

**CHIRONOMIDEN ALS ANZEIGER FÜR DIE HOLOZÄNE  
KLIMA- UND UMWELTGESCHICHTE VON STORE KOLDEWEY IN  
NORDOSTGRÖNLAND**

Inaugural-Dissertation  
zur  
Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Steffi Schmidt  
aus Halle/Saale

Köln 2009

Berichterstatter: Prof. Dr. Martin Melles  
PD Dr. Bernd Wagner  
Dr. Oliver Heiri

Tag der Prüfung: 30.06.2009

## Kurzfassung

Sedimentkerne aus zwei hocharktischen Seen (Duck und Hjort Lake) auf Store Koldewey, einer Insel auf Nordostgrönland, wurden auf ihre fossilen Chironomiden-Vergesellschaftungen untersucht.

Im gesamten Holozän konnten 18 Chironomiden-Arten im Duck Lake und 21 im Hjort Lake identifiziert werden. Erste Chironomiden erscheinen im Hjort Lake bei ca. 9500 Kalenderjahre BP und ca. 500 Jahre später im Duck Lake. Für diese Periode wird in Ostgrönland eine signifikante Erwärmung angenommen.

Jedoch bleiben die Abundanz und die Diversität der Chironomiden im Laufe des Frühholozäns in beiden Seen gering. Eine mögliche Ursache könnte der Einfluss der kalten, Meereis führenden Ostgrönlandströmung sein, welche vom Arktischen Ozean in Richtung Süden an Ostgrönland entlang verläuft.

Der Beginn des Mittelholozäns wird durch eine steigende Abundanz von Chironomiden im Hjort Lake ab ca. 8000 Kalenderjahren BP und im Duck Lake ab ca. 6800 Kalenderjahren BP angezeigt. Die Chironomiden-Vergesellschaftung im Mittelholozän ähnelt derer von heutzutage leicht wärmeren Seen. Die zeitliche Verschiebung der Chironomiden-Vergesellschaftungen zwischen beiden Seen ist vermutlich auf Nährstoffschwankungen zurückzuführen. Eine wahrscheinlich höhere Schmelzwasserzufuhr in den Hjort Lake, aufgrund eines größeren Einzugsgebietes, führte diesem See möglicherweise mehr Nährstoffe als dem Duck Lake zu, wodurch sich die Chironomiden-Vergesellschaftungen im Hjort Lake vermutlich früher entfalten konnten.

Das Verschwinden von Chironomiden mit Tendenz zu wärmeren Bedingungen erfolgt zeitgleich zu einem Kältetrend bei ca. 5000 Kalenderjahre BP in Nordostgrönland. Ein statistischer Vergleich mit Chironomiden und Umweltparametern von Seen der kanadischen Arktis (Gajewski *et al.*, 2005), Oberflächendaten von Chironomiden aus weiteren Seen auf Store Koldewey und Geographical Society Ø sowie die im Holozän vorkommenden Chironomiden aus Duck und Hjort Lake, deuten den Beginn kälterer Temperaturen an.

Ein leichter Anstieg der Chironomiden-Abundanz zwischen ca. 1300 und 800 Kalenderjahre BP im Duck Lake sowie zwischen ca. 1500 und 1000 Kalenderjahre BP im Hjort Lake reflektiert vermutlich die Mittelalterliche Erwärmung.

Temperatur scheint für die Häufigkeit und die Zusammensetzung der Chironomiden in den Seen auf Store Koldewey der steuernde Faktor zu sein. Die Untersuchung der Chironomiden aus Store Koldewey zählt zu den ersten von Nordostgrönland. Sie hat gezeigt, dass sich Chironomiden als Klima-Proxy für diese hocharktische Region eignen.

**Abstract**

Sediment records from two high arctic lakes (Duck and Hjort Lake) on Store Koldewey, an island off North East Greenland, were investigated for fossil chironomid assemblages.

During the Holocene, a total of 18 and 21 chironomid taxa were identified in the sediment sequence from Duck Lake and Hjort Lake, respectively. First chironomids appear in Hjort Lake at ca. 9,500 cal. years BP at 9,000 cal. year BP in Duck Lake. For this period, a significant warming is supposed to have occurred in East Greenland. However, the abundance and diversity of chironomids remained low during the early Holocene in both lakes. A possibly reason could be the influence of the cold and sea ice loaded East Greenland Current from the Arctic Ocean southwards along East Greenland.

An increasing of the abundances of chironomids, occurring in Hjort Lake from ca. 8,000 cal. year BP and in Duck Lake starting ca. 6,800 cal. year BP, are suggest to be the beginning of the middle Holocene. The chironomid assemblages in the middle Holocene are typically for slight warmer lakes, such as nowadays. The time difference between the two lakes is probably due to nutrient fluctuations. An increased meltwater inflow in the Hjort Lake, caused by a larger catchment, was possibly the reason for a higher nutrient availability in this lake than in the Duck Lake. Due to increased nutrients, the chironomid assemblage in the Hjort Lake generally occur earlier than in the Duck Lake.

The disappearance of chironomids, which like slight warmer conditions, has occurred at the same time, when a cooling trend starts at around 5,000 cal. years BP in Northeast Greenland.

A statistical comparison with chironomids and environmental parameters from Canadian Arctic lakes (Gajewski *et al.*, 2005), surface data of chironomids from further lakes on Store Koldewey and Geographical Society Ø and the chironomid stratigraphy of Duck and Hjort Lake support the start of colder temperatures.

A slight increasing of the abundance of chironomids between ca. 1,500 and 1,000 cal. year BP in the Hjort Lake, and between ca. 1,300 and ca. 800 cal. year BP in the Duck Lake indicates possibly the medieval warming. Temperature seems to be a limiting factor for the abundance and the configuration of chironomids in both lakes of Store Koldewey.

This investigation of chironomids from Store Koldewey is a first study of Northeast Greenland. It has shown that chironomids could be used as climate proxies for high arctic environments.

## Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei allen, die auf dieser Seite nicht aufgeführt sind!

Prof. Dr. Martin Melles möchte ich für die Vergabe dieses faszinierenden Themas danken! Der Aufenthalt in seiner Arbeitsgruppe für Quartärgeologie an der Universität zu Köln war mir eine besondere Ehre. In einem ausgezeichneten Arbeitsklima, wie diesem, macht es einfach Spaß zu arbeiten. Danke für die schöne Zeit!

Mein besonderer Dank gebührt meinem Betreuer PD Dr. Bernd Wagner für die vielen konstruktiven Diskussionen, die mir das Verständnis für diese hocharktische Region näher brachten. Besonders das Quartärseminar und Tagungen waren für diese Arbeit sehr hilfreich. Durch die Teilnahme an der Westgrönland-Expedition im Sommer 2007 wurden mir nicht nur umfangreiche Erfahrungen bei der Probenahme in einer arktischen Region sondern auch atemberaubende Augenblicke geschenkt, Danke schön!  
Danke auch für die traumhafte Zeit am Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)!

Dr. Oliver Heiri, einem erfahrenen Spezialisten für Chironomiden, möchte ich für die hervorragende Zusammenarbeit besonders bei der Identifizierung von Chironomiden danken! Der mehrtägige Aufenthalt bei Dr. Oliver Heiri an der Universität Utrecht, im Fachbereich Paläökologie, war sehr hilfreich für diese Arbeit. Vielen Dank für den genialen Bestimmungsschlüssel (Brooks *et al.*, 2007), welcher die Arbeit wesentlich erleichterte, auch wenn ich die alten Federzeichnungen sehr mag. Vielen Dank an die gesamte Arbeitsgruppe!

Dr. Volker Wennrich möchte ich für die gründliche Durchsicht dieser Arbeit und die fachlich wertvollen Vorschläge sehr danken!

Martin Klug danke ich für die sehr gute Zusammenarbeit, besonders bei den Arbeiten am Duck Lake. Insbesondere möchte ich mich für seine Anmerkungen zu dieser Studie bedanken!

Gedankt sei Sabrina Ortlepp und Sonja Berg für so manche hilfreiche Diskussionen und schöne Erlebnisse!

Den traumhaften Aufenthalt am IOW sowie die Merian- und Penck-Ausfahrt im Baltischen Meer verdanke ich nicht zuletzt Prof. Dr. Jan Harff und den vielen netten Arbeitskollegen am IOW, Herzlichen Dank!

Doreen Hoyer möchte ich für erste Einweisungen in die Chironomiden danken!

Ich danke der gesamten Arbeitsgruppe Quartärgeologie sowie allen Mitarbeitern des Institutes für Geologie und Mineralogie an der Universität zu Köln für die wunderschöne Zeit!

Bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) möchte ich mich für die finanzielle Unterstützung bedanken!

Danke an Dr. Werner Angermann und Frank Grewatsch, die mir nicht nur bei so manchen Umzügen sehr geholfen haben!

Vielen Dank an meine Eltern und meine Brüder!

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Danksagung	III
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Stand der Forschung</b>	<b>1</b>
1.1.1 Klima- und Umweltentwicklung in Nordostgrönland	1
1.1.2 Chironomiden	5
<b>1.2 Ziel der Studie</b>	<b>7</b>
<b>2 Das Untersuchungsgebiet – Store Koldewey</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Geografische Lage</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Klima und Vegetation</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Geologische Entwicklung</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Hydrologie und Limnologie der untersuchten Seen</b>	<b>12</b>
2.4.1 Duck Lake	12
2.4.2 Hjort Lake	14
<b>3 Material und Methodik</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Probennahme</b>	<b>16</b>
3.1.1 Duck Lake	16
3.1.2 Hjort Lake	16
<b>3.2 Laboranalysen</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Datierungen</b>	<b>18</b>
<b>3.4 Chironomiden</b>	<b>18</b>
3.4.1 Probenaufbereitung und Präparation von Chironomiden	18
3.4.2 Bestimmung der Chironomiden-Arten	20
3.4.3 Analyse von Chironomiden und Datenbearbeitung	21

---

<b>4</b>	<b>Taxonomie und Ökologie der Chironomiden von Store Koldewey</b>	25
4.1	Tanypodinae	25
4.2	Chironominae	25
4.2.1	Chironomini	25
4.2.2	Tanytarsini	26
4.3	Orthoclaadiinae	28
4.4	Diamesinae	33
<b>5</b>	<b>Duck Lake</b>	35
5.1	Lithostratigraphie	35
5.2	Chronologie	37
5.3	Detaillierte Chironomiden-Stratigraphie, Diversität, Homogenität und Ausdünnung	38
5.4	Chironomiden-Vergesellschaftungszonen	41
5.5	Hauptkomponentenanalyse (PCA: Principal Components Analysis)	42
<b>6</b>	<b>Hjort Lake</b>	44
6.1	Lithostratigraphie	44
6.2	Chronologie	45
6.3	Detaillierte Chironomiden-Stratigraphie, Diversität, Homogenität und Ausdünnung (Rarefaction)	47
6.4	Chironomiden-Vergesellschaftungszonen	49
6.5	Hauptkomponentenanalyse (PCA: Principal Components Analysis)	51
<b>7</b>	<b>Klima und Umweltrekonstruktion</b>	53
7.1	Vergleich der Chironomiden-Vergesellschaftungen von Duck und Hjort Lake	53
7.1.1	CAZ-1A (Hjort Lake)	54
7.1.2	CAZ-1 (Duck Lake) $\triangleq$ CAZ-1B (Hjort Lake)	56
7.1.3	CAZ-2A	57
7.1.4	CAZ-2B	57
7.1.5	CAZ-3	59
7.2	Vergleich von Duck u. Hjort Lake mit Proben der kanadischen Arktis	59
7.3	Chironomiden von Duck und Hjort Lake als Temperatur-Proxy	62

<b>8 Schlussbetrachtung und Ausblick</b>	70
<b>8.1 Schlussbetrachtung</b>	70
<b>8.2 Ausblick</b>	72
<b>Referenzliste</b>	73
<b>ANHANG</b>	
ANHANG I Fotoaufnahmen identifizierter Chironomiden	A-1
ANHANG II Relative Abundanz (%) der Chironomiden-Stratigraphie	A-14
II. 1 Duck Lake	A-14
II. 2 Hjort Lake	A-18
ANHANG III	
Artenzusammensetzung und Abundanz (%) der Chironomiden-Oberflächenproben Duck Lake, Fox Lake, Goose Lake, Hjort Lake, Melles Lake, Polar Bear I / III, B1 Lake	A-23



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Die heutige Vereisung (NASA; Mai, 2005) und die eisfreien Regionen von Grönland, die Standorte bedeutender Bohrkernprojekte (GRIP – *Greenland Ice core Project*, NGRIP – *North Greenland Ice core Project*) sowie ausgewählte Regionen (1: Shannon Island). Der Ausschnitt von Nordostgrönland (rechts) zeigt die Positionen der ältesten Radiokarbonalter ( $10^3$  Jahre BP), mit den Altern für den Eiszerfall nach dem LGM (Bennike & Weidick, 2001). Schwarze Linie: Schelfabbruch; gestrichelte Linie: gegenwärtiger Eisrand..... 1
- Abb. 2 Drei hochaufgelöste  $\delta^{18}\text{O}$  Profile von GRIP, NGRIP (Vinther *et al.*, 2006) und dem Renland-Eiskern (10.000 Kalenderjahre BP – rezent, Johnsen *et al.*, 1992b; 12.000 – 10.000 Kalenderjahre BP, Vinther *et al.*, 2008) für eine gesamte Holozän-Periode. Die Langzeittrends von GRIP und NGRIP verlaufen überwiegend synchron (blau gestrichelte Linie: GRIP). ..... 2
- Abb. 3 Kalte Strömungen vor Nordostgrönland (modifiziert nach Hurdle, 1986; Koc *et al.*, 1993; Larsen *et al.*, 1995): EGC (Ostgrönlandströmung, *East Greenland Current*), WGC (Westgrönlandströmung, *West Greenland Current*). Warme Strömungen (modifiziert nach Larsen *et al.*, 1995): NAC (Nordatlantikströmung, *North Atlantic Current*), NC (Norwegenströmung, *Norway Current*). Oranger Punkt: Store Koldewey..... 3
- Abb. 4 Typischer Lebenszyklus einer aquatischen Chironomide. Nicht maßstabsgetreu. (modifiziert nach Brodersen & Anderson, 2000; Porinchu & MacDonald, 2003). ..... 5
- Abb. 5 A: Adultes männliches Exemplar von *Chironomus plumosus* (Laumer, 2007); B: Larvenstadien von Chironomiden (The Xerces Society, ohne Jahr); C: Chironomiden-Kopfkapseln der Gattung *Micropsectra* (Axford, 2007). ..... 6
- Abb. 6 Karte von Nordostgrönland mit der Position des Duck Lakes ( $76^{\circ}25'15''\text{N}$ ,  $18^{\circ}45'00''\text{W}$ ) und Hjort Lakes ( $76^{\circ}25'59''\text{N}$ ,  $18^{\circ}45'41''\text{W}$ ) auf Store Koldewey ( $75^{\circ}55' - 76^{\circ}45'\text{N}$ ,  $18^{\circ}27' - 19^{\circ}10'\text{W}$ ). Der Höhenlinienabstand beträgt 100 m. Weitere Seen: Fox ( $76^{\circ}15'06''\text{N}$ ,  $18^{\circ}41'32''\text{W}$ ), Polar Bear I ( $76^{\circ}14'10''\text{N}$ ,  $18^{\circ}43'48''\text{W}$ ), Goose ( $76^{\circ}26'36''\text{N}$ ,  $18^{\circ}48'14''\text{W}$ ) und Melles Lake ( $76^{\circ}07'40''\text{N}$ ,  $18^{\circ}37'57''\text{W}$ ). Lake B1 befindet sich auf der Geographical Society Ø. .... 9
- Abb. 7 Geologische Karte von Store Koldewey (modifiziert nach Henriksen, 2003). Der Höhenlinienabstand beträgt 100 m. .... 11
- Abb. 8 A: Die Bathymetrie des Duck Lakes mit 1 m Isohypsen zeigt die Kernposition (Kreis) und den Abfluss (Pfeil). B: Foto des Duck Lakes (Cremer *et al.*, 2005). ..... 12
- Abb. 9 Hydrologisches Profil an der Kernposition des Duck Lakes im Sommer 2003. .... 13
- Abb. 10 A: Karte des Hjort Lakes mit der Kernposition (Kreis) und dem Abfluss (Pfeil). Messungen der Isohypsen liegen nicht vor. B: Foto des Hjort Lakes (Cremer *et al.*, 2005). ..... 14
- Abb. 11 Hydrologisches Profil an der Kernposition des Hjort Lakes im Sommer 2003. .... 15
- Abb. 12 Schwimmplattform ..... 16

Abb. 13 Ablaufschema zur Präparation von Chironomiden. ....	19
Abb. 14 Mundwerkzeuge von Kopfkapseln A: Tanypodinae, B: Tanytarsini (modifiziert nach Brooks <i>et al.</i> 2007). ....	20
Abb. 15 Chironomiden-Kopfkapseln und typische Mundwerkzeuge, A: <i>Micropsectra insignilobus</i> -type; B: Ventralseite von <i>Sergentia coracina</i> -type. ....	21
Abb. 16 Übersicht der Lithologie, Chronologie, des Wassergehaltes und verschiedener sedimentphysikalischer, geochemischer und Korngrößenparameter sowie der Stratigraphie der Kernsequenz Lz1103 gegen die Tiefe (modifiziert nach Klug <i>et al.</i> , 2009). Schwarze Pfeile kennzeichnen Horizonte der <sup>14</sup> C Alter, gemessen an Pflanzenresten, Moosen und Bulk (Tab. 4). ....	35
Abb. 17 Die Alters-Tiefen-Korrelation von Sequenz Lz1103 aus dem Duck Lake (modifiziert nach Klug <i>et al.</i> , 2009). ....	38
Abb. 18 Artenzusammensetzung, Abundanz und Diversität einer detaillierten Chironomiden-Stratigraphie des Duck Lakes gegen das Alter und die Sedimenttiefe dargestellt. Graue Farben entsprechen einer Überhöhung mit Faktor 10. ....	40
Abb. 19 A: PCA der Chironomiden-Vergesellschaftungen des Duck Lakes (Quadrat = CAZ-1, Kreuz = CAZ-2A, Karo = CAZ-2B, Dreieck = CAZ-3). B: Wichtungen der Chironomiden-Arten (Spezies mit geringer, signifikanter Abundanz wurden nicht einbezogen). Abkürzungen: C. scut = <i>C. scutellata</i> -type, C. oliv = <i>C. oliveri</i> -type, Heter A = <i>Heterotrissocladius</i> type A, H. mae = <i>H. maeaeri</i> -type, M. ins = <i>M. insignilobus</i> -type, M. rad = <i>M. radialis</i> -type, Oliv = cf <i>Oliveridia</i> , O. cons = <i>O. consobrinus</i> -type, Ortho I = <i>Orthocladius</i> type I, Para = <i>Paracladius</i> , Pro = <i>Procladius</i> , Pseu = <i>Pseudodiamesa</i> , S. cora = <i>S. coracina</i> -type, T. lug = <i>T. lugens</i> -type. ....	43
Abb. 20 Der Korngrößenmedian, die Biogeochemie sowie die Radiokarbonalter des Kernes Lz1104-5 aus dem Hjort Lake gegen die Kerntiefe abgebildet (modifiziert nach Wagner <i>et al.</i> , 2008). ....	45
Abb. 21 Die Korrelation der Kerne Lz1104-1 und Lz1104-5 vom Hjort Lake, basierend auf den TOC-Gehalt und die Radiokarbonaten. Die Kreise in der Alters-Tiefen-Korrelation von Kern Lz1104-1 zeigen die Alter, welche sich durch die Kurvenanpassung mit Kern Lz1104-5 (graue Linien) ableiten lassen (modifiziert nach Wagner <i>et al.</i> , 2008). ....	47
Abb. 22 Abundanz und Diversität der Chironomiden-Vergesellschaftungen des Hjort Lakes gegen das Alter und die Sedimenttiefe dargestellt. Graue Farben entsprechen einer Überhöhung mit Faktor 10. ....	48
Abb. 23 A: PCA der Chironomiden-Vergesellschaftungen des Hjort Lakes (Kreis = CAZ-1A, Quadrat = CAZ-1B, Kreuz = CAZ-2A, Karo = CAZ-2B, Dreieck = CAZ-3). B: Wichtungen der Chironomiden (Spezies mit geringer, signifikanter Abundanz wurden nicht einbezogen). Abkürzungen: C. scut = <i>C. scutellata</i> -type, C. oliv = <i>C. oliveri</i> -type, D. zern/cin = <i>D. zernyi/cinerella</i> -type, Heter A = <i>Heterotrissocladius</i> type A, H. mae = <i>H. maeaeri</i> -type, M. ins = <i>M. insignilobus</i> -type, M. rad = <i>M. radialis</i> -type, Oliv = cf <i>Oliveridia</i> , O. cons = <i>O. consobrinus</i> -type, Ortho I = <i>Orthocladius</i> type I, Ortho B =	

<i>Orthoclaadiinae</i> type B, Para = <i>Paracladius</i> , Pro = <i>Procladius</i> , Pseu = <i>Pseudodiamesa</i> , S. cora = <i>S. coracina</i> -type, T. lug = <i>T. lugens</i> -type.....	51
Abb. 24 Ausdünnung der Chironomiden-Vergesellschaftungen von Duck und Hjort Lake gegen das Alter.....	53
Abb. 25 Gegenüberstellung signifikanter Chironomiden-Vergesellschaftungen des Duck und Hjort Lakes.....	55
Abb. 26 Die biogeochemischen Parameter der Kernsequenzen Lz1103 des Duck Lakes (blau) und Lz1104 des Hjort Lakes (orange) sind in gleicher Skaleneinteilung gegen das Alter dargestellt. Der TIC-Gehalt befindet sich im Hjort unter der Nachweisgrenze.....	58
Abb. 27 Kanonische Ordination (CCA: Canonical Correspondence Analysis) der Chironomiden-Vergesellschaftungen aus dem Frühholozän (Kreis), Mittelholozän (Quadrat) und Spätholozän (Karo) des Duck Lakes (blau) und des Hjort Lakes (orange) mit Chironomiden von Oberflächenproben weiterer Seen von Store Koldewey und Geographical Society Ø (graue Sterne) sowie Chironomiden-Vergesellschaftungen (schwarze Sterne) und Umweltvariablen (Pfeile) von Seen der kanadischen Arktis (Gajewski <i>et al.</i> , 2005). Abkürzungen: LOI (Glühverlust; <i>loss on ignition</i> ), TPuf (gesamt, unfiltrierter Phosphor; <i>total unfiltered phosphorous</i> ), TKN (gesamt Kjeldahl Stickstoff, <i>total Kjeldahl nitrogen</i> ), AT (durchschnittliche Juli Lufttemperatur, <i>air temperature</i> ), DOC (gelöster, organischer Kohlenstoff; <i>dissolved organic carbon</i> ), Cond (Leitfähigkeit, <i>conductivity</i> ), CHLa (Chlorophyll a), dep (Tiefe, <i>depth</i> ), SfcA (Oberflächenareal, <i>surface area</i> ), $\lambda$ (Eigenwert, <i>eigenvalue</i> ).....	60
Abb. 28 Chironomiden-Abundanz von Oberflächenproben auf Store Koldewey und B1 auf Geographical Society Ø. ....	61
Abb. 29 Die CCA Achse 1 der Daten des Duck und Hjort Lakes zusammen mit ausgewählten biogeochemischen Parametern der Kernsequenzen Lz1103 des Duck Lakes (blau) und Lz1104 des Hjort Lakes (orange) gegen das Alter dargestellt. Die grauen Bereiche markieren die zeitlich verzögerten Vorkommen analoger Chironomiden-Vergesellschaftungen im Duck Lake. ....	63
Abb. 30 Die CCA Achse 1 mit den Daten aus Duck und Hjort Lake dargestellt zum Alter, gemeinsam mit: (A) der Verteilung von datiertem, nicht-archäologischem Treibholz aus dem Norden und Osten von Grönland, (B) der Verteilung von datierten Muscheln, Treibholz und Knochen von marinen Säugetieren aus Nioghalvfjerdsfjorden in Nordostgrönland (modifiziert nach Bennike, 2004) und (C) den IRD Daten vom Ostgrönlandrand (modifiziert nach Andrews <i>et al.</i> , 1997). Die grauen Bereiche markieren den zeitlich verzögerten Einsatz analoger Chironomiden-Vergesellschaftungen im Duck Lake. ....	65
Abb. 31 Die CCA Achse 1 mit Daten aus Duck und Hjort Lake gemeinsam mit der $\delta^{18}\text{O}$ Kurve des Renland Eiskernes (Johnsen <i>et al.</i> , 1992b) dargestellt zum Alter. Die grauen Bereiche kennzeichnen den zeitlich verzögerten Einsatz analoger Chironomiden-Vergesellschaftungen im Duck Lake. ....	67

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1 Übersicht über wichtige hydrologische Parameter ausgewählter Seen auf Store Koldewey (Cremer & Wagner, 2004).....	10
Tab. 2 Hydrologische Parameter an der Kernposition des Duck Lakes im Sommer 2003. .....	13
Tab. 3 Hydrologische Parameter an der Kernposition des Hjort Lakes im Sommer 2003. .....	14
Tab. 4 Radiokarbonalter der Kernsequenz Lz1103 vom Duck Lake. Aquatische Moose wurden um einen Reservoir-Effekt von 520 Jahre korrigiert (modifiziert nach Klug <i>et al.</i> , 2009).....	37
Tab. 5 Lithologische Beschreibung vom Kern Lz1104-5 des Hjort Lakes (Wagner <i>et al.</i> , 2008).....	44
Tab. 6 Radiokarbonalter der Kernsequenz Lz1104 vom Hjort Lake. (modifiziert nach Wagner <i>et al.</i> , 2008).....	46

### Abkürzungsverzeichnis

AMS	Beschleuniger-Massenspektrometrie, <i>Accelerator mass spectrometry</i>
AT	Lufttemperatur, <i>air temperature</i>
Cal. yr BP	Kalenderjahre vor heute, <i>calibrated years before present</i>
CAZ	Chironomiden-Vergesellschaftungszone, <i>chironomid assemblage zone</i>
CCA	Kanonische Ordination, <i>Canonical Correspondence Analysis</i>
CHLa	Chlorophyll a
Cond	Leitfähigkeit, <i>conductivity</i>
Dep	Tiefe, <i>depth</i>
DFG	Deutsche Forschungsgesellschaft
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff, <i>dissolved organic carbon</i>
E	Homogenität, <i>evenness</i>
EGC	Ostgrönlandströmung, <i>East Greenland Current</i>
GEUS	<i>Geological Survey of Denmark and Greenland</i>
GRIP	Grönland-Eiskern-Projekt, <i>Greenland Ice-Core Project</i>
H (S)	Diversitätsindex
hc	Head capsules
IRD	Eisverfrachteter Gesteinsschutt, <i>ice-rafted debris</i>
LGM	Letztes Glaziales Maximum, <i>Last Glacial Maximum</i>
LOI	Glühverlust, <i>Loss on ignition</i>
MM	Mischmühle, <i>mixing mill</i>
MS	Magnetische Suszeptibilität, <i>magnetic susceptibility</i>
MW	Mittelwert, <i>mean</i>
N	Gesamtindividuenzahl
n	standardisierte Probengröße (1...N)
NAC	Nordatlantikströmung, <i>North Atlantic Current</i>
NC	Norwegenströmung, <i>Norway Current</i>
NGRIP	Nordgrönland-Eiskern-Projekt, <i>North Greenland Ice-Core Project</i>
N <sub>i</sub>	Individuenzahl der Art i in der Probe vor der Ausdünnung (festgestellte Artenabundanz)
NN	Normal-Null
PCA	Hauptkomponentenanalyse, <i>Principal Components Analysis</i>
S	festgestellte Gesamtartenzahl
S(n)	zu erwartende Artenzahl für bestimmte Individuenzahl n

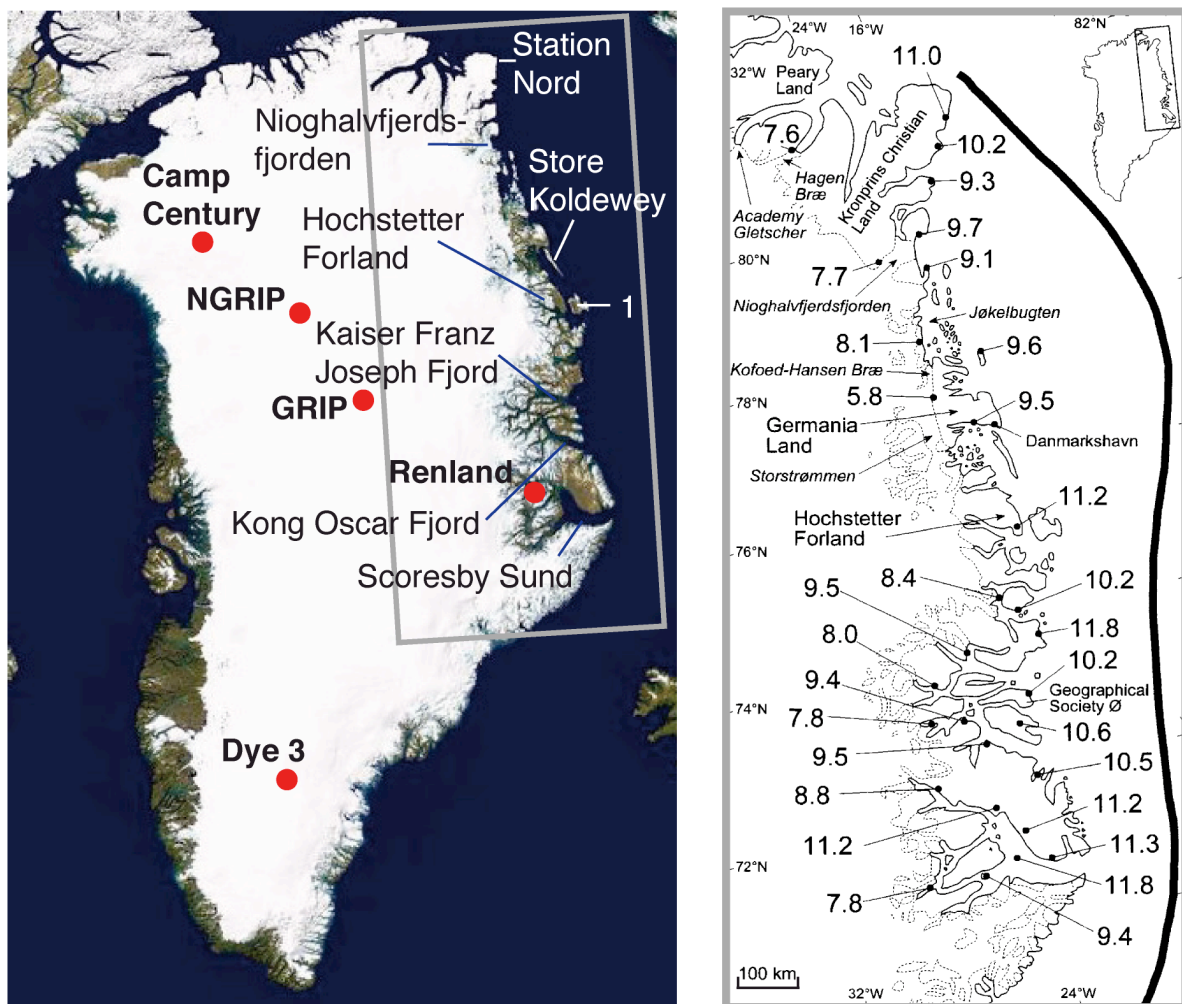
SfcA	Oberflächenareal, <i>surface area</i>
Sort	Sortierung, <i>sorting</i>
TC	Gesamtkohlenstoff, <i>total carbon</i>
TIC	Anorganischer Gesamtkohlenstoff, <i>total inorganic carbon</i>
TKN	Gesamt Kjeldahl Stickstoff, <i>total Kjeldahl nitrogen</i>
TN	Gesamtstickstoff, <i>total nitrogen</i>
TOC	Organischer Gesamtkohlenstoff, <i>total organic carbon</i>
TPuf	Gesamt, unfiltrierter Phosphor, <i>total unfiltered phosphorous</i>
TS	Gesamtschwefel, <i>total sulphur</i>
WBD	Feuchtraumdichte, <i>wet bulk density</i>
WGC	Westgrönlandströmung, <i>West Greenland Current</i>
$\lambda$	Eigenwert, <i>eigenvalue</i>

# 1 Einleitung

## 1.1 Stand der Forschung

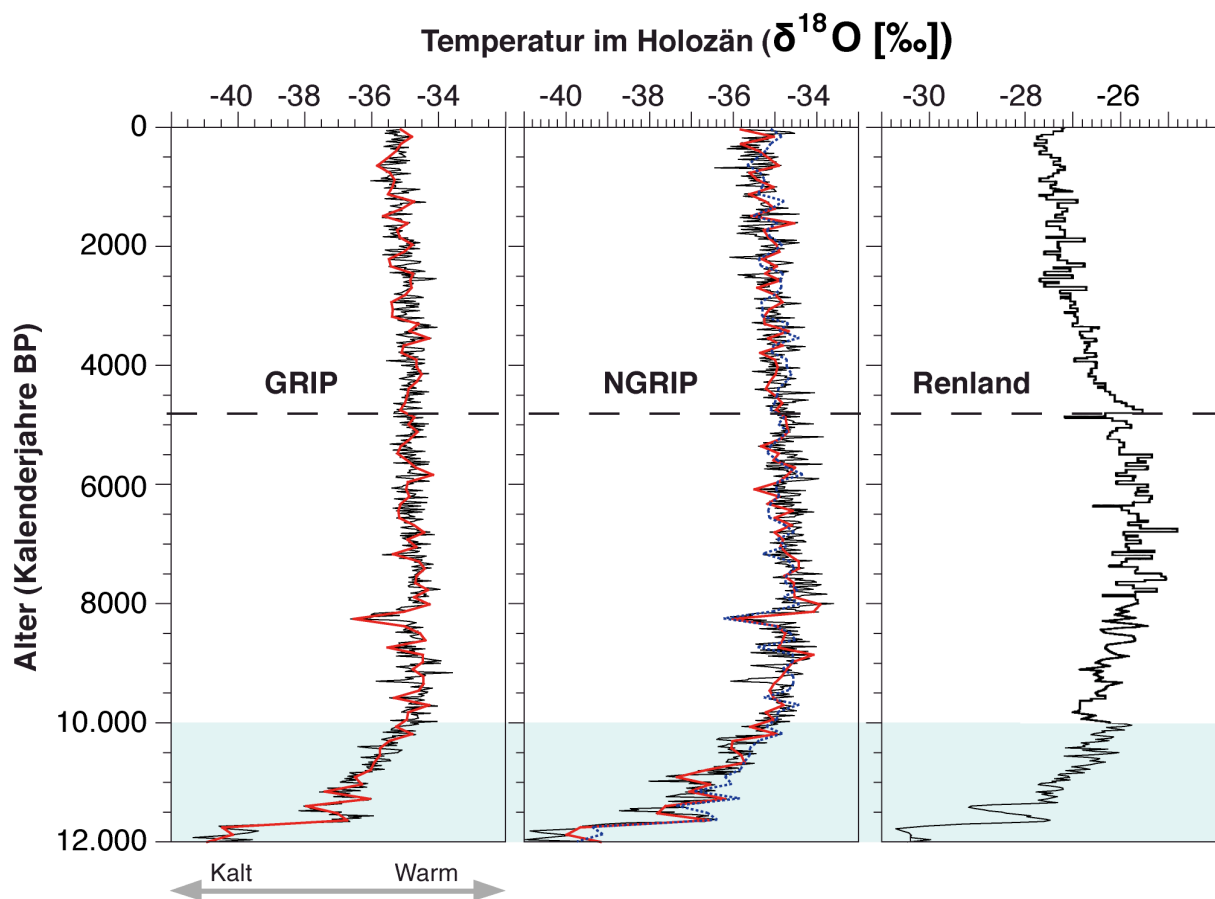
### 1.1.1 Klima- und Umweltentwicklung in Nordostgrönland

Das holozäne Klima von Nordostgrönland wird durch Veränderungen in den atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationsmustern beeinflusst, welche sowohl in terrestrischen Archiven (z. B. Bennike & Weidick, 2001; Wagner *et al.*, 2000; Wagner & Melles, 2002), wie Eisbohrkernen (z. B. Johnsen *et al.*, 1992a; Dahl-Jensen *et al.*, 1998), als auch marinen Sedimentkernen (z. B. Koc *et al.*, 1993) aus der Region dokumentiert sind.



**Abb. 1** Die heutige Vereisung (NASA; Mai, 2005) und die eisfreien Regionen von Grönland, die Standorte bedeutender Bohrkernprojekte (GRIP – *Greenland Ice core Project*, NGRIP – *North Greenland Ice core Project*) sowie ausgewählte Regionen (1: Shannon Island). Der Ausschnitt von Nordostgrönland (rechts) zeigt die Positionen der ältesten Radiokarbonalter (10<sup>3</sup> Jahre BP), mit den Altern für den Eiszerfall nach dem LGM (Bennike & Weidick, 2001). Schwarze Linie: Schelfabbruch; gestrichelte Linie: gegenwärtiger Eisrand.

Bedeutende Eiskernprojekte (Abb. 1) sind zum Beispiel Dye 3 im Süden, GRIP (*Greenland Ice core Project*) aus dem zentralen Eisschild sowie NGRIP (*North Greenland Ice core Project*), Camp Century im Nordwesten und das Renland Eiskernprojekt an der Ostküste von Grönland (Johnsen *et al.*, 1992a; Dahl-Jensen *et al.*, 1998; Abb. 1). Letzteres repräsentiert, aufgrund seiner küstennahen Lage, die holozänen Bedingungen zum Untersuchungsgebiet vermutlich am stärksten. Die Ergebnisse der Eiskernuntersuchungen erbrachten zum Teil deutliche Unterschiede in der Klimaentwicklung der einzelnen Regionen. Während zum Beispiel die Kerne von GRIP und NGRIP für das gesamte Holozän einen vorherrschend synchronen Temperaturverlauf aufweisen, deutet im Renland-Eiskern die Abnahme der  $\delta^{18}\text{O}$  Verhältnisse bei 4700 Kalenderjahre BP (Johnsen *et al.*, 1992b) auf eine verstärkte Abkühlungstendenz hin (Abb. 2).

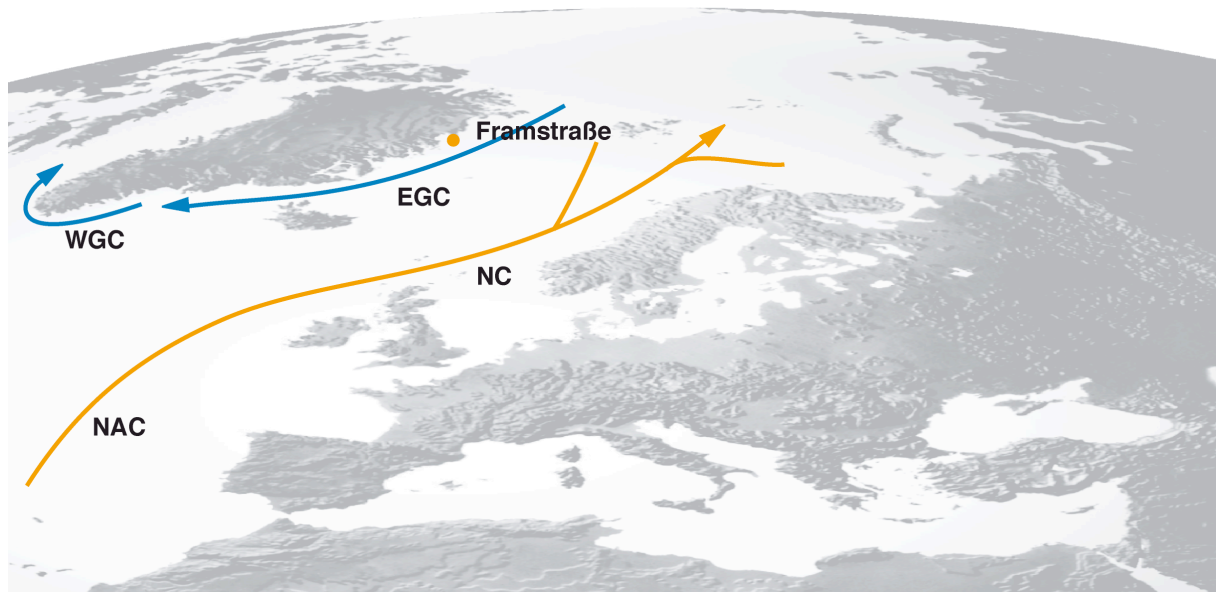


**Abb. 2** Drei hochaufgelöste  $\delta^{18}\text{O}$  Profile von GRIP, NGRIP (Vinther *et al.*, 2006) und dem Renland-Eiskern (10.000 Kalenderjahre BP – rezent, Johnsen *et al.*, 1992b; 12.000 – 10.000 Kalenderjahre BP, Vinther *et al.*, 2008) für eine gesamte Holozän-Periode. Die Langzeittrends von GRIP und NGRIP verlaufen überwiegend synchron (blau gestrichelte Linie: GRIP).

Ähnliche Anzeichen für eine Temperaturabnahme zu dieser Zeit in Nordostgrönland, möglicherweise beeinflusst durch die angestiegene Aktivität der Ostgrönlandströmung



(Abb. 3) und als Folge der abnehmenden Sommer-Insolation auf der nördlichen Hemisphäre (Berger & Loutre, 1991), sind auch von Johnsen *et al.* (1992b), Koc *et al.* (1993), Wagner *et al.* (2000) und Bennike (2004) beschrieben.



**Abb. 3** Kalte Strömungen vor Nordostgrönland (modifiziert nach Hurdle, 1986; Koc *et al.*, 1993; Larsen *et al.*, 1995): EGC (Ostgrönlandströmung, *East Greenland Current*), WGC (Westgrönlandströmung, *West Greenland Current*). Warme Strömungen (modifiziert nach Larsen *et al.*, 1995): NAC (Nordatlantikströmung, *North Atlantic Current*), NC (Norwegenströmung, *Norway Current*). Oranger Punkt: Store Koldewey

Im Rahmen einer Schwedisch-Dänischen Expedition bereiste man 1976 das Hochstetter Forland, die Shannon Insel und Store Koldewey (Abb.1), wodurch es zu ersten Erkenntnissen der spätquartären Geschichte von Nordostgrönland kam (Hjort, 1981). Hjort (1981) erkannte drei glaziale Eisvorstöße, wobei die ersten beiden der Saale Kaltzeit oder dem Prä-Saale Alter entsprechen. Der letzte Vorstoß bezieht sich auf das LGM während des Weichsel-Spätglazials, welches bei ca. 16.000 Kalenderjahre BP endet. Ein kaltes und trockenes Klima während der Jüngerer Dryas (letztes Stadial der Weichsel-Kaltzeit) verhinderte offenbar ein Auslösen von Gletschervorstößen (Funder *et al.*, 1998). Vermutlich stieß der Grönländische Eisschild im LGM bis auf den Schelf vor, wobei er überwiegend auf transversale Kanäle und Fjorde begrenzt war (Funder & Hansen, 1996; Bennike & Weidick, 2001). Es wird angenommen, dass nicht nur einige Hochländer nahe der Küste, sondern auch Flachlandgebiete, wie z. B. südliche Teile von Store Koldewey (Hjort, 1979, 1981) ab dem Kap Mackenzie Stadial (Saale Kaltzeit oder älter; Hjort & Björk, 1984) in dieser Kälteperiode eisfrei waren (Hjort, 1979, 1981; Hjort & Björk, 1984; Funder *et al.*, 1998).

Die Ausdehnung und Mächtigkeit der Grönlandeisdecke während des Letzten Glazialen Maximums (LGM) wird gegenwärtig stark diskutiert (z. B. Hjort, 1981; Funder, 1989; Bennike & Björck, 2002). Die Temperatur während des LGM lag ca. 20°C unter der gegenwärtigen Temperatur (Dahl-Jensen *et al.*, 1998; Funder *et al.*, 1998).

Das Ende des LGM in Ost- und Nordostgrönland bei ca. 16.000 Kalenderjahre BP begann mit dem Abschmelzen der inneren, eisbedeckten Schelfbereiche, wobei große Einbuchtungen durch das Abbrechen von Eismassen entstanden (Funder, 1989; Funder & Hansen, 1996). Dieser Eisrückzug wurde durch einige Stillstände und erneute Vorstöße unterbrochen (Hjort, 1979).

Der folgende Temperaturanstieg im Präboreal wurde durch die Präboreale Oszillation (ca. 11.300–11.150 Kalenderjahre BP; Björck *et al.*, 1997) unterbrochen, wobei es nur kurz nach Ablauf der Jüngerer Dryas zu einer erneuten Kälteperiode kam (Johnsen *et al.*, 1992a; Larsen *et al.*, 1995). Gleichzeitig mit der Präborealen Oszillation rückten im sog. Nanok II Stadial in der Region Hochstetter Forland erneut Fjordgletscher vor (Hjort, 1979; Funder, 1989; Björck *et al.*, 1997). Eine ausgedehnte Eisbedeckung in Nordostgrönland bis in das Nanok II Stadial erklärt vermutlich, warum die ältesten Radiokarbonaten für das jüngste Abschmelzen von derzeit eisfreien Teilen von Ostgrönland jünger als 11.800 Kalenderjahre BP sind (Bennike & Weidick, 2001, Abb. 1; Bennike & Björck, 2002).

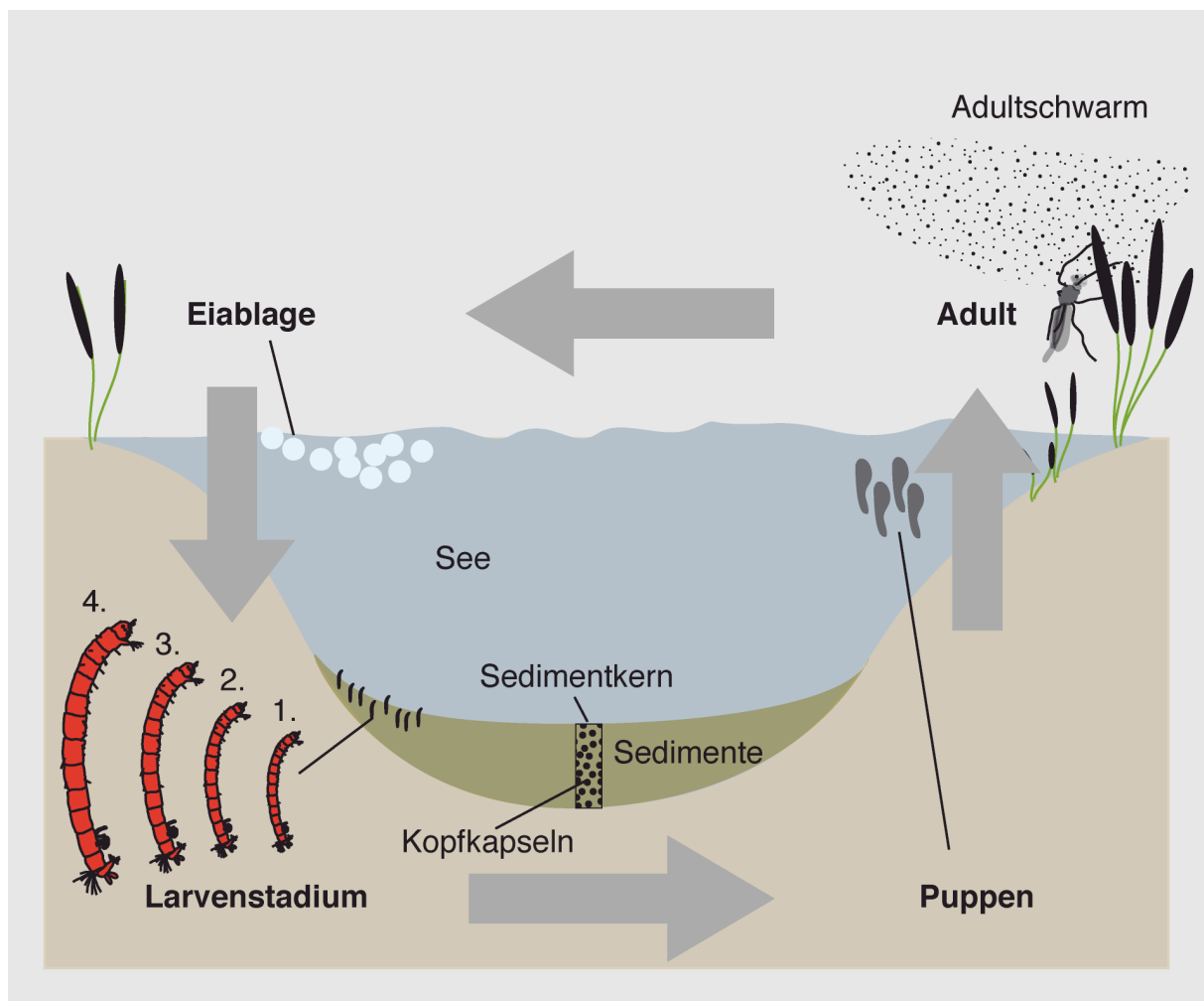
Regionale Minimum-Alter für das letzte Abschmelzen (Abb. 1) der Gletscher sowie Rekonstruktionen über die anschließenden holozänen Klima- und Umweltveränderungen in Ost und Nordostgrönland lieferten Sedimentkerne z. B. aus der Scoresby Sund Region (Funder, 1978; Björck *et al.*, 1994a; Wagner & Melles, 2001; Cremer *et al.*, 2001), dem Gebiet Kong Oscar Fjord und Kejser Franz Joseph Fjord (z. B. Wagner *et al.*, 2000; Wagner & Melles, 2000; Wagner & Melles, 2002), Hochstetter Forland (z. B. Björck & Persson, 1981; Björck *et al.*, 1994b), Store Koldewey (Wagner *et al.*, 2008; Klug *et al.*, 2009) und dem östlichen Nordgrönland (z. B. Funder & Abrahamsen, 1988; Fredskild, 1995).

Der Beginn des letzten Eisrückzuges (Cremer *et al.*, 2008; Bennike & Weidick, 2001) und die Dauer von warmen und kalten Perioden im Holozän variieren mit der geographischen Breite. Zum Beispiel startet das holozäne thermale Maximum in der Scoresby Sund Region bereits um ca. 8500 Kalenderjahre BP und endet ca. 5500 Kalenderjahre BP (Funder, 1978), während es sich im nordöstlichsten Grönland zwischen ca. 6000 und 3500 Kalenderjahre BP ereignet (Funder, 1978; Wagner *et al.*, 2000).

### 1.1.2 Chironomiden

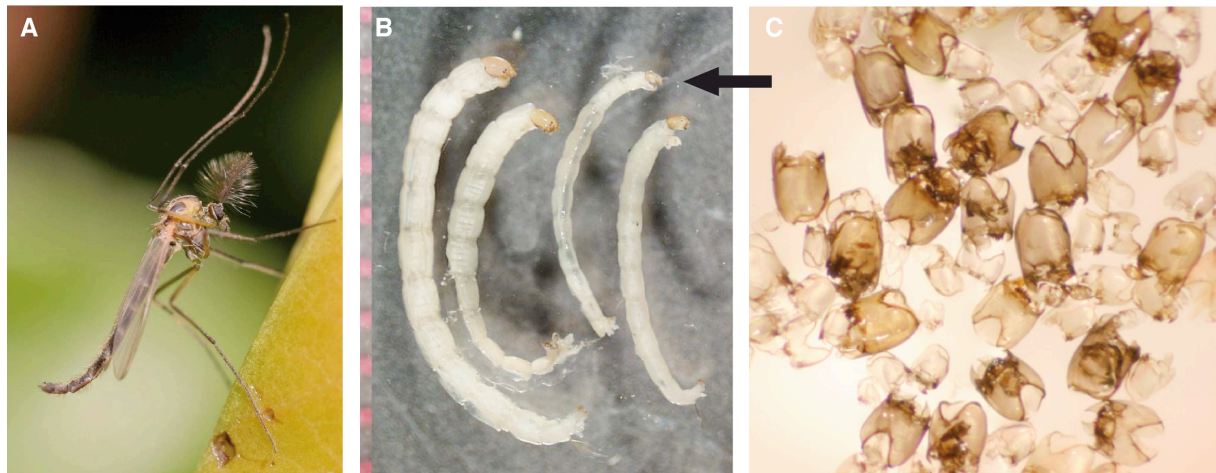
Die weit verbreitete Insektengruppe der Chironomiden (Arthropoda: Insecta: Diptera: Chironomidae) gehört mit geschätzt 15.000 Arten zu den häufigsten Insekten im aquatischen Ökosystem (Cranston, 1995). Ungefähr 5000 Arten sind bisher weltweit bestimmt worden (Oliver, 1971; Cranston & Martin, 1989). Chironomiden leben überwiegend im Süßwasser und im semiaquatischen Lebensraum sowie in terrestrischen, brackischen und in marinen Habitaten (Oliver, 1971). Sie finden sich auch in sehr extremen Regionen, z. B. den Baikalsee in >1000 m Wassertiefe (Linevich, 1963) oder vergletscherten, bis zu 5600 m hohen Erhebungen im Himalaja (Kohshima, 1984).

Als holometabole Insekten durchleben Chironomiden im Laufe ihres Lebenszyklus vier Stadien (Abb. 4) beginnend mit einer Ei-Phase, meistens vier Larvenstadien (Abb. 5, B) und der Verpuppung, entsteht im letzten Stadium ein adulter Zweiflügler (Abb. 5, A; Walker, 2001).



**Abb. 4** Typischer Lebenszyklus einer aquatischen Chironomide. Nicht maßstabsgetreu. (modifiziert nach Brodersen & Anderson, 2000; Porinchi & MacDonald, 2003).

Das Larvenstadium benötigt die längste Zeit ihrer Lebensdauer (Oliver, 1971; Porinchu & MacDonald, 2003), wobei die Entwicklung von allen Stadien stark temperaturabhängig ist (Mackey, 1977; Pinder, 1986). Im Gegensatz zum lang andauernden Larvenstadium schlüpfen ihre Eier bereits nach nur wenigen Tagen bis zu einem Monat. Ebenso kurzlebig ist die Verpuppung (Porinchu & MacDonald, 2003). Ein vollständiger Lebenszyklus von arktischen Spezies dauert nicht selten bis zu drei Jahren (Oliver, 1971).



**Abb. 5** A: Adultes männliches Exemplar von *Chironomus plumosus* (Laumer, 2007); B: Larvenstadien von Chironomiden (The Xerces Society, ohne Jahr); C: Chironomiden-Kopfkapseln der Gattung *Micropsectra* (Axford, 2007).

Die Größe von Chironomiden-Larven liegt in einem Bereich von 2–30 mm in der Länge (Brooks *et al.*, 2007). Die Kopfkapseln der Larven bestehen aus Chitin und haben deshalb in Sedimenten ein sehr hohes Erhaltungspotential. Chironomiden-Vergesellschaftungen geben Einsicht in die vergangenen Klima und Umweltbedingungen, da sie empfindsam auf Umweltfaktoren, wie z. B. Salinität, pH-Wert, Wassertiefe, Temperatur, organischen Kohlenstoff sowie Sauerstoffgehalt reagieren (Walker & MacDonald, 1995; Walker, 2001; Walker *et al.*, 2003; Porinchu & MacDonald, 2003).

Generell haben Kalt- und Warmwasserseen ihre eigenen charakteristischen Chironomiden-Vergesellschaftungen (Brooks, 2003). Die kleinen Orthoclaadiinae, Tanytarsini und Diamesinae repräsentieren kalte Seen, während die im Allgemeinen größeren Chironomini und Tanypodinae wärmere Seen bevorzugen (Brooks, 2003). Der Temperaturbereich für Chironomiden-Larven ist relativ hoch. So sind einige Arten in der Lage zu überwintern (Thienemann, 1954), während andere heiße Quellen von bis zu 40 °C besiedeln (Pinder, 1995). Ähnlich hoch ist die Toleranz einiger Spezies gegenüber dem pH-Wert. So ist z. B. *Tendipes plumosus* bei einem pH-Wert von 2,3 dokumentiert (Harp & Campbell, 1967), während Arten von *Orthocladius* type selbst bei pH-Wert 8 vorkommen (Brooks & Birks,

2004). Die Sauerstoff-Bedingungen für Chironomiden variieren häufig. So unterteilen Brodersen *et al.* (2004) Arten in Sauerstoff-Regulierer (*oxy-regulators*) und Sauerstoff-Anpasser (*oxy-conformers*). Sauerstoff-Regulierer, die meistens in Chironomiden-Vergesellschaftungen (z. B. mit *Chironomus* und *Procladius*) der wärmeren und nährstoffreichen Seen auftreten, besitzen die Fähigkeit, unter hohen und niedrigen Sauerstoff-Bedingungen zu existieren (Brodersen *et al.*, 2004). Dagegen sind die Sauerstoff-Anpasser, die in Chironomiden-Vergesellschaftungen (z. B. mit *Heterotrissocladius*, *Micropsectra*, *Hydrobaenus* und *Diamesa*) der kälteren, nährstoffarmen und sauerstoffreichen Gewässer überwiegen, zur Regulierung unfähig (Brodersen *et al.*, 2004). Durch Hämoglobin hervorgerufene rötliche Chironomiden-Larven (z. B. *Chironomus*), so genannte „Blutwürmer“, tolerieren niedrige Sauerstoff-Konzentrationen (Brooks *et al.*, 2007). Larven der Orthoclaadiinae sind aufgrund ihrer Algen-Nahrung häufig grün. Sie sind im Allgemeinen weniger tolerant auf niedrige Sauerstoff-Bedingungen (Brooks *et al.*, 2007).

Die meisten Chironomiden-Larven leben von pflanzlichen Substanzen und nur wenige z. B. Tanypodinae-Larven sind karnivore Tiere (Thienemann, 1954). Chironomiden-Larven sind meistens Detritus-Fresser, so konnten zum Beispiel Krebsreste, leere Häute von Chironomiden-Larven und Ostracodenreste in ihrem Mageninhalt festgestellt werden (Thienemann, 1954). Chironomiden-Larven können Raubtiere, Schaber, Filtrierer, Sedimentfresser, Schredder oder eine Mischung aus diesen sein (Berg, 1995).

## 1.2 Ziel der Studie

Bereits im Jahr 1937 konnte man die Existenz von Chironomiden in Nordostgrönland nachweisen (Andersen, 1937). Im Laufe der letzten 15 Jahre wurden von fossilen Chironomiden aus Nordostgrönland ausschließlich ihre Gesamthäufigkeiten in Multi-Proxy Studien von Seesedimenten betrachtet, das heißt es fand keine Identifizierung der Arten statt (z. B. Björck *et al.*, 1994a; Fredskild, 1995; Bennike & Funder, 1997; Bennike & Weidick, 2001). Viele Untersuchungen an Seesedimenten von Ost- und Nordostgrönland basieren allein auf Pollenanalysen und biogeochemischen Proxies (Funder, 1978; Björck *et al.*, 1994a, b; Fredskild, 1995; Wagner *et al.*, 2000, 2007; Wagner & Melles 2001, 2002). Generell existieren sehr wenig Studien zur holozänen Klima- und Umweltgeschichte von Ost- und Nordostgrönland (z.B. Funder, 1978; Funder & Hansen, 1996; Bennike & Funder, 1997; Bennike & Weidick, 2001; Cremer *et al.*, 2001; Wagner & Melles, 2000, 2001, 2002; Bennike, 2004; Wagner *et al.*, 2000, 2007).

So startete im Jahr 2003 ein internationales Projekt mit dem Ziel einer detaillierten Rekonstruktion der spätquartären Glazialgeschichte sowie der postglazialen Klima- und Umweltschwankungen in Ost- und Nordostgrönland. Daran beteiligt waren das GEUS (*Geological Survey of Denmark and Greenland*) aus Dänemark, die Universitäten Lund (Schweden), Utrecht (Niederlande) und Köln (ehemals Leipzig, Deutschland) sowie das Alfred-Wegener-Institut (AWI, Deutschland). Während einer Expedition mit dem Forschungsschiff Polarstern im August 2003 wurden Seen, Böden und geomorphologische Einheiten auf zwei Inseln vor der östlichen und nordöstlichen Küste Grönlands, Geographical Society Ø und Store Koldewey, beprobt.

Im Rahmen des internationalen Projektes richtet sich der Beitrag der Universität zu Köln, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), auf chronologische, sedimentologische und biogeochemische Untersuchungen an den Seesedimentsequenzen sowie, zum ersten Mal in Ost- und Nordostgrönland, auf die Analyse fossiler Chironomiden-Vergesellschaftungen. Ein Vergleich der abgeleiteten Erkenntnisse zur regionalen Klima- und Umweltgeschichte mit denen aus anderen eisfreien Küstenregionen Grönlands soll dazu beitragen, die regionalen Besonderheiten von Eisbewegungen, relativen Meeresspiegelschwankungen und den Klimawechsel besser zu verstehen. Die damit verbundenen Ursachen, wie Veränderungen in der Atmosphäre und ozeanischen Zirkulation können durch diese Studien besser erfasst werden.

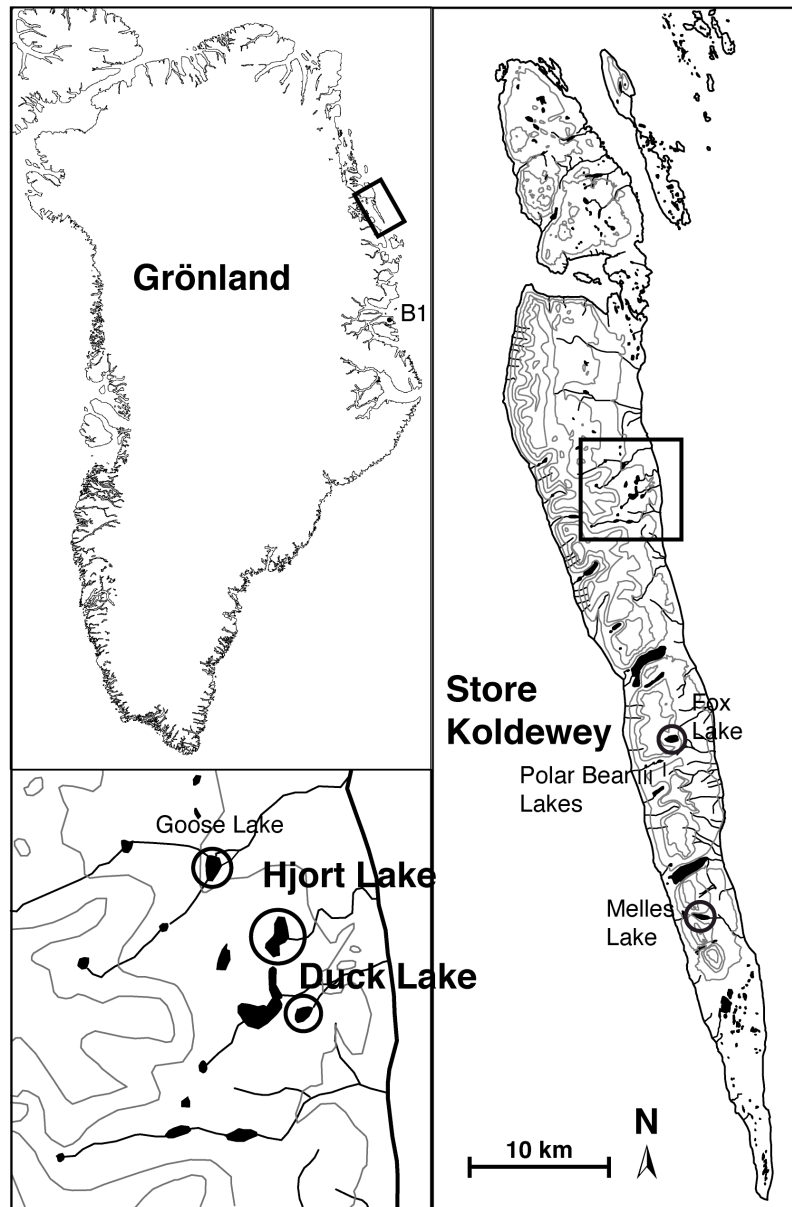
Das Ziel dieser Untersuchung ist zum ersten eine Gegenüberstellung der fossilen Chironomiden-Vergesellschaftungen des Holozäns in zwei Seen auf Store Koldewey. Zum zweiten soll die Bedeutung von Veränderungen in den fossilen Chironomiden-Vergesellschaftungen in Beziehung auf Umweltveränderungen untersucht werden, um herauszufinden, ob sich diese Gruppe von Insekten als Proxy für die Rekonstruktion von Klima- und Umweltschwankungen in dieser hocharktischen Region eignet.

Diese Gruppe hoch sensibler Insekten kann als einzelner Proxy oder in Verbindung mit biogeochemischen Parametern, gemessen an Seesedimenten, zu einem besseren Verständnis der holozänen Klimageschichte Nordostgrönlands beitragen.

## 2 Das Untersuchungsgebiet – Store Koldewey

### 2.1 Geografische Lage

Die Insel Store Koldewey ( $75^{\circ}55'N-76^{\circ}45'N$ ,  $18^{\circ}27'W-19^{\circ}10'W$ ) befindet sich vor Nordost-Grönland (Abb. 6). Sie ist ca. 80 km lang und etwa 11 km breit.



**Abb. 6** Karte von Nordostgrönland mit der Position des Duck Lakes ( $76^{\circ}25'15''N$ ,  $18^{\circ}45'00''W$ ) und Hjort Lakes ( $76^{\circ}25'59''N$ ,  $18^{\circ}45'41''W$ ) auf Store Koldewey ( $75^{\circ}55'-76^{\circ}45'N$ ,  $18^{\circ}27'-19^{\circ}10'W$ ). Der Höhenlinienabstand beträgt 100 m. Weitere Seen: Fox ( $76^{\circ}15'06''N$ ,  $18^{\circ}41'32''W$ ), Polar Bear I ( $76^{\circ}14'10''N$ ,  $18^{\circ}43'48''W$ ), Goose ( $76^{\circ}26'36''N$ ,  $18^{\circ}48'14''W$ ) und Melles Lake ( $76^{\circ}07'40''N$ ,  $18^{\circ}37'57''W$ ). Lake B1 befindet sich auf der Geographical Society Ø.

Auf Store Koldewey existieren Seen, wie z. B. der Fox, Goose, Melles, Polar Bear I Lake sowie der Duck und Hjort Lake (Abb. 6) deren hydrologische Parameter ausführlich in Cremer & Wagner (2004) beschrieben sind (Tab. 1). Ungefähr 400 km südlich von Store Koldewey befindet sich auf Geographical Society Ø am südlichen Ufer des Kaiser Franz Joseph Fjords (Abb. 1) der See B1 (Wassertiefe ca. 9 m, keine weiteren Angaben zur Hydrologie vorhanden).

**Tab. 1** Übersicht über wichtige hydrologische Parameter ausgewählter Seen auf Store Koldewey (Cremer & Wagner, 2004).

Lake	Max. Wassertiefe (m)	Transparenz (m)	Temperatur (°C)	Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	pH-Wert	Sauerstoff-Sättigung (%)
Fox	57,7	8,1	4,7–4,8	8,7–9,3	7,5–8,4	111–116
Polar Bear I	15,9	7,3	3,3–3,3	30,8–31,1	8,2–8,5	121–125
Goose	7,4	4,8	4,4–4,9	11,0–12,2	8,9–9,1	118–122
Melles	72,0	5,4	4,0–6,8	37–38	7,9–8,1	102–112
Duck	6,4	5,8	6,7–7,2	11,0–11,9	8,6–9,0	126–135
Hjort	6,1	-	5,3–5,4	15,7–16,3	9,1–9,3	115–128

## 2.2 Klima und Vegetation

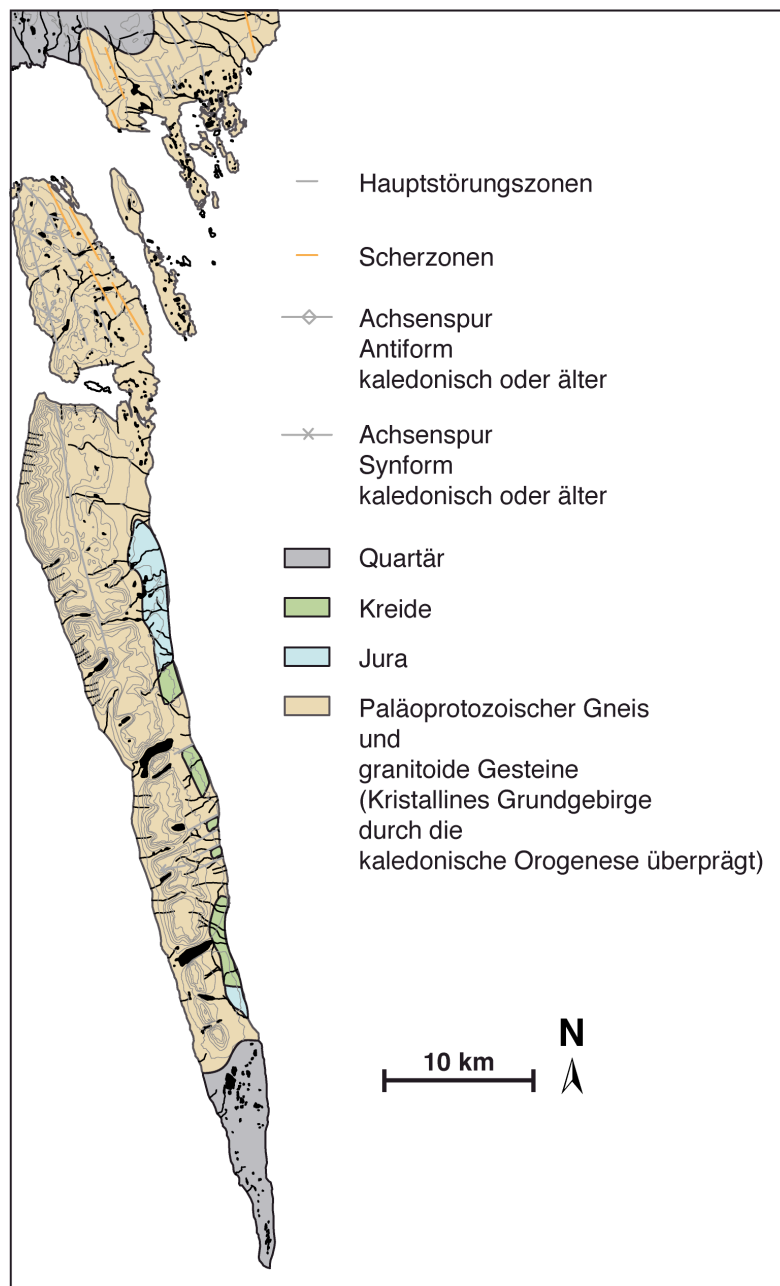
Das Klima auf Store Koldewey wird stark von der Ostgrönlandströmung beeinflusst, welche kalte Wassermassen vom Arktischen Ozean südlich entlang der Küste transportiert (Funder, 1989; Koc *et al.*, 1993; Cappelen *et al.*, 2001). Die größtenteils des Jahres Eis bedeckte, kalte Meeresoberfläche verursacht besonders im Sommer die Bildung von Küstennebel (Cremer & Wagner, 2004). Niedrige Durchschnittstemperaturen zwischen ca.  $-24^{\circ}\text{C}$  im Winter und  $+4^{\circ}\text{C}$  im Sommer sowie geringe Niederschlagsmengen von ca. 140 mm/Jahr, gemessen an der Danmarkshavn Wetterstation ( $76^{\circ}46'\text{N}$ ,  $18^{\circ}40'\text{W}$ ), sind für Store Koldewey charakteristisch (Cappelen *et al.*, 2001).

Store Koldewey ist durch eine sehr geringe Vegetationsbedeckung mit überwiegend Gräsern (z. B. *Salix arctica*, *Dryas octopetala*, *Cassiope tetragona*, *Eriophorum*) sowie verschiedenen Flechten und Moosen charakterisiert (Bennike *et al.*, 2004).

## 2.3 Geologische Entwicklung

Das Grundgebirge auf Store Koldewey besteht aus präkambrischem, metamorphem Gneis, der Kaledonischen Orogenese (Abb. 7). Jurassische und kretazische Sedimente sind überwiegend an der östlichen Kliffküste freigelegt. Quartäre, glaziale Ablagerungen zeigen sich auf der Insel weit verbreitet, speziell im Süden.





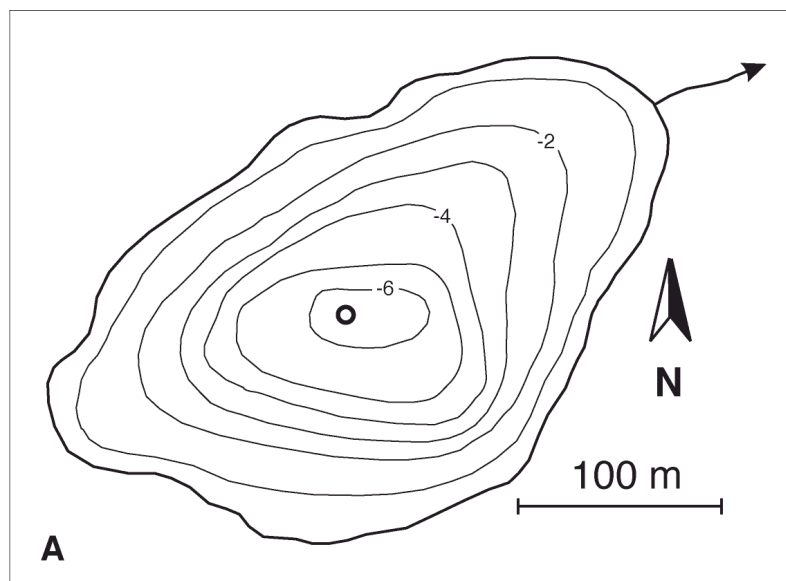
**Abb. 7** Geologische Karte von Store Koldewey (modifiziert nach Henriksen, 2003). Der Höhenlinienabstand beträgt 100 m.

Die Morphologie von Store Koldewey dominiert durch flach gekappte Bergketten mit einer Erhebung von bis zu 900 m über Normal-Null (NN). Während sich an der westlichen Küste steile Abhänge im Küstenverlauf präsentieren wird die Ostküste von Store Koldewey durch eine Flachlandschaft mit einer maximalen Höhe von 150 m über NN dominiert. Die Bergkette wird mehrmals durch West-Ost orientierte U-Täler unterbrochen, wobei die Täler von Schmelzwasser gespeiste Süßwasserseen bilden.

## 2.4 Hydrologie und Limnologie der untersuchten Seen

### 2.4.1 Duck Lake

Der Duck Lake liegt an der Ostküste Store Koldeweys bei einer geografischen Lage von  $76^{\circ}25'15''\text{N}$  und  $18^{\circ}45'00''\text{W}$  (Abb. 6). Sein Seespiegel befindet sich auf einer Höhe von 118 m über NN. Der fast kreisförmige See (Abb. 8) besitzt einen Durchmesser von ungefähr 200–300 m und eine maximale Wassertiefe von 6,4 m. Der Duck Lake verfügt über einen, nordöstlich ausgerichteten, hydraulischen Abfluss.

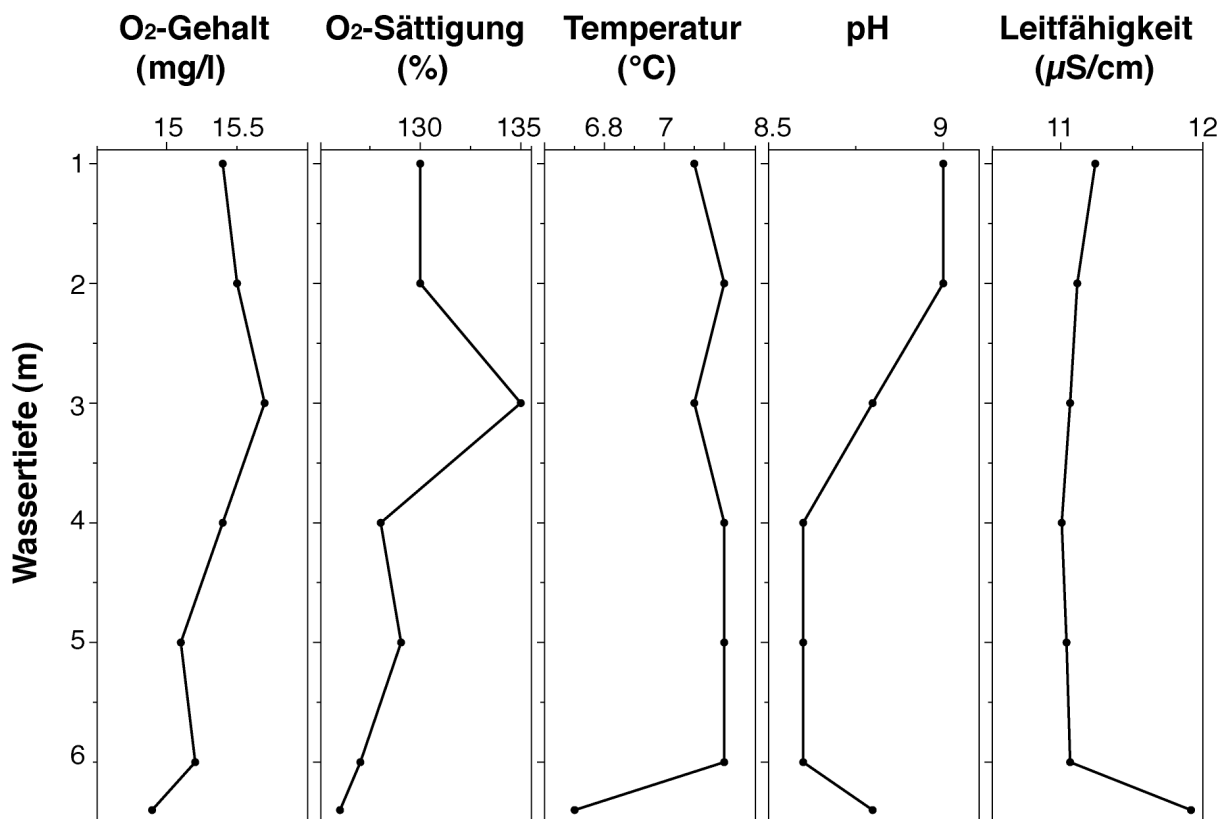


**Abb. 8** A: Die Bathymetrie des Duck Lakes mit 1 m Isohypsen zeigt die Kernposition (Kreis) und den Abfluss (Pfeil). B: Foto des Duck Lakes (Cremer *et al.*, 2005).

Die im Sommer 2003 ermittelte Secchitiefe beträgt 5,8 m. Eine gleichmäßig hohe Sauerstoffsättigung zwischen 126 % und 130 % deutet auf eine komplette Durchmischung der Wassersäule im Sommer hin. Die Temperaturen reichen von 6,7 bis 7,1 °C. Die hohen pH-Werte von 8,8 bis 9,0 sind auf ein alkalireiches Einzugsgebiet zurückzuführen. Die geringen Leitfähigkeiten zwischen 11,0 und 11,92  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  zeigen keinen marinen Einfluss an (Tab. 2, Abb. 9).

**Tab. 2** Hydrologische Parameter an der Kernposition des Duck Lakes im Sommer 2003.

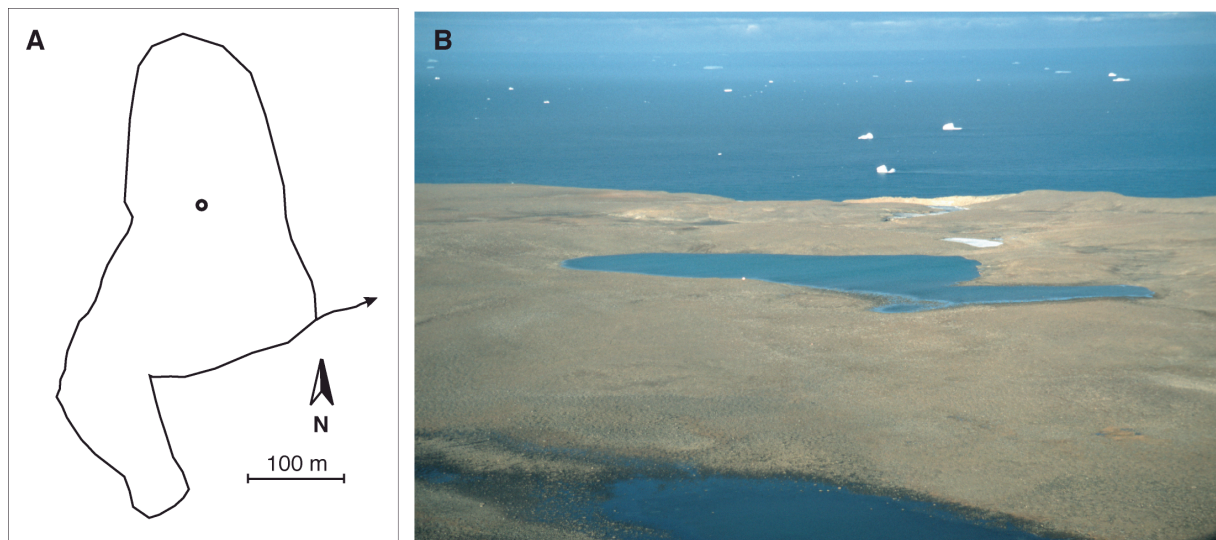
Wassertiefe (m)	O <sub>2</sub> -Gehalt (mg/l)	O <sub>2</sub> -Sättigung (%)	Temperatur (°C)	pH	Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	15,4	130	7,1	9,0	11,24
2	15,5	130	7,2	9,0	11,11
3	15,7	135	7,1	8,8	11,06
4	15,4	128	7,2	8,6	11,00
5	15,1	129	7,2	8,6	11,03
6	15,2	127	7,2	8,6	11,06
6,4	14,9	126	6,7	8,8	11,92



**Abb. 9** Hydrologisches Profil an der Kernposition des Duck Lakes im Sommer 2003.

### 2.4.2 Hjort Lake

Der Hjort Lake, mit einer geografischen Position von  $76^{\circ}25'59''\text{N}$  und  $18^{\circ}45'41''\text{W}$  (Abb. 6), ist auf einer Erhebung von 114 m über NN lokalisiert. Der ungleichförmige See besitzt bei einer maximalen Wassertiefe von 6,1 m eine Länge von ca. 500 m und eine Breite von maximal 200 m. Der See hat einen hydraulischen Abfluss nordöstlicher Orientierung (Abb. 10).

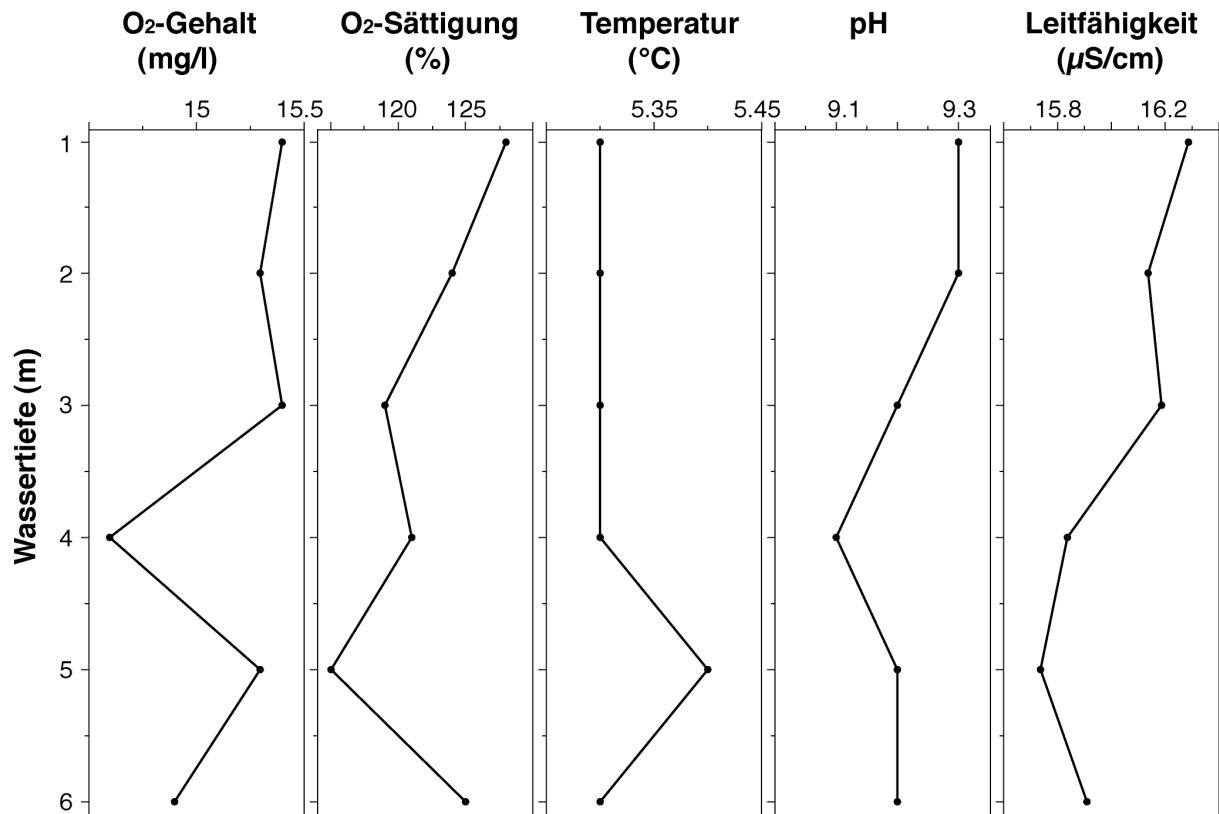


**Abb. 10** A: Karte des Hjort Lakes mit der Kernposition (Kreis) und dem Abfluss (Pfeil). Messungen der Isohypsen liegen nicht vor. B: Foto des Hjort Lakes (Cremer *et al.*, 2005).

Die Ende August in der Wassersäule gemessene hohe Sauerstoffsättigung zwischen 115 und 128 % weist auf eine komplette Durchmischung des Sees hin. Die Temperaturen liegen zwischen 5,3 bis 5,4 °C. Hohe pH-Werte von 9,1 bis 9,3 reflektieren ein alkalisches Einzugsgebiet. Die geringen Leitfähigkeiten von 15,74 bis 16,29  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  geben keinen Hinweis auf einen marinen Einfluss (Cremer & Wagner, 2004; Tab. 3, Abb. 11).

**Tab. 3** Hydrologische Parameter an der Kernposition des Hjort Lakes im Sommer 2003.

Wassertiefe (m)	O <sub>2</sub> -Gehalt (mg/l)	O <sub>2</sub> -Sättigung (%)	Temperatur (°C)	pH	Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	15,4	128	5,3	9,3	16,29
2	15,3	124	5,3	9,3	16,14
3	15,4	119	5,3	9,2	16,19
4	14,6	121	5,3	9,1	15,84
5	15,3	115	5,4	9,2	15,74
6	14,9	125	5,3	9,2	15,91



**Abb. 11** Hydrologisches Profil an der Kernposition des Hjort Lakes im Sommer 2003.

### 3 Material und Methodik

#### 3.1 Probennahme

##### 3.1.1 Duck Lake

In der Seemitte des Duck Lakes wurde die Wassersäule mit einem 5 l-Wasserschöpfer (UWITEC Co., Österreich) für Messungen des Sauerstoffgehaltes und der Sauerstoffsättigung, der Temperatur, des pH-Wertes (WTW Oxi196) sowie der Leitfähigkeit (WTW LF 197) beprobt. Die Lichtdurchlässigkeit wurde mit einer Secchischeibe ermittelt.

An der tiefsten Stelle des Duck Lakes, bei 6,4 m Wassertiefe, wurde von einer schwimmenden Plattform (UWITEC, Österreich, Abb. 12) aus ein 290 cm langer Sedimentkern gezogen. Unter Verwendung eines Schwerelotes wurde aus dem See ein ungestörter Oberflächenkern gewonnen (Kern Lz1103-2). Ein Kolbenlot (UWITEC Co., Österreich) diente zur Bergung von tieferen Kernsegmenten (Kern Lz1103-5/6).



**Abb. 12** Schwimmplattform

##### 3.1.2 Hjort Lake

Aus dem Zentrum des Hjort Lakes, bei einer maximalen Wassertiefe von 6,1 m, wurde von einer Schwimmplattform (UWITEC, Österreich) aus ein insgesamt 252 cm langer Sedimentkern geborgen (Lz1104). Mittels Schwerelotes (UWITEC, Österreich) wurde ein ungestörter Oberflächenkern erbohrt (Kern Lz1104-1, 70–0 cm). Mit Hilfe eines modifizierten Klappbohrers (*Russian corer*), welcher einen Durchmesser von 7,5 cm und 1 m lange Kammer besitzt (Jowsey, 1966) konnten tiefere Sedimentsequenzen (Kern Lz1104-5,

252–0 cm) gezogen werden. Relativ dichtes und klastisches Sediment stoppten die weitere Durchdringung mit dem *Russian corer* (Wagner *et al.*, 2008).

### 3.2 Laboranalysen

Die Magnetische Suszeptibilität (MS) und die Feuchtraumdichte (WBD, *wet bulk density*) wurden in 1 Zentimeter Intervallen, mit einem MultiSensorCoreLogger MSCL 14 (GEOTEK Corp.), gemessen.

Die Kernsequenzen Lz1103 des Duck Lakes wurden längs halbiert, anschließend fotografiert, beschrieben und die überlappenden Segmente der beiden Kerne optisch sowie durch die Ergebnisse der MS und WBD Messungen korreliert. Während der untere Kernabschnitt zwischen 290 und 200 cm in 2 cm Intervallen unterbeprobte wurde, wurden aus dem oberen Kernbereich von 152 bis 0 cm Teilproben im 0,5 cm Abstand genommen. Zwischen 200 und 152 cm existiert, als Folge des Bohrkernprozesses, kein Kerngewinn.

Im Hjort Lake erfolgte das Öffnen und die Probenteilung des Schwerelotes Lz1104-1 sowie des *Russian corers* Lz1104-5 in den Laboren an der Universität Leipzig in Deutschland und am Geological Survey in Dänemark bzw. Grönland. Während die Probenteilung des Sedimentkernes Lz1104-5 in 4 cm Intervallen erfolgte, beprobte man den Kern Lz1104-1 in 0,5 cm Intervallen (Wagner *et al.*, 2008).

Die Sedimentproben des Duck und Hjort Lakes wurden in zwei Sets aufgeteilt. Dabei wurde eine Teilprobe für Makrofossilien kühl und dunkel aufbewahrt und die andere für die Korngrößenmessung, die Biogeochemie und Analysen an Mikrofossilien gefriergetrocknet.

Aus der Differenz der getrockneten und der nassen Proben wurde der Wassergehalt errechnet. Zur Ermittlung der Korngröße wurde ein Aliquot von ca. 100 mg >1 mm gesiebt. Der Teil <1 mm wurde mit 3 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vorbehandelt, um die organische Substanz zu entfernen und mit 1 ml Natrium-Polyphosphat dispergiert. Nach einer 5-sekündigen Ultraschallbehandlung wurde die Korngrößenverteilung mit einem Laser-Partikelgrößenanalysator (Cilas 1180L) gemessen (ausgeführt von M. Klug). Im Duck Lake wurde der Mittelwert und die Sortierung nach Folk & Ward (1957) berechnet (Klug *et al.*, 2009).

An jeweils einer Kernhälfte wurden biogeochemische Untersuchungen durchgeführt (Klug *et al.*, 2009), während die zweite Kernhälfte der Analyse von Chironomiden-Kopfkapseln zur Verfügung stand.

Für biogeochemische Messungen wurden ungefähr 100 mg Sediment auf < 63 µm gemahlen und homogenisiert (MM200, RETSCH Corp., Deutschland).

Die Gehalte an Gesamtkohlenstoff (TC, *total carbon*), der Gesamtstickstoff (TN, *total nitrogen*) und Gesamtschwefel (TS, *total sulphur*) wurden mit einem „vario EL III“ (Fa. *elementar*) Elementanalysator gemessen. Die Gehalte an organischem Gesamtkohlenstoff (TOC, *total organic carbon*) wurden mit einem Metalyt CS 1000S (Fa. ELTRA) Kohlenstoffanalysator bestimmt. Um die Karbonate freizusetzen, wurde das Sediment vorher bei 80°C mit 10 % HCL vorbehandelt. Der Gehalt an anorganischem Gesamtkohlenstoff (TIC, *total inorganic carbon*) wurde aus der Differenz von TC und TOC berechnet. Im Hjort Lake befindet sich TIC unter der Nachweisgrenze.

### 3.3 Datierungen

Radiokarbondatierungen wurden im Duck Lake an insgesamt 8 Proben ausgeführt, einer Probe Gesamtsediment, 5 Proben von aquatischen Moosen und 2 Proben von terrestrischen Pflanzenresten, durchgeführt mit der Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS, *accelerator mass spectrometry*) im AMS-<sup>14</sup>C-Datierungslabor des *Geobiosphere Science Centre* der Universität Lund (Klug *et al.*, 2009).

Die Radiokarbondatierungen des Hjort Lakes wurden mit der AMS im Poznan Radiokarbon Labor und am Leibniz Labor der Universität zu Kiel durchgeführt (Wagner *et al.*, 2008). Die Datierungen erfolgten an 3 Proben von terrestrischen Pflanzenresten (*Salix arctica*, *Dryas octopetala*) aus dem Kern Lz1104-1 und weiteren 4 Proben terrestrischer Pflanzenreste (*Empetrum nigrum*, *Polytrichum* sp., *D. octopetala*) sowie an 4 Proben aquatischer Moose (*Warnstorfia exannulata*) aus dem Kern Lz1104-5 (Wagner *et al.*, 2008).

Die Korrelation der Kerne Lz1104-1 und Lz1104-5 bezog sich auf Veränderungen im Gehalt von organischer Substanz und den Ergebnissen der Radiokarbonaten (Wagner *et al.*, 2008). Alle <sup>14</sup>C-Alter wurden mit dem Programm Calib Version 5.0.1 (Stuiver & Reimer, 1993), beruhend auf die Kalibrierungskurve von INTCAL 04.14c (Reimer *et al.*, 2004) kalibriert und werden als Radiokarbonalter vor heute (*before present*, Kalenderjahre BP) dargestellt.

### 3.4 Chironomiden

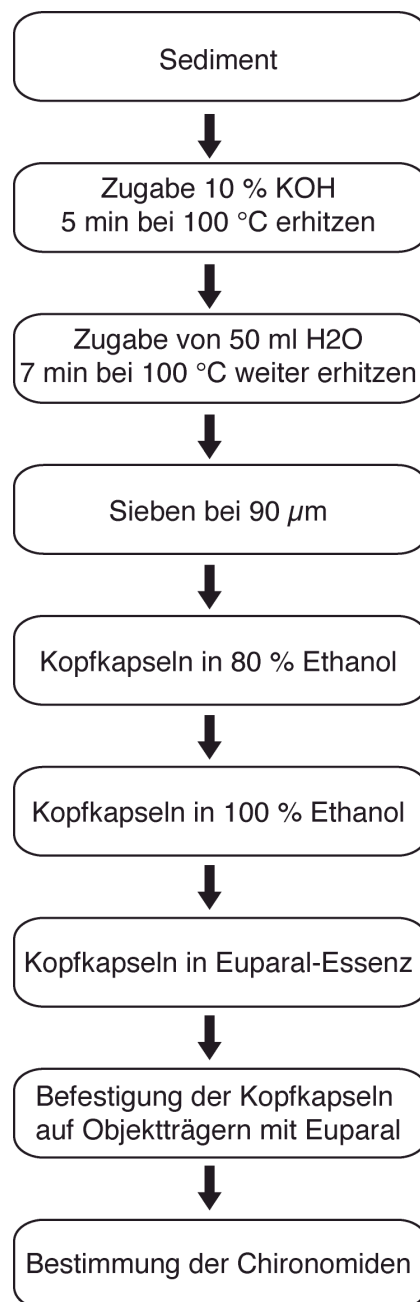
#### 3.4.1 Probenaufbereitung und Präparation von Chironomiden

Aus der Archivhälfte der Sedimentkerne des Duck und Hjort Lakes wurden im 4 cm Abstand Proben zur Auswertung der Chironomiden entnommen.

Für die Bestimmung der Chironomiden Taxa aus dem Kern Lz1104 des Hjort Lakes benutzte man in 4 cm Intervallen 1 g gefriergetrocknetes Sediment.



Um Chironomiden-Kopfkapseln vom Sediment zu trennen, wurden die Proben bei einer Temperatur von 100°C ca. 12 Minuten in 10 % KOH bis zur Ausflockung gekocht und danach über einem Sieb mit der Maschenweite von 90 µm geschlämmt (z. B. Walker *et al.*, 1991; Brooks, 1997, Abb. 13). Das Auslesen der Chironomiden-Kopfkapseln erfolgte mit Hilfe von einem Binokular-Mikroskop (Vergrößerung: 25x) und einem Bogorov Sortierer (Gannon, 1971). Für die anschließende Präparation wurden die Kopfkapseln sukzessive in 80 % und 100 % Ethanol dehydriert und danach mit Euparal® auf Objektträgern befestigt (z. B. Walker *et al.*, 1991; Brooks, 1997).

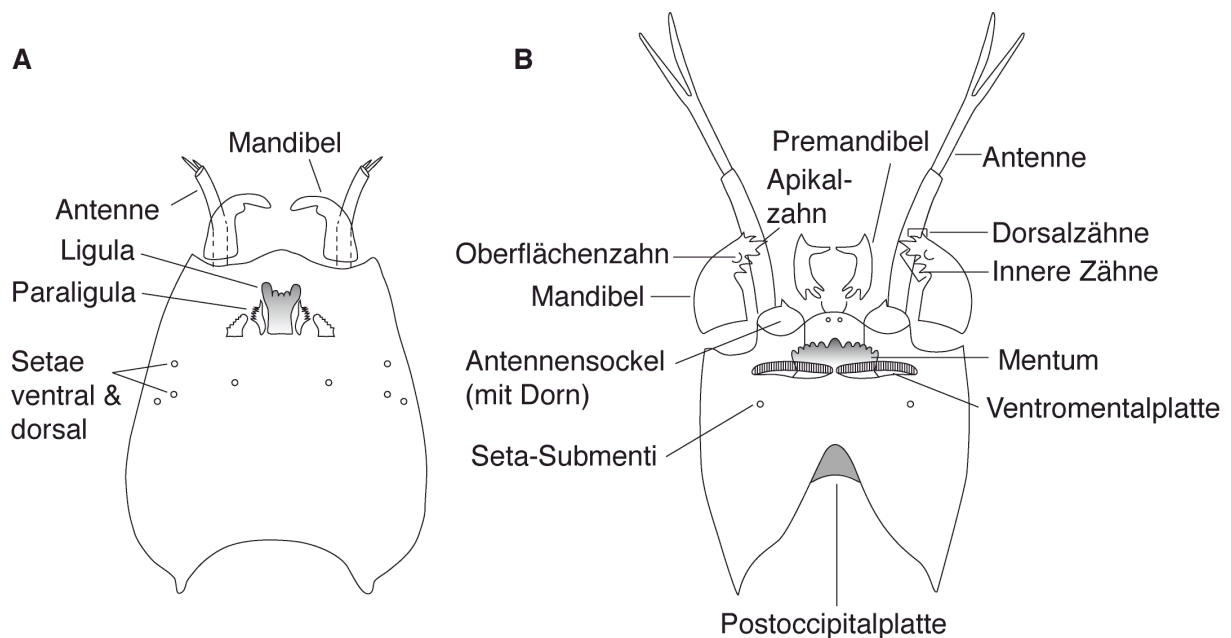


**Abb. 13** Ablaufschema zur Präparation von Chironomiden.

Die Aufnahmen der Chironomiden wurden überwiegend mit einer Digitalkamera (Leica FireCam Software Version 3,0 für Mac OSX) ausgeführt.

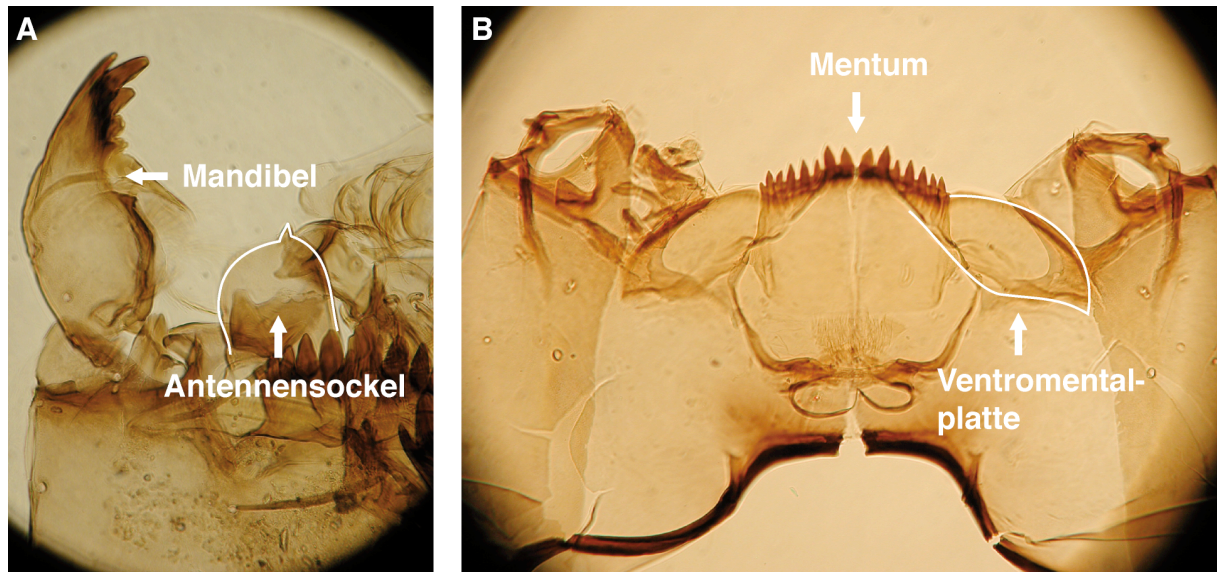
### 3.4.2 Bestimmung der Chironomiden-Arten

Die Identifizierung der Arten geschieht über die Mundwerkzeuge (Abb. 14, Abb. 15), wie z. B. die Stellung der Zähne auf dem Mentum (Kinn) und den Mandibeln (Oberkiefer), die Lage der Seta Submenti (Borstenlöcher), die Fächerstruktur der Ventromentalplatte (Flügelpartien unterhalb vom Mentum), die Ausbildung der Postoccipital-Platte, Farbkontraste, Granulationen und andere Merkmale (Brooks *et al.*, 2007). Die Bestimmung der Chironomiden im ersten Stadium ist sehr schwierig, da deren Mundwerkzeuge nur sehr zart und einförmig ausgebildet sind (Thienemann, 1954).



**Abb. 14** Mundwerkzeuge von Kopfkapseln A: Tanypodinae, B: Tanytarsini (modifiziert nach Brooks *et al.* 2007).

Zur Bestimmung diente ein Durchlichtmikroskop (z. B. Leitz Dialux 22EB) mit 5x, 10x, 20x, 40x und 100x Vergrößerung. Im Anhang I befinden sich die Fotoaufnahmen ausgewählter, auf Store Koldewey vorkommender, Arten.



**Abb. 15** Chironomiden-Kopfkapseln und typische Mundwerkzeuge, A: *Micropsectra insignilobus*-type; B: Ventralseite von *Sergentia coracina*-type.

### 3.4.3 Analyse von Chironomiden und Datenbearbeitung

Alle Proben mit einer Anzahl  $>80$  Kopfkapseln wurden für die Ermittlung der totalen Chironomiden-Abundanz komplett ausgezählt.

Um Trends im Datensatz der Chironomiden herauszufinden, wurden die Arten zunächst optisch in Chironomiden-Vergesellschaftungszonen unterteilt, das heißt die Chironomiden wurden nach ihrem Auftreten und Verschwinden zusammengefasst. Zur weiteren Interpretation und Auswertung der holozänen Chironomiden-Vergesellschaftungen des Duck und Hjort Lakes wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA: *Principal Component Analysis*) unter Benutzung des Programms SIMCA-P (Fa. Umetrics) verwendet. Die Hauptkomponentenanalyse ist ein Verfahren der multivariaten Statistik und dient zur Strukturierung umfangreicher Datensätze. Variablen werden durch lineare Kombinationen zu Hauptkomponenten zusammengefasst. Dabei wird der Ursprung eines Koordinatensystems in den Mittelpunkt der Datenpunkte gebracht, anschließend rotiert das Koordinatensystem bis die Varianz auf der 1. Achse am größten ist. Das Ziel dieser Methode ist eine Dimensionsreduktion eines Datenraumes bei der möglichst ein großer Teil der Information erhalten bleiben soll (Lozan & Kausch, 2004).

Um die Beziehungen zwischen Chironomiden-Vergesellschaftungen und ihrer Umwelt zu verdeutlichen, wurde das statistische Verfahren einer Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA: *Canonical Correspondence Analysis*; ter Braak & Verdonschot, 1995) mit dem Programm CANOCO (Version 4.0; ter Braak & Smilauer, 1998) durchgeführt. Mit dieser Analyse ist es möglich, Variablen in einem bereits bestehenden Raum zu projizieren, ohne

dass diese einen Einfluss auf die geometrische Ausrichtung der Achsen haben (Blasius, 2001). In dem zwei-dimensionalen Ordinationsdiagramm sind die Arten durch Punkte und Umweltvariablen durch Vektoren dargestellt. Alle Vektoren dieser Umweltparameter bilden, in Abhängigkeit von ihren Eigenwerten, eine eigene Achse im multidimensionalen Raum (ter Braak, 1987). Um so länger die Vektorpfeile sind, desto enger ist ihre Korrelation zu den Ordinationsachsen, daher sind lange Pfeile enger mit dem Variationsmuster der Artenzusammensetzung korreliert als kurze (ter Braak, 1987). Die Position der Chironomiden in Beziehung auf die Umweltvariablen interpretiert man dadurch, dass man sie senkrecht auf deren Vektoren projiziert. Demnach besitzt der Ordinationspunkt einer Chironomide, der sich im Umkreis einer Vektorspitze befindet eine positive Korrelation zum jeweiligen Umweltparameter, während eine Spezies im gegenüberliegenden Quadranten eine negative Korrelation mit diesem Parameter hat (ter Braak, 1987). Den Anteil an der erklärten Varianz, den eine Achse definiert, entnimmt man dem Eigenwert ( $\lambda$ : *eigenvalue*) jeder Achse. Die erklärte Varianz ist ein Parameter für den Gleichklang von zwei Variablen, d. h. eine hohe erklärte Varianz ist am aussagekräftigsten.

In die Berechnung der CCA fließen neben den Chironomiden-Vergesellschaftungen von Duck und Hjort Lake auch die rezenten Chironomiden-Vergesellschaftungen von Seen der kanadischen Arktis (Gajewski *et al.*, 2005) ein. Zusätzlich wurden folgende passive Variablen aufgenommen: die Chironomiden-Vergesellschaftungen des Duck und Hjort Lakes, die Chironomiden aus Oberflächenproben des Fox (Lz1106-1, 9), Goose (Lz1105-3), Melles (Lz1101,2, 3), Polar Bear I (Lz1113-2, Lz1114-3) sowie des Duck (Lz1103-2, 4, 11) und Hjort Lakes (Lz1104-1) auf Store Koldewey (Tab. 1) und der See B1 (max. Wassertiefe ca. 9 m, keine weiteren hydrologischen Daten verfügbar) auf Geographical Society Ø (Abb. 6). Folgende charakteristische Chironomiden verteilen sich über die Seen der kanadischen Arktis (Gajewski *et al.*, 2005): *T. lugens*-type/*C. oliveri*-type, *Parakiefferiella nigra*-type, *Procladius*, *Psectrocladius*, *Pseudodiamesa*, *Paracladius*, *Hydrobaenus*, *Oliveridia*, *Sergentia*, *Chironomus*, *Corynoneura*, *Orthocladius*, *Eukiefferiella*, *Heterotrissocladius*, *Micropsectra* type und Orthoclaadiinae, alle Arten sind in dieser Studie ausführlich beschrieben. Die CCA wurde gemeinsam mit Chironomiden aus rezenten Seesedimenten der kanadischen Arktis und deren Umweltparameter berechnet (Gajewski *et al.*, 2005). Dazu zählen: der Glühverlust (LOI: *loss on ignition*), der gesamt, unfiltrierte Phosphor (TPuf: *total unfiltered phosphorous*), der gesamt Kjeldahl Stickstoff (TKN: *total Kjeldahl nitrogen*), die durchschnittliche Juli Lufttemperatur (AT: *air temperature*), der gelöste, organische Kohlenstoff (DOC: *dissolved organic carbon*), die Leitfähigkeit (Cond:

*conductivity*), das Chlorophyll a (CHLa), die Tiefe (dep: *depth*) und die Größe (SfcA: *surface area*). Zur besseren Veranschaulichung der Datenpunkte des Duck und Hjort Lakes wurden diese zeitlich in Früh-, Mittel- und Spätholozän unterteilt.

Im Folgenden möchte ich zwei Verfahren zur Bestimmung der Faunendiversität beschreiben, die teilweise umstrittene Methode des Diversitätsindex und das Verfahren der Ausdünnung (*Rarefaction*). Die Diversität kann als Anzahl der quantitativ registrierten Arten definiert werden. Seltene Arten können dabei zum Teil überrepräsentiert sein, zumal die insgesamt ermittelte Abundanz der Arten in den einzelnen Proben nicht berücksichtigt war. Um dieses Problem auszuschließen wurde der Diversitätsindex [H(S)] entsprechend der Shannon-Wiener Informationsgleichung (Murray, 1991):

$$H(S) = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

berechnet.

Unter Berücksichtigung des jeweiligen Prozentanteils der einzelnen Arten an der Gesamtfaua, stellt der Diversitätsindex eine Menge der ermittelten Artenzahl (S) dar. Ein großer Diversitätsindex reflektiert identische Häufigkeiten aller auftretenden Arten in einer Fauna.

Zusätzlich kann mit Hilfe des Shannon-Wiener-Index die Homogenität bzw. Heterogenität einer Faunengemeinschaft bestimmt werden. Man nennt diesen Wert Äquität (E = Evenness):

$$E = e^{H(S)} / S$$

Nur wenn alle Arten einer Faunengemeinschaft mit der gleichen Häufigkeit auftreten, so würde eine maximale Gleichmäßigkeit der Artenverteilung von 1 erreicht werden (Murray, 1991).

Die zweite Methode ist die Ausdünnung (*Rarefaction*), welche die Anzahl der Arten berechnet, die in jeder Probe zu erwarten ist, wenn alle Proben die gleiche Größe hätten (Hurlbert, 1971; Achtziger *et al.*, 1992).

Die Formel (nach Hurlbert, 1971) und ihre entsprechenden Größen:

$$S(n) = \sum_{i=1}^s \left[ 1 - \frac{\binom{N - N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

$S(n)$  = zu erwartende Artenzahl für bestimmte Individuenzahl  $n$

$n$  = standardisierte Probengröße (1... $N$ )

$N$  = Gesamtindividuenzahl

$N_i$  = Individuenzahl der Art  $i$  in der Probe vor der Ausdünnung  
(festgestellte Artenabundanz)

$S$  = festgestellte Gesamtartenzahl

Im Vergleich zum Diversitätsindex, welcher ausschließlich als hoher bzw. niedriger Wert dargestellt wird, liefert die Methode der Ausdünnung eine höhere Auflösung und somit eine genauere Vergleichbarkeit der Proben untereinander.

Um die Technik der Ausdünnung anwenden zu können benötigt man jedoch eine Mindestanzahl von Arten. Für die Berechnung von *Rarefaction* wurden daher Proben mit einer Anzahl <30 Kopfkapseln mit benachbarten Proben zusammengefasst. Die Berechnung wurde mit dem Programm Past.exe (Hammer *et al.*, 2001) durchgeführt.

## 4 Taxonomie und Ökologie der Chironomiden von Store Koldewey

Die Klassifikation der Arten erfolgte weitgehend nach Wiederholm (1983) und Brooks *et al.* (2007). In dem Probenmaterial des Duck und Hjort Lakes konnten 4 Unterordnungen auseinandergehalten werden. Die Taxonomie enthält den Artnamen, den Erstautor und die jeweilige Literatur, welche zur Bestimmung verwendet wurde.

Die Identifizierung der Kopfkapseln basiert auf den Referenzen von Hofmann (1971), Saether (1975), Cranston (1982), Oliver & Roussel (1983), Wiederholm (1983) und Brooks *et al.* (2007).

### 4.1 Tanypodinae

*Procladius* Skuse

Hofmann (1971: Abb. 3, S. 39), Wiederholm (1983: Abb. 5,27; S. 100), Brooks (2007: Abb. 5,27–5,30; S. 68)

**Hauptmerkmale:** Bei *Procladius* handelt es sich um eine relativ große, stark transparente Kopfkapsel. Die Ligula ist mit nur 5 dunkelgefärbten Zähnen besetzt, wobei die Zähne von außen nach innen kleiner werden.

**Ökologie:** *Procladius* bevorzugt überwiegend das weiche Sediment der seichten Seen oder der Litoralzone von tiefen Seen (Lotter *et al.*, 1997; Brodersen *et al.* 2001a), jedoch kann diese Spezies auch im Profundal vorkommen (Saether, 1979; Brodin, 1986). *Procladius* verfügt über eine hohe Sauerstoff-Regulierung (Heiri & Lotter, 2003; Brodersen *et al.*, 2004) sowie eine hohe Toleranz gegenüber Versauerung (Ilyashuk & Ilyashuk, 2000). Die Art existiert beispielsweise in flachen und relativ warmen arktischen Seen (Walker, 1990).

*Procladius* erscheint über einen weiten Temperaturgradienten, z. B. in subalpinen Seen der Schweiz (Heiri *et al.*, 2003). In den Seen von Norwegen findet sich die Spezies bei durchschnittlichen Julitemperaturen von ca. 5,7–14°C (Brooks & Birks, 2000). Im Süden von Westgrönland existiert *Procladius* in oligosalinen und nährstoffreichen Seen (Brodersen *et al.*, 2001a).

### 4.2 Chironominae

#### 4.2.1 Chironomini

*Chironomus plumosus*-type Meigen

Hofmann (1971: Abb. 14, S. 42), Brooks (2007: Abb. 6,6; 6,7; S. 109/110)

**Hauptmerkmale:** *Chironomus plumosus*-type ist häufig stark pigmentiert. Das Mentum besitzt sechs Paar Seitenzähne und drei Mittelzähne. Die zwei äußeren Mittelzähne sind deutlich kleiner als der zentrale Zahn. Die Mandibeln verfügen über 3 innere Zähne.

**Ökologie:** Das Habitat von *Chironomus plumosus*-type ist sehr vielfältig. So findet man diese Art z. B. in warmen, eutrophen Seen, häufig im Profundal, aber auch im Litoral sowie bei niedrigen pH-Werten und unter geringen Sauerstoffbedingungen bis reduzierenden Milieu (Henrikson *et al.*, 1982; Johnson & Wiederholm, 1989). Selbst in Gewässern mit hoher Salinität konnte die Art nachgewiesen werden (Thienemann, 1954).

*C. plumosus*-type wurde bei Temperaturen von bis zu 37,5 °C gefunden (Thienemann, 1954).

*Sergentia coracina*-type Kieffer

Hofmann (1971: Abb. 35, S. 46), Wiederholm (1983: Abb. 10, 69A–E; S. 420), Brooks (2007: Abb. 6,52; S. 117)

**Hauptmerkmale:** Am auffälligsten von *Sergentia coracina*-type ist die große Ventromentalplatte mit gepaarten Streifen. Die Kopfkapsel ist sehr groß. Auf dem Mentum befinden sich vier Mittelzähne, wobei das innere Paar kleiner ist als das äußere Paar. Die Mandibeln sind mit vier inneren Zähnen und einem Dorsalzahn versehen. Auf der Prämandibel sitzen zwei Apikalzähne.

**Ökologie:** *S. coracina*-type, ein typischer Kaltindikator, bewohnt das Sublitoral und das Profundal von oligotrophen Seen (Thienemann, 1954; Hofmann, 1971; Korhola *et al.*, 2000; Palmer *et al.*, 2002; Larocque *et al.*, 2006). Dennoch findet man sie auch in mesotrophen Seen (Brooks, 2006). Taxa von *Sergentia* bevorzugen kaltes Wasser mit moderater Sauerstoffverarmung (Walker, 1990) und können von einer leichten Übersäuerung profitieren (Brodin & Gransberg, 1993).

*Sergentia*-Arten sind z. B. aus arktischen (Walker *et al.*, 1997; Olander *et al.*, 1999; Larocque *et al.*, 2001) und alpinen Seen (Lotter *et al.*, 1997) bekannt. Die Gattung *Sergentia* ist auch in Norwegen, über einem großen Temperaturintervall mit durchschnittlichen Julitemperaturen von ca. 5,7 bis 14°C, beschrieben (Brooks & Birks, 2000).

#### 4.2.2 Tanytarsini

*Corynocera oliveri*-type Zetterstedt

Wiederholm (1983: Abb. 10,10B/E; S. 361), Brooks (2007: Abb. 7,8–7,10; S. 141)

**Hauptmerkmale:** Die Dorsalseite und die Mentumzähne weisen eine starke Pigmentierung auf. Die häufig abgekauten Mentumzähne bestehen aus je fünf Lateralzähnen und einem



breiten Mittelzahn, wobei die äußeren vier Lateralzähne gleichmäßig angeordnet sind. Die Mandibeln sind mit einem auffällig, großen Oberflächenzahn und dunklen Innenzähnen ausgestattet. *Corynocera oliveri*-type und *Tanytarsus lugens*-type sind schwierig zu unterscheiden. Während die äußeren Lateralzähne auf dem Mentum bei *T. lugens*-type deutlich separiert stehen, sind diese bei *C. oliveri*-type zusammengepresst (Brooks *et al.*, 2007).

**Ökologie:** *Corynocera oliveri*-type erscheint im Norden von Finnland als Kaltwasser-Art (Olander *et al.*, 1999). In Brooks (2006) ist *C. oliveri*-type als ultrakalte, stenotherme, oligotrophe Art erwähnt.

Im südlichen British Columbia treten Spezies von *Corynocera* vermehrt bei gemäßigten Temperaturen auf (Palmer *et al.*, 2002). *C. oliveri*-type findet man z. B. in Norwegen (Brooks & Birks, 2000), in Nordschweden (Bigler *et al.*, 2002) und in Westgrönland (Brodersen & Andersen, 2002). In den Seen Norwegens tritt *C. oliveri*-type in einem großen Temperaturbereich zwischen 5,7 und 14 °C auf (Brooks & Birks, 2000).

#### *Micropsectra insignilobus*-type Kieffer

Brooks (2007: Abb. 7,13; S. 142)

**Hauptmerkmale:** Sehr markant ist der lange Antennensockel mit seinem spitzen Dorn. Auf dem Mentum befinden sich fünf Seitenzähne und ein Mittelzahn. Die Mandibeln besitzen drei innere Zähne, einen Dorsalzahn und haben keine Oberflächenzähne.

**Ökologie:** Die speziesreiche *M. insignilobus*-type besiedelt z. B. kalte, tiefe oligotrophe (Brodersen & Andersen, 2002) und mesotrophe Seen (Wiederholm, 1983). *M. insignilobus*-type ist nicht in der Lage, niedrige Sauerstoffbedingungen zu regulieren (Brodersen *et al.*, 2004), so dass man sie gewöhnlich in nährstoffarmen, sauerstoffreichen Seen beobachtet. Arten von *M. insignilobus*-type existieren vermehrt in säurehaltiger Umgebung (Bitusik & Kubovcik, 1999).

Es handelt sich um eine typische Spezies der Holarktis (Wiederholm, 1983). In den von Brodersen & Anderson (2002) untersuchten Seen von Westgrönland ist *M. insignilobus*-type eine dominante Art.

#### *Micropsectra radialis*-type Kieffer

Brooks (2007: Abb. 7,11; 7,12; S. 141)

**Hauptmerkmale:** *M. radialis*-type und *M. insignilobus*-type unterscheiden sich optisch nur wenig. *M. radialis*-type besitzt einen kürzeren Antennensockel als *M. insignilobus*-type, einen

rundlicheren Postoccipital-Rand auf der Ventralseite sowie eine stark reduzierte Postoccipital-Platte (Heiri & Lotter, 2003).

**Ökologie:** Brundin (1949) beschreibt *M. radialis*-type als profundale und litorale Spezies von kalten subarktischen Seen sowie Gebirgsseen. *M. radialis*-type bevorzugt ein kälteres Klima (mittlere Julitemperatur <10 °C; Larocque *et al.*, 2001) und besitzt eine Säureaffinität (Bitusik & Kubovcik, 1999). Die Art ist nicht in der Lage, niedrige Sauerstoffbedingungen zu regulieren (Brodersen *et al.*, 2004).

In einigen Seen von Westgrönland (Brodersen & Anderson, 2002) erscheint *M. radialis*-type in großer Zahl. In norwegischen Seen tritt die Spezies in einem großen Temperaturintervall, jedoch vermehrt bei Temperaturen zwischen 8 und 12 °C auf (Brooks & Birks, 2000). *M. insignilobus*-type weist ein höheres Temperaturoptimum als *M. radialis*-type auf (Brooks *et al.*, 2007).

*Tanytarsus lugens*-type van der Wulp

Hofmann (1971: Abb. 47, S. 49), Brooks (2007: Abb. 7,33–7,37; S. 145; 146)

**Hauptmerkmale:** *Tanytarsus lugens*-type und *Corynocera oliveri*-type sind schwierig zu unterscheiden. Während die äußeren Lateralzähne bei *C. oliveri*-type auf dem Mentum zusammengepresst sind, stehen sie bei *T. lugens*-type deutlich separiert (Brooks *et al.*, 2007). Fünf Seitenzähne und einen Medianzahn besitzt das Mentum. Sehr markant ist der Oberflächenzahn, drei innere und zwei Dorsalzähne auf der Mandibel.

**Ökologie:** Wiederholm (1983) beschreibt die Gattung *Tanytarsus* allgemein als eutroph, wohingegen die Spezies *T. lugens*-type in Hofmann (1986, 1988) ein Anzeiger für oligotrophe Seen ist. Eine hohe Abundanz von *T. lugens*-type findet man in den seichten Gebirgsseen der Alpen (Heiri *et al.*, 2003). *T. lugens*-type ist in spätglazialen Seesedimenten aus der Litoral- und Profundalzone von Nordeuropa dokumentiert (Brundin, 1949). Norwegens Seen besiedelt *T. lugens*-type in einem großen Temperaturintervall (ca. 5,7–14 °C), wobei sie am häufigsten bei Temperaturen zwischen 8 und 12 °C vorkommt (Brooks & Birks, 2000).

### 4.3 Orthoclaadiinae

*Corynoneura scutellata*-type Winnertz

Cranston (1982: Abb. 23d, S.61), Wiederholm (1983: Abb. 9,13B; S. 220)

**Hauptmerkmale:** Die Kopfkapseln sind klein und pigmentiert. Die drei Medianzähne stehen auf dem Mentum deutlich erhöht über den Lateralzähnen. Der Mittelzahn ist gegenüber seinen Nachbarzähnen stark reduziert. Die fünf Lateralzähne sind relativ gleichmäßig

angeordnet. Auf der Mandibel stehen drei innere Zähne, ein kurzer Apikalzahn und ein langer Dorsalzahn. Auffällig ist die sehr schmale, gewinkelte Ventromentalplatte.

**Ökologie:** *C. scutellata*-type besiedelt gewöhnlich das Litoral relativ warmer, meso- bis eutropher Seen (Brundin, 1949; Brodin & Gransberg, 1993). Eine hohe Temperaturtoleranz charakterisiert diese Spezies (Walker *et al.*, 1997).

Im Norden von Schweden tritt *C. scutellata*-type unter kalten Klimabedingungen und in Sedimenten mit geringem Organikgehalt auf (Larocque *et al.*, 2001). *C. scutellata*-type ist z. B. von Svalbard (Brooks & Birks, 2004) und Ostgrönland (Wagner *et al.*, 2005) bekannt.

#### *Eukiefferiella* Thienemann

Cranston (1982: Abb. 28, S. 75), Wiederholm (1983: Abb. 9,22; S. 229)

**Hauptmerkmale:** Ein auffällig gepaarter Mittelzahn sowie beiderseits fünf Seitenzähne stehen auf dem deutlich gestreiften Mentum.

**Ökologie:** *Eukiefferiella* wird als eurytherm definiert und ist charakteristisch für fließendes Wasser (Wiederholm, 1983; Palmer *et al.*, 2002; Porinchu & MacDonald, 2003).

Diese Gattung existiert, mit Ausnahme der Antarktis, weltweit (Wiederholm, 1983). In den von Brooks und Birks (2000) bearbeiteten Seen aus Norwegen findet man diese Art über ein großes Temperaturintervall, jedoch vermehrt bei durchschnittlichen Julitemperaturen >12°C.

#### *Heterotrissocladius maeaeri*-type Spärk

Saether (1975: Abb. 5, S. 24), Wiederholm (1983: Abb. 9,33D; S. 240), Brooks (2007: Abb. 8,51; 8,52; S. 215)

**Hauptmerkmale:** Die Ventralseite ist stark pigmentiert. Auf beiden Seiten des häufig eingekerbten Mittelzahnes befindet sich ein winziger Zahn. In *H. maeaeri*-type ist die Lücke zwischen dem Mittelzahn und dem ersten Seitenzahn deutlich breiter als bei *Heterotrissocladius* type A oder *H. subpilosus*-type (Brooks *et al.*, 2007).

**Ökologie:** *Heterotrissocladius maeaeri*-type besiedelt ultra- bis stark oligotrophe Seen (Larocque & Bigler, 2004; Wiederholm, 1983). Diese kalt adaptierte (Korhola *et al.*, 2000; Brooks & Birks, 2001), acidophile (Ilyashuk & Ilyashuk, 2000) Spezies bevorzugt tiefe Seen und benötigt vermutlich hohe hypolimnische Sauerstoffkonzentrationen (Porinchu & MacDonald, 2003). Die Gattung *Heterotrissocladius* zählt zu den Sauerstoff-Anpassern und benötigt daher gute Sauerstoffbedingungen (Brodersen *et al.*, 2004).

In Nordschweden erscheint diese Art in tiefen und organikarmen Seesedimenten (Larocque *et al.*, 2001). Im südlichen Westgrönland findet man *Heterotrissocladius* in nährstoffarmen und

weniger produktiven Seen (Brodersen *et al.*, 2001a). *Heterotrissocladius* existiert im polaren Uralgebiet (Andreev *et al.*, 2005) und bewohnt zudem die Litoral- sowie die oberen Profundalzonen der nördlich, auf dem Finnisch-Skandinavischen Schild, gelegenen Seen (Brundin, 1949; Saether, 1975).

*Heterotrissocladius* type A (ähnlich zu *H. subpilosus*-type) Spärk

Saether (1975: Abb. 4, S. 16)

**Hauptmerkmale:** Bei dieser Spezies handelt es sich um einen Morphotyp mit ähnlichen Merkmalen von *H. oliveri*-type und *H. subpilosus*-type (Saether, 1975). Die Mittelzähne von *Heterotrissocladius* type A sind eindeutig länger als die Seitenzähne und länger als die Mittelzähne der von Brooks *et al.* (2007) beschriebenen Spezies *H. subpilosus*-type.

**Ökologie:** *H. subpilosus*-type kommt in sehr kalten Seen vor (Brooks *et al.*, 2007). Das typische Habitat von *Heterotrissocladius* findet man im Profundal von kalten, oligotrophen Seen (Saether, 1979; Brodin, 1986; Walker & MacDonald, 1995). Alle Spezies von *Heterotrissocladius* sind acidophil (Brodin, 1986; Ilyashuk & Ilyashuk, 2000).

In einer Arbeit von Brooks und Birks (2000), welche Seen aus Norwegen untersuchten, existiert *H. subpilosus*-type in einem relativ großen Temperaturbereich mit durchschnittlichen Julitemperaturen zwischen ca. 7 und 13°C.

*Hydrobaenus* type A Fries

Wiederholm (1983: Abb. 9,35; S. 242)

**Hauptmerkmale:** Diese Art ist sehr ähnlich zu *Oliveridia*, während ein einzelner Mittelzahn *Oliveridia* charakterisiert ist dieser bei *Hydrobaenus* type A gepaart. Auffällig ist die schmale Ventromentalplatte mit Verbreiterung zum Apex.

**Ökologie:** Die kalt adaptierte *Hydrobaenus* bevorzugt oligotrophe Bedingungen und erscheint im Litoral von stehenden Gewässern (Cranston *et al.*, 1983; Brodersen & Bennike, 2003; Brodersen *et al.*, 2004). *Hydrobaenus* wird in Brodersen *et al.* (2004) als Sauerstoff-Anpasser (*oxy-conformer*) bezeichnet.

*Hydrobaenus* existiert auf der nördlichen Hemisphäre (Cranston *et al.*, 1983).

*Orthocladius consobrinus*-type van der Wulp

Cranston (1982: Abb. 41, S. 107), Wiederholm (1983: Abb. 9,47G; S. 254), Brooks (2007: Abb. 8,37; S. 213)

**Hauptmerkmale:** Auf dem stark pigmentierten Mentum sitzt ein kleiner Mittelzahn und paarweise sechs Lateralzähne, wobei der zweite Seitenzahn sehr kurz ist. Die sehr enge Ventromentalplatte ist unterhalb vom letzten Seitenzahn gebogen. Die Mandibeln haben drei innere Zähne und einen kurzen Apikalzahn. Der äußere Rand der Mandibel ist häufig mit kleinen Einbuchtungen versehen.

**Ökologie:** Die Gattung *Orthocladius* ist eurytop, d. h. sie kommt in fließenden und stehenden Gewässern sowie einer Vielzahl von aquatischen Biotopen vor (Brooks *et al.*, 2007). Brodin (1986), Saether (1979) und Hofmann (1984) beschreiben *Orthocladius consobrinus*-type als kalt stenotherme Art.

*O. consobrinus*-type ist in der Holarktis weit verbreitet (Oliver & Roussel, 1983). Auf Svalbard besiedelt die Gattung *Orthocladius* die produktiveren Seen mit pH Werten von ca. 8 (Brooks & Birks, 2004). In den von Brodersen und Anderson (2002) bearbeiteten Seen aus Westgrönland kommt *O. consobrinus*-type sehr selten vor.

#### *Orthocladius* type I

Brooks (2007: Abb. 8,38; S. 213)

**Hauptmerkmale:** *Orthocladius* type I besitzt einen ausgeprägt längeren Mittelzahn als *O. consobrinus*-type. Die Zähne sind gleichmäßiger angeordnet, als bei *O. consobrinus*-type.

**Ökologie:** (möglicherweise ähnlich zu *O. consobrinus*-type)

#### *Orthocladius clarki*-type van der Wulp

Wiederholm (1983: Abb. 9,47D; 9,48A; S. 254)

**Hauptmerkmale:** Der Mittelzahn von *O. clarki*-type ist deutlich breiter als bei den zwei anderen Morphotypen *O. consobrinus*-type und *Orthocladius* type I.

**Ökologie:** Von *Orthocladius clarki*-type ist sehr wenig bekannt. In den aus Norwegen von Brooks und Birks (2000) untersuchten Seen findet man diese Art vermehrt in einem wärmeren Temperaturbereich, bei einer durchschnittlichen Julitemperatur zwischen 10 und 14°C. *O. clarki*-type kommt in fließenden und stehenden Gewässern sowie einer Vielzahl von aquatischen Biotopen vor (Brooks *et al.*, 2007).

#### *Oliveridia* Saether

Wiederholm (1983: Abb. 9,46; S. 253), Brooks (2007: Abb. 8,69; S. 218)

**Hauptmerkmale:** Am markantesten bei *Oliveridia* ist die breiter werdende Ventromentalplatte. Auf dem Mentum sitzt ein Mittelzahn sowie 6 Lateralzähne. *Oliveridia* ist sehr ähnlich zu *Hydrobaenus*.

**Ökologie:** In Brooks und Birks (2004) und Brooks (2006) ist *Oliveridia* als eine kalte, stenotherme Spezies beschrieben, welche in ultraoligotrophen Seen zu finden ist (Cranston *et al.*, 1983).

Die Gattung ist aus Svalbard (Brooks & Birks, 2004) und den Tundraseen Eurasiens bekannt (Brooks, 2006).

#### *Paracladius* Hirvenoja

Wiederholm (1983: Abb. 9,50; S. 257), Brooks (2007: Abb. 8,71; S. 218)

**Hauptmerkmale:** Sechs Lateralzähne und ein auffallend breiter Mittelzahn beschreiben relativ eindeutig die Spezies *Paracladius*.

**Ökologie:** Oligotrophe Seen und tiefe profundale Habitate charakterisieren die kalt stenotherme *Paracladius* (Walker, 1990; Lotter *et al.*, 1997; Brooks, 2006).

*Paracladius* existiert z. B. in der Arktis (Walker, 1990) und in alpinen Seen (Lotter *et al.*, 1997). In Ostkanada besiedelt *Paracladius* Seen mit einem großen Temperaturtoleranzbereich (Walker *et al.*, 1997). Im Nordwesten Kanadas ist *Paracladius* auf die arktische Tundra begrenzt (Walker *et al.*, 2003).

#### *Parakiefferiella nigra*-type Thienemann

Brooks (2007: Abb. 8,76; 8,77; S. 219)

**Hauptmerkmale:** Das Mentum ist mit einem dreieckigen Mittelzahn und paarweise sechs Lateralzähnen ausgestattet. Der zweite Seitenzahn ist extrem klein, so dass optisch eine große Lücke entsteht.

**Ökologie:** Walker *et al.* (1992) und Walker & MacDonald (1995) dokumentieren *Parakiefferiella nigra*-type als eine kalte, oligotrophe und litorale Spezies.

*P. nigra*-type findet man weit verbreitet im arktischen und subarktischen Raum (Walker *et al.*, 1992).

#### *Psectrocladius sordidellus*-type Kieffer

Hofmann (1971: Abb. 13, S. 42), Cranston (1982: Abb. 49g, S. 125), Wiederholm (1983: Abb. 9,61F; S. 268), Brooks (2007: Abb. 8,94; S. 222)

**Hauptmerkmale:** Auf dem Mentum stehen ein Paar Median- und fünf Lateralzähne, wobei die Medianzähne einen kleinen Ansatz besitzen. Die Ventromentalplatte vergrößert sich in dreieckiger Form zum Apex hin.

**Ökologie:** *P. sordidellus*-type ist aus wärmeren Gewässern der humiden Klimate dokumentiert (Brodin & Gransberg, 1993; Olander *et al.*, 1999; Porinchu *et al.*, 2003; Brodersen *et al.*, 2004). *Psectrocladius* Arten sind Sauerstoff-Anpasser (Brodersen *et al.*, 2004) und acidophil (Henrikson *et al.*, 1982; Walker *et al.*, 1997; Brooks & Birks, 2000). Diese Spezies erscheint über einen großen Temperaturbereich (Lotter *et al.*, 1997). Arten von *Psectrocladius* treten zwar häufiger in den produktiveren Waldseen auf (Porinchu & MacDonald, 2003), jedoch findet man diese auch oberhalb der Baumgrenze (Lotter *et al.*, 1998).

Im nordwestlichen Quebec (Kanada) ist *P. sordidellus*-type als kältester Indikator beschrieben (Larocque *et al.*, 2006). Walker (1990) dokumentiert *Psectrocladius* aus alpinen und arktischen Habitaten.

#### 4.4 Diamesinae

*Diamesa zernyi/cinerella*-type Meigen

Brooks (2007: Abb. 9,4; S. 230)

**Hauptmerkmale:** Die Mentumzähne sind generell sehr einheitlich. Die drei breiten Mittelzähne und der erste Lateralzahn bilden eine Gruppe. Die Seitenzähne stehen sehr dicht beieinander.

**Ökologie:** *Diamesa* besiedelt gewöhnlich oligotrophe Seen (Saether, 1979) und ist vermutlich nicht in der Lage, niedrige Sauerstoffbedingungen zu regulieren (Brodersen *et al.*, 2004). Es handelt sich um eine kalt adaptierte Gattung, welche sowohl in fließenden als auch in stillen Gewässern vorkommt (Oliver & Roussel, 1983).

Arten von *Diamesa* erscheinen in den Seen der alpinen Tundra, oberhalb der Baumgrenze (Larocque *et al.*, 2001). *Diamesa* existiert z. B. in subglazialen Schmelzwassersystemen des Himalaja (Kohshima, 1984). Im Norden von Schweden tritt *Diamesa* bei einer durchschnittlichen Julitemperatur  $<10$  °C auf (Larocque *et al.*, 2001). Aus Brandungsbereichen großer Seen auf Island ist diese Gattung auch bekannt (Brooks *et al.*, 2007).

*Pseudodiamesa* Goetghebuer

Wiederholm (1983: Abb. 7,11; S. 135), Brooks (2007: Abb. 9,7; 9,8; S. 231)

**Hauptmerkmale:** Die Mentumzähne sind sehr ungleichmäßig angeordnet. Ein Medianzahn und sieben Paar Lateralzähne stehen auf dem Mentum. Die ersten Seitenzähne sind leicht größer als der Mittelzahn. Die zweiten, sehr kurzen Seitenzähne sind an dem ersten Seitenzahnpaar angeschmolzen.

**Ökologie:** *Pseudodiamesa* ist charakteristisch für kalte Klimabedingungen (Walker, 1990). Man findet diese Spezies im Profundal oligotropher Seen (Oliver, 1983).

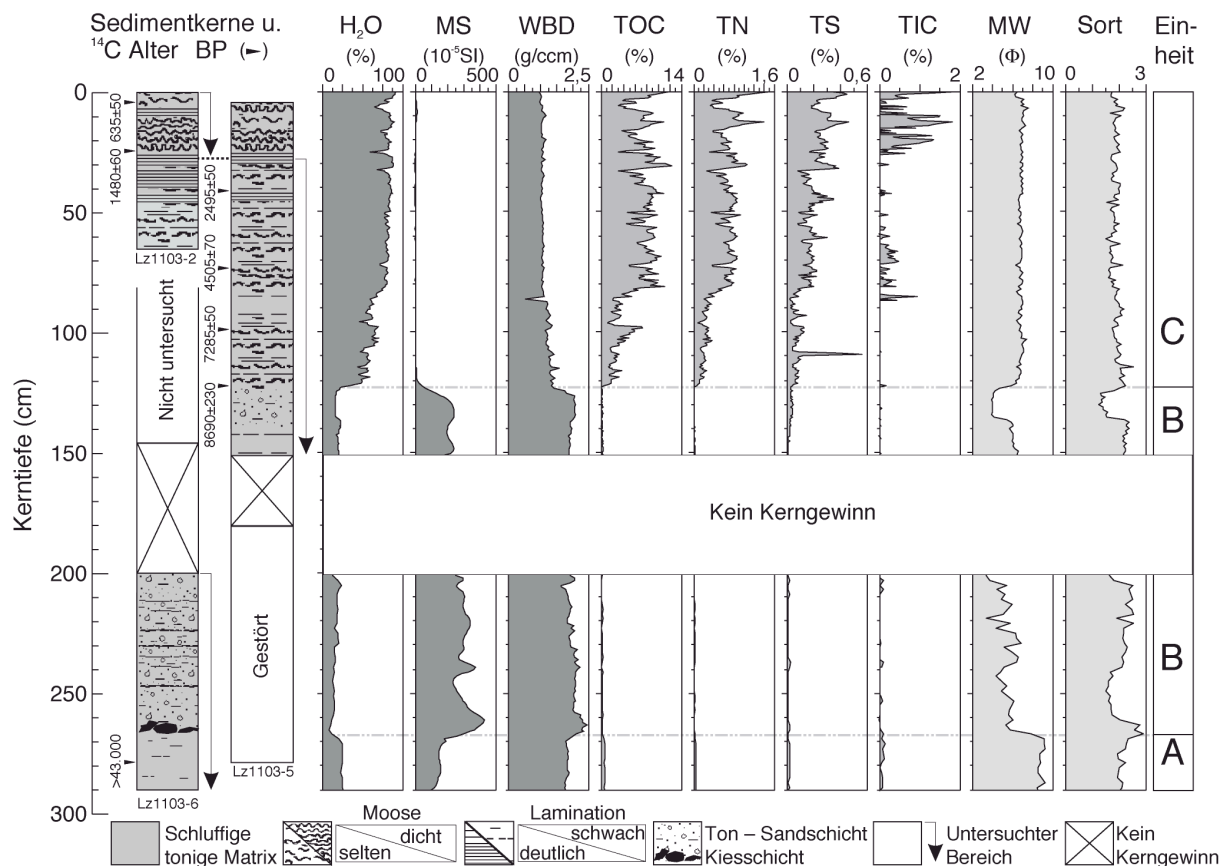
In Nordschweden bevorzugt diese Art eine durchschnittliche Julitemperatur  $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Larocque *et al.*, 2001). Sie existiert beispielsweise in den Seen der alpinen Tundra, oberhalb der Baumgrenze (Larocque *et al.*, 2001; Walker & Mathews, 1989) sowie in der arktischen Fauna von Kanada (Walker, 1990).



## 5 Duck Lake

### 5.1 Lithostratigraphie

Nach einer Korrelation von Schwere- (Lz1103-2) und Kolbenlot (Lz1103-5) beträgt die Gesamtlänge der Sedimentsequenz vom Duck Lake 290 cm, mit einem Kernverlust zwischen 200 und 152 cm. Basierend auf die Sedimentkernbeschreibung lässt sich der Kern in drei Einheiten unterteilen (Abb. 16).



**Abb. 16** Übersicht der Lithologie, Chronologie, des Wassergehaltes und verschiedener sedimentphysikalischer, geochemischer und Korngrößenparameter sowie der Stratigraphie der Kernsequenz Lz1103 gegen die Tiefe (modifiziert nach Klug *et al.*, 2009). Schwarze Pfeile kennzeichnen Horizonte der <sup>14</sup>C Alter, gemessen an Pflanzenresten, Moosen und Bulk (Tab. 4).

#### Einheit A (290 bis 268 cm)

Die Matrix der untersten Einheit besteht aus festem, grauen Ton und Silt. Das Sediment ist homogen mit sporadisch, leichter Lamination. Zum Hangenden zeigt dieser Abschnitt eine leichte Korngrößenzunahme, was auf eine allmähliche Zunahme der Transportenergie hindeutet, während die Sortierung abnimmt. Die magnetischen Suszeptibilität (MS) zeigt

geringfügige Wechsel mit einem leichten Anstieg zum Top gemessen (Klug *et al.*, 2009). Der Wassergehalt ist niedrig und repräsentiert den geringen Gehalt an organischer Substanz (Klug *et al.*, 2009). Chironomiden sind in Einheit A abwesend.

#### Einheit B (268 bis 123 cm)

Die Sedimente in Einheit B sind grau bis dunkelgrau. An der Basis dieser Einheit befindet sich eine Kieslage mit Steinen bis zu 60 mm Durchmesser. Demnach war der Eisrand zu dieser Zeit vermutlich sehr nah am Duck Lake lokalisiert. Laminierte Horizonte von Ton, Silt, Sand und Feinkies charakterisieren den Bereich oberhalb der Kieslage. Wechsellagerungen von Kies und Sand (überwiegend <2 cm) markieren diesen Bereich, begleitet von starken Schwankungen der mittleren Korngröße und der Sortierung zwischen 245 und 208 cm (Klug *et al.*, 2009). Ein generell niedriger Wassergehalt, eine hohe MS und WBD resultieren vermutlich aus den größeren Korngrößen. Die leichte Zunahme am Gesamtschwefel in Richtung Oberfläche ist vermutlich auf eine postsedimentäre Migration von Schwefel aus überlagernden Schichten oder einem Wechsel der Sedimentquelle zurückzuführen (Klug *et al.*, 2009). Chironomiden sind nicht vorhanden.

#### Einheit C (123 bis 0 cm)

Die jüngste Einheit C enthält Chironomiden. Das Sediment, bestehend aus Silt und Ton von dunkel- bis olivgrauer Farbe, ist deutlich weicher als das der beiden unteren Einheiten. Der konstante Verlauf der Korngröße und der Sortierung in dieser Einheit repräsentiert die feinkörnige Matrix mit vereinzelt Sandkörnern. Aquatische Moose lassen sich mehr oder weniger, mit Ausnahme zwischen 100 und 80 cm, über die ganze Einheit verfolgen. Bei den aquatischen Moosen handelt es sich vermutlich um *Warnstorfia exannulata* (Klug *et al.*, 2009). Moosarme bzw. moosfreie Horizonte weisen eine deutliche Lamination (max. 1 cm) auf. Die hohen Gehalte an TOC und TN reflektieren die zunehmende Bedeutung der biogenen Sedimentation, die sich durch einen extremen Anstieg im Wassergehalt, geringere Werte in der Feuchtraumdichte und eine extrem geringe Magnetischen Suszeptibilität bemerkbar macht. Das TOC/TN Verhältnis in Einheit C besitzt einen Wert von ungefähr 10 (Klug *et al.*, 2009), was auf eine gemischt autochthone und allochthone Herkunft der Organik hindeutet (Meyers & Ishiwatari, 1995). Während aquatische, gefäßlose Pflanzen meist ein niedriges C/N Verhältnis zwischen 4 und 10 aufweisen, enthalten Gefäßpflanzen auf dem Festland ein C/N Verhältnis von 20 und größer (Meyers & Ishiwatari, 1995).

Ein leichter Anstieg im TIC setzt bei 85 cm ein.

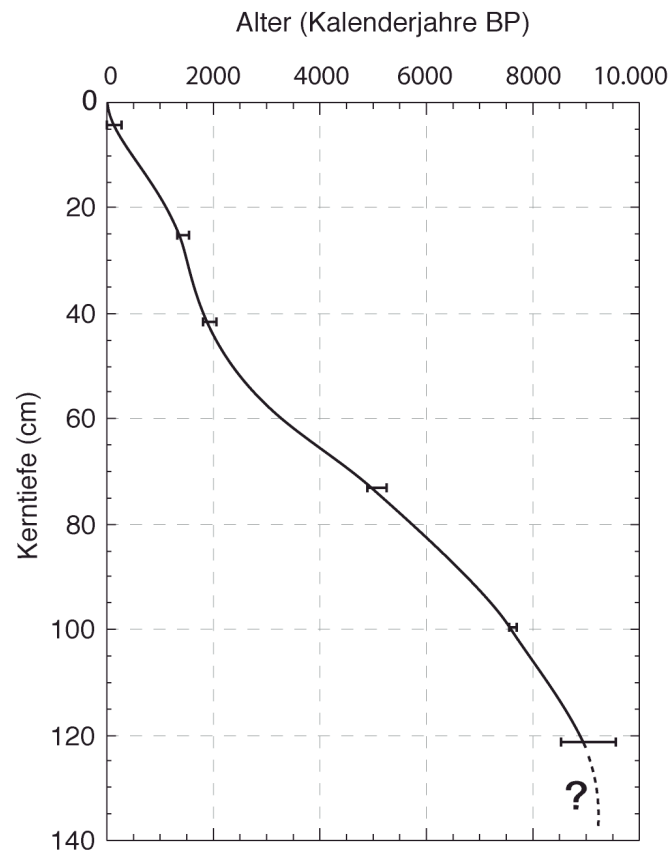
## 5.2 Chronologie

Die älteste Radiokarbondatierung, gemessen am Gesamtsediment aus einer Tiefe von 272–274 cm, zeigt ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $>43,000$   $^{14}\text{C}$ -Jahre BP (Tab. 4). Damit liegt sie außerhalb des  $^{14}\text{C}$ -Bereiches und wird für die Chronologie nicht verwendet. Es ist bekannt, dass Radiokarbondaten von Gesamtsediment-Proben, verglichen zu Datierungen von terrestrischen Pflanzenresten und aquatischen Moosen, häufig ein zu hohes Alter aufweisen (Björk & Wohlfarth, 2001). Das Einsetzen der biogenen Produktion im Duck Lake wurde an aquatischen Moosen aus einer Tiefe von 121–121,5 cm auf  $9031 \pm 515$  Kalenderjahre BP datiert. Die obersten Moose besitzen in einer Tiefe von 4,25 cm, nach der Korrektur von 520 Jahren, ein Alter von  $115 \pm 50$  Jahre BP. Dieses  $^{14}\text{C}$ -Alter ist vermutlich durch den Atombombentest nicht beeinträchtigt (Klug *et al.*, 2009).

**Tab. 4** Radiokarbonalter der Kernsequenz Lz1103 vom Duck Lake. Aquatische Moose wurden um einen Reservoir-Effekt von 520 Jahre korrigiert (modifiziert nach Klug *et al.*, 2009).

Probe	Kern	Tiefe (cm)	Material	$^{14}\text{C}$ Alter (BP)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Alter korrr.	Kalenderalter (Jahre BP)
LuS-6717	Lz1103-2	3,5-5,5	Aquatisches Moos	$635 \pm 50$	-25,4	115	278 - 8
LuS-6522	Lz1103-2	25-25,5	Aquatisches Moos	$2000 \pm 60$	-26,2	1480	1517 - 1294
LuS-6661	Lz1103-2	25-25,5	Terrestrische Pflanzen	$1480 \pm 60$	-31,5		1517 - 1294
LuS-6716	Lz1103-5	42-43	Aquatisches Moos	$2495 \pm 50$	-24,8	1975	2054 - 1820
LuS-6524	Lz1103-5	73,25	Terrestrische Pflanzen	$4505 \pm 70$	-27,3		5320 - 4958
LuS-6715	Lz1103-5	100-101	Aquatisches Moos	$7285 \pm 50$	-26,4	6765	7686 - 7564
LuS-6525	Lz1103-5	121-121,5	Aquatisches Moos	$8690 \pm 230$	-35,4	8170	9547 - 8517
LuS-6526	Lz1103-6	272-274	Bulk	$>43,000$	-22,4	-	-

Paralleldatierungen an aquatischen Moosen und terrestrischen Pflanzenresten aus dem gleichen Horizont (25–25,5 cm) ergeben einen Reservoir-Effekt der aquatischen Moose von ca. 520 Jahre, um den die  $^{14}\text{C}$ -Alter aller datierten Moose korrigiert wurden. Die Sedimentsequenz, von 123 cm bis zur Sedimentoberfläche, in der Chironomiden auftreten, umfasst mindestens die letzten 9100 Jahre (Klug *et al.*, 2009; Abb. 17). Ein Hartwassereffekt der  $^{14}\text{C}$ -Proben durch eine Kontamination mit altem Kohlestoff im See, z. B. aus  $^{14}\text{C}$ -verarmten Schmelzwasser von Gletscherresten aus dem Einzugsgebiet (Björk & Wohlfarth, 2001), kann nicht ausgeschlossen werden.



**Abb. 17** Die Alters-Tiefen-Korrelation von Sequenz Lz1103 aus dem Duck Lake (modifiziert nach Klug *et al.*, 2009).

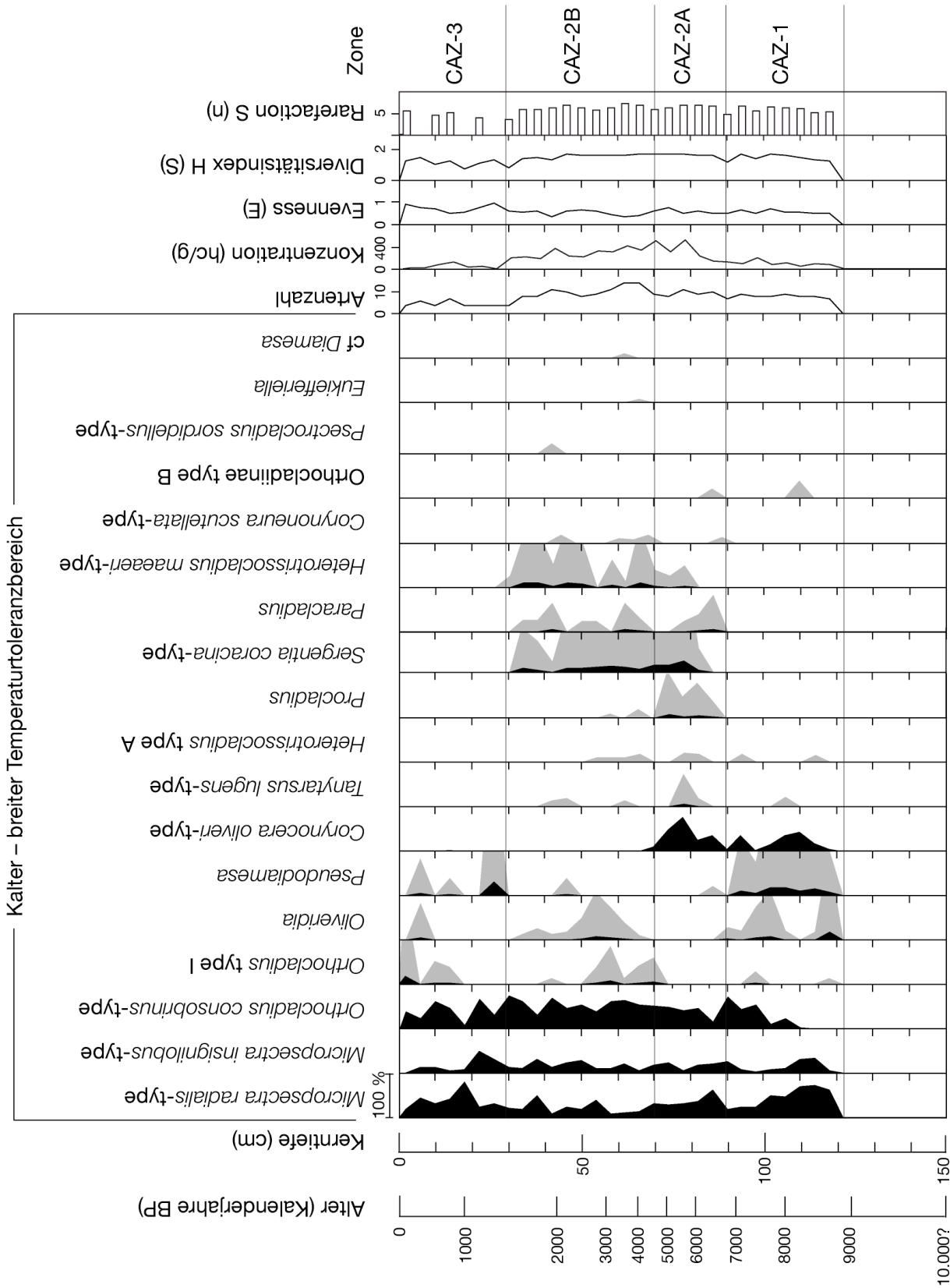
### 5.3 Detaillierte Chironomiden-Stratigraphie, Diversität, Homogenität und Ausdünnung

An 30 Proben des Kernes Lz1103 wurden fossile Chironomiden-Vergesellschaftungszonen aus den Sedimenten des Duck Lakes analysiert. Insgesamt konnten 18 Arten identifiziert werden (Abb. 18).

Ähnlich hohe Artenzahlen findet man in hocharktischen Seen, z. B. auf Svalbard (Brooks & Birks, 2004) und im zentralen Ostgrönland (Wagner *et al.*, 2005).

Diversität und Ausdünnung (*Rarefaction*) der Chironomiden-Vergesellschaftungen sind im Kern des Duck Lakes relativ konstant. Die Lücken bei der Angabe von *Rarefaction* in den oberen 30 cm sind ein Ergebnis der niedrigen Konzentration von Chironomiden in diesem Bereich. Deutliche Wechsel in der Anzahl der Arten und in der Konzentration der Chironomiden-Kopfkapseln sind zu beobachten. Beide Werte sind in den unteren Horizonten relativ niedrig, höher zwischen ca. 80 und 50 cm, und niedriger in den oberen 30 cm in der Einheit C des Sedimentkernes. *Psectrocladius sordidellus*-type, *Eukiefferiella* und *Diamesa* sind nur vereinzelt bzw. in sehr geringen Häufigkeiten über die Einheit C verteilt. Dagegen erscheinen die Spezies *Micropsectra radialis*-type, *M. insignilobus*-type und *Orthocladius consobrinus*-type kontinuierlich und mit einer überwiegend hohen Abundanz über die

gesamte Sedimentsequenz der Einheit C. In Sedimentsequenzen aus der russischen Arktis (Andreev *et al.*, 2004) und Nord-Norwegens (Brooks, 2006) erscheint *M. insignilobus*-type ebenso über das komplette Holozän. Die niedrigen Artenvorkommen von 4 bis 11 Taxa je Probe aus Einheit C sind typisch für arktische und subarktische Seen (z. B. Brooks & Birks, 2004; Wagner *et al.*, 2005). Die Artenvielfalt von Oberflächenproben aus Seen Westgrönlands (Brodersen & Anderson, 2002) stimmt gut mit der Diversität der Arten des Duck Lakes überein.



**Abb. 18** Artenzusammensetzung, Abundanz und Diversität einer detaillierten Chironomiden-Stratigraphie des Duck Lakes gegen das Alter und die Sedimenttiefe dargestellt. Graue Farben entsprechen einer Überhöhung mit Faktor 10.

#### 5.4 Chironomiden-Vergesellschaftungszonen

Gemeinsam auftretende Chironomiden bilden eine sogenannte Chironomiden-Vergesellschaftungszone (CAZ, *chironomid assemblage zone*, Abb. 18). Die Einteilung in die verschiedenen CAZ erfolgt entsprechend dem Auftreten bzw. Verschwinden zusammen vorkommender Chironomiden. Die Ursachen für diese Wechsel sind vermutlich eine Folge von Klima- und Umweltveränderungen. Einige Arten, wie z. B. *Micropsectra radialis*-type und *Micropsectra insignilobus*-type dominieren jedoch über das komplette Holozän von Store Koldewey.

##### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 1 (CAZ-1, 120–90 cm)

CAZ-1 setzt mit dem ersten Auftreten von Chironomiden bei 120 cm ein und reicht bis 90 cm (9000–6800 Kalenderjahre BP). Die Konzentration und Diversität der Chironomiden bleibt in diesem Zeitraum relativ niedrig. *Micropsectra radialis*-type, *M. insignilobus*-type, *Oliveridia*, *Pseudodiamesa* und *Corynocera oliveri*-type zählen zu den ersten Arten im See. Erste Exemplare von *O. consobrinus*-type erscheinen in CAZ-1 mit leichter Verzögerung. Im weiteren Verlauf von CAZ-1 findet sich die Art, wie auch die beiden Spezies *M. radialis*-type und *M. insignilobus*-type in hoher Zahl. *O. consobrinus*-type ist charakteristisch für arktische Seen, z. B. in Seesedimenten von Norwegen, Svalbard (Brooks & Birks, 2001) und Westgrönland (Brodersen & Anderson, 2002). Die Arten *Pseudodiamesa* und *Oliveridia* sind in der holarktischen Region sehr selten zu finden. Zum Beispiel treten beide Taxa in einem Sedimentrekord der kanadischen Arktis sehr sporadisch auf (Briner *et al.*, 2006).

##### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 2A (CAZ-2A, 90–70 cm)

Einen deutlichen Wechsel in der Chironomiden-Vergesellschaftung ist in der Zone CAZ-2A, im Bereich von 90 bis 70 cm Tiefe (6800–4700 Kalenderjahre BP) zu beobachten. Zwischen 90 und 80 cm (6800–5800 Kalenderjahre BP) zählt die Chironomiden-Abundanz bereits ca. 100 bis 200 Kopfkapseln pro Gramm und steigt, beginnend bei ca. 80 cm (ab 5800 Kalenderjahre BP), in Richtung Top drastisch an. Ein Maximum von 502 Kopfkapseln pro Gramm deutet vermutlich auf eine relativ hohe Seeproduktivität hin.

Während in dieser Zone *M. radialis*-type, *M. insignilobus*-type und *O. consobrinus*-type in signifikanten Konzentrationen auftreten, verschwinden die Spezies *Pseudodiamesa* und *Oliveridia*. Sie werden durch *Paracladius*, *Procladius* und *Sergentia coracina*-type ersetzt. *C. oliveri*-type besitzt seine höchsten Prozente in dieser Zone.

#### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 2B (CAZ-2B, 70–30 cm)

CAZ-2B umfasst den Zeitraum zwischen 4700 und 1500 Kalenderjahre BP. Die Chironomiden aus CAZ-2B besitzen eine hohe Chironomiden-Abundanz und erreichen die höchste Anzahl von identifizierten Taxa. Ein extremer Rückgang der Gattungen *Procladius* und *C. oliveri*-type zeigt verschlechterte Lebensbedingungen an. In dieser Periode erscheinen: *M. radialis*-type, *M. insignilobus*-type, *O. consobrinus*-type, *S. coracina*-type, *Paracladius*, *H. maeaeri*-type, *Oliveridia* und *Orthocladius* type I.

#### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 3 (CAZ-3, 30–0 cm)

In der Zone CAZ-3, die den letzten 1500 Kalenderjahren BP entspricht, verändert sich die Vergesellschaftung der Chironomiden signifikant. Es ist eine deutliche Abnahme der identifizierten Spezies und in der absoluten Häufigkeit der Kopfkapseln zu beobachten. Eine Ausnahme, mit ansteigender Chironomiden-Abundanz, existiert zwischen 1300 und 800 Kalenderjahren BP. *S. coracina*-type, *H. maeaeri*-type und *Paracladius* werden durch *Pseudodiamesa* ersetzt. Während *S. coracina*-type in den Sedimenten des Früh- und Spätholozäns im Duck Lake fehlt, erscheint diese beispielsweise in einem Sedimentrekord der russischen Arktis im Postglazial allgegenwärtig (Andreev *et al.*, 2004). Das früh- und spätholozäne Auftreten von *Pseudodiamesa* Arten des Duck Lakes stimmt gut mit der Verteilung der relativen Häufigkeiten aus dem Holozän in der kanadischen Arktis, im Nordosten von Baffin Island, überein (Briner *et al.*, 2006).

### 5.5 Hauptkomponentenanalyse (PCA: Principal Components Analysis)

Die Haupttrends in der Chironomiden-Vergesellschaftung im Duck Lake wurden mittels einer Hauptkomponentenanalyse zusammengefasst.

Die PCA Achse 1 erklärt 29 % und Achse 2 16,6 % der Gesamtvarianz der Speziesdaten, woraus sich eine erklärte Varianz von 45,6 % innerhalb der Chironomidendaten addiert (Abb. 19). Aufgrund der PCA-Ergebnisse lassen sich CAZ-1, CAZ-2A und CAZ-2B deutlich von allen anderen Proben unterscheiden.

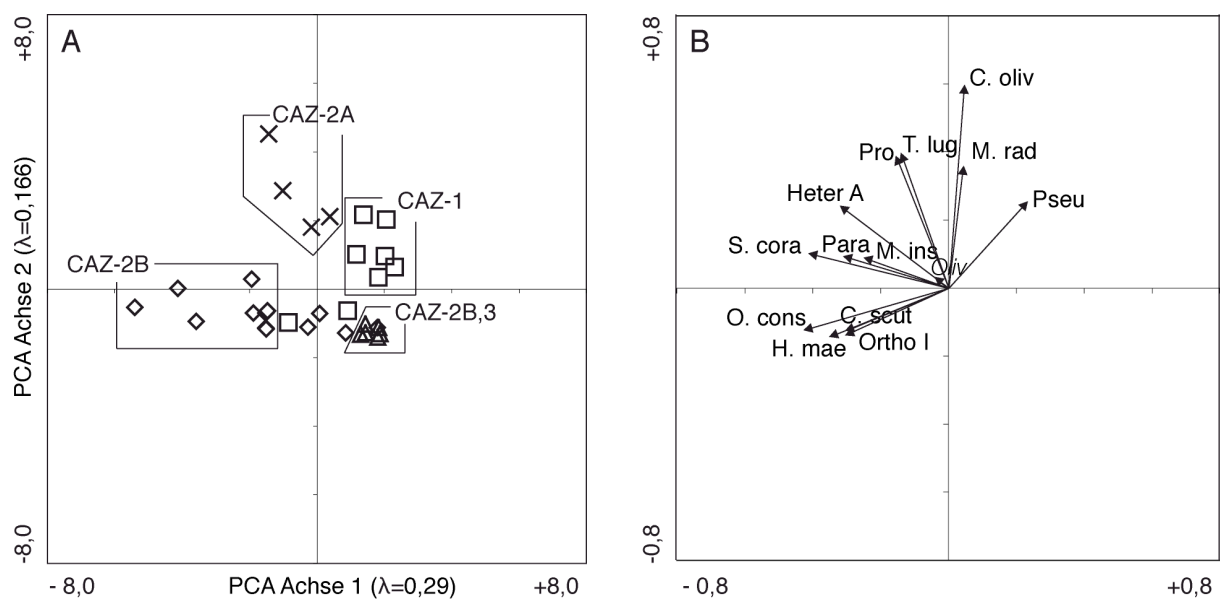
*S. coracina*-type, *Paracladius*, *H. maeaeri*-type, *O. consobrinus*-type, *Orthocladius* type I und *C. scutellata*-type, charakteristisch für CAZ-2B, zeigen stark negative Ladungen für die erste Achse. Diese Arten sind allgemein aus kälteren Regionen bekannt. So wird z. B. die Spezies *S. coracina*-type in Thienemann (1954), Hofmann (1971), Korhola *et al.* (2000), Palmer *et al.* (2002) und Larocque *et al.* (2006) als Kaltindikator erwähnt. *Paracladius* existiert in extrem



kalten Seen Skandinaviens (Brooks *et al.*, 2007) und wird z. B. in Walker (1990), Lotter *et al.* (1997), Walker *et al.* (1997) und Brooks (2006) als kalt adaptierte Art aufgeführt.

Die Mehrheit der Spezies aus CAZ-2A zeigt positive (z. B. *Procladius*, *T. lugens*-type) sowie stark positive Ladungen für Achse 2 (*C. oliveri*-type). Diese Arten repräsentieren eine Tendenz zu wärmeren Temperaturen. *C. oliveri*-type erscheint z. B. in Nordschweden in leicht höher temperierten Seen (Larocque *et al.*, 2001) und *Procladius* in den wärmeren Seen der Arktis (Walker, 1990). Die Kaltanzeiger *M. radialis*-type (Brundin, 1949; Brodin, 1986) und *Pseudodiamesa* (Walker, 1990), welche eine Dominanz in CAZ-1 besitzen, tendieren ebenfalls zu positiven Werten für Achse 2. Möglicherweise verfügen die Chironomiden im Duck Lake über sehr ähnliche Eigenschaften, da keine eindeutige Antikorrelation zu einer beliebigen Achse erkennbar ist. Jedoch deuten die stark positiv zu Achse 2 stehenden Arten auf leicht wärmere Bedingungen, als jene von Achse 1, hin.

Die optisch festgelegten Chironomiden-Vergesellschaftungszonen lassen sich nach Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse wiederfinden.



**Abb. 19** A: PCA der Chironomiden-Vergesellschaftungen des Duck Lakes (Quadrat = CAZ-1, Kreuz = CAZ-2A, Karo = CAZ-2B, Dreieck = CAZ-3). B: Wichtungen der Chironomiden-Arten (Spezies mit geringer, signifikanter Abundanz wurden nicht einbezogen). Abkürzungen: C. scut = *C. scutellata*-type, C. oliv = *C. oliveri*-type, Heter A = *Heterotrissocladius* type A, H. mae = *H. maeaeri*-type, M. ins = *M. insignilobus*-type, M. rad = *M. radialis*-type, Oliv = cf *Oliveridia*, O. cons = *O. consobrinus*-type, Ortho I = *Orthocladius* type I, Para = *Paracladius*, Pro = *Procladius*, Pseu = *Pseudodiamesa*, S. cora = *S. coracina*-type, T. lug = *T. lugens*-type.

## 6 Hjort Lake

### 6.1 Lithostratigraphie

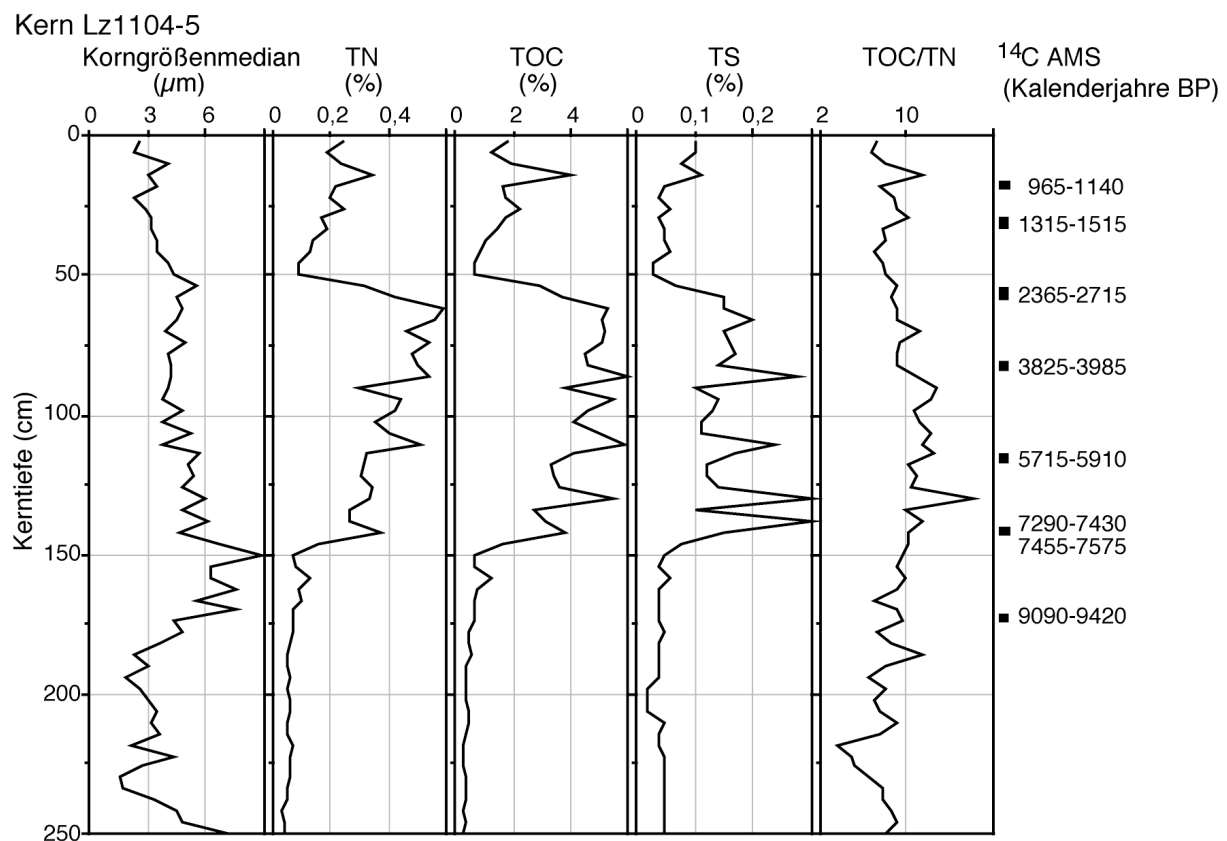
Die Korrelation von Lz1104-1 und Lz1104-5 basiert auf Veränderungen der biogeochemischen Parameter und den Ergebnissen der Radiokarbonaten (Wagner *et al.*, 2008). Die Basis des 252 cm langen Sedimentkernes Lz1104-5, geborgen mit einem *Russian corer*, besteht aus einem feinkörnigen, klastischen Material von grauer Farbe mit leichter Feinsandlaminae (Tab. 5). Im Bereich von 180 cm bis zur Sedimentoberfläche setzt sich die Matrix, mit Ausnahme eines moosfreien homogenen Tonhorizontes zwischen 51 und 32 cm, aus Ton-Mudden zusammen (Wagner *et al.*, 2008; Tab. 5). Aquatische Moose sind oberhalb von 170 cm, mit Ausnahme von 152 bis 138 cm und zwischen 51 und 32 cm, über den kompletten Kern präsent. Bei den aquatischen Moosen handelt es sich um *Warnstorfia exannulata* (Wagner *et al.*, 2008). Chironomiden erscheinen ab 242 cm durchgängig bis zur Sedimentoberfläche.

**Tab. 5** Lithologische Beschreibung vom Kern Lz1104-5 des Hjort Lakes (Wagner *et al.*, 2008).

Tiefe (cm)	Lithologie
0–13	Ton-Mudde, moosarm
13–17	Ton-Mudde, moosreich
17–27	Ton-Mudde, moosarm
27–32	Ton-Mudde mit Moosen
32–51	Homogener Ton, keine Moose
51–56	Geschichteter Ton-Mudde mit Moosen
56–61	Homogener Ton-Mudde, moosarm
61–68	Geschichteter Ton-Mudde mit Moosen
68–70	Ton-Mudde, moosreich
70–74	Ton-Mudde, moosarm
74–78	Ton-Mudde, moosreich
78–84	Ton-Mudde, moosarm
84–126	Homogener Ton-Mudde, moosreich
126–138	Geschichteter Ton-Mudde, moosarm
138–152	Laminierter Ton-Mudde
152–170	Ton-Mudde Lagen, moosarm
170–180	Homogener Ton-Mudde
180–218	Laminierter Ton und Silt
218–237	Ton und Silt mit Feinsandlaminae
237–252	Silt mit Lagen und Laminae von Feinsand

Der Korngrößenmedian besitzt seine niedrigsten Werte bei ca. 230 und 185 cm (Abb. 20), in den Ton dominierten Schichten. Bei 180 cm steigt der Korngrößenmedian nach Top signifikant auf ein erhebliches Maximum, welches stufenweise zwischen 150 und 100 cm sowie zwischen 50 und 20 cm abnimmt (Wagner *et al.*, 2008).

Die organische Akkumulation (TN, TOC) bleibt von der Basis bis 150 cm gering und steigt oberhalb bis 60 cm allmählich an (Wagner *et al.*, 2008). Das TOC/TN Verhältnis mit einem Wert von durchschnittlich 10 (Abb. 20) deutet einen autochthonen und allochthonen Input des organischen Materials an (Meyers & Ishiwatari, 1995). Die TS Messungen korrelieren mit dem Gehalt an organischem Material (Abb. 20).



**Abb. 20** Der Korngrößenmedian, die Biogeochemie sowie die Radiokarbonalter des Kernes Lz1104-5 aus dem Hjort Lake gegen die Kerntiefe abgebildet (modifiziert nach Wagner *et al.*, 2008).

## 6.2 Chronologie

Die Ergebnisse der Radiokarbonaten der Kerne Lz1104-1 und Lz1104-5 ergeben eine kontinuierliche Altersabfolge (Tab. 6, Abb. 21). Das maximale Alter für den Kern Lz1104-1 wurde, in einer Tiefe zwischen 62 und 62,5 cm, auf 6400–6630 Kalenderjahre BP datiert.

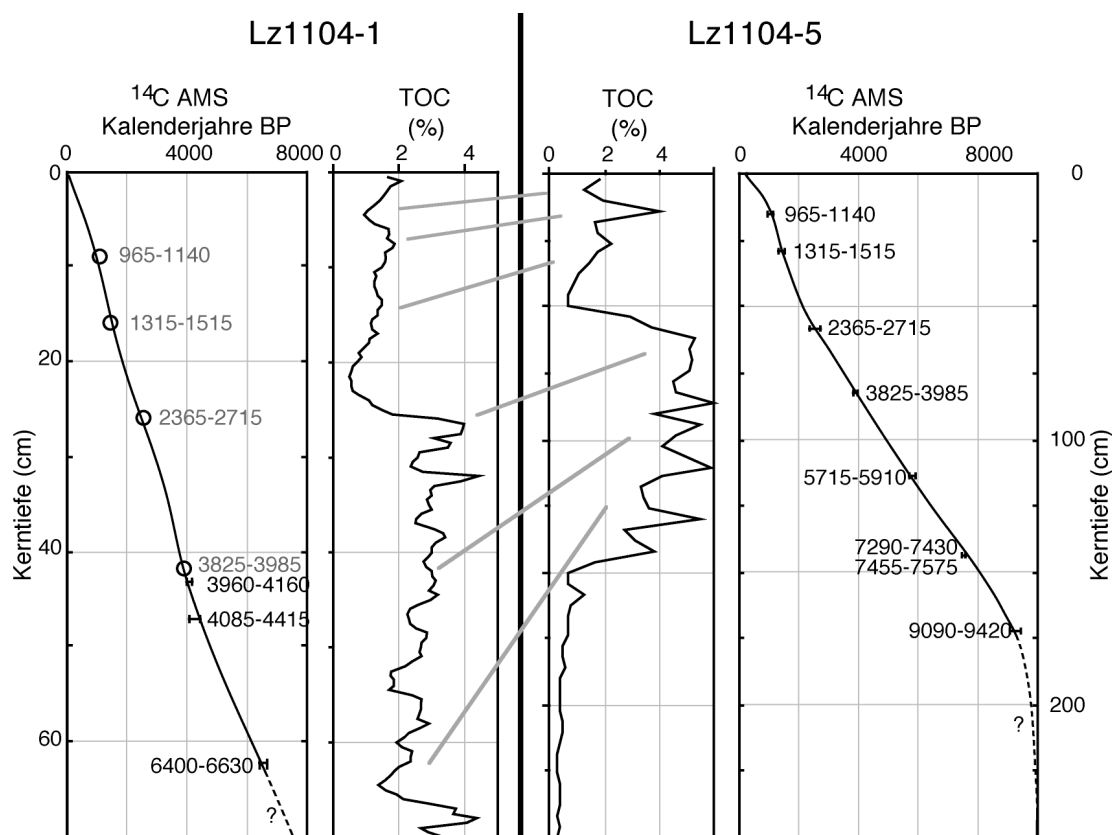
Aus der untersten Probe (170–174 cm, Kern Lz1104-5) wurden Moosfragmente der Art *W. exannulata* datiert, die man heute noch im See findet. Dieser Horizont liegt unterhalb des signifikanten TOC-Anstieges und liefert daher mit einem kalibrierten Alter von 9090 bis 9420 Kalenderjahre BP das maximale Alter für den Beginn der organischen Akkumulation im Hjort Lake (Wagner *et al.*, 2008).

Um mögliche Reservoir- oder Hartwasser-Effekte zu kontrollieren, wurden aus einem gleichen Horizont (142–145 cm) des Kernes Lz1104-5 sowohl terrestrische Pflanzenreste (*E. nigrum*, *Polytrichum* sp.) als auch aquatische Moose (*W. exannulata*) datiert (Wagner *et al.*, 2008). Beide Proben zeigen nur eine leichte zeitliche Differenz. Während das aquatische Moos ein Alter von 7455–7575 Kalenderjahre BP aufweist, wurden die terrestrischen Pflanzen auf ein Alter von 7290–7430 Kalenderjahre BP datiert (Tab. 6).

**Tab. 6** Radiokarbonalter der Kernsequenz Lz1104 vom Hjort Lake. (modifiziert nach Wagner *et al.*, 2008).

Probe	Kern	Tiefe (cm)	Material	Radiokarbon Alter (BP)	Kalenderalter (Jahre BP)
KIA27666	Lz1104-1	43–43.5	Salix arctica	3,720 ± 45	3,960–4,160
KIA25342	Lz1104-1	46–48	Dryas octopetala	3,820 ± 55	4,085–4,415
KIA27667	Lz1104-1	62–62.5	Salix arctica	5,695 ± 40	6,400–6,630
Poz-6159	Lz1104-5	13–17	Warnstorfia exannulata	1,135 ± 30	965–1,140
Poz-6160	Lz1104-5	27–32	Warnstorfia exannulata	1,505 ± 30	1,315–1,515
Poz-6161	Lz1104-5	56–61	Dryas octopetala	2,475 ± 35	2,365–2,715
Poz-6163	Lz1104-5	81–84	Dryas octopetala	3,590 ± 35	3,825–3,985
Poz-6164	Lz1104-5	112–116	Dryas octopetala	5,060 ± 40	5,715–5,910
Poz-6165	Lz1104-5	142–145	Warnstorfia exannulata	6,630 ± 40	7,455–7,575
Poz-6193	Lz1104-5	142–145	<i>E. nigrum</i> , <i>Polytrichum</i> sp.	6,440 ± 40	7,290–7,430
Poz-6194	Lz1104-5	170–174	Warnstorfia exannulata	8,260 ± 50	9,090–9,420

Möglicherweise beruht diese Differenz auf einen Reservoir-Effekt der aquatischen Moose. Die jüngste Probe aus Kern Lz1104-5 zeigt ein Alter von 965–1140 Kalenderjahren BP an. Aus dem Alters-Tiefen-Modell wurde eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 0,19 mm/Jahr ermittelt (Wagner *et al.*, 2008). Die Sedimentationsrate in Kern Lz1104-5 ist, wahrscheinlich aufgrund des wesentlich höheren Gehaltes an organischer Substanz, ungefähr doppelt so hoch wie in Kern Lz1104-1 (Wagner *et al.*, 2008). Der ungleiche TOC-Gehalt spielt eine wesentliche Rolle bei der Korrelation der Kerne Lz1104-1 und Lz1104-5 (Wagner *et al.*, 2008). Während eine signifikante Abnahme am TOC-Gehalt bei ca. 2365–2715 Kalenderjahre BP im Kern Lz1104-5 in einer Tiefe von 56 cm einsetzt, liegt diese zur gleichen Zeit im Kern Lz1104-1 bei 25 cm (Wagner *et al.*, 2008, Abb. 21). Oberhalb dieser Abnahme des TOC-Gehaltes korrelieren die Kerne sehr gut und erklären das Fehlen der obersten Zentimeter im Kern Lz1104-5 (Wagner *et al.*, 2008). Aufgrund von kurzzeitlichen Schwankungen des TOC-Gehaltes und dem nicht erfassten Beginn des TOC-Anstieges im Kern Lz1104-1 ist eine Korrelation unterhalb der einsetzenden TOC-Abnahme, im Kern Lz1104-1 oberhalb von 25 cm bzw. im Lz1104-5 oberhalb von 56 cm, der Kerne schwierig (Wagner *et al.*, 2008; Abb. 21).

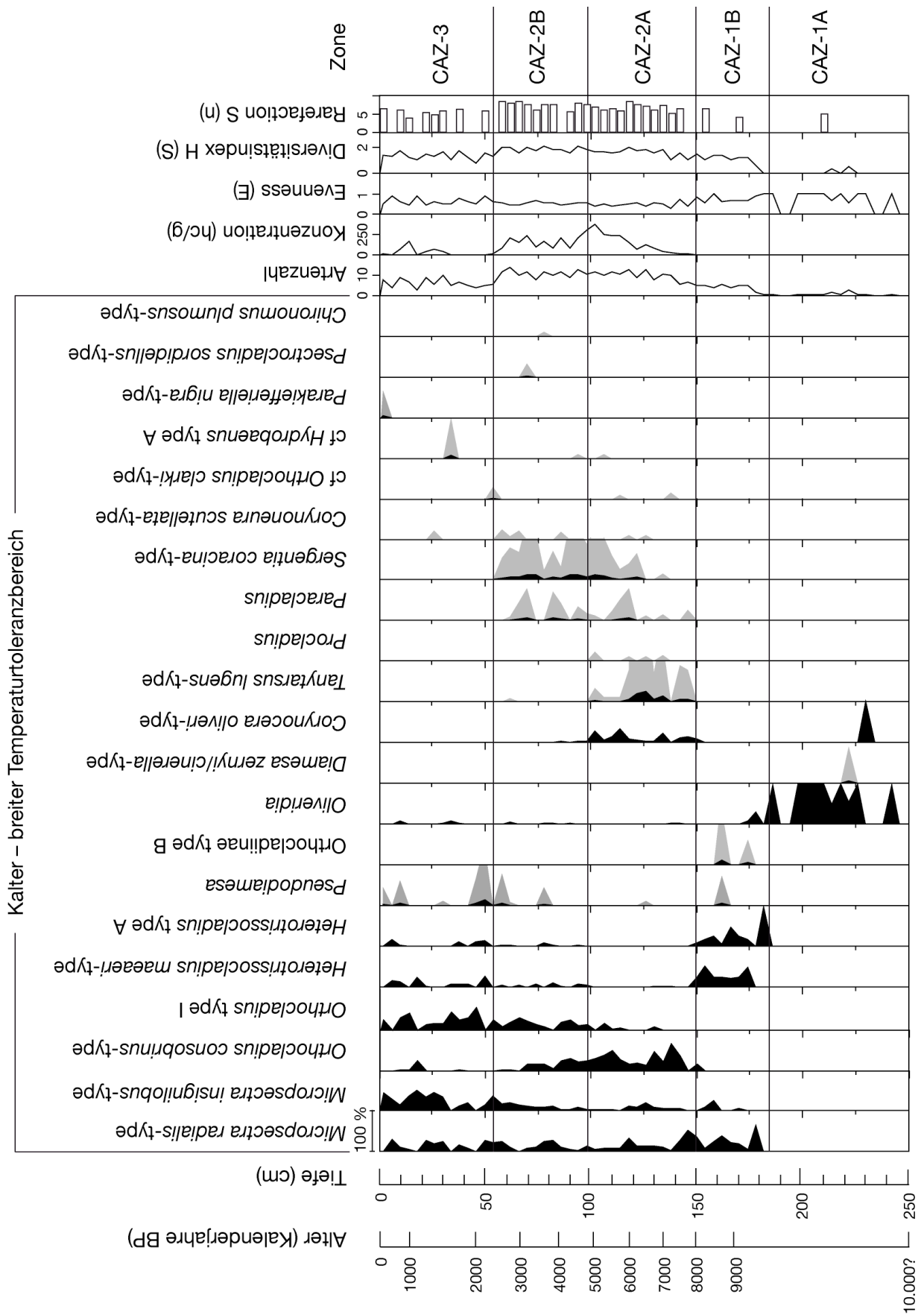


**Abb. 21** Die Korrelation der Kerne Lz1104-1 und Lz1104-5 vom Hjort Lake, basierend auf den TOC-Gehalt und die Radiokarbonaten. Die Kreise in der Alters-Tiefen-Korrelation von Kern Lz1104-1 zeigen die Alter, welche sich durch die Kurvenanpassung mit Kern Lz1104-5 (graue Linien) ableiten lassen (modifiziert nach Wagner *et al.*, 2008).

### 6.3 Detaillierte Chironomiden-Stratigraphie, Diversität, Homogenität und Ausdünnung (Rarefaction)

Aus 61 analysierten Proben der Sedimentsequenz des Hjort Lakes wurden insgesamt 21 Chironomiden-Arten identifiziert. Die Diversität der fossilen Chironomiden-Vergesellschaftungen zwischen einer Tiefe von 180 cm und der Sedimentoberfläche, entsprechend dem Zeitintervall von ca. 9500 Kalenderjahre BP bis rezent, ist relativ konstant (Abb. 22). In dieser Periode treten signifikante Wechsel in der Anzahl der identifizierten Taxa und in den Konzentrationen der Chironomiden-Kopfkapseln auf. Die Werte in der Ausdünnung bleiben von 150 cm Kerntiefe bis zur Sedimentoberfläche relativ konstant bei ca. 5. Jedoch treten in den oberen 50 cm, als Auswirkung der niedrigen Chironomiden-Abundanz, größere Lücken auf.

Die Artenvielfalt reicht in einigen Horizonten bis maximal 14 Taxa, was verglichen mit anderen hocharktischen Seen, z. B. in Westgrönland (Brodersen & Anderson, 2002), auf Svalbard (Brook & Birks, 2004) und im zentralen Ostgrönland (Wagner *et al.*, 2005), eine hohe Anzahl darstellt.



**Abb. 22** Abundanz und Diversität der Chironomiden-Vergesellschaftungen des Hjort Lakes gegen das Alter und die Sedimenttiefe dargestellt. Graue Farben entsprechen einer Überhöhung mit Faktor 10.

#### 6.4 Chironomiden-Vergesellschaftungszonen

Wie bereits im Duck Lake wurden auch im Hjort Lake gemeinsam auftretende Chironomiden im Holozän zu Chironomiden-Vergesellschaftungszonen zusammengefasst. Die Einteilung in die verschiedenen CAZ erfolgte über das Auftreten bzw. Verschwinden zusammen vorkommender Chironomiden. Auch im Hjort Lake dominieren die Arten *Micropsectra radialis*-type und *Micropsectra insignilobus*-type fast durchgängig die holozäne Abfolge. Diese Arten spielen bei der Einteilung in die CAZ nur eine untergeordnete Rolle.

##### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 1A (CAZ-1A, 250–180 cm)

Die Zone 1A beschreibt die Chironomiden-Vergesellschaftung von der Kernbasis bis zu 180 cm Tiefe. Dieser Abschnitt entspricht vermutlich einem Alter zwischen ca. 9950 und 9500 Kalenderjahre BP. Die Proben in diesem Zeitintervall enthalten häufig jeweils nur 1–3 Taxa. Infolge ist die Diversität sehr gering und die Homogenität erreicht teilweise ihren Maximalwert von 1.

Die erste Spezies *Oliveridia* erscheint bei 242 cm. Die Chironomiden-Vergesellschaftung in CAZ-1A besteht aus *Oliveridia*, *Diamesa zernyi/cinerella*-type und nur einer einzelnen Kopfkapsel von *Corynocera oliveri*-type. Die Gattung *Diamesa* findet man in subglazialen Schmelzwassersystemen des Himalaja (Kohshima, 1984) und auch *Oliveridia* wird als kalte Art beschrieben (Brooks & Birks, 2004; Brooks, 2006). *C. oliveri*-type ist z. B. in einem ostgrönländischen See ab dem Beginn des Holozäns über die komplette Sedimentsequenz vertreten (Wagner *et al.*, 2005) und sie besiedelt die Oberflächensedimente vieler Seen in Westgrönland (Brodersen & Anderson, 2002). *C. oliveri*-type findet man sowohl in kalten Habitaten (Olander *et al.*, 1999; Brooks, 2006) als auch bei gemäßigten Temperaturen (Palmer *et al.*, 2002). In den Seen Norwegens tritt *C. oliveri*-type in einem großen Temperaturbereich von 5,7–14 °C auf (Brooks & Birks, 2000).

##### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 1B (CAZ-1B, 180–150 cm)

Ein deutlicher Wechsel in der Chironomiden-Vergesellschaftung findet in Zone CAZ-1B (180–150 cm, ca. 9500 bis 8000 Kalenderjahre BP) statt. Die Anzahl der bestimmten Arten, zwischen 2 und 6, weist auf einen leichten Anstieg in der Diversität hin, jedoch bleibt die Konzentration der Kopfkapseln gering.

*M. radialis*-type und mit zeitlichem Versatz *M. insignilobus*-type dominieren ab CAZ-1B in den meisten, der folgenden Zonen. *H. maeaeri*-type und *Heterotrissocladius* type A besiedeln

diese Zone mit einer relativ hohen Abundanz, während *Pseudodiamesa* und Orthoclaadiinae type B nur sporadisch auftreten.

#### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 2A (CAZ-2A, 150–100 cm)

CAZ-2A umfasst die Kerntiefe von 150 bis 100 cm, was der Periode von 8000–5000 Kalenderjahre BP entspricht. Dieser Zeitraum repräsentiert einen markanten Anstieg der Chironomiden auf max. 386 Kopfkapseln pro Gramm. Die hohe Konzentration von Chironomiden korreliert gut mit einer hohen Abundanz der Cladocera *Chydorus arcticus* (Wagner *et al.*, 2008), die letztere diente möglicherweise als Nährstofflieferant für die Chironomiden. *M. radialis*-type, *M. insignilobus*-type, *C. oliveri*-type, *T. lugens*-type, *Paracladius* und *O. consobrinus*-type dominieren in CAZ-2A. *S. coracina*-type und *Orthocladus* type I erscheinen ab der zweiten Hälfte in Zone 2A. Die Spezies *Procladius* tritt vereinzelt auf.

#### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 2B (CAZ-2B, 100–55 cm)

In CAZ-2B, von 100 bis 55 cm (ca. 5000 bis 2400 Kalenderjahre BP), bleiben die Anzahl der identifizierten Taxa und die Konzentration der Kopfkapseln hoch.

*C. oliveri*-type, *T. lugens*-type und *Procladius* werden in CAZ-2B durch die Spezies *H. maeaeri*-type und *Heterotrissocladius* type A abgelöst. Gemeinsam mit den häufigen Arten *M. radialis*-type und *M. insignilobus*-type dominieren *Paracladius*, *S. coracina*-type, *O. consobrinus*-type und *Orthocladus* type I. Vereinzelt erscheinen die Spezies *Psectrocladius sordidellus*-type, *Corynoneura scutellata*-type und *Chironomus plumosus*-type.

#### Chironomiden-Vergesellschaftungszone 3 (CAZ-3, 55–0 cm)

Eine deutliche Veränderung ist in CAZ-3 von 55 cm zum Hangenden, was den letzten 2400 Kalenderjahre BP entspricht, zu beobachten. Der moosarme Horizont von ca. 55–30 cm (ca. 2400 und 1400 Kalenderjahre BP) ist durch eine starke Abnahme in der Chironomiden-Abundanz charakterisiert.

Ein deutliches Ansteigen von Chironomiden kennzeichnet den Bereich von ca. 30 bis 10 cm, entsprechend der Zeit von ca. 1500 bis 1000 Kalenderjahre BP.

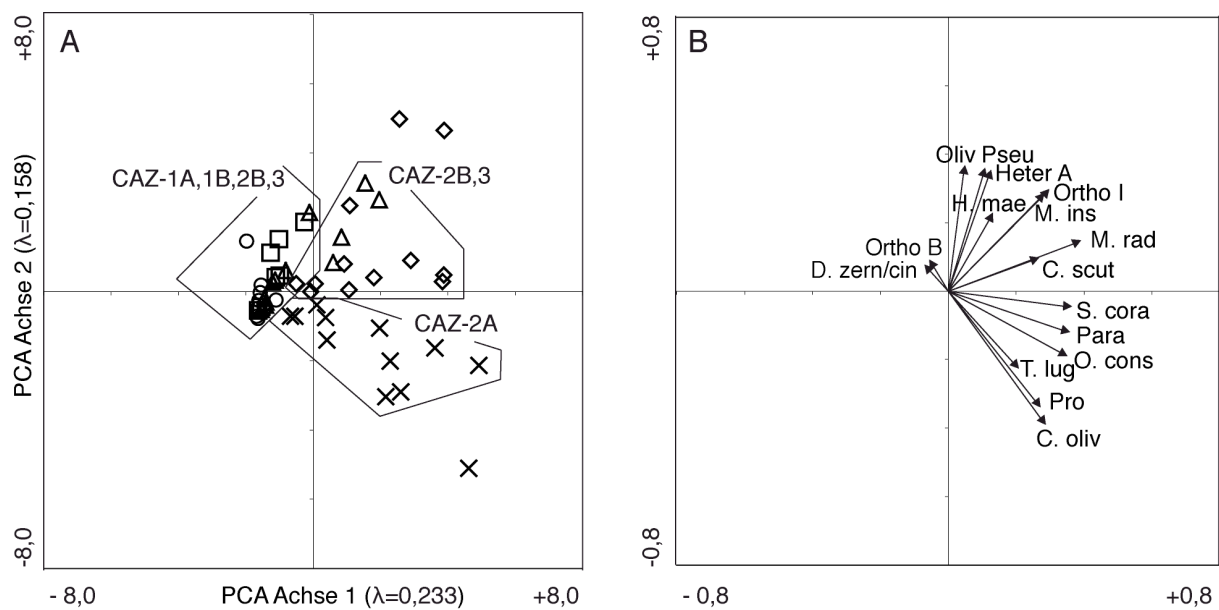
*Paracladius* und *S. coracina*-type fehlen in der CAZ-3. *M. radialis*-type, *M. insignilobus*-type, *H. maeaeri*-type, *Heterotrissocladius* type A und *Orthocladus* type I sind die



dominanten Arten, wohingegen *Pseudodiamesa* und *Oliveridia* nur sporadisch erscheinen. In CAZ-3 wird *O. consobrinus*-type überwiegend durch *Orthocladius* type I abgelöst.

### 6.5 Hauptkomponentenanalyse (PCA: Principal Components Analysis)

Um die Vergleichbarkeit der beiden Seen zu vereinfachen, wurden die Haupttrends in der Chironomiden-Vergesellschaftung des Hjort Lakes mittels Hauptkomponentenanalyse dargestellt (Abb. 23).



**Abb. 23** A: PCA der Chironomiden-Vergesellschaftungen des Hjort Lakes (Kreis = CAZ-1A, Quadrat = CAZ-1B, Kreuz = CAZ-2A, Karo = CAZ-2B, Dreieck = CAZ-3). B: Wichtungen der Chironomiden (Spezies mit geringer, signifikanter Abundanz wurden nicht einbezogen). Abkürzungen: C. scut = *C. scutellata*-type, C. oliv = *C. oliveri*-type, D. zern/cin = *D. zernyi/cinerella*-type, Heter A = *Heterotrissocladius* type A, H. mae = *H. maeaeri*-type, M. ins = *M. insignilobus*-type, M. rad = *M. radialis*-type, Oliv = cf *Oliveridia*, O. cons = *O. consobrinus*-type, Ortho I = *Orthocladius* type I, Ortho B = *Orthocladiinae* type B, Para = *Paracladius*, Pro = *Procladius*, Pseu = *Pseudodiamesa*, S. cora = *S. coracina*-type, T. lug = *T. lugens*-type.

Die ersten beiden PCA-Achsen des Hjort Lakes erklären 39,1 % von der Gesamtvarianz im Datensatz. Es lässt sich eine deutliche Trennung der CAZ-2A von allen weiteren Zonen beobachten.

*Procladius*, *T. lugens*-type und *C. oliveri*-type, charakteristisch für CAZ-2A, zeigen stark negative Ladungen auf der zweiten Achse. *D. zernyi/cinerella*-type und *Orthocladiinae* type B weisen dagegen leicht positive Ladungen für Achse 2 auf. Im Vergleich zu den Spezies aus CAZ-2A, welche man heutzutage auch in wärmeren Seen findet, sind *D. zernyi/cinerella*-type (CAZ-1A) und *Orthocladiinae* type B (CAZ-1B) typischer für extrem kalte Bedingungen

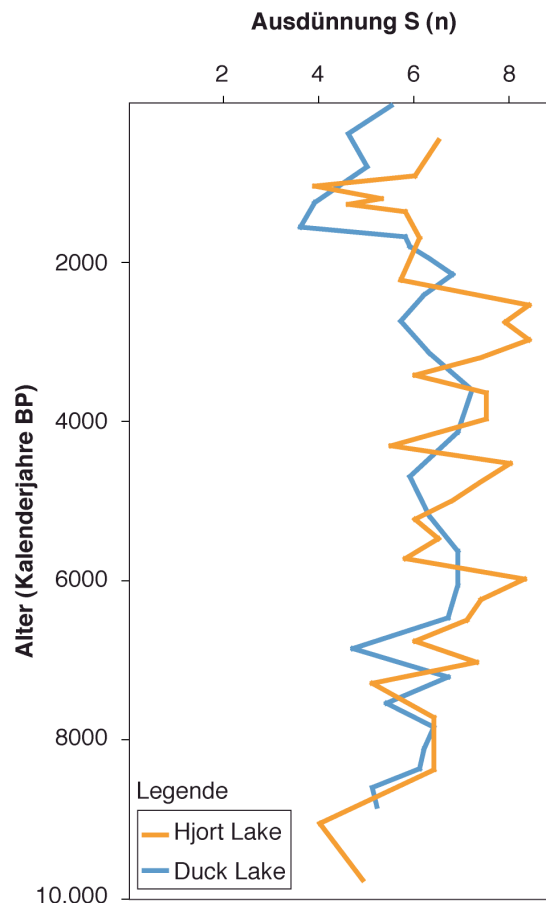
(Hofmann, 1984; Walker *et al.*, 1997). Taxa aus CAZ-2B, wie z. B. *M. radialis*-type, *C. scutellata*-type, *S. coracina*-type, *Paracladius* und *O. consobrinus*-type, assoziieren positiv mit Achse 1.

Alle Chironomiden-Vergesellschaftungszonen, mit Ausnahme der CAZ-2A, laufen mit mehreren Zonen zusammen. Die Einteilung in CAZ-1A/B, CAZ-2B und CAZ-3 lässt sich nach einer Hauptkomponentenanalyse nicht eindeutig definieren. Die CAZ-2A verläuft entlang der dominanteren Achse 1 und ist somit sehr aussagekräftig.

## 7 Klima und Umweltrekonstruktion

### 7.1 Vergleich der Chironomiden-Vergesellschaftungen von Duck und Hjort Lake

Um Informationen zu den Veränderungen des holozänen Klimas und der Umwelt auf Store Koldewey zu erhalten, wurden zunächst die Vergesellschaftungen von Chironomiden aus dem Duck und Hjort Lake betrachtet. Beide untersuchten Seen besitzen eine ähnliche Morphometrie, sie befinden sich ungefähr auf der gleichen Höhe über NN, und ihre Entfernung zueinander beträgt nur 2 km. Diese Gleichheit spiegelt sich durch eine ähnlich hohe Abundanz vorwiegend kalt adaptierter Arten sowie analoger Chironomiden-Vergesellschaftungen in beiden Seen wider. Die Ausdünnung, mit Werten von 4 bis 8, verläuft in beiden Seen ebenfalls relativ synchron (Abb. 24), wobei die Abweichungen dieser Werte gering sind. Die Veränderungen der Chironomiden-Vergesellschaftungen erfolgt in beiden Seen vermutlich identisch.



**Abb. 24** Ausdünnung der Chironomiden-Vergesellschaftungen von Duck und Hjort Lake gegen das Alter.

Recherchen zu den auftretenden Chironomiden im Duck und Hjort Lake auf Store Koldewey nach dem LGM ergaben, dass z. B. Veränderungen im pH-Wert für Chironomiden dieser Region keine entscheidende Rolle spielen. Die Gattung *Micropsectra*, die in den rezenten Sedimenten aus arktischen Seen von Kanada häufiger bei höheren pH-Werten auftritt (Gajewski *et al.*, 2005), dominiert in fast jeder Probe von Duck und Hjort Lake. Diese Beobachtung verdeutlicht, dass die rezent hohen pH-Werte im Duck und Hjort Lake (Tab. 1, Tab. 2) auch für das gesamte Holozän anzunehmen sind.

Die Einteilung der Chironomiden beider Seen in profundale und litorale Spezies zur Rekonstruktion von Seespiegelschwankungen findet keine Anwendung, da die meisten arktischen Taxa in der Lage sind, sowohl im flachen als auch im tieferen Milieu zu existieren (Brundin, 1949; Henrikson *et al.*, 1982; Johnson & Wiederholm, 1989).

In beiden Seen deuten die Chironomiden-Vergesellschaftungen auf generell gute Sauerstoffbedingungen hin. So dominiert z. B. die Spezies *Micropsectra radialis*-type, eine Art, die niedrige Sauerstoffbedingungen nicht regulieren kann (Brodersen *et al.*, 2004). Andere Spezies z. B. *Procladius*, sind dagegen in der Lage, sowohl in O<sub>2</sub>-reichen als auch in O<sub>2</sub>-armen Habitaten zu existieren.

In den Seen auf Store Koldewey variiert die Trophie während des Holozäns wahrscheinlich zwischen ultra-oligotroph und oligotroph und Nährstoffe sind im Verlauf des Holozäns vermutlich generell sehr gering vorhanden. Als Lieferant von Nährstoffen erwähnen Wagner *et al.* (2008) die Exkremate von Gänsen, welche heute am Hjort Lake im Sommer allgegenwärtig sind.

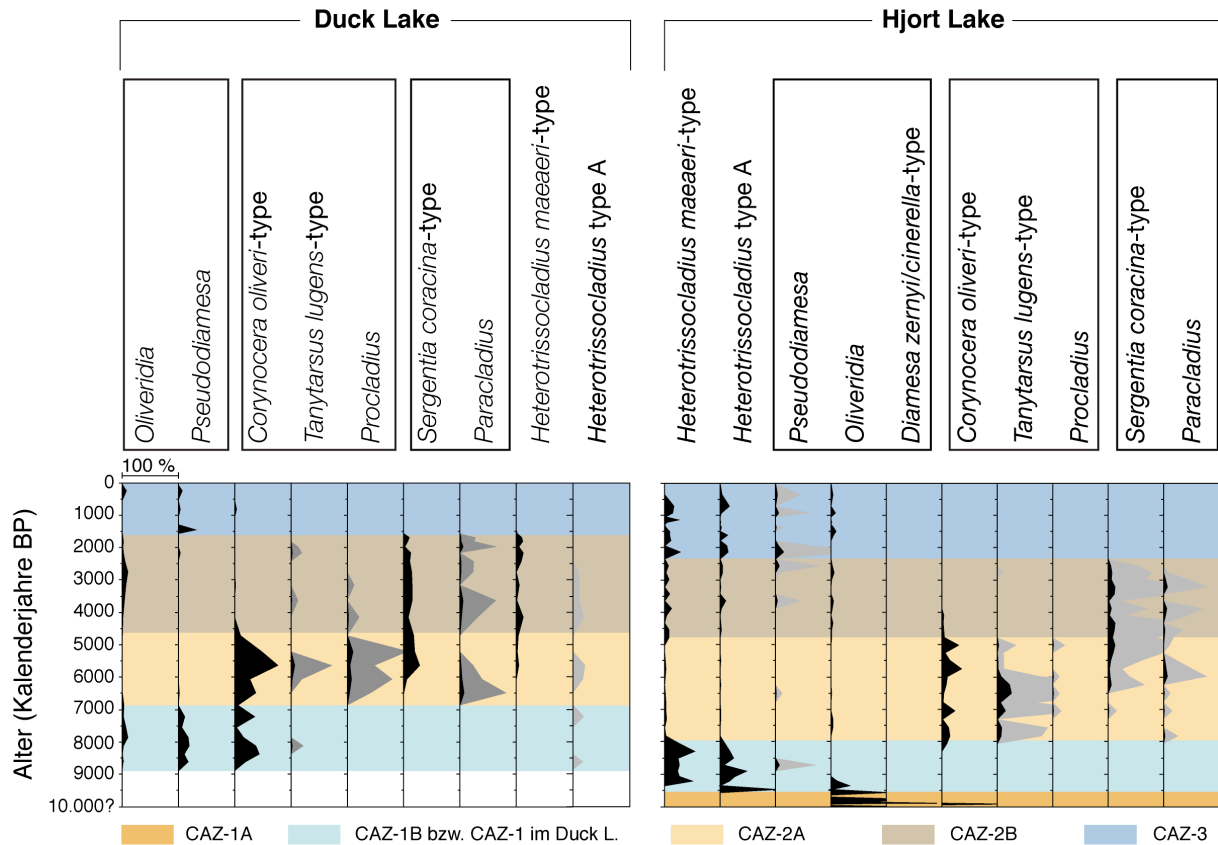
Die holozäne Verteilung der Chironomiden im Duck und Hjort Lake wird vermutlich in erster Linie von der Temperatur und der Nährstoff-Verfügbarkeit gesteuert.

Die Taxa *Micropsectra radialis*-type, *Micropsectra insignilobus*-type, *Orthocladius consobrinus*-type und *Orthocladius* type I besitzen offenbar einen relativ hohen Toleranzbereich auf Umweltparameter, da sie in fast allen Proben erscheinen (Abb. 18, Abb. 22). Nach Gajewski *et al.* (2005) ist die Gattung *Micropsectra* ein Kälteanzeiger und *Orthocladius* erscheint in organikarmen Seen. Diese Information zeigt, dass prinzipiell nach dem Abschmelzen bis heute die Temperaturen relativ niedrig sowie die Nährstoffe in der hocharktischen Region von Store Koldewey limitierend waren.

### 7.1.1 CAZ-1A (Hjort Lake)

Erste Chironomiden erscheinen im Hjort Lake zwischen ca. 10.000 und 9500 Kalenderjahre BP und im Duck Lake ca. 500 Kalenderjahre BP später (Abb. 25). Ob ein Zusammenhang

zum Reservoir-Effekt von 520 Jahren (Klug *et al.*, 2009) besteht ist ungewiss, zumal die zeitlichen Differenzen, die während des Holozäns zwischen beiden Seen hinsichtlich gleicher Chironomiden-Vergesellschaftungen auftreten, variieren.



**Abb. 25** Gegenüberstellung signifikanter Chironomiden-Vergesellschaftungen des Duck und Hjort Lakes.

Aufzeichnungen vom GRIP- und Renland-Eiskern zeigen, dass die Temperaturen zu dieser Zeit vermutlich 2–2,5 °C höher waren als gegenwärtig (Larsen *et al.*, 1995; Dahl-Jensen *et al.*, 1998). Die Abundanz der Chironomiden bleibt jedoch nach dem letzten lokalen Eisrückzug um ca. 10.000 bis 9000 Kalenderjahre BP (Wagner *et al.*, 2008; Klug *et al.*, 2009) in beiden Seen relativ niedrig. Die Besiedlung der Seen durch Chironomiden nach dem Zerfall des lokalen Gletschersystems erforderte höchstwahrscheinlich eine Einwanderungszeit. Die Migration kann sich über einen äolischen Transport der adulten Zweiflügler in die Seen ereignet haben, aber auch eine Ausbreitung durch Vögel ist denkbar. Zugvögel wie Gänse könnten für die Ausbreitung der Chironomiden eine wichtige Rolle spielen. Die geringe Distanz zwischen beiden Seen lässt auf einen Austausch der Arten von Duck und Hjort Lake schließen.

Nach dem letzten lokalen Eisrückzug um ca. 10.000 bis 9000 Kalenderjahre BP (Wagner

*et al.*, 2008; Klug *et al.*, 2009) besiedelten die Chironomiden *Oliveridia* und *Diamesa zernyi/cinerella*-type sowie die planktonisch lebende Cladocera *Daphnia pulex* als erste Arten den Hjort Lake (Wagner *et al.*, 2008). Möglicherweise existiert ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten dieser beiden Chironomiden-Arten und dem des „Wasserfloh“, wobei letzterer bzw. auf ihm lebende Bakterien die Nahrungsquelle der Chironomiden dargestellt haben könnten (Rellstab & Spaak, 2006). Die planktonische Spezies *D. pulex* meidet ultraviolette Strahlen (Perin, 2004) und wandert folglich am Tag zum Seeboden, wo sie somit für die benthisch bzw. endobenthisch lebenden Chironomiden erreichbar ist. Nur wenige Chironomiden-Arten ernähren sich karnivor, jedoch sind einige Ausnahmen von Diamesinae (Oliver, 1971) und Orthocladiinae (Thienemann, 1954) bekannt. Zum Beispiel ernähren sich *Diamesa*-Larven der Himalaja-Region auch von Bakterien (Kohshima, 1984).

Das Auftreten von *Diamesa* im Hjort Lake, eine Art, die in den Gletscherregionen des Himalajas gefunden wurde (Kohshima, 1984), deutet vermutlich auf verstärkte Strömungen im Hjort Lake hin. Das größere Einzugsgebiet des Hjort Lakes und damit ein stärkerer Zufluss als im Duck Lake könnte möglicherweise zu erhöhten Schmelzwasserzuströmen in den Hjort Lake geführt haben.

### 7.1.2 CAZ-1 (Duck Lake) $\cong$ CAZ-1B (Hjort Lake)

Die erste Chironomiden- Vergesellschaftung im Duck Lake tritt zwischen 9000 und 6800 Kalenderjahre BP auf und entspricht ungefähr den Artenspektren des Hjort Lakes im Zeitraum von 9500 bis 8000 Kalenderjahre BP. Gleichzeitig variiert die Abundanz der Chironomiden in den Seen nur geringfügig, so dass diese Abweichung nicht nennenswert ist. Gemeinsam mit dem Einsetzen der organisch reichen Mudden und erster Mooschichten erscheinen im Hjort Lake z. B. *M. radialis*-type, *H. maeeri*-type und *Pseudodiamesa*. Diese kalt adaptierten Arten sind Anzeiger oligotropher Seen.

Im Duck Lake dominiert *Corynocera oliveri*-type bei gleichzeitiger Abwesenheit von *Heterotrissocladius maeeri*-type den ersten Zeitabschnitt nach dem lokalen Eisrückzug um ca. 10.000 bis 9000 Kalenderjahre BP (Wagner *et al.*, 2008; Klug *et al.*, 2009). Interessanterweise zeigt sich im Hjort Lake in den ersten 1500 Jahren nach dem Eisrückzug eine entgegengesetzte Konstellation mit dem Fehlen von *C. oliveri*-type (bis auf eine Kopfkapsel bei 230 cm) und dem Vorhandensein von *H. maeeri*-type. Die Anwesenheit der Gattung *Heterotrissocladius* im Frühholozän des Hjort Lakes reflektiert möglicherweise die verbesserten Nährstoffbedingungen in diesem See. Eine erhöhte Schmelzwasserzufuhr in den

Hjort Lake, aufgrund eines größeren Einzugsgebietes, führte diesem See vermutlich vermehrt Nährstoffe zu. Das Fehlen von *Corynocera oliveri*-type während des Frühholozäns im Hjort Lake deutet möglicherweise auf die verstärkte Strömungsaktivität in diesem See hin, welche die Besiedlung dieser Art erschwerte.

### 7.1.3 CAZ-2A

Die höchste Konzentration an Chironomiden wurde in den Zeiträumen zwischen 6800 und 4700 Kalenderjahre BP im Duck Lake und von 8000 bis 5000 Kalenderjahre BP im Hjort Lake erreicht. Die Chironomiden-Vergesellschaftung *C. oliveri*-type, *T. lugens*-type und *Procladius* dominiert beide Zeiträume deutlich. In beiden Seen erscheinen *S. coracina*-type und *Paracladius* ebenfalls in dieser Periode, wobei im Hjort Lake beide Arten erst zur zweiten Hälfte dieses Zeitfensters auftreten. Die kalt adaptierten Arten *Heterotrissocladius* und *Pseudodiamesa* fehlen größtenteils während dieses Zeitabschnittes beider Seen.

Die Spezies *C. oliveri*-type, *T. lugens*-type und *Procladius* spiegeln eine hohe organische Produktivität mit vermutlich leicht reduzierten Sauerstoffbedingungen in beiden Seen wider.

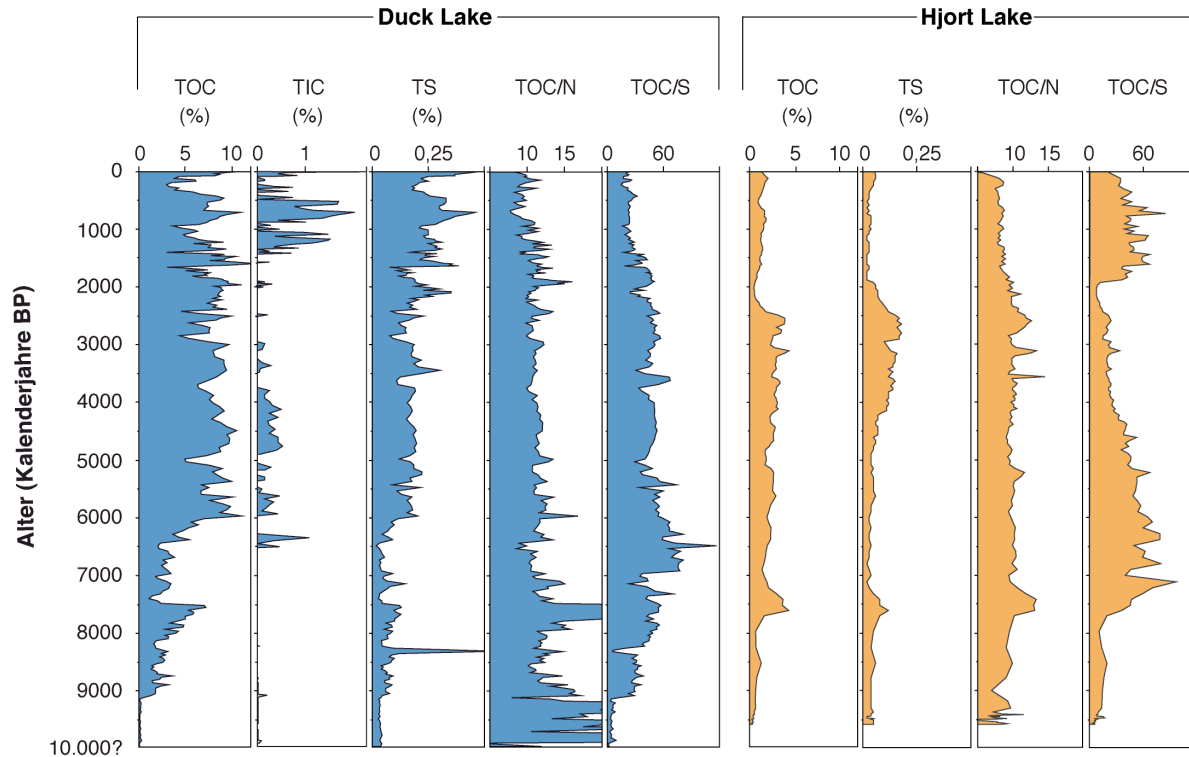
In der kanadischen Arktis wurden die Taxa *C. oliveri*-type, *T. lugens*-type und *Procladius* in Seen mit hohem gelösten Gehalt an organischem Kohlenstoff (DOC) gefunden (Gajewski *et al.*, 2005). Beide Seen verfügten in diesen Zeiträumen (Duck Lake: 6800–4700 Kalenderjahre BP, Hjort Lake: 8000–5000 Kalenderjahre BP) offenbar über ein reiches Nährstoffangebot. Ein Anstieg meso-eutrophischer Diatomeen im Hjort Lake zwischen 8000 und 5000 Kalenderjahre BP (Wagner *et al.*, 2008) unterstützt diese Deutung.

### 7.1.4 CAZ-2B

Einen weiteren Wechsel der Chironomiden-Vergesellschaftung ist zwischen 4700 und 1500 Kalenderjahre BP im Duck Lake sowie zwischen 5000 und 2400 Kalenderjahre BP im Hjort Lake zu beobachten. *C. oliveri*-type, *T. lugens*-type und *Procladius* verschwinden vollständig und werden z. B. von *H. maeaeri*-type abgelöst, während *S. coracina*-type und *Paracladius* weiterhin zahlreich erscheinen. Die generell hohen Chironomiden-Häufigkeiten in diesem Zeitabschnitt korrelieren mit einem hohen TOC-Gehalt (Abb. 26) in beiden Seen (Wagner *et al.*, 2008; Klug *et al.*, 2009). Erstaunlicherweise ist für Nordostgrönland ab ungefähr 5000 Kalenderjahre BP ein Kältetrend, vermutlich als Folge einer angestiegenen Aktivität der Ostgrönlandströmung, belegt (Koc *et al.*, 1993). Diese Abkühlung lässt sich mit dem Beginn

einer glazialen Expansion korrelieren, die auch außerhalb von Grönland, wie z. B. auf Svalbard und Franz Josef Land bei ca. 4500 Kalenderjahre BP dokumentiert ist (Lubinski *et al.*, 1999). Gleichzeitig bleibt die organische Substanz in beiden Seen auf Store Koldewey relativ hoch. Dieser Kontrast kann möglicherweise auf einen geringen Abbau organischer Substanz, z. B. durch eine andauernde Eisbedeckung der Seen, zurückzuführen sein (Wagner & Melles, 2001; Wagner *et al.*, 2008). Vermutlich herrschten von ca. 5000 bis 2700 Kalenderjahre BP kalte, humide Klimabedingungen in Ostgrönland (Wagner *et al.*, 2000). Ein humides Klima könnte auch auf Store Koldewey, besonders in den Sommermonaten, für einen nährstoffreicheren Schmelzwasserzufluss, aufgrund des größeren Einzugsgebietes, im Hjort Lake gesorgt haben.

Die zeitlichen Vorkommen der Chironomiden werden vermutlich nicht über den Sauerstoff gesteuert. So erscheint in CAZ-2B z. B. die Gattung *Heterotrissocladius*, als Sauerstoff-Anpasser beschrieben (Brodersen, 2004), gemeinsam mit *S. coracina*-type, die jedoch sauerstoffarme Habitate bevorzugt (Walker, 1990). *M. radialis*-type erscheint in allen Chironomiden-Vergesellschaftungen, eine Art die nicht in der Lage ist niedrige Sauerstoffbedingungen zu regulieren (Brodersen *et al.*, 2004).



**Abb. 26** Die biogeochemischen Parameter der Kernsequenzen Lz1103 des Duck Lakes (blau) und Lz1104 des Hjort Lakes (orange) sind in gleicher Skaleneinteilung gegen das Alter dargestellt. Der TIC-Gehalt befindet sich im Hjort unter der Nachweisgrenze.



### 7.1.5 CAZ-3

Ein erneuter deutlicher Wechsel in der Chironomiden-Vergesellschaftung beginnt im Hjort Lake bei ca. 2400 Kalenderjahre BP und bei ca. 1500 Kalenderjahre BP im Duck Lake. Der zeitliche Versatz lässt sich vermutlich über Differenzen im Nährstoffangebot erklären.

Offenbar führte die Schmelzwasserzufuhr im Hjort Lake zu einem besseren Nährstoffangebot als im Duck Lake. Die Konzentration von Chironomiden nimmt in beiden Seen abrupt ab. Eine Ausnahme stellt ein kurzzeitiger Anstieg in der Häufigkeit der Chironomiden in beiden Seen bei ca. 1500 bis 1000 Kalenderjahre BP im Hjort Lake (Wagner *et al.*, 2008) und 1300 bis 800 Kalenderjahre BP im Duck Lake dar (Klug *et al.*, 2009), welcher vermutlich die Zeit des Mittelalterlichen Wärmeoptimums widerspiegelt.

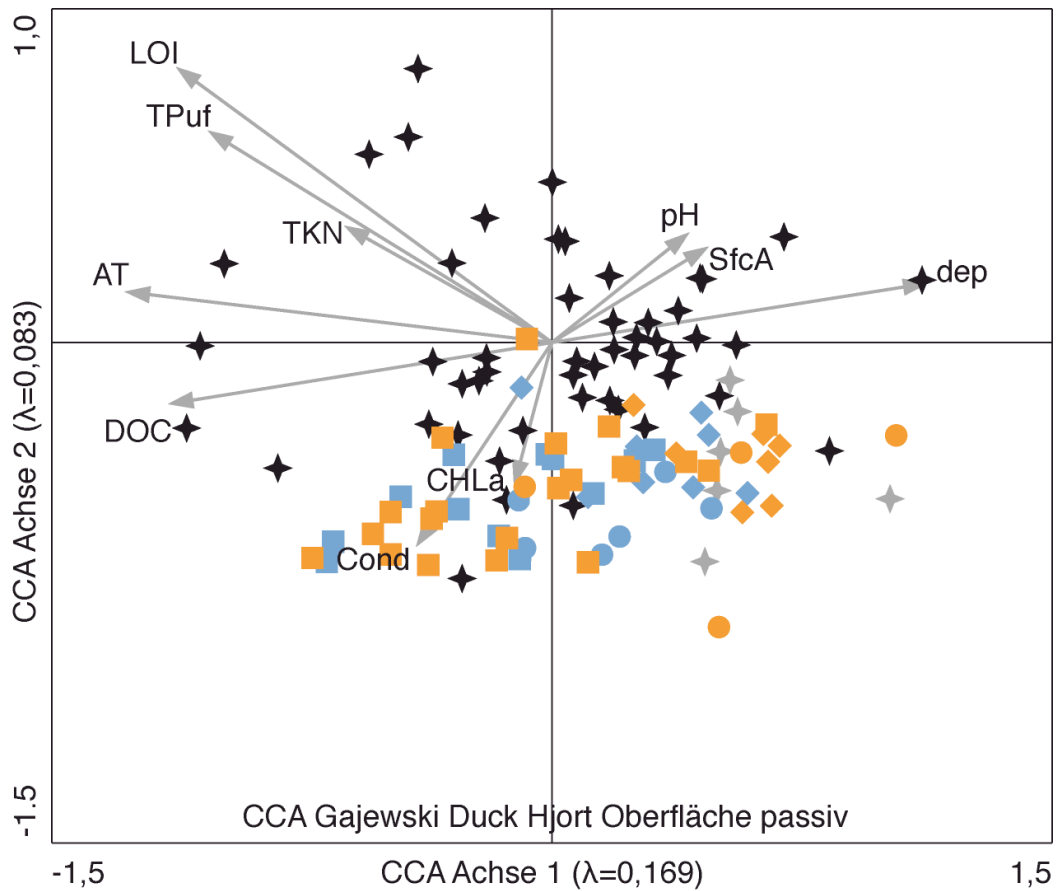
Die Chironomiden-Vergesellschaftung beider Seen ist, mit Ausnahme der Gattung *Heterotrissocladius*, überwiegend identisch. Bis ca. 2700 Kalenderjahre BP, als die atmosphärische Zirkulation über dem Nordatlantik signifikant wechselte (Lie *et al.*, 2006), herrschte vermutlich ein humides Klima nicht nur über Ostgrönland (Wagner *et al.*, 2000) möglicherweise gelangte es bis Nordostgrönland, so dass dem Hjort Lake in Folge des größeren Einzugsgebietes mehr nährstoffreiche Schmelzwässer als dem Duck Lake zugeführt wurden. Die Arten *H. maeaeri*-type und *H. type A* könnten aufgrund der besseren Nährstoffsituation im Hjort Lake bis rezent existiert haben, während im nährstoffärmeren Duck Lake diese Art ab ca. 1500 Kalenderjahre BP verschwand.

Geringe TOC-Gehalte im Spätholozän der beiden Seen (Abb. 26) deuten auf ultraoligotrophe Bedingungen und damit optimale Sauerstoffbedingungen hin. Betrachtet man die Spezies *S. coracina*-type, eine Spezies die sauerstoffarme Habitate bevorzugt (Walker, 1990), so könnte ihr abruptes Verschwinden bei ca. 2400 Kalenderjahre BP im Hjort Lake und bei ca. 1500 Kalenderjahre BP im Duck Lake auf eine anschließende eisfreie und damit sauerstoffreiche Phase deuten. Das plötzliche, analoge Fehlen von *S. coracina*-type sowie *Paracladius* in beiden Seen, könnte jedoch auch durch kältere Temperaturen erklärt werden. Bei einer Steuerung durch Nährstoffe würde man diese Art im nährstoffreicheren Hjort Lake weiterhin erwarten, ähnlich wie die Gattung *Heterotrissocladius*.

### 7.2 Vergleich von Duck u. Hjort Lake mit Proben der kanadischen Arktis

Die Chironomiden von Store Koldewey und Geographical Society Ø (Abb. 6) stammen ungefähr aus dem gleichen Breitengrad wie jene der von Gajewski *et al.* (2005) untersuchten Proben aus der kanadischen Arktis (ca. 70°–80° N).

Das Ordinationsdiagramm (Abb. 27) zeigt, dass die Ordinationspunkte der Chironomiden aus dem Früh- und Spätholozän des Duck und Hjort Lakes zusammenlaufen, d. h. diese Spezies besitzen vermutlich ähnliche Eigenschaften. Es handelt sich dabei um typisch kalt angepasste Arten, wie z. B. *Pseudodiamesa* und *Oliveridia*, die im Mittelholozän nicht erscheinen.

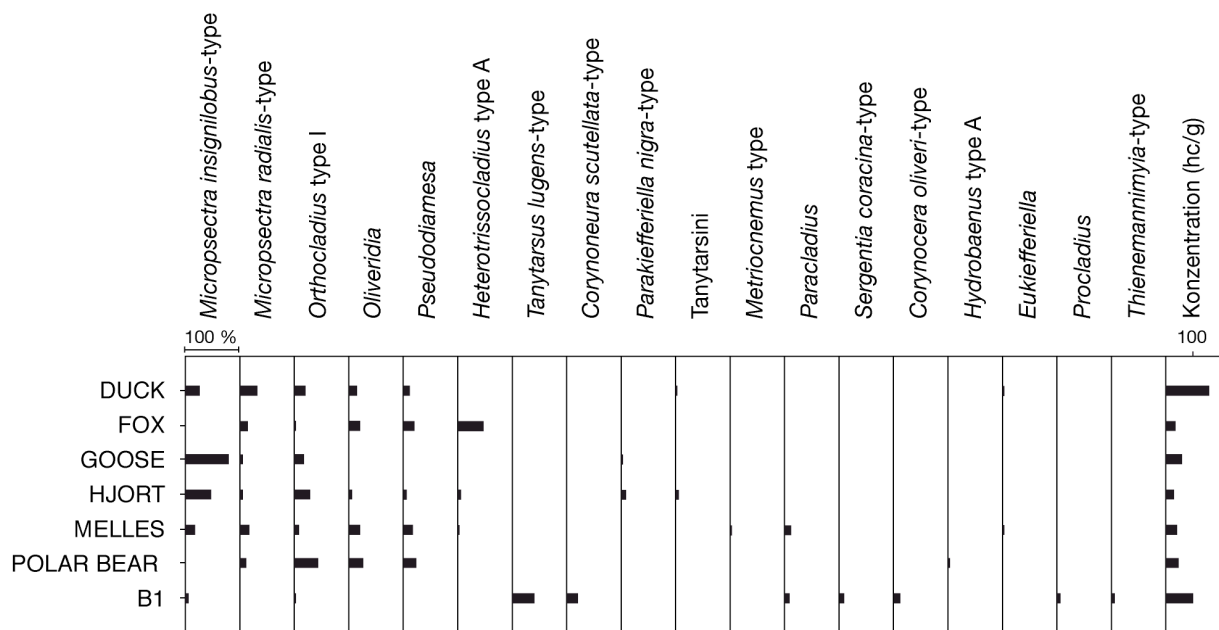


**Abb. 27** Kanonische Ordination (CCA: Canonical Correspondence Analysis) der Chironomiden-Vergesellschaftungen aus dem Frühholozän (Kreis), Mittelholozän (Quadrat) und Spätholozän (Karo) des Duck Lakes (blau) und des Hjort Lakes (orange) mit Chironomiden von Oberflächenproben weiterer Seen von Store Koldewey und Geographical Society Ø (graue Sterne) sowie Chironomiden-Vergesellschaftungen (schwarze Sterne) und Umweltvariablen (Pfeile) von Seen der kanadischen Arktis (Gajewski *et al.*, 2005). Abkürzungen: LOI (Glühverlust; *loss on ignition*), TPuf (gesamt, unfiltrierter Phosphor; *total unfiltered phosphorous*), TKN (gesamt Kjeldahl Stickstoff, *total Kjeldahl nitrogen*), AT (durchschnittliche Juli Lufttemperatur, *air temperature*), DOC (gelöster, organischer Kohlenstoff; *dissolved organic carbon*), Cond (Leitfähigkeit, *conductivity*), CHLa (Chlorophyll a), dep (Tiefe, *depth*), SfcA (Oberflächenareal, *surface area*),  $\lambda$  (Eigenwert, *eigenvalue*).

Die Ordinationspunkte der Chironomiden der Oberflächendaten anderer Seen von Store Koldewey und Geographical Society Ø (Abb. 27, graue Sterne) sind ebenfalls deckungsgleich über jenen aus dem Früh- und Spätholozän des Duck und Hjort Lakes. Diese Anordnung

weist darauf hin, dass sich die Chironomiden-Vergesellschaftung im Mittelholozän vermutlich signifikant von denen im Früh- und Spätholozän unterschied.

Die Chironomiden der Oberflächendaten auf Store Koldewey repräsentieren untereinander sehr ähnliche Chironomiden-Vergesellschaftungen (Abb. 28). Eine Ausnahme bilden die Chironomiden der Oberflächendaten im See B1 auf Geographical Society Ø. Diese sind überwiegend durch Arten vertreten, welche heute auch in wärmeren Seen vorkommen (Abb. 28). Möglicherweise finden diese Arten aufgrund der Position des Sees ca. 3–4° südlich von Store Koldewey bereits wärmere Bedingungen vor (Abb. 6).



**Abb. 28** Chironomiden-Abundanz von Oberflächenproben auf Store Koldewey und B1 auf Geographical Society Ø.

Das unterschiedliche Auftreten der Spezies aus dem Mittelholozän von Duck und Hjort Lake im CCA-Diagramm ist vermutlich ein Hinweis auf Taxa mit anderen Eigenschaften. Typische Spezies in diesem Zeitintervall sind *Corynocera oliveri*-type, *Tanytarsus lugens*-type und *Procladius*, vorwiegend Arten die man heutzutage in wärmeren Seen findet.

Während die Punktwolke der Chironomiden von Seen der kanadischen Arktis (Gajewski *et al.*, 2005; Abb. 27) über alle Quadranten streut, bewegen sich die Datenpunkte der Chironomiden aus dem Duck und Hjort Lake nur entlang der Achse 1.

Es fällt auf, dass der Umweltparameter Temperatur ebenfalls stark mit der ersten Achse korreliert (Abb. 27). Möglicherweise ist dieser Parameter einer der wichtigsten Faktoren in beiden Seen. Die Achse 1 erklärt 16,9 % der Gesamtvarianz und ist somit die dominanteste Achse in der CCA, während die Achse 2 nur 8,3 % der Varianz erklärt. Allerdings existiert im

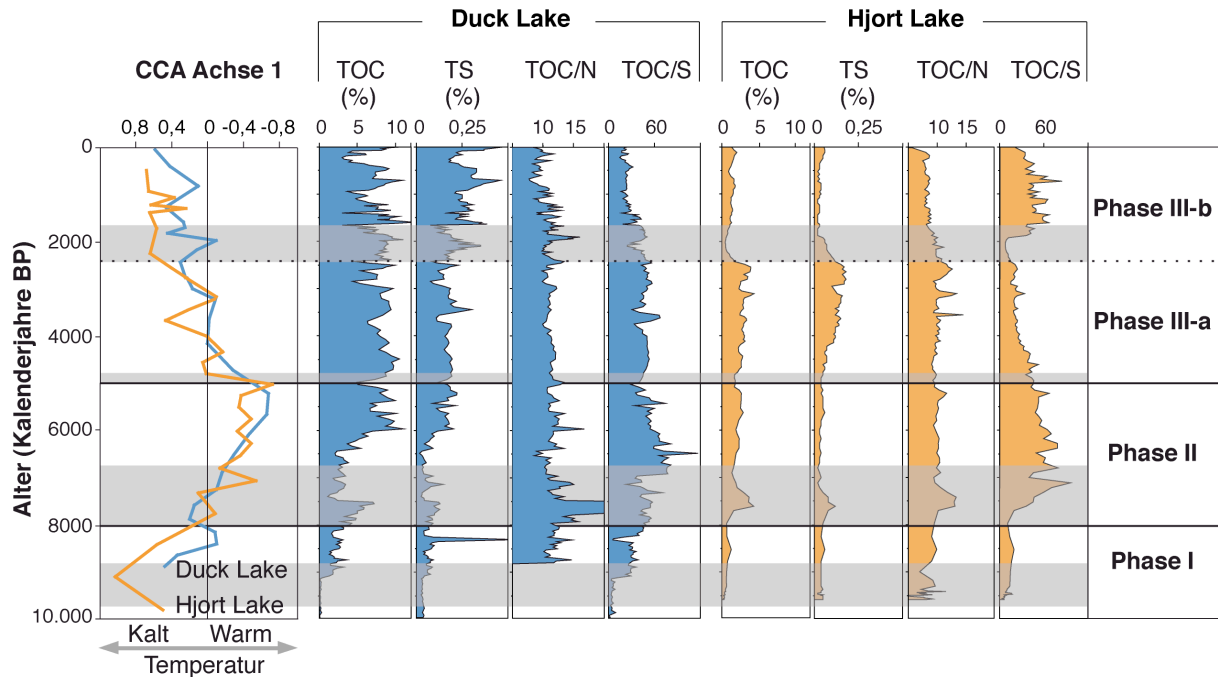
Datensatz der arktischen Seen von Kanada (Gajewski *et al.*, 2005) auch eine Korrelation zwischen der Temperatur und den Nährstoffanzeigern. In dieser arktischen Region von Kanada tendieren die wärmeren Seen zu einer erhöhten Nährstoffkonzentration, mehr gelöstem organischen Kohlenstoff oder einer erhöhten Akkumulation von organischem Kohlenstoff (höhere LOI Werte).

Der Parameter Tiefe korreliert ebenfalls mit der ersten Achse, jedoch kann er im Duck und Hjort Lake vernachlässigt werden. Beide Seen verfügen über einen hydraulischen Abfluss und sind daher wahrscheinlich von starken Seespiegelschwankungen verschont geblieben. Wenn kein Zufluss vorhanden ist, sinkt zwar der Seespiegel unabhängig vom Abfluss, jedoch sind diese Abweichungen für Chironomiden vermutlich nicht von Bedeutung. Die Sichttiefe in den Seen reicht nahezu zum Seeboden, was z. B. eine Einteilung in Profundal und Litoral weitgehend ausschließen lässt. Die Größe beider Seen blieb während des Holozäns vermutlich relativ konstant und auch rezent weicht die Größe zwischen den Seen nur gering voneinander ab, so dass man einen Einfluss von Seespiegelschwankungen im Duck und Hjort Lake vernachlässigen kann.

Der Parameter Leitfähigkeit spielt in beiden Seen ebenfalls nur eine untergeordnete Rolle auf die Chironomiden-Vergesellschaftungen. Die zwei Seen liegen zwar küstennah, jedoch ist ein mariner Einfluss weitgehend ausgeschlossen. Aufgrund ihrer Höhenlage von etwas über 100 m NN liegen die Seen außerhalb des Einflusses verstärkter Gischt, was sich durch die niedrigen Messungen in der Leitfähigkeit (Tab. 2, Tab. 3) bestätigt. Ein kurzer Vektor von Chlorophyll a befindet sich ebenfalls in den Datenpunkten von Duck und Hjort Lake, jedoch neigt dieser zur schwächeren Achse 2 und ist deshalb weniger aussagekräftig.

### **7.3 Chironomiden von Duck und Hjort Lake als Temperatur-Proxy**

Die Anordnung der Datenpunkte von Duck und Hjort Lake findet hauptsächlich entlang der ersten Achse statt, und auch der Temperaturparameter korreliert mit Achse 1. Aufgrund dieser Beobachtung kann die CCA Achse 1 als repräsentativ für die Temperatur angenommen werden. Für beide Seen ergibt sich dabei, trotz der deutlichen Unterschiede im organischen Kohlenstoff, ein sehr ähnliches Signal (Abb. 29). Daher kann ein stärkerer Einfluss des Nährstoffgehaltes auf CCA Achse 1 ausgeschlossen werden.



**Abb. 29** Die CCA Achse 1 der Daten des Duck und Hjort Lakes zusammen mit ausgewählten biogeochemischen Parametern der Kernsequenzen Lz1103 des Duck Lakes (blau) und Lz1104 des Hjort Lakes (orange) gegen das Alter dargestellt. Die grauen Bereiche markieren die zeitlich verzögerten Vorkommen analoger Chironomiden-Vergesellschaftungen im Duck Lake.

Anhand der holozänen Chironomiden-Vergesellschaftungen aus Duck und Hjort Lake lassen sich 3 Hauptphasen sowie zwei Unterphasen unterscheiden (Abb. 30):

#### Phase I (ca. 10.000 – 8000 Kalenderjahre BP)

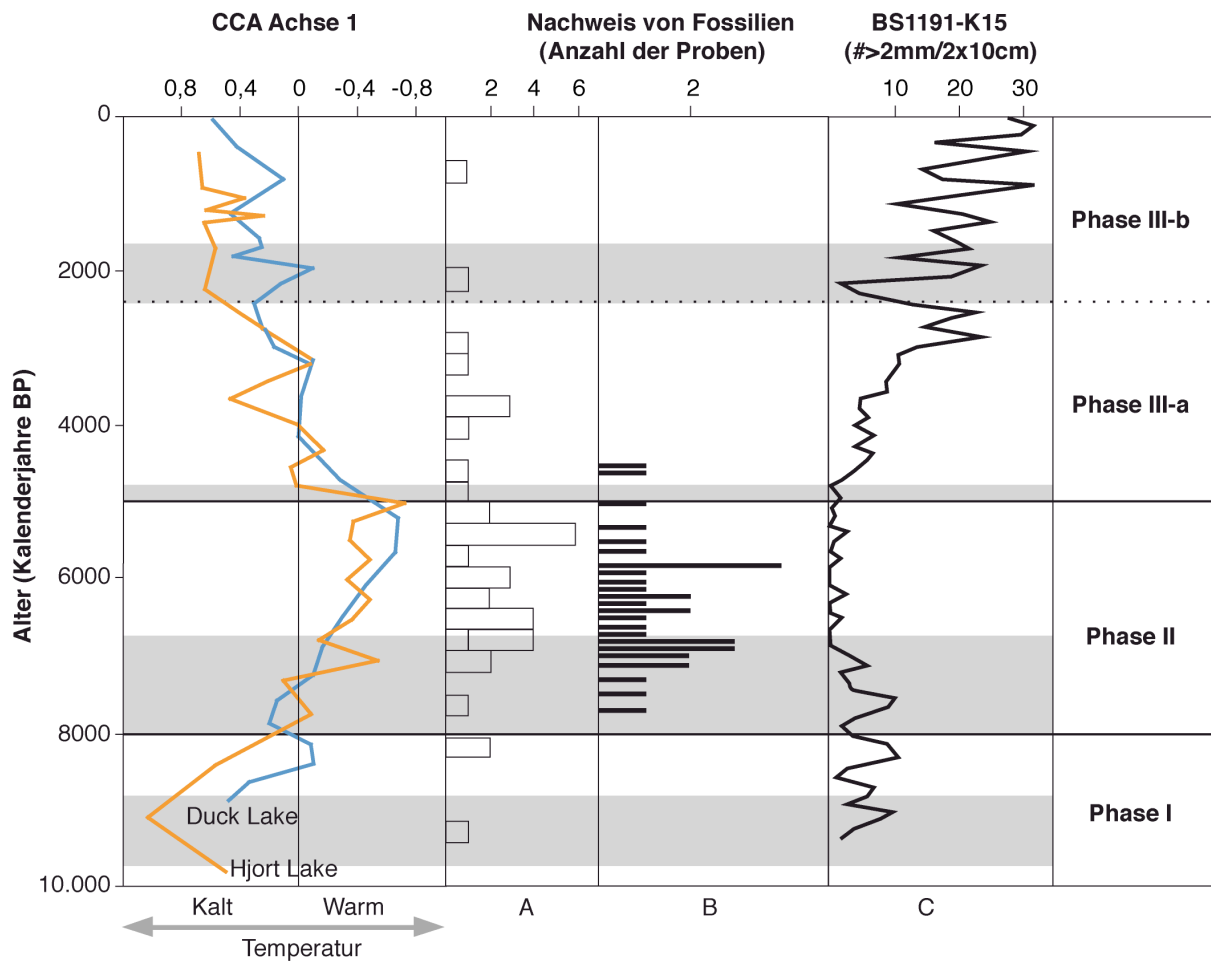
Sehr typisch für das Frühholozän ist die geringe Abundanz der Chironomiden und deren kalt angepasste Chironomiden-Vergesellschaftung (z. B. *Oliveridia*, *Pseudodiamesa*) sowie ein Fehlen von Arten mit einer höheren Temperaturtoleranz.

Nach dem Zerfall des lokalen Gletschersystems um ca. 10.000 bis 9000 Kalenderjahre BP (Wagner *et al.*, 2008; Klug *et al.*, 2009) erscheinen im Frühholozän die ersten Chironomiden-Vergesellschaftungen im Duck und Hjort Lake leicht zeitlich versetzt. Im Duck Lake siedelt sich die erste Chironomiden-Vergesellschaftung ca. 500 Jahre später als im Hjort Lake an, wobei ein Zusammenhang zum Reservoir-Effekt von 520 Jahren (Klug *et al.*, 2009) vermutlich ausgeschlossen werden kann, zumal die zeitlichen Differenzen, die während des Holozäns zwischen beiden Seen hinsichtlich gleicher Chironomiden-Vergesellschaftungen auftreten, variieren. Möglicherweise, bedingt durch das größere Einzugsgebiet, kam es im Hjort Lake bereits ab ca. 9500 Kalenderjahre BP, vermutlich als Folge eines größeren Schmelzwasserzuflusses, zu einer verstärkten Nährstoffzufuhr. Die Chironomiden-

Vergesellschaftung im Hjort Lake konnte sich somit möglicherweise früher entfalten. Allerdings bleibt die zeitliche Einordnung des Zeitraumes zwischen 10.000 und 9000 Kalenderjahre BP aufgrund mangelnder Datierungen sehr spekulativ.

Interpretiert man die CCA Achse 1 als Temperaturkurve, so fällt auf, dass das Frühholozän kein eindeutiges Temperaturmaximum aufweist, wie es für diese Region zu erwarten wäre (z. B. Larsen *et al.*, 1995; Dahl-Jensen *et al.*, 1998; Wagner *et al.*, 2000). Sehr wahrscheinlich spielt dabei die Migrationszeit der hocharktischen Chironomiden-Vergesellschaftungen in beide Seen eine entscheidende Rolle. Das niedrige Signal bis ca. 8000 Kalenderjahre BP könnte aber auch in Relation zu den anhaltenden Meereisvorkommen im nördlichen Nordatlantik im Frühholozän stehen, die als Ursache für das fehlende bzw. selten auftretende Treibholz in Nord- und Ostgrönland bis ca. 7400 Kalenderjahre BP angenommen werden (Bennike, 2004; Abb. 30, A). Diese weitverbreiteten Vorkommen von beständigem Meereis (Bennike, 2004) deuten vermutlich auf kühlere Bedingungen in der küstennahen Region im Frühholozän hin.

Eine erste signifikante Bioproduktion nach dem LGM lässt sich in einem leichten Anstieg der TOC-Gehalte in beiden Seen erkennen, zwar ist der TOC-Anstieg im Duck Lake deutlich stärker als im Hjort Lake, dennoch bleibt die organische Akkumulation in beiden Seen im Frühholozän gering (Abb. 29). Die Unterschiede im TOC-Gehalt beider Seen spiegeln in Phase I auch das unterschiedliche Auftreten der Moose wider. So führen verstärkt auftretende aquatische Moose im Duck Lake vermutlich zu einem höheren TOC-Gehalt. Im Hjort Lake wurden mit der erhöhten Schmelzwasserzufuhr im Frühholozän verstärkt Schwebstoffe in den See gespült, die das Wachstum der sehr lichtempfindlichen Moose behinderten. Das TOC/TN Verhältnis mit einem Wert von 10 deutet auf eine gleichermaßen autochthone wie allochthone Herkunft der Organik in beiden Seen hin (Meyers & Ishiwatari, 1995).



**Abb. 30** Die CCA Achse 1 mit den Daten aus Duck und Hjort Lake dargestellt zum Alter, gemeinsam mit: (A) der Verteilung von datiertem, nicht-archäologischem Treibholz aus dem Norden und Osten von Grönland, (B) der Verteilung von datierten Muscheln, Treibholz und Knochen von marinen Säugetieren aus Nioghalvfjærdsfjorden in Nordostgrönland (modifiziert nach Bennike, 2004) und (C) den IRD Daten vom Ostgrönlandrand (modifiziert nach Andrews *et al.*, 1997). Die grauen Bereiche markieren den zeitlich verzögerten Einsatz analoger Chironomiden-Vergesellschaftungen im Duck Lake.

#### Phase II (ca. 8000 – 5000 Kalenderjahre BP)

Das Mittelholozän ist durch günstige, klimatische Bedingungen auf Store Koldewey charakterisiert. In beiden Seen ist die Chironomiden-Vergesellschaftung (z. B. *Tanytarsus lugens*-type, *Corynocera oliveri*-type und *Procladius*) in Phase II durch Arten gekennzeichnet, die rezent in wärmeren Seen vorkommen. Während diese Chironomiden-Vergesellschaftung im Hjort Lake bereits bei 8000 Kalenderjahre BP auftritt, findet man sie im Duck Lake erst bei 6800 Kalenderjahre BP. Das zeitlich versetzte Vorkommen gleicher Chironomiden-Vergesellschaftungen resultiert vermutlich aus der Differenz der Nährstoffverfügbarkeit in den beiden Seen. Im Hjort Lake erscheint die typische

Chironomiden-Vergesellschaftung für die Phase II, vermutlich als Folge einer generell besseren Nährstoffverfügbarkeit, die sich bereits in Phase I zeigt (siehe im Text Phase I), deutlich früher. Derartige zeitliche Abweichungen in den Altersmodellen von Duck (Klug *et al.*, 2009) und Hjort Lake (Wagner *et al.*, 2008) sind eher unwahrscheinlich, jedoch nicht vollständig auszuschließen.

Beginnend bei ca. 8000 Kalenderjahre BP steigen die Werte von CCA Achse 1 aus Duck und Hjort Lake deutlich an und erreichen ihr Maximum bei ca. 5000 Kalenderjahre BP (Abb. 30). Gleichzeitig kann zwischen ca. 7000 und 5000 Kalenderjahre BP eine Abnahme des vom Eis verfrachteten Gesteinsschutt (IRD: *ice-rafted debris*) am Ostgrönlandrand (Abb. 30, C) beobachtet werden (Andrews *et al.*, 1997). Ein Temperaturmaximum lässt sich auch aus dem Fehlen einer permanenten Meereisbedeckung in Nioghalvfjærdsfjorden (Abb. 1) zwischen 7700 – 4500 Kalenderjahre BP ableiten, dass im verstärkten Auftreten von Treibholz zwischen 6800 und 5500 Kalenderjahre BP dokumentiert ist (Abb. 30, B; Bennike, 2004).

Die organische Akkumulation steigt ab ca. 7500 Kalenderjahre BP im Hjort Lake und ab ca. 6000 Kalenderjahre BP im Duck Lake deutlich an (Abb. 29). Zeitgleich vermehren sich aquatische Moose. Ein drastischer Rückgang der Korngröße im Hjort Lake (Abb. 20) sowie das Auftreten laminiertes Ton-Mudden (Tab. 5, Abb. 16) deuten in beiden Seen auf ein beruhigtes Ablagerungsmilieu hin. Das hohe TOC/TS Verhältnis (Abb. 29) im Duck und Hjort Lake könnte auf gute sauerstoffgesättigte Bodenwasserbedingungen hinweisen. In Phase II nimmt auch die Abundanz der Chironomiden zur zweiten Hälfte drastisch zu.

Die Phase II war vermutlich die wärmste Phase im Holozän von Store Koldewey.

#### Phase III-a (ca. 5000 – 2400 Kalenderjahre BP)

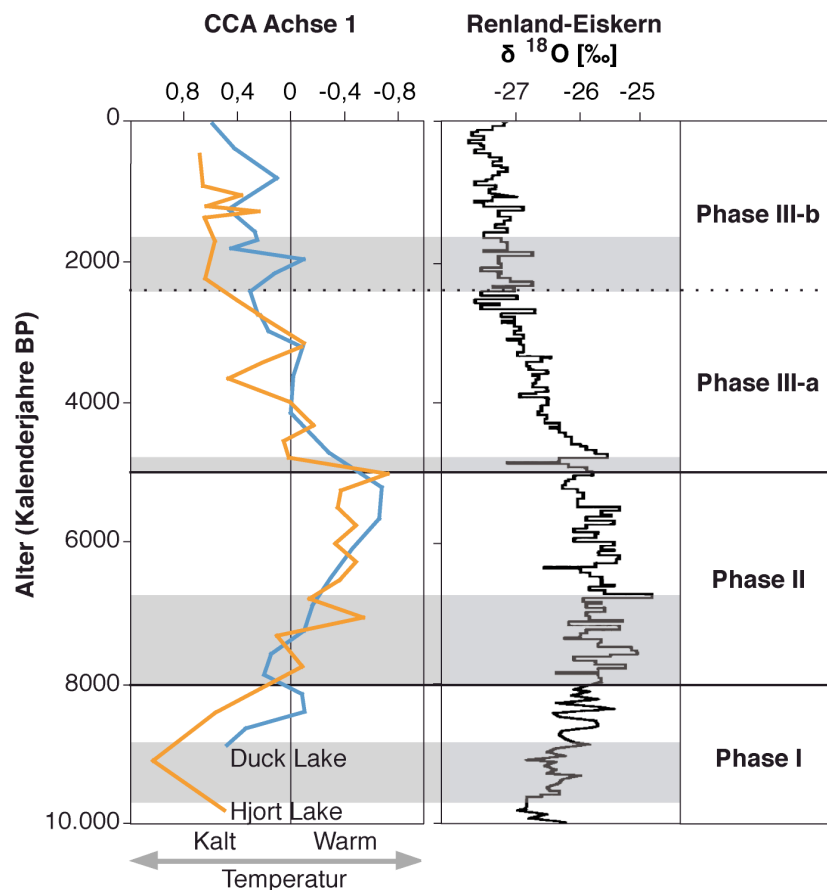
Das Fehlen der Chironomiden-Vergesellschaftung *C. oliveri-type*, *T. lugens-type* und *Procladius*, typische Arten für rezent wärmere Seen, startet synchron mit einer Kältephase bei ca. 5000 Kalenderjahren BP in Nordostgrönland.

Der zeitliche Versatz der übereinstimmenden Chironomiden-Vergesellschaftungen von nur ca. 300 Jahren zwischen beiden Seen, mit verspätetem Auftreten im Duck Lake (bei ca. 4700 Kalenderjahre BP), ist erstaunlich gering. Möglicherweise existierten sehr ähnliche Bedingungen für die Chironomiden-Vergesellschaftungen in beiden Seen. Kühle Temperaturen könnten den Schmelzwasserzufluss und damit einen vermehrten Nährstoffeintrag in den Hjort Lake um ca. 5000 Kalenderjahre BP verringert haben. Das Verschwinden der Chironomiden-Vergesellschaftung *C. oliveri-type*, *T. lugens-type* und *Procladius* wird vermutlich über die Temperatur gesteuert.



Die abrupte Abnahme der Werte von CCA Achse 1 bei ca. 5000 Kalenderjahre BP ist vermutlich ein Indiz für einen Trend zu kälteren Temperaturen auf Store Koldewey.

Die plötzliche Abnahme der Werte von CCA Achse 1 korreliert sehr gut mit dem Einsetzen eines Kältetrends in Nordostgrönland um 5000 Kalenderjahre BP, verursacht durch die angestiegene Aktivität der Ostgrönlandströmung und als Folge der abnehmenden Sommer-Insolation auf der nördlichen Hemisphäre (Berger & Loutre, 1991; Koc *et al.*, 1993). Eine Abnahme der  $\delta^{18}\text{O}$  Verhältnisse bei 4700 Kalenderjahre BP im Renland-Eiskern (Johnsen *et al.*, 1992b) deutet ebenfalls diese Abkühlungstendenz an (Abb. 31). Die Neoglaziale Abkühlung ist ab 4700 Kalenderjahre BP ebenso auf dem Ostgrönlandschelf belegt, wo sie sich durch einen erhöhten Karbonateintrag in Folge einer ansteigenden Ablagerung von kalkhaltigen IRD auf dem Schelf bemerkbar macht (Jennings *et al.*, 2002). Etwas versetzt setzt bei ca. 4500 Kalenderjahre BP im Umkreis von Grönland, wie z. B. Svalbard und Franz-Josef-Land, eine verstärkte glaziale Expansion ein (Lubinski *et al.*, 1999).



**Abb. 31** Die CCA Achse 1 mit Daten aus Duck und Hjort Lake gemeinsam mit der  $\delta^{18}\text{O}$  Kurve des Renland Eiskernes (Johnsen *et al.*, 1992b) dargestellt zum Alter. Die grauen Bereiche kennzeichnen den zeitlich verzögerten Einsatz analoger Chironomiden-Vergesellschaftungen im Duck Lake.

Der TOC-Gehalt bleibt in beiden Seen jedoch relativ hoch (Abb. 29). Eine Erklärung für den langsamen Abbau der organischen Substanz liegt möglicherweise in den, durch eine längerfristige Eisbedeckung verursachten, reduzierenden Bodenwasserbedingungen in beiden Gewässern (Wagner *et al.*, 2008), die durch ein abnehmendes TOC/TS-Verhältnis sowie einen hohen TS-Gehalt angedeutet werden. Die aquatischen Moosvorkommen sind in beiden Seen überwiegend gering, was möglicherweise auf Lichtmangel infolge einer andauernden Eisbedeckung mit Schneeaufgabe schließen lässt. Kurzzeitige eisfreie Phasen könnten die Zunahme der aquatischen Moose bei ca. 3000 und 3500 Kalenderjahre BP und damit den niedrigen TS-Gehalt in den Sedimenten beider Seen erklären.

#### Phase III-b (2400 Kalenderjahre BP – rezent)

Im Spätholozän zeigt sich eine ähnliche Zusammensetzung der Chironomiden wie im Frühholozän. So erscheinen z. B. erneut die kalt angepassten Arten *Pseudodiamesa* und *Oliveridia*, während *Sergentia coracina*-type und *Paracladius* verschwinden. Analoge Chironomiden-Vergesellschaftungen zum Hjort Lake (ab ca. 2400 Kalenderjahre BP) lassen sich im Duck Lake erst bei 1500 Kalenderjahre BP finden. Die Erklärung dafür ist scheinbar identisch zu Phase I (siehe Phase I), d. h. die Nährstoffverfügbarkeit war bereits ab ca. 2400 Kalenderjahre BP im Hjort Lake ähnlich zu jener ca. 900 Jahre später im Duck Lake. Unsicherheiten in den Altersmodellen von Duck (Klug *et al.*, 2009) und Hjort Lake (Wagner *et al.*, 2008) sind eher unwahrscheinlich, jedoch nicht komplett auszuschließen.

Die Daten der Chironomiden-Vergesellschaftungen aus dem Frühholozän (Phase I) und Spätholozän (Phase III-b) des Duck und Hjort Lakes auf CCA Achse 1 (Abb. 29) zeigen ein gleiches Signal, während im Duck Lake der TOC- und TS-Gehalt im Früh- und Spätholozän deutliche Unterschiede aufweist. Ebenso ist die Artenzusammensetzung der Chironomiden-Vergesellschaftungen in beiden Seen im Früh- und Spätholozän identisch. Diese Beobachtung verdeutlicht, dass der TS- und der TOC-Gehalt keinen Einfluss auf den Verlauf der Datenpunkte des Duck und Hjort Lakes von CCA Achse 1 haben.

Während des Spätholozäns kam es auf Store Koldewey vermutlich zu häufigen Temperaturwechseln mit einer Tendenz zu niedrigen Temperaturen. Die Chironomiden-Abundanz verringert sich drastisch, zudem erkennt man einen Rückgang in der Artenzahl (Abb. 18, Abb. 22), mit einer Ausnahme zwischen ca. 1300 und 800 Kalenderjahre BP im Duck Lake sowie zwischen ca. 1500 und 1000 Kalenderjahre BP im Hjort Lake. Möglicherweise handelt es sich dabei um die Mittelalterliche Erwärmung, welche sich auch im Verlauf der Datenpunkte des Duck (Maximum bei ca. 800 Kalenderjahre BP) und Hjort

Lakes (Maximum bei ca. 1300 Kalenderjahre BP) von CCA Achse 1 widerspiegelt (Abb. 30). Zum Zeitpunkt der angenommenen Mittelalterliche Erwärmung treten verstärkt aquatische Moose im Duck und Hjort Lake auf, was auf eisfreie Seen schließen lässt. Ein leicht erhöhter TIC-Gehalt (Abb. 26) bei ca. 1300 und 800 Kalenderjahre BP im Duck Lake untermauert einen Temperaturanstieg. Die Karbonatfällung im Duck Lake ist möglicherweise eine Folge der angestiegenen biogenen Produktion oder aber der Abbau von organischer Substanz führte zur Bildung von Siderit (Klug *et al.*, 2009). Vermutlich aufgrund der sehr niedrigen biogenen Produktion (Abb. 29) im Hjort Lake ist der TIC-Gehalt nicht nachweisbar.

## 8 Schlussbetrachtung und Ausblick

### 8.1 Schlussbetrachtung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden an zwei Kernsequenzen aus zwei hocharktischen Seen auf Store Koldewey, einer Insel auf Nordostgrönland, Untersuchungen an fossilen Chironomiden-Vergesellschaftungen im Hinblick auf die holozäne Klima- und Umweltrekonstruktion der Region durchgeführt.

Die Untersuchung von zwei Seen auf Store Koldewey, des Hjort und Duck Lakes, repräsentiert eine ähnliche Verteilung der Chironomiden-Vergesellschaftung im Verlauf des Holozäns.

Nach dem Zerfall des lokalen Gletschersystems um ca. 10.000 bis 9000 Kalenderjahre BP (Wagner *et al.*, 2008; Klug *et al.*, 2009) startet die erste Besiedlung von Chironomiden im Hjort Lake bei ca. 9500 Kalenderjahren BP und im Duck Lake bei ca. 9000 Kalenderjahren BP. Das generell frühere Auftreten gleicher Chironomiden-Vergesellschaftungen im Hjort Lake ist vermutlich eine Folge des größeren Einzugsgebietes im Hjort Lake, und der damit verbundenen stärkeren Zufuhr von Nährstoffen über Schmelzwasser. Unsicherheiten in den Altersmodellen von Duck (Klug *et al.*, 2009) und Hjort Lake (Wagner *et al.*, 2008) sind möglich, jedoch eher unwahrscheinlich. In beiden Seen bleibt die Abundanz der Chironomiden im Frühholozän bis ca. 8000 Kalenderjahren BP im Hjort Lake und bis ca. 6800 Kalenderjahren BP im Duck Lake sehr rar. Es erscheinen kalt angepasste Arten, wie z. B. *Oliveridia* und *Pseudodiamesa*, während Arten mit einer höheren Temperaturtoleranz fehlen. Die Chironomiden-Vergesellschaftungen beider Seen zeigen kein eindeutiges Temperaturoptimum im Frühholozän an, wie es aus anderen Archiven für diese Region belegt ist (z. B. Johnsen *et al.*, 1992b; Dahl-Jensen *et al.* 1998; Wagner *et al.*, 2000). Vermutlich hatten dauerhafte Meereisvorkommen vor Nord- und Ostgrönland (Bennike, 2004) einen stärkeren Einfluss auf das Klima von Store Koldewey, so dass niedrige Temperaturen die Entfaltung von Chironomiden hemmten. Die Migrationszeit der Chironomiden-Vergesellschaftungen im Frühholozän könnte ebenso die Entwicklung von Chironomiden in beiden Seen verzögert haben.

Die höchste Abundanz von Chironomiden wurde im Mittelholozän (8000 – 5000 Kalenderjahren BP Hjort Lake, 6800 – 4700 Kalenderjahren BP Duck Lake), einer Zeit mit günstigen, klimatischen Bedingungen auf Store Koldewey, erreicht. In beiden Seen ist die Chironomiden-Vergesellschaftung (z. B. *Corynocera oliveri*-type, *Tanytarsus lugens*-type und *Procladius*) durch Arten charakterisiert, die rezent in wärmeren Seen auftreten. In diesem Zeitraum deutet die Chironomiden-Vergesellschaftung auf ein Ansteigen der Temperatur hin.

Auch deutet das Ergebnis einer CCA, wobei unter anderem Chironomiden aus rezenten Seesedimenten der kanadischen Arktis sowie deren Umweltparameter (Gajewski *et al.*, 2005) einfließen, eine Tendenz zu wärmeren Temperaturen im Mittelholozän an. Ein mittelholozänes Temperaturmaximum wird z. B. durch das Fehlen einer permanenten Eisbedeckung in Nioghalvfjærdsfjorden in Nordostgrönland zwischen 7700–4500 Kalenderjahre BP (Bennike, 2004) sowie die Abnahme der IRD Daten zwischen 7000–5000 Kalenderjahre BP am Ostgrönlandrand (Andrews *et al.*, 1997) belegt.

Das Verschwinden der Chironomiden-Vergesellschaftung *C. oliveri-type*, *T. lugens-type* und *Procladius*, typischer Arten für heutzutage wärmere Seen, setzt zeitgleich mit der Kältephase in Nordostgrönland bei ungefähr 5000 Kalenderjahren BP ein.

Die abrupte Abnahme der Werte von CCA Achse 1 bei ca. 5000 Kalenderjahre BP ist vermutlich ein Anzeichen für einen Trend zu kälteren Temperaturen auf Store Koldewey. Die Neoglaziale Abkühlung ist ab 4700 Kalenderjahre BP vom Ostgrönlandschelf belegt, wo sie sich durch einen erhöhten Karbonateintrag in Folge einer ansteigenden Ablagerung von kalkhaltigen IRD auf dem Schelf nachweisen lässt (Jennings *et al.*, 2002). Diese Abkühlungstendenz wird auch durch die Abnahme der  $\delta^{18}\text{O}$  Verhältnisse bei 4700 Kalenderjahre BP im Renland-Eiskern (Johnsen *et al.*, 1992b), die nachlassende Sommer-Insolation auf der nördlichen Hemisphäre, die angestiegene Aktivität der Ostgrönlandströmung (Berger & Loutre, 1991; Koc *et al.*, 1993) sowie von einer verstärkten glazialen Expansion bei ca. 4500 Kalenderjahre BP im Umkreis von Grönland, wie z. B. Svalbard und Franz Josef Land (Lubinski *et al.*, 1999), gestützt. In dieser Kältephase könnte eine längerfristige Eisbedeckung auf dem Duck und Hjort Lake zum Erhalt von organischer Substanz beigetragen haben.

Im Spätholozän, ab ca. 2400 Kalenderjahre BP, kam es vermutlich zu häufigeren Temperaturwechseln mit einer Tendenz zu niedrigen Temperaturen, was sich durch einen Rückgang in der Artenzahl und der Chironomiden-Abundanz widerspiegelt. Die Chironomiden-Vergesellschaftung im Spätholozän weist eine ähnliche Zusammensetzung der Arten (z. B. *Pseudodiamesa*, *Oliveridia*.) wie jene im Frühholozän auf. Eine kurzzeitige Zunahme der Chironomiden-Abundanz zwischen ca. 1300 und 800 Kalenderjahre BP im Duck Lake sowie zwischen ca. 1500 und 1000 Kalenderjahre BP im Hjort Lake reflektiert möglicherweise die Zeit der mittelalterlichen Erwärmung. Dieses Signal lässt sich auch in den Datenpunkten des Duck und Hjort Lakes von CCA Achse 1 wiederfinden.

Der Hjort Lake wird durch sein größeres Einzugsgebiet verstärkt von der Schmelzwasserdynamik gesteuert. Das generell frühere Auftreten der Chironomiden-

Vergesellschaftungszonen im Hjort Lake wird zwar auf seine vermutlich bessere Nährstoffsituation zurückgeführt, dennoch ist die Temperatur für die Häufigkeit und die Zusammensetzung der Chironomiden in den Seen auf Store Koldewey der steuernde Faktor.

## **8.2 Ausblick**

Im Rahmen dieser Arbeit ergaben sich einige offene Fragestellungen bei der Auswertung der Chironomiden-Vergesellschaftungen von Store Koldewey.

Gegenwärtig existiert von Nordostgrönland kein ausreichender Datensatz über Chironomiden-Vergesellschaftungen aus rezenten Seesedimenten. Speziell in der Küstenregion wäre eine Untersuchung der holozänen Chironomiden-Vergesellschaftungen Store Koldeweys mit rezenten Chironomiden aus der Region von Bedeutung. Zwar liegen die in dieser Studie verwendeten rezenten Chironomiden aus der kanadischen Arktis ungefähr auf einem ähnlichen Breitengrad und finden daher Anwendung in dieser Arbeit. Dennoch werden die Chironomiden-Vergesellschaftungen von Store Koldewey möglicherweise von der Ostgrönlandströmung beeinflusst. Es besteht daher großes Interesse daran, ob sich Chironomiden aus rezenten Seesedimenten und deren Umweltparameter von Nordostgrönland z. B. in einer CCA ähnlich verhalten wie jene Chironomiden und deren Umweltparameter aus der kanadischen Arktis. Für eine detaillierte Rekonstruktion der holozänen Klima- und Umweltgeschichte, unter Berücksichtigung der Ostgrönlandströmung, wäre eine Untersuchung von Chironomiden aus rezenten Seesedimenten und deren Umweltparameter in der Küstennähe Nordostgrönlands sehr aufschlussreich. Auch existiert bislang nur ein weiterer Datensatz (Wagner *et al.*, 2005) von fossilen Chironomiden-Vergesellschaftungen in Ostgrönland. In bisherigen Untersuchungen aus Nordostgrönland findet man in Multiproxy-Studien ausschließlich die Abundanz fossiler Chironomiden, jedoch keine Datensätze über die vorkommenden Arten. Diese Studie zeigt zwar, dass die Temperatur sehr wahrscheinlich ein limitierender Faktor ist, jedoch besteht in dieser hocharktischen Region ein weiterer Forschungsbedarf, um herauszufinden ob sich Chironomiden als sicherer Temperatur-Proxy für diese hocharktische Region eignen.

**Referenzliste**

- Achtziger, R., Nigmann, U. & Zwölfer, H. 1992: Rarefaction-Methoden und ihre Einsatzmöglichkeiten bei der zooökologischen Zustandsanalyse und Bewertung von Biotopen. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 1, 89–105.
- Alley, R.B., Mayewski, P.A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K.C. & Clark, P.U. 1997: Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology* 25, 483–486.
- Andersen, F.S. 1937: Über die Metamorphose der Ceratopogoniden und Chironomiden Nordost-Grönlands. *Meddelelser om Grønland* 116, 1–95.
- Andreev, A.A., Tarasov, P.E., Schwamborn, G., Ilyashuk, B., Ilyashuk, E., Bobrov, A., Klimanov, V., Rachold, V. & Hubberten, H.-W. 2004: Holocene paleoenvironmental records from Nikolay Lake, Lena River Delta, Arctic Russia. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 209, 197–217.
- Andreev, A.A., Tarasov, P.E., Ilyashuk, B.P., Ilyashuk, E.A., Cremer, H., Hermichen, W.-D., Wischer, F. & Hubberten, H.-W. 2005: Holocene environmental history recorded in Lake Lyadhej-To sediments, Polar Urals, Russia. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 223, 181–203.
- Andrews, J.T., Smith, L.M., Preston, R., Cooper, T. & Jennings, A.E. 1997: Spatial and temporal patterns of iceberg rafting (IRD) along the East Greenland margin, ca. 68 degrees N, over the last 14 cal ka. *Journal of Quaternary Science* 12, 1–13.
- Axford, Y. ehem. Homepage (Foto: *Micropsectra* Kopfkapseln von Baffin Island)  
<http://rintintin.colorado.edu/~axford/research.html> (Zugriff am 14.11.2007).
- Bennike, O. & Funder, S. 1997: Macrofossil studies of Holocene lake sediments from Jameson Land, East Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 176, 80–83.
- Bennike, O. & Weidick, A. 2001: Late Quaternary history around Nioghalvfjærdsfjorden and

- Jøkelbugten, North-East Greenland. *Boreas* 30, 205–227.
- Bennike, O. & Björck, S. 2002: Chronology of the last recession of the Greenland Ice Sheet. *Journal of Quaternary Science* 17, 211–219.
- Bennike, O. 2004: Holocene sea-ice variations in Greenland: onshore evidence. *The Holocene* 14, 607–613.
- Bennike, O., Cremer, H., Kannsson, L.H., Hultsch, N., Klug, M., Kobabe, S. & Wagner, B. 2004: Quaternary geological and biological studies on Store Koldewey and on Geographical Society Ø. *Berichte zur Polarforschung* 475, 51–74.
- Berg, M.B. 1995: Larval food and feeding behaviour. In Armitage, P.D., Cranston, P.S. & Pinder, L.C.V. (Eds.) *The Chironomidae. The biology and ecology of nonbiting midges*. London, Chapman & Hall, 136–168.
- Berger, A. & Loutre, M.F. 1991: Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Sciences Reviews* 10, 297–317.
- Bigler, C., Larocque, I., Peglar, S.M., Birks, H.J.B. & Hall, R.I. 2002: Quantitative multiproxy assessment of long-term patterns of Holocene environmental change from a small lake near Abisko, northern Sweden. *The Holocene* 12, 481–496.
- Bitusik, P. & Kubovcik, V. 1999: Sub-fossil Chironomidae from the sediments of the Nizne Terianske pleso. *Dipterologica bohemoslovaca* 9, 11–20.
- Björck, S. & Persson, T. 1981: Late Weichselian and Flandrian biostratigraphy and chronology from Hochstetter Forland, Northeast Greenland. *Geoscience* 5, 1–19.
- Björck, S., Bennike, O., Ingolfsson, O., Barnekow, L. & Penney, D.N. 1994a: Lake Boksehandsken's earliest postglacial sediments and their palaeoenvironmental implications, Jameson Land, East Greenland. *Boreas* 23, 459–472.



- Björck, S., Wohlfarth, B., Bennike, O., Hjort, C. & Persson, T. 1994b: Revision of the early Holocene lake sediment based chronology and event stratigraphy on Hochsetter Forland, NE Greenland. *Boreas* 23, 513–523.
- Björck, S., Rundgren, M., Ingolfsson, O. & Funder, S. 1997: The Preboreal oscillation around the Nordic Seas: terrestrial and lacustrine responses. *Journal of Quaternary Science* 12, 455–465.
- Björck, S. & Wohlfarth, B. 2001:  $^{14}\text{C}$  chronostratigraphic techniques in paleolimnology. In Last, W. M. & Smol, J. P. (Eds.): *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments; Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande, 1, 205–245.
- Briner, J.P., Michelutti, N., Francis, D.R., Miller, G.H., Axford, Y., Wooller, M.J. & Wolfe, A.P. 2006: A multi-proxy lacustrine record of Holocene climate change on northeastern Baffin Island, Arctic Canada. *Quaternary Research* 65, 431–442.
- Brodersen, K.P., Lindegaard, C. & Anderson, N.J. 2001: Holocene temperature and environmental reconstruction from lake sediments in the Søndre Strømfjord region, southern West Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 189, 59–64.
- Brodersen, K.P. & Anderson, N.J. 2002: Distribution of chironomids (Diptera) in low arctic West Greenland lakes: trophic conditions, temperature and environmental reconstruction. *Freshwater Biology* 47, 1137–1157.
- Brodersen, K.P. & Bennike, O. 2003: Interglacial Chironomidae (Diptera) from Thule, Northwest Greenland: matching modern analogues to fossil assemblages. *Boreas* 32, 560–565.
- Brodersen, K.P., Pedersen, O., Lindegaard, C. & Hamburger, K. 2004: Chironomids (Diptera) and oxy-regulatory capacity: An experimental approach to paleolimnological interpretation. *Limnology and Oceanography* 49, 1549–1559.
- Brodin, Y.W. 1986: The Postglacial History of Lake Flarken, Southern Sweden, Interpreted

- from Subfossil Insect Remains. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 71, 371–432.
- Brodin, Y.W. & Gransberg, M. 1993: Responses of Insects, Especially Chironomidae (Diptera), and Mites to 130 Years of Acidification in a Scottish Lake. *Hydrobiologia* 250, 201–212.
- Brooks, S.J. 1997: The response of Chironomidae (Insecta: Diptera) assemblages to Late-glacial climatic change in Kråkenes Lake, western Norway. *Quaternary Proceedings* 5, 49–58.
- Brooks, S.J. & Birks, H.J.B. 2000: Chironomid-inferred late-glacial and early-Holocene mean July air temperatures for Kråkenes Lake, western Norway. *Journal of Paleolimnology* 23, 77–89.
- Brooks, S.J. & Birks, H.J.B. 2001: Chironomid-inferred air temperatures from Lateglacial and Holocene sites in north-west Europe: progress and problems. *Quaternary Science Reviews* 20, 1723–1741.
- Brooks, S.J. 2003: Chironomid analysis to interpret and quantify Holocene climate change. In Mackay, A., Battarbee, R.W., Birks, H.J.B. & Oldfield, F., (Eds.), *Global change in the Holocene*, London: Arnold, 328–341.
- Brooks, S.J. & Birks, H.J.B. 2004: The dynamics of Chironomidae (Insecta: Diptera) assemblages in response to environmental change during the past 700 years on Svalbard. *Journal of Paleolimnology* 31, 483–498.
- Brooks, S.J. 2006: Fossil midges (Diptera: Chironomidae) as palaeoclimatic indicators for the Eurasian region. *Quaternary Science Reviews* 25, 1894–1910.
- Brooks, S.J., Langdon, P.G. & Heiri, O. 2007: *The Identification and Use of Palaeartic Chironomidae Larvae in Palaeoecology*. Quaternary Research Association Technical Guide 10, 276 pp.

- Brundin, L. 1949: Chironomiden und andere Bodentiere der südschwedischen Urgebirgsseen. Ein Beitrag zur Kenntnis der bodenfaunistischen Charakterzüge schwedischer oligotropher Seen. *Report of the Institute of Freshwater Research, Drottningholm* 30, 1–914.
- Cappelen, J., Jørgensen, B.V., Laursen, E.V., Stannius, L.S. & Thompson, R.S. 2001: The Observed Climate of Greenland, 1958–99 - with Climatological Standard Normals, 1961–90. Copenhagen: Danish Meteorological Institute, Ministry of Transport, *Technical Report* 00-18, 151 pp.
- Cranston, P.S. 1982: A key to the larvae of the British Orthocladiinae (Chironomidae). Freshwater Biological Association, Scientific Publication 45, 152 pp.
- Cranston, P.S., Oliver, D.R. & Saether, O.A. 1983: The larvae of the Orthocladiinae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic region. Keys and diagnoses. *Entomologica Scandinavica Supplement* 19, 149–291.
- Cranston, P.S. & Martin, J. 1989: Family Chironomidae. In Evenhuis, N.L. (Ed.) *Catalog of the Diptera of the Australasian and Oceanian regions*. Bishop Museum Press, Honolulu und E.J. Brill, Leiden: pp. 252–274.
- Cranston, P.S. 1995: Introduction. In Armitage, P.D., Cranston, P.S. & Pinder, L.C.V., (Eds.), *The Chironomidae: Biology and ecology of non-biting midges*, London: Chapman & Hall, 1–7.
- Cremer, H., Wagner, B., Melles, M. & Hubberten, H.-W. 2001: The postglacial environmental development of Raffles Sø, East Greenland: inferences from a 10,000 year diatom record. *Journal of Paleolimnology* 26, 67–87.
- Cremer, H. & Wagner, B. 2004: Planktonic diatom communities in High Arctic lakes (Store Koldewey, Northeast Greenland). *Canadian Journal of Botany* 82, 1744–1757.
- Cremer, H., Bennike, O., Hakansson, L., Hultsch, N., Klug, M., Kobabe, S., Wagner, B. 2005: Hydrology and Diatom Phytoplankton of High Arctic Lakes and Ponds on Store Koldewey, Northeast Greenland. *International Review of Hydrobiology* 90, 84–99.

- Cremer, H., Bennike, O. & Wagner, B. 2008: Lake sediment evidence for the last deglaciation of eastern Greenland. *Quaternary Science Reviews* 27, 312–319.
- Dahl-Jensen, D., Mosegaard, K., Gundestrup, N., Clow, G., Johnsen, S.J., Hansen, A.W. & Balling, N. 1998: Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet. *Science* 282, 268–271.
- Flemming H.-C. & Wingender J. 2001: Biofilme – die bevorzugte Lebensform der Bakterien. *Biologie in unserer Zeit* 31 169–180.
- Folk, R.L. & Ward, C.W. 1957: Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3–26.
- Fredskild, B. 1995: Palynology and sediment slumping in a high arctic Greenland lake. *Boreas* 24, 345–354.
- Funder, S. 1978: Holocene stratigraphy and vegetation history in the Scoresby Sund area, East Greenland. *Bulletin* 129, 1–66.
- Funder, S. & Abrahamsen, N. 1988: Palynology in a polar desert, eastern North Greenland. *Boreas* 17, 195–207.
- Funder, S. 1989: Quaternary geology of the ice free areas and adjacent shelves of Greenland. In Fulton, R.J., (Ed.), *Quaternary geology of Canada and Greenland*. Geological of Canada, 741–792.
- Funder, S. & Hansen, L. 1996: The Greenland ice sheet - a model for its culmination and decay during and after the last glacial maximum. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 42, 137–152.
- Funder, S., Hjort, C., Landvik, J.Y., Nam, S-I, Reeh, N. & Stein, R. 1998: History of a stable ice margin East Greenland during the Middle and Upper Pleistocene. *Quaternary Science Reviews* 17, 77–123.

- Gajewski, K., Bouchard, G., Wilson, S.E., Kurek, J. & Cwynar, L.C. 2005: Distribution of Chironomidae (Insecta: Diptera) head capsules in recent sediments of Canadian Arctic lakes. *Hydrobiologia* 549, 131–143.
- Gannon, J.E. 1971: Two counting cells for the enumeration of zooplankton micro-crustacea. *Transactions of American Microscopical Society* 90, 486-490.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T & Ryan, P.D. 2001: PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4. <http://folk.uio.no/ohammer/past/download.html>
- Harp, G.L. & Campbell, R.S. 1967: The distribution of *Tendipes plumosus* (Linné) in mineral acid water. *Limnology and Oceanography* 12, 260–263.
- Heiri, O. & Lotter, A.F. 2003: 9000 years of chironomid assemblage dynamics in an Alpine lake: long-term trends, sensitive to disturbance, and resilience of the fauna. *Journal of Paleolimnology* 30, 273–289.
- Heiri, O., Wick, L., van Leeuwen, F.N., van der Knaap, W.O. & Lotter, A.F. 2003. Holocene tree immigration and the chironomid fauna of a small Swiss subalpine lake (Hinterburgsee, 1515 m asl). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 189, 35–53.
- Henriksen, N. 2003: Caledonian Orogen, East Greenland 70°–82° N. Geological Map 1:1 000 000. Copenhagen, Geological Survey of Denmark and Greenland.
- Henrikson, L., Olofsson, J.B. & Oscarson, H.G. 1982: The impact of acidification on Chironomidae (Diptera) as indicated by subfossil stratification. *Hydrobiologia* 86, 223–229.
- Hjort, C. 1979: Glaciation in northern East Greenland during the Late Weichselian and Early Flandrian. *Boreas* 8, 281–296.
- Hjort, C. 1981: A glacial chronology for northern East Greenland. *Boreas* 10, 259-274.

- Hjort, C. & S. Björck 1984: A re-evaluated glacial chronology for northern East Greenland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 105, 235–243.
- Hjort, C. 1997: Glaciation, climate history, changing marine levels and the evolution of the Northeast Water Polynya. *Journal of Marine Systems* 10, 23–33.
- Hofmann, W. 1971: Zur Taxonomie und Palökologie subfossiler Chironomiden (Dipt.) in Seesedimenten. *Archiv für Hydrobiologie. Beihefte Ergebnisse der Limnologie* 6, 1–50.
- Hofmann, W. 1984: A subfossil record of the presumed larva of *Corynocera oliveri* Lindeberg from the Lobsigensee (Swiss Plateau) Studies in the Late-Quaternary of Lobsigensee 8. *Spinxiana* 7, 211–214.
- Hofmann, W. 1986: Chironomid analysis. In Berglund, B. E. (Ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Chichester: John Wiley & Sons, 715–727.
- Hofmann, W. 1988: The significance of chironomid analysis (insecta: diptera) for paleolimnological research. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 62, 501–509.
- Hurdle, B.G. 1986: *The Nordic Seas*. Springer; New York, 776 pp.
- Hurlbert, S.H. 1971: The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52, 577–586.
- Ilyashuk, B.P. & Ilyashuk, E.A. 2000: Paleoecological Analysis of Chironomid Assemblages of a Mountain Lake as a Source of Information for Biomonitoring. *Russian Journal of Ecology* 31, 353–358.
- Jennings, A.E., Knudsen, K.L., Hald, M., Hansen, C.V. & Andrews, J.T. 2002: A mid-Holocene shift in Arctic sea-ice variability on the East Greenland Shelf. *Holocene* 12, 49–58.

- Johnson, R.K. & Wiederholm, T. 1989: Classification and ordination of profundal macroinvertebrate communities in nutrient poor, oligo-mesohumic lakes in relation to environmental data. *Freshwater Biology* 21, 375–386.
- Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dansgaard, W., Fuhrer, K., Gundestrup, N., Hammer, C.U., Iversen, P., Jouzel, J., Stauffer, B. & Steffensen, J.P. 1992a: Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature* 359, 311–313.
- Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dansgaard, W., Gundestrup, N., Hansson, M., Jonsson, P., Steffensen, P. & Sveinbjörnsdóttir, A.E. 1992b: A 'deep' ice core from East Greenland. *Meddelelser om Grønland, Geoscience* 29, 3–22.
- Johnsen, S.J., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J.P., Clausen, H.B., Miller, H., Masson-Delmotte, V., Sveinbjörnsdóttir, A.E. & White, J. 2001: Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science* 16, 299–307.
- Jowsey, P.C. 1966: An improved peat sampler. *New Phytologist* 65, 245–248.
- Klug, M., Schmidt, S., Bennike, O., Heiri, O., Melles, M. & Wagner, B. 2009: Lake sediments from Store Koldewey, Northeast Greenland, as archive of Late Pleistocene and Holocene climatic and environmental changes. *Boreas* 38, 59–71.
- Koc, N., Jansen, E. & Haflidason, H. 1993: Paleoceanographic reconstructions of surface ocean conditions in the greenland, iceland and norwegian seas through the last 14 ka based on diatoms. *Quaternary Science Reviews* 12, 115–140.
- Kohshima, S. 1984: A novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier. *Nature* 310, 225–227.
- Korhola, A., Olander, H. & Blom, T. 2000: Cladoceran and chironomid assemblages as quantitative indicators of water depth in subarctic Fennoscandian lakes. *Journal of Paleolimnology* 24, 43–54.

- Larocque, I., Hall, R. & Grahn, E. 2001: Chironomids as indicators of climate change: a 100-lake training set from a subarctic region of northern Sweden (Lapland). *Journal of Paleolimnology* 26, 307–322.
- Larocque, I. & Bigler, C. 2004: Similarities and discrepancies between chironomids- and diatom-inferred temperature reconstructions through the Holocene at Lake 850, northern Sweden. *Quaternary International* 122, 109–121.
- Larocque, I., Pienitz, R. & Rolland, N. 2006: Factors influencing the distribution of chironomids in lakes distributed along a latitudinal gradient in northwestern Quebec, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 63, 1286–1297.
- Larsen, E., Sejrup, H.-P., Johnsen, S.J. & Knudsen, K.L. 1995: Do Greenland Ice Cores Reflect NW European Interglacial Climate Variations? *Quaternary Research* 43, 125–132.
- Laumer, J. 2007: Foto einer adulten Chironomidae.  
[www.treehugger.com/files/2007/11/as\\_us\\_politicia\\_1.php](http://www.treehugger.com/files/2007/11/as_us_politicia_1.php)  
(Zugriff am 29.04.2007).
- Lie, Ø., Bakke, J., Dokken, T., Jansen E. & Nesje, A. 2006: 2700 years BP - Evidence for large-scale mode shift in Atlantic atmospheric circulation. A coherent pattern from ocean and terrestrial archives at the Subboreal-Subatlanticum transition.
- Linevich, A.A. 1963: K biologii komarov semeistva Tendipedidae 'Biologiya bespozvonochnykh Baikala'. *Trudy Limnologicheskogo Instituta* 1, 3–48.
- Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Hofmann, W. & Marchetto, A. 1997: Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *Journal of Paleolimnology* 18, 395–420.
- Lotter, A.F., John, H., Birks, H.J.B., Hofmann, W. & Marchetto, A. 1998: Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *Journal of*



- Paleolimnology* 19, 443–463.
- Lozán, J.L. & Kausch, H. 2004: Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. *Wissenschaftliche Auswertungen*, Hamburg, Germany, 300 pp.
- Lubinski, D.J.L., Forman, S.L. & Miller, G.H. 1999: Holocene glacier and climate fluctuations on Franz Josef Land, Arctic Russia, 80°N. *Quaternary Science Reviews* 18, 85–108.
- Mackey, A.P. 1977: Growth and development of larval Chironomidae. *Oikos* 28, 270–275.
- Meyers, P.A. & Ishiwatari, R. 1995: Organic Matter Accumulation Records in Lake Sediments. In Lerman, D., Imboden, D. & Gat, J. (Eds.) *Physics and Chemistry of Lakes*, Heidelberg, Springer-Verlag, 279–328.
- Murray, J.W. 1991: *Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera*. New York: John Wiley, 1–397.
- Olander, H., Birks, H.J.B., Korhola, A. & Blom, T. 1999: An expanded calibration model for inferring lakewater and air temperatures from fossil chironomid assemblages in northern Fennoscandia. *The Holocene* 9, 279–294.
- Oliver, D.R. 1971: Life history of the chironomidae. *Annual Review Of Entomology* 16, 211–230.
- Oliver, D.R. 1983: The larvae of Diamesinae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic region. Keys and diagnoses. In Wiederholm, T. (Ed.) *Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses*. *Entomologica Scandinavia Supplement* 19: 115–138.
- Oliver, D.R. & Roussel, M.E. 1983: The genera of larval midges of Canada. Diptera: Chironomidae. *The insects and arachnids of Canada* 11. Agriculture Canada, Ottawa, 263 pp.
- Palmer, S., Walker, I. R., Heinrichs, M., Hebda, R. & Scudder, G. 2002: Postglacial midge

- community change and Holocene palaeotemperature reconstructions near treeline, southern British Columbia (Canada). *Journal of Paleolimnology* 28, 469–90.
- Perin, S. & Lean, D.R. 2004: The effects of ultraviolet-B radiation on freshwater ecosystems of the Arctic: Influence from stratospheric ozone depletion and climate change. *Environmental Reviews* 12, 1–70.
- Pinder, L.C.V. 1986: Biology of freshwater Chironomidae. *Annual Review of Entomology* 31, 1–23.
- Pinder, L.C.V. 1995: The habitats of chironomid larvae. In Armitage, P.D., Cranston, P.S. & Pinder, L.C.V. (Eds.) *The Chironomidae. The biology and ecology of nonbiting midges*. London, Chapman and Hall, 107–135.
- Porinchi, D.F. & MacDonald, G.M. 2003: The use and application of freshwater midges (Chironomidae: Insecta: Diptera) in geographical research. *Progress in Physical Geography* 27, 378–422.
- Porinchi, D.F., MacDonald, G.M., Bloom, A.M. & Moser, K.A. 2003: Late Pleistocene and early Holocene climate and limnological changes in the Sierra Nevada, California, USA inferred from midges (Insecta: Diptera: Chironomidae). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 198, 403–422.
- Reimer, P. J. & 28 weitere 2004: IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46, 1029–1058.
- Rellstab, C. & Spaak, P. 2006: Die Daphnien des Brienzsees. Unter besonderer Berücksichtigung des Hochwasserjahres 1999. *EA Wag Aquatic Research*, 53 pp.
- Saether, O.A. 1975: Nearctic and Palaearctic *Heterotrissocladius* (Diptera: Chironomidae). *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 193, 1–67.
- Saether, O.A. 1979: Chironomid communities as water quality indicators. *Holarctic Ecology* 2, 65–74.

- Stuiver, M. & Reimer, P. J. 1993: Extended C-14 Data-Base and Revised Calib 3.0 C-14 Age Calibration Program. *Radiocarbon* 35, 215–230.
- ter Braak, C.J.F. 1987: The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69, 69–77.
- ter Braak, C.J.F. & Verdonschot, P.F.M. 1995: Canonical correspondence analysis and multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* 57, 255–89.
- ter Braak, C.J.F. & Smilauer P. 1998: CANOCO Reference Manual and User's Guide to CANOCO for Windows. Centre for Biometry Wageningen, Wageningen, 352 pp.
- The Xerces Society for invertebrate conservation (ohne Jahr): Chironomidae Larvae Foto. Quelle: [www.xerces.org/](http://www.xerces.org/) (Zugriff am 29.04.2007).
- Thienemann, A. 1954: Chironomus, Leben, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung der Chironomiden. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Die Binnengewässer 20, 834 pp.
- Vinther, B.M., Clausen, H.B., Fisher, D.A., Koerner, R.M., Johnsen, S.J., Andersen, K.K., Dahl-Jensen, D., Rasmussen, S.O., Steffensen, J.P. & Svensson, A.M. 2008: Synchronizing ice cores from the Renland and Agassiz ice caps to the Greenland Ice Core Chronology. *Journal of Geophysical Research*, 113, D08115, DOI:10.1029/2007JD009143.
- Vinther, B.M., Clausen, H.B., Johnsen, S.J., Rasmussen, S.O., Andersen, K.K., Buchardt, S.L., Dahl-Jensen, D., Seierstad, I.K., Siggaard-Andersen, M-L., Steffensen, J.P., Svensson, A., Olsen, J., Heinemeier, J. 2006: A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. *Journal of Geophysical Research*, DOI:10.1029/2005JD006921.
- Wagner, B. & Melles, M. 2000: Holocene climatic and oceanic changes at East Greenland – evidences from seabird affected lake sediments on Raffles Ø. Holocene environmental

- history of East Greenland - evidence from lake sediments. *Berichte zur Polarforschung* 358, 1–93.
- Wagner, B., Melles, M., Hahne, J., Niessen, F. & Hubberten, H.-W. 2000: Holocene climate history of Geographical Society Ø, East Greenland - evidence from lake sediments. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 160, 45–68.
- Wagner, B. & Melles, M. 2001: A Holocene seabird record from Raffles Sø sediments, East Greenland, in response to climatic and oceanic changes. *Boreas* 30, 228–239.
- Wagner, B. & Melles, M. 2002: Holocene environmental history of western Ymer Ø, East Greenland, inferred from lake sediments. *Quaternary International* 89, 165–176.
- Wagner, B., Heiri, O. & Hoyer, D. 2005: Chironomids as proxies for palaeoenvironmental changes in East Greenland: a Holocene record from Geographical Society Ø. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 156, 543–556.
- Wagner, B., Bennike, O., Bos, J.A.A., Cremer, H., Lotter, A.F. & Melles, M. 2008: A multidisciplinary study of Holocene sediment records from Hjort Sø on Store Koldewey, Northeast Greenland. *Journal of Paleolimnology* 39, 381–398.
- Walker, I.R. 1990: Modern assemblages of arctic and alpine Chironomidae as analogues for late-glacial communities. *Hydrobiologia* 214, 223–227.
- Walker, I.R., Smol, J.P., Engstrom, D.R. & Birks, H.J.B. 1991: An assessment of Chironomidae as quantitative indicators of past climatic change. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48, 975–987.
- Walker, I.R., Oliver, D.R. & Dillon, M.E. 1992: The larva and habitat of *Parakiefferiella nigra* Brundin (Diptera: Chironomidae). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 26, 527–531.
- Walker, I.R. & MacDonald, G.M. 1995: Distributions of Chironomidae (Insecta: Diptera) and Other Freshwater Midges with Respect to Treeline, Northwest Territories, Canada. *Arctic*

---

*and Alpine Research* 27, 258–263.

Walker, I.R., Cwynar, L.C., Levesque, A.J. & Lotter, A.F. 1997: An expanded surface-water palaeotemperature inference model for use with fossil midges from eastern Canada. *Journal of Paleolimnology* 18: 165–78.

Walker, I.R. 2001: Midges: Chironomidae and related Diptera. In Smol, J.P., Birks, H.J.B. and Last, W.M. (Eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 43–66.

Walker, I.R., Levesque, A.J., Pienitz, R. & Smol, J.P., 2003: Freshwater midges of Yukon and adjacent Northwest Territories: a new tool for reconstructing Beringian paleoenvironments. *Journal of North American Benthological Society* 22, 323–37.

Wiederholm, T. (Ed.) 1983: Chironomidae of Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1 – Larvae. *Entomologica Scandinavia Supplement* 19, 457.

**ANHANG I**

**Fotoaufnahmen identifizierter Chironomiden**

**Bild 1** *Sergentia coracina*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 45–47 cm, Ventralseite, charakteristisch: Ventromentalplatten mit gepaarter Riffelung (Quadrat)

**Bild 2A** *Corynocera oliveri*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 73–75 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum

**Bild 2B** *C. oliveri*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 81–83 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mandibel mit großem Oberflächenzahn (Quadrat)

**Bild 2C** *C. oliveri*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 85–87 cm, Ventralseite, charakteristisch: überlagernde Zähne

**Bild 3** *Micropsectra insignilobus*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 37–39 cm, Ventralseite, charakteristisch: Antennensockel (Quadrat) lang mit kurzem, fast symmetrischem Dorn; im Vergleich zu *Micropsectra radialis*-type ist der Antennensockel bei *M. insignilobus*-type länger und der Dorn spitzer

**Bild 4** *Micropsectra radialis*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 41–43 cm, Ventralseite, charakteristisch: Antennensockel kurz, Dorn weniger spitz

SPEZIES – DUCK UND HJORT LAKE

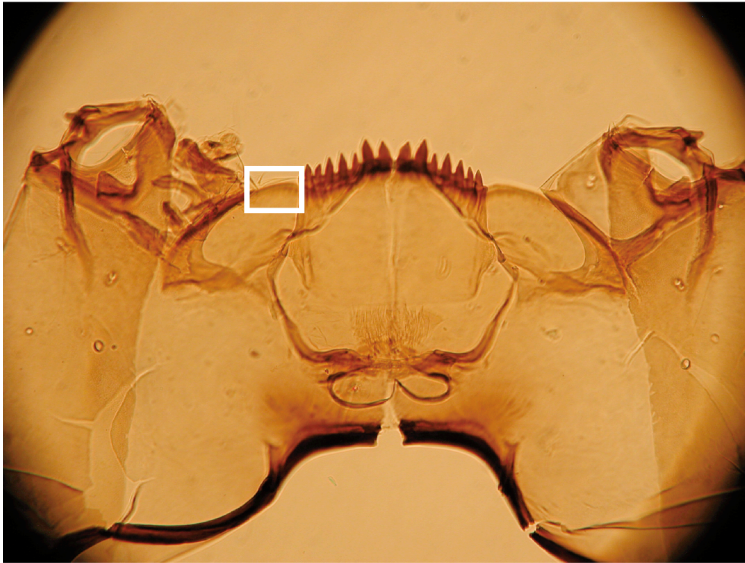


Bild 1

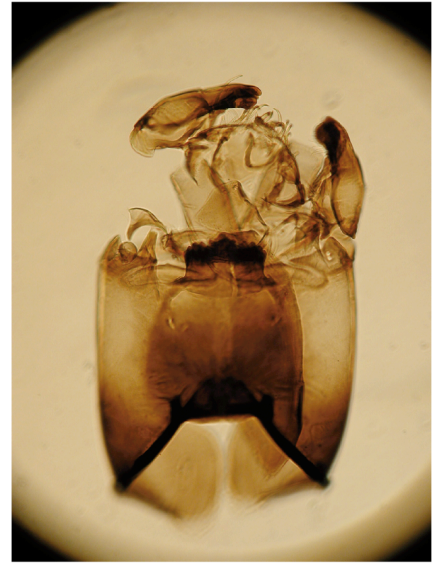


Bild 2A

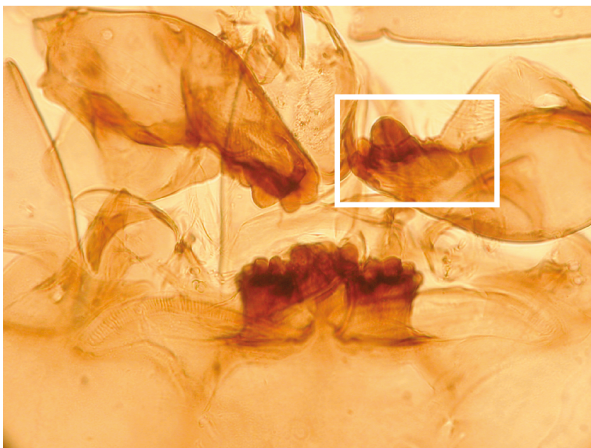


Bild 2B

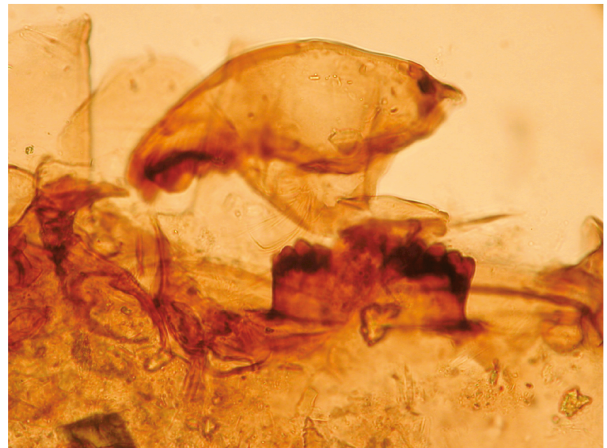


Bild 2C

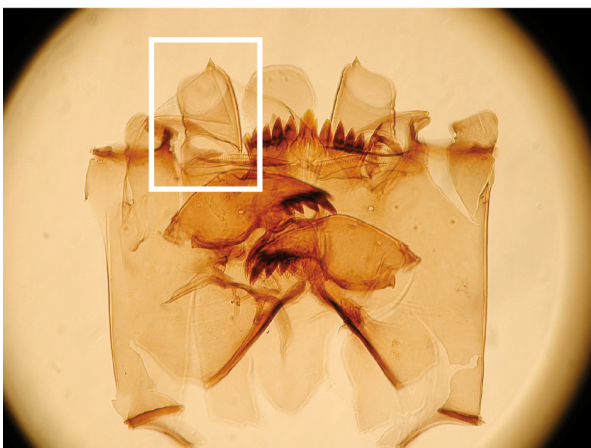


Bild 3



Bild 4



**Bild 5A** *Tanytarsus lugens*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 81–83 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum mit deutlich separierten Zähnen, der Mittelzahn und der erste seitliche Zahn liegen nicht in der gleichen Brennebene wie die äußeren Lateralzähne, sehr ähnlich zu *C. oliveri*-type; Fächerung der Ventromentalplatten gut sichtbar (Quadrat)

**Bild 5B** *Tanytarsus lugens*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 81–83 cm, charakteristisch: Mandibel mit kleinem Oberflächenzahn (Mandibeln mit großem Oberflächenzahn sind ähnlich zu *C. oliveri*-type)

**Bild 6** cf *Diamesa* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 65–67 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum mit überwiegend gleichförmigen Zähnen

**Bild 7A** *Pseudodiamesa* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 49–51 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum mit „dreieckigem“ Mittelzahn

**Bild 7B** *Pseudodiamesa* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 97–99 cm, Ventralseite, charakteristisch: große halbe Kopfkapseln, Mentum mit abgenutztem Mittelzahn, erster Lateralzahn leicht länger als Mittelzahn, zweiter Lateralzahn teilweise mit ersten Lateralzahn verschmolzen, sechster Seitenzahn ist wesentlich länger als der fünfte

**Bild 8A** *Oliveridia* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 105–107 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum mit einzeln stehenden Mittelzahn und paarweise sechs Lateralzähnen

**SPEZIES – DUCK UND HJORT LAKE**

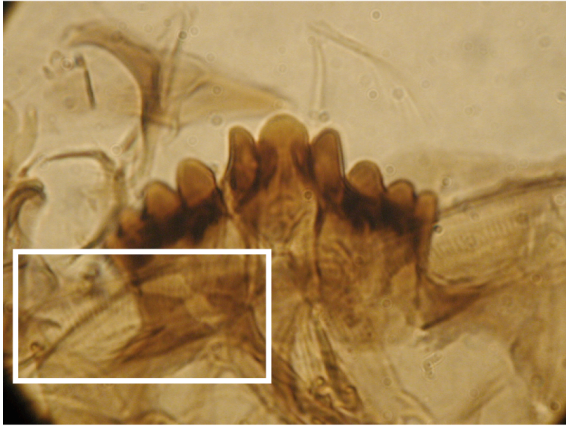


Bild 5A



Bild 5B

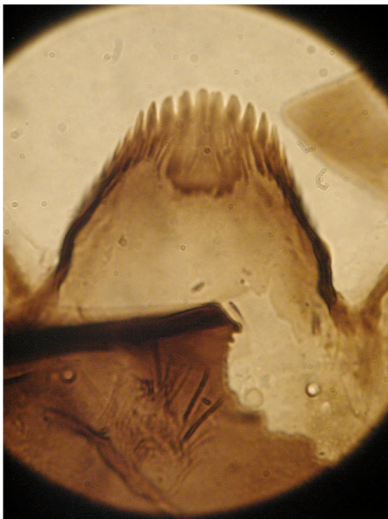


Bild 6

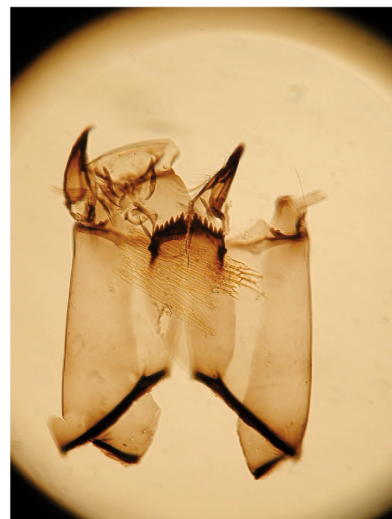


Bild 7A

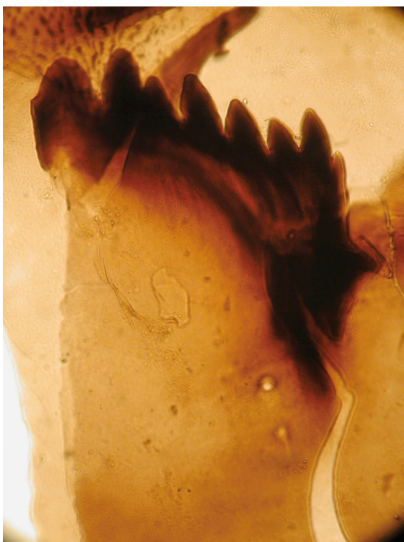


Bild 7B



Bild 8A

**Bild 8B** *Oliveridia* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 101–103 cm, Ventralseite, charakteristisch: erster Lateralzahn teilweise mit Mittelzahn eingeschmolzen (Quadrat)

**Bild 9** *Eukiefferiella* (ähnlich zu *E. claripennis*) Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 69–71 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum deutlich gestreift in dreieckiger Gestalt, gepaarter Mittelzahn, paarweise fünf Seitenzähne

**Bild 10A** *Corynoneura scutellata*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 49–51 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum in dreieckiger Form

**Bild 10B** *Corynoneura scutellata*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 49–51 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mittelzahn kürzer; sehr schmale, gewinkelte Ventromentalplatte (Quadrat)

**Bild 11** *Heterotrissocladius maeaeri*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 37–39 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum relativ horizontal, kleiner Zahn auf Mittelzahn, große Lücke zwischen Mittelzahn und ersten Seitenzahn, ventral stark pigmentiert

**Bild 12** *Heterotrissocladius* type A Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 69–71 cm, Ventralseite, charakteristisch: ähnlich zu *H. maeaeri*-type, langer Mittelzahn, kleinere Lücke zwischen Mittelzahn und dem ersten Seitenzahn, ventral weniger pigmentiert

**SPEZIES – DUCK UND HJORT LAKE**



Bild 8B

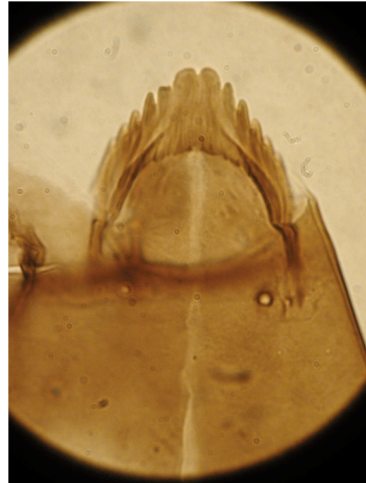


Bild 9

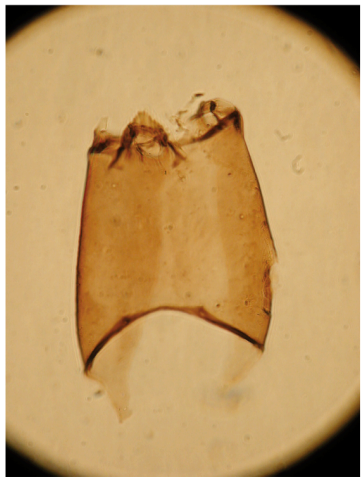


Bild 10A

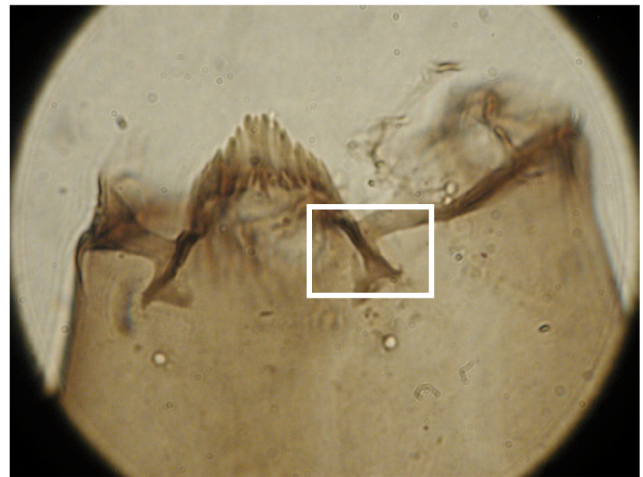


Bild 10B



Bild 11

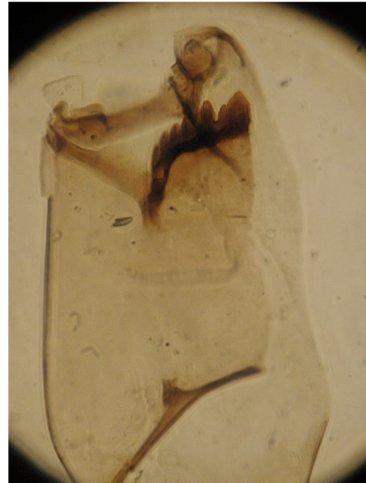


Bild 12

**Bild 13** Orthocladiinae type B Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 89–91 cm, Ventralseite

**Bild 14A** *Orthocladius consobrinus*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 45–47 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum stark pigmentiert, kleine Kopfkapsel verdeutlicht Größenunterschied (Quadrat)

**Bild 14B** *O. consobrinus*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 37–39 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mentum stark pigmentiert, Mittelzahn deutlich kleiner als die ersten Seitenzähne, Ventromentalplatte sehr schmal

**Bild 15A** *Orthocladius* type I Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 37–39 cm, Ventralseite, charakteristisch: großer Mittelzahn

**Bild 15B** *Orthocladius* type I Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 61–63 cm, Ventralseite, charakteristisch: großer Mittelzahn

**Bild 16** *Paracladius* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 65–67 cm, Ventralseite, charakteristisch: extrem breiter Mittelzahn

**SPEZIES – DUCK UND HJORT LAKE**

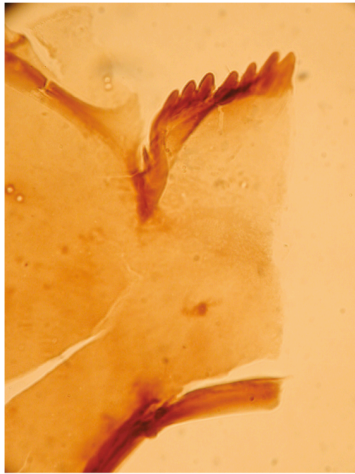


Bild 13

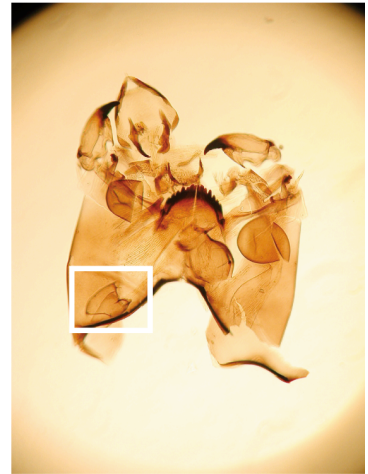


Bild 14A

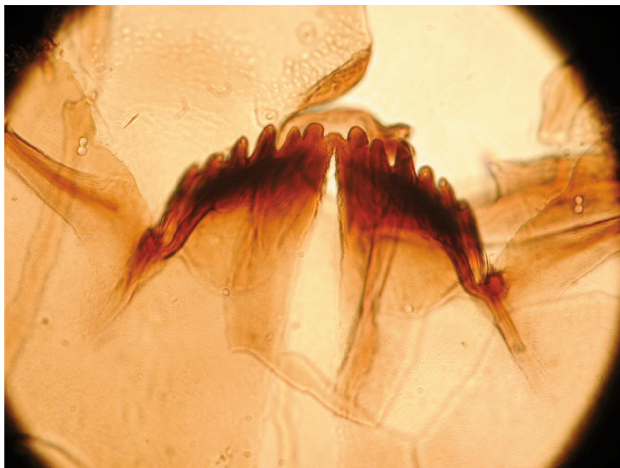


Bild 14B



Bild 15A



Bild 15B

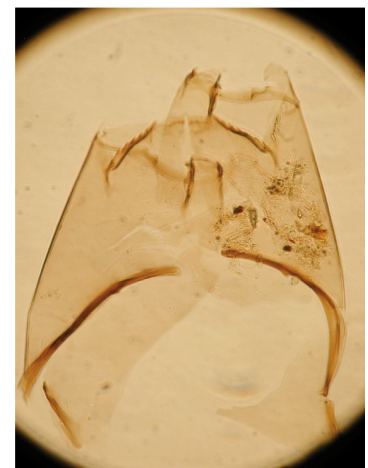


Bild 16

**Bild 17** *Psectrocladius sordidellus*-type Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 45–47 cm, Ventralseite, charakteristisch: Mittelzähne gepaart, mit kleiner Erhebung auf jedem Zahn

**Bild 18A** *Procladius* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 61–63 cm, Ventralseite, charakteristisch: Ligula

**Bild 18B** *Procladius* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 85–87 cm, Ventralseite, charakteristisch: Ligula mit 5 Zähnen

**Bild 18C** *Procladius* Probe: Lz1103-5, Duck Lake, Sedimenttiefe: 81–83 cm, Ventralseite, charakteristisch: die Ligula ist häufig separiert

**Bild 19** cf. *Orthocladius clarki*-type Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 52–56 cm, Ventralseite, charakteristisch: breiter Medianzahn gleichlang zu Lateralzähnen

**Bild 20** cf. *Hydrobaenus* type A Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 92–96 cm, Ventralseite, charakteristisch: Ventromentalplatte

**SPEZIES – DUCK UND HJORT LAKE**

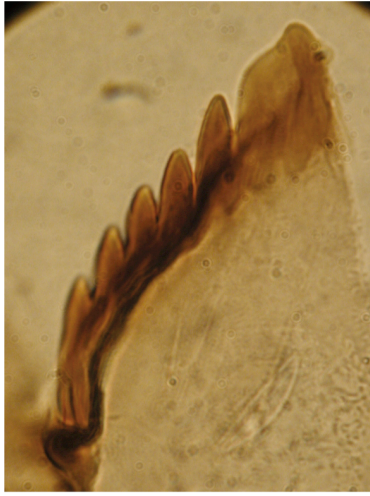


Bild 17



Bild 18A



Bild 18B

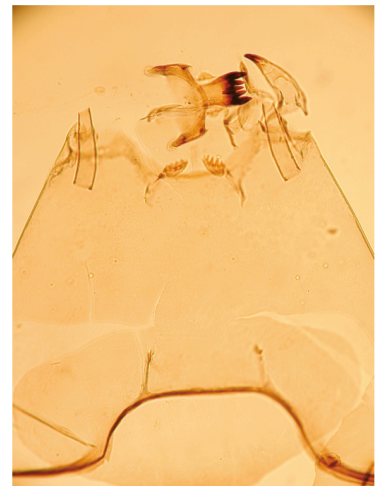


Bild 18C

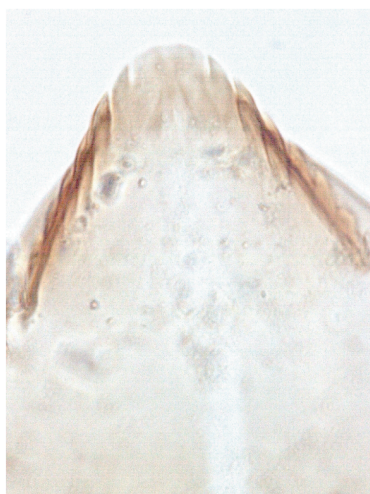


Bild 19

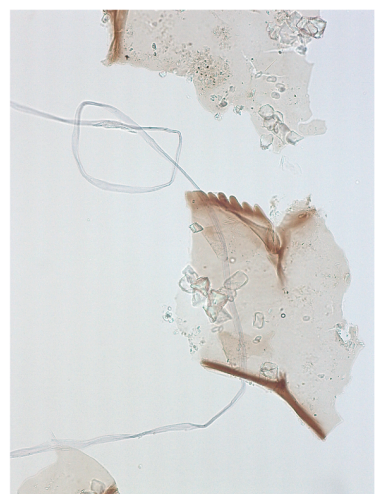


Bild 20



**Bild 21** *Chironomus plumosus*-type Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 76–80 cm, Ventralseite, charakteristisch: drei Mittelzähne

**Bild 22** *Diamesa zernyi/cinerella*-type Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 220–224 cm, Ventralseite, charakteristisch: drei Mittelzähne, Lateralzähne sehr gleichförmig, Zentralzahn leicht eingekerbt

**Bild 23** *Corynoneura scutellata*-type Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 24–28 cm, Ventralseite charakteristisch: siehe Bild 10A/B

**Bild 24** *Paracladius* Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 60–64 cm, Ventralseite charakteristisch: siehe Bild 16

**Bild 25** *Orthocladius* type I Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 60–64 cm, Ventralseite charakteristisch: siehe Bild 15A/B

**Bild 26** *Oliveridia* Probe: Lz1104-5, Hjort Lake, Sedimenttiefe: 60–64 cm, Ventralseite charakteristisch: siehe Bild 8A/B

**SPEZIES – DUCK UND HJORT LAKE**



Bild 21

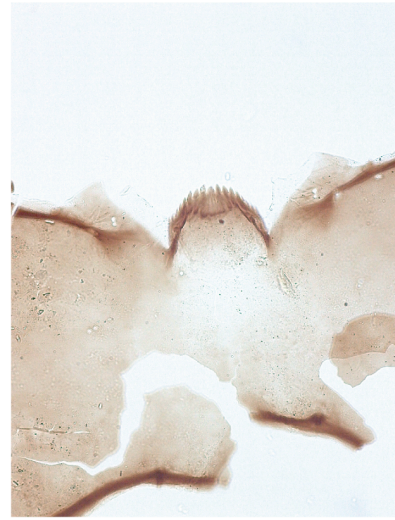


Bild 22

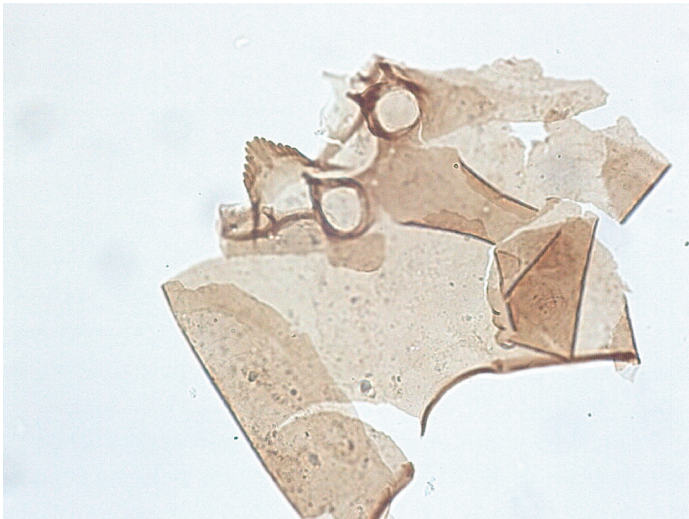


Bild 23



Bild 24

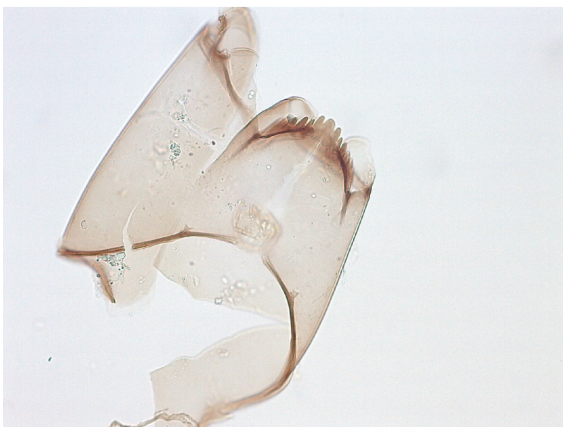


Bild 25



Bild 26

## **ANHANG II**

### **Relative Abundanz (%) der Chironomiden-Stratigraphie**

#### **II. 1 Duck Lake**

	Tiefe (cm)	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
1.		20,00	40,00	29,17	38,71	75,00	16,67	25,00	18,75	15,63	36,21	7,22	18,42
2.	<i>Micropsectra radialis</i> -type												
3.	<i>Micropsectra insignilobus</i> -type	0,00	13,33	12,50	6,45	8,33	33,33	25,00	12,50	10,42	22,41	11,34	18,42
4.	<i>Orthocladius consobrinus</i> -type	40,00	20,00	54,17	41,94	8,33	44,44	25,00	66,67	51,04	22,41	61,86	34,21
5.	<i>Orthocladius</i> type I	20,00	0,00	4,17	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00
6.	<i>Oliveridia</i>	0,00	6,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	1,72	1,03	1,32
7.	<i>Pseudodiamesa</i>	0,00	6,67	0,00	3,23	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63
8.	<i>Corynocera oliveri</i> -type	0,00	0,00	0,00	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	<i>Tanytarsus lugens</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	1,32
10.	<i>Heterotrissocladius</i> type A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	<i>Procladius</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	<i>Sergentia coracina</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	5,17	2,06	9,21
13.	<i>Paracladius</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	1,72	5,15	0,00
14.	<i>Heterotrissocladius maeeri</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	8,33	8,62	4,12	9,21
15.	<i>Corynoneura scutallata</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32
16.	<i>Orthoclaadiinae</i> B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17.	<i>Psectrocladius sordidellus</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	0,00
18.	<i>Eukiefferiella</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	cf <i>Diamesa</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.	<i>Micropsectra</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21.	unbestimmte Arten	20,00	13,33	0,00	3,23	8,33	5,56	0,00	0,00	3,13	1,72	3,09	3,95
22.	Diversity index H(S)	1,33	1,59	1,08	1,35	0,84	1,19	1,39	0,92	1,52	1,61	1,43	1,82
23.	Homogenität (E)	0,95	0,81	0,74	0,55	0,58	0,82	1,00	0,63	0,57	0,63	0,38	0,62
24.	Artenzahl	4,00	6,00	4,00	7,00	4,00	4,00	4,00	4,00	8,00	8,00	11,00	10,00
25.	Abundanz (hc/g)	21,68	24,40	76,02	119,22	31,50	50,37	8,43	196,44	219,03	185,42	355,84	232,17

Anhang II – Relative Abundanz der Chironomiden-Stratigraphie

	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106
1.	12,90	30,97	6,96	7,69	11,76	21,95	15,19	15,63	25,00	38,82	14,43	16,67	21,79	39,34	32,00
2.	20,97	8,85	8,70	16,24	5,88	13,41	12,66	3,13	13,10	14,12	20,62	6,94	3,85	6,56	8,00
3.	38,71	31,86	49,57	47,86	48,74	35,37	25,32	19,79	30,95	10,59	54,64	30,56	51,28	9,84	16,00
4.	0,00	2,65	6,09	0,85	3,36	3,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,56	0,00	0,00
5.	3,23	7,96	5,22	2,56	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	1,39	6,41	8,20	1,33
6.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	8,33	6,41	14,75	13,33
7.	0,00	0,00	1,74	0,00	0,00	7,32	25,32	36,46	17,86	23,53	5,15	25,00	3,85	13,11	25,33
8.	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	3,13	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
9.	0,00	0,88	0,87	0,85	1,68	0,00	0,00	1,04	1,19	0,00	0,00	1,39	0,00	0,00	0,00
10.	0,00	0,00	0,87	0,00	1,68	0,00	5,06	2,08	4,76	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	8,06	11,50	12,17	11,11	7,56	12,20	10,13	13,54	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	1,61	1,77	0,00	4,27	2,52	0,00	0,00	1,04	2,38	4,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	6,45	0,00	4,35	0,85	10,92	2,44	1,27	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14.	0,00	0,00	0,00	0,85	0,84	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00
15.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.	0,00	0,00	0,00	2,56	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	2,35	0,00	5,56	0,00	1,64	1,33
21.	8,06	3,54	3,48	2,56	2,52	2,44	5,06	2,08	0,00	1,18	2,06	4,17	3,85	6,56	1,33
22.	1,72	1,72	1,73	1,75	1,80	1,77	1,83	1,80	1,74	1,70	1,30	1,81	1,50	1,77	1,71
23.	0,70	0,62	0,51	0,41	0,43	0,65	0,78	0,55	0,63	0,55	0,52	0,68	0,56	0,74	0,61
24.	8,00	9,00	11,00	14,00	14,00	9,00	8,00	11,00	9,00	10,00	7,00	9,00	8,00	8,00	9,00
25.	207,40	309,55	298,25	400,04	323,83	485,73	305,73	502,80	219,98	133,29	128,13	93,64	191,48	78,83	106,63

Anhang II – Relative Abundanz der Chironomiden-Stratigraphie

1.	<b>110</b>	<b>114</b>	<b>118</b>	<b>122</b>	<b>126</b>	<b>130</b>	<b>134</b>	<b>138</b>	<b>142</b>	<b>146</b>	<b>150</b>
2.	39,58	47,67	56,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.	18,75	22,09	6,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5.	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	0,00	1,16	16,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.	6,25	11,63	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	25,00	12,79	4,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16.	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.	4,17	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21.	2,08	2,33	6,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.	1,57	1,44	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.	0,60	0,53	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24.	8,00	8,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25.	55,56	90,27	73,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

## **ANHANG II**

### **Relative Abundanz (%) der Chironomiden-Stratigraphie**

#### **II. 2 Hjort Lake**

	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50
1. Tiefe (cm)													
2. <i>Micropsectra radialis</i> -type	4,17	33,33	11,43	6,25	0,00	28,36	20,83	26,25	0,00	18,18	11,11	0,00	28,57
3. <i>Micropsectra insignilobus</i> -type	45,83	33,33	14,29	38,39	50,00	34,33	45,83	35,00	0,00	13,64	22,22	0,00	14,29
4. <i>Orthocladius consobrinus</i> -type	0,00	0,00	2,86	3,57	25,00	1,49	0,00	2,50	0,00	4,55	0,00	0,00	0,00
5. <i>Orthocladius</i> type I	27,08	0,00	31,43	41,96	0,00	16,42	18,75	18,75	45,45	27,27	33,33	56,25	0,00
6. <i>Heterotrissocladius maeaeeri</i> -type	0,00	16,67	14,29	1,79	25,00	4,48	0,00	2,50	9,09	9,09	11,11	0,00	28,57
7. <i>Heterotrissocladius</i> type A	4,17	16,67	2,86	0,00	0,00	1,49	0,00	2,50	0,00	13,64	0,00	12,50	14,29
8. <i>Pseudodiamesa</i>	4,17	0,00	5,71	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	6,25	14,29
9. <i>Orthoclaadiinae</i> type B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10. <i>Oliveridia</i>	4,17	0,00	8,57	0,00	0,00	1,49	0,00	5,00	9,09	4,55	0,00	0,00	0,00
11. <i>Diamesa zernyi/cinerella</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12. <i>Corynocera oliveri</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13. <i>Tanytarsus lugens</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14. <i>Procladius</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15. <i>Paracladius</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16. <i>Sergentia coracina</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17. <i>Corynoneura scutellata</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18. cf <i>Orthocladius clarki</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19. cf <i>Hydrobaenus</i> type A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00
20. <i>Parakiefferiella nigra</i> -type	6,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21. <i>Psectrocladius sordidellus</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22. <i>Chironomus plumosus</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23. <i>Micropsectra</i> sp.	0,00	0,00	0,00	1,79	0,00	4,48	10,42	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24. unbestimmte Arten	4,17	0,00	8,57	6,25	0,00	7,46	2,08	3,75	27,27	9,09	22,22	25,00	0,00
25. Diversitätsindex H(S)	1,41	1,33	1,74	1,17	1,04	1,49	1,31	1,61	1,01	1,71	1,19	0,76	1,55
26. Homogenität (E)	0,51	0,94	0,64	0,46	0,94	0,49	0,62	0,50	0,55	0,79	0,66	0,53	0,94
27. Artenzahl	8,00	4,00	9,00	7,00	3,00	9,00	6,00	10,00	5,00	7,00	5,00	4,00	5,00
28. Abundanz (hc/g)	24,00	5,77	79,55	172,26	10,81	43,23	73,82	51,95	9,24	11,00	5,17	7,08	3,33



	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110
1.	23,53	26,83	11,29	2,08	10,20	11,90	26,04	29,03	13,13	6,82	5,32	16,13	6,25	9,38	8,79
2.	38,24	17,07	21,77	14,58	11,22	9,52	9,38	12,90	4,04	3,41	9,57	4,84	3,13	3,13	4,40
3.	0,00	4,88	3,23	0,00	18,37	16,67	18,75	6,45	26,26	31,82	24,47	27,42	33,33	40,63	51,65
4.	26,47	9,76	20,16	33,33	24,49	14,29	9,38	0,00	22,22	26,14	13,83	14,52	1,04	17,71	3,30
5.	0,00	7,32	2,42	8,33	1,02	9,52	1,04	12,90	4,04	0,00	8,51	8,06	1,04	0,00	1,10
6.	0,00	4,88	4,84	0,00	2,04	0,00	10,42	3,23	1,01	1,14	3,19	0,00	1,04	0,00	1,10
7.	0,00	7,32	0,81	0,00	0,00	0,00	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	0,00	2,44	5,65	2,08	1,02	0,00	5,21	3,23	0,00	3,41	2,13	1,61	0,00	0,00	0,00
10.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	2,27	4,26	4,84	30,21	6,25	15,38
13.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,13	1,04	1,10
14.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	0,00	0,00
15.	0,00	0,00	0,81	4,17	7,14	0,00	0,00	6,45	4,04	0,00	3,19	1,61	1,04	0,00	2,20
16.	0,00	4,88	7,26	6,25	12,24	11,90	2,08	6,45	3,03	12,50	11,70	8,06	12,50	9,38	5,49
17.	0,00	2,44	0,81	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18.	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00	0,00	1,04	0,00
20.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21.	0,00	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.	5,88	2,44	5,65	4,17	4,08	4,76	7,29	3,23	1,01	0,00	2,13	1,61	0,00	3,13	1,10
24.	2,94	9,76	14,52	22,92	5,10	21,43	5,21	16,13	15,15	12,50	10,64	11,29	5,21	8,33	4,40
25.	1,33	1,98	1,92	1,53	1,99	1,68	2,00	1,75	1,75	1,53	2,03	1,83	1,65	1,60	1,53
26.	0,63	0,60	0,49	0,46	0,61	0,67	0,61	0,58	0,48	0,51	0,58	0,57	0,43	0,50	0,39
27.	6,00	12,00	14,00	10,00	12,00	8,00	12,00	10,00	12,00	9,00	13,00	11,00	12,00	10,00	12,00
28.	25,95	85,42	211,28	159,84	247,06	97,44	170,70	96,88	215,47	94,62	213,48	310,00	386,12	252,18	238,75

Anhang II – Relative Abundanz der Chironomiden-Stratigraphie

	114	118	122	126	130	134	138	142	146	150	154	158	162	166	170	174	178
1.																	
2.	10,71	34,52	14,00	16,47	16,13	13,43	3,33	29,17	53,66	36,36	9,09	25,00	40,00	24,00	20,00	5,56	66,67
3.	0,00	11,90	10,00	21,18	9,68	7,46	6,67	8,33	2,44	0,00	9,09	25,00	0,00	0,00	6,67	0,00	0,00
4.	29,76	16,67	20,00	15,29	48,39	22,39	68,33	37,50	0,00	18,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5.	7,14	1,19	0,00	1,18	9,68	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	2,38	1,19	0,00	1,18	3,23	2,99	3,33	0,00	2,44	27,27	54,55	25,00	26,67	24,00	26,67	50,00	0,00
7.	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	1,49	1,67	0,00	0,00	9,09	18,18	25,00	6,67	48,00	26,67	16,67	0,00
8.	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,33	0,00	0,00	5,56	0,00
10.	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	3,33	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11	33,33
11.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	35,71	10,71	8,00	3,53	3,23	23,88	1,67	12,50	14,63	9,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	1,19	7,14	22,00	25,88	6,45	14,93	0,00	8,33	7,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14.	0,00	1,19	0,00	1,18	0,00	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15.	4,76	7,14	0,00	1,18	0,00	1,49	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16.	2,38	3,57	6,00	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17.	0,00	1,19	0,00	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18.	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.	1,19	2,38	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24.	3,57	1,19	16,00	9,41	3,23	8,96	8,33	0,00	17,07	0,00	9,09	0,00	6,67	4,00	20,00	11,11	0,00
25.	1,64	1,95	1,69	1,75	1,50	1,78	1,05	1,53	1,08	1,47	1,08	1,39	1,35	1,04	1,21	1,21	0,64
26.	0,47	0,54	0,60	0,44	0,56	0,54	0,29	0,77	0,42	0,87	0,59	1,00	0,64	0,71	0,67	0,67	0,94
27.	11,00	13,00	9,00	13,00	8,00	11,00	10,00	6,00	7,00	5,00	5,00	4,00	6,00	4,00	5,00	5,00	2,00
28.	236,19	153,91	70,40	125,00	88,57	46,85	40,27	14,04	25,15	3,68	3,93	1,80	5,12	8,45	4,64	4,53	0,87

	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226	230	234	238	242	246	250
1.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	50,00	100,00	58,33	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
11.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00	33,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26.	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71	1,00	0,56	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
27.	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	3,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
28.	0,29	0,29	0,00	0,00	0,84	0,30	1,25	0,95	0,48	0,43	2,91	0,76	0,34	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00

**ANHANG III**

**Artenzusammensetzung und Abundanz (%) der Chironomiden-Oberflächenproben**

**Duck Lake, Fox Lake, Goose Lake, Hjort Lake, Melles Lake, Polar Bear I / III, B1 Lake**

LAKE	DUCK	FOX	GOOSE	HJORT	MELLES	POLAR BEAR I/III	B1
Kern-Nr.	Lz1103-2,4,11	Lz1106-1,9	Lz1105-3	Lz1104-1	Lz1101,2,3	Lz1113-2, Lz1114-1	PG1212
<i>Micropsectra insignilobus</i> -type	26,26	0,00	77,78	45,83	17,14	0,00	5,08
<i>Micropsectra radialis</i> -type	30,98	13,33	3,70	4,17	17,14	10,87	0,00
<i>Orthocladius</i> type I	18,18	1,67	16,67	27,08	8,57	42,39	1,69
<i>Oliveridia</i>	14,14	20,00	0,00	4,17	20,00	23,91	0,00
<i>Pseudodiamesa</i>	9,43	18,33	0,00	4,17	17,14	21,74	0,00
<i>Heterotrissocladius</i> type A	0,00	46,67	0,00	4,17	2,86	0,00	0,00
<i>Tanytarsus lugens</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,98
<i>Corynoneura scutellata</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,64
<i>Parakiefferiella nigra</i> -type	0,00	0,00	1,85	6,25	0,00	0,00	0,00
<i>Tanytarsini</i>	0,34	0,00	0,00	4,17	0,00	0,00	0,00
<i>Metriocnemus</i> type	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	0,00	0,00
<i>Paracladius</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	0,00	8,47
<i>Sergentia coracina</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,47
<i>Corynocera oliveri</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,17
<i>Hydrobaenus</i> type A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00
<i>Eukiefferiella</i>	0,67	0,00	0,00	0,00	2,86	0,00	0,00
<i>Procladius</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08
<i>Thienemannimyia</i> -type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,39
Abundanz (hc/g)	157,50	31,00	54,00	24,50	37,50	47,00	97,00

Ich versichere, dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen –, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe; dass diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät oder Universität zur Prüfung vorgelegen hat; dass sie – abgesehen von unten angegebenen Teilpublikationen – noch nicht veröffentlicht worden ist sowie, dass ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluss des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde. Die Bestimmungen der Promotionsordnung sind mir bekannt. Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Professor Dr. Martin Melles betreut worden.

Köln, 2009

## LEBENS LAUF

Steffi Schmidt

Weyertal 59

50937 Köln

## PERSÖNLICHE DATEN

Geburtsdatum: 12.09.1970

Geburtsort: Halle/Saale

Familienstand: ledig

Staatsangehörigkeit: BRD

## BILDUNGSWEG

**seit 01/2007** **Universität zu Köln, Institut für Geologie und Mineralogie**

**03/2006 – 12/2006** **Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, IOW**  
**Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald**

**seit 11/2005 – 02/2006** **Universität Leipzig, Institut für Geologie und Geophysik**

Promotionsstudium zum Thema:

Chironomiden als Anzeiger für die holozäne Klima und  
Umweltgeschichte von Store Koldewey in Nordostgrönland

**10/1998 – 03/2005** **TU-Bergakademie Freiberg**

Studium im Fach Geologie/Paläontologie

03/2005 Abschluss: Diplom-Geologin

**2004 – 2005** **Diplomarbeit** „Die Oberflächenverteilung benthischer  
Foraminiferen auf einem Tiefwasser-Korallen-Karbonat-Hügel  
in der Porcupine Seabight (SW Irland).“ am **IFM-GEOMAR**  
**Leibniz-Institut für Meereswissenschaften an der**  
**Universität Kiel**

2002 Diplomkartierung „Geologische Karte von Chougrane,  
Marokko“

1996 – 1997 **Fachoberschule für Gestaltung Dresden**  
Fachabitur Gestaltung

1977 –1987 **Polytechnische Oberschule „Hermann Eckardt“, Dresden**

#### BERUFSAUSBILDUNG

1991 – 1993 **Berufsausbildung zur Schauwerbegestalterin am  
Didaktikum Radebeul**

1987 –1990 **Berufsausbildung zur Werkzeugmacherin bei Robotron  
Messelektronik, Dresden**

#### BERUFLICHE TÄTIGKEITEN

Wissenschaftliche Mitarbeiterin:

01/2007 – 10/2008 Universität zu Köln, Institut für Geologie und Mineralogie

03/2006 – 12/2006 Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, IOW

seit 11/2005 – 02/2006 Universität Leipzig, Institut für Geologie und Geophysik

1990 – 1991 Werkzeugmacherin im Rationalisierungsmittelbau, Robotron  
Messelektronik, Dresden

#### ERFAHRUNGEN

2003 – 2005 Studentische Hilfskraft am IFM-GEOMAR Leibniz-Institut für  
Meereswissenschaften an der Universität Kiel

2001 Studentische Hilfskraft am Landesamt für Umwelt und Geologie  
Freiberg/Sachsen

1994 Lehrgang Computergrafik, Media Design Dresden

#### EXPEDITIONEN

06/2007 – 07/2007 Expedition zu Sisimiut, Westgrönland, Beprobung von  
Seesedimenten

03/2006 – 04/2006 Ausfahrt mit FS MARIA S. MERIAN 01/2 Untersuchungen an  
quartären Seesedimenten im Baltischen Meer

04/2004 Ausfahrt mit METEOR M61/1 NE Atlantik – W Irland  
Geobiologische Studien an Karbonathügeln

Köln, 26. April 2009