) festgestellte Absinkverhalten von $0,5$ m/sec unter der Sinkgeschwindigkeit von Kleininsekten mit oder ohne Flügelschlag liegt (Kap. 4.4), könnte davon ausgegangen werden, dass das Dichtemaximum dadurch entsteht, dass die Kleininsekten aus den höheren, unter 10 °C kalten Luftschichten aufgrund der Einstellung ihres Flügelschlages einfach „Herausfallen“ und wieder in den Temperaturbereich von ca. $11,0$ °C geraten, sobald es die in die Inversionsschicht von unten hineinstoßenden und sich auflösenden Thermikblasen erlauben. Je nach Energiegehalt der Thermikblasen können die Tiere weit über die Inversionsschicht hinaus nach oben getragen werden (COAD 1931). Es ist vorstellbar, dass die Organismen über der Inversion auch seitlich aus den Thermikblasen austreten und zwischen den in der Inversion nachlassenden Thermikblasen in kalten absinkenden Luftmassen mit nach unten befördert werden (Abb. 35, 36 und 39). Der Flügelschlag setzt wieder ein, sobald die $10 - 11$ °C Grenze in ca. 3500 ft erreicht ist. Spinnen können ihren Auftrieb über die Länge des Spinnfadens messen (GREENSTONE 1990) und gegebenenfalls ihre Vertikalbewegung beeinflussen. Die Tiere fallen nicht nur in die unteren wärmeren Luftschichten, die ihnen aktives Verhalten, wie den Flügelschlag oder Ausziehen des Spinnfadens wieder erlauben, sondern sie geraten auch wieder in den Bereich der aktiven Konvektionsschicht mit den aufstrebenden Thermikblasen. Die fallenden Organismen treffen sozusagen im Gegenverkehr mit den von unten aufstrebenden Organismen zusammen. Im Radar würde die Nettobewegung der Ansammlung fallender und wieder aufsteigender Kleininsekten im Ganzen als ein mit $0,5$ m/sec Absinkbewegung die Höhe haltendes Radarecho (fine lines) erscheinen. Der ökologische Effekt ist, dass sich die Tiere mit Hilfe der Auf- und Absinkvorgänge der Thermik und dem Temperaturreflex zur Einstellung des Flügelschlages energetisch in einer Höhe mit höheren Windgeschwindigkeiten so lange wie möglich in der Luft halten können, um die Horizontalverfrachtung zu maximieren. Insofern ist es „vernünftig“, dass das allgegenwärtige vertikale Diffusionssystem von kleinen Insekten genutzt wird, um große Distanzen zu überbrücken. Weil die Tiere mehr oder weniger an die Höhen-dispersion adaptiert sind, könnte dies bedeuten, dass in der Evolution die Flugaktivitäts-

schwelle von 10 °C bei Kleininsekten nicht am Boden, sondern aufgrund der Höhendispersion entstanden ist.

Jeder Pilot weiß, dass Thermik unterhalb der Wolkenuntergrenze am stärksten ist und dass Turbulenzen in Wolken meist am größten sind. Der Nachweis von Aeroplankton im feuchtadiabatischen Aufstieg innerhalb von Wolken war nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Das Wyoming Cloud Radar 3 mm Wellenlänge, mit dem GEERTS & MIAO (2005) Klarluftechos untersuchten, ist lediglich ein Wolkenradar. Untersuchungen über Aeroplankton in situ gibt es nur wenige. Weil das eigentliche Produkt von Thermik die Wolken sind, würde eine in situ Untersuchung in den Wolken hinsichtlich des Aufkommens von Aeroplankton in Zusammenarbeit mit Meteorologen sicherlich ergänzende oder vielleicht neue Erkenntnisse ergeben. Insbesondere hinsichtlich des Klimawandels könnte eine Beobachtung der Zusammensetzung und des Verhaltens von Aeroplankton von besonderer Bedeutung sein.

Die meisten Insekten sind sehr klein. Es ist schwierig, den Anteil irgendeiner Population zu bestimmen, der nicht in einen solchen Transport einbezogen ist. Aeroplankton wird aufgrund seiner geringen Größe vom Menschen kaum wahrgenommen, weil es schon nach wenigen Metern in der Luft für uns nicht mehr sichtbar ist. Die Dichte des Aeroplanktons mag im direkten Umfeld oder in Fangproben gering erscheinen. Die Anzahl der Insekten aber, die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Luftraum über unseren Köpfen transportiert werden und Tag für Tag, Jahr für Jahr auf uns herniederregnen, ist aufgrund der Ausdehnung über den Raum sehr groß und geht in die Billionen.

5. Zusammenfassung

Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung belegt, dass das Aeroplankton aufgrund seiner eingeschränkten Mobilität mit Hilfe seines Schwebevermögens und seiner Auftriebshilfen im adiabatischen Aufstieg der Thermikblasen von Konvektionsströmen („bubble in a bubble“) in die Höhe getragen wird und dort akkumuliert. Die Untersuchung wurde mit quantitativ arbeitenden Fanggeräten (Aeroplanktonsammlern – 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 galt. Aufgrund der Fangmethode mit dem APS können Angaben zur Größe der Insekten hin bis zu den kleinsten vorkommenden Insektenarten des Aeroplanktons gemacht werden. Die Anzahl der Probenentnahmen über mehrere Jahre geben, 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 in einer Höhe von 3000 ft (915 m) gegenüber einer Höhe von 500 ft um 72% reduziert. Es wird eine Zunahme und Verdichtung des Aeroplanktons an der durchschnittlichen, oberen atmosphärischen Grenzschicht (1000 m) mit einem signifikantem Maximum der Individuendichte bei ca. 3500 ft (1068 m) und einer durchschnittlichen Temperatur von 11 °C nachgewiesen. In 3500 ft wird die Insektendichte gegenüber der Dichte in 500 ft um 48% überstiegen (Dichtemaximum). Oberhalb des Dichtemaximums bzw. oberhalb von 3500 ft nimmt die Dichte des Aeroplanktons mit nachlassendem adiabatischen Aufstieg der Luft auf dem Niveau einer höheren Dichte im Vergleich zur Höhe von 500 ft wieder ab. In 5000 ft wurden gleiche Dichteverhältnisse wie in 500 ft festgestellt. Mit einer durchschnittlichen Temperatur von 9,4 °C ist die Flugaktivitätsschwelle für Kleininsekten ab 4000 ft bereits unterschritten. 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. Innerhalb der Inversionsschicht und oberhalb des KKN geraten die Organismen des Aeroplanktons spät im Jahr auch in Bereiche unterhalb des Gefrierpunktes.

Mit der Messung und der Abschätzung des Luftmassendurchsatzes durch die Fanggeräte werden die Aeroplanktonfänge quantitativ ausgewertet. Es wird eine mittlere Dichte von 6 Ind./1000 m³ und im Dichtemaximum von 12 Ind./1000 m³ angegeben. In Einzelfängen ist an Hauptflugtagen des Aeroplanktons die Individuendichte mit 64 Ind./m³ auf das Zehnfache erhöht. Es werden ca. 3 kg Biomasse/km³ Luft in Form von Aeroplankton erhoben und auf 82 t Biomasse für den Zeitpunkt eines Fangfluges und die Fläche Schleswig-Holsteins hochgerechnet.

6. Summary

The result of the present study shows, that aeroplankton (aerial plankton) on the basis of its reduced mobility with the help of own buoyancy and lift potential is transported and accumulated into high atmospheric layers through adiabatic lift of thermal bubbles of convection currents (bubble in a bubble). The study has been performed with quantitative samplers (aeroplankton samplers – aps) connected to aircraft in altitudes between 300 ft

and 6000 ft (92 – 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 method of collection information on the size of insects up to smallest insects species present can be made. The number of samplings during several years shows, in contrast to point source radar observations that an increased density of individuals and the presence of 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 aeroplankton 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 aeroplankton has been observed at the mean upper convection boundary layer (1000 m) with a significant maximum of the density at about 3500 ft (1068 m) and a mean temperature of 11 degrees. Thus, the density at 3500 ft exceeds the density at 500 ft by 48% (density maximum).

Above the density maximum, e.g. 3500 ft the density of the aeroplankton decreases with the weakening adiabatic lift to a slightly higher density than observed at 500 ft. In 5000 ft altitude we observed similar densities as at 500 ft. With a mean temperature of 9.4 degrees the flying activity of small insects has already been fallen below its threshold. Altogether the density of insects above 3500 ft till 6000 ft is higher than between 300 ft and 3000 ft.

The dispersion and distribution of the aeroplankton 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. Within the inversion layer and above the ccl aeroplankton organisms during later parts of the year are caught in areas with temperatures below freezing.

The measurement and estimates of the airflow through the samplers the volume of air sampled could be calculated, which enabled a quantification of the catches. A mean density of 6 individuals per 1000 m³ and 12 individuals per 1000 m³ at the density maximum were observed. Single catches at main flying days of aeroplankton show enhanced densities up to 64 per 1000 m³, which means a tenfold increase. Calculations show that ca. 3 kg biomass of aeroplankton is available per km³ of air, and that 82 tonnes above the area of Schleswig Holstein is present.

7. Literaturverzeichnis

- 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. (1973): Über die Bedeutung der hohen Ausbreitungsintensität bei Chalcidoidea (Hymenoptera). *Faun. Ökol. Mitt.* **4**: 335-344.
- 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.
- ALEXANDER, G. (1962): Ecology of High Altitude Insects. *Ecology*, Vol **43**, No. 4
- AMOS, W. (2001): Live in thin air. *Miscap Magazine*. Nov. 2001
- BECKER, J. (2002): Fluginsekten als temporäres Flugsicherheitsrisiko. *Vogel und Luftverkehr* **22**: 38-46.
- BEERWINKLE, K.R., J.D.Jr. LOPEZ, J.A. WITZ, P.G. SCHLEIDER, R.S. EYSTER & P.D. LINDGREN (1994): Seasonal radar and meteorological observations associated with nocturnal insect flight at altitudes to 900 meters. *Environ. Entomol.* **23**: 676-683. AN01835
- BEERWINKLE, K.R., J.D.Jr. LOPEZ, P.G. SCHLEIDER & P.D. LINDGREN (1994): Annual patterns of aerial insect densities at altitudes from 500 to 2300 meters in east-central Texas indicated by continuously-operating vertical-looking radar. Pp. 415-418 in Proc. 21st Conf. Agric. For. Meteorol. & 11th Conf. Biometeorol. and Aerobiol., San Diego, 7-10 March 1994. American Meteorological Society: Boston. (Conference version of AN02017.) AN01799
- BEERWINKLE K.R., J.D.Jr. LOPEZ, P.G. SCHLEIDER & P.D. LINDGREN (1995): Annual patterns of aerial insect densities at altitudes from 500 to 2400 meters in east-central Texas indicated by continuously-operating vertical-looking radar. *Southwestern Entomologist Suppl.* **18**: 63-79. AN02017
- BROHMER, P. (2006): *Fauna von Deutschland*. Quelle und Meyer Verlag, 809 pp.
- CHAPMAN, J.W., D.R. REYNOLDS, A.D. SMITH, J.R. RILEY, D.E. PEDGLEY & I.P. WOIWOD (2002): Highaltitude migration of the diamondback moth (*Plutella xylostella*) to the U.K.: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecol. Entomol.* **27**: 641-650. AN02548

CHAPMAN, J.W., D.R. REYNOLDS & A.D. SMITH (2003): Vertical-looking radar: a new tool for monitoring high altitude insect migration. *BioScience* **53** (5): 503-511. AN02568

COAD, B.R. (1931): Insects captured by airplane are found in surprising heights. Yearb. US Dep. Agric: 320-3.

DIXON, A.F.G & M.T. HOWARD (1986): Dispersal on aphids, a problem resource allocation, pp. 145-151. *In* ISARD, S.A. et al. 1990: Vertical distribution of aphids (*Homoptera:Aphididae*) in the planetary boundary layer. *Environ. Entomol.* **19**: 1473-1484.

DRAKE, V.A. & R.A.FARROW (1988): The Influence of atmospheric structure and motions on insect migration. *Ann. Rev. Entomol.* **33**: 183-210.

DUNGER, W., H.J. SCHULZ & B. ZIMDARS (2002): Colonization behaviour of collembola under different conditions of dispersal. *Pedobiologia* **46**: 316 – 327.

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. & Q. MIAO (2004): A simple numerical model of flight behavior of small insects in the atmospheric convective boundary layer. *Environ. Entomol.* **34**: 362-385.

GEERTS, B. & Q. MIAO (2005): Airborne radar observations of flight behavior of small insects in the atmospheric convective boundary layer. *Environ. Entomol.* **34** (2): 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.

GOSSARD, E.E. (1990): Radar research on the atmospheric boundary layer, pp. 477-527. *In* Radar in Meteorology, D. Atlas, Editor, Amer. Meteor Soc., Boston MA.

GREENSTONE, M.H., C.E. MORGAN, A.L. HULTSCH, R.A. FARROW & J.E. DOWSE (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. & P.S. MILNE (1938): Studies in the distribution of insects by aerial currents. Experiments in aerial tow-netting from kites. - *J. Anim. Ecol.* **7**: 199-229.

HENDRIE, L.K., M.E. IRWIN, N.J. LIQUIDO, W.G. RUESINK, E.A. MUELLER, D.J. VOEGTLIN, G.I. ACHTEMEIER, W.W.M. STEINER & R.W. SCOTT (1985): Conceptual approach to modeling aphid migration, pp. 541-582. *In* ISARD S.A. et al. 1990: Vertical distribution of aphids (*Homoptera: Aphididae*) in the planetary boundary layer. *Environ. Entomol.* **19**: 1473-1484.

HENTSCHEL, E.J. & G.H. WAGNER (2004): Wörterbuch der Zoologie. Spektr. Akad. Verlag, 601 pp

HEYDEMANN, B. (1967): Der Überflug von Insekten über Nord- und Ostsee nach Untersuchungen auf Feuerschiffen. - *Dtsch. Ent. Z.*, N.F. 14/I-II, 185-212.

HEYDEMANN, B. (1997): Neuer Biologischer Atlas. Ökologie für Schleswig-Holstein und Hamburg. Wachholtz Verlag. 591 pp.

IRMLER, U. (1996): Vertikale Struktur der Arthropodenfauna in einheimischen Wäldern. *Insecta*, Berlin **4**: 49-57.

IRMLER, U. (1998): Die vertikale Verteilung flugaktiver Käfer (Coleoptera) in drei Wäldern Norddeutschlands. *Faun.-Ökol. Mitt.* **7**: 387-404.

ISARD, S.A., M.E. IRWIN & S.E. HOLLINGER (1990): Vertical distribution of aphids (*Homoptera:Aphididae*) in the planetary boundary layer. *Environ. Entomol.* **19**: 1473-1484.

ISARD, A.A., D.A.R. KRISTOVICH, S.H. GAGE, C.J. JONES & N.F. LAIRD (2001): Atmospheric motion systems that influence the redistribution and accumulation of insects on the beaches of the Great Lakes in North America. *Aerobiologia* **17** (4): 275-291.

ISARD, S.A. & S.H. GAGE (2001): Flow of live in the air. Michigan State Univers. Press. 239 pp.

JACOBS, R. & M. RENNER (1998): Biologie und Ökologie der Insekten. G. Fischer, 3. Aufl. 678 pp.

JOHNSON, C.G. (1969): Migration and dispersal of insects by flight. Methuen, London, 763 pp.

JOHNSON, D.T. & CROFT, B.A. (1976): Laboratory study of the dispersal behavior of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* **69**: 1019-1023.

KONRAD, T.G. (1970): The dynamics of convective process in clear air as seen by radar. *J. Atmos. Sci* **27**: 1138-1147.

KUSONOKI, K. (2001): A preliminary survey of Clear-Air Echo appearances over the Kanto Plain in Japan from July to December 1997. *Issn.1520-0426 Journal: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. **19**, issue 7. 1063-1072.

MANI, M.S. (1962): Introduction to High Altitude Entomology: Insect Life above the Timber-line in the Northwest Himalaya. *Ecology*. Vol **43**, No 4. 780-781.

MARGOLIES, D.C. (1987): Conditions eliciting aerial dispersal behavior in Bank grass mite, *Oligonychus pratensis* (Acari: Tetranychidae). *Environ. Entomol.* **16**: 928-932.

McLAUGHLIN, S.A. (1994): FM-CW radar observations of insects and birds in the planetary boundary layer at White Sands Missile Range, New Mexico. Pp. 419-422 in *Proc. 21st Conf. Agric. For. Meteorol. & 11th Conf. Biometeorol. and Aerobiol.*, San Diego, 7-10 March 1994. American Meteorological Society. AN01800

NAULT, L.R. & W.E. STYER (1969): The dispersal of *Aceria tulipae* and three other grass-infesting eriophyid mites in Ohio. *Ann. Entomol. Soc. Am.* **62**: 1446-1455.

NOYES, J.S. & E.W. VALENTINE (1989): Mymaridae (Insecta: Hymenoptera). *Fauna of New Zealand* **17**: 100 pp.

OSSIANNILSSON, F. (1992): The Psylloidea (Homoptera) of Fennoscandia. *Fauna Entomologica Scandinavia*. Vol. **26**

PALMEN, E. (1944): Die anemohydrochore Ausbreitung der Insekten als zoogeographischer Faktor. *Annales Zoologici Societas Zoologia – Botanica Fennica* **10** (1): 1-162.

PEDGLEY, D.E., D.R. REYNOLDS, J.R. RILEY & M.R. TUCKER (1982): Flying insects reveal small-scale wind systems. *Weather* **37**: 295-306. AN00121

REID, D.G., K.G. WARDHAUGH & J. ROFFEY (1979): Radar studies of insect flight at Benalla, Victoria, in February 1974. *CSIRO Austr. Div. Entomol. Tech. Paper* **16**: 21 pp.

REYNOLDS, D.S., J.W. CHAPMAN, A.D. SMITH, C.R. WOOD, J.F. BARLOW & I.P. WOIWOD (2005): Radar studies of the vertical distribution of insects migrating over southern Britain: the influence of temperature inversion on nocturnal concentrations. *Bull. Ent. Res.* **95**: 259-274. AN02650

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. & J.W. WILSON (1996): Radar observations of aerial plankton: aeolian transport and coastline concentrations. *Nature* **381**, No. 6579, 200-201.

RUSSEL, R.W. & J.W. WILSON (1997): Radar observed „fine lines“ in the optically clear boundary layer: Reflectivity contributions from aerial plankton and its predators. *Boundary-Layer Meteorology* **82**, Issue 2, 235-262. AN02153

RUSSEL, R.W. & J.W. WILSON (2001): Spatial dispersion of aerial plankton over east-central Florida: aeolian transport and coastline concentrations. *Int. J. of Remote sensing*. Vol. **22**, No.11, 2071-2082

- RUSSEL, R.W. (1999): Precipitation scrubbing of aerial plankton: inferences from bird behavior. *Oecologia* **118**: 381-387.
- SCHAEFER, G.W. (1976): Radar observations of insect flight. *In* *Insect Flight*, Editor R.C. Rainey, Symp. Roy. Entomol. Soc. London, 157-197.
- SMITH, A.D., D.R. REYNOLDS & J.R. RILEY (2000): The use of vertical-looking radar to continuously monitor the insect fauna flying at altitude over southern England. *Bulletin of Entomological Research*. **90**, No.3, 265-277.
- SMITHERS, C.N. (1990): Keys to the Families and Genera of Psocoptera (Arthropoda: Insecta) Technical Reports of the Australian Museum. No. 2
- SMITLEY, D.R. & G.G. KENNEDY (1985): Photo-oriented aerial-dispersal behavior of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) enhances escape from the leaf surface. *Ann Entomol Soc. Am.* **78**: 609-614.
- STRESEMANN, E. (2000): *Exkursionsfauna 2: Insekten*. Spektr. Akad. Verlag GmbH Heidelberg Berlin 959 pp.
- SUTER, R.B. (1992): Ballooning: Data from spiders in freefall indicate the importance of posture. *Journal of Arachnology* **20**: 107-113.
- SUTER, R.B. (1998): An aerial Lottery: The physics of ballooning in a chaotic atmosphere. *Journal of Arachnology* **27**: 281-293.
- TAYLOR, R.A.J. & D. RELING (1986): Density/height profile and long range dispersal of first-instar gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environ. Entomol.* **15**: 431-435.
- THOMAS, A.A.G., A.R. LUDLOW & J.S. KENNEDY (1977): Sinking speeds of falling and flying *Aphis Fabae Scopoli*. *Ecol. Entomol.* **2**: 315-326.
- THORBEC, P., C.J. TOPPING & K.D. SUNDERLAND (2002): Validation of a simple method for monitoring aerial activity of spiders. *Journal of Arachnology* **30**: 57-643.
- VUGTS, H.F. & W.K.R.E. VAN WINGERDEN (1976): Meteorological aspects of aeronautic behavior of spiders. *Oikos* **27**: 433-444.
- WASHBURN, J.O. & L. WASHBURN (1984): Active aerial dispersal of minute wingless arthropods: exploitation of boundary-layer velocity gradients. *Science* **223**: 1088-1089.
- WELLINGTON, W.G. & W.R. HENSON (1947): Notes and effects of physical factors on the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.). *Can. Entomol.* **79**: 168-170.
- WOOD, C.R., J.W. CHAPMAN, J.F. BARLOW, A.D. SMITH & I.P. WOIWOOD (2006): The Influence of the atmospheric boundary layer on nocturnal layers of noctuids and other moth migrating over southern Britain. *Int. J. Biomet.* **50**: 193-204. AN0 2824
- ZHAI, B.P. & X.X. ZHANG (1993): Behaviour of migration insects: adaptation and selection to atmospheric environment. *Acta Ecologica Sinica* **13**: 356-363. AN02132

Anhang

Anlage 1: Artenlisten

Anlage 2: Zeitrahmen für Entwicklung des Aeroplanktonsmmlers und Durchführung der Untersuchung

Anlage 3: Konstruktionszeichnung Aeroplanktonsammler

Anlage 4: Nachflugbeurteilung durch Testpiloten

Anlage 5: Flughandbuch Aeroplanktonsammler

Anlage 6: Ergänzung zur Musterzulassung

Anlage 1: Artenlisten

Artenlisten

Diptera					
Nematocera					
Familie	U.-Fam./Art	Anzahl Geschl.	Höhe ft	Datum	
Cecidomyiidae		1ww	3300	19.08.2002	
		1 ww	4500	24.08.2004	
	U.Fam. Lestremiinae		1ww	600	20.07.1998
			1ww	1000	29.08.1999
			1ww	1000	17.07.2001
			1ww	1000	10.08.2002
			1ww	3500	11.08.2004
			1mm	500	11.08.2004
			1ww	3800	02.09.2004
	Lestremia cinerea MACQUART		1mm	500	02.09.2004
			1ww	3300	01.08.2001
			1ww	2000	30.07.2002
			1ww	500	22.08.2004
			1 ww	500	07.07.2004
			1ww	6000	29.07.2004
			2ww	500	11.08.2004
			1ww	1000	01.10.2004
			2ww	500	09.10.2004
			1ww	500	10.10.2004
		Contarinia ?	1mm	1000	19.08.2002
Lasioptera sp.		1ww	3000	11.07.2003	
Peromyia sp. ?		1ww	5000	25.08.2003	
Lestodiplosis sp.	1 ww	5000	03.09.2004		
Chironomidae		1ww	600	20.07.1998	
		1ww	300	25.09.1999	
		1mm	300	29.08.1999	
		1ww	2000	17.07.2001	
		1mm	1000	06.10.2001	
		1ww	2000	09.07.2002	
		1ww	1000	30.07.2002	
		2ww	5000	22.07.2004	
		1ww	500	24.07.2004	
		3ww	6000	29.07.2004	
		2ww	3500	11.08.2004	
		3ww	500	11.08.2004	
		2ww	500	03.09.2004	
		2 ww	5000	03.09.2004	
		1ww	3500	09.10.2004	
Bibionidae		1ww	300	25.08.1999	
		1mm	1000	30.08.1999	
Sciaridae		1mm	1000	29.08.1999	
		1ww	1000	13.05.2000	
		1ww	300	10.06.2000	
		1ww	1000	01.08.2001	
		1ww	1000	31.08.2001	
		5ww	1000	30.07.2002	
		1ww	2000	30.07.2002	
		1ww	3300	19.08.2002	
	3ww	500	29.05.2003		

Sciaridae	1ww	3000	11.07.2003
	1ww	500	28.07.2003
	1ww	500	02.06.2004
	1 ww	4000	02.06.2004
	1ww	3500	06.07.2004
	13 ww	500	07.07.2004
	1ww	5000	07.07.2004
	4ww	5000	22.07.2004
	1ww	500	24.07.2004
	5 ww	500	29.07.2004
	1ww	500	01.08.2004
	2ww	5000	01.08.2004
	Ceratopogonidae	4ww	2100
1ww		500	06.06.2003
1ww		500	09.10.2004
Psychidae	1ww	2500	18.06.2002
	1ww	5000	01.08.2004
Scatopsidae	1ww	500	05.09.2003
	1 ww	500	07.07.2004
Mycetophilidae	1ww	1000	20.10.2001

Diptera				
Familie	Art	Anzahl	Höhe	Datum
Brachycera		Geschl.	ft	
Drosophilidae		1	600	20.07.1998
		1	300	10.06.2000
		1	1000	10.06.2000
		1	2100	20.10.2001
		1	2000	26.06.2002
		1	3000	24.09.2002
		1	500	07.07.2004
		1	600	21.07.2004
		5	500	29.07.2004
		1	6000	29.07.2004
		1	500	01.08.2004
		1	500	11.08.2004
		1	1000	01.10.2004
		4	3500	09.10.2004
Syrphidae		1ww	600	21.07.1998
		1	500	07.07.2004
		1	500	01.08.2004
		1	500	11.08.2004
Phoridae		1	300	25.08.1999
		2	300	29.08.1999
		1	1000	29.08.1999
		1	300	10.06.2000
		1	1000	31.08.2001
		1	3300	10.08.2002
		2	500	24.08.2004
		1	3800	02.09.2004
		1	5000	03.09.2004
		1	500	07.09.2004
		1	5000	10.10.2004
Sphaeroceridae		1	300	10.06.2000
		1	1000	10.06.2000
		1	2000	17.07.2001
		1	1000	06.10.2001
		2	3000	27.06.2003
		1	500	09.10.2004
Sepsidae		1mm	1000	31.08.2001
		1	500	11.07.2003
Hybotidae	Platypalpus pallidicornis COLLIN	1mm	3300	19.08.2002
Brachycera		1	330	05.09.1999
		1	1000	17.07.2001
		1	2000	17.07.2001
		1	1000	31.08.2001
		1	5000	18.06.2002
		1	3000	24.09.2002
		1	3000	12.08.2003
		3	5000	22.07.2004
		1	6000	29.07.2004
		2	5000	03.09.2004
		3	1000	01.10.2004
		4	3500	09.10.2004

Hymenoptera						
Ü.-Familie	Familie	Art, Bem.	Anzahl Geschl.	Höhe ft	Datum	
Chalcidoidea	Pteromalidae	Cyrtoaster vulgaris (WALKER)	1 mm	300	29.08.1999	
			1 ww?	300	29.08.1999	
			1 ww	1000	30.08.1999	
			1 ww	1000	10.06.2000	
			1 ww	2000	31.08.2001	
			1 ww	1000	31.08.2001	
			1 ww	500	28.07.2003	
			1 ww	500	12.08.2003	
		Asaphes vulgaris (WALKER)	1 ww	4200	15.08.2001	
			1 ww	500	06.10.2001	
			1 ww	5000	07.09.2004	
		Mesopolobus ?	1 mm	3000	09.07.2002	
			1 ww	500	28.07.2003	
			1 ww	3500	11.08.2004	
		Pachyneuron	1 ww	2000	30.07.2002	
			1 mm	1000	10.08.2002	
			2 ww	3300	10.08.2002	
			1 mm	500	25.08.2003	
			1 ww	3500	11.08.2004	
			1 mm	3500	11.08.2004	
			1	500	24.08.2004	
			2 ww	5000	07.09.2004	
		Pteromalus	1 ww	4000	02.06.2004	
			2 ww	500	11.08.2004	
		Halticoptera	1 mm	5000	07.09.2004	
		Miscogasterinae ?	1 ww	3500	09.10.2004	
		Eulophidae		1 ww	300	29.08.1999
				1 ww	1000	10.06.2000
				1 ww	2000	17.07.2001
				1ww 1	500	12.08.2003
				1 ww	1000	31.08.2001
				1 ww	1000	30.07.2002
				1 ww	3000	11.07.2003
				1 ww	5000	25.08.2003
				1 ww	3500	06.07.2004
				1	5000	24.08.2004
				Encyrtidae		1 ww
		2 ww	5000			22.07.2004
		1 mm	500			24.08.2004
		1 ww	5000			03.09.2004
		Aphelinidae		1 mm	1000	19.08.2002
				1 ww	3000	30.08.2002
				1 ww	500	11.07.2003
				1 ww	500	25.08.2003
		Torymidae		1 ww	2000	31.08.2001

Hymenoptera								
Ü.-Familie	Familie	Art, Bem.	Anzahl Geschl.	Höhe ft	Datum			
Chalcidoidea	Mymaridae		1 ww	500	28.07.2003			
			2	500	11.08.2004			
			1	3500	11.08.2004			
			1	5000	07.09.2004			
Ichneumonoidea	Aphidiidae		1	600	21.07.1998			
			1 mm	3000	30.08.2002			
			1 ww	1000	27.06.2003			
			1 mm	500	28.07.2003			
			1 ww	3000	08.08.2003			
			1	5000	25.08.2003			
			1	500	05.09.2003			
			3	500	22.07.2004			
			2	5000	22.07.2004			
			1 mm	5000	24.07.2004			
			1 mm	500	29.07.2004			
			1 ww	500	10.08.2004			
			1 ww	5000	10.08.2004			
			2 mm	3500	11.08.2004			
			1 mm	500	24.08.2004			
			1	5000	24.08.2004			
				Braconidae		1 mm	2100	21.05.2002
	1	5000	24.08.2004					
	1	600	21.07.1998					
	Proctotrupoidea	Ceraphronidae		1 mm	3300	19.08.2002		
1 mm				1000	30.08.2002			
1				3000	08.08.2003			
1 mm				500	12.08.2003			
2				500	25.08.2003			
3				5000	25.08.2003			
2				500	05.09.2003			
2				4000	05.09.2003			
1				4000	02.06.2004			
2 ww				500	22.07.2004			
2				5000	02.09.2004			
1				500	03.09.2004			
				Platygasteridae	Inostemma	1 ww	3500	06.07.2004
1 mm						6000	29.07.2004	
1 ww		500	11.08.2004					
		Scelionidae		1	500	25.08.2003		
Cynipoidea	Eucoilidae		1 ww	300	29.08.1999			
			3 ww	3000	08.08.2003			
	Formicidae	Lasius flavus (FABRICIUS)	1 ww	600	20.07.98			

Coleoptera				
Familie	Art	Anzahl Geschl.	Höhe ft	Datum
Staphylinidae	Amischa analis (GRAVENHORST)	1	1000	25.08.1999
		1	1000	29.08.1999
		8	3000	22.09.2003
		2	500	22.09.2003
		1	4000	02.06.2004
		1	1000	13.05.2000
		1	6000	29.07.2004
	Atheta sodalis	1	5000	07.07.2004
	Amischa decipiens SHARP	1	500	02.06.2004
	Acrotona aterrima (GRAVENHORST)	1	1000	29.08.1999
	Aloconota gregaria (ERICHSON)	1	1000	29.08.1999
	Anotylus tetracarinatus (BLOCK)	1	1000	13.05.2000
	Anotylus rugosus (FABRICIUS)	1	1000	10.06.2000
	Atheta volans (SCRIBA)	1	1000	13.05.2000
	Aleochara bipustulata (LINNÉ)	1	3300	01.08.2001
	Stenus cicindeloides SCHALLER	1	500	11.07.2003
	Philonthus cognatus STEPHENS	1	500	25.08.2003
		1	5000>3800	02.09.2004
	Philonthus carbonarius (GRAVENHORST)	1	500	22.09.2003
		1	3000	22.09.2003
		1	500	02.09.2004
	Atheta fungi (GRAVENHORST)	1	500	24.08.2004
		1	500	07.07.2004
		1	5000	07.07.2004
		1	5000>3800	02.09.2004
	Xantholinus longiventris HEER	2	5000>3800	02.09.2004
	Tachyporus hypnorum (LINNÉ)	1	500	09.10.2004
Calodera nigrita MANNHEIM	1	500	09.10.2004	
Hydrophilidae	Megasternum boletophagum (MARSHAM)	1	1000	17.07.2001
Lathridiidae	Corticarina fuscata GYLLENHAL	1ww	1000	29.08.1999
Carabidae	Amara plebeja GYLLENHAL	1	3500	06.07.2004
Nitidulidae	Meligethes aeneus (FABRICIUS)	1	5000	22.07.2004
Ptiliidae	Acrotrichis sp.	1	5000>3800	02.09.2004

Hemiptera				
U.-Familie Psylloidea				
Familie	Art	Anzahl	Höhe ft	Datum
Psyllidae	Cacopsylla melaneura (FOERSTERI)	1	600	20.07.98
		1	3500	06.07.04
		1	5000	22.07.04
		4	300	10.06.00
	Aphalara crispicola (OSIANNILSSON)	2	330	05.09.99
		1	3300	19.08.02
		1	4000	05.09.03
		1	5000	03.09.04
		1	4000	09.10.04
		Psylla betulae (LINNÉ)	3	500
Triozidae	Triozia urticae (LINNÉ)	1	500	06.10.01
		1	2100	20.10.01
unbestimmt	Exemplar fragmentiert	1	3000	09.07.02
unbestimmt	Exemplar vollständig > 0,5 mm (s. 20/1/1-3/5)	1	1000	19.08.02
unbestimmt	Exemplar vollständig > 0,5 mm (s.19/1/1-4/5)	1	1000	30.08.02

Psocoptera				
Familie	Art	Anzahl	Höhe ft	Datum
Lachesillidae	Lachesilla pedicularia (LINNÉ)	1	500	12.08.03
		1	4000	05.09.03
Stenopsocidae	Graphopsocus cruciatus (LINNÉ)	3	500	11.08.04
		1	3500	11.08.04
		1	5000	10.08.04
unbestimmt	Exemplar fragmentiert	1	6000	29.07.04
unbestimmt	Exemplar fragmentiert	1	600	20.07.98
unbestimmt	Exemplare flügellos	2	500	25.08.03

Auchenorrhyncha				
Familie	Art	Anzahl	Höhe ft	Datum
Delphacidae		1	3000	27.06.03

Heteroptera				
Familie	Art	Anzahl	Höhe ft	Datum
Lygaeidae	Kleidocerys resedae (Panzer)	1	500	06.10.2001
Lygaeidae		1	3000	22.09.2003
Lygaeidae		1	5000	03.09.2004
Lygaeidae		1	4000>3500	09.10.2004

Anlage 2: Zeitrahmen für Entwicklung des Aeroplanktonsmmlers und Durchführung der Untersuchung

Entwicklungs- und Zeitrahmen des Genehmigungsverfahrens für den Aroplanktonsammler

1997

Schon lange hegte ich den Wunsch, mit einem Flugzeug Luftschichten größerer Höhen auf Lebensformen zu untersuchen. 1997 wurden von mir Überlegungen angestellt, ein luftdurchströmtes Gerät zu entwickeln, das Insekten im Fluge einfängt und weitgehend unversehrt lässt. Das Gerät sollte luftdurchströmt sein, um den Staudruck bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Luft herabzusetzen. Mit dem Gerät sollte zur Bestimmung der Individuendichte das Luftvolumen zu den Fangproben berechenbar sein. Das Gerät musste flugtechnisch sicher am Flugzeug angebracht und bedient werden können. Aufgrund seiner sammelnden Arbeitsweise wurde das Gerät „Aeroplanktonsammler“ (APS) genannt.

1998

1998 wurde der erste Prototyp des APS aus Holz angefertigt. Zum Test wurde das Gerät auf das Dach eines Pkw-Anhängers montiert, um die Anströmgeschwindigkeit der Luft während eines Fluges zu simulieren. Die Funktion des Gerätes, wie z.B. das Zusammenspiel der hinteren und vorderen Öffnungs- und Schließmechanismen sowie das Verhalten des Haftmittels wurde mehrfach auf einer Autobahn getestet. Für die Gleichgewichtstabilität des Flugzeugs, insbesondere den Ausgleich des Giermomentes, wurde ein zweites Gerät in gleicher Größenordnung und Gewicht für die zweite Tragfläche entwickelt. Bei dem zweiten Gerät wurden drei plattenförmige Schieber mit Haftfolie beklebt und in den Luftstrom gehalten. Dieses Prinzip hat sich nicht bewährt. Das Zweitgerät hat dennoch während der ersten Testflüge als Gegenstück zum Prototyp für die Gleichgewichtstabilität des Flugzeugs gute Dienste geleistet. Die ersten Flüge mit dem Prototypen aus Holz wurden im April 1998 durchgeführt. Nach weiteren Testfahrten mit dem Pkw und der Beseitigung von Funktionsstörungen wurden im Juli/August weitere 6 Flüge zur Prüfung der Funktion des APS gemacht. Vom Juli 1998 stammen zwei Fangproben, die mit für das Untersuchungsergebnis Verwendung fanden. Nach weiteren Nachbesserungen am Gerät und Prüfungen zur Handhabung des Haftmittels sowie des Fanggutes, konnte über den Nachbau des Prototyps aus anderen Materialien nachgedacht werden. Hier drohte die Unternehmung das erste Mal aus finanziellen Gründen zu scheitern, da die Kosten für den Nachbau nicht unerheblich sein sollten. Sehr zu Dank bin ich Herrn Prof. Colijn verpflichtet, der für den Nachbau den Kontakt zum Institut für Meeresforschung (IFM) in Kiel vermittelte. Dort wurden mit den Mitarbeitern der Technik Überlegungen angestellt, welches Material, ob Kunststoff oder Metall, verwendet werden sollte. Die Verarbeitungsart (kleben, nieten, schweißen) musste geklärt werden. Aufgrund der Anforderungen an die APS, wie geringes Gewicht, Lösungsmittelresistenz bzw. Wasserfestigkeit, mechanische Beanspruchung durch den Luftstrom und Vibrationen, häufige Montage, Demontage und Zerlegen sowie der Verfügbarkeit der Materialien kamen wir zu dem Ergebnis, ein Aluminiumgehäuse, genietet und teilgeschweißt, zu fertigen. Bei der im APS gelagerten Haftmitteltrommel sollte Kunststoff, wie beim Prototypen aus Holz, beibehalten werden.

1999

Im August 1999 waren die Nachbauten aus Aluminium fertiggestellt. Nach den ersten Probefängen wurden die Geräte soweit nachgebessert, dass für das Jahr 2000 das Fangprogramm begonnen werden sollte. Alle Fangproben der 4 Testflüge von 1999 konnten nach Überarbeitung mit in das Ergebnis der Untersuchung eingearbeitet werden.

2000

Mit den beiden Flügen am 13.05. 00 und 10.06.00 wurde das Fangprogramm gestartet. Entgegen vorangegangener Absprachen wurde mir am 11.06.00 vom Flugsportclub Heide-Büsum unverhofft die Vorgabe gemacht, aus versicherungstechnischen Gründen ein Genehmigungsverfahren beim Luftfahrtbundesamt (LBA) einzuleiten. Hier drohte die Untersuchung aus finanziellen Gründen ein zweites Mal zu scheitern. Meinem außerordentlichen Dank gehört an dieser Stelle abermals Herrn Prof. Colijn, der sich bereiterklärte, über das Institut die materiellen Kosten zu übernehmen. Ich nahm die Herausforderung an, nachdem bereits soviel Arbeit, Zeit und Geld investiert und so viele Helfer beteiligt worden waren.

Ziel der luftfahrttechnischen Genehmigung war die erweiterte Musterzulassung, um Luftfahrzeuge (Lfz) mit einem APS betreiben zu dürfen. Zum Betrieb eines Luftfahrzeugs gehört ein offiziell durch das LBA anerkanntes Flughandbuch und eine detaillierte Betriebsanweisung. Weil die APS eine Ergänzung zum Flugzeug darstellen, bedurften auch sie eines eigenen Flughandbuches und einer Betriebsanweisung. Das Flughandbuch wurde von mir in Form einer technischen Beschreibung und Betriebsanweisung erarbeitet und für die Zulassung beim LBA eingereicht.

Gegen die Anbringung auf den Flügelstreben unter den Tragflächen des Flugzeugtyps Piper PA 18 bestanden seitens des LBA keine Bedenken. Hauptmängel der Sachverständigen des LBA war die Befestigungsart der Geräte am Luftfahrzeug. Die Geräte waren bis dahin an sieben Punkten mit drei- und vierfach abgesicherten Kabelbindern an den Verstrebungen des Lfz befestigt. Das hatte aufgrund der Flexibilität den Vorteil, dass die APS auf allen baugleichen Mustern der PA 18 ohne Schädigung der Maschinen schnell und problemlos montiert werden konnten. Die Montage war ausgesprochen bedienerfreundlich und konnte ohne höheren Zeitaufwand innerhalb 1 Stunde abgearbeitet werden. Die Kabelbinder wurden als Verbrauchsmaterial gehandhabt und zur Sicherheit immer nur neuwertig verwendet. Das LBA forderte eine andere Lösung, d.h. feste Halterungen und Verschraubungen. Auch hier stellte sich die Frage, aus welchem Material die Halterungen gefertigt werden sollten, da sie passgenau die Flügelstreben umgreifen mussten. Die Oskar Ursinus Stiftung (OUV), eine bundesweite Verbindung flugzeugbauender Ingenieure, zeigte sich mit gutachterlichem Rat außerordentlich hilfsbereit. Die Entscheidung zwischen Faserverbundstoffen oder Metall fiel zugunsten der Variante Metall (Eisen) aus. Die Firma AVIATEC in Lübeck bekam den Zuschlag, die Halterungen aus Eisen zu fertigen. Es sollten noch Wochen und Monate vergehen sowie etliche Gespräche geführt und zur Anpassung der Halterungen zahlreiche Flüge nach Lübeck durchgeführt werden. Die Standzeiten der APS nutzte ich für Messungen der Luftströmungen am APS im Windkanal der Hamburger Gewerbeschule für Luftfahrttechnik bei meinem ehemaligen Lehrer für Aerodynamik Herrn von Ahlen.

2001

Am 05.07.2001 erhielt ich vom LBA zu Testzwecken eine „Vorläufige Verkehrszulassung“ für die Anbringung und den Betrieb der APS. Es konnte mit der offiziellen Testphase der Halterungen der APS begonnen werden. Das Flugzeug musste mit montierten APS nach Beladung und Schwerpunkt neu vermessen und gewogen werden. Es musste ein offizielles Flugerprobungsprogramm erarbeitet, nachgeflogen und beim LBA nachgewiesen werden. Der Nachflug des Erprobungsprogramms erfolgte durch einen Testpiloten der OVU und verlief positiv. Die Beurteilung des Flugverhaltens der Flugzeuge mit montiertem APS wurde durch den OVU-Testpiloten dem LBA zugeleitet. Auf der Grundlage der „Vorläufigen Verkehrszulassung“ konnten im Rahmen der Testphase 6 Fangflüge durchgeführt werden. Für

die Montage der Sammler wurde mit den neuen, technischen Metallhalterungen ein Zeitraum von nun 2,5 Stunden benötigt.

2002

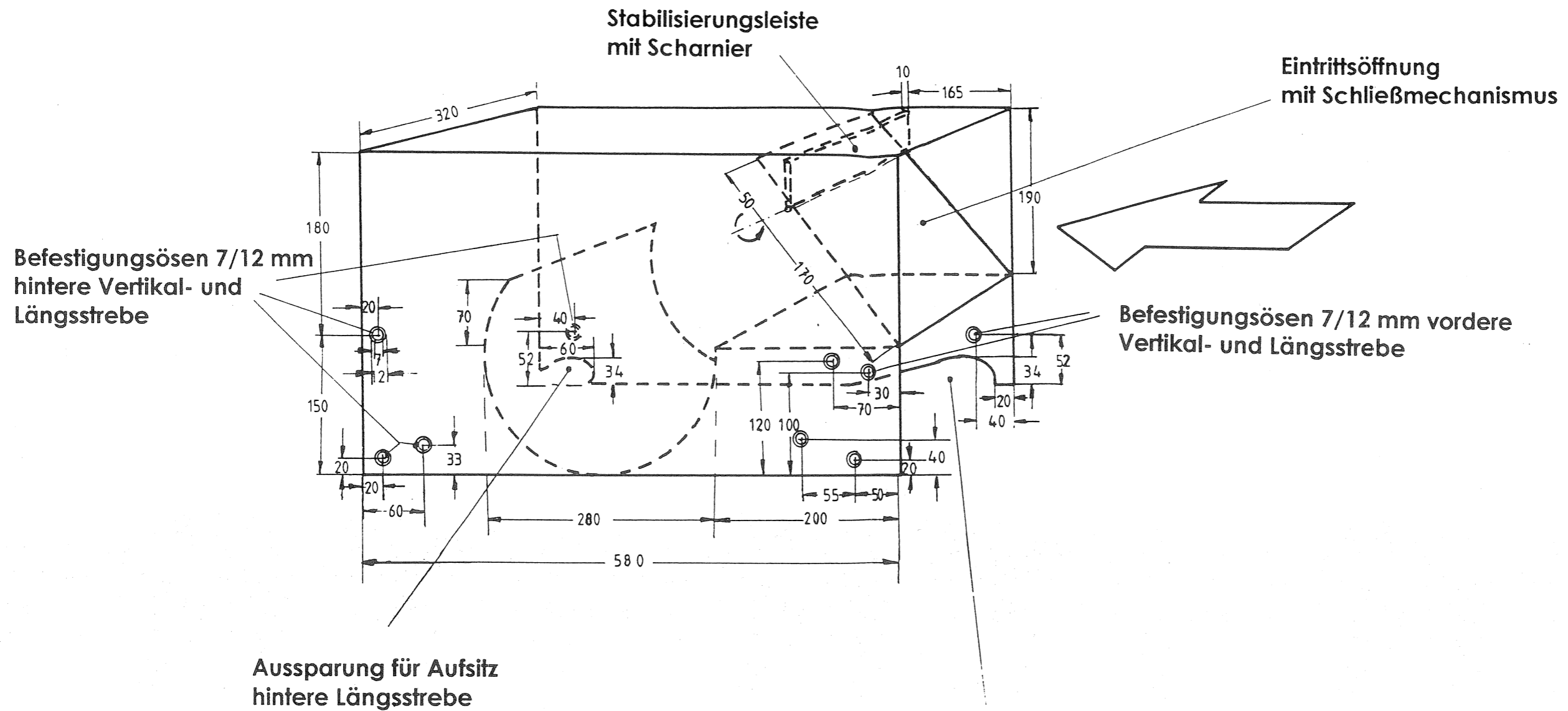
Die APS wurden am 12.02.2002 in die Luftfahrtrolle der Bundesrepublik Deutschland eingetragen. Die „Ergänzung zur Musterzulassung“ und das Flughandbuch waren seitdem fester Bestandteil der Musterzulassungen für die beiden PA 18 mit den Kennzeichen D-ECQA und D-EKYL für das Fliegen mit APS. Aufgrund einer längeren Ausfallzeit der D-ECQA durch Motorschaden erfolgte eine geringere aber durchgängige Anzahl an Probennahmen von Mitte Mai bis Ende September 2002. Leider ging die D-EKYL bei einem Unfall in Dänemark verloren. Es hat glücklicherweise keine Personenschäden gegeben. Für die weitere Untersuchung stand somit nur noch die Vereinsmaschine D-ECQA zur Verfügung.

2003/2004

In den Jahren 2003 und 2004 wurden in über 70 Flugstunden insgesamt 30 Fangflüge mit der Vereinsmaschine D-ECQA durchgeführt. Die Flüge erbrachten 59 auswertbare Fangproben. Die Unternehmung stand 2003/2004 immer in Konkurrenz gegenüber dem gleichberechtigten Anspruch meiner Vereinskameraden zur Nutzung des Flugzeugs, den launischen Wetterbedingungen unserer Region sowie dem Terminkalender meines Arbeitgebers.

Über die Jahre 1998 bis 2004 haben neben den zahlreichen Test- und Werkstattflügen insgesamt 53 Fangflüge mit 103 auswertbaren Fangproben zur Datengrundlage dieser Untersuchung geführt.

Anlage 3: Konstruktionszeichnung Aeroplanktonsammler



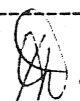
Aeroplanktonsammler

Linke Tragfläche für PA 18
 äußere Maße und Erscheinungsbild
 ohne innere Trommel, ohne E-Motor und
 ohne stömungsabhängigen hinteren
 Schließmechanismus

Maßstab: 1 : 5

Datum: 26.06.2000

Name: Holger Weidel

 26.06.00

Anlage 4: Nachflugbeurteilung durch Testpiloten

Beurteilung des OUV Nachflugpiloten über das Flugzeug

Aeroplanktonsammler für PA 18

D-ECQA (Maschine beim Nachflug) D-EKYL

Projekt Nr. M214/33/2000
Verantwortlicher Hersteller: Holger Weidel
Riesewohld 3
25767 Albersdorf

Die folgende Beurteilung betrifft nur das o.g. Projekt Aeroplanktonsammler mit den Flugzeugen D-ECQA / D-EKYL. Die Beurteilung erfolgt nach bestem Wissen des Unterzeichnenden. Eine persönliche Haftung für unwissentlich falsche Aussagen besteht nicht. Änderungen am Aeroplanktonsammler nach dem 3.11.2001 durchgeführt wurden entziehen sich der Beurteilung.

Hamburg, den 9.12.2001



Jens Graf

Diese Beurteilung umfaßt 10 Seiten

Verteiler: Herr Weidel
OUV - PA
OUV Geschäftsstelle

Allgemeines:

Der Aeroplanktonsammler stand am 3.11.2001 mit einer PA 18 (D-ECQA) zum Nachfliegen zur Verfügung. Dabei wurde ein 45 min Flug durchgeführt. Der Flug fand in der Umgebung des Flugplatzes Uetersen statt.

Zum Nachflug lag die Ergänzung zum Flughandbuch vor und wurde mitbeurteilt. Die Unterlagen des Belastungstests und der Flugerprobung lagen ebenfalls vor. Die Flugzeit für die Daten im Flugbericht von H. Weidel betrug 6:47 h.

Zusammenfassung:

Das Flugzeug zeigte mit dem Aeroplanktonsammler beim Nachfliegen keine Besonderheiten oder Eigenschaften auf, die eine Beeinträchtigung der Betriebssicherheit bedeuten würden.

Eine messbare Veränderung des Flugverhaltes und der Flugcharakteristik der PA 18 mit montierten Aeroplanktonsammlers ist nicht feststellbar.

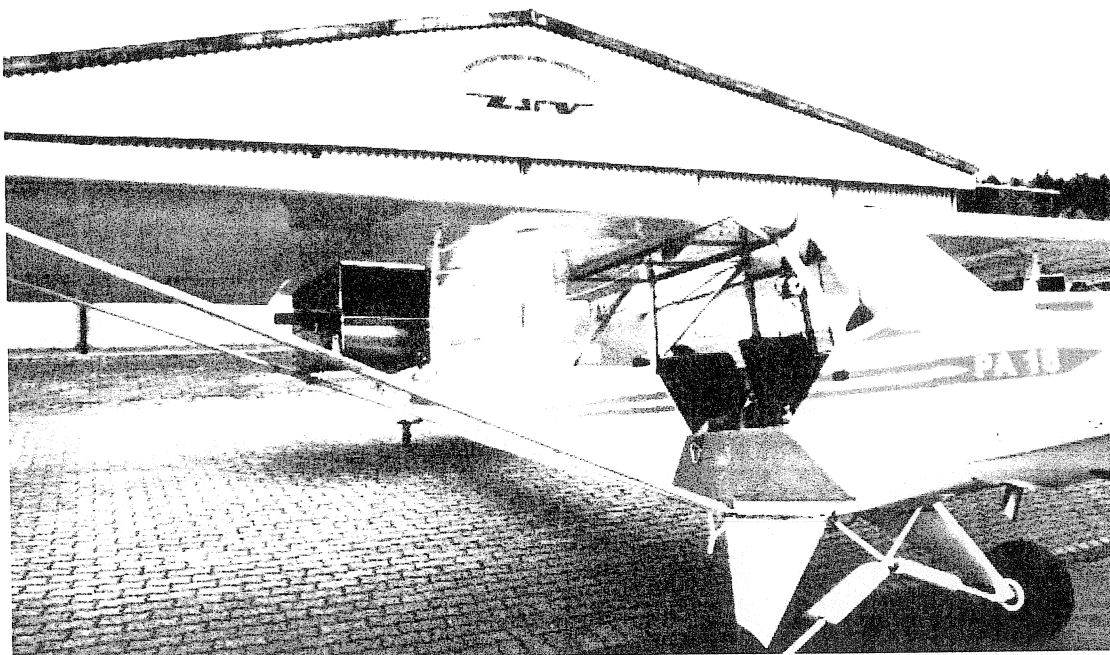
Die Betriebs und Wartungsanweisungen im Ergänzungskapitel zum Flughandbuch sind ausreichend für einen sicheren Betrieb der Flugzeuge mit dem Aeroplanktonsammler.

Es wird von mir empfohlen, für den Aeroplanktonsammler eine ergänzende Musterzulassung für die Flugzeuge D-ECQA und D-EKYL zu erteilen

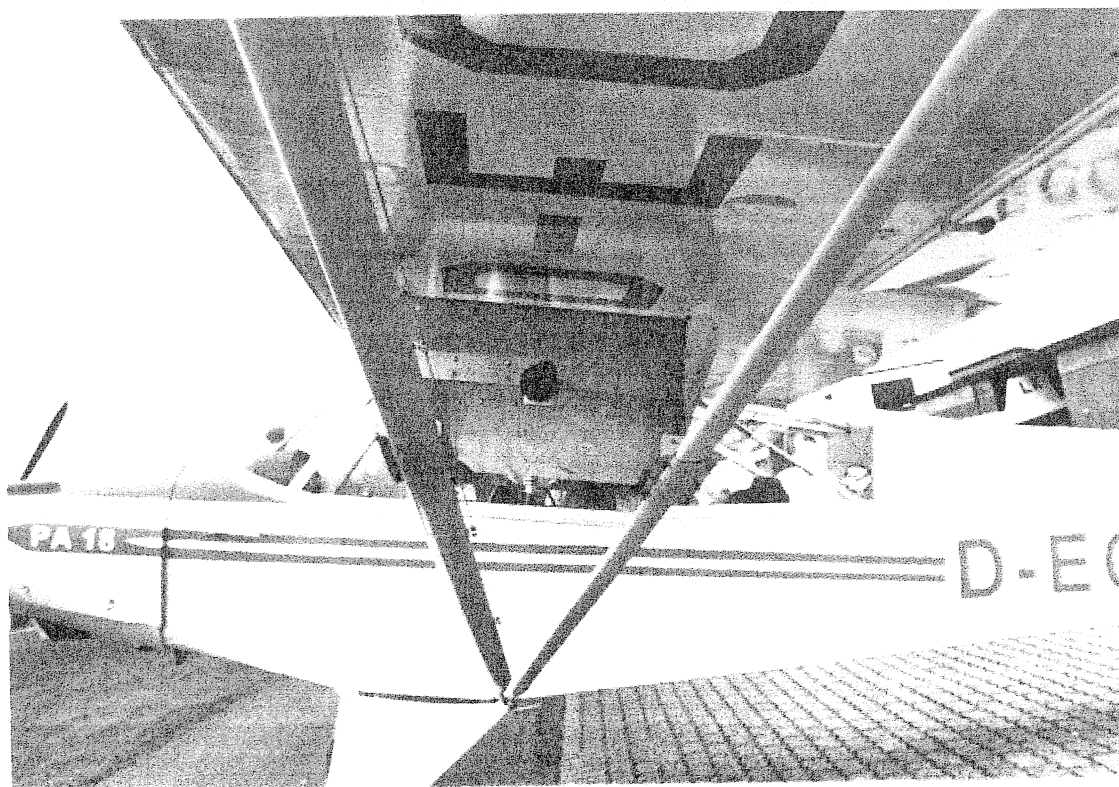
Hinweise an den Halter:

Änderungen am Aeroplanktonsammler dürfen nach der Erteilung der ergänzenden Musterzulassung nicht mehr durchgeführt werden. Die Zulassungsbehörde kann über die, in diesem Nachflugbericht vorgenommenen Bewertungen hinausgehende Auflagen festlegen, die vom Halter beachtet werden müssen.

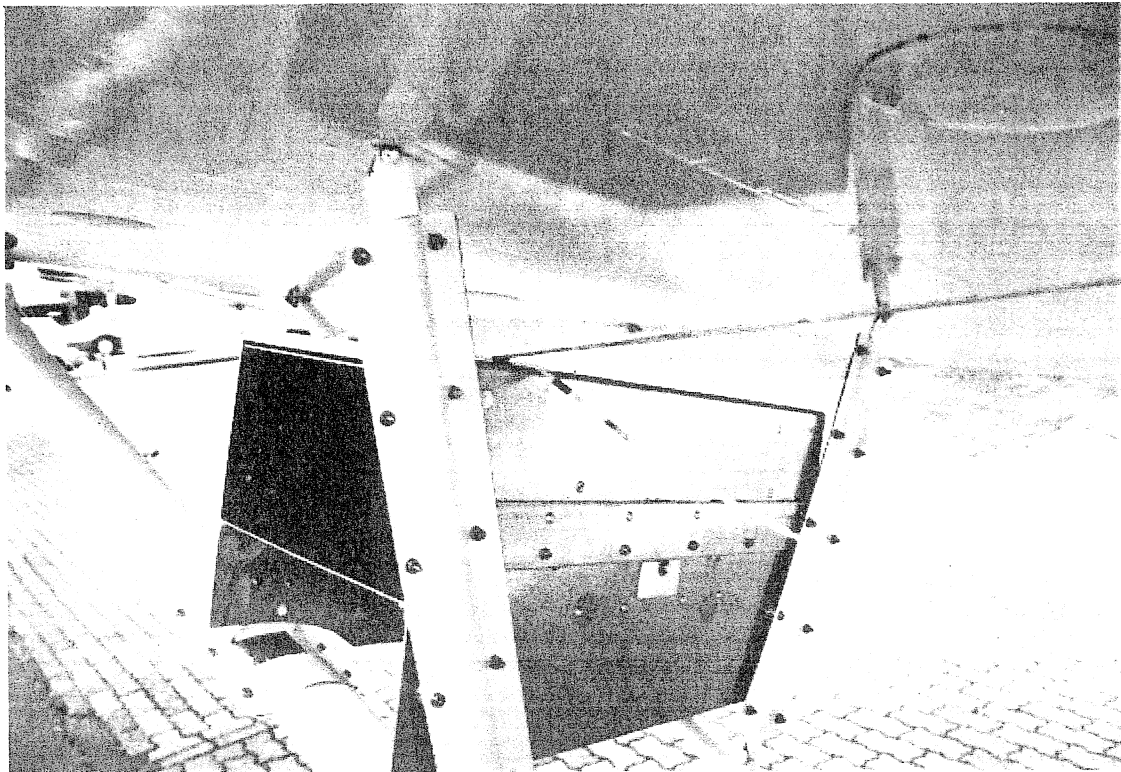
Weiterhin wird auf den § 12 der OUV Satzung und den Abschnitt 1.4 des LBA-Merkblatts M2/M3/240.1 Ausgabe 7 /Mai. 2001 hingewiesen. Danach trägt der Halter selbst die volle Verantwortung für den Bau und den Betrieb.



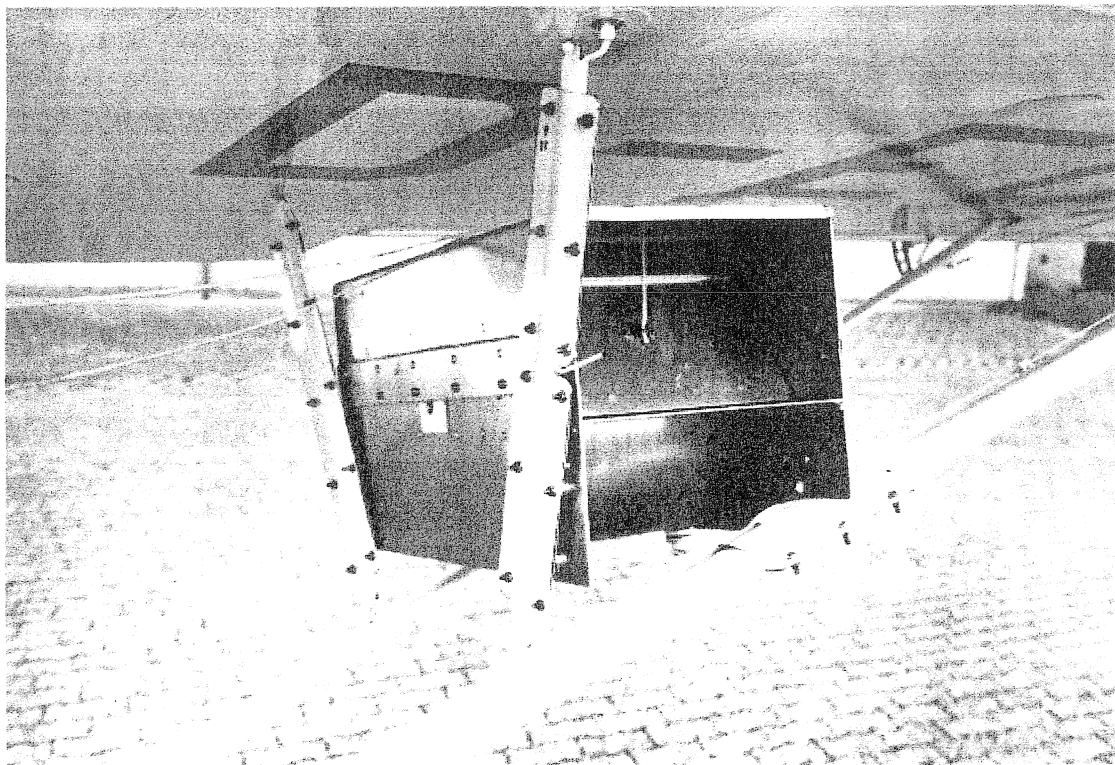
Aeroplanktensammler an PA 18 rechts montiert



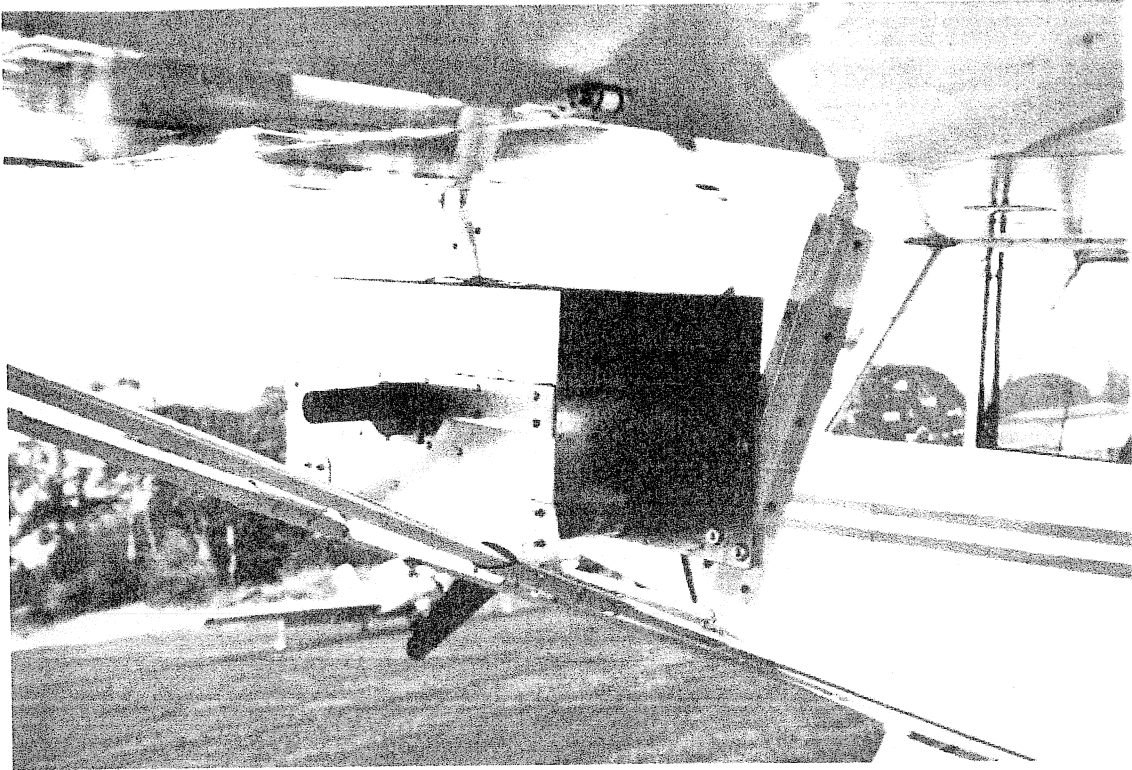
Aeroplanktensammler an PA 18 links montiert



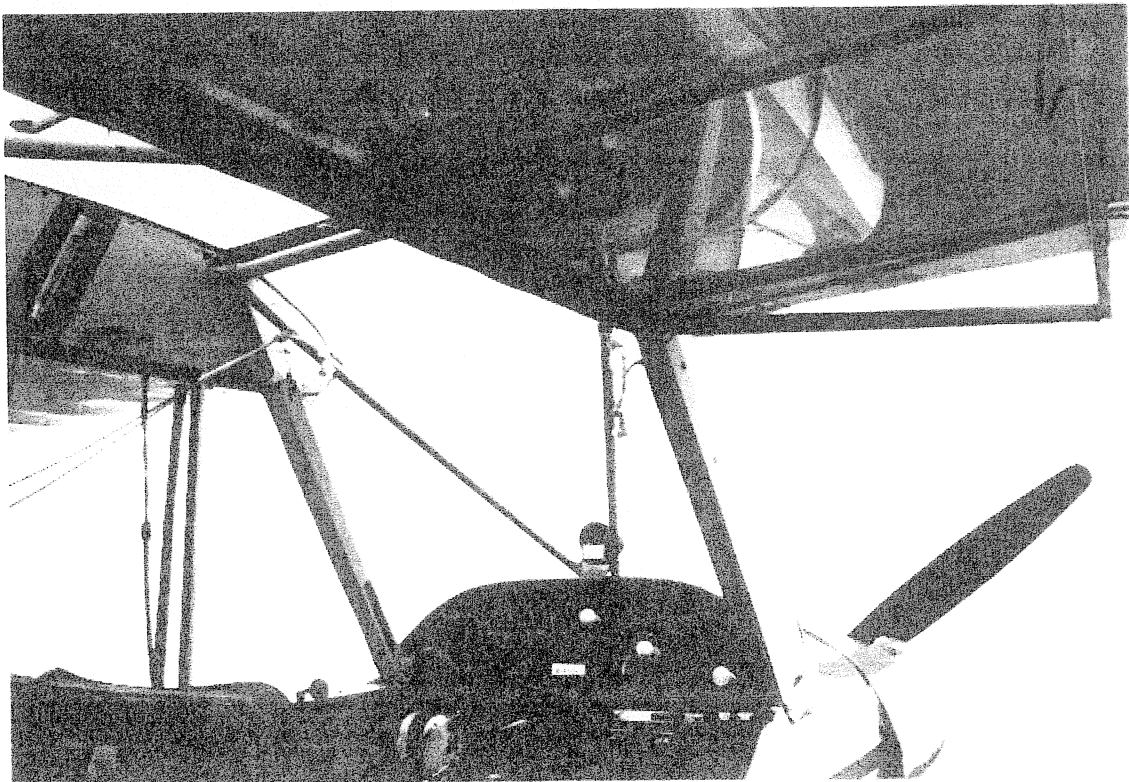
Aeroplanktensammler rechts mit Befestigung



Aeroplanktensammler links mit Befestigung



Aeroplanktonsammler , Antriebsmotor außenliegend



Cockpitansicht mit Betätigungsleinen zum Öffnen / Schließen der Klappe im Aeroplanktonsammler

Handhabung am Boden

Die Handhabung des Flugzeugs am Boden wird durch den Anbau des Aeroplanktonsammlers nicht verändert.

Beurteilung anhand JAR-VLA im Einzelnen

Jar-VLA 33 Propeller speed und pitch limits

Veränderungen durch den Aeroplanktonsammler sind nicht feststellbar

Querverweis

Flug 3.11.01

JAR-VLA 49 Stalling speed

Die im Flughandbuch der PA 18 angegebene Überziehgeschwindigkeit wird nicht verändert.

Querverweis

Flug 3.11.01

JAR-VLA 51 Take off

Im Rahmen der Flugerprobung wurde die Startstrecke bzw. eine Veränderung der im PA 18 Flughandbuch genannten Startstrecke ermittelt. Eine Veränderung ist nicht feststellbar.

Beim Nachfliegen wurde dieses Ergebnis bestätigt.

Das Flugzeug kann mit Aeroplanktonsammler nach dem Standardverfahren nach Flughandbuch gestartet werden.

Querverweis

Erprobungsbericht

Flug 3.11.01

JAR-VLA 65 Climb

Veränderungen durch den Aeroplanktonsammler sind nicht feststellbar

Querverweis

Erprobungsbericht

Flug 3.11.01

JAR-VLA 75 Landing
JAR-VLA 77 Bailed landing

Keine Veränderungen im Landeverhalten und beim Durchstarten

Querverweis
Flug 3.11.01

JAR-VLA 143 Controllability and manoeuvrability, General

Das Flugzeug ist in den Flugphasen Start, Steigflug, Horizontalflug und Landung jederzeit steuerbar und kontrollierbar. Änderungen der Fluglage lassen sich leicht und ohne große Steuerkräfte durchführen.
Veränderungen durch den Aeroplanktonsammler sind nicht feststellbar

Querverweis
Flug 3.11.01

JAR-VLA 145 Longitudinal control
JAR-VLA 153 Control during landing

Alle nach JAR-VLA 145 und JAR-VLA 153 geforderten Manöver und Fluglageänderungen sind ohne außergewöhnliche Geschicklichkeit und ohne Überschreiten der in JAR-VLA 143 genannten Steuerkräfte durchführbar (nach qualitative Beurteilung beim Nachflug).

Querverweis
Flug 3.11.01

JAR-VLA 155 Elevator control force in manoeuvres

Während der Flugerprobung wurden keine Handkraftmessungen durchgeführt.
Veränderungen durch den Aeroplanktonsammler sind nicht feststellbar

Querverweis
Flug 3.11.01

JAR-VLA 157 Rate of roll

Die Zeit für einen Kurvenwechsel von +/-30° liegt deutlich unterhalb der Forderung der JAR-VLA157 (4 bzw. 5 Sekunden)
Veränderungen durch den Aeroplanktonsammler sind nicht feststellbar

Querverweis

Flug 3.11.01

JAR-VLA 161 Trim

Veränderungen durch den Aeroplanktonssammler sind nicht feststellbar

Querverweis

Flug 3.11.01

JAR-VLA 173 Static longitudinal Stability

JAR-VLA 175 Demonstration of static longitudinal stability

Handkraft und Knüppelweg in Abhängigkeit der Geschwindigkeit wurden weder während der Flugerprobung, noch beim Nachfliegen gemessen, sondern nur qualitativ beurteilt.

Veränderungen durch den Aeroplanktonssammler sind nicht feststellbar

Querverweis

Flug 3.11.01

JAR-VLA 177 Static directional and lateral stability

Eine statische Richtungsstabilität als Tendenz, aus dem Schiebeflug in den Geradeausflug zurückzukehren, ist beim Loslassen des Seitenruders, im gesamten zugelassenen Geschwindigkeitsbereich für den Aeroplanktonssammler vorhanden.

Veränderungen durch den Aeroplanktonssammler sind nicht feststellbar

Querverweis

Flug 3.11.01

JAR-VLA 181 Dynamic stability

Dynamische Längsstabilität:

Die Anstellwinkelschwingung ist bei allen untersuchten Geschwindigkeiten, sowohl bei losgelassenem als bei festgehaltenem Ruder aperiodisch gedämpft.

Veränderungen durch den Aeroplanktonssammler sind nicht feststellbar

Dynamische Seitenstabilität:

Die Gier- als auch die Dutch-Roll-Schwingung ist ausreichend gedämpft. Der Rollanteil der Dutch-Roll ist sehr gut gedämpft, der Gieranteil schwächer.

Veränderungen durch den Aeroplanktonssammler sind nicht feststellbar

Querverweis

Flug 3.11.01

JAR-VLA 207 Stall warning

Veränderungen durch den Aeroplanktonsammler sind nicht feststellbar

Querverweis
Flug 3.11.01

JAR-VLA 203 Turning flight and accelerated stalls

Beim dynamischen Überziehen in der Kurve verhält sich das Flugzeug ähnlich wie beim statischen Überziehen. Eine Tendenz ungewollt ins Trudeln überzugehen war weder beim statischen noch beim dynamischen Überziehen feststellbar.

Veränderungen durch den Aeroplanktonsammler sind nicht feststellbar

Querverweis
Flug 3.11.01

JAR-VLA 221 Spinning

Das Trudeln wurde weder während der Flugerprobung noch beim Nachfliegen untersucht. Daher gilt für dieses Flugzeug mit Aeroplanktonsammler:

Absichtliches Trudeln verboten

Ein entsprechender Hinweis ist im Flughandbuch vorhanden und als Hinweisschild am Instrumentenbrett angebracht.

Querverweis
Ergänzungskapitel

Ground and water handling characteristics

JAR-VLA 231	Longitudinal stability and control
JAR-VLA 223	Directional stability and control
JAR-VLA 235	Taxying conditions

Veränderungen durch den Aeroplanktonssammler sind nicht feststellbar

Querverweis
Flug 3.11.01
Flugerprobung

Jar-VLA 251	Vibration and buffeting
JAR-VLA 629	Flutter

Das Flugzeug wurde mit Aeroplanktonssammler bis $V_{ne}=90$ kt geflogen, wobei die einzelnen Ruder durch Handkantenschläge bzw. kurze Tritte angeregt wurden.

Im gesamten geflogenen Geschwindigkeitsbereich von V_s bis V_{ne} und in allen erprobten Konfigurationen wurden keine Schwingungen und kein Schütteln festgestellt.

Querverweis
Flug 3.11.01

Powerplant	
JAR-VLA 901	Installation
JAR-VLA 951	Fuel system.General
JAR-VLA 961	Fuel system Hot weather operation
JAR-VLA 1041	Cooling.General
JAR-VLA 1047	Cooling test procedure

Veränderungen durch den Aeroplanktonssammler sind nicht feststellbar

Querverweis
Flug 3.11.01
Flugerprobung

Equipment

JAR-VLA 1301

Function and installation

JAR-VLA 1309

Equipment, systems and installations

JAR-VLA 1431

Electronic equipment

Querverweis

Betriebserfahrung des Erprobungspiloten

JAR-VLA 1323 Airspeed indicating system

Die Fahrmessanzeige und Kalebrierung wird durch den Anbau des Aeroplanktonsammlers nicht verändert.

Querverweis

Flugerprobung

Flug 3.11.01

JAR-VLA Subpart G

Operating Limitations and Information

Die Ergänzung zum Flughandbuch lag zur Beurteilung vor. Der Inhalt und Aufbau des Flughandbuchs entspricht weitgehend den Vorgaben der GAMA Spec. 1 bzw. Anhang H der JAR-VLA. Das Flughandbuch wird vom Hersteller auf den endgültigen Stand gebracht. Die Hinweis dazu wurden dem Ersteller genannt.

Die Betriebs- und Wartungsanweisungen werden aus meiner Sicht ausreichend für den sicheren Betrieb angesehen.

Anlage 5: Flughandbuch Aeroplanktonsammler

- Kapitel 9 -

Ergänzung zum
Flughandbuch
für
PA 18

mit dem Betrieb des Aeroplanktonsammlers

D -ECQA
D -EKYL

LBA Geräte Nr. M 214/ 33/ 2000

Diese Ergänzung muß sich bei Flügen mit den Aeroplanktonsammlern ständig im Flugzeug befinden.

Dies ist die verbindliche Betriebsanweisung nach LuftGerPV für den sicheren Betrieb des Luftfahrzeuges.

Hersteller: Holger Weidel
Riesewohld 3
25767 Albersdorf

LBA anerkannt
12. Feb. 02

H. Weidel



Inhaltsverzeichnis

Titelseite

Inhaltsverzeichnis Seite 2-3

ABSCHNITT 1 Allgemeines Seite 4

1.1 Allgemeine Beschreibung

1.2 Wörterbuch der Begriffe, Symbole, Abkürzungen und Terminologie

ABSCHNITT 2 Betriebsgrenzen Seite 4

ABSCHNITT 3 Notverfahren Seite 4-5

ABSCHNITT 4 Normalverfahren Seite 5 - 7

4.1 Einleitung

4.2 Auf- und Abrüsten

4.3 Tägliche Kontrolle/ Vorflugkontrolle

4.4 Normalverfahren

ABSCHNITT 5 Leistungen Seite 7

ABSCHNITT 6 Masse und Schwerpunktlage Seite 8

ABSCHNITT 7 Systembeschreibung Seite 8-9

7.1 Einleitung

7.2 Funktionsweise

ABSCHNITT 8 Wartung und Pflege Seite 9

ABSCHNITT 9 Sicherheitsempfehlungen und Sonstiges Seite 9

ABSCHNITT 1 Allgemeines

1.1 Allgemeine Beschreibung

Der Aeroplanktonsammler dient der Erfassung von Kleinstorganismen mit Hilfe eines Luftfahrzeugs, sodaß auch große Höhenstufen untersucht werden können. Der Aeroplanktonsammler ist ein aus Aluminium gefertigtes Gerät in Form eines rechteckigen Kastens mit den Ausmaßen L580 x B340 x H320 mm, das zur Durchströmung über Öffnungs- und Schließmechanismen verfügt und beidseitig unter den Tragflächen im äußeren Winkel zwischen Flügelstrebe und Knickstrebe am Muster der PA 18 angebracht wird. Die im Flughandbuch PA 18 aufgeführten Flugleistungsdaten ändern sich nicht.

1.2 Wörterbuch der Begriffe, Symbole, Abkürzungen und Terminologie

APS = Aeroplanktonsammler
Lfz = Luftfahrzeug

ABSCHNITT 2 Betriebsgrenzen

Ergänzungen:

2.1 Zugelassen nur für die beidseitige Montage

2.2 Geschwindigkeiten

Vne = 90 kt

Die weiteren im Flughandbuch PA 18 beschriebenen Betriebsgrenzen bleiben unverändert gültig.

ABSCHNITT 3 Notverfahren

Ergänzungen:

Bei Reißen der Steuerseile ist der Flug normal durchzuführen. Die Seile können sich nicht im Leitwerk verfangen.

Absichtliches Trudeln ist verboten

Die weiteren im Flughandbuch PA 18 beschriebenen Notverfahren bleiben unverändert gültig.

ABSCHNITT 4 Normalverfahren

Ergänzungen:

4.1 Einleitung

Der Aeroplanktonsammler wird über halbschalige, versteifende Schellhalterungen mit den Flügelverstrebungen verbunden. Die Schellhalterungen können mindestens für die Dauer einer Flugsaison am Flugzeug montiert bleiben. Bei Montage der APS zeigen die beiden E-Motoren für die innere Mechanik nach außen. Zur Bergung des Fanggutes ist nach jedem Flugeinsatz die Demontage des APS vorgesehen.

4.2 Auf- und Abrüsten

4.2.1 Montage der Schellhalterungen

Die halbschaligen Schellhalterungen werden vom Rumpf aus gesehen beidseitig im äußeren Winkel um die vorderen und hinteren Flügelstreben, sowie um die vorderen und hinteren vertikalen Knickstreben angelegt. Sie sind mit „L“ und „R“ für linke und rechte Tragfläche, sowie mit Pfeilen versehen, die so die Ausrichtung und Position der Halterungen auf den Verstrebungen in Flugrichtung kennzeichnen. Zur Vermeidung von Scheuerstellen sind alle Schellhalterungen mit Gummischonern zu unterlegen. Für die Erstinstallation ist der Sitz und die Position der Halterungen zusammen mit dem APS durch nicht vollständige Fixierung und Verschieben der Halterungen auf den Streben aufeinander abzustimmen. Erst nach Positionsabstimmung sollte die Halterung fest angezogen werden.

Die Verschraubungen der Schellhalterungen auf den vorderen Flügelstreben werden an der Profilvorderkante mit M6 vorgenommen. An der Profilhinterkante wird die Verschraubung an schmaleren Flanschen, aufgrund der Führung des Querruderseiles, mit M4 vorgenommen. Für die Schellhalterungen auf den hinteren Flügelstreben werden sowohl für die Profilvorderkante als auch für die Profilhinterkante M6 verwendet.

Die Verschraubungen der Schellhalterungen an den vertikalen Knickstreben werden durchgängig mit M5 vorgenommen. An den vorderen Streben dient jeweils von oben die zweite hintere Schraube und von unten die zweite vordere Schraube gleichzeitig der Befestigung des APS über Abstandhalter. Diese Bohrungen müssen bei Befestigung der Halterungen zunächst freigehalten werden. Für die hintere Strebe ist es nur die zweite vordere Bohrung von unten, die freigehalten werden muß.

4.2.2 Montage der APS

Die APS werden von vorn so in die fest installierten Halterungen eingeschoben, daß sie zwischen den Halterungen der Knickstreben und den aufrechten Befestigungsblechen der Halterungen auf den Flügelstreben zu liegen kommen. Zur Befestigung werden durchgängig Schrauben M5 von innen nach außen in die Bohrungen eingebracht. Es liegen alle Schraubenköpfe innerhalb des APS, sodaß alle Muttern von außen aufgesetzt werden und keine überstehenden Schraubenteile zu Funktionsstörungen des APS führen können.

Bei der Befestigung des APS an der vertikalen Knickstrebe ist auf die gleichzeitige Anbringung der Abstandhalter über die 3 hierfür freigehaltenen Bohrungen zu berücksichtigen. Die Abstandhalter sind in Flugrichtung gesehen von links nach rechts, beginnend mit der vorderen Knickstrebe, von 1 - 6 durchnummeriert. Die Positionen der Abstandhalter sind auf den APS wiederzufinden sind.

Die Anbringung der APS an den aufrechten Befestigungsblechen der Flügelstrebenhalterungen wird ohne Abstandhalter mit 4 Schrauben M5 vorgenommen, sodaß ein APS insgesamt mit 7 Schrauben M5 fixiert ist.

4.2.3 Befestigung der Steuerseile

Nach Fixierung des APS sind die Steuerseile für die Schließmechanismen durch die geöffneten Fenster in das Cockpit zu führen und rechts bzw. links in mittlerer Höhe an der vorderen Kreuzverstrebung des Rumpfes festzuknoten. Die Steuerseile sind im Flugeinsatz bei geschlossenen Fenstern über den Fensterspalt zu betätigen.

4.2.4 Demontage der APS

Die nach Demontage des APS freien Bohrungen an den fest am Lfz verbleibenden Halterungen sind zur leichteren Wiederauffindbarkeit mit M5 Schrauben in umgekehrter Einsteckrichtung zu verschrauben.

4.3 Tägliche Kontrolle /Vorflugkontrolle

Ergänzungen:

- Halterungen auf Risse prüfen
- Schrauben auf festen Sitz prüfen
- Steuerseile auf Scheuerstellen prüfen.
- Halterungen auf festen Sitz zu prüfen
- APS auf festen Sitz prüfen
- Öffnungs- und Schließmechanismen auf Funktionstüchtigkeit prüfen
- Die Kapazität der Batterien prüfen
- Funktionstüchtigkeit der E-Motoren und Leichtgängigkeit der inneren Mechanik prüfen

Die weiteren im Flughandbuch PA 18 beschriebenen Kontrollen bleiben unverändert gültig.

4.4 Normalverfahren

Ergänzungen:

- Öffnen der Eintrittsöffnung blau/ schließen der Eintrittsöffnung rot
- im geschlossenen Zustand muß am APS die blaue Markierung unmittelbar an der Führungsöse des Steuerseiles sitzen
- im geöffneten Zustand muß am APS die rote Markierung unmittelbar an der Führungsöse des Steuerseiles sitzen

Die weiteren im Flughandbuch PA 18 beschriebenen Verfahren bleiben unverändert gültig.

ABSCHNITT 5 Leistungen

- Reisegeschwindigkeit reduziert um 5 kt

Die weiteren im Flughandbuch PA 18 beschriebenen Leistungen bleiben unverändert.

ABSCHNITT 6 Masse und Schwerpunktlage

- m APS = 12,5 kg
- Hebelarm zur Bezugslinie = 630 mm
- Keine weiteren Veränderungen gegenüber den im Flughandbuch beschriebenen Lastvielfachen. $n = 3,8$ g, $n = 1,5$ g

Die weiteren im Flughandbuch PA 18 beschriebenen Schwerpunktbereiche des Flugzeugs bleiben unverändert gültig.

ABSCHNITT 7 Systembeschreibung

7.1 Einleitung

Der APS dient der Erfassung von Kleinstorganismen mit Hilfe eines Luftfahrzeugs, sodaß auch größere Höhenstufen untersucht werden können. Der Sammler ist beidseitig außerhalb des Propellerstroms angebracht, sodaß zwei verschiedene Höhenstufen während eines Fluges untersucht werden können.

Das Gerät wird im geöffneten Zustand vom Fahrtwind durchströmt und das Fanggut mit Haftmitteln fixiert. Der Mechanismus innerhalb des APS wird über einen seitwärts am Gerät angebrachten, Batteriemotor angetrieben. Der E-Motor wird am Boden von außen eingeschaltet. Der innere Mechanismus läuft während eines Flugeinsatzes im Dauerbetrieb.

7.2 Funktionsweise

Über einen Seilzug können die Schließmechanismen für Ein- und Austrittsöffnung in der gewünschten Höhenstufe gleichzeitig ausgelöst werden. Der Seilzug wird über Ösen von der Oberseite des APS unmittelbar zum Cockpit geführt und für den Schließvorgang wieder zurückgeführt. Das Seilende ist im Cockpit in der Mitte der vorderen Kreuzverstreben befestigt und wird vom Pilotensitz aus bedient. Die Seilbewegung für den Öffnungs- und Schließvorgang beträgt 10 cm.

Der als Wippe gelagerte Schließmechanismus der Eintrittsöffnung wird nach Betätigung durch den Fahrtwind im geöffneten Zustand bzw. nach erneuter Betätigung im geschlossenen Zustand gehalten. Das Seil wird daher nur für die Auslösung des Öffnungs- bzw. Schließvorganges benötigt, sodaß nach jeweiliger Betätigung keine Last mehr auf dem Seil herrscht.

Der Schließmechanismus der Austrittsöffnung besitzt keinen eigenen Seilzug. Er ist frei beweglich und reagiert abhängig vom Luftstrom des Sammlers, d.h. er öffnet selbständig bei Anströmung und schließt durch sein Eigengewicht bei Strömungsverlust durch Schließen der Eintrittsöffnung.

ABSCHNITT 8 Wartung und Pflege

Ergänzungen:

Schellhalterungen und APS vor Korrosion schützen
Auf Verschleiß der Befestigungsschrauben achten und ggf. erneuern
Auf Scheuerstellen an den Steuerseilen achten
APS auf Risse prüfen

Die weiteren im Wartungsbuch PA 18 beschriebenen Wartungen bleiben unverändert gültig.

ABSCHNITT 9 Sicherheitsempfehlungen und Sonstiges

- Keine -

Anlage 6: Ergänzung zur Musterzulassung



Ergänzung zur Musterzulassung Supplemental Type Certificate

Nr.: SA 1257

Die nach den Bestimmungen der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung ergänzte Musterzulassung des Luftfahrtgeräts wird durch diese ERGÄNZUNG ZUR MUSTERZULASSUNG beurkundet. Sie erweitert die Angaben des Musterzulassungsscheins und des zugehörigen Geräte-Kennblatts und ist nur in Verbindung mit diesen gültig.

The Supplemental Type Certificate of the aeronautical product supplemented in accordance with the provisions of the „Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung“ (Air Navigation Certification Order) is documented by means of this „ERGÄNZUNG zur MUSTERZULASSUNG“ (SUPPLEMENTAL TYPE CERTIFICATE). It amends the data of the Type Certificate and of the pertinent Type Certificate Data Sheet and will only be valid in conjunction with them.

Anwendbarkeit:

Applicability:

Gerätemuster/Baureihen:

PA-18, W/N 18-3182 und W/N 18-4462

Type / variants :

Geräte-Kennblatt Nr.:

722

Ausgabe:

14

No. of Type Certificate Data Sheet :

Issue :

Antragsteller:

Applicant :

Forschungs- und
Technologiezentrum Westküste
Herrn Holger Weidel
Hafentörn
25761 Büsum

Beschreibung der Ergänzung:

Description of the Supplement :

Installation von Aeroplanktonsammlern

Zulassungsgrundlage:

Certification Basis :

- **Bezugsdokument:** -

Reference Document :

Zulassung im Ursprungsland:

Certification in the Country of Origin :

- **Halter der Zulassung:** -

STC Holder :

- **Nr. der Zulassung:** -

STC No.:

- **zugelassen von:** -

certified by :

Auflagen und Einschränkungen:

Conditions and Restrictions :

1. Die Verträglichkeit dieser Modifikation mit anderen zugelassenen Modifikationen ist vom Einrüster sicherzustellen.

The compatibility of this modification with other approved modifications has to be ensured by the company installing the modification.

2. Die Zulassung ist beschränkt auf die Werknummern 18-3182 und 18-4462.

3. Anweisungen für den Betrieb:

Instructions for operation:

- Ergänzung zum Flughandbuch für PA-18 mit dem Betrieb des Aeroplanktonsammlers, LBA-anerkannt am 12.02.2002, oder jede spätere LBA-anerkannte Ausgabe

4. Anweisungen für die Instandhaltung und die Nachprüfung:

Instructions for maintenance and inspection

Es gelten die Anweisungen für das Originalmuster

The instructions for the type are applicable

Diese Ergänzung zur Musterzulassung kann in den in § 4 Abs. 3 der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung vorgesehenen Fällen widerrufen werden.

This Supplemental Type Certificate may be revoked in the cases provided for by § 4 section 3 of the „Luftverkehrs - Zulassungs - Ordnung“ (Air Navigation Certification Order).

LBA-Zulassung:

Certificate issued by LBA :



Braunschweig, 12.02.2002

EMZ-Nr.: SA 1257,

Ausgabestand: 1

Status of Issue :

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig angefertigt habe und dabei als Hilfsmittel nur die genannten Quellen benutzt habe.

Desweiteren versichere ich, dass die vorliegende Dissertation weder ganz noch zum Teil bei einer anderen Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde.

Kiel, den 20.05.2008

Holger Weidel

Lebenslauf

Holger Weidel
Riesewohld 3
25767 Albersdorf
Tel.: 04835/8741

geboren	11.06.1953 Hamburg
Staatsangehörigkeit	deutsch
Famlienstand	ledig
Schulbildung	1960 - 1968 Grund- und Hauptschule 1968 -1970 Berufsvorbereitendes 9. Und 10. Schlujahr Hamburg
Berufsausbildung	1970 - 1973 Ausbildung zum Flugtriebwerkmechaniker Deutsche Lufthansa AG Hamburg
Zweiter Bildungsweg	1973 - 1974 Berufsaufbauschule Maschinenbau Abschluss: Mittlere Reife Hamburg 1974 - 1977 Wirtschaftsgymnasium Abschluss: Allgemeine Hochschulreife Hamburg
Wehrdienst	1977 - 1978 Heeresflieger Itzehoe
Fliegerische Ausbildung	1979 Privatpilotenlizenz (PPL) Rendsburg
Studium	1979 - 1986 Biologie Hauptfach: Zoologie 1. Nebenfach: Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften 2. Nebenfach: Biochemie Abschluss: Diplom Universität Hamburg und Kiel
Diplomarbeit	1985 - 1986

Nutzung des Lebensraumes Nordfriesisches Wattenmeer durch den Seehund (*Phoca vitulina* L.). Zählflüge

Berufspraxis	1986 Erste Antarktis Winterexpedition ANT V/2, Forschungsschiff „Polarstern“ Bestandsaufnahme und Verhalten mariner Warmblüter Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven
Fliegerische Ausbildung	1987 Berufspilotenlizenz und Instrumentenflugberechtigung (CPL/IFR) Hamburg, Hannover
Veröffentlichungen	1988: Zum Vorkommen von Kegelrobben (<i>Halichoerus grypus</i> F.) in Schleswig-Holstein. - Zool. Anz. 220: 65 - 70. 1988: Reproduction of grey seals (<i>Halichoerus grypus</i> F.) in the Schleswig-Holstein part of the wadden sea. - European Seal-group Meeting; 23 -25 February 1988 in Husum: 18 - 23. 1988: Seehunde im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer Schleswig-Holsteinische Jäger und Fischer 5: 9. 1989: Zur Geburt von Kegelrobben im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer. - WWF Wattenmeer International 1: 21. 1991: Winter aggregations of marine mammals and birds in the north-eastern Weddell Sea pack ice. - Polar Biology 11: 305 - 309.
Berufspraxis	seit Mai 1988 Heide/Schleswig-Holstein Kreis Dithmarschen Amt für Umweltschutz Fachdienst Bau und Naturschutz Bestandsaufnahmen, Konzeptentwicklungen, Stellungnahmen Forsten: Waldpädagogik, Jagdkataster, Biotopkartierung
Nebenberufliche Fortbildung	1990 - 1993 Fünfsemestriges weiterbildendes Studium Bauingenieurwesen Gewässer und Umwelt
Abschlussarbeit:	Die Entwicklung von renaturierten Fließgewässern mit vorgegebenen Gerinne im Vergleich mit sich frei in der Fläche entwickelnde Bachbetten am Beispiel der Gieselau (Kreis Dithmarschen) Universität Hannover
Sprachen:	Englisch, Spanisch