

# Inhaltsverzeichnis

<b>Thesen zur quantitativen Paläolimnologie</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Die Entwicklung der Paläolimnologie als Teil der Paläoökologie</b>	<b>3</b>
<b>3 Eigenschaften limnischer Ökosysteme</b>	<b>7</b>
3.1 Der Wärmehaushalt in Seen . . . . .	8
3.2 Der Nährstoffhaushalt in Seen . . . . .	10
3.2.1 Phosphor als Nährstoff . . . . .	11
3.2.2 Stickstoff als Nährstoff . . . . .	12
3.2.3 Silizium als Nährstoff . . . . .	14
3.3 Die Produktivität und der Trophiestatus von Seen . . . . .	15
3.4 Weitere abiotische Steuergrößen . . . . .	17
<b>4 Methoden zur quantitativen Rekonstruktion</b>	<b>19</b>
4.1 Aquatische Organismen als paläoökologische Indikatoren . . . . .	19
4.1.1 Diatomeen . . . . .	19
4.1.2 Chironomiden . . . . .	24

4.1.3	Weitere Indikatoren . . . . .	27
4.2	Statistische Methoden zur quantitativen Rekonstruktion . . . . .	29
4.2.1	Der Kalibrationsdatensatz . . . . .	29
4.2.2	Statistische Analyse von Spezies-Umweltbeziehungen . . . . .	31
4.2.3	Methoden zur Erstellung von Transferfunktionen . . . . .	34
4.2.4	Validierung von Transferfunktionen und statistische Bewertung von Rekonstruktionen . . . . .	42
4.3	Räumliche Heterogenität in aquatischen Ökosystemen . . . . .	45
4.3.1	Räumliche Variabilität von Kenngrößen in limnischen Systemen . . . . .	45
4.3.2	Methoden zur Analyse räumlicher Variabilität . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Anwendungen der Methoden in paläolimnologischen Untersuchungen - Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>51</b>
5.1	Analyse der Sedimentationsbedingungen am Beispiel des Lamasees, Zentralsibirien	52
5.1.1	Untersuchungsgebiet und Probenahme . . . . .	52
5.1.2	Analyse des Probenmaterials . . . . .	55
5.1.3	Statistische Analysen . . . . .	56
5.1.4	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	57
5.1.5	Schlussfolgerungen . . . . .	69
5.2	Paläotemperaturrekonstruktion mittels Diatomeen . . . . .	71
5.2.1	Untersuchungsgebiet, Probenahme und Sedimentanalyse . . . . .	71
5.2.2	Verwendeter Kalibrationsdatensatz . . . . .	72
5.2.3	Statistische Analyse und Transferfunktion . . . . .	73
5.2.4	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	75

---

5.2.5	Schlussfolgerungen . . . . .	86
5.3	Phosphorrekonstruktion mittels Diatomeen . . . . .	88
5.3.1	Untersuchungsgebiet und Probenahme . . . . .	88
5.3.2	Analyse des Probenmaterials . . . . .	90
5.3.3	Verwendete Kalibrationsdatensätze . . . . .	91
5.3.4	Statistische Analyse und Transferfunktionen . . . . .	93
5.3.5	Ergebnisse . . . . .	94
5.3.6	Diskussion und Schlussfolgerungen . . . . .	111
5.4	Aufbau eines Kalibrationsdatensatzes in Jakutien - Erste Ergebnisse . . . . .	115
5.4.1	Untersuchungsgebiet und Probenahme . . . . .	116
5.4.2	Analyse des Probenmaterials . . . . .	117
5.4.3	Statistische Analysen . . . . .	118
5.4.4	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	119
5.4.5	Schlussfolgerungen . . . . .	130
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf</b>	<b>133</b>
6.1	Repräsentativität paläolimnologischer Untersuchungen . . . . .	133
6.2	Aquatische Organismen als Indikatoren der Umwelt- und Klimageschichte . . . . .	135
6.3	Regionale oder nichtregionale Transferfunktionen - Ein Vergleich . . . . .	137
6.4	Auswahl von Bewertungsverfahren . . . . .	139
6.5	Ausblick für laufende und künftige Untersuchungen . . . . .	141
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>145</b>

---

<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>
<b>A</b>	<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>173</b>
<b>B</b>	<b>WAPLS-Algorithmus zur Umwelt- und Klimarekonstruktion</b>	<b>177</b>
<b>C</b>	<b>Standorte der Probenahmestellen im Lamasee</b>	<b>179</b>
<b>D</b>	<b>Statistik ausgewählter Messgrößen der Sedimente des Lamasees</b>	<b>183</b>
<b>E</b>	<b>AMS <math>^{14}\text{C}</math>-Datierungen der Sedimentproben des Kerns PG1111, Lamasee</b>	<b>185</b>
<b>F</b>	<b>Experimentgestaltung zur Analyse von Bewertungsverfahren</b>	<b>187</b>
<b>G</b>	<b>Geografische Charakteristika der untersuchten Seen in Zentraljakutien</b>	<b>189</b>
<b>H</b>	<b>Korrelationsmatrix physiko-chemischer Eigenschaften</b>	<b>193</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>195</b>
	<b>Index</b>	<b>197</b>

# Abbildungsverzeichnis

3.1	<i>Beispielhaftes Schema für die physikalische Struktur eines kleinen Sees während des Sommers nach Horne &amp; Goldman (1994).</i> . . . . .	7
3.2	<i>Schematische Darstellung eines Temperatur- und Lichtprofils geschichteter Wasserkörper.</i> . . . . .	9
3.3	<i>Vereinfachte schematische Darstellung des Phosphorkreislaufs in Seen nach Horne &amp; Goldman (1994).</i> . . . . .	11
3.4	<i>Der Stickstoffkreislauf in idealisierter Form in geschichteten Seen mit anaerobem Hypolimnion (nach Horne &amp; Goldman, 1994).</i> . . . . .	13
3.5	<i>Der Siliziumkreislauf in Seen in vereinfachter Form mit Bezug auf das Algenwachstum (nach Horne &amp; Goldman, 1994).</i> . . . . .	14
4.1	<i>Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Diatomeentaxa Cyclotella radiosa (links) und Stephanodiscus minutulus (rechts, Baier, unveröffentlicht).</i> . . . . .	21
4.2	<i>Schematische Darstellung des Lebenszyklus von Chironomiden. Der hellgraue Hintergrund bezeichnet den Lebensabschnitt auf bzw. im Wasser, der dunkelgraue den Lebensabschnitt auf dem Sediment.</i> . . . . .	25
4.3	<i>Mikroskopische Aufnahmen der Larven Tanytarsus gr. chinyensis (links) und Guttipelopia (rechts, Nazarova, unveröffentlicht).</i> . . . . .	26
4.4	<i>Schema der Arbeitsschritte zu einer quantitativen Rekonstruktion der regionalen Umwelt- und Klimageschichte mit aquatischen Organismen.</i> . . . . .	29
4.5	<i>Die Gaussfunktion als Modellansatz der Beziehungen zwischen Spezies und Gradienten.</i> . . . . .	37
5.1	<i>Geografische Lage der Untersuchungsgebiete aller Anwendungsbeispiele (geändert nach Kumke et al., 2004b).</i> . . . . .	51

5.2	<i>Geografische Lage des Lamasees in Zentralsibirien (geändert nach Kienel &amp; Kumke, 2002).</i> . . . . .	53
5.3	<i>Der Lamasee mit seinen vier morphologischen Abschnitten (I bis IV) sowie seinen Zu- und Abflüssen. Die Punkte und Quadrate markieren die Probenahmestellen für Oberflächensedimente bzw. Planktonproben (geändert nach Kienel &amp; Kumke, 2002).</i> 54	54
5.4	<i>Streudiagramme der ersten gegen die zweite Hauptachse einer CA der subfossilen Diatomeenvergesellschaftungen des Lamasees (nach Kienel &amp; Kumke, 2002). Das obere Diagramm stellt die Objektwerte und das untere Diagramm die Spezieswerte dar.</i> . . . . .	58
5.5	<i>Abstandsbiplot der ersten gegen die zweite Hauptachse einer PCA der sedimentologischen Eigenschaften des Lamasees (nach Kumke et al., 2005b). Die Symbole stellen die Objektwerte, zugeordnet nach ihrer Position im See, dar. Die Vektoren markieren die Beiträge der Variablen.</i> . . . . .	59
5.6	<i>Streudiagramme der ersten gegen die zweite Hauptachse einer CA der Diatomeenvergesellschaftungen im Plankton des Lamasees. Das obere Diagramm stellt die Objektwerte und das untere Diagramm die Spezieswerte dar.</i> . . . . .	61
5.7	<i>Variogramme der Objektwerte der ersten und zweiten CA-Hauptachse der subfossilen Diatomeenvergesellschaftungen (a) und der ersten und zweiten PC-Hauptachse der sedimentologischen Eigenschaften (b) im Lamasee (geändert nach Kienel &amp; Kumke, 2002 sowie Kumke et al., 2005b). Die durchgezogenen Linien stellen die angepassten Modelle dar.</i> . . . . .	63
5.8	<i>Karte der interpolierten Objektwerte der ersten beiden CA-Hauptachsen der subfossilen Diatomeenvergesellschaftungen des Lamasees (nach Kienel &amp; Kumke, 2002). Das obere Diagramm stellt die interpolierten Objektwerte der ersten Hauptachse und das untere Diagramm die der zweiten Hauptachse dar.</i> . . . . .	65
5.9	<i>Karte der interpolierten Hauptkomponentenwerte der ersten beiden PC-Hauptachsen der sedimentologischen Eigenschaften des Lamasees (nach Kumke et al., 2005b). Das obere Diagramm stellt die interpolierten Hauptkomponentenwerte der ersten Hauptachse und das untere Diagramm die der zweiten Hauptachse dar.</i> . . . . .	66
5.10	<i>Position des Sedimentkerns PG1111 im Westbecken des Lamasees, Zentralsibirien (verändert nach Kumke et al., 2004a).</i> . . . . .	72
5.11	<i>Streudiagramm der vorhergesagten gegen die beobachteten Julitemperaturen (links) und Restwertdiagramm der Modellrestwerte gegen die beobachteten Julitemperaturen (rechts) nach Kumke et al. (2004a).</i> . . . . .	74
5.12	<i>Streudiagramm der kalibrierten AMS <math>^{14}\text{C}</math>-Alter gegen die Sedimenttiefe (<math>z_{\text{Sed}}</math>). Die durchgezogene Linie repräsentiert das angepasste Regressionsmodell.</i> . . . . .	75

5.13	<i>Fossile Diatomeenstratigraphie des Sedimentkerns PG1111 des Lamasees. Dargestellt sind die fossilen Diatomeentaxa, die mindestens 35% der Speziesvarianz der ersten beiden Hauptachsen der PCA der fossilen Diatomeen des Lamasees repräsentieren. Flächen mit unterschiedlichen Schwarz-Weiß-Kontrasten markieren unterschiedliche Lokale Diatomeenvergesellschaftungszonen (LDVZ). Die Pfeile zeigen die Proben mit einer geringen Anzahl von Diatomeenschalen (ca. 150) an (nach Kumke et al., 2004a).</i> . . . . .	76
5.14	<i>Biplot der ersten beiden Hauptachsen einer PCA der fossilen Diatomeentaxa des Lamasees (nach Kumke et al., 2004a). Dargestellt sind nur die Proben und Taxa, die mindestens zu 35% der Varianz der ersten beiden Hauptachsen beitragen. Flächen mit unterschiedlichen Schwarz-Weiß-Kontrasten markieren die unterschiedlichen LDVZ.</i> . . . . .	77
5.15	<i>Chronologischer Verlauf der Hauptkomponentenwerte der ersten beiden PC-Hauptachsen (PC 1 und PC 2), des Shannon-Index (<math>H'</math>), der Vergesellschaftungsänderungen (RC/100 a) sowie der rekonstruierten mittleren Julitemperaturen (<math>T_{\text{Jul}}</math>) aus den fossilen Diatomeenvergesellschaftungen des Lamasees. Die Julitemperaturen sind als Abweichungen vom Mittelwert dargestellt. Die durchgezogene Linie ist der gleitende Mittelwert über drei Punkte (nach Kumke et al., 2004a).</i> . . . . .	79
5.16	<i>Streudiagramme der Vergesellschaftungsänderungen pro Zeiteinheit (RC/100 a, oben) und der rekonstruierten mittleren Julitemperaturen (<math>T_{\text{Jul}}</math>, unten) basierend auf fossilen Pollenspektren und Diatomeen aus dem Lamasee.</i> . . . . .	83
5.17	<i>Geografische Lage des Holzmaars, Westeifel (a) sowie die Morphologie des Holzmaars und die Lokation der Sedimentkerne HZM4a,b (b, verändert nach Baier et al., 2004).</i> . . . . .	89
5.18	<i>Fossile Diatomeenstratigraphie des Sedimentprofils HZM4a,b des Holzmaars (verändert nach Baier, 2003). Dargestellt sind die fossilen Diatomeentaxa, die in mindestens drei Proben eine relative Häufigkeit von <math>\geq 1\%</math> erreichen. Flächen mit unterschiedlichen Schwarz-Weiß-Kontrasten markieren unterschiedliche Lokale Diatomeenvergesellschaftungszonen (LDVZ).</i> . . . . .	95
5.19	<i>Streudiagramm der vorhergesagten gegen die beobachteten TP-Konzentrationen der Seen des Kalibrationsdatensatzes NWE und der 1:1-Linie (a) sowie Restwertdiagramm der Fehler gegen die beobachteten TP-Konzentrationen (b).</i> . . . . .	98
5.20	<i>Streudiagramm der vorhergesagten gegen die beobachteten TP-Konzentrationen der Seen des Kalibrationsdatensatzes WE und der 1:1-Linie (a) sowie Restwertdiagramm der Fehler gegen die beobachteten TP-Konzentrationen (b).</i> . . . . .	98
5.21	<i>Streudiagramm der vorhergesagten gegen die beobachteten TP-Konzentrationen der Seen des Kalibrationsdatensatzes NOD und der 1:1-Linie (a) sowie Restwertdiagramm der Fehler gegen die beobachteten TP-Konzentrationen (b).</i> . . . . .	99

5.22	<i>Prozentuale Übereinstimmungen zwischen den Diatomeentaxa des Kalibrationsdatensatzes NWE (a), WE (b) sowie NOD (c) und den fossilen Taxa des Holzmaars während des Untersuchungszeitraumes.</i>	101
5.23	<i>Speziesanalogien zwischen den subfossilen Diatomeentaxa des Kalibrationsdatensatzes NOD (a), NWE (b) sowie WE (c) und den fossilen Taxa des Holzmaars während des Untersuchungszeitraumes.</i>	102
5.24	<i>Biplots der kanonische Korrespondenzanalysen der Datensätze NWE (a), WE (b) sowie NOD (c). Dargestellt ist die erste kanonische Achse, repräsentiert durch TP und die erste nicht-kanonische Achse. Die fossilen Proben des Holzmaars wurden passiv in den Biplot gestellt und nach ihren LDVZ gruppiert.</i>	104
5.25	<i>Zeitlicher Verlauf der quadrierten Restwertabstände <math>D^2</math> der Proben des Holzmaars zu den Massenschwerpunkten der Spezies der Datensätze NWE (a), WE (b) sowie NOD (c).</i>	105
5.26	<i>Das Bestimmtheitsmaß (<math>R^2</math>), der maximale Verzerrungskoeffizient (<math>Bias_{max}</math>) und der Vorhersagefehler des Modells (RMSEP) in Abhängigkeit der Flächenzunahme, Kalibrationsdatensatz Westeuropa.</i>	106
5.27	<i>Das Verhältnis <math>n_{sub}/n_{fos}</math> (a) sowie <math>\chi^2_{min}</math> (b) in Abhängigkeit der Flächenzunahme, Kalibrationsdatensatz Westeuropa.</i>	107
5.28	<i>Die quadrierten Restwertabstände (<math>D^2</math>) in Abhängigkeit der Flächenzunahme, Kalibrationsdatensatz Westeuropa. Die <math>D^2</math>-Werte der Kategorien 1 und 2 fehlen aufgrund der zu geringen Anzahl an Freiheitsgraden bei der Berechnung.</i>	108
5.29	<i>Rekonstruierte TP-Konzentrationen im Holzmaar auf der Grundlage der TP-Transferfunktion des Kalibrationsdatensatzes NOD (verändert nach Kumke et al., 2005a). Die vertikalen Strich-Punkt-Linien stellen die Grenzen der Trophieklassen nach Vollenweider &amp; Kerekes (1982) dar. Horizontale Linien sind die Grenzen der lokalen Diatomeenvergesellschaftungszonen.</i>	110
5.30	<i>Geografische Karte Jakutiens mit den gerahmten Untersuchungsgebieten Wiljuisk (I) und Jakutsk (II).</i>	117
5.31	<i>Boxplots der Variablen elektrische Leitfähigkeit (a), pH (b), TIC (c) und Ca (d) gruppiert nach den Untersuchungsgebieten Wiljuisk (I) und Jakutsk (II) (nach Kumke et al., 2007).</i>	123
5.32	<i>Boxplots der Variablen Na (a), Cl (b), Mg (c) und K (d) gruppiert nach den Vegetationsmerkmalen Wald und Grünland (nach Kumke et al., 2007).</i>	124
5.33	<i>Dendrogramm der Clusteranalyse der untersuchten Seen in Zentraljakutien gruppiert nach den Vegetationsmerkmalen Wald und Grünland (nach Kumke et al., 2007). Die senkrechte Strichlinie stellt das Gruppierungskriterium dar.</i>	125

5.34 *Biplots der RDA der untersuchten Seen in Zentraljakutien (nach Kumke et al., 2007). Dargestellt sind die signifikanten Steuergrößen für die physiko-chemischen Eigenschaften und die Probenahmepunkte (a) sowie die gemessenen Variablen, die mindestens 20% der Varianz der Hauptachsen repräsentieren, und die signifikanten Steuergrößen (b).* . . . . . 126

5.35 *Biplots der CCA der Chironomidenvergesellschaftungen jakutischer Seen (Kumke et al., 2006). Dargestellt sind die signifikanten Steuergrößen für die subfossilen Vergesellschaftungen und die Taxa, die mindestens 10% der Varianz der Achsen repräsentieren (a) sowie die Probenahmepunkte, die mindestens 10% der Varianz der Hauptachsen repräsentieren, und die signifikanten Steuergrößen (b).* . . . . . 129

# Tabellenverzeichnis

3.1	<i>Gewässerklassifikation zum Trophiestatus nach der OECD-Studie (Vollenweider &amp; Kerekes, 1982).</i> . . . . .	16
3.2	<i>Klassifikation von Diatomeen nach ihren Ansprüchen bezüglich des pH-Wertes im Wasser nach Hustedt (1937-38, 1939).</i> . . . . .	18
4.1	<i>Zusammenstellung ausgewählter Datensätze zur paläolimnologischen Rekonstruktion mittels Diatomeen. Die Abkürzung k.A. steht für keine Angaben.</i> . . . . .	23
4.2	<i>Zusammenstellung ausgewählter Datensätze zur paläolimnologischen Rekonstruktion mittels Chironomiden.</i> . . . . .	27
5.1	<i>Ausgewählte mittlere klimatische und hydrologische Eigenschaften des Lamasees und seines Einzugsgebietes nach Kienel &amp; Kumke (2002).</i> . . . . .	55
5.2	<i>Zusammenfassung der Modellparameter Reichweite (<math>\alpha</math>), Schwellenwert (<math>C</math>) und Nuggeteffekt (<math>C_0</math>), des Modellfehlers (RMSEP) und des Restwertfehlers (RE) für die Variogramme der CA-Achsen 1 und 2 und der PC-Achsen 1 und 2.</i> . . . . .	64
5.3	<i>Statistische Zusammenfassung der Anzahl (<math>n_{Taxa}</math>) der subfossilen Diatomeen, des Gleichmäßigkeits-Index (<math>I</math>), des Diversitäts-Index nach Shannon (<math>H'</math>), der Wassertiefen (<math>z_{Wasser}</math>) sowie der mittleren Julitemperaturen (<math>T_{Juli}</math>) an den Standorten der Seen des finnischen Kalibrationsdatensatzes (verändert nach Weckström, 2001).</i> . . . . .	73
5.4	<i>Zusammenfassung der Anzahl der Spezies (<math>n</math>) und der effektiven Diversitätszahl (<math>N_2</math>) des Kalibrationsdatensatzes und des fossilen Datensatzes nach Kumke et al. (2004a). Es sind nur die Taxa aufgelistet, die in mindestens 20% der Seen des Kalibrationsdatensatzes vorkommen.</i> . . . . .	82
5.5	<i>Ausgewählte mittlere klimatische und hydrologische Eigenschaften des Holzmaars und seines Einzugsgebietes nach Scharf &amp; Menn (1992), Scharf &amp; Oehms (1992) sowie Baier (2003).</i> . . . . .	90

5.6	Statistische Zusammenfassung der Wassertiefen ( $z_{\text{Wasser}}$ ), der TP-Konzentrationen, der Anzahl der subfossilen Diatomeen ( $n_{\text{Taxa}}$ ), des Gleichmäßigkeits-Index ( $I$ ) sowie des Diversitäts-Index nach Shannon ( $H'$ ) an den Standorten der Seen des westeuropäischen Kalibrationsdatensatzes. . . . .	91
5.7	Statistische Zusammenfassung der Wassertiefen ( $z_{\text{Wasser}}$ ), der TP-Konzentrationen, der Anzahl der subfossilen Diatomeen ( $n_{\text{Taxa}}$ ), des Gleichmäßigkeits-Index ( $I$ ) sowie des Diversitäts-Index nach Shannon ( $H'$ ) an den Standorten der Seen des nordwesteuropäischen Kalibrationsdatensatzes. . . . .	92
5.8	Statistische Zusammenfassung der Wassertiefen ( $z_{\text{Wasser}}$ ), der TP-Konzentrationen, der Anzahl der subfossilen Diatomeen ( $n_{\text{Taxa}}$ ), des Gleichmäßigkeits-Index ( $I$ ) sowie des Diversitäts-Index nach Shannon ( $H'$ ) an den Standorten der Seen des nordostdeutschen Kalibrationsdatensatzes. . . . .	93
5.9	Statistische Zusammenfassung der Modellvalidierungsgrößen für die Transferfunktionen Westeuropa (WE), Nordwesteuropa (NWE) und Nordostdeutschland (NOD). Die Abkürzung n.b. steht für nicht bekannt. . . . .	94
5.10	Statistische Zusammenfassung der probenspezifischen Fehler ( $e_{\text{sam}}$ ) der TP-Rekonstruktionen mit den Transferfunktionen Westeuropa (WE), Nordwesteuropa (NWE) und Nordostdeutschland (NOD). . . . .	100
5.11	Korrelationsmatrizen der rekonstruierten TP-Konzentrationen, des probenspezifischen Fehlers ( $e_{\text{sam}}$ ), des minimalsten $\chi^2$ -Abstandes ( $\chi^2_{\text{min}}$ ), der effektiven Diversitätszahl ( $N_2$ ), des quadrierten Restwertabstandes ( $D^2$ ) und der beiden ersten PCA-Hauptachsen (PC1, PC2) mit den Transferfunktionen Nordwesteuropa, Westeuropa und Nordostdeutschland. Fettgedruckte Koeffizienten sind signifikant bei $P \leq 0.05$ . . . . .	103
5.12	Statistische Zusammenfassung der Messergebnisse der untersuchten physiko-chemischen Eigenschaften zentraljakutischer Seen nach Kumke et al. (2007). . . . .	120
5.13	Zusammenfassung der Ergebnisse der ANOVAs und des U-Testes auf signifikante Unterschiede in den Mittelwerten der physiko-chemischen Eigenschaften der untersuchten Seen nach Kumke et al. (2007). Aufgelistet ist die Anzahl der Beobachtungen in den jeweiligen Gruppen und die Irrtumswahrscheinlichkeit des F-Testes auf Unterschiede in den Varianzen und des U-Testes auf Mittelwertunterschiede. Signifikante Unterschiede ( $P \leq 0.05$ ) sind fett markiert. . . . .	122
5.14	Statistische Zusammenfassung der Anzahl der Chironomidentaxa ( $n$ ), der effektiven Diversitätszahl ( $N_2$ ), des Gleichmäßigkeitsindex ( $I$ ) und des Shannon-Index ( $H'$ , nach Nazarova et al., 2005). . . . .	128