

Sklerochronologische und isotopengeochemische  
Untersuchungen an der Flussperlmuschel  
*Margaritifera margaritifera* (L.)  
(Schweden, Finnland und Deutschland)

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich Geowissenschaften/Geographie  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
in Frankfurt am Main

von  
Sven Baier  
aus Nordhalben

Frankfurt 2008  
(D 30)



vom Fachbereich 11 Geowissenschaften / Geographie der  
Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main als Dissertation angenommen.

Dekan: Prof. Dr. Gerhard Brey

Gutachter: Prof. Dr. Bernd R. Schöne / Prof. Dr. Wolfgang Oschmann

Datum der Disputation: 25.09.2008



## Kurzfassung

In vorliegender Studie wurde lebend und tot gesammeltes Schalenmaterial der Europäischen Flussperlmuschel *Margaritifera margaritifera* verschiedener Lokalitäten in Schweden, Finnland und Deutschland (bzw. Frankreich) sklerochronologisch und isotopengeochemisch untersucht. Sauerstoffisotopen-Zeitreihen, trendbereinigte und standardisierte stabile Kohlenstoffisotopen-Zeitreihen (SSCI) sowie jährliche Zuwachsraten (SGI-Zeitreihen) jeder der acht Populationen sind zu Compound-Chronologien zusammengefasst und auf Zusammenhänge mit Temperatur, Sonnenflecken-Zyklen und Niederschlag untersucht sowie auf Korrelationen mit verschiedenen Klimaindizes (z.B. dem Dipol der Meeres-Oberflächenwasser Temperatur-Anomalien im Nordatlantik, NADP-SST, und der Nordatlantischen Oszillation, NAO) getestet worden. Im Vergleich ergaben sich für die geglätteten Zeitreihen (25-Jahresfilter) Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,57$  (SGI Master-Chronologie und NAO) bzw.  $r = 0,59$  (Master-Chronologie) und NADP-SST.

Obwohl weder Isotopendaten noch Zuwachschronologien der Muscheln auf hochfrequenten Signalen hohe Korrelationen mit instrumentellen Messdaten aufweisen, sind dekadische Klimaoszillationen deutlich repräsentiert. Mit zunehmendem Lebensalter nimmt der Schalenzuwachs exponentiell ab. Gleichzeitig nähern sich die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Schale dem  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Wert des Wassers, der bei den hier untersuchten Lokalitäten zwischen  $-9,3\text{‰}$  und  $-12,7\text{‰}$  lag. Erst im hohen Lebensalter findet also die Schalenbildung nahezu im kohlenstoffisotopischen Gleichgewicht mit dem umgebenden Medium statt. In der Jugend der Tiere hingegen wirken sich lokalitätsspezifische Trends aus. Extrinsische Faktoren führen zu drei Mustern:

- 1) Trends hin zu stärker negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (um etwa  $-4,5\text{‰}$ ) in den Bächen Nuortejaurbäcken (NJB) und Grundträsktjärbäcken (GTB),
- 2) Trends hin zu weniger stark negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (um etwa  $+4,5\text{‰}$ ) in den großen Flüssen (GJ: Görjeån, NWS: Tarn/Frankreich) und
- 3) Schwankungen um etwa  $\pm 1,5\text{‰}$  um einen Mittelwert (RG: Regnitz).

Der Einfluss auf die  $\delta^{13}\text{C}$ -Trends könnte möglicherweise in Veränderungen der Bioproduktivität begründet sein, da sich diese unmittelbar auf den DIC-Pool des umgebenden Milieus und des Habitats auswirkt.

In den Sauerstoffisotopen spiegelte sich die geographische Herkunft des untersuchten Materials wider. Die Chronologien der am nördlichsten gelegenen Populationen wiesen  $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwerte von -11,5 ‰ (GJ), bzw. -9,5 ‰ (NJB, GTB) auf, die RG-Chronologie von -7,9 ‰ und die Zeitreihe der NWS von -5,3 ‰. Im Gegensatz zu anderen Arbeiten zeigten die untersuchten Individuen jedoch keinen statistischen Zusammenhang mit annuellen Temperaturdaten. Als beeinflussende Faktoren kommen die Schneeschmelze und die isotopengeochemische Ausprägung des Habitats (See, Fluss, Bach) in Frage. Eine sehr hohe Korrelation von  $r = -0,74$  (25-Jahresfilter) wurde zwischen der Görjeån-Chronologie ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ ) und Niederschlagsraten für das in der Nähe des Flusses gelegene Jokkmokk festgestellt.

## Abstract

Shells of the Freshwater Pearl Mussel, *Margaritifera margaritifera*, were collected dead and alive from different localities across Europe (Sweden, Finland, France, and Germany) and examined both sclerochronologically and geochemically ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{shell}}$ ). Oxygen isotope chronologies, detrended and standardized stable carbon isotope (SSCI) chronologies and annual growth indices (SGI) of each population were used to compute regional compound chronologies. On these, correlations with temperature, precipitation, and sunspot cycles were computed, but also with indices of the North Atlantic Oscillation (NAO) and the North Atlantic dipole pattern in sea-surface temperature anomalies (NADP-SST). Averaged with a 25-year filter coefficients of  $r = 0.57$  and  $r = 0.59$  were calculated for SGI master chronology / NAO and master chronology / NADP-SST, respectively.

Since only low correlations between computed and instrumental datasets were calculated for high-frequency signals, continuous wavelet analyses led to similar results in both SSCI-/SGI-chronologies and NAO/NADP-SST data. With increasing ontogenetic age shell growth decreases exponentially. Simultaneously,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{shell}}$  tends towards a common value with  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  (water). The values ranged from -9.3 ‰ (river Tarn) to -12.7 ‰ (Grundträsktjärnbäcken). Thus, the shell is built close to (stable carbon) isotopic equilibrium with the medium in ontogenetic old individuals. During juvenile stages specific trends for each locality can be observed in the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{shell}}$  data, being related to ontogeny and another, extrinsic forcing factor:

- 1) trends to lower  $\delta^{13}\text{C}_{\text{shell}}$ -values of about -4.5 ‰ in Nuortejaurbäcken (NJB) and Grundträsktjärnbäcken (GTB) samples (Sweden),
- 2) trends to less negative values (+4.5 ‰) in samples from river Görjeån (GJ, Sweden) and Tarn (NWS, France),
- 3)  $\delta^{13}\text{C}_{\text{shell}}$ -values pending around a common average value with  $\pm 1.5$  ‰ in river Regnitz samples (RG, Germany).

Possibly, these trends had their origin in changes in bioproductivity, itself changing the DIC-pool of the water in the surrounding habitat.

Geographical distribution of sampling localities was resembled in  $\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$ . The northernmost samples showed mean  $\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$  values of -11.5 ‰ (GJ), those of localities NJB and GTB about -9.5 ‰, the RG chronology's mean value was -7.9 ‰, and the one for NWS -5.3 ‰. In contrast to previous research, these shells did not show any significant correlation to temperature.

Probably, this problem is caused by the disturbing influence of melting water and habitat morphology (sea, stream, river, creek). The GJ chronology ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$ ) was highly correlated ( $r = -0.74$ ) to precipitation records from Jokkmokk, a city close to the sampling locality.

## Vorwort

Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die mir konstruktiv und unterstützend bei der Bewältigung des Projekts „Doktorarbeit“ geholfen haben. Ohne das Angebot des zu bearbeitenden Themas durch meinen Doktorvater und Erstgutachter Prof. Dr. Bernd R. Schöne und den Zweitgutachter Prof. Dr. Wolfgang Oschmann wäre diese Arbeit nie zustande gekommen. Ich bedanke mich bei ihnen für das in mich und meine Forschung gesetzte Vertrauen, die investierte Zeit und die Betreuung. Während meiner Zeit in Frankfurt war das wöchentliche Seminar ein wertvoller Anlaufpunkt, um konstruktive Gedanken und Ansichten zu sammeln und zu verwerten. Neben den bereits genannten Professoren Oschmann und Schöne unterstützten mich dort durch Frage und Antwort Prof. Dr. Eberhard Gischler und Prof. Dr. Jörg Pross. Besonders hervorheben möchte ich auch die freundliche, freundschaftliche und kompetente Unterstützung in jeglicher (geochemischer) Hinsicht durch Dr. Jens Fiebig und Dr. Thomas Tütken. Für technisch-mathematische Fragen hatte auch Mark Peinl dankenswerterweise immer ein offenes Ohr für mich. Bei Fragestellungen zur Flussperlmuschel waren am Naturhistorischen Reichsmuseum (NHRM) in Stockholm Prof. Dr. Harry Mutvei und vor allem Dr. Elena Dunca dankbare Anlaufstellen, letztere auch im privaten Bereich.

Unter all den Incrementarians (u.a. Zengjie Zhang, Nadine Meier, Verena Schöning und Pascal Radermacher) und Teilnehmern des Brown Bag-Seminars, meinen liebenswerten Kollegen aus den Paläontologie-Arbeitsgruppen in Frankfurt und Mainz, bin ich besonders Alexander Streb, Dipl.-Geol. Michael Maus und Prof. Dr. David L. Rodland zu Dank verpflichtet. Die studentischen Hilfskräfte Olga Jungmann, Edgar Kraus, Jessica Zirkel, Johannes Gattinger und Dörte Theobalt werde ich ebenso in dankbarer Erinnerung behalten wie Dr. Analía Soldati, Dr. Dorrit Jacob und Dipl.-Min. Ursula Wehrmeister aus der AG Biomineralisation und die vielen lieb gewonnenen Freunde an der Universität Mainz, die mich immer wieder durch kleine Besuche geistig auffrischten und „wieder belebten“; vor allem danke ich hier Dr. Peter Richter, Dipl.-Min. Kathrin Wehr, Dipl.-Min. Regina Eckardt und Dipl.-Geol. Christiane Ofner.

Vorliegende Arbeit ist dankenswerterweise durch Gelder der DFG im Rahmen des Emmy-Noether-Projekts SCHO793/1 meines Doktorvaters ermöglicht worden. Der Willkomm-Stiftung und dem Synthesys-Projekt sei für zusätzliche Forschungsgelder gedankt. Außerdem danke ich

den Mitarbeitern des Länsstyrelsen i Norrbottens Län, dem Schwedischen Geologischen Dienst (SGU), Stefan Schmidt vom Wasserwirtschaftsamt Hof, der Naturwissenschaftlichen Sammlung am Museum Wiesbaden und vor allem den Mitarbeitern des NHRM Stockholm für die großzügige Bereitstellung von Probenmaterial.

Nicht zuletzt bin ich für die tatkräftige Unterstützung äußerst dankbar, die mir meine Eltern Rüdiger und Maria Baier über all die Jahre meines Bildungsweges gaben, in monetärer, physischer und psychischer Hinsicht. Last – but not least – geht ein sehr großes „Danke“ an mein stärkendes, zweites Rückgrat während der ganzen Doktorarbeit, meine Verlobte Daniela Einsiedel.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VII
<b>VORWORT</b> .....	IX
<b>I. EINLEITUNG</b> .....	9
I.1. Abiogene Klimaproxies .....	9
I.2. Biogene Proxies .....	10
I.3. Ziele dieser Arbeit.....	12
<b>II. MATERIAL UND METHODEN</b> .....	13
II.1. Taxonomie, Biologie und Ökologie.....	13
II.2. Schalenbau .....	17
II.3. HERKUNFT DES UNTERSUCHTEN MATERIALS.....	20
II.3.1. Görjeån.....	20
II.3.2. Grundträsktjärnbäcken.....	25
II.3.3. Tjartsebäckbiflöde.....	26
II.3.4. Nuortejaurbäcken.....	27
II.3.5. Regnitz .....	27
II.3.6. Kolmosjoki.....	28
II.3.7. Sonstiges Material.....	29
II.4. PRÄPARATION UND UNTERSUCHUNGSMETHODEN.....	30
II.4.1. Vorbereitende Präparationsschritte .....	30
II.4.2. Sklerochronologie .....	31
II.4.3. $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ .....	35
II.4.4. Mathematische Funktionen und Filter .....	36
II.4.5. Verwendete instrumentelle Datensätze.....	40

<b>III.</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	41
III.1.	ZUWACHSRATEN.....	44
III.1.1.	Görjeån.....	47
III.1.2.	Grundträsktjärnbäcken.....	50
III.1.3.	Nuortejaurbäcken.....	52
III.1.4.	Regnitz.....	53
III.1.5.	NWS-Wiesbaden.....	54
III.1.6.	Kolmosjoki.....	55
III.1.7.	Master-Chronologie.....	58
III.2.	STABILE KOHLENSTOFFISOTOPIE.....	61
III.2.1.	Görjeån.....	63
III.2.2.	Grundträsktjärnbäcken.....	65
III.2.3.	Nuortejaurbäcken.....	65
III.2.4.	Regnitz.....	67
III.2.5.	Probenmaterial unsicherer Herkunft.....	68
III.2.6.	SSCI-Masterzeitreihe.....	69
III.3.	SAUERSTOFFISOTOPIE.....	73
III.3.1.	Görjeån.....	74
III.3.2.	Grundträsktjärnbäcken.....	76
III.3.3.	Nuortejaurbäcken.....	77
III.3.4.	Regnitz.....	78
III.3.5.	Schalenmaterial unsicherer Herkunft.....	79
III.3.6.	Vergleich der lokalen Mittelkurven.....	80
<b>IV.</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	82
IV.1.	SIG-ZEITREIHEN.....	83
IV.2.	STABILE KOHLENSTOFFISOTOPIE.....	88
IV.2.1.	Ursachen für die Trends in der Schalenisotopie.....	90
IV.2.2.	Auswirkungen des DIC-Pools auf $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ .....	91
IV.2.3.	Sonstige Ursachen für Trends in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werten.....	95
IV.3.	SAUERSTOFFISOTOPIE.....	102
IV.3.1.	Latitudinale Trends.....	102
IV.3.2.	Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag.....	106

IV.3.3.	Vergleich mit instrumentellen Datensätzen .....	108
IV.4.	PROBLEME BEI DER ARBEIT MIT SÜßWASSERMUSCHELN.....	111
<b>V.</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN.....</b>	<b>116</b>
<b>VI.</b>	<b>MÖGLICHE ZIELE WEITERER FORSCHUNG .....</b>	<b>118</b>
<b>VII.</b>	<b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>119</b>
VII.1.	LITERATURVERZEICHNIS.....	119
VII.2.	SONSTIGE QUELLEN.....	129
<b>VIII.</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>130</b>
VIII.1.	ABKÜRZUNGS-VERZEICHNIS.....	130
VIII.2.	EINSELZEITREIHEN.....	132
VIII.2.1.	ZUWACHSRATEN.....	132
VIII.2.2.	$\delta^{13}\text{C}$ -ROHDATEN.....	153
VIII.2.3.	$\delta^{18}\text{O}$ -ROHDATEN.....	158
VIII.2.4.	REGIONALE CHRONOLOGIEN .....	163
	<b>LEBENS LAUF.....</b>	<b>177</b>
	<b>CD MIT DATENSÄTZEN.....</b>	<b>179</b>

## TABELLENVERZEICHNIS

II-1:	Typische Pflanzen- und Planktonvergesellschaftung eines Flussperlmuschel-Habitats .....	16
II-2:	Kurzbeschreibung der Lokalitäten mit Koordinaten, Probenzahl und Art der Analyse.....	22
II-3:	Bei der Beschriftung von Proben und Dickschliffen verwendete Kürzel und deren Bedeutung .....	30
II-4:	Koeffizienten zur Berechnung der annualen Mittelwerte aus den stabilen Isotopendaten.....	36
II-5:	Zugrunde liegender Smoothness-Wert zur Berechnung der idealen Wachstumskurve mittels der kubischen Splines-Methode in JMP™ 5.0.1a.....	39
III-1:	Basisdaten der untersuchten Individuen .....	41
III-2:	Jährliche Zuwachsraten und Lebensalter von <i>Margaritifera margaritifera</i> .....	44
III-3:	Regionale Zuwachskurven aus Schalen von Flussperlmuscheln.....	45
III-4:	Oszillationen im Jahreszuwachs der Muscheln .....	50
III-5:	Inhärente Perioden, extrahiert aus regionalen SSCI-Zeitreihen.....	72
IV-1:	$\delta^{18}\text{O}$ -Niederschlagswerte aus den Messstationen in Avignon, Trier, Würzburg, Hof a.d. Saale, Ny Ålesund und Kalinin.....	105

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

II-1:	Rechte Schale der Europäischen Flussperlmuschel von außen und innen .....	15
II-2:	Ventraler Schalenrand von <i>Margaritifera margaritifera</i> .....	18
II-3:	Elektronenmikroskopische Aufnahme der Prismenschicht einer Schale von <i>Margaritifera margaritifera</i> .....	18
II-4:	Zuwachslinien in der Schale von <i>Margaritifera margaritifera</i> .....	19
II-5:	Angeätzter und gefärbter Dickschliff einer Schale von <i>Margaritifera margari- tifera</i> .....	19
II-6:	Übersicht über die beprobten Flüsse in Schweden .....	21
II-7:	Bodenkarte und Geologische Karte der Region zwischen Jokkmokk und Boden (Nordschweden, Norrbotten) .....	23
II-8:	Der Görjeån im mittleren Flussverlauf .....	23
II-9:	Grundträsktjärnbäcken.....	23
II-10:	Bodenkarte und Geologische Karte der Region nördlich von Boden bei Gunnarsbyn und Niemisel (Nordschweden, Norrbotten) .....	24
II-11:	Bodenkarte und geologische Karte der Region um Arvidsjaur .....	24
II-12:	Tjartsebäckbiflöde.....	24
II-13:	Zinnbach.....	28
II-14:	Schema zur Orientierung der Schale.....	31
II-15:	Schematischer Schnitt durch die Schale von <i>M. margaritifera</i> .....	32
II-16:	Vergleich unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der annuellen Inkrementbreite .....	34
III-1:	Diagramme zum Schalenwachstum von <i>Margaritifera margaritifera</i> .....	43
III-2:	Annuelle Inkrementbreiten von <i>Margaritifera margaritifera</i> .....	45
III-3:	Zeitliche Verteilung der Zeitreihen aus sklerochronologisch untersuchten Flussperlmuschel-Schalen.....	46
III-4:	Gefensterte Korrelationen der Görjeån-Mittelkurve mit den Aufzeichnungen von NADP-SST, NAO, Winter-NAO und Lufttemperaturen.....	48
III-5:	Görjeån-Chronologien .....	48

III-6:	Ergebnis der kontinuierlichen Wavelet-Analysen an den Compound-Chronologien.....	49
III-7:	Zeitreihen aus standardisierten Zuwachsraten von zehn Muscheln des Grundträsktjärbäcken .....	51
III-8:	Zuwachsraten der Nuortejaurbäckenmuscheln .....	52
III-9:	Aus SGI-Daten von Muscheln des Regnitz-Flusssystem konstruierte Chronologien.....	53
III-10:	Zeitreihen von Individuen aus der NWS-Wiesbaden, rekonstruiert aus standardisierten Zuwachsraten.....	54
III-11:	Chronologien und zeitliche Reichweiten der vier finnischen Populationen.....	56
III-12:	SGI-Zeitreihen der untersuchten Muschelpopulationen und Master-Chronologie für Nordeuropa im Vergleich zu instrumentellen Datensätzen.....	57
III-13:	Gefensterte Korrelation der Master-Chronologie für Nordeuropa mit annuellem NAO-Index und den Temperaturlaufzeichnungen aus Stockholm .....	57
III-14:	Kontinuierliche Wavelet-Analyse an der Master-Chronologie für Nordeuropa, rekonstruiert aus standardisierten Zuwachsraten von Flussperlmuscheln aus Deutschland, Schweden und Finnland.....	59
III-15:	Spektral-Analyse mittels kontinuierlicher Wavelets an gefensterten Korrelationen von Temperaturdaten aus Stockholm und Winter-NAO mit der Master-Chronologie aus standardisierten Zuwachsraten von Flussperlmuscheln .....	60
III-16:	Jahreszyklen in stabilen Isotopenmessungen ( $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ ) an der Schale von <i>Margaritifera margaritifera</i> .....	61
III-17:	Rohdaten und standardisierte $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Görjeån- Muschelschalen gegen Kalenderjahre .....	62
III-18:	Gefensterte Korrelation der SSCI-Mittelkurven von Schalen des Görjeån und des Grundträsktjärbäcken mit Temperatur und NAO .....	63
III-19:	$\delta^{13}\text{C}$ - und SSCI-Werte der beiden Schalen aus dem Grundträsktjärbäcken .....	64
III-20:	$\delta^{13}\text{C}$ - und trendbereinigte Daten aus den beiden Nuortejaurbäcken-Schalen.....	66
III-21:	$\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihen von Muscheln der Regnitz .....	67
III-22:	Gefensterte Korrelation zwischen der Regnitz-SSCI-Mittelkurve und NATP-SST bzw. 10-Jahresmittel der Temperaturanomalien; gefensterte Korrelation der SSCI-Masterchronologie mit NAO (Oktober bis Januar) und Temperatur .....	68
III-23:	$\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihe von Schale NWS-WI-3 .....	69
III-24:	Regionale Mittelkurven und Master-Chronologie der SSCI-Schalendaten.....	70

III-25:	Ergebnis der kontinuierlichen Wavelet-Analysen an den Compound-Chronologien.....	71
III-26:	Intraannuelle Variation von $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in einer Regnitzmuschel-Schale.....	73
III-27:	Korrelation der stabilen Isotopenverhältnisse der Schalen ( $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{18}\text{O}$ ), hier am Beispiel zweier Individuen aus dem Fluss Görjeån und Grundträsktjårbåcken .....	74
III-28:	$\delta^{18}\text{O}$ -Einzelzeitreihen von Muschelschalen des Görjeån (Nordschweden) .....	75
III-29:	Gefensterter Korrelation der $\delta^{18}\text{O}$ -Daten mit Temperaturdaten aus Stockholm und Sonnenfleckenzahlen .....	75
III-30:	$\delta^{18}\text{O}$ -Zeitreihen der beiden Grundträsktjårbåcken-Individuen und gefensterter Korrelation mit 10-Jahresmittel der Lufttemperatur.....	76
III-31:	$\delta^{18}\text{O}$ -Zeitreihen von vier Muscheln aus dem Nuortejaurbåcken in Nordschweden.....	77
III-32:	Gefensterter Korrelation von 9-Jahresmittel der Nuortejaurbåcken- und Regnitz-Zeitreihen aus Sauerstoff-Isotopenmessungen mit Sonnenfleckenzahl und 10-Jahresmittel der Temperatur-Anomalien .....	78
III-33:	$\delta^{18}\text{O}$ -Chronologien aus den untersuchten Regnitz-Schalen.....	79
III-34:	Sauerstoff-Isotopie der Schale NWS-WI-D3.....	80
III-35:	Übersicht über die geglätteten regionalen Mittelkurven aus Sauerstoff-Isotopenverhältnissen der untersuchten Muscheln .....	81
IV-1:	Kontinuierliche Wavelet-Analysen der NAO, NADP-SST, AO und der regionalen Nord- und Süd-Chronologie sowie der Master-Chronologie aus standardisierten Zuwachsraten .....	86
IV-2:	Schema zu den Trends in der $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenisotopie .....	88
IV-3:	Ontogenetisch angeordnete $\delta^{13}\text{C}$ -Schalendaten der Görjeån-Muscheln.....	89
IV-4:	Korrelation von annuellen $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten, hier am Beispiel zweier Individuen aus dem Fluss Görjeån und Grundträsktjårbåcken .....	91
IV-5:	Geglättete regionale SSCI-Chronologien .....	94
IV-6:	Gefensterter Korrelation der Zeitreihen von Grundträsktjårn- und Nuortejaurbåcken gegen die SSCI-Chronologien von Görjeån und Regnitz.....	95
IV-7:	Kontinuierliche Wavelet-Analysen an Winter-NAO-, NAO-Index, NADP-SST, Zahl der Sonnenflecken und der bereinigten Master-Chronologie .....	100

IV-8:	Gefenstertere Korrelationen der regionalen Chronologien mit Sonnenfleckenzahlen, 10-Jahresmittel der Temperatur-Anomalien, NADP-SST-Index und Winter-NAO-Index.....	101
IV-9:	Gewichtete, annuelle Jahresniederschlags-Karte zur $\delta^{18}\text{O}$ -Verteilung und Mittelwerte für Sauerstoff-Isotope in Schalen von Flussperlmuscheln.....	103
IV-10:	Summe der Jahr-zu-Jahr-Änderungen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werten .....	107
IV-11:	Kontinuierliche Wavelet-Analysen der Sauerstoff-Masterchronologie und den überlagerten Wavelets von NADP-SST und NAO .....	109
IV-12:	Erodierter Wirbel einer Flussperlmuschel .....	111

# **I. Einleitung**

Um das Klima der Vergangenheit zu rekonstruieren, stehen im Wesentlichen drei verschiedene Arten von Proxy-Archiven zur Verfügung: A) menschliche Aufzeichnungen, B) chemische bzw. abiogene und C) biogene Proxies. In vorliegender Arbeit wurde das Potential von Süßwassermuscheln als Klimaarchiv untersucht.

Menschlichen Aufzeichnungen ist es beispielsweise zu verdanken, dass die Wissenschaft heute mehr über den Ausbruch des Krakatau oder die kleine Eiszeit weiß. Paläoklimatologisch sind oftmals zeitgenössische Bilder von Bedeutung. Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten chemischen und biogenen Proxies näher betrachtet.

## ***1.1. Abiogene Klimaproxies***

Viele der abiogenen Klimarekorder lassen Einblicke in die Vergangenheit zu, indem sie Veränderungen ihrer Umwelt indirekt aufzeichnen. In den Eiskernen aus Grönland (z.B. Johnsen et al. 1997) oder der Antarktis (z.B. Petit et al. 1999) sind z.B. kleinste Gasbläschen eingeschlossen, in denen die Zusammensetzung der zur Zeit der Eisbildung bestehenden Atmosphäre konserviert ist. Zudem weisen Veränderungen in der Mächtigkeit der annuellen Eislagen auf Änderungen in den jährlichen Niederschlagsraten hin.

Eine zweite Art der chemischen Aufzeichnung von Wetterereignissen ist durch Speläotheme gegeben (Lauritzen & Lundberg 1999), also Stalagtiten und Stalagmiten, die ebenfalls Schichtung beziehungsweise Lagenbau aufweisen. Bei den Tropfsteinen liegt dieser Art des Aufbaus jedoch eine Art Event-Chronologie zugrunde. Mit jedem Durchsatz von Starkregenereignissen durch die Höhlendecke bilden sich aufgrund von erneuter Kalkausscheidung neue „Inkremente“. Diesen Inkrementen fehlen allerdings intraannuelle Zeitmesser. Als Folge ist es bei Tropfsteinen nur möglich, ungefähre, relative Datierungen durchzuführen oder andere, bestehende Chronologien, z.B. von Regenereignissen, zu untermauern. Wirkung auf die Ausbildung dieser Höhlensinter zeigen außerdem noch Temperatur, Karbonatausfällung und lokalitätsspezifische Veränderungen in der Umwelt, z.B. in der Sickerate von Wasser.

Ebenfalls stark vom Niederschlag beeinflusst sind jahreszeitlich geschichtete Seesedimente, sogenannte Warven (De Geer 1912). In Abhängigkeit von der Genese sind

klastische Warven, die von Korngrößenunterschieden bestimmt sind, evaporitische, durch Salzabfolgen charakterisierte, und biogeochemische Warven zu unterscheiden (siehe auch Rein et al. 2007). Gerade die letztgenannten finden in der Quartärgeologie (vgl. Sirocko et al. 2005) große Bedeutung, da neben niederschlagsbedingtem Sedimenteintrag auch jahreszeitlich organische Partikel und Nanoplankton abgelagert werden. Letzteres spiegelt folglich auch die Bioproduktivität wider und lässt nach geochemischer Analyse Aussagen über absolute Temperaturänderungen zu. Zunehmende Beachtung und Anwendung finden hierbei unter anderem auch die im Folgenden beschriebenen biogenen Daten-Ressourcen.

## ***1.2. Biogene Klimaproxies***

Aus Jahrringen von Bäumen erstellte Dendrochronologien zählen zu den bedeutendsten Klimazeugen des Holozäns und Spätglazials (z.B. Friedrich et al. 1999). In gemäßigten und borealen Zonen ist das Holzwachstum im Wesentlichen auf Frühjahr bis Herbst beschränkt. Zu Beginn der Wachstumsperiode bildet sich meistens großlumiges Holz (Frühholz) für den Wassertransport und dünnwandige große Zellen. Gegen Herbst entstehen dagegen kleine Zellen mit dicken Wänden (Spätholz). Makroskopisch erscheint das Aufeinandertreffen von Spät- auf Frühholz als dunkle, scharf begrenzte Zone, als Jahrring (vgl. Hartig 1891). Die Jahrringbildung erfolgt nahezu periodisch und kann daher als Zeitmesser verwendet werden. Variationen in Baumringdichte und -breite zeugen von Änderungen in Niederschlagsraten. Auch historische Ereignisse wie Wildfeuer (Grissino-Mayer & Swetnam 2000) oder Vulkanausbrüche (vgl. Briffa et al. 1998) können mittels der Jahrringe genau datiert werden.

Die Methoden, die für die Dendrochronologie entwickelt wurden (siehe auch Fritts 1976, Cook & Kairiukstis 1990), konnten in der weiteren Forschung mühelos auf andere inkrementell wachsende Organismen angewandt werden. So nehmen in der modernen Forschung unter anderem auch Korallen eine dominante Rolle zur Rekonstruktion des Klimas ein. Einzelne Korallenkolonien werden zwischen 200 und 400 Jahre alt und zeichnen sogar saisonale Klimaänderungen auf. Die maximale zeitliche Auflösung liegt, bedingt durch *time averaging*, bei zwei Wochen (Gagan et al. 1994). Aufgrund von Korallenchronologien konnten schon erfolgreich Rekonstruktionen der Seewasser-Temperatur (Linsley et al. 2000), des Süßwasser-Inputs vom Festland (McCulloch 2006) und Upwelling (Reed 1983) rekonstruiert sowie kausale Zusammenhänge zwischen Korallenwachstum und ENSO (Cobb et al. 2003), der Arktischen (Rimbu et al. 2001) und der Nordatlantischen Oszillation

(Kuhnert et al. 2005) nachgewiesen werden. Aus verschiedenen Gründen (z.B. Unterschiede im Wachstum benachbarter Korallenstöcke, Hiatus bei übereinander wachsenden Generationen,...) sind Compound-Chronologien aus verschiedenen Kolonien allerdings oft nur schwer zu erstellen.

Korallen-Sklerochronologie und Dendrochronologie sind jedoch räumlich stark limitiert. Flachwasserkorallen wachsen ausschließlich in marinen Bereichen der Tropen und Subtropen, Bäume nur an Land (und jahreszeitlich gesteuerte, konzentrische Jahrringbildung findet nur in gemäßigten und borealen Zonen statt).

Bivalven hingegen sind über sehr weite Teile der Erde verbreitet und erreichen dabei oft biblische Alter. So werden einzelne Individuen der Islandmuschel *Arctica islandica* bis zu 374 Jahre alt (siehe Schöne et al. 2005a). Von Muscheln ist mindestens seit Davenport (1938) bekannt, dass sie Umweltfaktoren aufzeichnen. Vor allem Änderungen in der Temperatur (Henderson 1929), Nahrungszufuhr (Sato 1997), Salinität (Marsden & Pilkington 1995) und Umweltverschmutzung (Mutvei et al. 1996) werden in den Schalen aufgezeichnet. Aber auch Umweltparameter werden kalendarisch genau in den Muschelschalen aufgenommen (Davenport 1938; Clark 1975; Jones 1980), sowohl durch Veränderungen in Größenzuwachs (Kennish & Olsson 1975) als auch durch Einbau stabiler Isotope des geochemisch variierenden Milieus in die Schale (Epstein et al. 1953; Marsh et al. 1999).

Aber nicht nur für marin lebende Tiere sind solche Rekordalter zutreffend. Auch von Süßwassermuscheln, wie die in dieser Arbeit untersuchte *Margaritifera margaritifera*, die Europäische Flussperlmuschel, sind sehr hohe Lebensalter bekannt; Mutvei & Westermark (2001) berichteten von einem etwa 280 Jahre alten Tier. Während sich die meisten Untersuchungen vor allem auf Entwicklung, Fortpflanzung und Größenwachstum (Bauer 1987a, b, 1992; Hastie et al. 2000a, b) konzentrieren, beschäftigten sich Nyström et al. (1995, 1996) und Mutvei et al. (1994) mit der Sklerochronologie. In der Folge rekonstruierten Schöne et al. (2004) eine erste echte Master-Chronologie, also aus lebend und tot gesammeltem Schalenmaterial von *M. margaritifera*, für Schweden. Diese Veröffentlichung war Grundlage für die weiterführenden Untersuchungen, die in dieser Arbeit beschrieben werden.

### ***I.3. Ziele***

In vorliegender Arbeit wurde die im Süßwasser lebende Europäische Flussperlmuschel, *Margaritifera margaritifera* L., untersucht. Ziel war es, die paläoklimatologische Verwertbarkeit sklerochronologischer und isotopengeochemischer Daten der Schalen zu untersuchen. Durch Erstellung und Rekonstruktion regionaler Chronologien aus den Einzelzeitreihen von standardisierten Zuwachsraten,  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sollten bestehende Chronologien, erstellt aus skandinavischen Muschelschalen, erweitert und ergänzt werden. Außerdem sollten die Fragen geklärt werden, ob *Margaritifera margaritifera* als unabhängiges Multiproxy-Archiv für beispielsweise Temperatur, Niederschlag und/oder Bioproduktion geeignet ist oder ob mittels vergleichender Analysen Einfluss auf die Schalenbildung nehmende lokale und multi-regionale Trends herausgestellt und untersucht werden können. Außerdem sollte geprüft werden, ob das Muschelwachstum und die Schalengeochemie in kausalem Zusammenhang mit Klimamotoren Europas (z.B. NAO, NADP-SST) stehen.

## II. Material und Methoden

Die Flussperlmuschel gehört zu den eulamellibrachiatischen bzw. den unioniden Muscheln, welche seit der Trias bekannt sind (Walker 1910). Auf Grund von Umstellungen in der Taxonomie sind in der Literatur für die Europäische Flussperlmuschel, *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus 1758), die nicht mehr gebräuchlichen Artnamen *Unio margaritifera* (Barker 1862-1865) oder *Margaritana margaritifera* (Boycott 1921) zu finden. Neben *M. margaritifera* (Abb. II-1) sind bisher noch fünf weitere Flussperlmuschelarten beschrieben. Von diesen finden auch *M. falcata* (Schöne et al. 2006a), die Westliche Perlmuschel, und *M. auricularia* (Hertel 1956) Verwendung als klima- und biowissenschaftliche Forschungsobjekte. Die Europäische Flussperlmuschel steht heute auf der Roten Liste der bedrohten Tierarten (Mollusc Specialist Group 1996) und ist in Deutschland stark bedroht und streng geschützt (WISIA 2006); in Schweden gilt sie als gefährdet.

### II.1. Taxonomie, Biologie und Ökologie

*Margaritifera margaritifera* ist an ihrem hellbraunen (Juvenil-Stadium) bis schwarzen Periostracum (Adult-Stadium) zu erkennen. Die glatte Wirbelregion ist oft stark korrodiert; deshalb fehlen meist die ersten 10 bis 15 Jahresinkremente. Die Bildung der Jahresinkremente erfolgt dabei – ganz wie bei vielen anderen Mollusken (siehe u.a. auch Pannella & MacClintock 1968) – saisonal mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Bei den hier untersuchten Individuen aus Mittel- und Nordeuropa wird im Frühling und Herbst nur relativ wenig Schalenmaterial abgelagert. Der überwiegende Teil der Schale wird während der Sommermonate gebildet. Als Signalgeber für Beginn und Einstellen des Schalenwachstums dient hierbei die Wassertemperatur (vgl. Dunca et al. 2005).

Flussperlmuscheln sind schwer und dickschalig, die Klappen sind lang gestreckt und nierenartig geformt (Abb. II-1; von Proschwitz 2007). Die Länge der Individuen nimmt mit zunehmendem Breitengrad zu (Bauer 1992). Adulte Tiere aus Spanien sind z.B. 8 cm (Bauer 1992) groß, während Exemplare in Nordschweden (von Proschwitz 2007) bis zu 18 cm groß werden. Die Schalenbreite misst zwischen 5 und 7,5 cm. Die Bezahnung der Schale ist das einzig signifikante, makroskopische Unterscheidungsmerkmal zwischen *M. margaritifera* und *Unio crassus*. Neben der Länge nimmt auch das maximale Lebensalter tendenziös mit

höherem Breitengrad zu. So werden spanische Flussperlmuscheln etwa 30 Jahre alt (Bauer 1992), Exemplare aus Schweden bis zu 280 Jahre (Mutvei & Westermark 2001). Tatsächlich zählen Flussperlmuscheln zu den ältesten Lebewesen in der Tierwelt.

Bei ihrer Fortpflanzung sind Flussperlmuscheln auf salmonide Fische angewiesen. Im Frühjahr setzen maximal 60 % der Muschelweibchen je bis zu fünf Millionen Glochidien (Muschellarven) frei, die sich aus befruchteten Eiern binnen fünf Wochen in den Kiemen der weiblichen Muscheln entwickelt haben. Ein kleiner Prozentsatz der Larven setzt sich innerhalb weniger Stunden bis Tage in den Kiemen von Wirtsfischen fest (Bauer 1987a). Dort klammern sich die zweiklappigen Glochidien an Filamenten fest und werden innerhalb weniger Stunden in eine Zyste eingebettet (Young & Williams 1984). In Zentraleuropa ist die Bachforelle, *Salmo trutta*, der einzig geeignete Wirt (Bauer 1987b) für die Flussperlmuscheln. In den Kiemen der Bachforellen reifen die Muschellarven heran und wandeln sich innerhalb eines Zeitraums von fünf Wochen bis zu zehn Monaten zu Jungmuscheln um. Diese lösen sich anschließend von den Kiemen der Wirtsfische und reifen fünf bis zehn Jahre lang im gut durchlüfteten sandigen oder kiesigen Sediment im Bachgrund (Interstitial) eingegraben zu erwachsenen Tieren heran. Ab etwa 6,5 cm Schalenlänge kommen die Tiere an die Sedimentoberfläche und erreichen mit einem ontogenetischen Alter von etwa 15 bis 20 Jahren (Bauer 1988) die Geschlechtsreife.

Häufig kommt es vor, dass sich weibliche Tiere zu Hermaphroditen umwandeln (Bauer 1987a), um Engpässen in der Fortpflanzung vorzubeugen. Nach Bauer (1987a) stellt die Hermaphrodisierung einen reversiblen Vorgang für die Weibchen dar, männlichen Exemplaren ist eine selbstinduzierte Geschlechtsumwandlung unmöglich. Statistisch gesehen entwickelt sich nur aus jeder 100-millionsten Larve ein adultes Tier (von Proschwitz 2007). Geschlechtsreife Perlmuscheln präferieren kiesige und steinige Untergründe mit kleinen Sandbetten im Schatten von Steinen (Vannote & Minshall 1982).

Flussperlmuscheln leben rein fluviatil. Die Breite des jeweiligen Fließgewässers reicht hierbei von Bächen mit wenigen Dezimetern Breite bis hin zu Strömen von vielen Zehnermetern Breite. Die optimale Wassertiefe für Flussperlmuscheln liegt zwischen 0,3 und 0,4 m bei einer idealen Fließgeschwindigkeit des Wassers von 0,25 bis 0,75 m/s. Außerdem werden schattige Plätze bevorzugt (Hastie et al. 2000a). Der ökologische Toleranzbereich deckt aber Wassertiefen bis zu 2 m und Fließgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 2 m/s (Vannote & Minshall 1982) ab. Der Verbreitungsraum dieser Tiere reicht in Eurasien von Nordspanien bis zum Polarkreis (Bauer 1992) und vom Vereinigten Königreich (Hastie et al. 2000a) und Irland bis in Teile Russlands (Valovirta 1980). Außerdem sind Populationen im äußersten

Osten und im Westen der USA bekannt, wo sie zum Teil aber mit *M. falcata* verwechselt wurden.

Die filtrierenden Organismen leben in kalkarmen Fließgewässern mit relativ hohem Gehalt an Huminsäuren und unter oligotrophen Bedingungen bei pH-Werten von 7,5 oder weniger (Bauer 1988, Young & Williams 1983). Sie ernähren sich von feinsten organischen Partikeln, die zum größten Teil aus verrottetem Laub und Pflanzenresten bestehen (vg. Tab. II-1). Sie filtern hierbei bis zu 50 l Wasser pro Tag (Ziuganov et al. 1994).

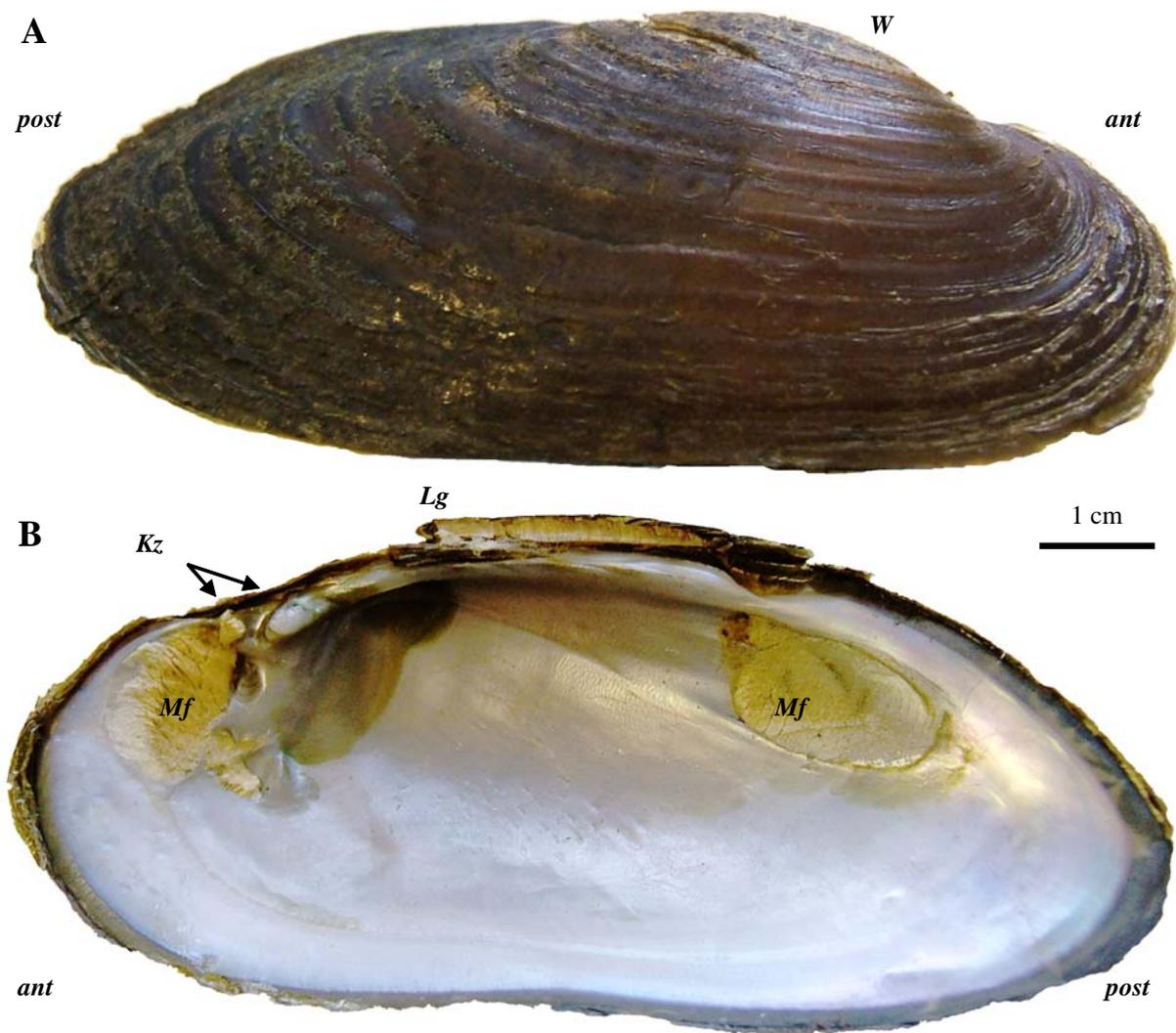


Abb. II-1:

Rechte Schale der Europäischen Flussperlmuschel von außen (A) und innen (B). *Margaritifera margaritifera* L. ist leicht an der hellbraunen bis schwarzen Schalenfarbe zu erkennen. Die Schale ist dick und leicht nierenförmig. Einzelne Individuen werden bis zu 18 cm (von Proschwitz 2007) lang und 280 Jahre (Mutvei & Westermark 2001) alt. Deutlich sind die beiden Kardinalzähne auf der Schlossplatte und das vordere und hintere Muskelfeld zu erkennen. *ant*: anterior, *Kz*: Kardinalzähne, *Lg*: Ligament, *Mf*: Muskelfeld, *post*: posterior, *W*: Wirbel.

Flussperlmuscheln sind in Deutschland und Südschweden von April bis Oktober aktiv (Nyström et al. 1995, persönl. Mittlg. Stefan Schmidt, WWA Hof, 2006), in Nordschweden von etwa Mai bis September (Nyström et al. 1996, persönl. Mittlg. Elena Dunca, NRM Stockholm, 2005). Geregelt wird die Aktivitätsphase von der Wassertemperatur. Sobald die Temperatur unter 5 °C sinkt (Dunca et al. 2005), fährt der Organismus die Metabolismusrate auf ein Minimum herunter und stoppt das Schalenwachstum fast vollkommen. In der Zeit kurz vor der Unterbrechung des Wachstums bilden sich dann deutliche Zuwachslinien (Mutvei et al. 1994, Hastie et al. 2000b), welche die annuellen Inkremente als dunkle Linien voneinander trennen (Abb. II-5).

Auf Grund von Umweltverschmutzung, Versäuerung der Gewässer (Meyer & Klupp 1980), Begradigung von Flüssen und Flurbereinigung an Bächen ist das Fortbestehen von *Margaritifera margaritifera* gefährdet. Doch auch Bejagen und Vertreiben der Wirtsfische sowie übermäßige Perlfischerei in den vergangenen Jahrzehnten führten zu einer Überalterung der Populationen. Kritische Umweltfaktoren betreffen die Calcium- und Phosphatwerte des Wassers. So korrelieren nach Bauer (1988) Mortalitätsraten mit Nitratwerten des Wassers und erhöhte Werte von Calcium. BOD- (Biochemical Oxygen Demand) und Phosphatgehalt stehen in mathematischem Zusammenhang mit geringeren Überlebensraten und Besatzraten von Jungtieren. Nitratwerte sollten 1,0 mg/l nicht übersteigen. Phosphat sollte in einer Konzentration von weniger als 0,03 mg/l im Wasser vorhanden sein. Die Leitfähigkeit des Wassers bleibt im Idealfall unter einem Wert von 100 µS/cm. Heute ist das Auftreten von Flussperlmuscheln zu einer Seltenheit geworden und Muschelbestände gelten als Indikator für ein intaktes und sauberes Ökosystem.

Tab. II-1:

Typische Pflanzen- und Planktonvergesellschaftung eines Flussperlmuschel-Habitats. Flussperlmuscheln ernähren sich von Detritus und kleinsten organischen Partikeln, die wahrscheinlich aus den Überresten der hier aufgeführten Quellen bestehen.

Flora	Plankton
Rot-, Schwarzerle ( <i>Alnus glutinosa</i> L.)	Grünalgen
Ohrweide ( <i>Salix aurita</i> L.)	Kieselalgen
Asch-, Grauweide ( <i>Salix cinerea</i> L.)	
Knackweide ( <i>Salix fragilis</i> L.)	
Purpurweide ( <i>Salix purpurea</i> L.)	
Wassermoos ( <i>Scapania</i> sp.)	
Quellmoos ( <i>Fontinalis antipyretica</i> L.)	
Wasserstern ( <i>Callitriche</i> sp.)	

## ***II.2. Schalenbau***

Die Schale der Flussperlmuscheln besteht aus drei bzw. vier Schichten. Die äußerste Lage stellt das organische Periostrakum dar. Diese sog. Lederhaut soll den karbonatischen Bestandteil der Schale vor Anlösung durch Huminsäuren bzw. Wasser niedrigen pH-Werts bewahren. Die eigentliche Schale (Abb. II-2) ist aus Aragonitkristallen aufgebaut, die durch Glycoproteine verbunden sind (Taylor & Layman 1972). Hier kann nochmals zwischen einer an das Periostracum angrenzenden Prismenschicht, einer äußeren, primären und einer inneren, sekundären Perlmuttertschicht differenziert werden (Mutvei et al. 1994). Die sekundäre Perlmuttertschicht stellt eine Art aufgearbeitetes primäres Perlmutter dar, welches sich auflöst, sobald die Schale längere Zeit geschlossen ist.

Die drei primären Schalenschichten werden an schichtspezifischen Regionen am Mantelepithel gebildet (Dunca 1999). Die Perlmuttertschicht ist aus horizontal gelagerten Aragonitlamellen aufgebaut, die von dünnen Schichten aus Glycoproteinen voneinander getrennt sind. Die Prismenschicht ist aus den Namen gebenden Aragonitprismen aufgebaut (Dunca 1999; Taylor & Layman 1972), deren Form vom Glycoprotein vorgegeben wird, das bei der Skelettbildung als eine Art Gerüst fungiert (Abb. II-3).

Zuwachslinien – egal ob stündlich, täglich (Abb. II-4; Dunca & Mutvei 2001) oder annuell (Mutvei et al. 1994, Hastie et al. 2000b) – entstehen bei Wachstumsunterbrechung bzw. Reduktion der Wachstumsgeschwindigkeit. Neben der primären Steuerung durch biologische Uhren (Pittendrigh 1979, Clark 1975, Jones 1980) können Zuwachslinien auch durch Ruhephasen oder extreme Stresssituationen verursacht werden. Aufgrund der geringeren Schalenwachstumsrate sind zur Zeit der Zuwachslinienbildung relativ mehr Glycoproteinlagen bzw. Zucker in die Schale eingelagert als in den Wachstumsinkrementen. Das Periostracum besteht fast vollkommen aus Glycoproteinen und wird vom Mantelrand an der Periostrakalfurche ausgeschieden (Dunca 1999). Die Prismenschicht wird an einer schmalen Region am Mantelrand produziert, die Perlmuttertschicht entlang der restlichen Manteloberfläche (Dunca 1999). Das Baumaterial diffundiert hierbei aus den Mantelepithelzellen in das extrapalliale Fluid zwischen Mantel und Schalen und wird letztlich an der inneren Schalenoberfläche wieder abgelagert (Wilbur 1972).

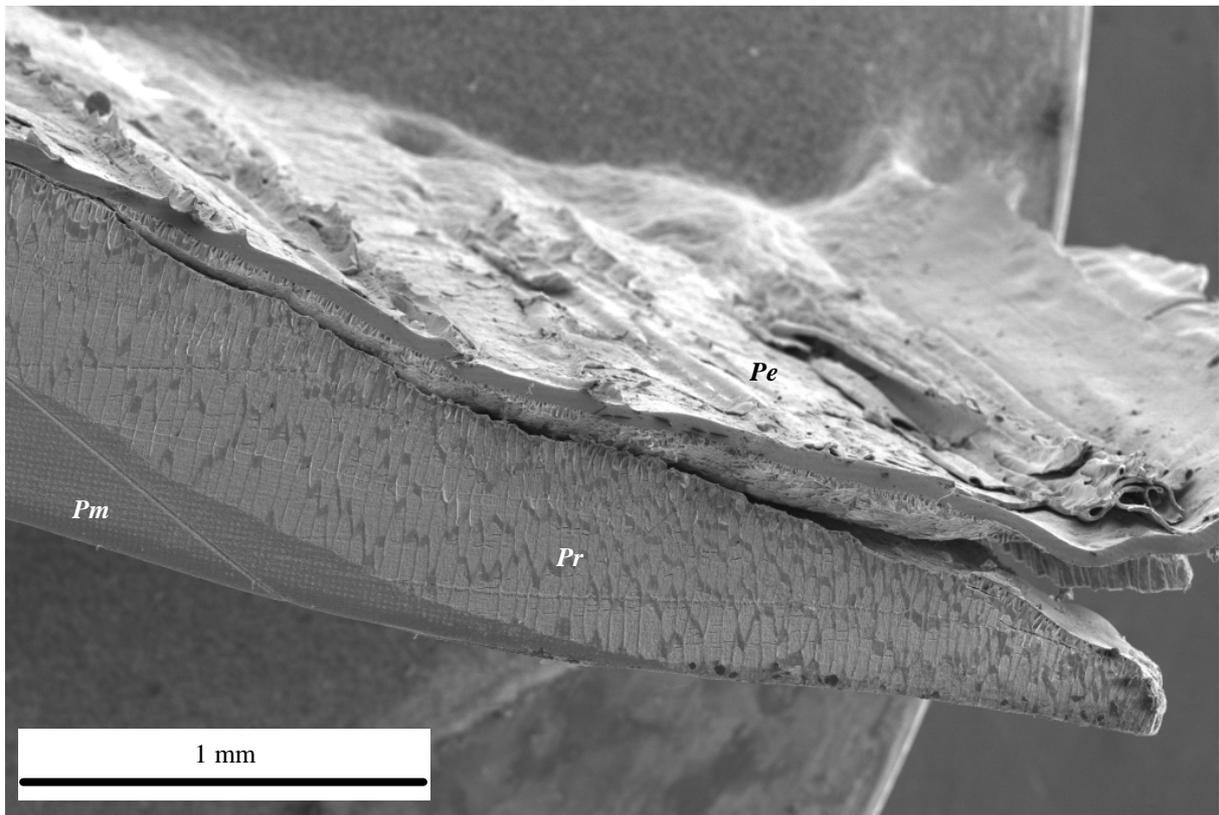


Abb. II-2



Abb. II-3

Vorhergehende Seite:

Abb. II-2:

Ventraler Schalenrand von *Margaritifera margaritifera*. Leicht können drei Schichten unterschieden werden, die zusammen die Schale bilden. Mit *Pe* ist das Periostracum bezeichnet, eine rein organische, ledrige Schutzhülle. Prismenschicht (*Pr*) und Perlmuttschicht (*Pm*) bestehen aus Aragonit und zwischengelagertem Glycoprotein.

Abb. II-3:

Elektronenmikroskopische Aufnahme der Prismenschicht einer Schale von *Margaritifera margaritifera*. Glycoproteine (*Gp*) bilden eine Art Gerüst, in der das Skelettmaterial, hier Aragonitkristalle (*Ak*), heranwächst. Während die Glycoproteine in der Perlmuttschicht lagig aufgebaut sind und Inkremente voneinander trennen, fungieren sie in der Prismenschicht als dreidimensionale Hüllen für die Aragonitprismen.

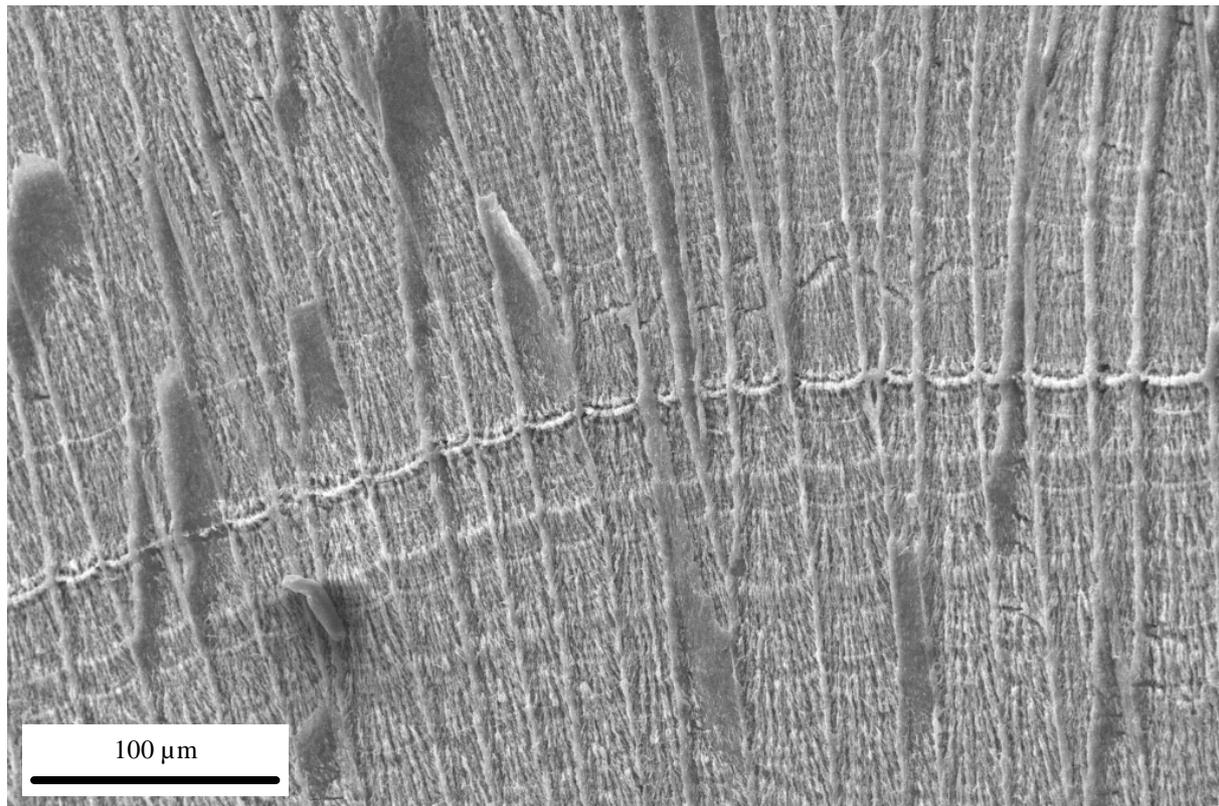


Abb. II-4:

Zuwachslinien in der Schale von *Margaritifera margaritifera*. Die dicke, helle Linie stellt eine annuelle Zuwachslinie dar, die vielen dünnen und gebogenen Linien ist täglichen Ursprungs. Jeweils zwei helle Linien begrenzen ein Inkrement.

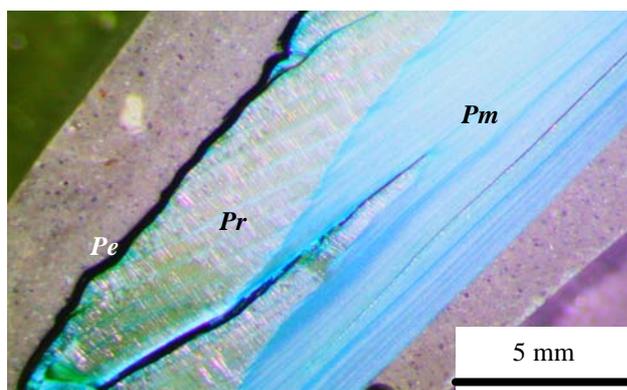


Abb. II-5:

Angeätzter und gefärbter Dickschliff einer Schale von *Margaritifera margaritifera*. Deutlich treten die Jahresinkremente hervor, blau gefärbt durch eine Reaktion der in den Anwachslinien relativ angereicherten Zuckermoleküle. Auch die hellblaue Perlmuttschicht (*Pm*) und die silberne Prismenschicht (*Pr*) sind klar erkennbar. *Pe*: Periostracum.

### ***II.3. Herkunft des untersuchten Materials***

Das Untersuchungsmaterial (Tab. II-2) stammt aus Deutschland, Finnland und Schweden (Abb. II-6). Das Material (siehe auch Tab. III-1) wurde zum einen vom Autor selbst gesammelt (SB-GTB, SB-TBB, SB-NS), zum anderen von Mitarbeitern (SN-MJ, ED-NJB, ED-GTB) des Länsstyrelsen i Norrbottens Län in Luleå (Landesverwaltung Norrbotten), von Elena Dunca (NRM Stockholm; ED-GTB) und von Stefan Schmidt (WWA Hof; SB-TIM, SB-WOB, SB-ZIN). Die Sammlung der finnischen Exemplare (JKN-KOL) erfolgte durch Jan Kresten Nielsen und Samuli Helama. Außerdem wurden einige Muscheln aus den Sammlungen des NRM Stockholm (SN-MJ, ED-GTB), des SGU in Uppsala (SGU-UP, SGU-AL) und der NWS Wiesbaden (NWS-WI) dauerhaft entliehen. Das Aufsammeln der wenigen lebenden Exemplare und des toten Materials wurde von den jeweils zuständigen Behörden, namentlich dem Länsstyrelsen i Norrbottens Län, dem Wasserwirtschaftsamt Hof und dem Lapland Regional Environment Center, autorisiert. Da die Flussperlmuschel auf der roten Liste der vom Aussterben bedrohten Tierarten steht (siehe auch [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)), beschränkte sich vorliegende Arbeit auf Lebendmaterial einer einzigen Lokalität (Grundträktjärnbäcken) mit einer gesunden Population an Flussperlmuscheln.

#### **II.3.1. Görjeån**

Der Görjeån ist der am nördlichsten gelegene (66 °N, 20 °E) der beprobten Flüsse. Er besitzt mit mehr als 100 km<sup>2</sup> auch das größte Wassereinzugsgebiet. Am oberen Lauf wenige Meter breit wächst der Fluss im weiteren Verlauf auf etliche Zehnermeter Breite an. Schließlich fließt der Görjeån in den Strom Luleälven, der dann bei Luleå in die Ostsee mündet. Die Flusstiefe schwankt zwischen wenigen Dezimetern und mehreren Metern.

In der Nähe des Quellgebiets des Görjeån befindet sich eine Sulphidlagerstätte, die aber zur Zeit der Probennahme (1998) nicht aktiv abgebaut wurde. Neben Bergbau sind auch die Industrie und Agrarwirtschaft im Einzugsgebiet des Flusses praktisch nicht vorhanden. Nur an wenigen Stellen kommt es zum Kontakt zwischen Fluss und Grundgebirge. Dieses besteht an den betreffenden Stellen nur aus Granodiorit. Ansonsten werden Flusslauf und Ufer nur von Moränenmaterial, Flussablagerungen und Torf bestimmt (Abb. II-7). Der hohe Torfanteil in der näheren Umgebung des Flusses sorgt dafür, dass ein hoher Gehalt an Huminsäuren im Wasser gelöst ist, was teils zu einer intensiven Rotfärbung des Flusswassers führt. Die

Vegetation am Flussufer wird stark von Birken-Mischwäldern geprägt (Abb. II-8A). Nach Rodungen (siehe auch Abb. II-8B) übernehmen Farne und Gräser das Erscheinungsbild, bis nach wenigen Jahren schließlich wieder neue Bäume nachwachsen.

Im August 1996 wurden dem Fluss sechs Flussperlmuscheln entnommen. Von diesen lebend (ED-GJ-A1 bis -A4) und tot (ED-GJ-D5 und -D6) gesammelten Proben wurden fünf Exemplare (1 bis 3, 5 und 6) im Massenspektrometer auf  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenwerte hin analysiert. Jährliche Zuwachskurven wurden von allen Individuen erstellt.



Abb. II-6:  
Übersicht über die beprobten Flüsse und Lokalitäten. Von Nord nach Süd sind dies: Rovaniemi (1) in Finnland (FIN), Görjeån (2), Grundträsktjärnbäcken (3), Tjartsebäckbiflöde (4), Nuortejaurbäcken (5) und Maljan (6) in Schweden (SW), Exemplare des Museums Wiesbaden (7), eines davon stammt aus Südfrankreich (Fluss Tarn), und der Regnitz (8) in Deutschland (D). (Bildquelle: Google Earth 2007)

Seite 22:

Tab II-2:

Kurzbeschreibung der Lokalitäten mit Koordinaten, Probenzahl und Art der Analyse. D steht hierbei für Deutschland, SW für Schweden und FIN für Finnland. In der Spalte „Sclerochronologie“ ist die Anzahl der sklerochronologisch untersuchten Individuen aufgeführt.

Land	Name	Artbezeichnung	Koordinaten	Datum	Kurzbezeichnung	Anzahl der Individuen	Sklerochronologie	$\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^{13}\text{C}$
D	Regnitz	<i>M. margaritifera</i>	50°17'N, 12°07'E	12/2004	SB-WOB	1	1	1
					SB-TIM	6	4	4
				1990er	SB-ZIN ED-REG	3 4	1 -	1 -
	NWS	<i>M. margaritifera</i>	unbekannt (Tam, Südfrankreich)	1977	NWS-WI	2	2	-
				1853		1	1	1
FIN	Rovaniemi	<i>M. margaritifera</i>	68°33'N, 28°10'E bis 68°36'N, 28°15'E	2006	JKN-KOL	96	73	-
SW	Göryeån	<i>M. margaritifera</i>	66°20'N, 20°30'E	08/1999	ED-GJ	6	6	5
	Grundträsktjärnbäcken	<i>M. margaritifera</i>	66°03'N, 22°05'E	08/1993	ED-GTB	9	9	2
				08/2005	SB-GTB	5	4	-
Tjartseäckbiflöde	<i>M. margaritifera</i>	65°51'N, 19°43'E	08/2005	SB-TBB	6	-	-	
Nuortejaurbäcken	<i>M. margaritifera</i>	65°42'N, 19°02'E	07/1993	ED-NJB	9	9	4	
Maljan	<i>M. margaritifera</i>	62°22'N, 15°23'E	10/1991	ED-MJ	15	1	-	

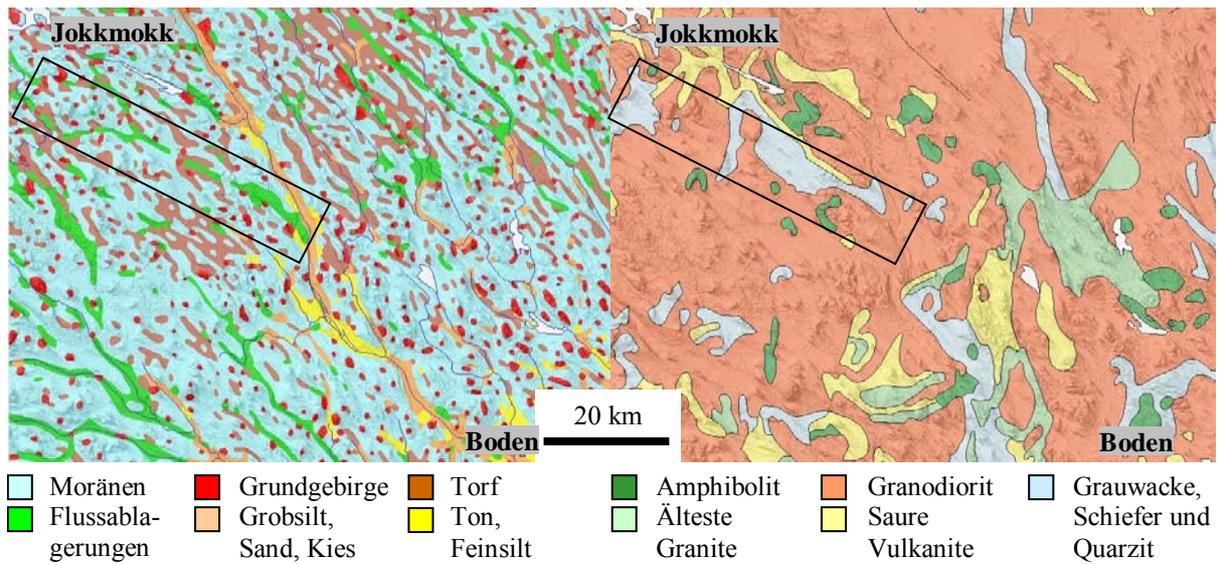


Abb. II-7



Abb. II-8



Abb. II-9

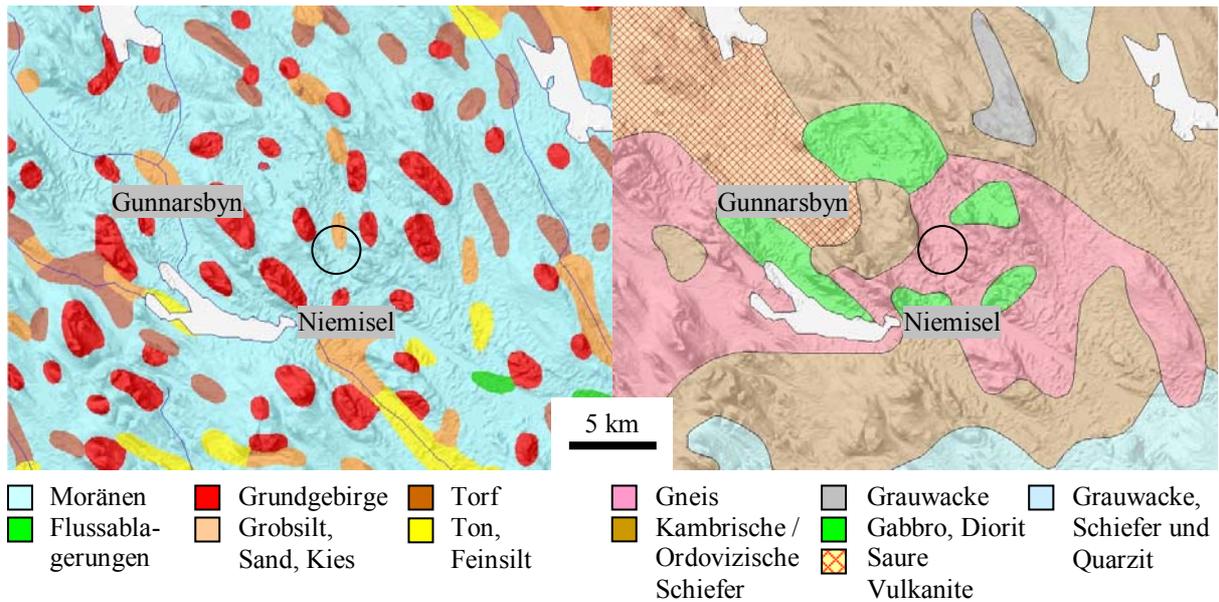


Abb. II-10

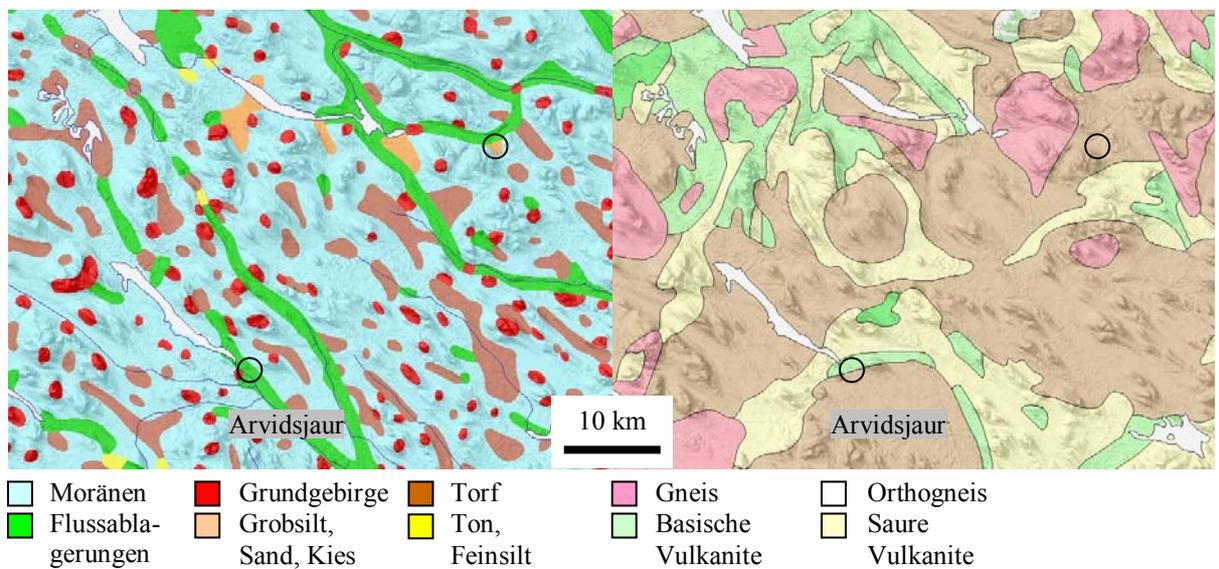


Abb. II-11



Abb. II-12

Seite 23:

Abb. II-7:

Bodenkarte (links) und Geologische Karte (rechts) der Region zwischen Jokkmokk und Boden (Nordschweden, Norrbotten). Mit dem Rechteck ist in etwa das Einzugsgebiet des Görjeån markiert. Den Untergrund des Flusslaufs bilden vor allem Talauensedimente und Moränenmaterial. Selten verläuft der Görjeån direkt auf dem Grundgebirge, welches im Einzugsgebiet zum größten Teil aus Granodiorit besteht. Verändert nach dem Online-Kartenverzeichnis des Schwedischen Geologischen Dienstes (SGU 2007).

Abb. II-8:

Der Görjeån im mittleren Flussverlauf. Je nach Standort und Wassertiefe ist die Fließgeschwindigkeit sehr unterschiedlich. Im rechten Bild wird der hohe Anteil an gelösten Huminsäuren durch die rötlich-braune Färbung des Wassers deutlich erkennbar. Die Vegetation wird von Birken-Mischwald geprägt.

Abb. II-9:

Grundträsktjärnbäcken. Der Bachlauf ist kaum breiter als ein bis zwei Meter (A) und relativ flach (B). Die Umgebung ist von Birken-Mischwäldern gezeichnet und von forstwirtschaftlich genutzten Flächen, die meist aus regelmäßig gerodeten Fichtenschulen bestehen.

---

Seite 24:

Abb. II-10:

Bodenkarte (links) und Geologische Karte (rechts) der Region nördlich von Boden bei Gunnarsbyn und Niemisel (Nordschweden, Norrbotten). Mit dem Kreis ist das Gebiet um den Grundträsktjärnbäcken markiert. Den Untergrund des Flusslaufs bildet Moränenmaterial. Der geologische Untergrund wird von Gneisen bestimmt. Verändert nach SGU 2007.

Abb. II-11:

Bodenkarte (links) und geologische Karte (rechts) der Region um Arvidsjaur. Der rechte, obere Kreis kennzeichnet das Gebiet um den Bach Tjartsebäckbiflöde, der linke, untere das um den Nuortejaurbäcken. Das vorherrschende Gestein des Grundgebirges in dieser Region ist Orthogneis. Die Böden an den untersuchten Lokalitäten werden von Sedimenten dominiert.

Abb. II-12:

Tjartsebäckbiflöde. Der kleine Bach fließt südlich der kleinen Ansiedlung Abboträsk in den Tjartsebäcken. Mit Huminsäuren angereichert ist das Wasser des Tjartsebäckbiflöde deutlich rot gefärbt. Alle Schalenfunde dieser Lokalität bestehen fast nur noch aus *Periostracum*.

---

### **II.3.2. Grundträsktjärnbäcken**

Der Bach Grundträsktjärnbäcken liegt in Norrbotten (Abb. II-9), nördlich von Boden (66 °N, 20 °E). Der flache, maximal 1,50 m tiefe Bach (siehe Abb. II-9B) ist meist etwa einen Meter und maximal bis zu drei Meter breit und bildet einen natürlichen Abfluss des mehrere 100 m<sup>2</sup> großen Sees Grundträsket. Das Wassereinzugsgebiet ist wenige Quadratkilometer

groß und wird maßgeblich durch den See bestimmt. Der Grundträsktjärnbäcken mündet nach wenigen Kilometern in einen weiteren, aber wesentlich kleineren See als der Grundträsket.

Im Einzugsgebiet des Sees und des Baches befinden sich keine bekannten Lagerstätten. Agrarwirtschaft wird nicht betrieben. Die einzige Veränderung der Umwelt geschieht hier durch Rodung, wie eine frische Rodungsfläche (Abb. II-9B) bei der Probenahme und mehrere Baumschulen unterschiedlichen Alters in der Umgebung des Baches zeigten. Die Vegetation wird wie schon beim Görjeån von Mischwäldern geprägt, die vor allem mit Fichten und Birken besetzt sind. Der geologische Untergrund des Baches (Abb. II-10) besteht aus Gneisen des Grundgebirges. Die Bodenkarte (Abb. II-10A) weist nur Moränenmaterial und sandige Flussablagerungen (SGU 2007, eigene Beobachtung) auf.

Im August 1993 wurden neun Flussperlmuscheln (Tab. II.2) unterschiedlichen Alters durch Mitarbeiter des Länsstyrelsen i Norrbottens Län dem Grundträsktjärnbäcken entnommen (ED-GTB-A1, -A2 und -A4 bis -A10). Im August 2005 erfolgte durch den Autor dieser Dissertationsschrift eine weitere Entnahme von fünf adulten Tieren (SB-GTB-A1 bis -A5). Insgesamt wurden Zuwachsratenanalysen an neun Individuen durchgeführt und die Veränderung in der stabilen Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopie von zwei Muschelschalen gemessen.

### **II.3.3. Tjartsebäckbiflöde**

Der Tjartsebäckbiflöde (Abb. II-12) ist ein kleiner Bach mit wenigen Dezimetern Breite. Er mündet nach wenig mehr als einem Kilometer in den Bach Tjartsebäcken, welcher seinerseits in den Fluss Ljusträskbäcken führt. Quelle des Tjartsebäckbiflöde (65 °N, 19 °E) ist der See Laxtjärnen, der etwas nördlich der kleinen Ansiedlung Abborträsk gelegen ist. Nahe der Siedlung fließt der Skraveltjärnbäcken in den Gåbdebäcken. Allen Bächen ist gemeinsam, dass sie extrem huminsäurereiches Wasser führten. Die Vegetation in der Gegend der beiden Seen Abborträsket und Laxtjärnen ist von Nadelbäumen dominiert, vereinzelt wachsen Birken und kleine Sträucher. Der geologische Untergrund besteht aus Sedimenten in Sand- bis Feinkiesfraktion, das präkambrische Grundgebirge aus Orthogneis (Abb. II-11).

Sowohl Tjartsebäcken als auch Tjartsebäckbiflöde und Skraveltjärnbäcken führten laut Unterlagen des Länsstyrelsen i Norrbottens Län im Jahr 2004 noch Flussperlmuscheln. Schalenreste konnten jedoch bei der Probenahme im August 2005 nur im Tjartsebäckbiflöde gefunden werden. Dem Bach wurden sieben Schalen entnommen (SB-TBB-D1 bis -D7; Tab. II.2.), die aber fast komplett aufgelöst waren und zum Großteil aus Resten von *Periostracum*

bestanden. Nur an den ehemals dicksten Schalenstellen fanden sich noch geringe Reste aragonitischer Schale.

#### **II.3.4. Nuortejaurbäcken**

Beim Nuortejaurbäcken handelt es sich um einen kleinen Bach von maximal wenigen Metern Breite. Der Bach ist ein Zufluss des nördlich von Arvidsjaur gelegenen Sees Nuortejaur. Die Entnahmestelle der neun untersuchten Schalen (ED-NJB-A1 bis -A9; vgl. Tab. II.2) befindet sich bei 65 °N, 19 °E (siehe auch Abb. II-6), zwei der Schalen wurden massenspektrometrisch untersucht.

Der geologische Untergrund bei Arvidsjaur besteht vornehmlich aus Orthogneis und basischen Vulkaniten. Im untersuchten Gebiet herrschen Flussablagerungen vor, nur im westlichen Teil steht das Grundgebirge direkt an der Erdoberfläche an (siehe auch Abb. II-12). Die Vegetation wird neben Nadelbäumen noch durch Sträucher und Büsche vertreten. Nach Aussagen von Mitarbeitern des Länssyttrelsen i Norrbottens Län in Luleå kam es im Gebiet um den Nuortejaur immer wieder zu Rodungen von Nadelbaum-Kulturen. Da das Gebiet um Arvidsjaur für Nordschweden relativ dicht besiedelt ist, wird das Gebiet in geringem Umfang landwirtschaftlich genutzt.

#### **II.3.5. Regnitz**

Das unter dem Titel „Regnitz“ zusammengefasste Gebiet umschreibt die Zuflüsse der Regnitz in der Region des Dreiländerecks Böhmen - Bayern - Sachsen (50 °N, 12 °E; vgl. Abb. II-6). In vorliegender Arbeit sind die Lokalitäten (siehe auch Tab. II-2) am Zinnbach (SB-TIM-D1 bis -D6, SB-ZIN-D1 bis -D3) und Wolfsbach (SB-WOB-D1) durch Schalen belegt, die aus dem Fundus von Stefan Schmidt (WWA Hof) stammen und im Dezember 2004 gesammelt wurden. Mitte der 1990er Jahre wurden von Elena Dunca vier weitere Exemplare aus der gleichen Region tot aufgesammelt (ED-RG-D1 bis -D4).

Die beiden Bäche, Wolfsbach und Zinnbach (Abb. II-13), sind im gesamten Verlauf nicht breiter als zwei Meter und nur wenige Dezimeter tief. Die Vegetation im untersuchten Gebiet wird von Mischwäldern mit einem Großteil an Fichten geprägt. Laubbäume, hier im speziellen Weiden (*Salix sp.*), sind v.a. an den Bachufern anzutreffen.

Der geologische Untergrund besteht aus Diabasen im Randgebiet, devonischen und ordovizischen Tonschiefern und Phylliten. Der Boden setzt sich zumeist aus aufgearbeitetem Grundgebirge und pleistozänen Talauensedimenten zusammen. Aufgrund der humusreichen Umgebung ist hier ebenfalls das Wasser an Huminsäuren gesättigt, wenn auch in wesentlich geringerem Maß, als es z.B. in den beiden schwedischen Bächen Grundträsktjärnbäcken und Tjartseäckbiflöde der Fall war. Im untersuchten Gebiet gibt es keine nennenswerten Lagerstätten.



Abb. II-13:  
Zinnbach. Der Bach ist ein kleiner Zufluss der Regnitz und ist im sogenannten Dreiländereck „Böhmen - Bayern - Sachsen“ gelegen. Laubbäume wachsen meist direkt an den Bachufern, Nadelbäume dominieren das weitläufigere Umfeld des untersuchten Gebiets.

### II.3.6. Kolmosjoki

Im Gebiet des Kolmosjoki (68 °N, 28 °E) bei Inari, Finnland, wurde von Jan Kresten Nielsen und Samuli Helama zwischen 28. und 31. August 2005 subrezent bis subfossiles Schalenmaterial (Tab. II-2) von *Margaritifera margaritifera* gesammelt. Sowohl alte Feuerstellen als auch trocken gefallene Seitenarme des Flusses und Flusssedimente auf einer Insel im Kolmosjoki stellten Fundorte (JKN-KOL0 bis JKN-KOL6) für die Schalen dar. Der geologische Untergrund bestand zumeist aus glaziofluviatilen Sedimenten und auflagernden Flussablagerungen. Der Erhaltungszustand der Schalen reichte von Fragmenten bis hin zu

kompletten Schalen mit Periostrakum. Insgesamt wurden Schalen und Schalenreste von 98 Individuen sklerochronologisch untersucht.

### **II.3.7. Sonstiges Material**

Sowohl aus der Naturhistorischen Landessammlung des Museums Wiesbaden (NWS) als auch aus den Beständen des Schwedischen Geologischen Dienstes (SGU, Sveriges geologiska undersökning) wurden für die vorliegende Arbeit Schalen entliehen und bearbeitet. Aufgrund des nicht exakt bekannten Entnahmeortes der Muscheln können hier leider keine Aussagen über das hydrogeologische Milieu und die geologische und pedologische Umgebung getroffen werden.

Bei den Muscheln aus der NWS handelt es sich um drei Exemplare von *Margaritifera margaritifera*, der Europäischen Flussperlmuschel. Zwei Exemplare wurden von Dr. Jürgen H. Jungbluth 1977 im Gebiet des Vogelsbergs tot aufgesammelt. Die dritte Muschel wurde der NWS von Dr. Calver überlassen. Dieses Exemplar wurde im Jahre 1853 tot einer anfangs nicht bekannten Lokalität entnommen. Nach Auswertung der  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Daten und weiteren Nachforschungen stellte sich jedoch heraus, dass die Muschel aus Südfrankreich stammt, oder genauer, dem Einzugsgebiet des Flusses Tarn. Außerdem wurde ein weiteres Exemplar von *M. margaritifera* aus dem Fluss Maljan (Mittelschweden) untersucht.

## II.4. Präparation und Untersuchungsmethoden

Alle zur Beprobung vorgesehenen Muscheln durchliefen die im folgenden (Kap. II.4.1) beschriebenen, vorbereitenden Präparationsschritte. Insgesamt wurden 118 Schalen von *Margaritifera margaritifera* präpariert und untersucht.

### II.4.1. Vorbereitende Präparationsschritte

Die frisch gesammelten Schalen wurden direkt nach Tötung der Tiere bzw. nach Öffnen der Schalenhälften beschriftet (siehe Tab. II-3). Zur richtigen Orientierung der Muschel wurden bei den untersuchten Arten folgende Entscheidungskriterien herangezogen (vgl. Abb. II-14):

- Der Wirbel und die Zähne befinden sich dorsal.
- Der Wirbel ist nach vorn geneigt.
- Der Schalenbereich hinter dem Wirbel ist länger als der vor dem Wirbel.
- Das posterior gelegene Muskelfeld ist größer als das anteriore.
- Das Ligament liegt hinter dem Schloss.
- Falls die geschlossene Schale klafft, ist die Öffnung posterior gelegen.

Tab. II-3:

Bei der Beschriftung von Proben und Dickschliffen verwendete Kürzel und deren Bedeutung. Das Individuum ED-GTB-A2 ist somit z.B. das zweitgrößte Individuum, das von Elena Dunca am Grundträsktjärnbäcken lebend gefangen wurde.

Sammler		Lokalitäten		Zusätzliche Informationen	
ED	Elena Dunca	AL	Almaån	A	Lebend gefangen
NRM	Naturhistorisches Reichsmuseum Stockholm	GJ	Görjeån	D	tot entnommen
		GTB	Grundträsktjärnbäcken	R	rechte Schale
NWS	Naturhistorische Landessammlung Museum Wiesbaden	MJ	Maljan	L	linke Schale
		NJB	Nuortejaurbäcken		
SB	Sven Baier	RG	Regnitz		
SN	Håkan Söderberg, Oskar Norrgrann	TBB	Tjartseäckbiflöde		
		TIM	Timpermühle		
		WOB	Wolfsbach		
		ZIN	Zinnbach		

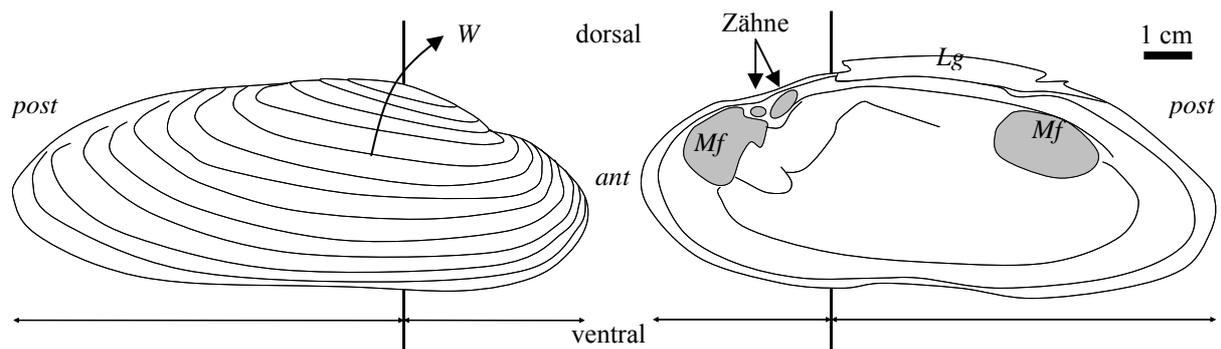


Abb. II-14:  
 Schema zur Orientierung der Schale. Links: Außenseite, rechts: Innenseite. *ant*: anterior, *Lg*: Ligament, *Mf*: Muskelfeld, *post*: posterior, *W*: Wirbel.

Im Labor wurden die vorläufigen Bezeichnungen mit Sekundenkleber fixiert und die Schalen gründlich gereinigt und anhaftende Eisenoxidkrusten oder ähnliches wurden entfernt. Abschließend wurden die Schalen in deionisiertem Wasser im Ultraschallbad für zehn Minuten gereinigt.

Am Vorderende der Schale sind Plexiglas-Klötzchen befestigt worden, um die Schalen beim Durchtrennen fixieren zu können. Eine Epoxidharz-Ummantelung der Schalen entlang der Schnittfläche stabilisierte die dünnen bzw. angebrochenen Stellen. Mit einer Niedertouren-Säge (Buehler) und einem 0,4 mm Diamant-Sägeblatt wurden zwei etwa 2 bis 3 mm dicke Schalenscheiben senkrecht zu den Wachstumslinien heraus getrennt. Die beiden Scheiben wurden anschließend mit der Schnittfläche nach oben auf Objektträger aufgeklebt.

Anschließend wurden die Dickschliffe mit Silizium-Carbid (SiC)-Pulver geschliffen (800er und 1200er Körnung), auf einem Poliervlies (Buehler G-cloth) mit 1 µm-Korundpulver poliert und zwischen den Einzelschritten im Wasserbad (deionisiertes Wasser) ultraschallgereinigt. Einer der beiden Schliffe war nun für massenspektrometrische Untersuchungen vorbereitet, der zweite Dickschliff wurde für die sklerochronologische Analyse weiter behandelt.

#### II.4.2. Sklerochronologie

Der für die sklerochronologischen Messungen benötigte Dickschliff wurde oberflächlich mit Alkohol gesäubert. Um die Anwachslineien hervorzuheben und das Relief zu verstärken, wurde der Dickschliff für 23 Minuten in Mutvei'scher Lösung (Schöne et al. 2005b) bei etwa 38 bis 40 °C immersierrt. Mutvei'sche Lösung ist eine Mischung aus Glutaraldehyd,

Alcianblau und Essigsäure. Die Mischung führt einerseits zu einer intensiven Blaufärbung der in der Schale in unterschiedlicher Konzentration vorhandenen Mucopolysaccharide. Andererseits erzeugt das schwache Ansäuern der Schale ein Relief aus organikreichen, säureresistenten Bereichen und leichter ätzbaren Bereichen mit relativ höherem Karbonatanteil. Gleichzeitig festigt das Glutaraldehyd die organische Substanz in drei Dimensionen.

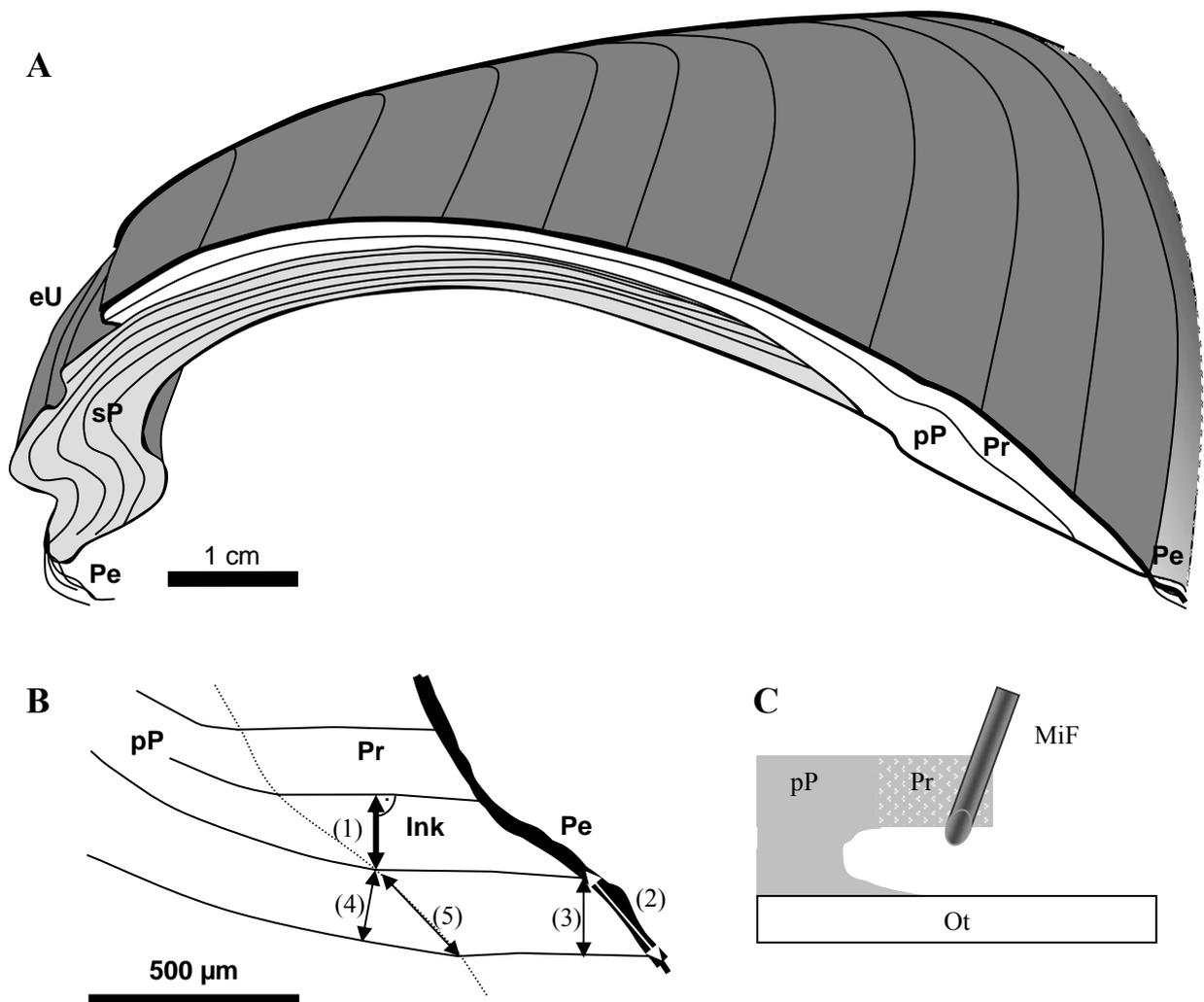


Abb. II-15:  
 Schematischer Schnitt durch die Schale von *M. margaritifera*. A: Schalenanschnitt nach Absägen der Schalenscheiben. B: Schema zur Messung der Inkrementbreite. Zuwachslinien begrenzen die Inkremente. C: Schema zur Beprobung. Zwischen Objektträger (Ot) und Prismenschicht (Pr) wird eine kleine Grube gefräst, um bei der Probenahme mit dem Handbohrgerät (Hb) Verunreinigungen durch Material aus der Perlmuttertschicht oder durch Metall-Epoxidharz vorzubeugen. Mit den Zahlen (1) bis (5) werden verschiedene Möglichkeiten der Bestimmung von annuellen Inkrementbreiten verdeutlicht. eU: erodierte Umbonalregion, MiF: Mikrofräse; Ink: Inkrement, Ot: Objektträger; Pe: Periostracum, pP: primäre Perlmuttertschicht, Pr: Prismenschicht, sP: sekundäre Perlmuttertschicht

Insgesamt 111 Individuen wurden sklerochronologisch untersucht (vgl. Tab. III-1), von 109 konnte das sklerochronologische Mindestalter bestimmt werden. Acht der untersuchten Schalen waren aus Südostdeutschland, eine aus Südfrankreich, 29 aus Nordschweden und 73 aus Westfinnland.

Das Messen der Inkrementbreiten erfolgte mittels der Software Panopea<sup>®</sup> anhand von seriellen, sich überlappenden Digitalbildern des angelösten und gefärbten Dickschliffs. Die Digitalisierung erfolgte mit einer Digitalkamera Modell Nikon Coolpix 995. Die Kamera war über das Okular mit einem Binokular der Firma Wild (Heerbrugg) verbunden. Die Aufnahmen wurden unter 16- oder 25-facher Tubus-Vergrößerung vorgenommen. Die Inkrementdicke (Abb. II-15B) wurde als Lot vom Kontaktpunkt zwischen Prismen- und Perlmutternschicht einer annuellen Zuwachslinie auf die vorhergehende Jahreszuwachslinie gemessen. Die mit Panopea<sup>®</sup> ermittelten Werte wurden in Microsoft Excel importiert und dort weiter bearbeitet. Um das ontogenetische Wachstum der Muscheln beurteilen zu können, wurden in Excel nicht nur die absoluten Wachstumsraten verglichen, sondern auch Summenkurven herangezogen.

Für verschiedene Arten und Gattungen werden auch unterschiedliche Messverfahren der annuellen Inkrementbreite (vgl. Abb. II-15B) angewandt. Alle im Folgenden beschriebenen Messmethoden wurden für die hier untersuchten Schalen getestet. Als zuverlässigste Methode stellte sich die Standardmessung (Punkt 1) heraus. Ein Umrechnen von Ergebnissen einer Methode auf die einer anderen Methode ist nur ungefähr möglich. In den Abbildungen II-15B und II-16 ist ein Vergleich der verschiedenen Messmethoden dargestellt.

- 1) Die Standardmessung für *M. margaritifera* entspricht der weiter oben vorgestellten und beschriebenen Messmethode innerhalb der Prismenschicht (Pr | Pr).
- 2) Die Messung erfolgt entlang der Schalenoberfläche, unterhalb der Lederhaut (Pr/Pe). Diese Methode ist für *M. margaritifera* gänzlich ungeeignet, da die Muschel unregelmäßig (bei Stresssituationen) ihren Eingeweidesack zurückzieht. Es entstehen tiefe Einschnitte der Lederhaut in die Prismenschicht.
- 3) Von der Kontaktstelle zwischen Periostrakum und Prismenschicht wird das Lot auf die nächste Zuwachslinie gefällt. Diese Methode ähnelt der hier angewandten Methode (1), jedoch verjüngt sich bei der Flussperlmuschel oftmals die Prismenschicht nach außen hin, so dass die Messgenauigkeit in ontogenetisch älteren Schalenabschnitten stark abnimmt. Eine Umrechnung auf die Standardmessmethode erfolgt durch Multiplikation mit einem populationsspezifischen Koeffizienten.

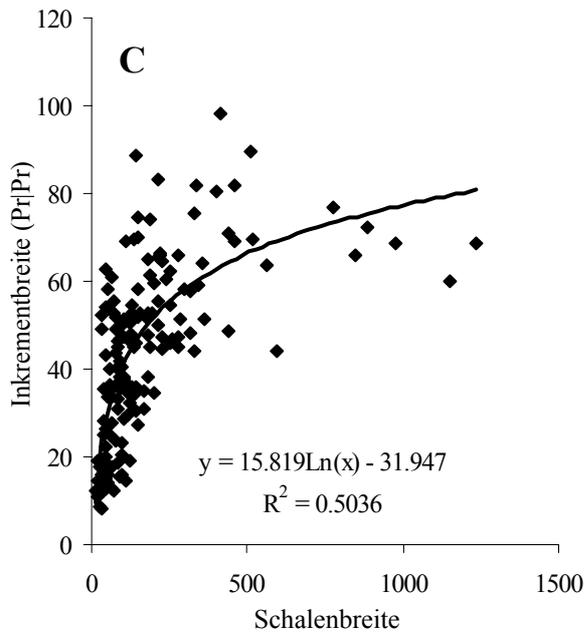
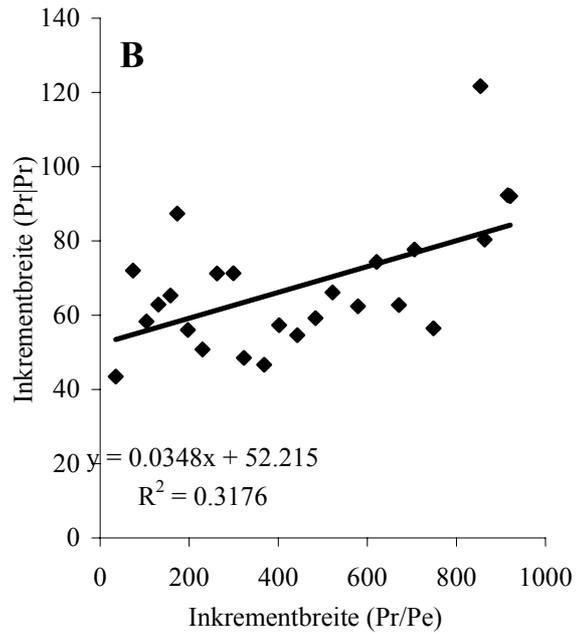
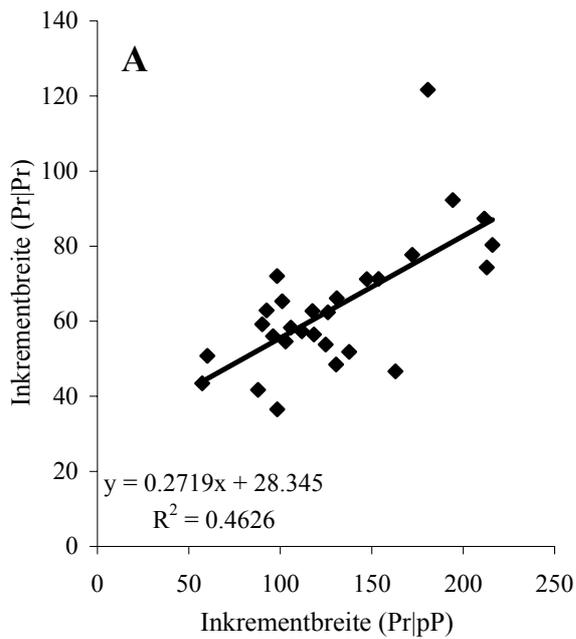


Abb. II-16:

Vergleich unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der annualen Inkrementbreite. A) Methode 4 (Pr|pP) gegen 1 (Pr|Pr). B) Messung von einer Zuwachslinie zur nächsten, entlang der Kontaktregion von Prismenschicht zu Periostrakum (Methode 2: Pr|Pe) gegen Standardmessung 1 (Pr|Pr). C) Methode 6 (Schalenbreite zu gegebenem Alter) gegen Standardmethode 1 (Pr|Pr). Umrechnungen von Ergebnissen der Standardmessung auf die anderer Messmethoden können durch negative Exponentialfunktionen erfolgen, wenn entlang einer Oberfläche gemessen wird bzw. durch lineare Funktionen, wenn die annuelle Inkrementbreite über Lotmessungen bestimmt wurde.

- 4) wie 3), jedoch wird das Lot von der Kontaktstelle Prismen- zu Perlmuttertschicht auf die nächste annuelle Zuwachslinie in der Perlmuttertschicht gefällt (Pr | pP).
- 5) Entlang der Kontaktregion von Perlmutter- zu Prismenschicht wird von einem zum nächsten annualen Inkrement gemessen (Pr / pP). Eine Umrechnung auf die Standardmessmethode kann über eine populationsspezifische Logarithmusfunktion erfolgen.
- 6) Als letzte Möglichkeit ergibt sich eine Messung der Schalenbreite für jedes Inkrement. Hierzu müsste für jedes Jahr die Entfernung von der Kontaktstelle Periostrakum / Prismenschicht zur Wirbelmündung gemessen werden. Nachteil hierbei ist, dass der

Schnitt durch die Schale exakt entlang der Achse minimalen Wachstums erfolgen müsste. Außerdem sind für die Messungen Bilder mit hoher Auflösung erforderlich.

### II.4.3. $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$

Der zweite, noch unbehandelte Dickschliff der Muschelschale wurde für die Analyse stabiler Isotopenverhältnisse verwendet. Hierfür wurde mit einer Mikrofräse, die an einem Mikroskop befestigt war, Schalenmaterial aus der Prismenschicht gefräst. Bei dem sog. *Milling* mit dem Diamant-Fräßkopf (1 mm Durchmesser) wurde der Orientierung der Inkremente gefolgt, um das *Time-Averaging* so gering wie möglich zu halten (Abb. II-15). Um Verschmutzung und Verunreinigung zu vermeiden, wurde eventuell diagenetisch alteriertes Schalenmaterial, Flüssigmetall und Periostracum entfernt und der Raum zwischen Probenmaterial und Objektträger ausgehöhlt (Abb. II-15C).

Etwa 50 bis 100  $\mu\text{g}$  Schalenpulver wurden für die Messungen der  $\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im *continuous-flow* Massenspektrometer Finnigan MAT 253, ausgestattet mit einer Gas Bench II, benötigt (vgl. hierzu Spötl & Vennemann 2003). Die Präzision der Ergebnisse lag bei 0,07 ‰ für  $\delta^{18}\text{O}$  bzw. bei 0,05 ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$ . Die Ergebnisse wurden relativ zu VPDB angegeben (-2,20 ‰ für  $\delta^{18}\text{O}$  und 1,95 ‰ für  $\delta^{13}\text{C}$ ), nach Kalibration über Carrara-Marmor, der selbst wiederum über die Standards NBS-18 und NBS-19 kalibriert worden ist (siehe auch Fiebig et al. 2005).

Insgesamt wurden 2728 Schalenproben im *continuous-flow* Massenspektrometer, ausgestattet mit einer Gas Bench II, auf ihre  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$  und  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werte hin untersucht. Die Proben wurden von elf schwedischen und fünf deutschen Exemplaren von *Margaritifera margaritifera* genommen, außerdem an einer Schale ungenauen Ursprungs.

Alle Isotopendaten konnten durch Wachstumsraten-Analyse an den Spiegelschliffen Kalenderdaten zugeordnet werden. Lagen für ein Jahr mehrere Isotopendaten vor, so erfolgte eine unterschiedliche Gewichtung der Daten bei der Berechnung des Jahresmittelwerts, da zu unterschiedlichen Jahreszeiten unterschiedlich viel Schalenmaterial abgelagert wird. Deshalb wurde eine modellierte, ideale intraannuelle Wachstumskurve in drei gleichlange Abschnitte unterteilt und die zugehörigen intraannuellen Gewichte für die Teilabschnitte aus der Wachstumsfunktion ermittelt. Datengrundlage für die erwähnte Wachstumskurve wiederum waren die Muscheln aus Dunca & Mutvei (2001). Lagen mehr als drei Proben pro Jahr vor, wurde die Probenanzahl mittels der Software AnalySeries 1.1 (Paillard et al. 1996) auf drei „Proben“ herunter gerechnet (*Downsampling*). Durch das Herunterrechnen war es möglich,

eine gemeinsame mathematische Formel auf den Großteil der Proben anwendbar zu machen und eine relative Beurteilung der Qualität der Daten aufgeteilt auf drei „Jahreszeiten“ (Frühling, Sommer, Herbst) sicherzustellen.

Die verwendeten Gewichte ( $a_n$ , Tab. II-4) wurden als Koeffizienten mit den gemessenen Werten multipliziert. Die Summe der Produkte aus Koeffizient und zugehörigem intraanuellem Messwert ergab den Jahreswert. Zur Erstellung der annuellen Werte wurden bis zu zwölf Proben pro Inkrement genommen.

Tab. II-4:  
Koeffizienten zur Berechnung der annuellen Mittelwerte aus den stabilen Isotopendaten.

Proben / Jahr	3	2
$a_1$	0,33	0,53
$a_2$	0,38	0,47
$a_3$	0,29	-

Aufgrund der Tatsache, dass die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werte der verschiedenen Flusssysteme nicht bekannt waren, wurden die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werte in einer ersten Näherung mit Hilfe einer modifizierten, von Grossman & Ku (1986) veröffentlichten Formel F (1) zur Berechnung von absoluten Temperaturwerten verwendet. Grundlage hierzu war die Beobachtung (Dunca et al. 2005; Dunca & Mutvei 2001), dass Flussperlmuscheln ihr Größenwachstum ab einer Wassertemperatur von etwa 5 °C einstellen bzw. auf ein Minimum reduzieren. Dementsprechend wurde für eine Versuchsmessung das negative Extremum aller gemessenen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werte einer Lokalität als äquivalentes Isotopen-Verhältnis für eine Wassertemperatur von 5 °C angesehen und die entstandene Zeitreihe mit vorhandenen Temperaturaufzeichnungen verglichen.

$$F (1): \quad T_n [^\circ\text{C}] = -4,34 [^\circ\text{C} / \text{‰}] \cdot (x_n [\text{‰}] - x_{\text{max}} [\text{‰}]) + 5 [^\circ\text{C}]$$

(verändert nach Grossmann & Ku 1986)

$T_n$ : Jahresmitteltemperatur für Jahr n  
 $x_n$ : annueller, gewichteter  $\delta^{18}\text{O}$ -Jahresmittelwert für Jahr n  
 $x_{\text{max}}$ : maximaler  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert für Muschel / Population / Lokalität

#### II.4.4. Mathematische Funktionen und Filter

Die einzelnen Zeitreihen wurden durch *Cross-Dating* mittels der Software COFECHA (Fritts 1962, Grissino-Mayer 2001) zeitlich angeordnet. Bei der Methode des *Cross-Datings* werden absolute Zeitreihen in Jahresschritten relativ zueinander verschoben. Gleichzeitig erfolgt die Berechnung der Korrelation der Einzelzeitreihen im Verhältnis zur Gesamtheit der Zeitreihen. Die Abweichungen der jeweiligen Einzelzeitreihe von der Gesamtheit werden

dann tabellarisch für jedes untersuchte Jahr ausgegeben. Im Anschluss wurden die Isotopendaten mit den an den Schwester-Dickschliffen gemessenen Zuwachsraten verknüpft. Über die sklerochronologische Datierung der Zeitreihen und Protokolle bei der Beprobung der Muschelschalen konnten die Isotopendaten auf diese Weise relativ zueinander angeordnet werden.

Um Umweltsignale der den Zeitreihen innewohnenden gemeinsamen Trends, z.B. Wachstumstrends, zu isolieren, musste jeder Messwert durch einen jeweils zugehörigen, modellierten Wert dividiert werden (*Detrending*). Die modellierte Datenreihe stellte hierbei eine Abschätzung des Zuwachsraten-Alterstrends dar. Die Berechnung der Modellwerte erfolgte mittels der in F (2) angegebenen kubischen *Splines*-Methode in der Software JMP™ 5.0.1a.

Wie bereits für Bivalven (Pannella & MacClintock 1968; Hall et al. 1974, Jones 1983) und *Margaritifera margaritifera* (Bauer 1992; Hastie et al. 2000b; Nyström et al. 1995) beschrieben, lassen sich die Verhältnisse der Dimensionen Länge, Breite, Höhe und Zeit mit mathematischen Funktionen beschreiben. Die Beschreibung des Wachstums von *M. margaritifera* (Bauer 1992; Ziuganov et al. 1994) erfolgte bisher meist durch die von Bertalanffy-Kurve (von Bertalanffy 1938). Die Funktion, die auch in F (3) angegeben ist, kann jedoch nur für das Wachstum adulter Tiere bzw. Muscheln ab etwa 30 Lebensjahren angewendet werden; für die ersten Lebensjahre muss eine andere Formel herangezogen werden. Deshalb wurden die Zuwachsraten in dieser Arbeit mit kubischen *Splines*-Funktionen beschrieben, da hier mit einer Funktion das gesamte Wachstum abgedeckt werden konnte.

$$F (2): \quad S_i(x) = \frac{z_{i+1}(x - x_i)^3 + z_i(x_{i+1} - x)^3}{6h_i} + \left( \frac{y_{i+1}}{h_i} - \frac{h_i}{6} z_{i+1} \right) \cdot (x - x_i) + \left( \frac{y_i}{h_i} - \frac{h_i}{6} z_i \right) \cdot (x_{i+1} - x)$$

mit:  $h_i = x_{i+1} - x_i$

- $S_i(x)$ : Zuwachsrate ( $\delta^{13}\text{C}$ -Wert) zum Jahr x
- x: jeder mögliche Punkt auf der kubischen Splines-Kurve
- $x_i$ : Stützpunkt i der kubischen Splines-Kurve
- $h_i$ : Koeffizient zu Stützpunkt i

$$F (3): \quad L_t = L_\infty \cdot (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

$L_t$ : Größe zum Zeitpunkt t (nach van Bertalanffy 1938)  
 $L_\infty$ : theoretische (asymptotische) Maximalgröße  
 $k$ : Wachstumskoeffizient  
 $t_0$ : theoretisches Alter bei Größe 0  
 $t$ : Alter

$$F (4): \quad SGI_n = \frac{GI_n - \bar{a}_{1,z}}{S_{1,z}}$$

$SGI_n$ : Standardisierter Wachstumsindex  
 $GI_n$ : Wachstumsindex (GI = Rohwert / modellierter Wert)  
 $\bar{a}_{1,z}$ : arithmetisches Mittel aller Messwerte einer Zeitreihe  
 $S_{1,z}$ : Standardabweichung aller Messwerte einer Zeitreihe

$$F (5): \quad t = \frac{r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

$t$ : Übereinstimmung der betrachteten Zeitreihen (Baillie & Pilcher 1973)  
 $n$ : Anzahl der Zeitreihen  
 $r$ : Pearson'scher Korrelationskoeffizient  
 $R^2$ : Quadrat des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten  
 Erklärte Variabilität, wenn Angabe in % erfolgt

$$F (6): \quad H[\%] = \frac{g}{n-1}$$

$H$ : Gleichläufigkeit der Zeitreihe in % nach Huber (1943)  
 $g$ : Summe der Übereinstimmungen der Gleichläufigkeiten  
 $n$ : Anzahl gemeinsamer Jahre der untersuchten Zeitreihen

$$F (7): \quad G = 50 + \frac{2 \cdot 50}{\sqrt{n}}$$

$G$ : Gleichläufigkeitswert nach Huber (1943)  
 $n$ : Anzahl gemeinsamer Jahre der untersuchten Zeitreihen

$$F (8): \quad EPS = \frac{\bar{n} \cdot \bar{a}_{r(1,n)}}{\bar{n} \cdot \bar{a}_{r(1,n)} + (1 - \bar{a}_{r(1,n)})}$$

$EPS$ : Expressed Population Signal (Wigley et al. 1984)  
 $n$ : Anzahl der Individuen der Population  
 $\bar{a}_{r(1,n)}$ : Arithmetisches Mittel der Korrelationskoeffizienten der Einzelzeitreihen

Durch die Verwendung von kubischen *Splines* wurde im besten Fall eine stetig fallende Kurve mit der geringst möglichen Gesamtkrümmung erzeugt, die alle vorhandenen Datenpunkte als Stützpunkte für die Kurve verwendete. In JMP™ 5.0.1a war nun zusätzlich die Möglichkeit gegeben, mit der kubischen „*Smoothing*“-*Splines*-Funktion die entstehende Kurve über den sog. „*Smoothness*“-Wert  $\lambda$  zu modifizieren. Setzte man  $\lambda \rightarrow 0$ , so verlief die mit kubischen *Splines* berechnete Kurve durch alle Ausgangsdaten (hier die absoluten Zuwachsraten bzw.  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte). Für sehr große  $\lambda$ -Werte ( $\lambda \rightarrow \infty$ ), wurde eine lineare Regressionsgerade aus den Datenpunkten berechnet. In vorliegender Arbeit sind nur drei Werte für  $\lambda$  verwendet worden, die sich nach dem Umfang des zugrunde liegenden Datensatzes richteten (siehe Tab.II-5).

Anzahl der Datenpunkte	<i>Smoothness</i> $\lambda$
10 bis 25	100
26 bis 50	1000
51 bis 130	10000
131 bis 300	100000

Tab II-5:  
Zugrunde liegender *Smoothness*-Wert zur Berechnung der idealen Wachstumskurve mittels der kubischen *Splines*-Methode in JMP™ 5.0.1a (siehe auch Formel F (2)).

Im Anschluss an das *Detrending* wurde für jede Population eine standardisierte Master-Chronologie aus dem Jahresmittel der SGI-Werte der Einzelzeitreihen errechnet. Der SGI, also der standardisierte Wachstumsindex (*Standardized Growth Index*; siehe F (4)), beschreibt die standardisierte Abweichung eines Jahreszuwachswertes im Verhältnis zur gesamten Zeitreihe. Ähnlich wie bei den Zuwachsraten zeichnete sich auch in den Werten der stabilen Kohlenstoffisotopie jeder Population ein gemeinsamer Trend ab. Dieser Trend wurde entsprechend der Methode bei den Zuwachsraten entfernt (*Detrending*). Auch für die stabilen Kohlenstoffisotopen-Werte wurden standardisierte Master-Zeitreihen (SCI) berechnet. Diese ermöglichten einen direkten Vergleich der Individuen einer oder mehrerer Populationen. Anhand der Master-Zeitreihen konnte auch tot gesammeltes Material durch *Cross-Dating* integriert werden.

Baillie & Pilcher's (1973) t-Test (F (5)) ist eine Variante der t-Tests zur Bestimmung des Grads der Übereinstimmung zweier oder mehrerer Zeitreihen. Zwei SGI-Zeitreihen gelten als statistisch signifikant, wenn das Ergebnis des Gleichläufigkeitstests H (in %) aus F (6) (Huber 1943) größer ist als der Wert G aus Formel F (7). Eine andere Art des Signifikanztests ist die durch Formel F (8) dargestellte Berechnung des EPS-Werts (EPS: *Expressed Population Signal*; Wigley et al. 1984), bei dem das Ergebnis größer als 0,8 sein muss, um signifikante Untersuchungen anstellen zu können.

Alle Zeitreihen wurden spektralanalytisch untersucht. Mit kontinuierlichen Wavelet- und Fourier-Transformationen konnten den Zuwachsraten und den stabilen Isotopenzeitreihen innewohnende Periodizitäten und deren Änderungen in der Zeit sichtbar gemacht werden. Die Wavelet-Analysen wurden in AutoSignal<sup>®</sup> v1.7 unter Verwendung eines Morlet-Wavelets berechnet.

#### **II.4.5. Verwendete (instrumentelle) Datensätze**

Die Master-Chronologien wurden mit verschiedenen Datensätzen verglichen. Von der Internetseite des Climate Diagnostics Center (CDC 2007) stammen die meisten Daten (<http://www.cdc.noaa.gov>). Aus dem GNIP-Datenbestand (*Global Network of Isotopes in Precipitation*; GNIP 2007; <http://isohis.iaea.org>) kommen die Sauerstoffisotopen-Werte für den Niederschlag. Die Temperaturdatensätze beruhen auf Lugina (1999) und wurden von der Internet-Seite des Hadley Centre (2007; *northern hemisphere*) heruntergeladen. Daten zu Sonnenflecken kamen vom SIDC (Sunspot Index Data Center 2007). Der Datensatz zum Solaren Flux stammte aus dem Service des National Research Council of Canada (2007), der des NAO-Index (Nordatlantische Oszillation) beruhte auf Hurrell (1995) und Jones et al. (1997). Die Vergleiche mit dem Index zur Arktischen Oszillation stammen aus der Veröffentlichung von Thompson & Wallace (1998). In Ergänzung zu den großräumlichen Datensätzen erfolgte auch ein Vergleich mit Zeitreihen aus mehreren Wetterstationen. Diese Temperatur- und Niederschlagszeitreihen für Berlin (Tempelhof), Hof/Saale, Trier, Avignon, Kalinin, Ny Ålesund und Stockholm hatten ihren Ursprung im Datenbestand des National Climatic Data Center (2007; <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>). Neben den instrumentellen Datensätzen wurden die in dieser Arbeit erstellten Daten auch mit den ebenfalls aus *Margaritifera margaritifera* berechneten Zeitreihen von Schöne et al. (2004) und Dunca et al. (2005) verglichen.

### III. Ergebnisse

Neben den Individuen aus der Naturwissenschaftlichen Sammlung des Museums Wiesbaden mit 12,7 cm (NWS-D3) und 11,3 cm (NWS-A1) erreichten die Exemplare des Grundträsktjärnbäcken die größten Schalenlängen (siehe auch Tab. III-1) mit 11,4 cm (SB-GTB-A2) und 11,0 cm (ED-GTB-A1). Die höchsten (6,2 cm) Schalen wiesen die Muscheln aus dem Fluss Görjeån auf. Das kleinste Individuum war ED-GTB-A9. Es erreichte eine Schalenlänge von 3,8 cm, bei einer Breite von 1,2 cm und 2,4 cm Schalenhöhe. ED-GTB-A9 war mit einem ontogenetischen Alter von acht Jahren auch das jüngste untersuchte Tier. Das älteste Tier war Individuum ED-GJ-A5. Es erreichte ein sklerochronologisches Mindestalter von 181 Jahren. Das tatsächliche Alter konnte aufgrund von Erosion am Umbonalteil sklerochronologisch nicht genau bestimmt werden.

Tab. III-1 (Teil 1 von 2):

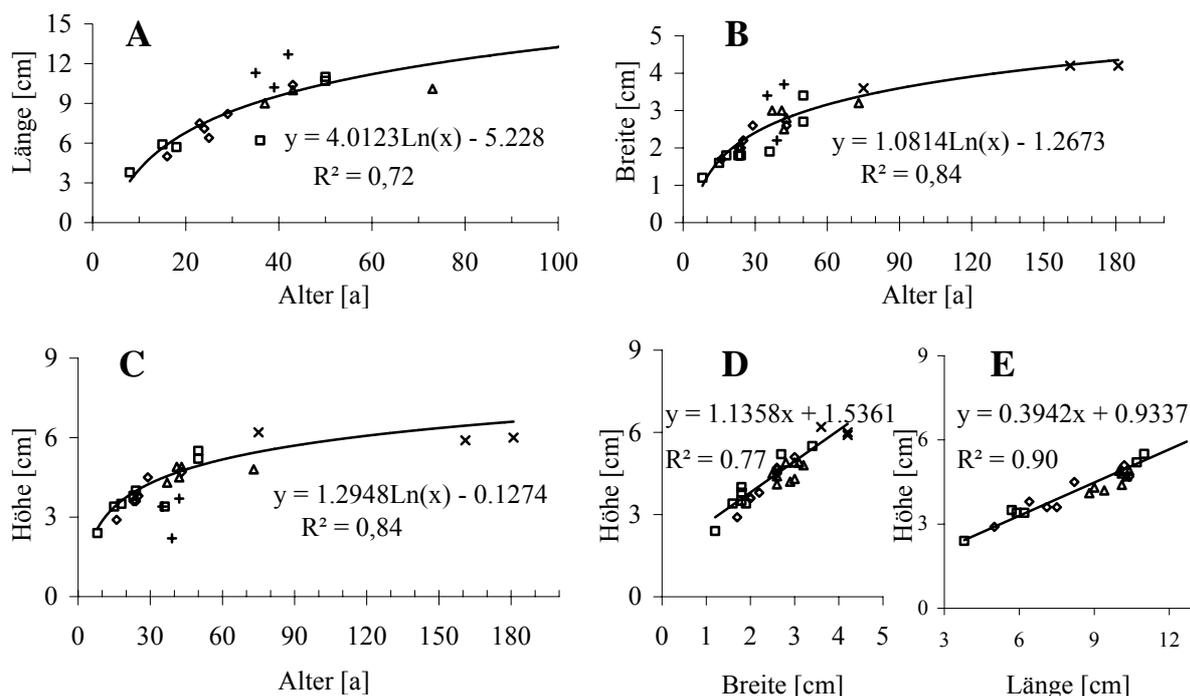
Basisdaten der untersuchten Individuen. Länge bezeichnet hierbei die längste Achse, Höhe den dorsoventralen Abstand und Breite die maximale Dicke der Schale in der senkrecht zur Höhen- und Längachsen liegenden Achse. Das Alter gibt das sklerochronologisch bestimmte Mindestalter der Individuen an.

Bezeichnung	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Mindestalter [a]	$\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{18}\text{O}$
ED-GJ-A1	-	-	-	80	X
ED-GJ-A2	-	3,6	6,2	75	X
ED-GJ-A3	-	-	-	115	X
ED-GJ-D4	-	-	-	128	-
ED-GJ-D5	-	4,2	6,0	181	X
ED-GJ-D6	-	4,2	5,9	161	X
ED-GTB-A1	11,0	3,4	5,5	50	X
ED-GTB-A2	10,7	2,7	5,2	50	X
ED-GTB-A4	-	1,8	4,0	24	-
ED-GTB-A5	6,2	1,9	3,4	36	-
ED-GTB-A6	-	1,8	3,8	23	-
ED-GTB-A7	5,7	1,8	3,5	18	-
ED-GTB-A8	5,9	1,6	3,4	15	-
ED-GTB-A9	3,8	1,2	2,4	8	-
ED-GTB-A10	-	-	-	15	-

Tab. III-1 (Teil 2 von 2):

Bezeichnung	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Alter [a]	$\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{18}\text{O}$
ED-NJB-A1	10,2	3,0	5,1	-	-
ED-NJB-A2	10,4	2,6	4,7	43	X
ED-NJB-A3	-	-	-	33	X
ED-NJB-A4	8,2	2,6	4,5	29	X
ED-NJB-A5	7,5	2,0	3,6	23	-
ED-NJB-A6	6,4	2,2	3,8	25	X
ED-NJB-A7	7,1	2,0	3,6	24	-
ED-NJB-A8	-	-	-	15	-
ED-NJB-A9	5,0	1,7	2,9	16	-
NWS-WI-A1	11,3	3,4	5,1	35	-
NWS-WI-A2	10,2	2,2	5,9	42	-
NWS-WI-D3	12,7	3,7	5,9	44	X
SB-GTB-A1	10,8	3,4	5,3	66	-
SB-GTB-A2	11,4	3,2	5,7	68	-
SB-GTB-A3	10,4	3,4	5,4	57	-
SB-GTB-A4	9,5	2,4	4,8	15	-
SB-GTB-A5	5,3	1,4	2,7	-	-
SB-TIM-D1	10,3	2,6	4,7	-	-
SB-TIM-D2	-	3,0	4,9	41	X
SB-TIM-D3	10,1	2,6	4,4	-	-
SB-TIM-D4	10,0	2,8	4,9	43	X
SB-TIM-D5	8,8	2,6	4,1	-	-
SB-TIM-D6	-	2,5	4,5	42	X
SB-WOB-D1	10,1	3,2	4,8	73	X
SB-ZIN-D1	9,0	3,0	4,3	37	X
SB-ZIN-D2	10,4	3,1	4,9	-	-
SB-ZIN-D3	9,4	2,9	4,2	-	-
SN-MJ-A1	-	-	-	-	-
SN-MJ-A12	-	-	-	13	-

Nur wenige der für diese Arbeit verwendeten Muschelschalen waren komplett erhalten. Messungen der morphologischen Dimensionen der Schalen (Länge, Breite, Höhe) waren somit nicht für alle Individuen möglich. Die erfassten Daten (vgl. Tab. III-1) lieferten jedoch ein repräsentatives Abbild der mathematischen Zusammenhänge zwischen Alter der Muschel sowie Länge, Breite und Höhe der Schale (Abb. III-1; vgl. Bauer 1991, Hastie et al. 2000a). Die signifikante Beziehung zwischen morphologischen Dimensionen und Schalenalter lässt sich am besten mit der von Bertalanffy-Gleichung (siehe auch F (3), Kap. II.3.4.) beschreiben (Hastie et al. 2000a), die morphologischen Dimensionen untereinander durch lineare Regressionsgeraden (siehe auch Abb. III-1D-E; signifikant mit  $p < 0,0001$ ). Die theoretisch maximalen Maße für *Margaritifera margaritifera* ( $L_{\infty}$ ,  $H_{\infty}$ ,  $B_{\infty}$ ) lauteten nach der Bertalanffy-Funktion 14 cm für die Länge, bei einer Breite von 4,6 cm und einer Höhe von 7 cm. Der ermittelte Wachstumskoeffizient lag bei  $0,0297 \text{ a}^{-1}$ . Die Grundgesamtheit der Proben war für eine signifikante Trennung nach Wachstumsunterschieden jedoch nicht geeignet.



- |   |                            |   |                            |   |               |
|---|----------------------------|---|----------------------------|---|---------------|
| x | Görjeån                    | ◇ | Nuortejaurbäcken           | + | NWS Wiesbaden |
| □ | Grundträsktjärnbäcken (ED) | ○ | Grundträsktjärnbäcken (SB) | △ | Regnitz       |

Abb. III-1:  
Diagramme zum Schalenwachstum von *Margaritifera margaritifera*. Zuwachsraten in Länge, Breite und Höhe sind im Vergleich mit dem Lebensalter durch logarithmische Regressionskurven beschrieben. Da die Kolmosjoki-Schalen nur aus Bruchstücken bestanden, konnten sie nicht vollständig vermessen werden.

### III.1. Zuwachsraten

Die jährlichen Inkrementbreiten (Abb. III-2), gemessen als Lot von der Kontaktregion Prismen-/Perlmuttertschicht auf die folgende annuelle Zuwachslinie in der Prismenschicht, lagen zwischen 4 µm (ED-GJ-D5) und 540 µm (NWS-WI-D3). Der maximale jährliche Zuwachs wurde im Mittel mit einem sklerochronologischen Mindestalter von etwa 30 Jahren erreicht. Bei älteren Exemplaren von *Margaritifera margaritifera* war der Umbonalteil der Schale erodiert. Somit ist es oft nicht möglich gewesen, die ersten Lebensjahre ontogenetisch alter Muscheln sklerochronologisch zu untersuchen. Die ältesten untersuchten Muscheln wurden mindestens 181 Jahre alt (ED-GJ-D5, zählbare Jahresinkremente). Das jüngste Exemplar hingegen erreichte ein Alter von acht Jahren (ED-GTB-A9; siehe auch Tab. III-2).

Tab. III-2:  
Jährliche Zuwachsbreiten und Lebensalter von *Margaritifera margaritifera*.

Lokalität	Jahreszuwachs [µm]		sklerochronologisches Mindestalter [a]	
	maximal	minimal	maximal	minimal
Görjeån	240	4	181	75
Grundträsktjärnbäcken	170	22	50	8
Kolmosjoki	492	18	101	-
Nuortejaurbäcken	185	11	43	15
Maljan	242	64	13	-
NWS Wiesbaden	540	32	44	35
Regnitz	254	12	73	37

Wie aus Abb. III-2 ersichtlich, unterscheiden sich die verschiedenen Populationen zum Teil erheblich bezüglich ihres jährlichen Zuwachses und maximaler Lebensspanne. Die ältesten Tiere stammen aus dem Fluss Görjeån. Individuen wurden dort bis zu 181 Jahre (sklerochronologisches Mindestalter) alt. Mit etwa 100 Jahren sklerochronologischen Mindestalters folgten dann Individuen der Kolmosjoki-Population.

Die zeitlich überlappenden Einzelzeitreihen aus den Schalen der unterschiedlichen Population konnten mittels *Cross-Dating* zu regionalen Chronologien verflochten werden, da die Zuwachsmuster deutliche Übereinstimmungen aufwiesen. Aus den regionalen Zeitreihen der sechs Lokalitäten Görjeån, Grundträsktjärnbäcken, Nuortejaurbäcken, Regnitz, NWS und Kolmosjoki wurde dann eine Master-Chronologie erstellt. Die längste, zusammenhängende regionale Chronologie wurde aus den Görjeån-Schalen gefertigt und umfasste die Jahre 1813

bis 1994 (siehe auch Tab. III-3). Das gesamte, hier bearbeitete Material deckt den Zeitraum von 1698 bis 2005 ab (vgl. Abb. III-3, Abb. III-12 und Tab. III-2).

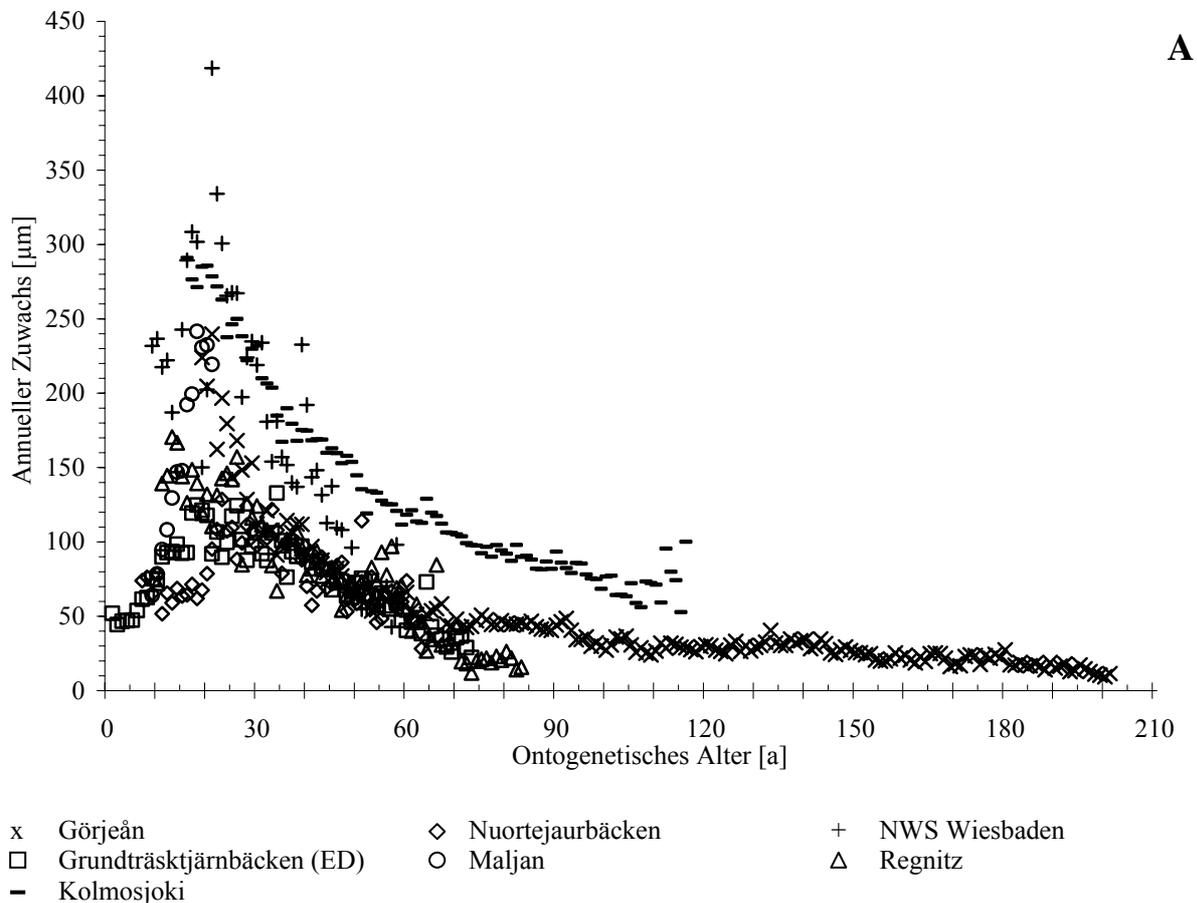


Abb. III-2:  
Annuelle Inkrementbreiten von *Margaritifera margaritifera*. Symbole kennzeichnen (über alle Individuen einer Population) gemittelte, jährliche Inkrementbreiten. Die maximale jährliche Zuwachsrate wurde mit einem Lebensalter von etwa 30 Jahren erreicht. Bis zu diesem Alter stieg die mittlere, annuelle Inkrementbreite von Jahr zu Jahr an. Danach verringerte sich der jährliche Zuwachs, bis er sich ab einem Lebensalter der Muscheln von etwa 100 Jahren asymptotisch der Abszisse näherte.

Lokalität / Sammlung	Anzahl der Individuen	Zeitfenster
Görjeån	6	1813 bis 1994
Grundträsktjärnbäcken	13	1936 bis 1994
Nuortejaurbäcken	8	1950 bis 1993
Regnitz	5	1933 bis 2005
NWS (Tarn)	1	1833 bis 1876,
NWS	2	1928 bis 1974
Kolmosjoki	32	1698 bis 1878

Tab. III-3:  
Regionale Zuwachskurven aus Schalen von Flussperlmuscheln. Zur Berechnung der Master-Chronologie wurden nur regionale Zuwachskurven verwendet, die statistisch abgesichert waren.

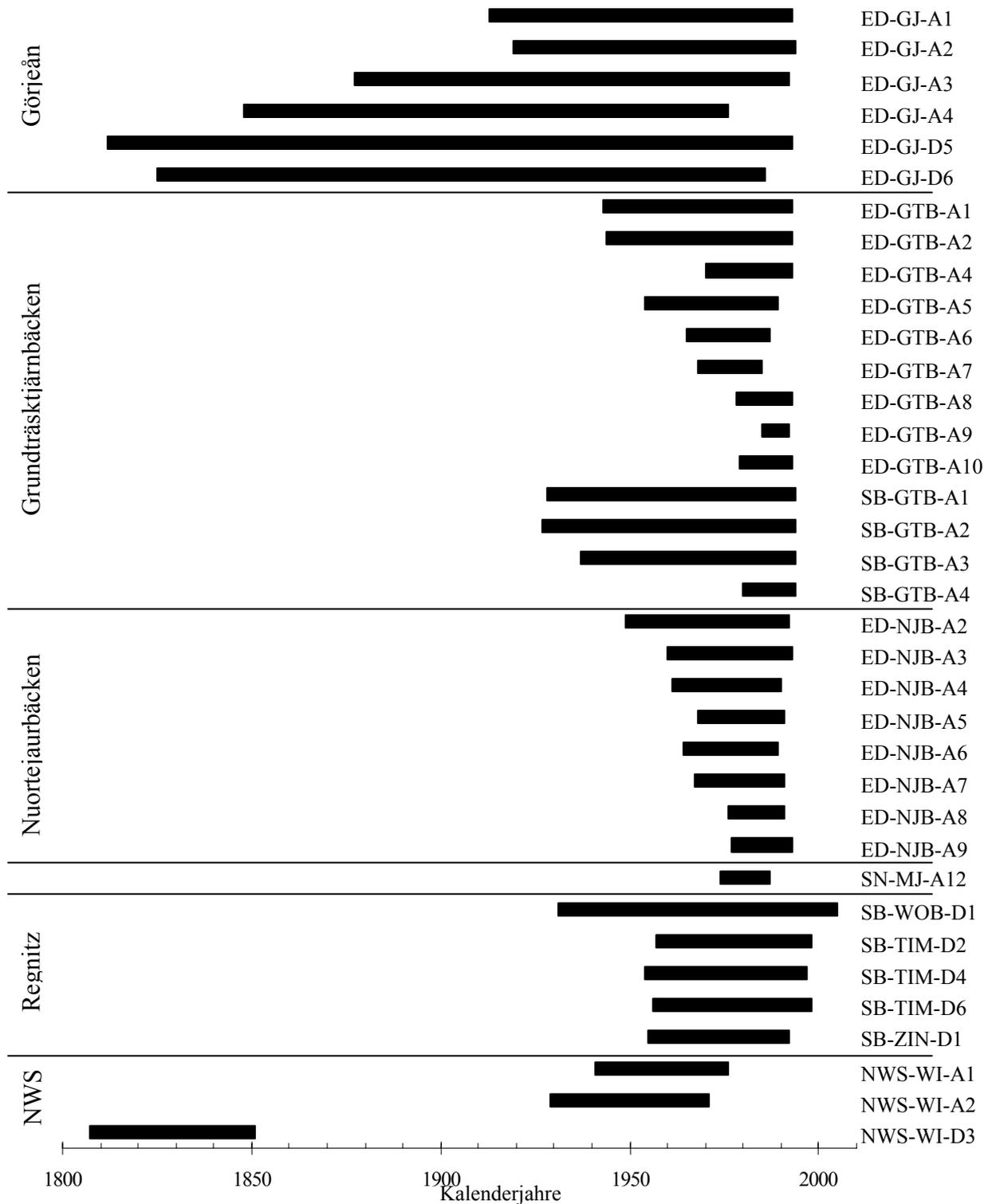


Abb. III-3:  
 Zeitliche Verteilung der Zuwachskurven der untersuchten Flussperlmuschel-Schalen. Die beiden Chronologien mit den ältesten Muscheln stammten vom Görjeån und der Regnitz. Der Fluss Maljan ist nur durch eine Schale, SN-MJ-A12, repräsentiert. Die Kolmosjoki-Chronologien sind in Abb. III-12 zu sehen.

### III.1.1. Görjeån

Zur Erstellung der Masterchronologie aus standardisierten Zuwachsraten (SGI) wurden alle sechs Görjeån-Schalen verwendet (Abb. III-5). Zwei der Schalen (ED-GJ-A4, -D6) fielen jedoch nicht in das 95%- Signifikanzniveau. Die Einzelzeitreihen korrelierten im Mittel mit  $r = 0,11$ , der EPS-Wert lag bei 0,43. Ohne Einbeziehung der beiden Schalen liegt der EPS-Wert bei 0,51.

66 Jahre der Chronologie beruhen auf allen sechs Individuen (1921 bis 1986). Die Jahre von 1813 bis 1825 wurden nur durch Individuum ED-GJ-D5 bestimmt. Alle anderen Jahre der Chronologie wurden von mindestens zwei Einzelchronologien beeinflusst. Einen Überblick über die Probandichte gibt der untere Teil von Abb. III-5.

Durch kontinuierliche Wavelet-Analysen an den regionalen Mittelkurven (Abb. III-6A) konnten mehrere Periodizitäten und deren zeitliche Entwicklung untersucht werden. Die signalstärkste Oszillation wies eine Wellenlänge von etwa zwölf Jahren auf; die zeitliche Reichweite war begrenzt auf die Jahre 1838 bis 1888. Das zweitstärkste Signal war über die gesamte Länge des Görjeån-Datensatzes zu verzeichnen und hatte eine Wellenlänge von etwa 23 Jahren. Des Weiteren waren abwechselnd Intensitätsmaxima bei etwa 5 und 6,3 Jahren Wellenlänge zu beobachten. Die Intensitätscluster hatten jeweils zwischen zehn und 15 Jahre Bestand.

Der Görjeån-Datensatz korrelierte mit der Bölsmanån-Zeitreihe aus Dunca et al. (2005) mit einem Wert von  $r = 0,51$  ( $p < 0,0001$ ). Mit dem Mittel der drei nördlichen Lokalitäten Bölsmanån, Pärälven und Pärskalsbäcken (Dunca et al. 2005) lag die Korrelation bei  $r = 0,27$  ( $p < 0,001$ ). Mit einem 25-Jahresfilter geglättet bestand mit den Anomalien des Oberflächenwasser-Temperaturdipols im Nordatlantik (NADP-SST; Deser & Blackmon 1993) eine Korrelation von  $r = -0,77$  (für die Sommermonate) bzw. mit der NAO (Jones et al. 1997) von  $r = 0,52$  (Februar bis April). Bei gefensterten Korrelationen (Fensterlänge: 10 Jahre) ergaben sich periodisch hohe Korrelationen von bis zu  $r = 0,85$  mit dem NADP-SST und  $r = 0,76$  (Winter-NAO; Hurrell 1995) bzw.  $r = 0,75$ , für die NAO (Jones et al. 1997). Dabei fielen Phasen hoher Korrelation (siehe auch Abb. III-4) der SGI-Chronologie des Görjeån mit der NAO und niedriger mit dem NADP-SST – und umgekehrt – aufeinander. Außerdem korrelierte die SGI-Zeitreihe zyklisch mit den Lufttemperatur-Anomalien (Jones et al. 2001) für die nördliche Hemisphäre mit einem Wert von bis zu  $r = 0,79$ .

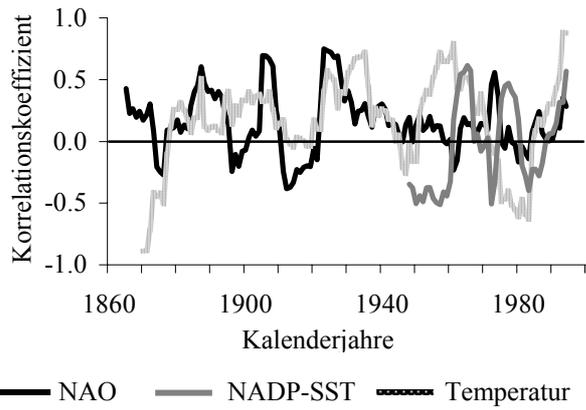


Abb. III-4:  
Gefensterte Korrelationen der Görjeån-Mittelkurve mit den Aufzeichnungen von NADP-SST (Dipol in Oberflächenwasser-Temperaturanomalien im Nordatlantik, Deser & Blackmon 1993), NAO (Nordatlantische Oszillation, Jones et al. 1997), Winter-NAO (Hurrell 1995) und Lufttemperaturen (Jones et al 2001).

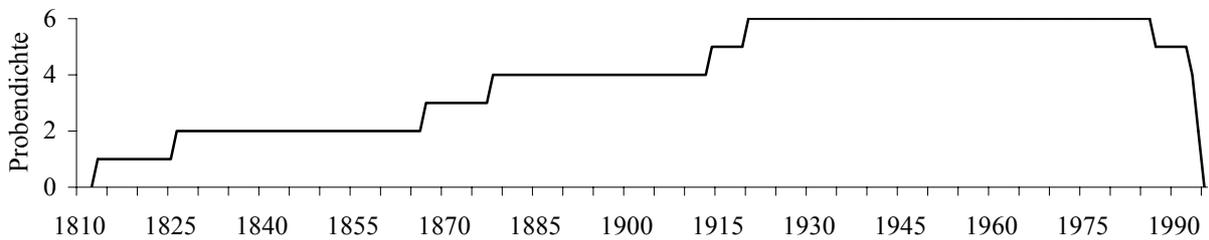
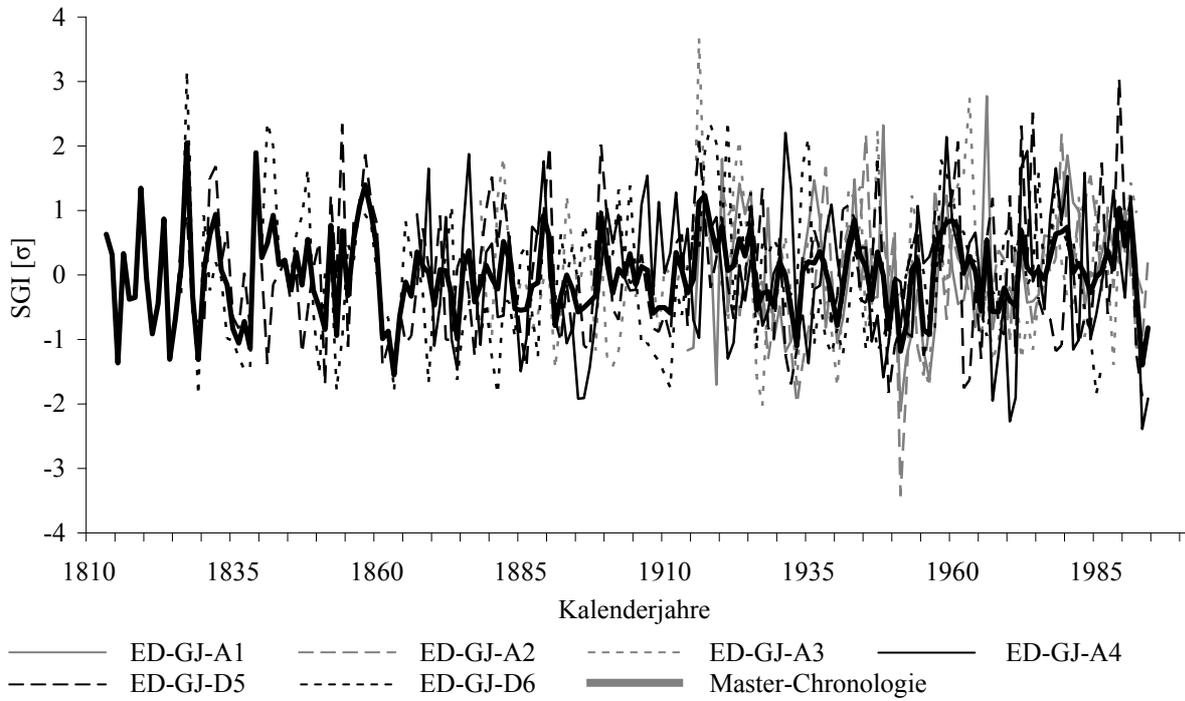


Abb. III-5:  
Görjeån-Chronologien. Die vier Einzelzeitreihen (dünne Linien) wurden zu einer Master-Chronologie (dicke, graue Kurve) verknüpft. Die höchste Probendichte lag im Zeitintervall von 1920 bis 1992. In der unteren Teilabbildung wird die Probendichte über die Zeit dargestellt.

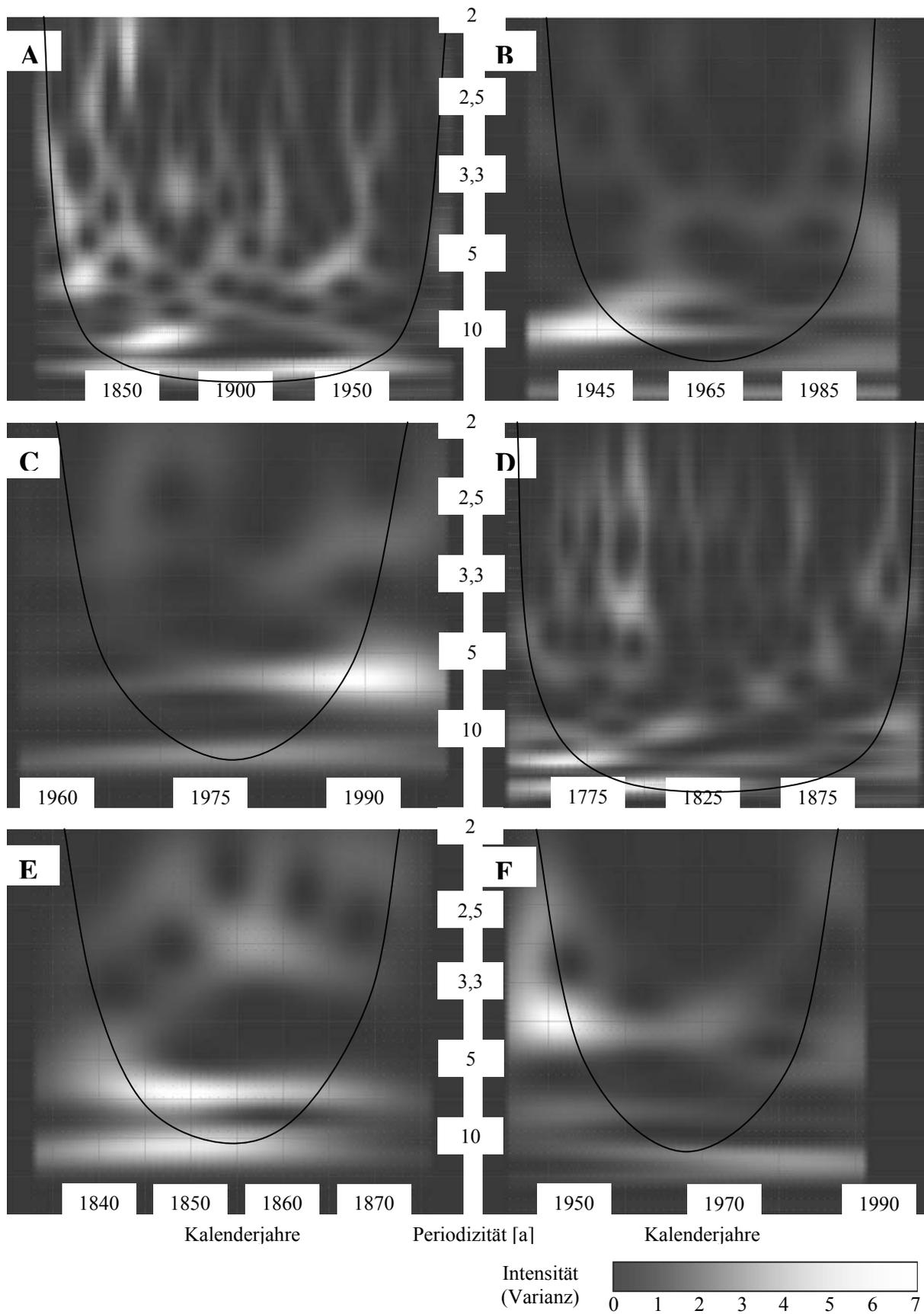


Abb. III-6:

Ergebnis der kontinuierlichen Wavelet-Analysen an den Compound-Chronologien. Kontinuierliche Wavelet-Analysen zeigen innerhalb eines Einflusskegels (dunkle Linie) die Stärke eines Signals (Intensität) mit einer bestimmten Periodizität (Ordinate, in a) zu einer bestimmten Zeit (Abszisse, Kalenderjahre) auf. A: Görjeån, B: Grundträsktjärnbäcken, C: Regnitz, D: Kolmosjoki, E,F: NWS-Wiesbaden (E: 1833 bis 1876; F: 1928 bis 1974).

### III. Ergebnisse

Tab. III-4:

Oszillationen im Jahreszuwachs der Muscheln. Alle Zeitreihen wurden in die Master-Chronologie mit einbezogen. Die NWS-Zeitreihe ist zweigeteilt; sie weist zwischen 1876 und 1928 eine Lücke auf. Getrennt nach Periodenklassen (A) werden die mittels kontinuierlicher Wavelet-Analysen ermittelten inhärenten Perioden der Zeitreihen aufgezählt. In Fett (A) sind die signalstärksten Periodizitäten dargestellt. In (B) werden die Periodizitäten nach Signifikanzniveaus angeordnet.

A Chronologien	Periodizitäten [a]					
	<2,5	2,5-5	5-9	9-15	15-20	>20
Görjeån (GJ)	2,2	4,2	6,3	<b>12,5</b>	-	23,3
Grundträsktjärnbäcken (GTB)	-	2,6	6,7	<b>10,0</b>	-	-
Kolmosjoki (KOL)	2,4	3,8	5,9	10,0	<b>16,7</b>	30,3
Regnitz (REG)	-	2,9	5,9	<b>13</b>	-	-
NWS-Wiesbaden – vor 1876	-	2,9	<b>6,3</b>	10,0	-	-
NWS-Wiesbaden – nach 1928	-	<b>4,0</b>	7,7	12,5	-	-
Nord (GJ, GTB, NJB, KOL)	2,3	3,8	6,7	10,0	<b>16,7</b>	26,3
Süd (NWS, REG)	-	-	-	<b>9,1</b>	15,9	21,3
Master-Chronologie	2,4	3,8	6,3	<b>12,5</b>	16,4	35,7
B Chronologien	Periodizitäten [a] (SGI-Rohdaten)					
	99,9 %	99 %	95 %	90 %	50 %	<50 %
Görjeån (GJ)	-	-	-	-	6,1	22,2
Grundträsktjärnbäcken (GTB)	-	-	-	-	10,6	16,4
Nuortejaurbäcken (NJB)	-	-	25,6	-	-	7,8
Kolmosjoki (KOL)	-	-	-	-	15,2 37,0	3,9
Regnitz (REG)	-	-	6,1	-	-	14,5
NWS-Wiesbaden – vor 1876	-	-	-	6,3	-	11,4
NWS-Wiesbaden – nach 1928	-	-	-	-	4,3	7,8
Nord (GJ, GTB, NJB)	-	-	31,3	-	21,3	11,2
Süd (NWS nach 1928, REG)	-	-	-	-	4,2	14,7
Master-Chronologie	-	-	-	-	-	31,3

#### III.1.2. Grundträsktjärnbäcken

Dreizehn Einzelchronologien wurden zur Master-Zeitreihe des Grundträsktjärnbäcken (GTB-MC) zusammengefasst. Der EPS-Wert der Population lag bei 0,77, die mittlere Korrelation der Einzelzeitreihen bei  $r = 0,21$ . Die Chronologie erstreckte sich von 1936 bis 2005. Bis auf zwei Jahre konnte die regionale Chronologie des Grundträsktjärnbäcken aus je mindestens zwei Zeitreihen rekonstruiert werden (siehe auch Abb. III-7). Die mittlere Gleichläufigkeit nach Huber (1943; vgl. Kap. II.3.3.) betrug  $g = 0,62$  für diese Population.

Abbildung III-6B zeigt das Ergebnis der kontinuierlichen Wavelet-Analyse an dieser SGI-Masterchronologie. Neben zwei schwachen Signalen mit den Schwingungslängen  $\lambda_1 = 6,7$  a und  $\lambda_2 = 2,5$  a wurde eine dominante Periodizität detektiert. Sie erstreckte sich vom Anfang des Datensatzes aus bis 1977 und oszillierte mit der Wellenlänge  $\lambda = 10$  a.

Die Korrelation der regionalen SGI-Chronologien mit denen aus Schöne et al. (2004) und Dunca et al. (2005) ergab Korrelationskoeffizienten von  $r=0,32$  und  $r=0,34$  mit den regionalen Chronologien für Nord- und Zentralschweden. Außerdem wurden bei der GTB-Master-Chronologie in den Sommermonaten schwache Zusammenhänge von  $r=0,31$  mit NADP-SST und NAO festgestellt. Im Vergleich der geglätteten Zeitreihen (25-Jahresfilter) wurden sehr hohe Korrelationskoeffizienten mit dem annualen NAO-Index ( $r=0,83$ ), NADP der Sommermonate ( $r=0,71$ ), Niederschlag ( $r=-0,73$ ; Stockholm) und Temperaturaufzeichnungen ( $r=0,89$ ; Lugina 1999) festgestellt.

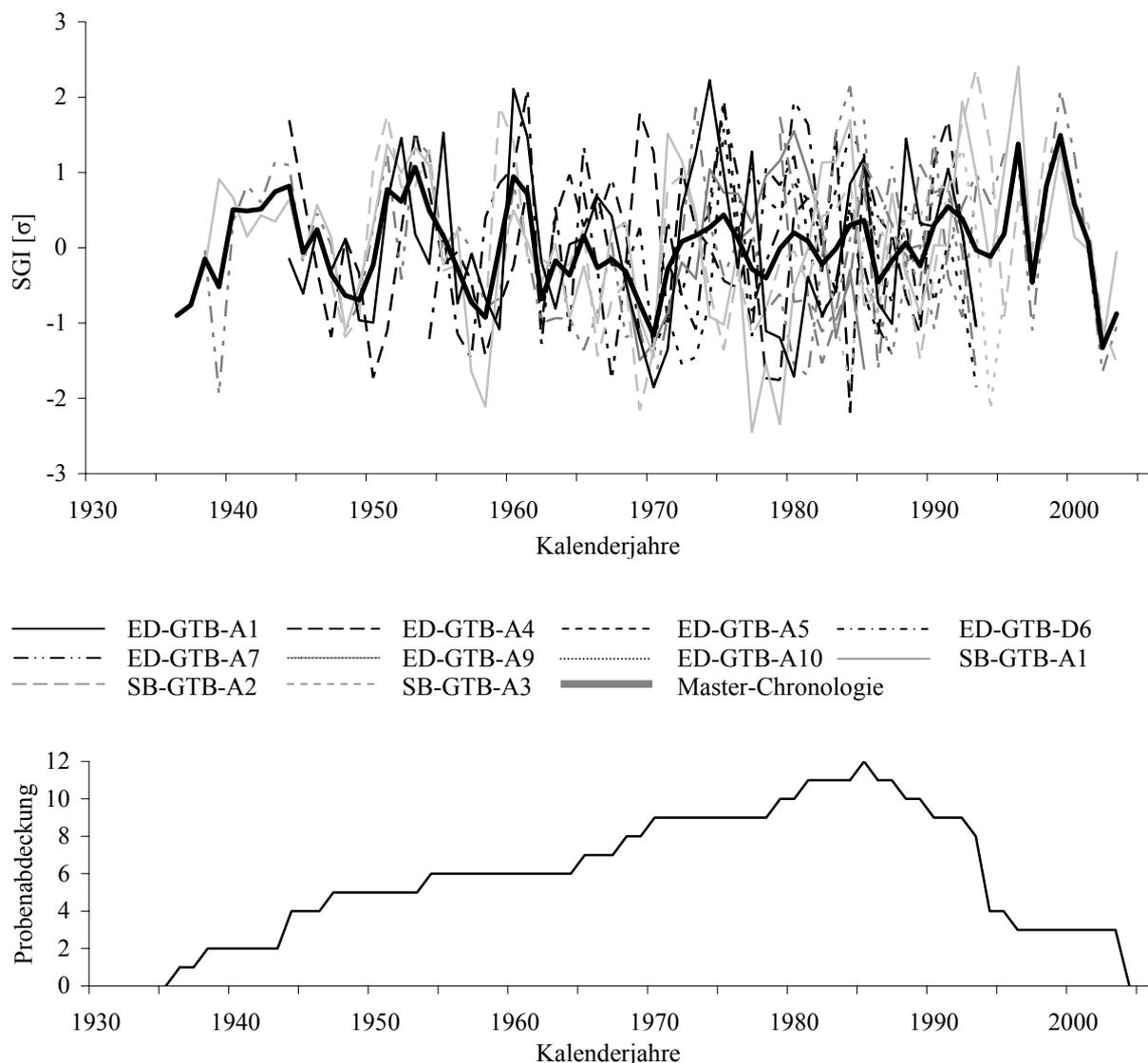


Abb. III-7:

Zeitreihen aus standardisierten Zuwachsraten von zehn Muscheln des Grundträsktjärbäckens. Die dicke, graue Kurve stellt die Master-Chronologie dar. Bis auf die ersten acht Jahre konnte die Master-Chronologie aus je mindestens drei Einzelzeitreihen berechnet werden. In der unteren Abbildung wird die Probenabdeckung über die Zeit wiedergegeben.

### III. Ergebnisse

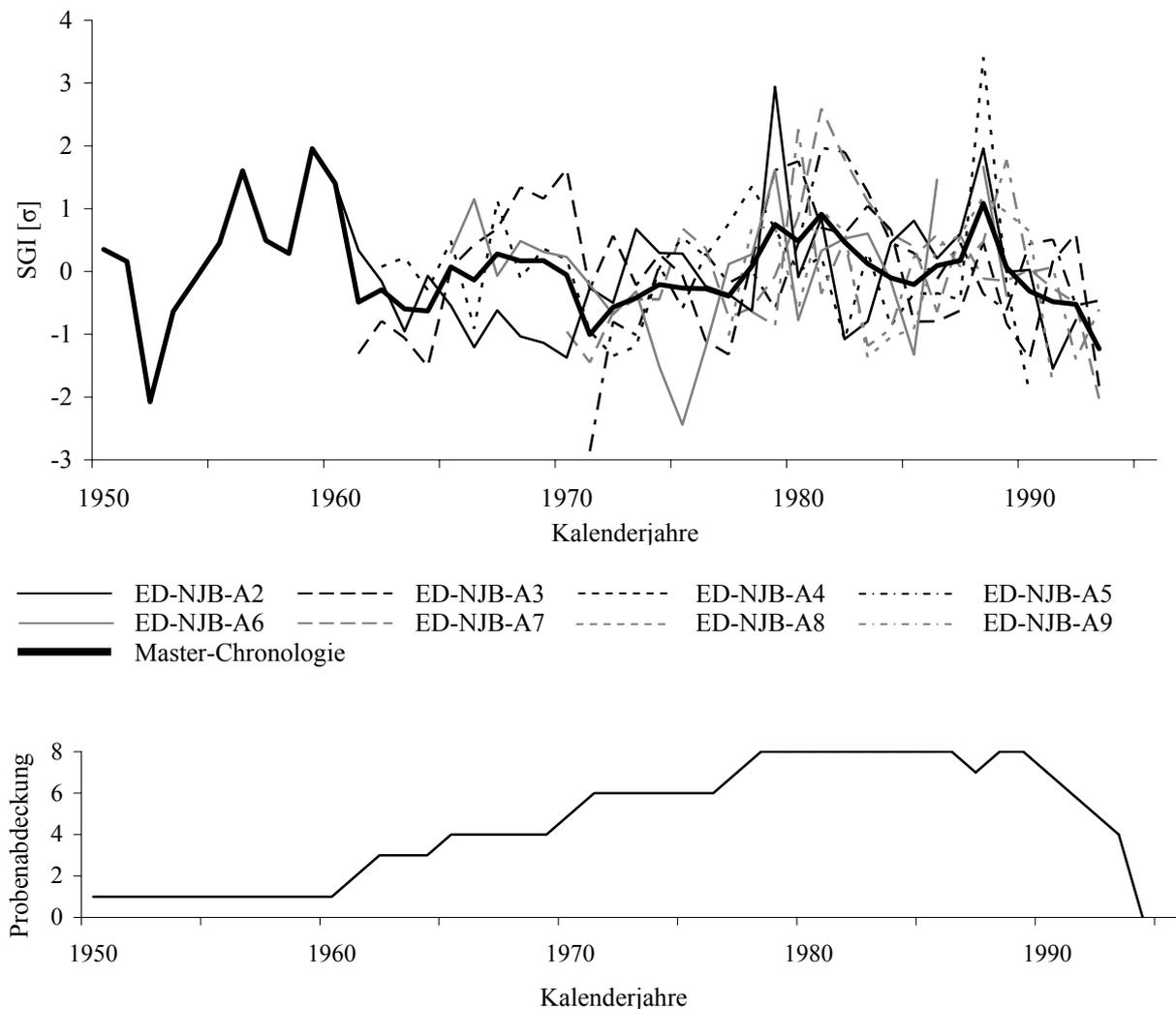


Abb. III-8:  
Zuwachsraten der Nuortejaurbäcken-Muscheln. Die regionale Chronologie erstreckte sich über die Jahre 1950 bis 1993. Die größte Probenabdichte (siehe untere Teilabbildung) war von 1978 bis 1989 gegeben.

#### III.1.3. Nuortejaurbäcken

Nur zwei der sechs Zeitreihen aus dem Nuortejaurbäcken waren signifikant miteinander korreliert ( $r = 0,61$ ;  $p < 0,001$ ), die mittlere Korrelation aller Einzelzeitreihen lag bei  $r = 0,28$ , der EPS-Wert bei 0,70. Die konstruierte Master-Chronologie (Abb. III-8) erstreckte sich über einen Zeitraum von 43 Jahren (1950 bis 1993). Der Gleichläufigkeitswert betrug hierbei  $g = 0,52$ . Eine Wavelet-Analyse war aufgrund der Kürze der Chronologie nicht sinnvoll. Die Nuortejaurbäcken-Mittelkurve wurde jedoch bei der Konstruktion der Master-Chronologie Nordskandinaviens und Nordeuropas mit einbezogen. Im Vergleich mit anderen Datensätzen ergaben sich stets nur schwache Zusammenhänge, z.B. von  $r = 0,21$  mit dem NADP-SST-

Index (Wintermonate); außerdem korrelierte die Zeitreihe schwach ( $r = 0,21$ ) mit der regionalen Chronologie für Nord-Schweden aus Dunca et al. (2005).

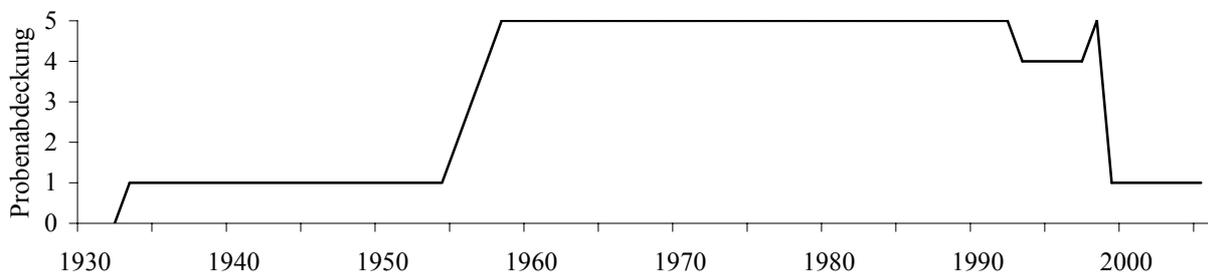
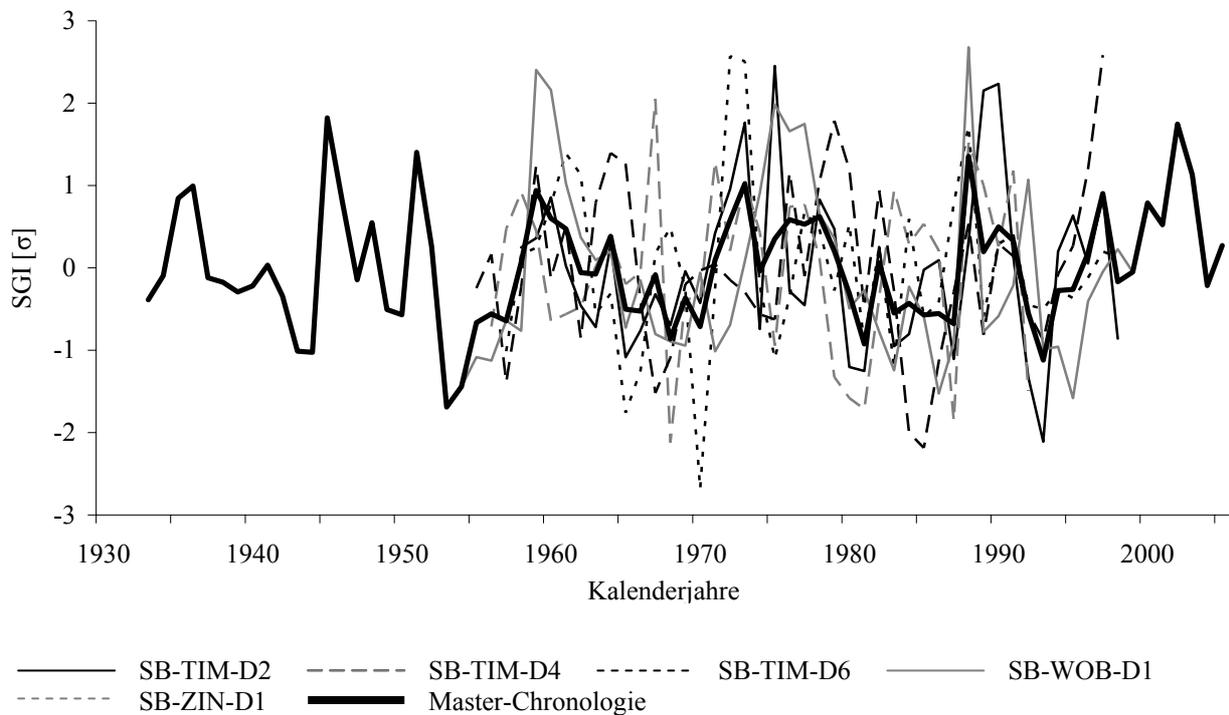


Abb. III-9:  
Aus SGI-Daten von Muscheln des Regnitz-Flusssystem konstruierte Chronologien. Die Master-Chronologie erstreckte sich über 73 Jahre, wobei der Hauptteil der Chronologie von einem Individuum (SB-WOB-D1) bestimmt wird.

### III.1.4. Regnitz

Die Regnitz-Chronologie erstreckte sich über die Jahre 1933 bis 2005 (Abb. III-9). Nur zwei der fünf Einzelzeitreihen (ZIN-D1 und TIM-D2) korrelierten signifikant mit  $r = 0,30$  ( $p < 0,001$ ), die mittlere Korrelation aller Datensätze betrug  $r = 0,14$  bei einem EPS-Wert von 0,45.

Durch Analyse der Mittelkurve mittels kontinuierlicher Wavelets wurden eine starke und zwei schwächere, der Zeitreihe innewohnende Oszillationen gefunden. Die ausgeprägte Oszillation ( $\lambda = 13$  a) erstreckte sich über die gesamte Chronologie, die beiden schwachen ( $\lambda = 2,9$  a und  $5,2$  a) nur bis 1967 und dann wieder ab 1983 (vgl. Tab. III-5).

Die Mittelkurve stimmte mit der Schweden-Chronologie aus Dunca et al. (2005) mit  $r = 0,33$  ( $p < 0,001$ ) überein. Außerdem wies sie eine Korrelation von  $r = -0,26$  zu Temperaturdaten (Berlin) auf. Ein Vergleich der geglätteten Zeitreihen (25-Jahresfilter) resultierte in positiven Korrelationskoeffizienten mit Winter-NAO ( $r = 0,52$ ; Februar bis April) und in negativen für das Sommerhalbjahr ( $r = -0,59$ ). Des weiteren wurde eine positive Korrelation von  $r = 0,54$  mit Temperaturdaten für Europa festgestellt.

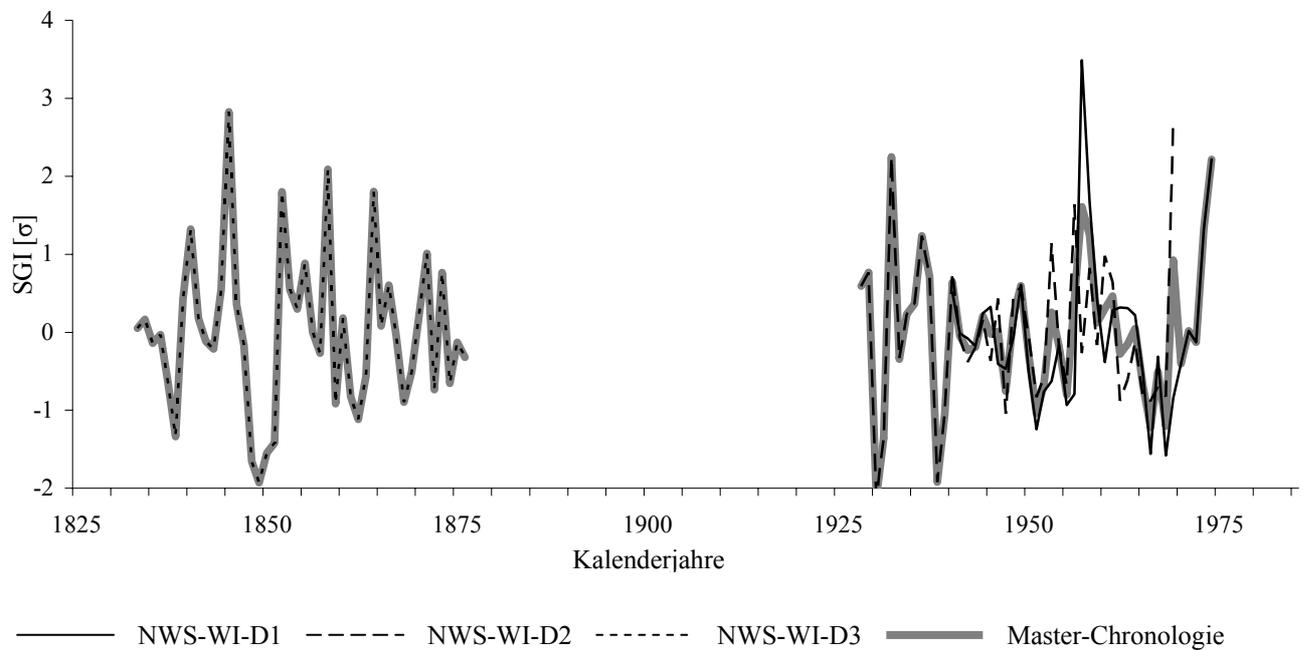


Abb. III-10:  
 Zeitreihen von Individuen aus der NWS-Wiesbaden, rekonstruiert aus standardisierten Zuwachsraten. Die Master-Chronologie wird zwischen 1833 und 1876 von einem Individuum und von 1928 bis 1974 von zwei Muscheln bestimmt.

### III.1.5. NWS-Wiesbaden

Zwei (NWS-WI-D1 und -D2) der drei Muscheln aus der Naturhistorischen Sammlung des Museums Wiesbaden korrelierten mit einem Wert von  $r = 0,37$  (Abschnitt 1, von 1928 bis 1974); die dritte Chronologie (Abschnitt 2, 1833 bis 1876) überlappte nicht mit den ersten

beiden Zeitreihen (Abb. III-10). Das Ergebnis der Gleichläufigkeitsberechnung nach Huber (1943) betrug  $g = 0,60$ .

Kontinuierliche Wavelet Analysen an den beiden Abschnitten (siehe auch Tab. III-4) wiesen Intensitätsmaxima bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 4$  a zwischen 1928 und 1960 auf (Abschnitt 1) bzw. durchgehende Intensitätsmaxima mit Wellenlängen von  $\lambda = 6,3$  a und  $\lambda = 12$  a in Abschnitt 2. Im Vergleich ergab sich eine schwache Korrelationen zwischen der NWS-Mittelkurve und NADP-SST ( $r = -0,24$ ), mit den Zeitreihen aus Dunca et al. (2005) wurden nur negative Korrelationen ermittelt.

### **III.1.6. Kolmosjoki**

Die Master-Chronologie für den Kolmosjoki (über die Jahre 1698 bis 1878) wurde aus Einzelzeitreihen von mehreren Populationen berechnet. Von den 73 sklerochronologisch analysierten Schalen fanden 32 Individuen aus den vier Populationen KOL0, KOL1, KOL3 und KOL5 (vgl. Abb. III-11) Verwendung zur Konstruktion der regionalen Mittelkurve; die verbleibenden 41 Schalen konnten nicht in die Chronologie mit eingeflochten werden. Die Einzelzeitreihen wiesen einen mittleren Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,84$  ( $p < 0,0001$ ) auf, was wiederum in einem EPS-Wert von 0,99 resultierte. Die Gleichläufigkeit erreichte hierbei einen Wert von  $g = 0,76$ . Aufgrund nur sehr kurzer zeitlicher Überlappung mit instrumentellen Datensätzen konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Zeitreihen erkannt werden.

Spektralanalysen an der MC aus standardisierten Zuwachsraten der Kolmosjoki-Muscheln spiegelten sechs den Zeitreihen innewohnende Oszillationen wider (siehe Tab. III-4). Die stärkste Oszillation war mit einer Wellenlänge von  $\lambda = 30,3$  Jahren über die Zeitscheibe bis von etwa 1700 bis 1850 nachzuverfolgen. Die zweitstärkste schwang mit einer Wellenlänge von  $\lambda = 16,7$  Jahren. Sie war in den Jahren von 1700 bis 1740 und 1780 bis 1820 zu erkennen. Die anderen, signalstarken Periodizitäten hatten Wellenlängen von  $\lambda = 10$  a, 6,5 a, 4 a und 2,4 a aufzuweisen.

### III. Ergebnisse

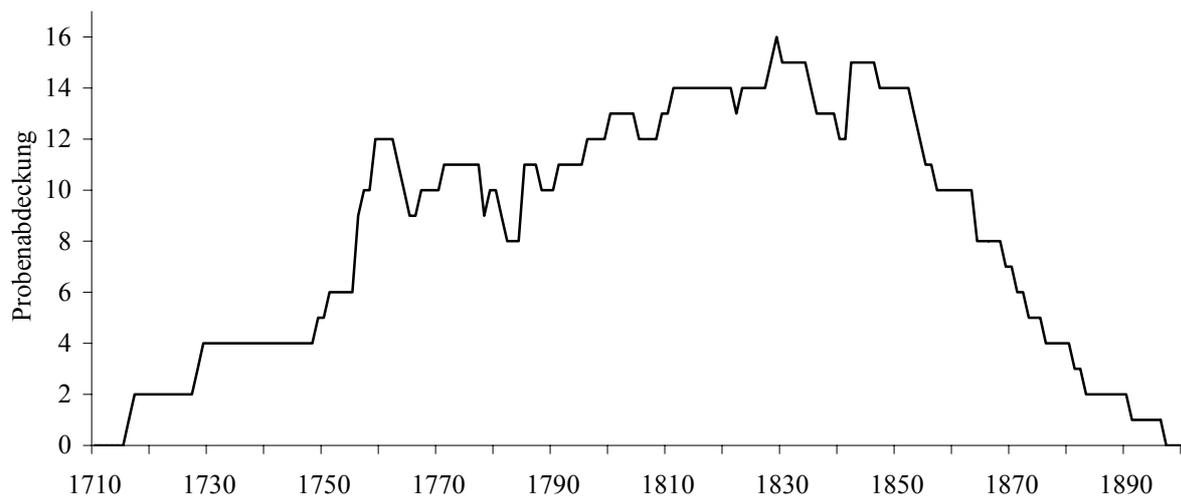
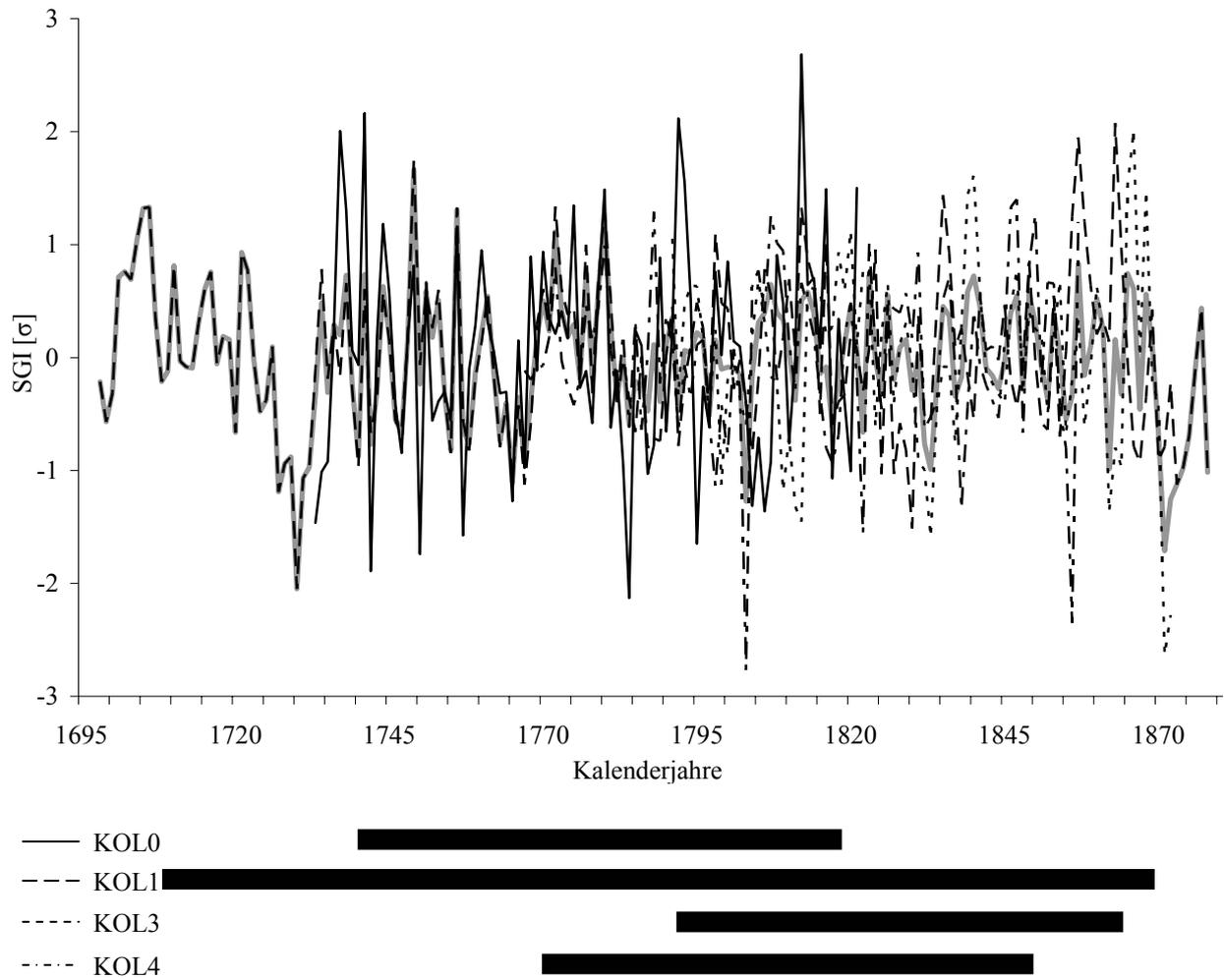


Abb. III-11:  
 Chronologien und zeitliche Reichweiten der vier finnischen Populationen. Die 32 zugrunde liegenden Zeitreihen decken das Zeitintervall von 1698 bis 1878 ab. In grau ist die Master-Chronologie dargestellt.

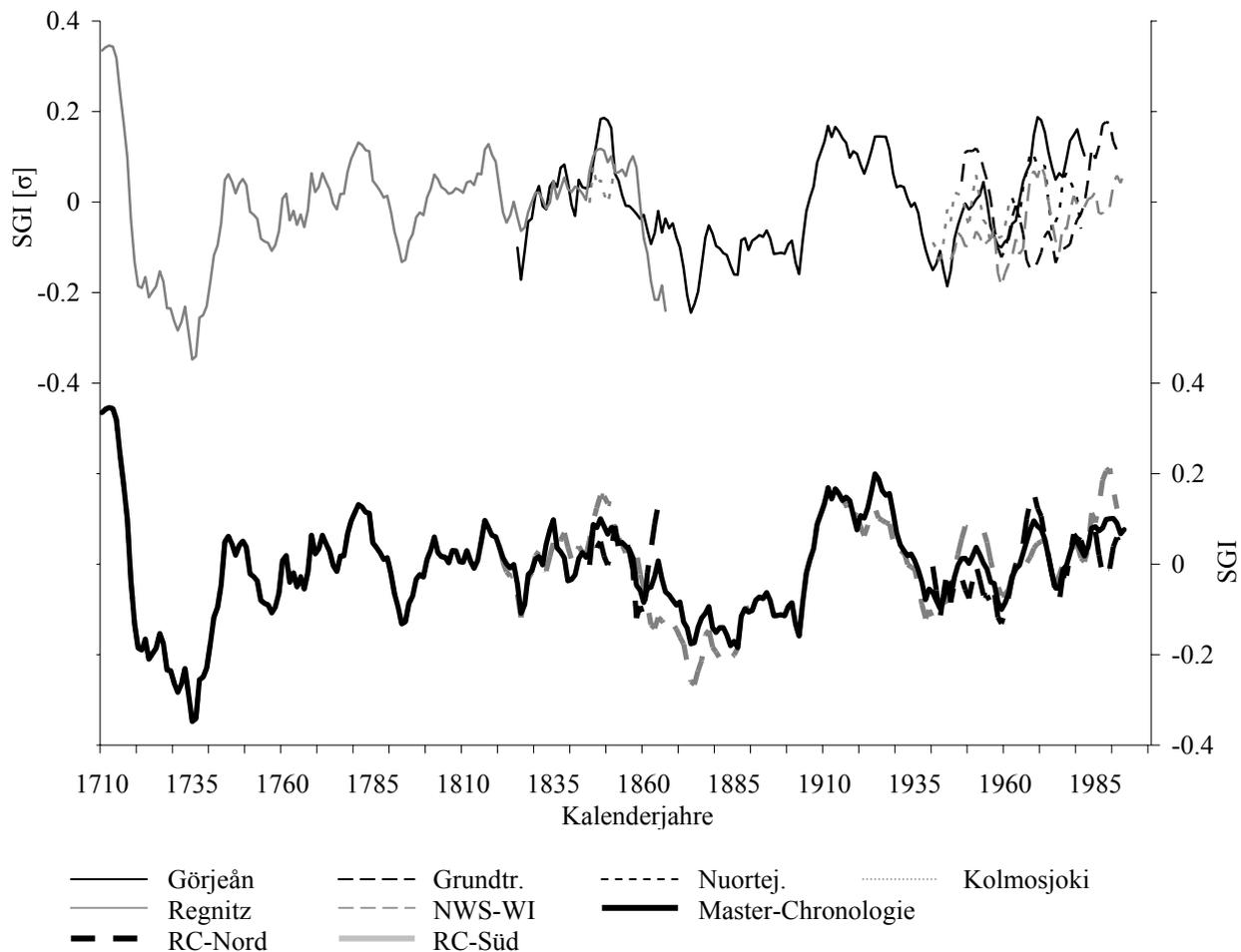


Abb. III-12:  
SGI-Zeitreihen der untersuchten Muschelpopulationen (oben) und Master-Chronologie für Nordeuropa (unten).  
Grundtr: Grundträsktjärnbäcken; Nuortej.: Nuortejaurbäcken.; RC: Regionale Chronologie

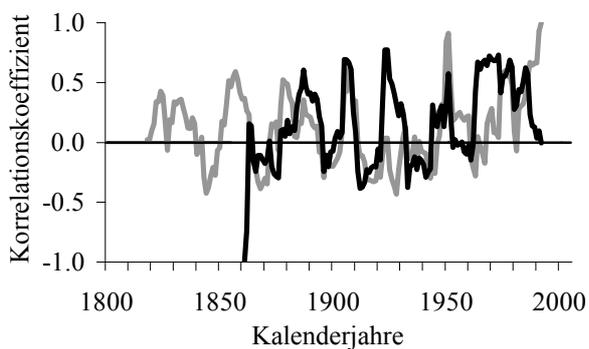


Abb. III-13:  
Gefensterter Korrelation (11-Jahresfenster) der Master-Chronologie für Nordeuropa mit annuellem NAO-Index (Jones et al. 1997; dicke schwarze Linie) und den Temperaturaufzeichnungen aus Stockholm (Hadley Center for Climate Prediction and Research 2007; dicke graue Linie). Deutlich treten zyklisch hohe  $r$ -Werte mit den instrumentellen Datensätzen hervor, was wiederum von zyklisch starken Übereinstimmungen zwischen Muschelwachstum und NAO bzw. Temperatur zeugt.

### III.1.7. Master-Chronologie

Die Zeitreihen der untersuchten Populationen (Abb. III-12) korrelierten untereinander im Mittel mit  $r = 0,24$ . Die insgesamt sechs regionalen Chronologien wurden zu zwei überregionalen Gruppen zusammengefasst (siehe auch Tab. III-4), um eine Master-Chronologie für Nordeuropa zu berechnen. Die Nord-Gruppe bestand aus Zuwachs-Zeitreihen von Muscheln aus Schweden (Görjeån, Grundträsktjärnbäcken, Nuortejaurbäcken) und Finnland (Kolmosjoki), die Süd-Gruppe aus den Zeitreihen der Regnitz-Schalen und der NWS Wiesbaden-Individuen.

Die Nordgruppe korrelierte in den Sommermonaten mit dem NADP-SST mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,32$ , außerdem ergaben sich Korrelationen von  $r = 0,19$  mit der Temperatur (Nördliche Hemisphäre) und von  $r = 0,54$  mit Muscheln der Lokalität Paerlälven (Schöne et al. 2004). Geglättet mit einem 25-Jahresfilter stiegen die berechneten Korrelationskoeffizienten auf  $r = 0,57$  mit dem NAO-Index,  $r = 0,59$  mit dem NADP-SST-Index (Sommerhalbjahr) und  $r = 0,44$  für Temperaturaufzeichnungen. Unter Einbeziehung der geglätteten Chronologie (25-Jahresfilter) der Südgruppe wurden Werte von  $r = 0,46$  für NAO (Februar bis April) bzw. von  $r = -0,54$  für den Sommer-NAO-Index berechnet. Im Vergleich mit Herbsttemperaturen (September bis November) wurde ein Korrelationskoeffizient von  $r = -0,54$  berechnet.

Zwischen der Master-Zeitreihe und der Nordschweden-Mittelkurve aus Dunca et al. (2005) ergab sich eine Übereinstimmung von  $r = 0,24$  ( $p < 0,01$ ). Mit den instrumentellen Datensätzen konnten durchgehend nur sehr schwache Übereinstimmungen ausgemacht werden. In Abbildung III-12 wird deutlich, warum nur relativ niedrige  $r$ -Werte berechnet wurden. In zyklischen Abständen schwankten die Korrelationen zwischen der rekonstruierten Zeitreihe und den instrumentellen Datensätzen zu Temperatur (Hadley Center for Climate Prediction and Research 2007) und NAO-Index (Jones et al. 1997) erheblich. So wechselten sich immer wieder Abschnitte extrem positiver ( $r > 0,70$ ) und negativer Werte ( $r < -0,43$ ) miteinander ab (Abb. III-13).

Geglättet mit einem 25-Jahresfilter ergaben sich im Vergleich von Master-Zeitreihe und Klimadaten Werten von  $r = 0,60$  mit NAO-Index, von  $r = 0,52$  mit NADP-SST (Oktober bis Januar) und von  $r = 0,72$  mit Niederschlagsraten aus Trier bzw. von  $r = 0,57$  für Stockholm.

Kontinuierliche Wavelet Analysen wiesen zu sieben verschiedenen Wellenlängen Intensitätsmaxima auf (Abb. III-14). So erstreckte sich von 1716 bis etwa 1830 ein Signal mit

der Wellenlänge  $\lambda = 16,4$  a. Dieses ging schließlich in ein anderes Signal mit  $\lambda = 12,8$  a über, das bis ans Ende der Datenreihe verfolgbar blieb. Dominante Phasen dieser beiden Oszillationen wechselten mit denen einer Reihe weiterer Oszillationen. Sie traten in drei Clustern auf, die jeweils mit den Jahren 1790, 1875 und 1960 abschlossen. Die Cluster wiesen Intensitätsmaxima bei Periodizitäten von  $\lambda_1 = 6,3$  a und  $\lambda_2 = 3,8$  a auf. Außerdem war eine Schwingung mit  $\lambda = 35,7$  a zu verzeichnen. Wavelet-Untersuchungen an den Ergebnissen aus den gefensternten Korrelationen (siehe Abb. III-15) resultierten in einer dominanten Oszillation von  $\lambda = 21$  a bei Vergleichen mit der NAO (Hurrell 1995) und  $\lambda = 22,7$  a mit Temperaturaufzeichnungen aus Stockholm (National Climatic Data Center 2007).

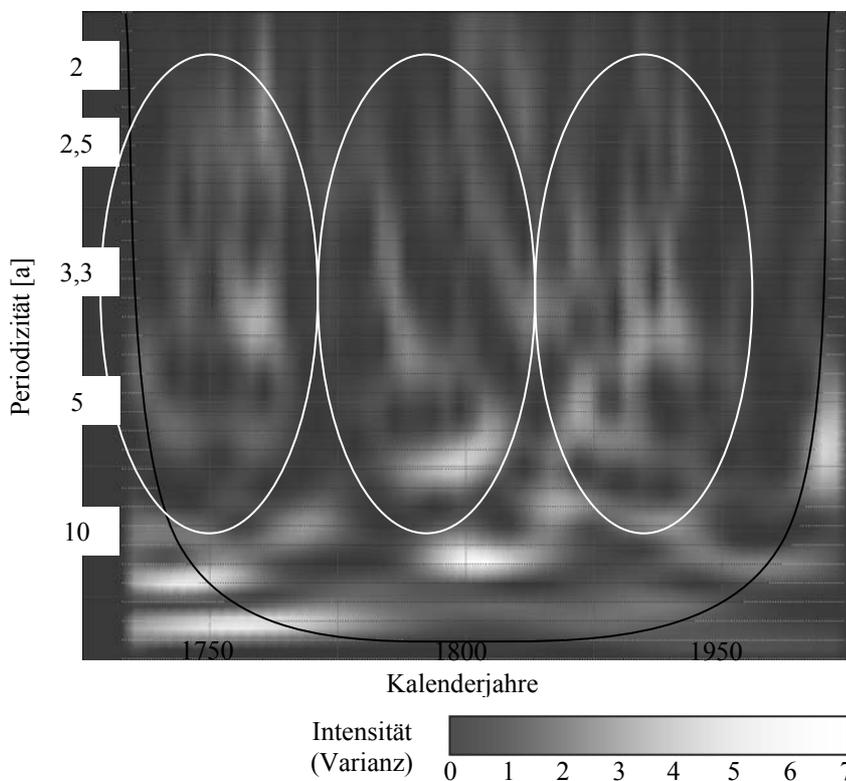


Abb. III-14:  
Kontinuierliche Wavelet-Analyse an der Master-Chronologie für Nordeuropa, rekonstruiert aus standardisierten Zuwachsraten von Flussperlmuscheln aus Deutschland, Schweden und Finnland. Deutlich treten drei Intensitätscluster (Ellipsen) aus mittellangen Perioden (2,5 a bis 10 a) hervor, die jeweils mit den Jahren 1790, 1875 und 1960 enden. Mit der schwarzen Linie ist der sog. Einflusskegel der Wavelet-Transformation dargestellt.

Durch Fourier-Analysen (siehe Tab. III-5) konnten ebenfalls einige der Oszillationen verifiziert werden. Mit 99,9 % signifikant waren Schwingungen mit etwa  $\lambda = 22$  a (21,3 a und 22,2 a),  $\lambda = 30,3$  a und  $\lambda = 37$  a. Durch das 99 % Signifikanzniveau bestätigt waren Perioden mit  $\lambda = 18,2$  a und  $\lambda = 12$  a. Mit 95 % signifikant galten  $\lambda = 22,7$  a und  $\lambda = 16,9$  a, mit 90 %  $\lambda = 12,7$  a. Innerhalb des 50 % Signifikanzniveaus befanden sich schließlich noch Wellenlängen von  $\lambda = 9,2$  a,  $\lambda = 13$  a und  $\lambda = 20,4$  a.

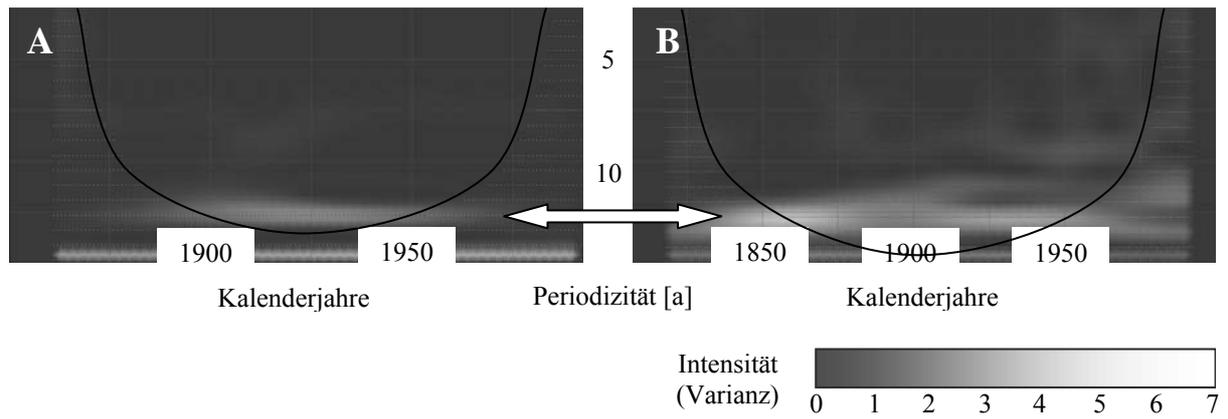


Abb.III-15:  
 Spektral-Analyse mittels kontinuierlicher Wavelets an gefensterten Korrelationen von NAO (A; Jones et al. 1997) und Temperaturdaten aus Stockholm (B; National Climate Data Center 2007) mit der Master-Chronologie aus standardisierten Zuwachsraten von Flussperlmuscheln. In beiden Spektralanalysen treten starke Oszillationen mit etwa 21 bis 23 Jahren Wellenlänge (Pfeil) deutlich hervor.

### III.2. Stabile Kohlenstoffisotopie

Chronologien aus  $\delta^{13}\text{C}$ -Messdaten konnten für Muschelschalen aus Deutschland und Schweden erstellt werden. Die entstandenen Zeitreihen spiegelten hierbei den Zeitraum zwischen 1780 und 2005 wider. In allen Populationen konnte ein lokalitätsspezifischer, jeweils gleichläufiger Trend zwischen den Einzelzeitreihen ausgemacht werden. Je nach Population war dieser von stärker negativen hin zu positiveren Werten oder auch umgekehrt ausgerichtet. Die Spanne der gemessenen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ( $\Delta\delta^{13}\text{C} = 7,95\text{‰}$ ) umfasste hierbei den Bereich von  $-7,99\text{‰}$  bis  $-15,94\text{‰}$ .

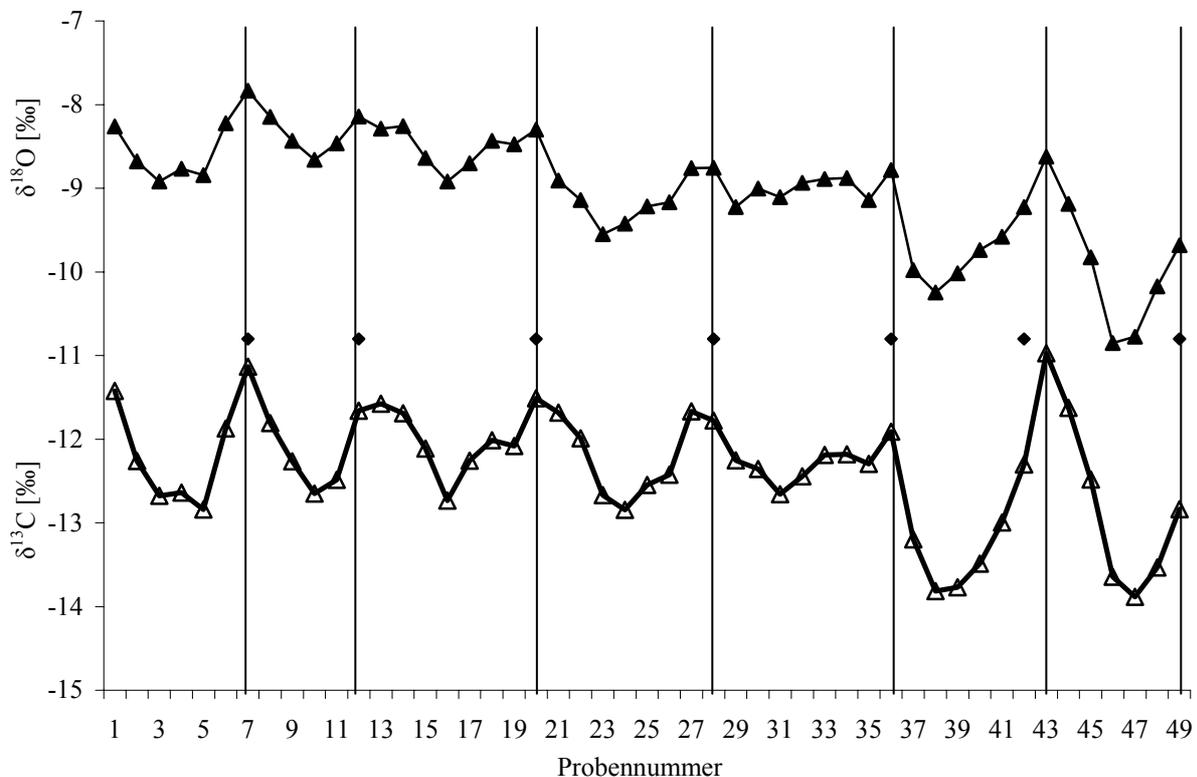


Abb. III-16:

Jahreszyklen in stabilen Isotopenmessungen ( $\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{18}\text{O}$ ) an der Schale von *Margaritifera margaritifera*. In dieser Abbildung sind die intraannuellen  $\delta^{13}\text{C}$ - (dicke Kurve) und  $\delta^{18}\text{O}$ -Schalenwerte (dünne Kurve) gegen Probennummern aufgetragen. Jahreszyklen sind in den Sauerstoffisotopenwerten wie auch in den stabilen Kohlenstoffisotopen-Werten erkennbar. Die mittlere annuelle Schwankung in der stabilen Kohlenstoffisotopie lag bei 1,6 ‰. Die bei Probenahme durchquerten Zuwachslinien sind als Rauten gekennzeichnet, durch senkrechte Linien sind die realen Jahresgrenzen verdeutlicht.

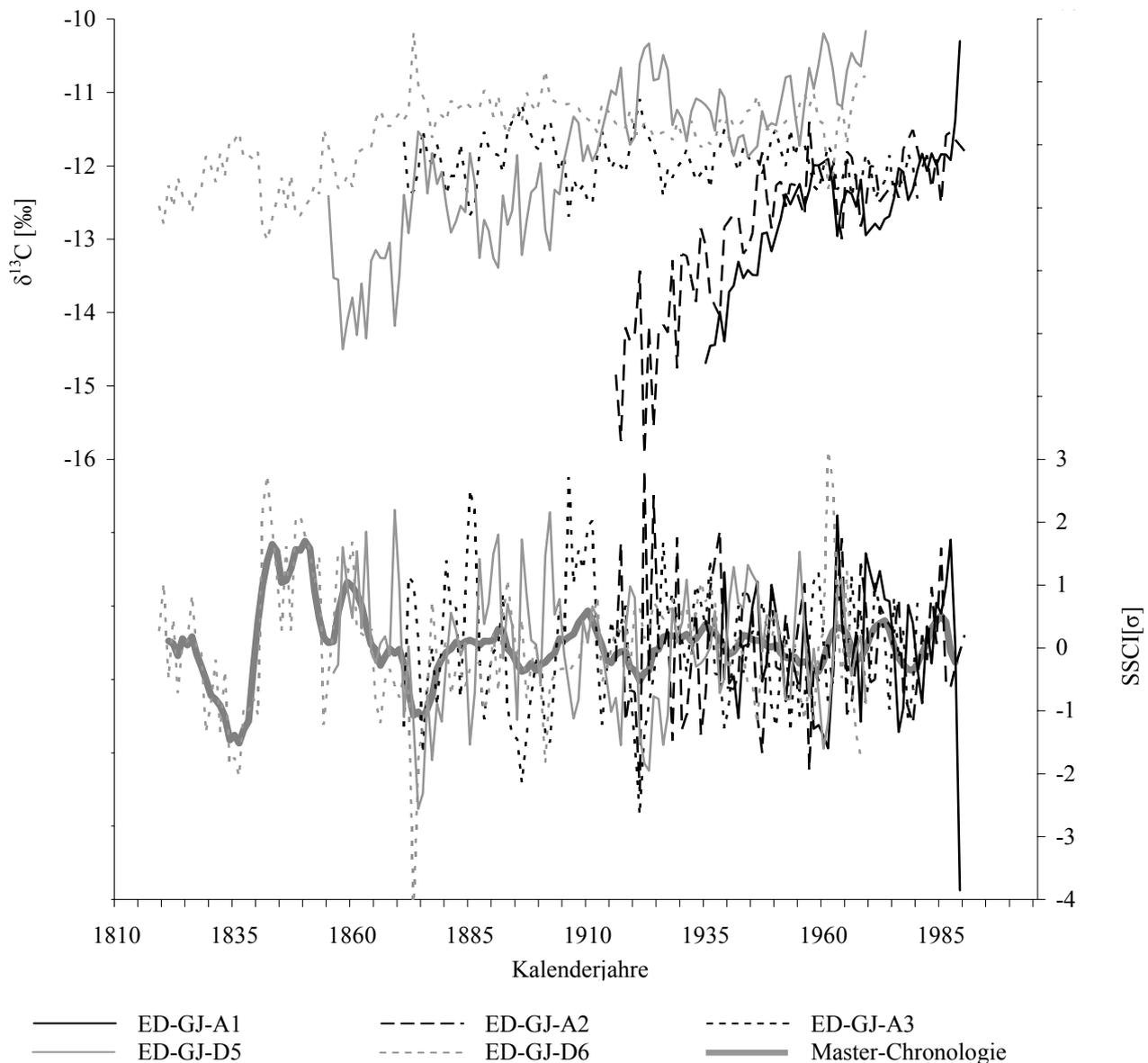


Abb. III-17:

Rohdaten und standardisierte  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Görjeån- Muschelschalen gegen Kalenderjahre. Deutlich erkennbar zeigt sich im oberen Teil des Graphen der gemeinsame Trend von stark negativen (bis zu  $-16\text{‰}$ ) hin zu positiveren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (bis etwa  $-10\text{‰}$ ). Im unteren Teil der Abbildung sind die standardisierten stabilen Kohlenstoff-Isotopenwerte (SSCI) dargestellt

Wie auch bei den Sauerstoff-Isotopen (vgl. Kap. III.2.4.) waren in den stabilen Kohlenstoffisotopen-Werten saisonale Schwankungen zu erkennen (Abb. III-16). Die annuelle Schwankung betrug im Mittel  $1,6\text{‰}$  (maximal  $3,8\text{‰}$ ) und war somit geringer als das interannuelle Spektrum eines Individuums, das bei  $3,5\text{‰}$  (maximal  $4,7\text{‰}$ ) lag. Eine signifikante Veränderung der annuellen Schwankungen mit zunehmendem Lebensalter konnte nicht festgestellt werden.

### III.2.1. Görjeån

Die fünf untersuchten Schalen aus dem Görjeån zeigten alle einen Trend von stärker negativen Werten in ontogenetisch jüngeren Schalenteilen hin zu ähnlichen und weniger negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im ontogenetisch älteren Schalenabschnitt (vgl. Abb. III-17). Während das  $\delta^{13}\text{C}$ -Minimum einer Zeitreihe generell im Juvenil-Stadium zu verzeichnen war (bis zu -15,94 ‰), betrug der Wert im ontogenetisch älteren Bereich der Schale nur noch minimal -12,99 ‰. Der Mittelwert der jeweils letzten 10 Jahre aller Messwerte lag bei -11,56 ‰. Nur die Jahre 1935 bis 1969 konnten durch Proben von allen fünf Individuen belegt werden.

Die trendbereinigten  $\delta^{13}\text{C}$ -Daten wurden analog zu den standardisierten Zuwachsraten als SSCI-Zeitreihen (standardisierter stabiler Kohlenstoffisotopen Index) gekennzeichnet. Aus den Einzelzeitreihen, deren mittlere Gleichläufigkeit bei  $g = 0,48$  lag, ist eine Mittelkurve erstellt worden, welche dann nochmals mit einem 5-Jahresfilter (*Running average*) geglättet wurde. Kontinuierliche Wavelet-Analysen an der Master-Zeitreihe spiegelten eine dominante und eine schwache Oszillation wider. Während die dominante Schwingung eine Wellenlänge von  $\lambda = 21,7$  a aufwies, schwang die schwächere Oszillation mit einer Periodizität von 9,2 a.

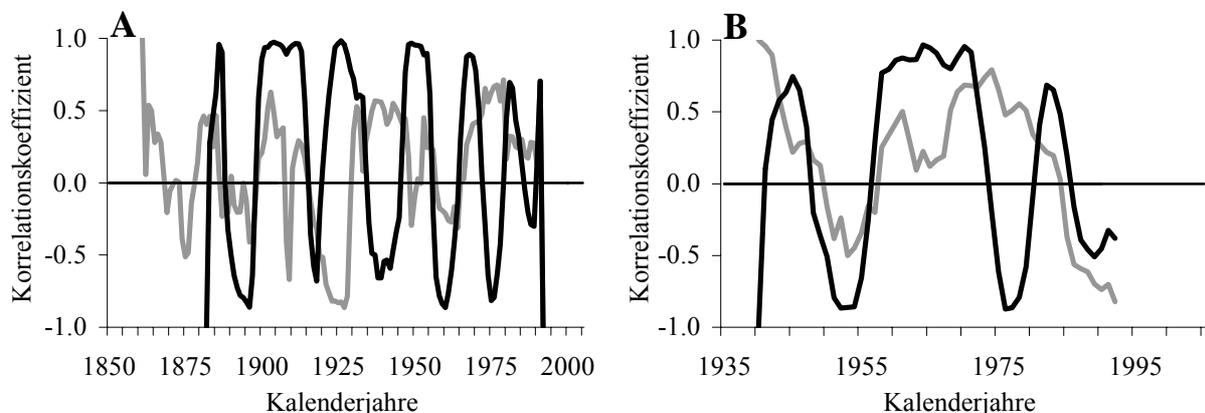


Abb. III-18:

Gefensterter Korrelation der SSCI-Mittelkurven von Schalen des Görjeån (A) und des Grundträsktjärnbäckens (B) mit Temperatur (A, B; schwarze Kurve; 10-Jahresmittel; Lugina 1999) und NAO (graue Kurve; A: Jones et al. 1997; B: Winter-NAO, Hurrell 1995). Wie bereits in den standardisierten Zuwachsraten beobachtet, kommt es auch hier zyklisch zu hohen Korrelationswerten zwischen den Zeitreihen. Inhärente Periodizitäten hatten hierbei Wellenlängen von 21,3 (Temperatur) und 30 (NAO) Jahren (A) bzw. 10,7 (Winter-NAO) und 12,2 Jahren (Temperatur) in B.

Die Mittelkurve korrelierte nur schlecht mit den Zeitreihen aus standardisierten Schalen-Zuwachsraten aus Schweden (Schöne et al. 2004; Dunca et al. 2005). Die regionale Chronologie hatte im Vergleich mit NADP-SST (Sommer) einen Wert von  $r = -0,37$  aufzuweisen. Die mit einem 25-Jahresfilter geglätteten Zeitreihen führten zu Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,58$  (NAO), von  $r = 0,50$  mit NADP-SST (Sommer),

$r=0,66$  mit Niederschlagsraten aus Stockholm und  $r=0,44$  mit dem Index zur Sonnenflecken-Zahl. Gefenstertere Korrelationen mit NAO (Jones et al. 1997) und 10-Jahresmitteln der Temperatur-Aufzeichnungen aus Lugina (1999) führten zu Werten von bis zu  $r = -0,86$  (NAO) bzw.  $r = 0,97$  (Temperatur; Abb. III-18A). Durch Wavelet-Analysen an diesen beiden gefensternten Zeitreihen wurden Oszillationen mit 30 (NAO) und 21,3 Jahren Wellenlänge (Temperatur) nachweisbar.

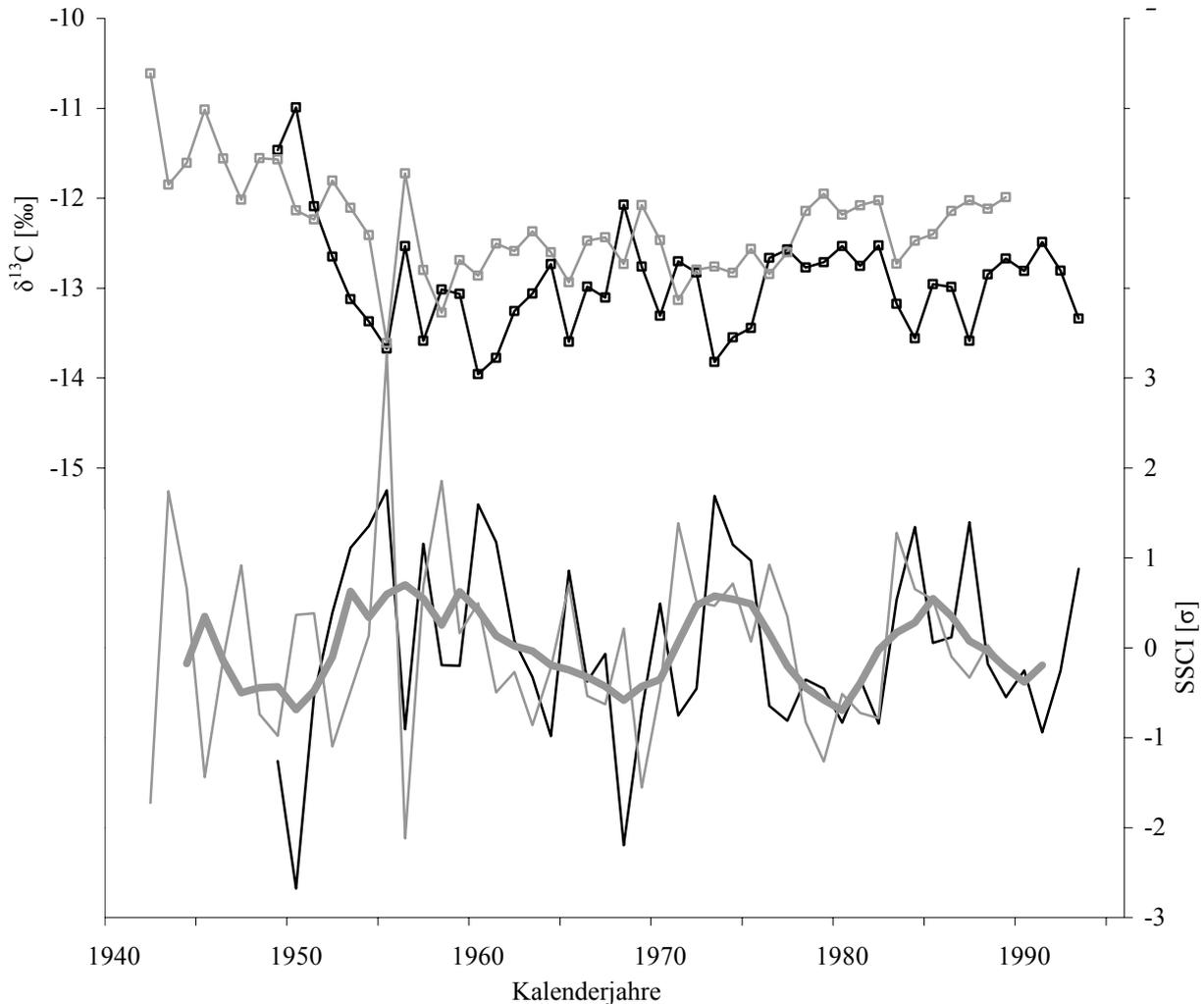


Abb. III-19:  
 $\delta^{13}\text{C}$ - (oben) und SSCI-Werte (unten) der beiden Schalen aus dem Grundträsktjärnbäcken. Die Schalen zeigen einen Trend in der stabilen Kohlenstoff-Isotopie hin zu relativ negativeren Werten. ED-GTB-A1 wird hierbei mit der schwarzen und ED-GTB-A2 mit grauen Linie dargestellt. In der Mittelkurve (5-Jahresmittel; dicke graue Kurve) der trendbereinigten und standardisierten Isotopendaten ist ein längerfristiger Zyklus zu erkennen. So wurde durch Wavelet-Transformationen auch eine inhärente Oszillation mit etwa 10 Jahren Wellenlänge nachgewiesen.

### ***III.2.2. Grundträsktjärnbäcken***

Zwei der 14 Schalen der Grundträsktjärnbäcken-Population sind im Massenspektrometer auf ihre stabile Kohlenstoff-Isotopie hin untersucht worden. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenwerte lagen zwischen -13,96 ‰ und maximal -10,61 ‰ (siehe Abb. III-19 oben); die Amplitude zwischen Minimal- und Maximalwert betrug demnach 3,35 ‰. Im Gegensatz zu den Proben aus dem Görjeån war bei diesen Muscheln in der stabilen Kohlenstoff-Isotopie mit zunehmendem Alter ein Trend hin zu relativ negativeren Werten zu verzeichnen. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven der beiden gleichaltrigen Muscheln wiesen nur einen geringen Offset von durchschnittlich 0,50 ‰ zueinander auf. Während im Juvenil-Stadium die maximalen  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenwerte verzeichnet wurden (bis etwa 1956), waren sie von 1956 bis 1990, also im geronten Stadium der Muschel, auf einem Niveau von im Mittel -12,79 ‰. Die beiden Zeitreihen korrelierten mit  $r = 0,48$ , die Gleichläufigkeit lag bei  $g = 0,55$ .

Die trendbereinigten und standardisierten  $\delta^{13}\text{C}$ -Daten wurden zu einer SSCI-Mittelkurve zusammengefügt (Abb. III-19 unten), welche nur schwach ( $r = 0,26$ ) mit NAO (Sommermonate) und NADP-SST (Wintermonate;  $r = 0,21$ ) korrelierte. Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,46$  (Niederschlag, Stockholm),  $r = 0,42$  (Herbsttemperaturen) und  $r = -0,38$  (Temperaturanomalien, Nordeuropa) wurden ermittelt, wenn die Zeitreihen mit einem 25-Jahresfilter geglättet wurden. Wie auch in Abb. III-18B zu sehen ist, führten wiederum gefensterter Korrelationen (10-Jahresfilter) mit der Winter-NAO (Hurrell 1995) und Temperaturaufzeichnungen (Lugina 1999) periodisch zu hohen (NAO) bis sehr hohen Korrelationen (Temperatur) mit den SSCI-Daten. Während kontinuierliche Wavelet-Analysen Wellenlängen von etwa 10 Jahren in der SSCI-Datenreihe offenbarten, ergaben die Analysen an den gefensterter Korrelationen Perioden von 10,7 Jahren (Winter-NAO) und 12,2 Jahren (Temperatur).

### ***III.2.3. Nuortejaurbäcken***

Vier der neun Schalen aus dem Nuortejaurbäcken (siehe auch Abb. III-20) wurden massenspektrometrisch untersucht. Die Korrelationen zwischen den drei Individuen (ED-NJB-A3, -A4 und -A6) waren statistisch signifikant. Bei allen Proben war in der stabilen Kohlenstoffisotopie ein Trend zu leichteren, also negativeren Werten zu beobachten. Aus den Rohdaten ergab sich die mittlere Gleichläufigkeit von  $g = 0,62$  für die vier Einzelzeitreihen,

außerdem ein mittlerer Korrelationskoeffizient von  $r = 0,54$ . Ein Korrelationskoeffizient von  $r = 0,24$  wurde im Vergleich mit der Temperatur (Hadley Center for Climate Prediction and Research 2007) ermittelt. Außerdem waren in den mit 25-Jahresfilter geglätteten Zeitreihen Übereinstimmungen mit Winter-NADP-SST ( $r = 0,69$ ; Deser & Blackmon 1993) und Temperatur ( $r = -0,46$ ; Nördliche Hemisphäre) zu verzeichnen. In der kontinuierlichen Wavelet-Analyse zeichnete sich eine dominante Oszillation mit einer Wellenlänge von neun Jahren ab.

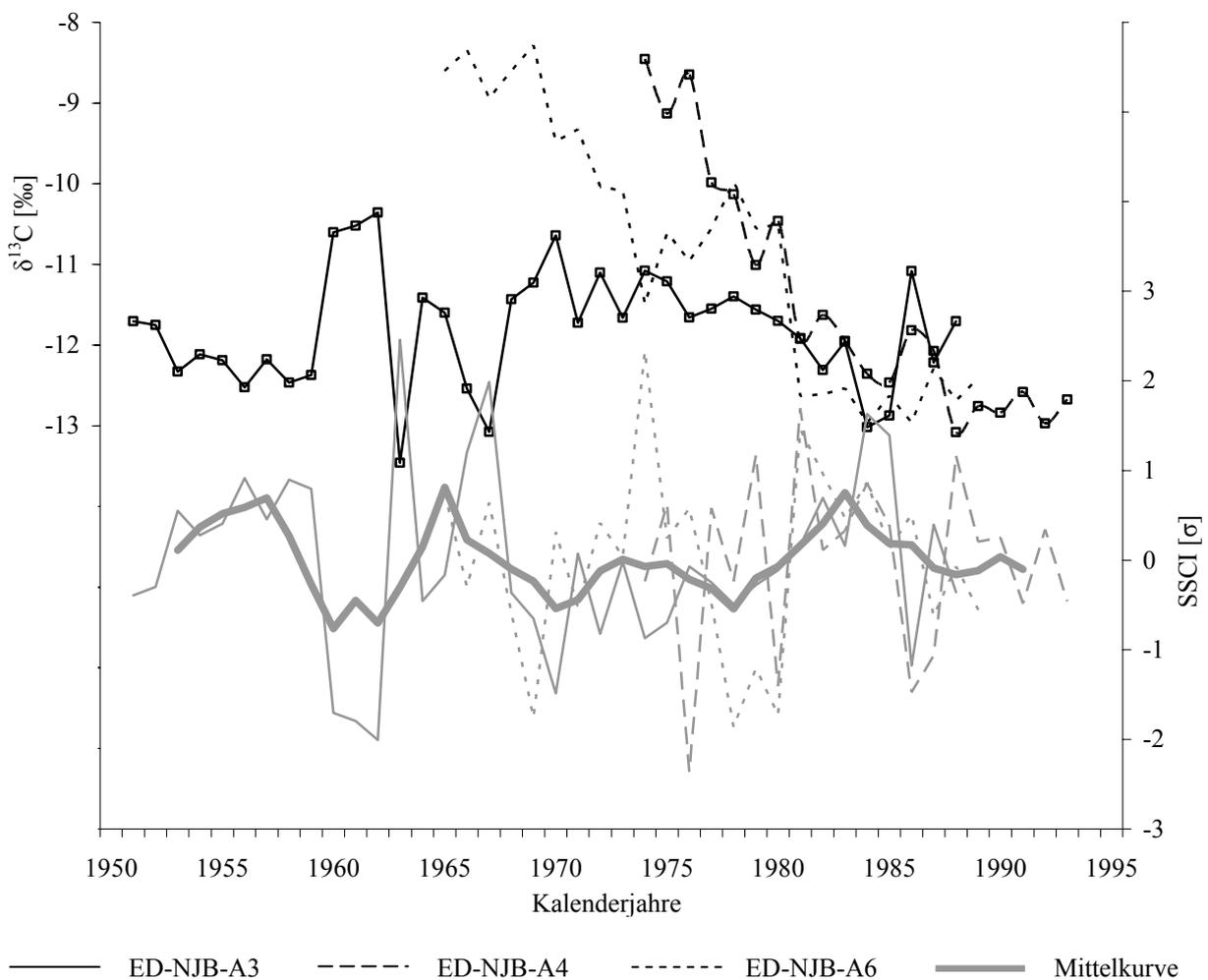


Abb. III-20:  
 $\delta^{13}\text{C}$ - (schwarze Kurven) und trendbereinigte Daten (graue Kurven) der Nuortejaurbäcken-Schalen. Wie schon im Grundträskjärbäcken war auch hier in den stabilen Kohlenstoff-Isotopen ein Trend hin zu stärker negativen Werten zu verzeichnen. Die Mittelkurve (dicke, graue Linie) wurde mit einem 5-Jahresfilter geglättet.

### III.2.4. Regnitz

Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Lokalitäten ließen die Schalen der Regnitz-Muscheln keinen Trend in der Schalenisotopie erkennen. Die Schalendaten (vgl. Abb. III-21) wiesen nur geringe Übereinstimmungen untereinander auf, was sich in einer sehr schwachen, mittleren Korrelation von  $r = 0,15$  bemerkbar machte. Im Vergleich der Master-Zeitreihe aus standardisierten stabilen Kohlenstoff-Isotopenwerten (SSCI) und der Schweden-Chronologie aus Schalen-Zuwachsraten (Dunca et al. 2005) wurde eine Korrelation von  $r = 0,37$  ( $p < 0,1$ ) berechnet.

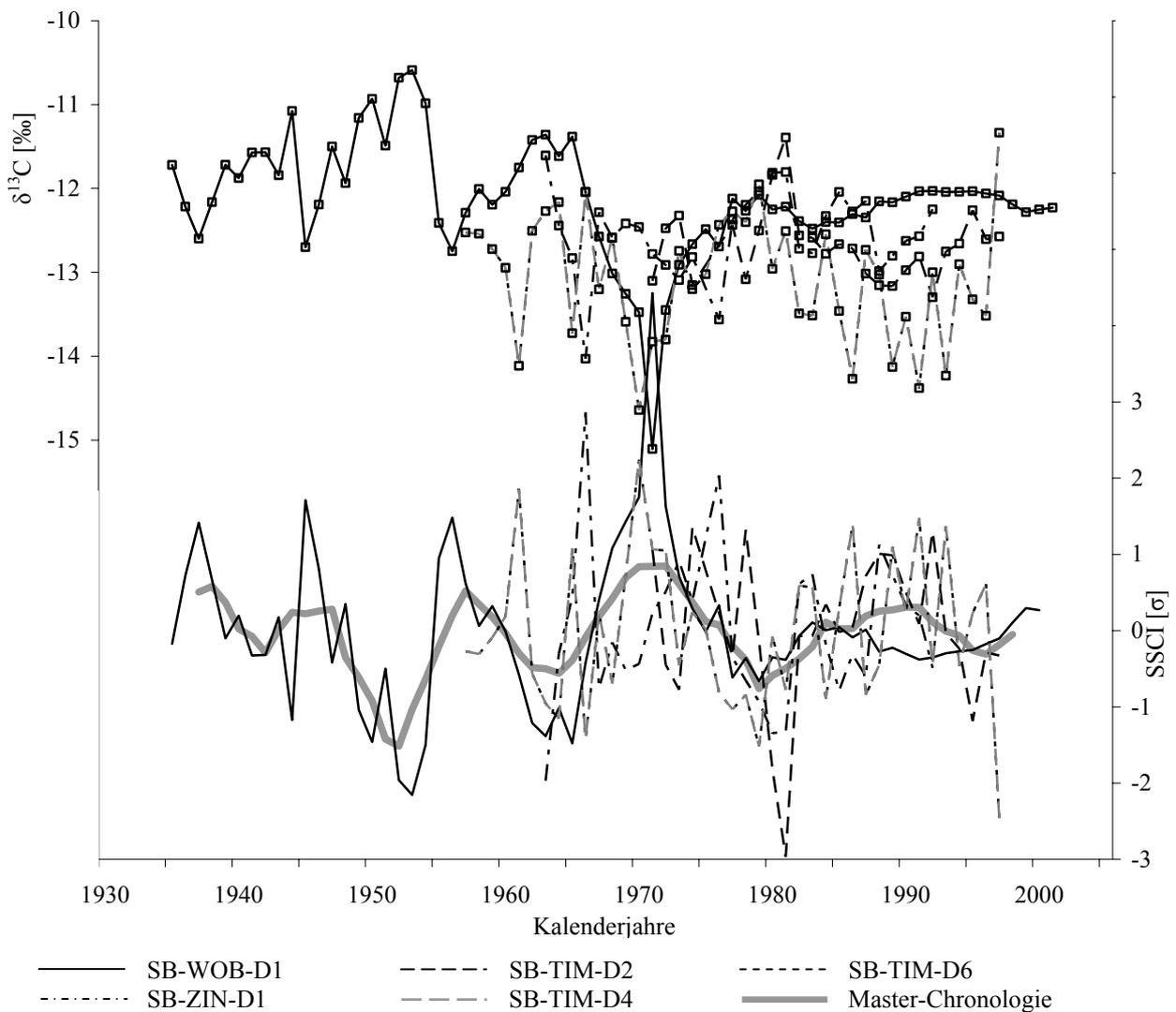


Abb. III-21:  $\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihen von Muscheln der Regnitz. Trendbereinigte und standardisierte Daten (SSCI) sind im unteren Teil des Diagramms dargestellt (graue Kurven). Im Gegensatz zu den Schalen aus den anderen in dieser Arbeit untersuchten Populationen verlaufen bei den Regnitz-Exemplaren die stabilen Kohlenstoffisotopen-Werte über die gesamte Ontogenese auf ungefähr dem gleichen Niveau.

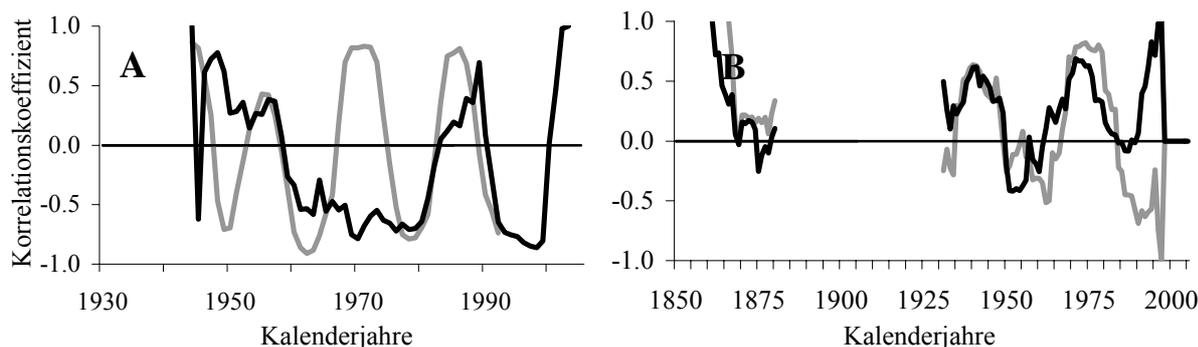


Abb. III-22:

(A) Gefensterte Korrelation (10-Jahresfilter) zwischen der Regnitz-SSCI-Zeitreihe und NADP-SST (schwarze Kurve; Deser & Blackmon 1993) bzw. Temperaturanomalien (graue Kurve; Hadley Center for Climate Prediction and Research). (B) Gefensterte Korrelation (10-Jahresfilter) zwischen der SSCI-Masterchronologie (Schweden, Deutschland, Frankreich) und der NAO (Oktober bis Januar; Jones et al. 1997; schwarze Kurve) bzw. Temperatur (grau; Jones et al. 2001). Deutlich sinusoidal ist das Muster aus dem Vergleich der SSCI-Daten mit der Temperatur in Teil A der Abbildung. In B schwankt der Korrelationskoeffizient mit etwa 25 Jahren Wellenlänge.

Der annuelle NADP-SST-Index (Deser & Blackmon 1993) war mit der geglätteten SSCI-Mittelkurve negativ korreliert ( $r = -0,43$ ). Bei gefensterten Korrelationen der standardisierten Kohlenstoffisotopen-Werte mit Temperaturaufzeichnungen (10-Jahresfilter) stieg die Korrelation periodisch (Zyklen von 15 Jahren) stark an ( $r_{\max} = 0,86$ ,  $r_{\min} = -0,91$ ; Abb. III-22).

### III.2.5. Probenmaterial unsicherer Herkunft

Das isotopengeochemisch messbare Zeitintervall der Schale NWS-WI-D3, einer Schale aus Frankreich (Fluss Tarn), die sich im Bestand des Landesmuseums Wiesbaden (Naturwissenschaftliche Sammlung) befand, erstreckte sich von 1799 bis 1954. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte schwankten mit einer Periode von ca. 20 Jahren und erreichten  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Extremwerte von  $-8,0$  bis  $-11,2$  ‰. In der  $\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihe von NWS-WI-D3 war ein Trend hin zu weniger stark negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zu erkennen (vgl. Abb. III-23), wenn auch nicht so ausgeprägt wie in den Schalen des Görjeån. Die SSCI-Zeitreihe der Schale korrelierte mit der regionalen SSCI-Chronologie des Görjeån (vgl. Abb. III-24) mit  $r = 0,41$ . Es konnte nur eine starke, inhärente Oszillation ( $\lambda = 20$  a) ausgemacht werden, die jedoch außerhalb des sog. Einflusskegels der Wavelet-Analyse lag. Aufgrund der geringen zeitlichen Überlappung zwischen der NWS-Zeitreihe und den instrumentellen Datensätzen, konnten hier keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden.

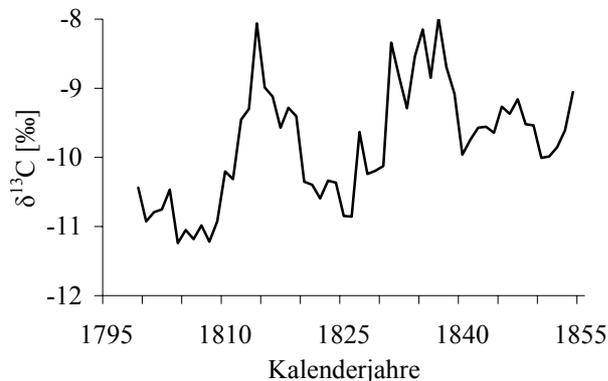


Abb. III-23:  
 $\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihe von Schale NWS-WI-D3. Die Schale aus dem Bestand des Museums Wiesbaden stammt ursprünglich aus dem Fluss Tarn in Frankreich. In den Rohdaten ist ein leichter Trend hin zu weniger stark negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zu erkennen, der jedoch bei weitem nicht so stark ausgeprägt ist, wie bei den Muscheln des Görjeån in Schweden.

### III.2.6. SSCI-Masterzeitreihe

Die regionalen Mittelkurven korrelierten untereinander nur sehr schwach. Auch die Gleichläufigkeiten waren sehr gering ( $g_{\text{mittel}} = 0,51$ ). Einzige Ausnahme bildete hierbei das Zeitreihenpaar Görjeån / Grundträsktjånbåcken, bei dem die Gleichläufigkeit bei  $g = 0,90$  lag. Im Vergleich der SSCI-Masterzeitreihe mit anderen Muschel-Chronologien (vgl. Dunca et al. 2005) und instrumentellen Datensätzen ergaben sich keine signifikanten Korrelationen. So lag die Übereinstimmung z.B. mit der Zuwachsraten-Zeitreihe aus Muscheln des Bölsmanån (Nordschweden) bei  $r = -0,19$  (Schöne et al. 2004), während sie mit den Exemplaren des Teåkersålvn (Zentralschweden; aus der gleichen Veröffentlichung) bei  $r = 0,20$  lag. Die SSCI-Zeitreihe wies außerdem eine mathematische Übereinstimmung von  $r = -0,29$  mit der NADP-SST auf. Auch hier wurden nach Glättung mit einem 25-Jahresfilter die Zusammenhänge zwischen den Zeitreihen erneut überprüft. Mit NAO errechnete sich – im Gegensatz zu NADP-SST (Sommer;  $r = 0,68$ ) – eine positive Korrelation von  $r = 0,55$ . Außerdem wurden erhöhte r-Werte für Niederschlagsraten in Trier ( $r = 0,44$ ) und Stockholm ( $r = 0,72$ ) ermittelt.

Durch Bildung eines arithmetischen Mittels aller untersuchten Chronologien (Abb. III-24) wären die Populationen aus dem Norden (mit zehn untersuchten Exemplaren) deutlich gegenüber den Muscheln aus Deutschland / Frankreich (5 Exemplare) überrepräsentiert gewesen. Deshalb wurde die SSCI-Masterchronologie, wie auch die SGI-Masterchronologie, als Mittelkurve aus einer Nord- und einer Südgruppe berechnet.

Während bei den einzelnen Compoundkurven (Tab. III-5; Abb. III-25) kurzweiligere Oszillationen (hier v.a. eine mit 9 Jahren Wellenlänge) vorrangig waren, trat bei der Master-

Chronologie eine Schwingung mit  $\lambda = 20$  a hervor (99,9 % Signifikanzniveau). Oberhalb der Signifikanzschwelle von  $p = 0.9$  wird die SSCI-Masterchronologie noch von einer 42-Jahresoszillation dominiert. Perioden mit Wellenlängen von 29 und 63 Jahren erreichten nur die 50%-Signifikanzschwelle.

Die *Compound*-Chronologien wurden mit NAO- und NADP-SST-Index verglichen, außerdem mit Temperatur-Daten, Sonnenflecken-Zyklen und Niederschlagsraten. Die jeweiligen Ergebnisse werden in der Diskussion zur stabilen Kohlenstoffisotopie genannt und besprochen. Im Vergleich mit der Arktischen Oszillation, auf die am Ende der Diskussion zur Sauerstoffisotopie nochmals eingegangen wird, ergibt sich eine Korrelation von  $r = 0,09$ . Würde die Zeitreihe um drei (oder vier) Jahre verschoben, errechneten sich Vergleichswerte von  $r = 0,16$  (oder  $r = 0,25$ ).

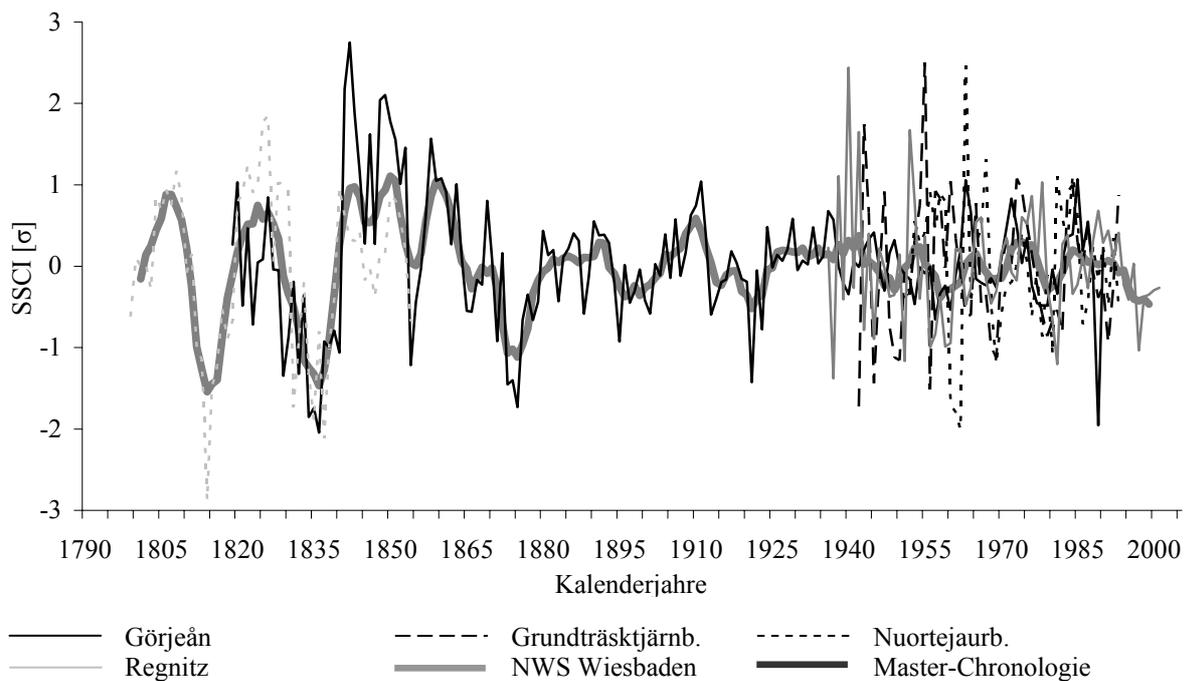


Abb. III-24:

Regionale Mittelkurven und Master-Chronologie der SSCI-Schalendaten. Schwarze Kurven repräsentieren schwedische Chronologien, hellgraue die deutschen und dunkelgrau die Master-Zeitreihe (geglättet mit 5-Jahresfilter). Während im 19. Jahrhundert langwellige Oszillationen ( $> 10$  a) mit hohen Amplituden dominieren, überwiegen im 20. Jahrhundert Wellenlängen von bis zu 10 Jahren.

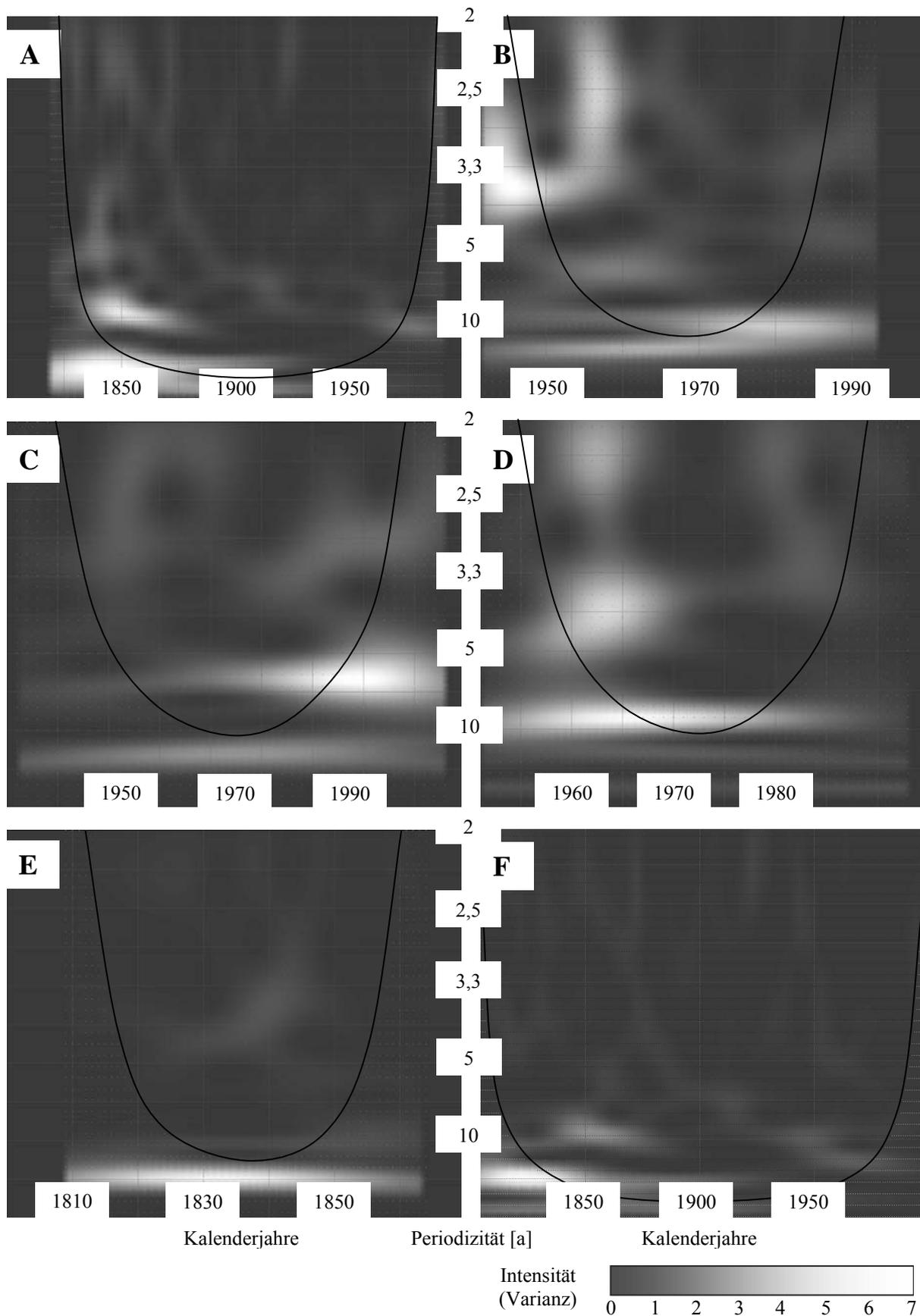


Abb. III-25:  
 Ergebnis der kontinuierlichen Wavelet-Analysen der Compound-Chronologien. Deutlich treten die dekadischen Oszillationen ( $\lambda > 10$  a) in A, E und F hervor. Außerdem ist eine Reihe von Oszillationen mit Wellenlängen zwischen 2,5 und 4 Jahren in den kurzen Zeitreihen zu sehen. A: Görjeån, B: Grundträskjämbäcken, C: Regnitz, D: Nuortejäurbäcken, E: NWS-Wiesbaden, F: Master-Chronologie.

Tab. III-5:

Inhärente Perioden, extrahiert aus regionalen SSCI-Zeitreihen. In die Master-Chronologie wurden alle isotopengeochemisch untersuchten Exemplare einbezogen. Getrennt nach Wellenlängen-Bereichen werden die mittels kontinuierlicher Wavelet-Analysen (A) ermittelten inhärenten Perioden der Zeitreihen aufgezählt. Das Ergebnis der Schale aus der NWS Wiesbaden wurde in Klammern gesetzt, da es am äußersten Rand des sog. *Cone of Influence* der kontinuierlichen Wavelet-Analysen liegt. Die Süd-Chronologie bestand nur aus den Muscheln der Regnitz und der NWS Wiesbaden, die sich jedoch zeitlich nicht überlappten. Dementsprechend wurde sie hier nicht noch explizit aufgeführt, sondern kann aus den beiden einzelnen Zeitreihen herausgelesen werden. In Fett werden die deutlichsten Signale dargestellt. In Teil B werden die Periodizitäten nach Signifikanzniveaus angeordnet. Deutlich ist eine Dominanz von Wellenlängen um 2,3 a, 5-6 a, etwa 9-10 a und bei 20 a zu erkennen.

<b>A</b>	Periodizität [a] (Wavelet-Analyse)				
	<2,7	2,7-4,9	5,0-8,9	9-15	<15
Chronologien					
Görjeån (GJ)	-	-	5,3	<b>9,1</b>	21,7
Grundträsktjärnbäcken (GTB)	<b>2,6</b>	3,7	5,9	10,0	-
Nuortejaurbäcken (NJB)	2,2	4,0	-	<b>9,1</b>	-
Regnitz (REG)	<b>2,1</b>	2,9	6,3	12,5	-
NWS-Wiesbaden	-	-	-	-	<b>(20)</b>
Nord (GJ, GTB, NJB)	2,3	-	5,3	9,1	<b>21,7</b>
Master-Chronologie	-	-	-	9,1	<b>20</b>

<b>B</b>	Periodizität [a] (SSCI-Rohdaten)				
	99 %	95 %	90 %	50 %	<50 %
Chronologien					
Görjeån (GJ)	43,5	-	21,3	9,7	29,4
Grundträsktjärnbäcken (GTB)	-	-	-	-	10,9
Nuortejaurbäcken (NJB)	-	-	-	8,7	3,6
Regnitz (REG)	14,9	-	33,3	-	5,8
NWS-Wiesbaden	19,6	-	-	-	11,2

### III.3. Sauerstoffisotopie

$\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Kurven aller intraannuell beprobten Muschelschalen zeigen typische saisonale Schwankungen mit stärker negativen Werten nahe der Jahreslinien (vgl. Abb. III-16 und Abb. III-26). In den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten waren interannuelle Variationen von etwa 0,8 bis 1,1 ‰ festzustellen. Maximal wurden 1,5 ‰ (intraannuell) bzw. 2,4 ‰ als interannueller Unterschied festgestellt. Die durchschnittliche Jahr zu Jahr -Schwankung betrug 1,6 ‰. Zumeist liefen  $\delta^{13}\text{C}$ -Maxima in den intraannuellen Messdaten den  $\delta^{18}\text{O}$ -Peaks etwas voraus (ein bis zwei Probenpunkte). Maximale Spannbreiten innerhalb einer Chronologie lagen bei maximal 2,4 ‰. Die Chronologien deckten zusammen einen Bereich von  $\Delta(\delta^{18}\text{O}) = 8,02$  ‰ ab (-4,28 ‰ bis -12,30 ‰). Im Verlauf der Ontogenese konnten bei den hier beprobten Muschelschalen keine signifikanten Veränderungen in den intraannuellen Amplituden festgestellt werden.

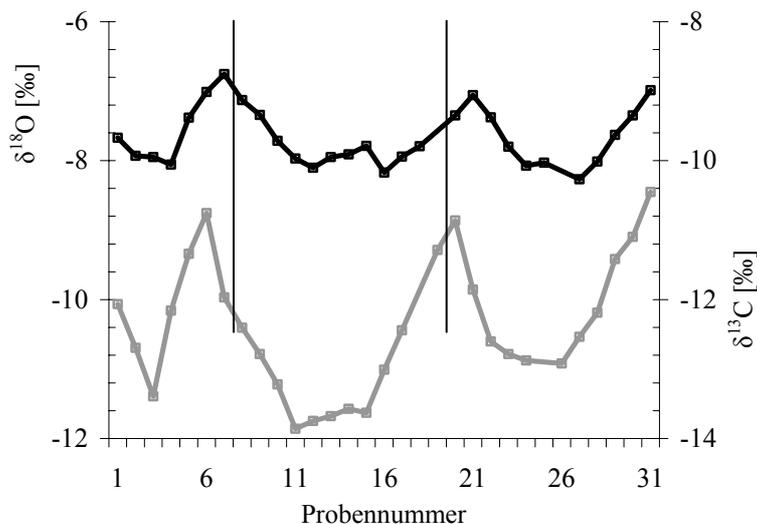


Abb. III-26: Intraannuelle Variation von  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Schale}}$ - (schwarz) und  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Schale}}$ -Werten (grau) der Regnitzmuschel SB-ZIN-D1. Jährliche Schwankungen lagen in der Regel im Bereich von 0,8 bis 1,1 ‰. Die Proben decken 2,5 Jahre Schalenwachstum ab. Der Jahresgang in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten folgt grob dem der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, senkrechte Balken kennzeichnen jährliche Wachstumslinien (Zuwachsstopp in den Wintermonaten).

Eine hohe, positive Korrelation von stabilen Kohlen- und Sauerstoffisotopen würde für eine starke Beeinflussung der Schalenisotopie durch kinetische Effekte sprechen. Im direkten Vergleich von  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$  und  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$  ergaben sich jedoch nur geringe Korrelationen; die erklärte Variabilität (vgl. Abb. III-27) betrug maximal 23 % (in der Görjeän-Population).

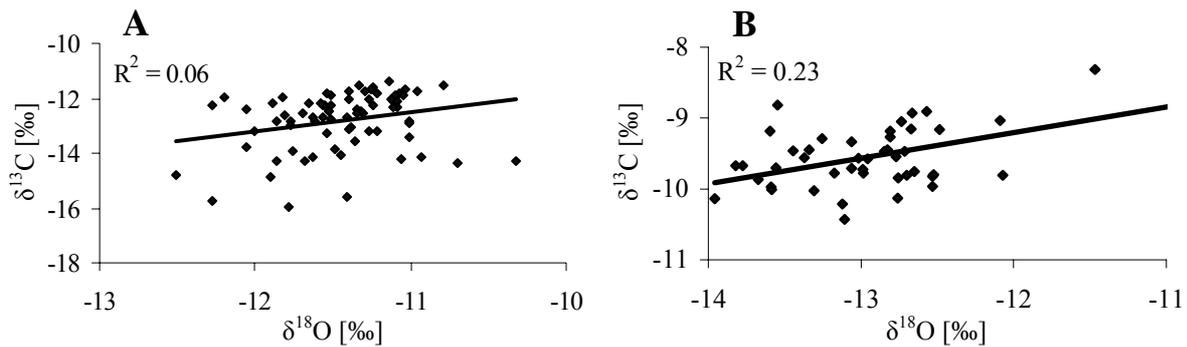


Abb. III-27:

Korrelation der stabilen Isotopenverhältnisse der Schalen ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), hier am Beispiel zweier Individuen aus dem Fluss Görjeån (A) und Grundträsktjärnbäcken (B). Es sind zwar bis zu 23 % erklärte Variabilität zu verzeichnen, jedoch müssten durch rein kinetische Effekte weitaus höhere Werte zwischen den stabilen Isotopenzeitreihen zustande kommen.

### III.3.1. Görjeån

Die Görjeån-Schalen korrelierten (signifikant) bezüglich ihrer  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Schale}}$ -Werte im Mittel mit  $r = 0,26$ . Die mittlere Gleichläufigkeit lag bei  $g = 0,57$ . Alle  $\delta^{18}\text{O}$ -Zeitreihen konnten zur Rekonstruktion der regionalen Mittelkurve verwendet werden. Vier der fünf Schalen wiesen eine sehr ähnliche Schalenisotopie auf, nur die von Individuum ED-GJ-D5 zeigte – v.a. im ontogenetisch älteren Bereich – weniger stark negative  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Schale}}$ -Werte (siehe auch Abb. III-28) auf.

Bis etwa 1880 war in der geglätteten Mittelkurve (10-Jahresfilter) ein Anstieg von  $-12,2$  ‰ hin zu weniger negativen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zu verzeichnen (bis etwa  $-10,8$  ‰). Zwischen 1880 und 1955 schwankten die Sauerstoff-Isotopenwerte nur wenig ( $\pm 0,1$  ‰) um etwa  $-11,35$  ‰ (Abb. III-28). Anschließend stiegen die Werte erneut auf etwa  $-11,8$  ‰ an.

Zwischen den  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werten und instrumentellen Daten bestanden nur geringe Korrelationen. So ergaben sich mit Temperatur-Datensätzen sehr schwache Übereinstimmungen von  $r = -0,29$  und  $r = -0,27$  (Frühjahr; Lugina 1999) und mit Winter-NADP-SST (Oktober bis April; Deser & Blackmon 1993) von  $r = -0,25$ .

In den Görjeån-Zeitreihen schwankten die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte periodisch mit 3,6 und 14,7 Jahren. Außerdem konnte eine Oszillation mit 55,5 Jahren Wellenlänge (99 % Signifikanzniveau) festgestellt werden. Wavelet-Analysen an den gefensternten Korrelationen (Abb. III-29) mit Temperaturdaten aus Stockholm (National Climatic Data Center 2007) und Sonnenfleckenzahlen (Sunspot Index Data Center 2007) ergaben Wellenlängen von  $\lambda = 16$  a (99,9 % Signifikanzniveau).

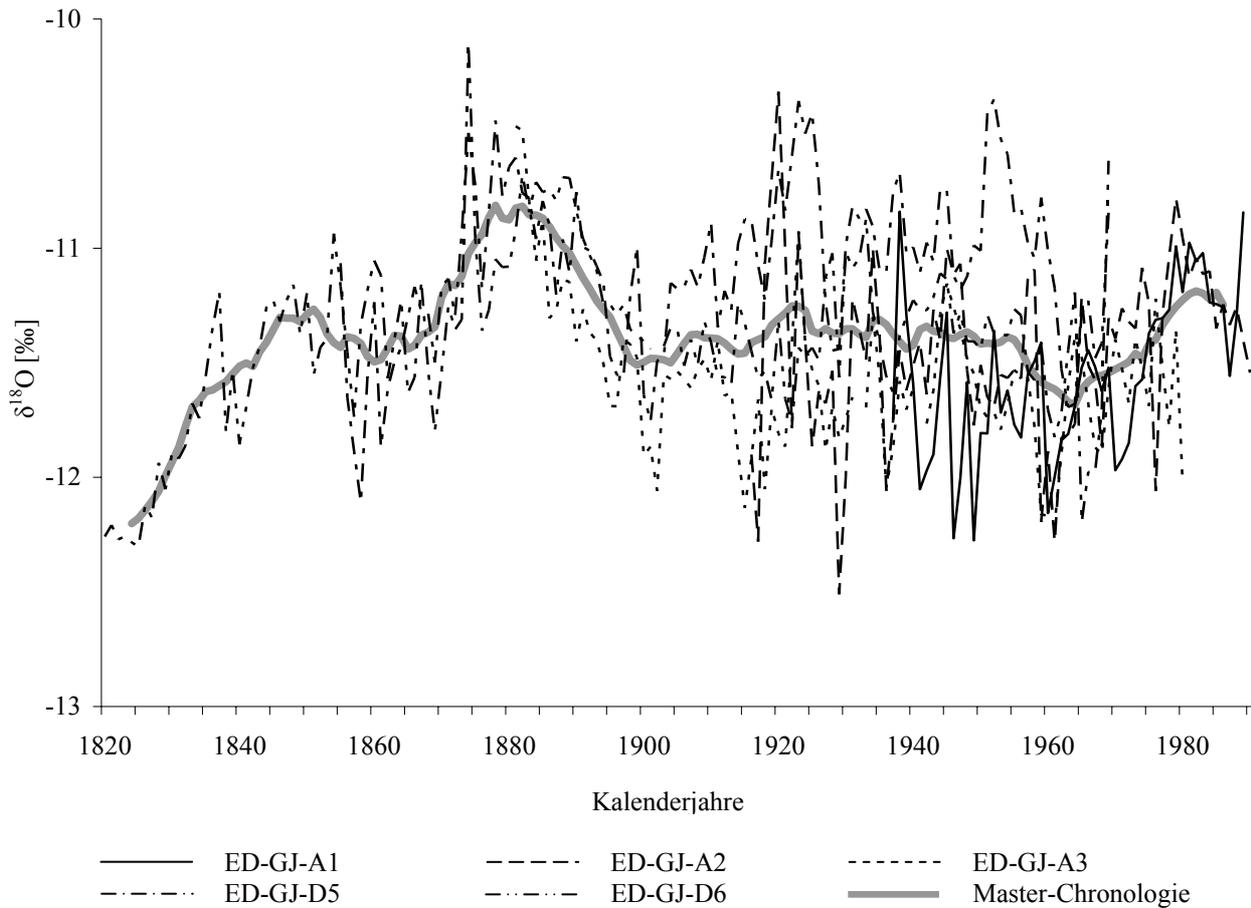


Abb. III-28:  
 $\delta^{18}\text{O}$ -Einzelzeitreihen von Muschelschalen des Görjeån (Nordschweden). Einzig die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werte von Individuum ED-GJ-D5 sind im Verhältnis zu den anderen untersuchten Schalen leicht hin zu positiveren Werten verschoben.

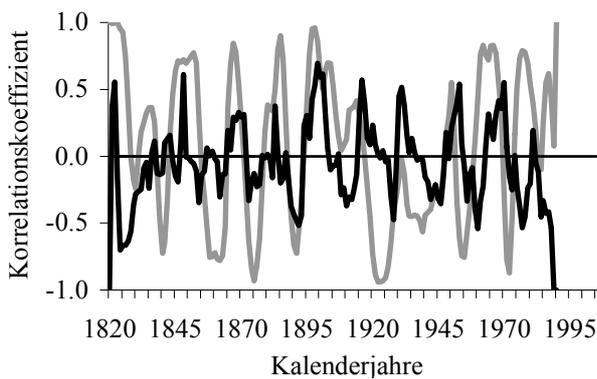


Abb. III-29:  
 Gefensterte Korrelation der  $\delta^{18}\text{O}$ -Daten mit Temperaturdaten aus Stockholm (graue Kurve; National Climatic Data Center 2007) und Sonnenfleckenzahlen (schwarze Kurve; Sunspot Index Data Center 2007). Ebenso wie bei den standardisierten Zuwachsraten und den stabilen Kohlenstoff-Isotopenwerten wurden auch hier wieder zyklisch hohe Korrelationen zwischen den verglichenen Datensätzen festgestellt.

### III.3.2. Grundträsktjärnbäcken

Die beiden Grundträsktjärnbäcken-Zeitreihen (Abb. III-30A) stimmten bei einer Gleichläufigkeit von nur  $g = 0,55$  mit  $r = 0,54$  überein. Bei Vergleichen der mit einem gleitenden 10-Jahresfilter geglätteten Mittelkurve mit instrumentellen Datensätzen (10-Jahresfilter) berechneten sich Korrelationen von  $r = 0,74$  mit Temperatur (Lugina 1999) und  $r = 0,31$  mit dem NADP-SST (Mai bis September; Deser & Blackmon 1993). Wie in Abb. III-30B an der gefensternten Korrelation der Mittelkurve mit Temperatur (10-Jahresfilter) zu sehen ist, waren um 1961, 1979 und 1992 nur äußerst geringe Korrelationen zu beobachten.

Von etwa 1945 bis 1957 wurden die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um etwa 1,5 ‰ negativer, bis sie einen Wert von -9,7 ‰ erreichten. In den zwei darauf folgenden sinusoidalen Zyklen von etwa 16 Jahren Länge war dann wieder ein leichter Trend von etwa 0,2 ‰ hin zu positiveren Werten zu verzeichnen. Inhärente Wellenlängen mit  $\lambda = 12,5$  a (99,9 % signifikant) und  $\lambda = 7,1$  a wurden in den annuellen Anomalien ebenso festgestellt, wie Perioden mit  $\lambda = 12,5$  a,  $\lambda = 7,1$  a und  $\lambda = 2,4$  a. Von letzteren konnte allerdings keine als signifikant (>90 %) bestätigt werden.

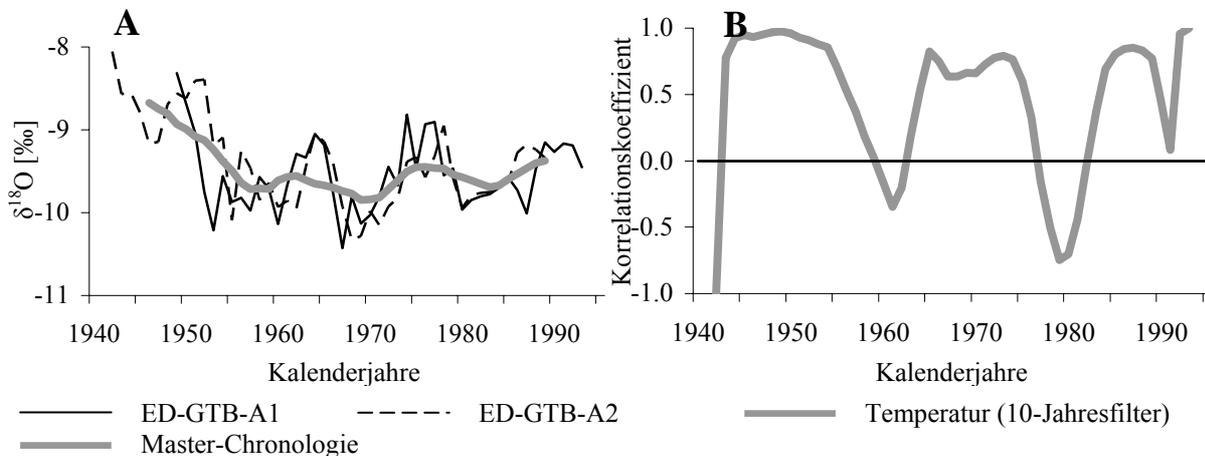


Abb. III-30:  
 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Zeitreihen (A) der beiden Grundträsktjärnbäcken-Individuen und (B) gefensternte Korrelation mit Lufttemperatur (Lugina 1999). Vergleicht man die beiden Abbildungen, so fallen keine Besonderheiten in  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven aus (A) zur Zeit der Korrelations-Minima aus (B) auf.

### III.3.3. Nuortejaurbäcken

Zur Erstellung der Master-Chronologie für den Nuortejaurbäcken wurden die vier massenspektrometrisch untersuchten Schalen verwendet (vgl. Abb. III-31). Bei einer mittleren Gleichläufigkeit von  $g = 0,63$  betrug die mittlere Korrelation zwischen den Einzelzeitreihen nur  $r = 0,19$ . Die geglättete regionale Mittelkurve (10-Jahresfilter) ließ eine Dämpfung des inhärenten, sinusoidalen Musters erkennen. Dieses hielt in einem ersten Zyklus bis etwa 1944 an und wies eine mittlere Schwankung der Werte von etwa  $0,75 ‰$  auf. In einem zweiten Zyklus, der die Kalenderjahre 1945 bis 1958 abdeckte, lag die Varianz bei etwa  $0,5 ‰$ . Ab 1960 waren nur noch geringe Schwankungen ( $\pm 0,1 ‰$ ) zu verzeichnen. Dieser Phase unterlag ein Trend hin zu etwa  $0,2$  bis  $0,5 ‰$  positiveren Werten.

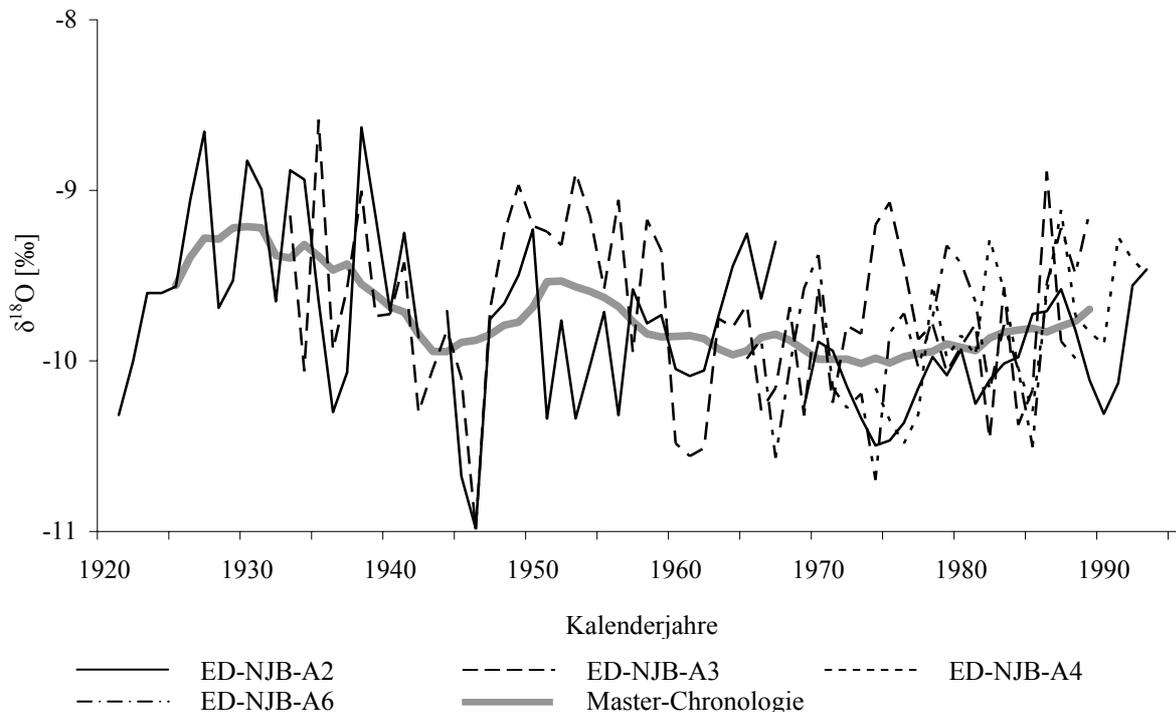


Abb. III-31:

$\delta^{18}\text{O}$ -Zeitreihen von vier Muscheln aus dem Nuortejaurbäcken in Nordschweden. Während in der ersten Hälfte des repräsentierten Zeitraums relativ hohe Variationen in der geglätteten Master-Chronologie (10-Jahresfilter) zu verzeichnen sind, ist der Kurvenlauf ab etwa 1960 nur noch geringen Schwankungen von weniger als  $0,3 ‰$  unterworfen.

Zwischen der geglätteten Master-Chronologie und dem Sommermonats-Index (Mai bis September) des NADP-SST (Deser & Blackmon 1993) ergaben sich Übereinstimmungen von  $r = 0,66$  ( $p < 0,0001$ ). Im Vergleich mit der geglätteten Temperaturkurve (Lugina 1999) wurde eine Korrelation von  $r = 0,61$  ( $p < 0,0001$ ) ermittelt. Das Ergebnis der gefensternten Korrelation der lokalen Zeitreihe mit den beiden instrumentellen Datensätzen führte zu

ähnlichen Beobachtungen wie bei den SSCI-Daten im Kapitel vorher: Perioden extrem hoher Korrelation wechselten mit solchen sehr geringer Übereinstimmung (siehe Abb. III-32A), sowohl im Vergleich mit dem bereits erwähnten Temperatur-Datensatz, als auch mit der Sonnenfleckenanzahl. Zäsuren in den Graphen zur Korrelation ergaben sich in etwa zu den Jahren 1950, 1970 und 1984.

Durch kontinuierliche Wavelet-Analysen wurden vor allem inhärente Periodizitäten mit Wellenlängen von 3,7 und 3,0 Jahren deutlich, aber auch solche mit 5,0 bzw. 8,3 und 11,8 Jahren. Keine dieser Schwingungen konnte als signifikant eingestuft werden. Einzig in der geglätteten Zeitreihe war eine Wellenlänge von 27,8 Jahren auf 99 % Signifikanzniveau. Die in der gefensternten Korrelation beobachteten Zyklen (Abb. III-32A) schwangen mit 21,7 Jahren Wellenlänge (99,9 % Signifikanzniveau).

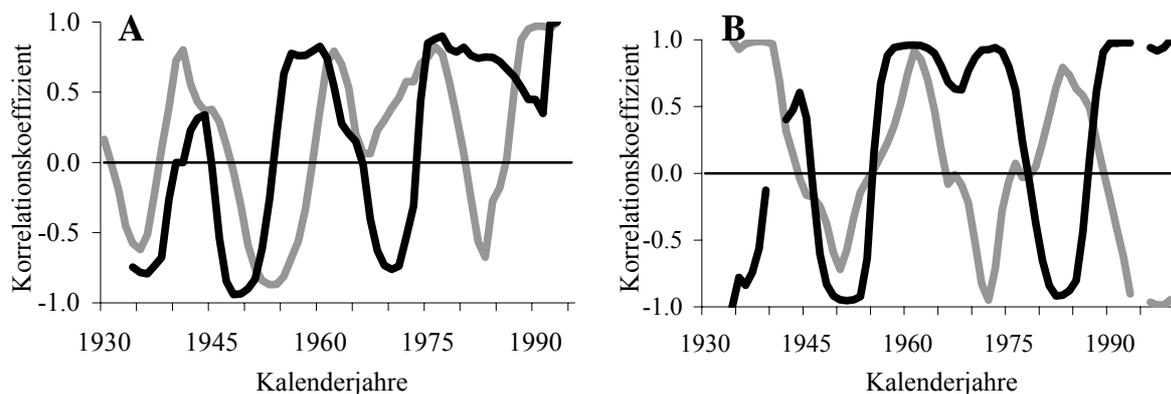


Abb. III-32: Gefensternte Korrelation (10-Jahresfilter) der Sauerstoffisotopen-Messungen an Nuortejaurbäcken- (A) und Regnitz-Schalen (B) mit Sonnenfleckenanzahl (schwarze Kurve) und Temperatur-Anomalien (graue Kurve).

### III.3.4. Regnitz

Die Einzel-Zeitreihen korrelierten mit  $r = 0,26$  bei einer geringen Gleichläufigkeit von  $g = 0,52$ . Die mit einem 10-Jahresfilter geglättete regionale Mittelkurve wies in ihrem Verlauf drei große Zyklen von je etwa 20 Jahren Dauer auf. Die jeweiligen Minima der Zyklen waren zu den Jahren 1947, 1967 und 1987 zu verzeichnen, die Maxima 1957, 1978 und 1996. Die Amplitude der Schwingungen betrug hierbei im Allgemeinen nicht mehr als 0,6 ‰. Im Vergleich der gemittelten regionalen Chronologie (Abb. III-33) mit den instrumentellen Datensätzen war nur die Übereinstimmung von  $r = 0,35$  (10-Jahresfilter;  $p < 0,01$ ) bzw.  $r = 0,34$  (annuell;  $p < 0,01$ ) mit Temperatur-Anomalien (Lugina 1999) von nennenswerter

Bedeutung. Bei einem zeitlichen Versatz von +4 Jahren würde jedoch die Mittelkurve mit der SGI-Zeitreihe des Nuortejaurbäcken und mit dem Index des NADP-SST (Deser & Blackmon 1993) mit  $r = 0,74$  bzw.  $r = 0,42$  korrelieren.

Durch kontinuierliche Wavelet-Analysen konnten bei der Regnitz-Mittelkurve keine inhärenten Periodizitäten herausgelesen werden. Die Fourier-Analyse resultierte jedoch in einer Wellenlänge von  $\lambda = 21,3$  a auf 99,9 % Signifikanzniveau. Die gefenstertere Korrelation mit den Sonnenfleckenzahlen wies eine Periodizität von etwa 22,7 Jahren auf (99,9 % signifikant). Allerdings kommt es zu keiner erkennbaren Koinzidenz zwischen den Extrema der geglätteten regionalen Sauerstoffisotopen-Zeitreihe und den Korrelationsminima bzw. -maxima aus der gefensterteren Korrelation (vgl. Abb. III-32B).

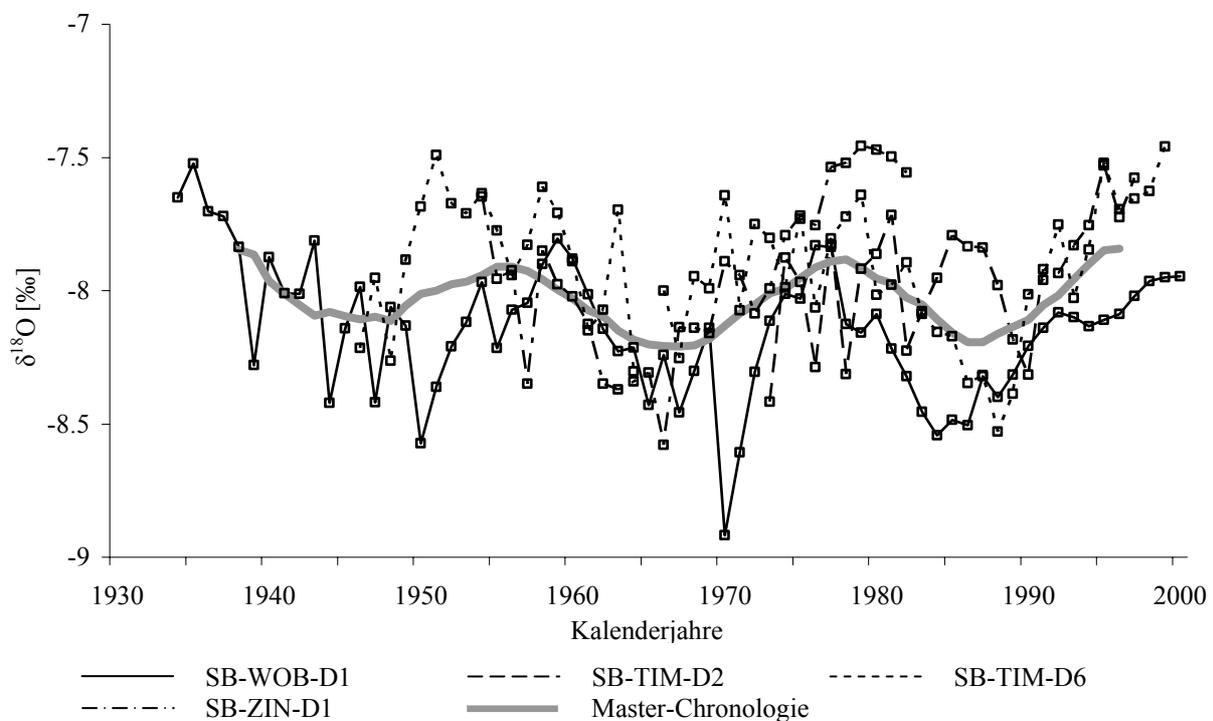


Abb. III-33:  $\delta^{18}\text{O}$ -Chronologien der untersuchten Regnitz-Muschelschalen. Deutlich sind in der geglätteten regionalen Mittelkurve (10-Jahresfilter) drei Zyklen von je etwa 22 Jahren Länge erkennbar.

### III.3.5. Schalenmaterial unsicherer Herkunft

Die Schale von Individuum NWS-WI-D3 aus der Naturhistorischen Landessammlung des Museums Wiesbaden deckte das Zeitintervall von 1798 bis 1853 ab und war somit das zeitlich älteste untersuchte Individuum. In der geglätteten  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Kurve (siehe Abb. III-34) war ein Trend von anfangs etwa  $-5,3$  ‰ um  $0,2$  ‰ hin zu positiveren Werten zu verzeichnen.

Schwach ausgeprägt waren drei Zyklen zu erkennen, die eine maximale Wertespanne von 0,7 ‰ aufwiesen. Leider reichte die Zeitreihe nicht weit genug in die jüngere Vergangenheit, um Vergleiche mit den verwendeten instrumentellen Datensätzen ziehen zu können.

Durch kontinuierliche Wavelet-Analysen wurden drei der Sauerstoff-Isotopenzeitreihe inhärente Schwingungen ermittelt. Die deutlichste hatte eine Wellenlänge von  $\lambda = 2,9$  a inne, war jedoch nur über die Jahre 1808 bis 1819 vertreten. Die zweitstärkste war über die ganze Zeitreihe aktiv mit  $\lambda = 10,6$  a. Eine weitere Oszillation mit  $\lambda = 6,7$  war ab 1823 zu beobachten. Die Fourier-Analyse an der Zeitreihe ergab eine auf 95 % signifikante Schwingung mit der Wellenlänge  $\lambda = 18,5$  a.

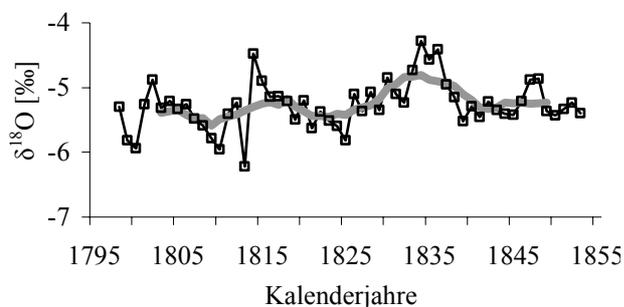


Abb. III-34:  
Sauerstoffisotopie der Schale NWS-WI-D3. Wie zuvor in den Schalen anderer Lokalitäten beobachtet, zeichnen sich auch hier langwellige Zyklen in der mit einem 10-Jahresfilter geglätteten Kurve (graue Kurve) ab

### III.3.6. Vergleich der lokalen Mittelkurven

Die vier relativ kurzen  $\delta^{18}\text{O}$ -Chronologien des Görjeån, Grundträsktjärnbäcken, Nuortejaurbäcken und der Regnitz (Abb. III-35) wiesen signifikante Perioden von neun Jahren auf. Bis auf die Grundträsktjärnbäcken-Chronologie lagen hierbei die saisonalen Amplituden bei weniger als 1 ‰. Die beiden Zeitreihen des Görjeån und der Schale aus der NWS Wiesbaden, die das davor liegende Zeitfenster, also von 1800 bis 1900, abdeckten, hatten Trends hin zu positiveren Werten gemeinsam. Die mittlere Korrelation der Zeitreihen belief sich auf  $r = 0,50$ . Hierbei waren drei Zeitreihen-Vergleiche statistisch signifikant, zum einen Görjeån / Nuortejaurbäcken mit  $r = 0,26$ , dann Nuortejaurbäcken / Regnitz mit  $r = 0,25$  und schließlich Görjeån / NWS mit einer Korrelation von  $r = 0,49$ . Die mittlere Gleichläufigkeit lag bei  $g = 0,50$ .

Die wahrscheinlich aus Frankreich stammende Schale der NWS Wiesbaden (vgl. Kap. IV.3. Sauerstoffisotopie) zeigte Schalenisotopen-Werte auf, die sich auf einem Niveau von etwa -5,3 ‰ bewegten. Schalen des weiter östlich und nördlicher gelegenen Flusses Regnitz hatten im Mittel ein Schalen-Isotopenverhältnis von etwa -7,9 ‰ aufzuweisen, während die

Muscheln der nahe beieinander gelegenen Bäche Nuortejaurbäcken und Grundträsktjärbäcken auch ähnliche  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werte aufwiesen, die um -9,5 ‰ lagen. Schalen des nördlichsten Flusses Görjeån hatten die weitaus negativste Sauerstoffisotopie vorzuweisen, die im Allgemeinen bei etwa -11,5 ‰ angesiedelt waren

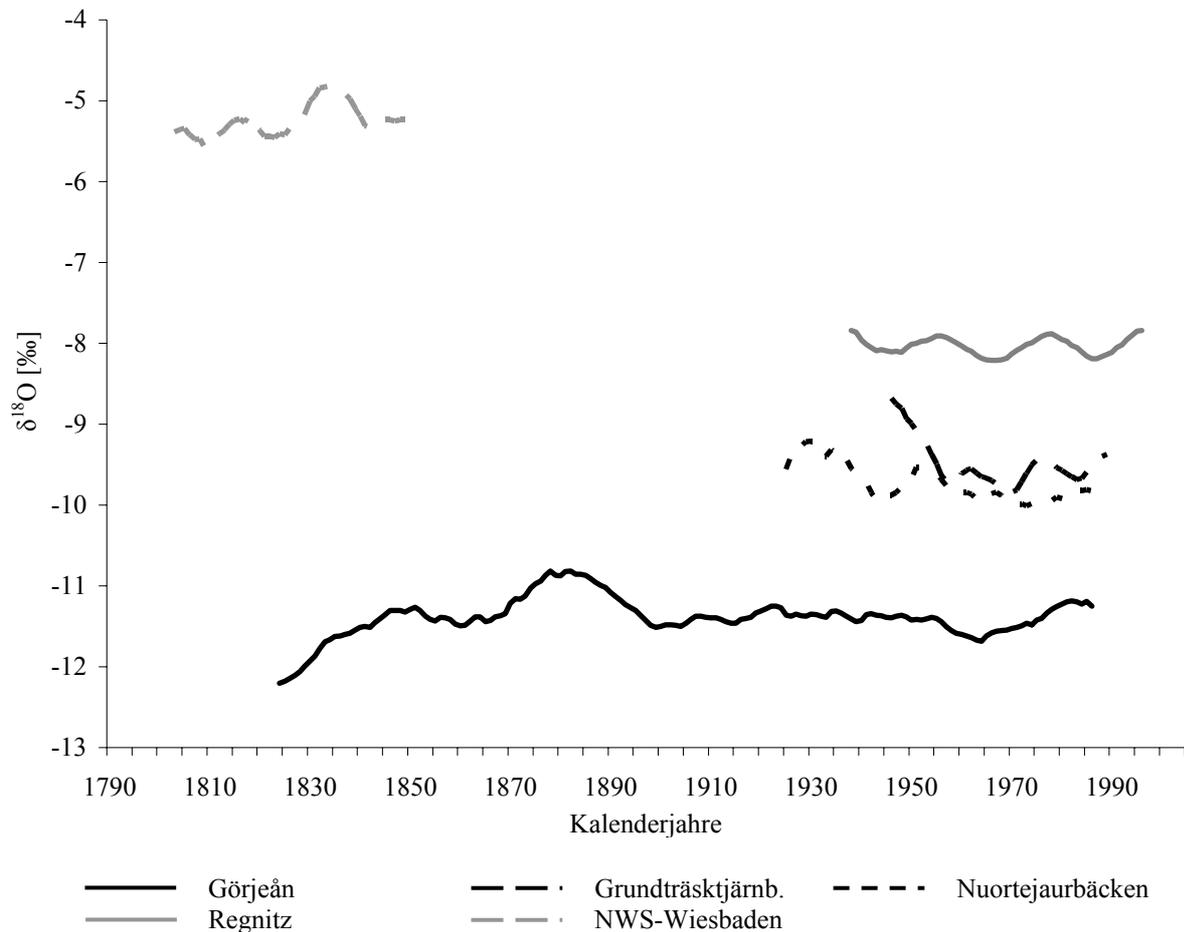


Abb. III-35:

Übersicht über die geglätteten regionalen Mittelkurven (10-Jahresfilter) aus Sauerstoff-Isotopenverhältnissen der untersuchten Muscheln. Die einzelnen Lokalitäten sind neben ihrer großräumlichen Trennung auch durch die Isotopie der Schalen voneinander zu unterscheiden. Einzig die beiden Bäche Grundträsktjärbäcken und Nuortejaurbäcken lagen in der Schalenisotopie nahe beieinander.

## IV. Diskussion

Wie in Abbildung III-2 zu erkennen, wuchsen die finnischen Muscheln (Kolmosjoki) deutlich stärker als die Populationen verschiedener Flüsse in Schweden und Deutschland. Im Mittel lag die Abweichung bei etwa 115 %. Als mögliche Ursache für diese Unterschiede kommen voneinander abweichende Messverfahren in Betracht. Entlang der Längsachse gemessene Jahresinkrementbreiten würden 160 % über den Werten der Höhenachse liegen. Jedoch wurden alle untersuchten Schalen entlang der Achse minimalen Wachstums zerteilt und die Inkrementbreiten nach exakt dem selben Protokoll gemessen, nämlich senkrecht von der Kontaktstelle der Jahreslinie an der Prismenschicht / Perlmuttertschicht zur nächstfolgenden Jahreslinie. Demnach wuchsen die finnischen Muscheln tatsächlich schneller als die Tiere in allen übrigen untersuchten Flüssen. Aufgrund taxonomischer Untersuchungen kann ausgeschlossen werden, dass diese Unterschiede auf artspezifischen Verschiedenheiten beruhen. Alle untersuchten Muscheln gehören zur Art *Margaritifera margaritifera*.

Als maßgebende wachstumsteuernde Prozesse werden in der Literatur im Wesentlichen drei Aspekte genannt, nämlich Temperatur (Pannella & MacClintock 1968; Jones 1978), Nährstoffgehalt (Coe 1948) und Verschmutzung (Dunca et al. 2005). Temperatur und Schadstoffbelastungen können als Ursache für die beobachteten Unterschiede im Wachstum allerdings ausgeschlossen werden, da die Temperaturen des Kolmosjoki nicht signifikant von denen des Grundträsktjärnbäcken oder Görjeån abweichen. Alle untersuchten Flusssysteme sind darüber hinaus kaum schadstoffbelastet. Allerdings könnten günstigere Nährstoffbedingungen (mehr Phytoplankton, Spurenelemente) im Kolmosjoki ein verstärktes Wachstum begünstigt haben.

Die Populationen aus Schweden und Deutschland weisen darüber hinaus eine signifikant höhere interannuelle Varianz im Zuwachs auf als die finnische Population. Vermutlich beruht das auf unterschiedlich hohen Probenzahlen. Aus dem Kolmosjoki wurden 32 Individuen sklerochronologisch gemessen, aus den übrigen Flüssen dagegen nur bis zu 13 Individuen (siehe auch Tab. III-3). Interannuelle Schwankungen bilden sich bei geringerer Probenbreite stärker ab als bei höherer.

## ***IV.1. SGI-Zeitreihen***

Ein wesentliches Ergebnis vorliegender Untersuchungen ist der nur geringe Zusammenhang zwischen Schalenzuwachs und instrumentellen Messdaten wie Temperatur etc. auf hochfrequenten Zeitskalen. Schon allein die Tatsache, dass Zuwachsmuster verschiedener Individuen einer Population zum Teil sehr hohe Übereinstimmungen aufwiesen, belegte die Annahme einer gemeinsamen Beeinflussung des Wachstums durch extrinsische Effekte (und hier v.a. Temperatur und Nahrung). Immer wieder wurden jedoch nur schwache  $r$ -Werte vor allem mit Temperatur-Aufzeichnungen festgestellt (Grundträsktjärnbäcken, Nuortejaurbäcken und Regnitz). Der zuvor in anderen Arbeiten (z.B. Schöne et al. 2006a) erwähnte Zusammenhang zwischen Zuwachsraten und Niederschlag konnte nur für zwei Lokalitäten (Grundträsktjärnbäcken:  $r = -0,39$ ; Nuortejaurbäcken:  $r = -0,37$ ) nachgewiesen werden. Ähnlich geringe mathematische Korrelationen waren im Vergleich mit den Flussperlmuschel-Daten von Schöne et al. (2004) und Dunca et al. (2005) zu beobachten. So gab es immer wieder Übereinstimmungen von bis zu  $r = 0,53$ , z.B. mit der Bölsmanån-Zeitreihe, doch bewegten sich die  $r$ -Werte der beiden regionalen Chronologien für Schweden maximal zwischen  $r = 0,20$  und  $r = 0,29$  (Nuortejaurbäcken und Görjeån). Aus der neu konstruierten Master-Chronologie für Schweden / Finnland und Deutschland errechneten sich nur schwache Korrelationen von  $r = 0,25$  mit der Schweden-Chronologie von Dunca et al. (2005) und von  $r = -0,25$  mit dem NADP-SST-Index.

Die hier festgestellten Beobachtungen weichen stark von Beobachtungen an anderen Muscheln ab und können auf drei Hauptursachen zurückgeführt werden:

- (1) Unterschiedlich klimatisch beanspruchte Habitats,
- (2) verschiedenartig ausgeprägte Biotope und
- (3) unterschiedlich starke Beeinflussung durch Süßwasserzufluss.

Die Stärke der sklerochronologisch und geochemisch aufgezeichneten Klimasignale kann durch Unterschiede im Lebensraum der Muscheln überlagert werden. Habitatsunterschiede können somit dazu führen, dass sich Klimaverhältnisse der Vergangenheit nicht aus den Schalen rekonstruieren lassen. Die untersuchten Lokalitäten repräsentieren Biotope in humiden Gebieten der borealen, kaltgemäßigten Zone (Kolmosjoki, Görjeån, Nuortejaurbäcken, Grundträsktjärnbäcken) und der warmgemäßigten Zone (Regnitz, NWS Wiesbaden). Zudem sind die Lokalitäten der Regnitz- und NWS Wiesbaden-Populationen weitaus stärker durch Westwinde geprägt als die fennoskandinavischen Habitats. In Bezug

auf Morphologie und Ausprägung der Gewässer handelt es sich bei den Lokalitäten Nuortejaur- und Grundträsktjärnbäcken um von Seen gespeiste Bäche. Die Regnitz-Population spiegelt verschiedene kleine, der Regnitz zufließende Bäche wider. Görjeån, Kolmosjoki und der Tarn (Frankreich), der Quellfluss der Schale aus der NWS Wiesbaden, sind größere Flüsse mit entsprechend größeren Einzugsgebieten.

Die nördlichsten Lokalitäten Kolmosjoki und Görjeån werden dominiert von Schmelzwasser, das bis April / Mai die Haupt-Süßwasserquelle bildet. Von Juni bis August zeigt sich ein starker Einfluss des Grundwassers, während das Flusswasser im September und Oktober vor allem von Niederschlag geprägt ist. Die Hauptquelle der Nahrungszufuhr ist dementsprechend im Frühjahr und Herbst als ein Resultat des Oberflächen-Abflusses zu sehen, im Sommer vor allem als Ergebnis erhöhter Bioproduktion.

Temperatur als Hauptwachstumsfaktor wäre allenfalls in den südlichen Populationen zu erwarten, da die Bäche Nuortejaur- und Grundträsktjärnbäcken stark von den zugehörigen Seesystemen bestimmt werden. Die stehenden Gewässer schwächen klimabedingte Signale ab. Veränderungen in der Lufttemperatur bilden sich erst nach einer gewissen Verzögerung in See- bzw. Wassertemperaturen ab. Organisches Material, das durch Niederschlag in den Wasserkreislauf eingebracht wird, lagert sich am Seeboden ab und steht nur noch begrenzt zum Weitertransport in den abfließenden Bächen zur Verfügung. Zudem wird die Wassertemperatur des einfließenden Frischwassers durch den sich relativ langsamer erwärmenden Wasserkörper des Sees abgeschwächt. Entsprechendes gilt auch für die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Wasser}}$ -Werte.

In der Literatur wurde bereits von signifikanten Zusammenhängen zwischen Schalenwachstum von bivalven Mollusken und Temperatur (Pannella & MacClintock 1968; Jones 1978), Nährstoffgehalt (Coe 1948) und Niederschlagsraten (Schöne et al. 2006a) berichtet. Darüber hinaus schwankt der jährliche Zuwachs von Muscheln jedoch auch auf dekadischen Zeitskalen. Ursache hierfür sind natürliche Klimaschwankungen wie ENSO oder NAO. Für *Arctica islandica* sind beispielsweise signifikante Abhängigkeiten zwischen den SGI-Zeitreihen und der NAO (Nordatlantische Oszillation; Schöne et al. 2003), für *Margaritifera falcata* hohe Korrelationen mit der El Niño Southern Oscillation (ENSO; Schöne et al. 2006a) bekannt.

Während bei der Flussperlmuschel nur geringe Übereinstimmungen zwischen Jahr-zu-Jahr-Schwankungen im Schalenwachstum und Umweltparametern festgestellt werden konnten, bestehen deutlich stärkere Übereinstimmungen auf dekadischen Zeitskalen, z.B. mit

NAO oder NADP-SST. Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten zwischen der Master-Chronologie und NAO ergab einen Wert von  $r = 0,46$  bzw. von  $r = 0,59$  mit NADP-SST.

Systeme wie NAO, AO oder NADP-SST wirken sich großräumlich unterschiedlich aus. Während die NAO zwar europaweit in positiven Index-Phasen zu warmen und feuchten Wintern führt, prägt sie sich doch besonders stark in Zentraleuropa aus und in zunehmend schwächerem Maße in Nordeuropa. Zu negativen Index-Phasen herrschen über ganz Europa kalte, trockene Winter. Die Arktische Oszillation beeinflusst nur die nördlichsten Zeitreihen, obwohl von Telekonnektionen mit anderen natürlichen Oszillationen, z.B. der NAO (Ambaum et al. 2001), berichtet wird. Bezüglich der Oberflächenwassertemperaturanomalien (NADP-SST) sind bei negativen Indizes vor allem wärmere Bedingungen in Zentraleuropa und geringere Unterschiede zu Nordeuropa zu erwarten, während positiver Phasen sollten hingegen starke Gradienten zwischen Nord- und Zentraleuropa festzustellen sein, die sich in Temperaturkorrelationen spiegeln würden.

Wenn auch nur schwach, so korrelierten die Schalenwachstums-Daten doch mit der Temperatur (nördliche Hemisphäre). Durch den weiter oben besprochenen Reservoir- bzw. Puffer-Effekt der Seen kam es nicht nur bei den stabilen Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopen oftmals zu einem Wechsel von positiven hin zu negativen  $r$ -Werten, sondern auch bei den SGI-Zeitreihen im Vergleich mit dem Index zur Arktischen Oszillation. Während die untersuchten Zeitreihen recht unterschiedliche Korrelationskoeffizienten aufwiesen, ergaben sich mit einem zeitlichen Versatz der Zeitreihen um +3 bzw. +4 Jahren höhere  $r$ -Werte. So sind Korrelationen von  $r = 0,22$  (Görjeån, +3),  $r = -0,11$  (Grundträsktjärnbäcken, +3),  $r = -0,23$  (Nuortejaurbäcken, +4),  $r = 0,19$  (Regnitz, +4) und  $r = 0,16$  (NWS, +3 Jahre) berechnet worden. Vergleiche mit der Master-Chronologie resultierten in  $r = 0,32$ , was sich allerdings größtenteils aus der wahrscheinlich durch Telekonnektion bedingten Abhängigkeit der Regnitz-Zeitreihe ( $r = 0,43$ ) von der Arktischen Oszillation ableitete. Die beiden von Seen gespeisten Bäche zeichnen also – ganz wie bei den aus stabilen Isotopen konstruierten Zeitreihen – bezüglich der Korrelationen ein umgekehrtes Bild wie die restlichen Lokalitäten.

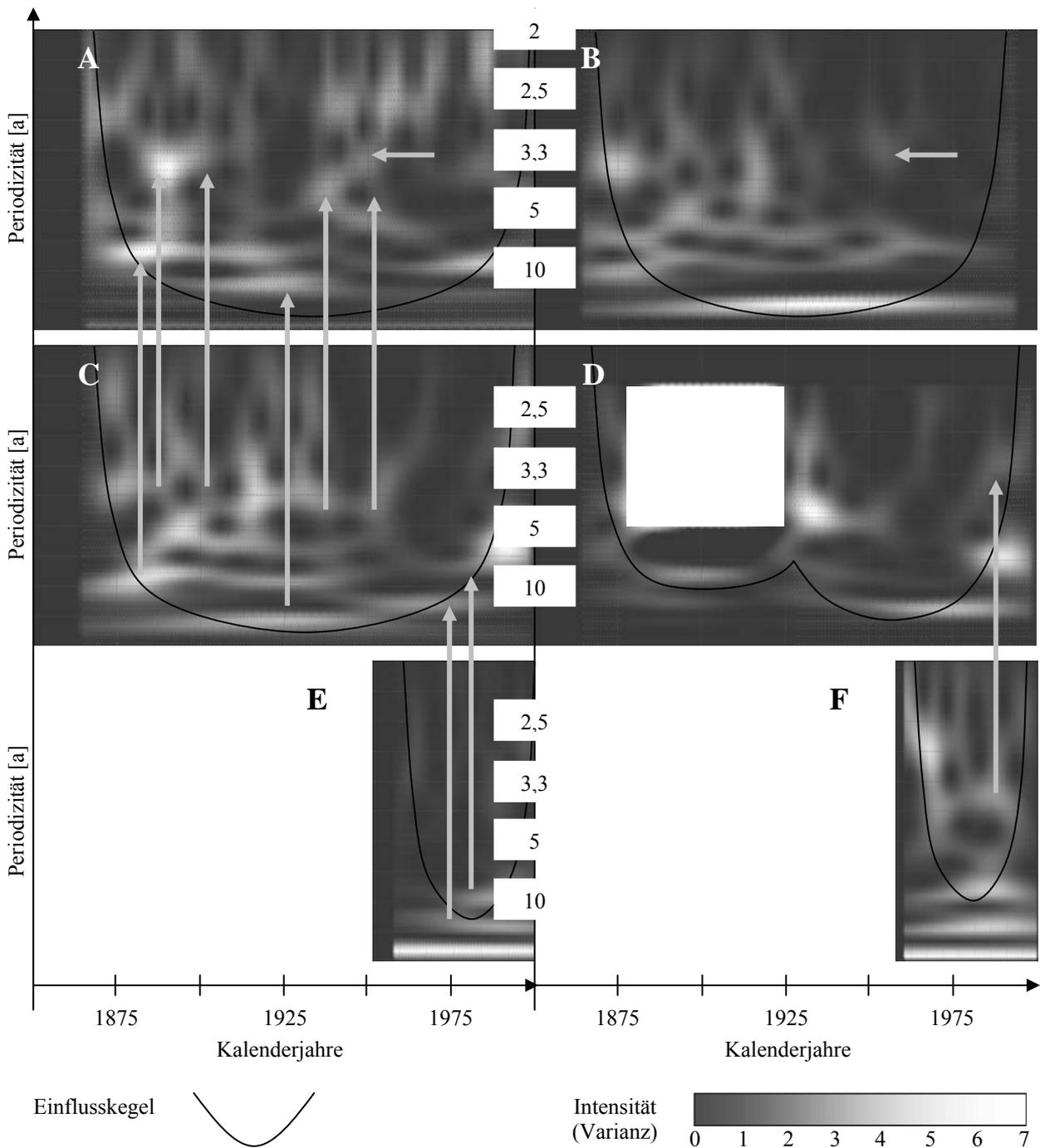


Abb. IV-1:  
 Kontinuierliche Wavelet-Analysen der NAO (A), NADP-SST (E), AO (F) und der regionalen Nord- (B) und Süd-Chronologie (D) sowie der Master-Chronologie (C) aus standardisierten Zuwachsraten. Deutlich treten die Gemeinsamkeiten in den Periodizitäten zwischen den einzelnen Zeitreihen hervor. Sind in der ersten Hälfte der konstruierten Chronologien im kurzwelligen Bereich ( $<6$  a) noch die typischen (gitternetzartigen) Muster der NAO zu sehen, sind diese in den letzten Jahren nur noch schwach oder überhaupt nicht mehr zu erkennen. Zwar gibt es bei den Signalen mit Wellenlängen  $>6$  a auch Übereinstimmungen zwischen dem NAO und den konstruierten Datensätzen, doch scheinen sich hier vor allem die langwelligeren Signale von AO und NADP-SST als dominante Signalgeber durchzusetzen. Das weiße Rechteck in (D) stellt eine Datenlücke in der Süd-Chronologie dar, da die ältesten Regnitz-Individuen aus einer Zeit nach dem Tod des NWS-Wiesbaden Exemplars stammten.

Obwohl die untersuchten Zeitreihen keinen statistischen Zusammenhang mit den natürlichen Klimaoszillationen aufzeigen, weisen sie doch ähnliche langwellige Signale auf (vgl. Abb. IV-1). Im Gegensatz zur Nordatlantischen Oszillation sind NADP-SST und AO von Perioden mit Wellenlängen  $>6$  a dominiert. Diese Wellenlängen treten zwar auch bei der NAO auf, doch sind sie weitaus stärker in den beiden anderen natürlichen Schwingungen vertreten. Eine Reihe von kurzwelligen ( $<4$  a) Oszillationen des NAO scheint sich vor allem in der ersten Hälfte der hier konstruierten Master-Chronologie widerzuspiegeln. In der zweiten Hälfte der Master-Zeitreihe ist dieses Muster jedoch nur noch schwach zu sehen. Im Gegensatz dazu bleiben die langwelligen Signale weiterhin bestehen.

Die beobachtete Signal-Abschwächung lässt verschiedene Interpretationen zur Entstehungsgeschichte zu. Zum einen ist es möglich, dass die zeitlich variierende Datendichte dieses Phänomen verursacht. Mit jüngerem Kalenderdatum nimmt aufgrund der Taphonomie die Probendichte des subrezentem Materials zu. Dies führt im Allgemeinen bei gering korrelierten Zeitreihen zu einer Dämpfung der Signalstärke in der Master-Chronologie. Da sich mit zunehmender Individuenzahl das Signalrauschen erhöht, kommt es zu einer Mittelung der kurzfristigen Signale und nur noch langwellige Oszillationen sind zu erkennen.

Eine andere Deutungsmöglichkeit besteht in einer klimabedingten, zunehmenden Entkopplung der aufgezeichneten Umweltbedingungen von der NAO. Da diese Oszillation aus einer Interaktion des Druckunterschieds zwischen Island-Tief und Azoren-Hoch entsteht, wirkt sich die globale Erwärmung auch auf eine geographische Verlagerung dieses meteorologischen Phänomens aus. Dies zeigt sich wiederum in einer klimatischen Veränderung in den Untersuchungsgebieten. Der Klimawechsel wäre somit als Veränderung des sklerochronologisch aufgezeichneten Signals in den kontinuierlichen Wavelets zu erkennen. Einer geographischen Veränderung könnte zusätzlich eine temporäre Veränderung des Signals nach sich ziehen. Verändert sich die Position der Motoren dieser Oszillation, verlagern sich in der Folge Meeres- und Luftströme. Obwohl die NAO eine natürliche Schwingung ist, die sich vor allem auf Winter-Niederschlag auswirkt, hat sie auch durch Art und Menge des Winter-Niederschlags (Regen oder Schnee) über die Schneeschmelze Einfluss auf Sommervegetation, Nährstoffzufuhr und Isotopie des Wassers.

## IV.2. Stabile Kohlenstoffisotopie

Die aus Schalen der Flussperlmuschel konstruierten  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Kurven wiesen populationspezifische Trends auf. Es konnten drei Muster unterschieden werden (vgl. Abb. IV-2A):

(1) Die  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte wurden mit zunehmendem Lebensalter negativer und erreichten ab 15 bis 23 Jahren (vgl. Kurve b in Abb. IV-2A) Wertebereiche um  $-11.5\text{‰}$  (Grundträsktjärnbäcken) bzw.  $-12.5\text{‰}$  (Nuortejaurbäcken). Nach diesem Zeitpunkt war kein Trend mehr zu erkennen. Ähnliche Beobachtungen machte bereits Jones (1985) an der marinen Muschel *Mercenaria mercenaria*. Er sah einen Anstieg in den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten mit zunehmendem Alter der Muschel als ontogenetisch bedingt.

(2) Die stabilen Kohlenstoffisotopen-Werte verliefen in genau der entgegengesetzten Richtung, von ca.  $-10\text{‰}$  in juvenilen Schalenabschnitten hin zu 1 bis 3  $\text{‰}$  weniger negativen Werten (vgl. Abb. IV-2A, Kurve a). Hier können die Görjeån-Muscheln oder NWS-WI-3 als Beispiel herangezogen werden. In den beiden bisher beschriebenen Fällen betrug die absolute  $\delta^{13}\text{C}$ -Variation im Laufe der Ontogenese je etwa 5  $\text{‰}$ . Lorrain et al. (2004) und Goewert et al. (2007) sehen in dieser Art Trend das Resultat eines erhöhten Sauerstoffbedarfs mit höherem ontogenetischen Alter, während gleichzeitig der Bedarf an respiratorischem Kohlenstoff steigt. Während Lorrain et al. (2004) die marine Muschel *Pecten maximus* zu Forschungszwecken heranzogen, untersuchten Goewert et al. (2007) die ebenfalls im Süßwasser lebende, unionide Muschel *Lampsilis cardium*.

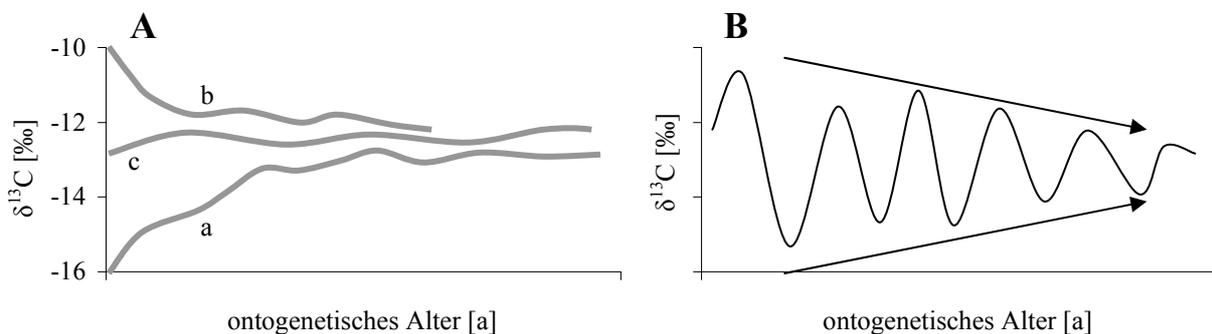


Abb. IV-2:

Schema zu den Trends in der  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenisotopie. A: Drei Muster wurden in den beprobten Schalen beobachtet. Zum einen Trends 1.Ordnung von negativen hin zu positiveren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (a), dann genau gegenläufige Trends (b) und schließlich geringe Variation um einen Mittelwert (c). Durch kontinuierliche Wavelet-Analysen war es möglich, Trends 2.Ordnung zu untersuchen, da die der 1.Ordnung durch *Detrending* herausgerechnet wurden. B: Neben den drei vorher beschriebenen Mustern wurde auch bei den meisten Einzelzeitreihen ein weiterer Effekt beobachtet. Im Verlauf der Ontogenese konnte bei den betreffenden Individuen eine Abnahme der Amplitudenhöhen der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Kurve beobachtet werden.

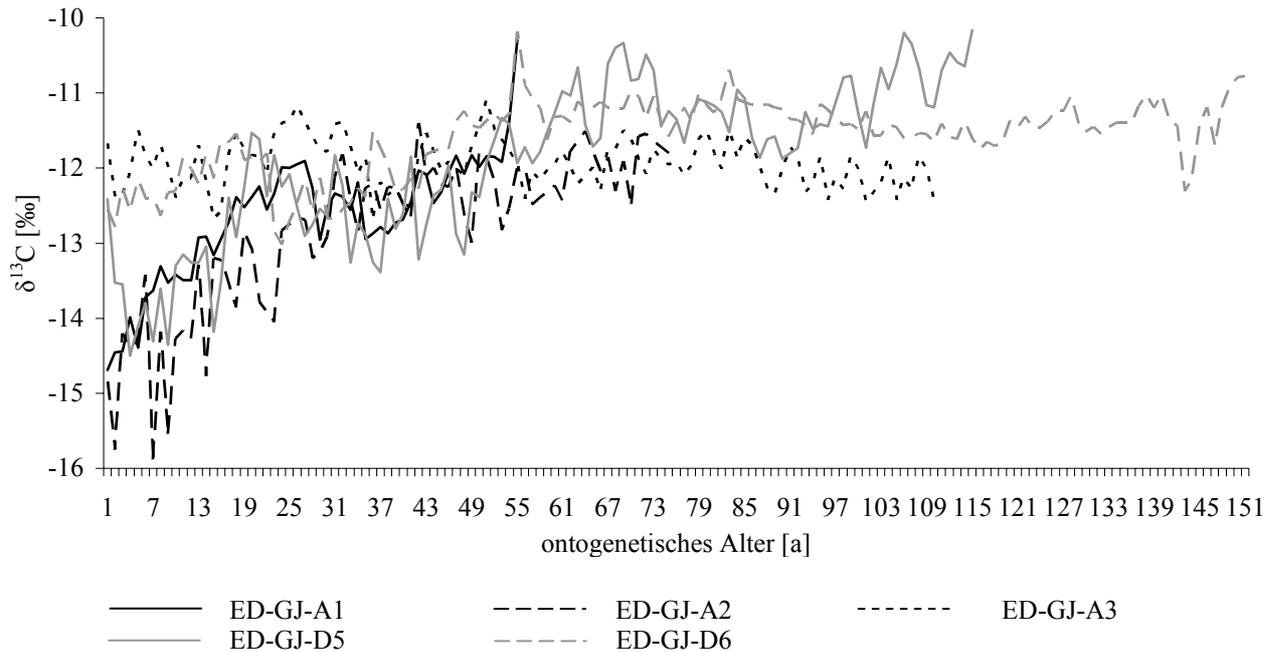


Abb. IV-3:  
Ontogenetisch angeordnete  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalendaten der Görjeän-Muscheln. Den Zeitreihen sind ontogenetisch bedingte Trends gemein. Aufgrund von Erosion im Umbonalteil können die Zeitreihen der beiden Individuen ED-GJ-A3 und -D6 weiter nach rechts, also in höhere ontogenetische Alter, verschoben werden und passen somit auch in das Muster.

(3) Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bewegten sich ohne erkennbare Trends (vgl. Kurve c in Abb. IV-2A) um einen Wert von z.B.  $-12,5\text{‰}$  bei Muscheln der Regnitz.

Fry & Allen (2003) veröffentlichten Schalenisotopen-Daten zu *Dreissena polymorpha*, der Zebrauschel, und beschrieben ähnliche Beobachtungen. Bei Muscheln einer Lokalität (Ohio River, USA) wurden Schwankungen in der  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenisotopie von  $-8\text{‰}$  bis  $-11\text{‰}$  gemessen, was vergleichbar mit den ersten beiden zuvor beschriebenen Fällen ist. Die Umgebung des Ohio River war hierbei durch bewaldete Gebiete, also v.a. C3-Pflanzen, gekennzeichnet. Bei Schalen aus einem zweiten Fluss (bei Baton Rouge, USA) bewegten sich jedoch, ganz wie bei den Regnitz-Muscheln, die Werte um einen gemeinsamen Mittelwert, in diesem Fall  $-9\text{‰}$ . Das Einzugsgebiet des zweiten Flusses war u.a. auch von Maisfeldern (Mais: C4-Pflanze) bestimmt. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass wohl die Menge und der Ursprung des eingeschwemmten organischen Materials ausschlaggebend für die Ausrichtung dieser beobachteten Trends sein könnte.

Ähnliche Wertespanspannen wie bei den beiden erstgenannten Punkten weiter oben, also von etwa  $4\text{--}5\text{‰}$  in  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenwerten, sind auch in der Literatur für Süßwassermuscheln angegeben. So führen Geist et al. (2005) ebenfalls für die Lebensspanne von *Margaritifera margaritifera* den Wertebereich von  $-10\text{‰}$  bis  $-15\text{‰}$  an. In *Elliptio complanata* wurden

Werte zwischen -9 ‰ und -14,5 ‰ nachgewiesen (Veinott & Cornett 1998). Gillikin et al. (2007) berichteten, dass sie in Schalen der marinen Muschel *Mercenaria mercenaria* im Laufe der Ontogenese eine Verschiebung der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte um 4 ‰ in Richtung negativerer Werte beobachteten.

#### IV.2.1. Ursachen für die Trends in der Schalenisotopie

Zwölf der siebzehn in dieser Arbeit massenspektrometrisch untersuchten Muscheln wiesen eine weitere Gemeinsamkeit bezüglich ihrer  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenisotopie auf. Im Laufe der Ontogenese wurden die Amplituden der  $\delta^{13}\text{C}$ -Kurve immer kleiner. Während z.B. in den ersten 10 bis 15 Lebensjahren eine durchschnittlich maximale jährliche Variation von 1,37 ‰ gemessen wurde, betrug sie bei den Tieren hohen Alters (>80 a) nur noch 0,99 ‰.

Die  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte der Muschelschalen werden folglich durch ontogenetisch bedingte Trends beeinflusst. Zeitreihen zweier Tiere, die weder gleich alt sind noch im gleichen Zeitfenster lebten, können sich somit auch nicht ähneln. Hinzu kommt, dass das tatsächliche Alter der Individuen aufgrund der Erosion im Umbonalteil der Schale nicht festgestellt werden kann.

$\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte werden im Wesentlichen gesteuert durch den DIC-Gehalt (Dissolved Inorganic Carbon) des umgebenden Mediums (z.B. Mook & Vogel 1968) und eine Kombination aus kinetischen und metabolischen Effekten (Keith et al. 1964, Dettman et al. 1999, Lorrain et al. 2004). Wäre es möglich, den Einfluss der Störfaktoren zu quantifizieren und herauszurechnen, wäre möglicherweise ein neuer Proxy für Temperatur bzw. Bioproduktivität gefunden (vgl. Craig 1953, Fritz & Poplawski 1974, Owen et al. 2002). Metabolische Effekte üben dabei allerdings einen Effekt von bis zu maximal 10 ‰ auf die stabile Kohlenstoffisotopie der Schale aus (Lorrain et al. 2004; Gillikin et al. 2005).

Durch die beschriebenen Beobachtungen an den in dieser Arbeit untersuchten Muschelschalen können schon verschiedenste Gründe für das Auftreten der unterschiedlichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Trends ausgeschlossen werden. Kinetische Effekte sind – zumindest innerhalb einer Art – immer gleichgerichtet, d.h. verlaufen immer nur hin zu positiveren oder negativeren Werten. Dies hat im Allgemeinen hohe Korrelationen von  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zur Folge (McConnaughey 1989). Beides ist hier nicht der Fall. So bestehen bei den untersuchten Proben nur geringe Korrelationen zwischen den stabilen Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenwerten (vgl. Abb. IV-4). Zudem ist die Tatsache, dass die Effekte nicht gleichsinnig auftreten (d.h. mit einem Verlauf von relativ leichteren hin zu schwereren

Isotopenverhältnissen und umgekehrt), nicht mit einem Modell unter Einfluss von kinetischen Effekten vereinbar. Gleiches gilt für eine Einwirkung auf das  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$  durch den sog. Suess-Effekt (Suess 1955), der lediglich eine Verschiebung des Signals zu Beginn der Zeitreihen um -1 bis -2 ‰ mit sich bringen würde.

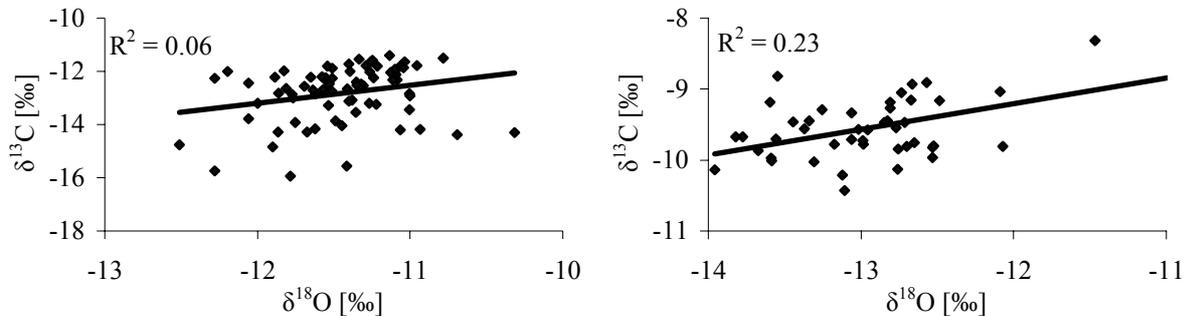


Abb. IV-4:

Korrelation von annualen  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten, hier am Beispiel zweier Individuen aus dem Fluss Görjeån (links) und Grundträsktjärnbäcken (rechts). Es sind zwar bis zu 23 % erklärte Variabilität zu verzeichnen, jedoch müssten durch rein kinetische Effekte weitaus höhere Korrelationen zwischen den stabilen Isotopenzeitreihen zustande kommen.

#### IV.2.2. Auswirkungen des DIC-Pools auf $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$

Zwei weitere Erklärungsmöglichkeiten kommen für die beobachteten Muster jedoch noch in Frage, nämlich externe und interne Veränderungen im DIC-Pool. Für Veränderungen von außen sind natürliche Schwankungen im  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Gehalt am wahrscheinlichsten. Zu Veränderungen in der Isotopie des DIC-Pools könnte es z.B. durch Algenblüten bzw. hohe Phytoplankton-Aktivität kommen (vgl. Finlay 2001). Durch extensive Bioproduktion wird vor allem leichtes  $^{12}\text{C}$  aus dem DIC-Pool entfernt und es kommt zu einer relativen Anreicherung von  $^{13}\text{C}$  im Wasser, welches dann entsprechend vermehrt in die Schale von Süßwassermuscheln eingebaut werden würde. Durch diesen Vorgang könnten jedoch nur die kurzweiligen Schwankungen des  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Schale}}$ -Gehalts erklärt werden, da sich die langweiligen Trends ja unabhängig von den Kalenderjahren und anscheinend abhängig vom ontogenetischen Alter ausbilden.

Finlay (2001) beschreibt einen starken Zusammenhang zwischen Isotopie von Algen bzw. herbivoren Tieren und Größe des Einzugsgebiets. Zwischen Herbivoren und Algen konnte dabei kein Unterschied / keine Fraktionierung beim Einbau der stabilen Isotope festgestellt werden. Außerdem wurde beobachtet, dass mit zunehmender Entfernung von der Quelle eine

geringere Korrelation von  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  (Wasser) mit den  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten des terrestrischen Detritus festzustellen ist bzw. die Bedeutung von  $\delta^{13}\text{C}$  aus Algen eine größere Rolle einnimmt. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass auch mit der Größe eines fließenden Gewässers das Verhältnis von Blätterdach zu Wasseroberfläche abnimmt und Photosynthese verbessert stattfinden kann. Diese Erkenntnisse ließen sich auch auf die untersuchten Lokalitäten anwenden. Mit der Größe des Einzugsgebiets und gleichzeitig der Entfernung von der Quelle nimmt die Bedeutung von terrestrischem Detritus auf die Schalenisotopie ab und die des  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Algen}}$ -Werts als DIC und somit Nahrungsquelle zu. Erst mit hohem Alter der Tiere wird die Energie nicht mehr primär für das Wachstum der Schale benötigt.

Porenwasser kann als DIC-Quelle für die Schale ausgeschlossen werden. Es ist zwar bekannt, dass sich starke Gradienten von bis zu -1 ‰ pro cm Sedimenttiefe (McCorkle et al. 1985) im  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Gehalt des Porenwassers ausbilden können, doch leben Flussperlmuscheln im Adoleszenz- und Adultstadium zu flach eingegraben. Außerdem filtrieren sie Wasser aus genügender Entfernung vom Sediment, als dass sich hier Effekte bemerkbar machen könnten. Nur während eines sehr jungen Stadiums der Ontogenese, kurz nach ihrem Dasein als Glochidien, sind sie im Sediment vergraben zu finden (Bauer 1986, 1992).

Das beobachtete Einpendeln um einen gemeinsamen Wertebereich erfolgte wahrscheinlich als kombinierter Effekt der geochemischen Equilibrierung und der Ontogenese. Während ontogenetisch junger Lebensabschnitte wird Schalenmaterial aufgrund des schnelleren Wachstums auch sehr zügig abgelagert. Umgekehrt verhält es sich natürlich im hohen Alter der Muschel, Schalenmaterial wird wesentlich langsamer angebaut und es herrscht genügend Zeit zur geochemischen Equilibrierung.

Frisch in den Organismus als DIC eingebrachter Kohlenstoff wird im Juvenilstadium sofort in die Schale mit eingebaut, während er bei älteren Tieren erst eine gewisse Zeit im EPF verweilt und es dort zu einem Konzentrationsausgleich zwischen altem und neuem Kohlenstoff kommen kann. Des Weiteren steht das Fluid höchstwahrscheinlich durch verschiedene Vorgänge und Ionen-Brücken mit dem Süßwasser-DIC in Verbindung, wodurch es zu einem weiteren Austausch kommen kann.

Zudem könnte das EPF mit zunehmendem Alter und Körpergröße bzw. -masse der Muschel auch in erhöhtem Maße durch respiratorisches  $\text{CO}_2$  beeinflusst werden (Lorrain et al. 2004). Junge Tiere weisen nur eine geringe Körpermasse auf und benötigen dementsprechend wenig Energie für den Metabolismus. Mit zunehmender Schalengröße wächst auch die Körpermasse und entsprechend der Bedarf des Organismus an Energie, die vor allem durch respiratorische Effekte gewonnen wird. Diesem Effekt wirkt allerdings auch ausgleichend

entgegen, dass gerade im Jugendstadium sehr viel Energie in das Wachstum gesteckt werden muss. Mit zunehmender Größe wird deshalb wiederum relativ weniger Energie investiert, um neues Schalenmaterial und mehr Körpermasse zu bilden.

Als Futterquelle für Süßwassermuscheln gelten kleinste organische Partikel (POM: *Particulate organic matter*). Es ist jedoch durchaus möglich und wahrscheinlich, dass die Futterquelle zu einem Gros aus eingeschwemmter Organik der umliegenden Waldböden besteht (siehe hierzu auch Finlay 2001). Der Mittelwert für organischen, sedimentären Kohlenstoff beträgt im Mittel etwa -23 ‰ bis maximal -26 ‰, C3-Pflanzen (die meisten Gräser, Bäume) weisen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -22 ‰ bis -30 ‰ auf, C4-Pflanzen (z.B. Mais) von -10 ‰ bis -14 ‰ (van der Merwe 1982). Typische  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Werte für Süßwassersysteme ( $\text{HCO}_3^-$ ) liegen zwischen -10 und -12 ‰. Nach Austausch mit atmosphärischem  $\text{CO}_2$  erfolgt eine Verlagerung des Gleichgewichts um etwa +2 ‰, nach Vermischung mit aus dem Boden stammenden  $\text{CO}_2$  liegt es bei etwa -17 ‰. Die bei den Muscheln gemessenen Schalenwerte von -11,8 ‰ bis -12,5 ‰ spiegeln somit einen realistischen Wert für eine geochemische Ausgleichsreaktion zwischen metabolisch fraktioniertem  $\delta^{13}\text{C}$  aus C3-Pflanzen und Grundwasser. Das fraktionierte  $\delta^{13}\text{C}$  wiederum ist selbst als eine Mischung von verrottender Organik (Blätter, Boden, Detritus) im Größenbereich von FPOM (*fine particular organic matter*) und DOC zu sehen.

Wie schon in Material und Methoden beschrieben wurde, handelt es sich bei der Flussperlmuschel um eine Art, die eng an einen begrenzten Bereich des pH-Werts des umgebenden Mediums gebunden ist (Bauer 1988, Dunca 1999). Dies schließt Variationen im pH-Wert als Ursache für die Trends in der Schalenisotopie bzw. Änderungen in der Chemie des Flusswassers aus. Kurzfristige Schwankungen im pH-Wert werden nicht aufgezeichnet, da in Stresssituationen das Schalenwachstum eingestellt oder minimiert wird (siehe auch Dunca 1999).

Werden nun die ökologischen Rahmenbedingungen mit in Betrachtung gezogen, so fällt auf, dass die beiden Bäche, die ontogenetische Trends im  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$  zu stärker negativen Werten aufzeigen (Grundträsktjärn- und Nuortejaurbäcken), von Seen gespeist werden. Die relativ hohen  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte könnten somit durch eine Art Reservoir-Effekt in den Seen entstanden sein. In Seen werden natürliche Zyklen gepuffert und verzögert. Weitere Oszillationen, wie die bereits oben beschriebenen Algenblüten, überprägen die schwächeren Klimasignale. Es wäre somit durchaus denkbar, dass die Muscheln aus dem Grundträsktjärnbäcken und Nuortejaurbäcken den durch Algenblüten beeinflussten DIC-Pool der Seen in ihren Schalen widerspiegeln.

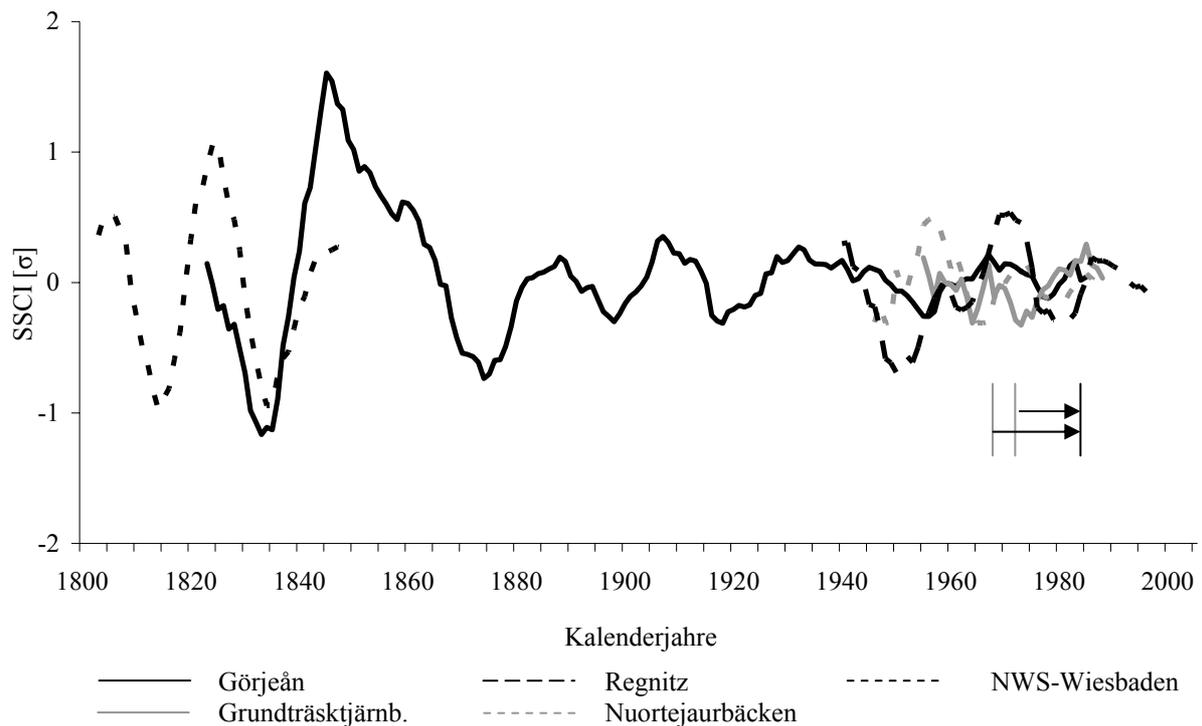


Abb. IV-5:  
Geglättete regionale SSCI-Chronologien (10-Jahresfilter). Die hier in grau dargestellten Zeitreihen der durch Seen gespeisten Bäche (Grundträsktjärn- und Nuortejaurbäcken) weichen deutlich in ihren  $\delta^{13}\text{C}$ -Signaturen von den anderen Zeitreihen ab. Dies ist wahrscheinlich in einer Art Pufferwirkung der Seen auf Umweltsignale begründet. Ein zeitlicher Versatz von 12 für den Grundträsktjärnbäcken und 16 Jahren für den Nuortejaurbäcken, im Verhältnis zur Regnitz-, NWS-Wiesbaden- und Görjeån-Zeitreihe, ist in der Abbildung durch die Pfeile verdeutlicht (siehe auch Abb. IV-6).

Eine zusätzliche Information ist zumindest für den Grundträsktjärnbäcken von Bedeutung. Hier wurden in den Jahren vor der Probennahme immer wieder verstärkt Baumfällarbeiten im Zuflussgebiet der Seen durchgeführt (eigene Beobachtung und persönliche Mitteilung durch Mitarbeiter das Länsstyrelsen i Norrbottens Län in Luleå). Dementsprechend kam es jeweils nach den Rodungen zur Neu- bzw. Erstbesiedlung der Lichtungen durch Farne und Gräser. Dies sollte wiederum zu einer starken Verschiebung des mittleren  $\delta^{13}\text{C}$ -Bodenwertes bzw. des DIC-Pools führen, nämlich hin zu weniger stark negativen  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Werten.

Der durch die Seen hervorgerufene Reservoir-Effekt ist auch in den regionalen SSCI-Chronologien zu beobachten (siehe Abb. IV-5). Grundträsktjärnbäcken- (GTB) und Nuortejaurbäcken-Chronologie (NJB) sind um 12 (GTB) bzw. 16 Jahre (NJB) gegen die Chronologien aus Frankreich, Deutschland und dem Görjeån in Schweden verschoben (Abb. IV-5 und IV-6).

Die anderen Flüsse, also Görjeån, Regnitz und Tarn (in Frankreich, der Fundort der Schale aus der NWS-Wiesbaden), stellen Systeme dar, die entweder nahe an der

Grundwasserquelle gelegen sind (Regnitz) oder ein großes Einzugsgebiet (Görjeån, Tarn) aufweisen. Hierdurch lässt sich auch erklären, dass die  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte von Schalen aus dem Regnitz-System im Rahmen der allgemeinen Grundwasserwerte liegen. Entsprechende Ergebnisse spiegeln die Schalen aus dem Tarn (NWS-Wiesbaden) und des Görjeån wider, die aufgrund des größeren Einzugsgebiets der jeweiligen Gewässer durch  $\delta^{13}\text{C}$  aus Sediment/Grundwasser-Durchmischung beeinflusst sind. Folglich könnten annuelle Mittelwerte geronter Individuen einer Population zur Rekonstruktion des DIC-Gehalts des Quellwassers zur Zeit der Schalenbildung benutzt werden. Im Fall der hier untersuchten Schalen würden somit DIC-Werte von etwa -12,1 ‰ für den Görjeån gelten, -12,7 ‰ für den Grundträsktjärbäcken, für den Nuortejaurbäcken -11,8 ‰, -12,6 ‰ für die Regnitz und schließlich -9,3 ‰ für den Tarn. Diese Werte liegen alle im Bereich bereits veröffentlichter DIC-Daten. Dabei werden durchschnittliche  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -Werte (Wasser) von etwa -14 ‰ aufgeführt (Hellings et al. 2000, Kaandorp et al. 2003), es kommen allerdings auch Werte von -7 bis -16 ‰ vor (z.B. Finlay 2001).

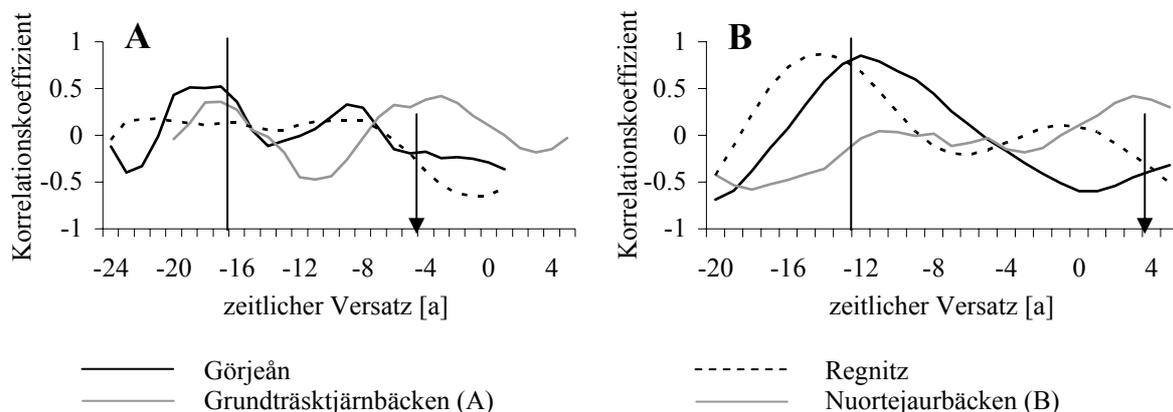


Abb. IV-6:

Gefensterte Korrelation der Zeitreihen von Grundträsktjärbäcken (GTB) und Nuortejaurbäcken (NJB; graue Kurven) gegen die SSCI-Chronologien von Görjeån und Regnitz (schwarze Kurven). Das durch die Seen gepufferte Signal weist im Nuortejaurbäcken (A) einen zeitlichen Versatz (senkrechte, schwarze Linie) von 16 Jahren auf, im Grundträsktjärbäcken (B) beträgt er 12 Jahre. Ein zeitlicher Versatz von vier Jahren zwischen den Bachzeitreihen (GTB, NJB) ist in beiden Teilabbildungen zu erkennen.

### IV.2.3. Sonstige Ursachen für Trends in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werten

Im Gegensatz zu den  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Zeitreihen, die im nächsten Kapitel „IV.3. Sauerstoff-Isotopie“ beschrieben werden, waren bei den  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ - bzw. den SSCI-Zeitreihen keine latitudinalen Trends erkennbar. Es wurden zwar Unterschiede in Mittelwerten der letzten Lebensjahre von Exemplaren unterschiedlicher Lokalitäten festgestellt, diese waren jedoch

nicht durch Höhenlage oder geographische Breite zu erklären. Allenfalls durch die Größe des Zuflussgebiets (vgl. Finlay 2001) ließe sich in Kombination mit dem Breitengrad ein vager Zusammenhang herleiten: leichte  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte im Norden gegen schwerere im Süden, wobei durch größere Einzugsgebiete die Verhältnisse gegen  $^{13}\text{C}$  verschoben werden. Um diesen Zusammenhang statistisch abzusichern, wird jedoch eine höhere Probendichte bzw. Lokalitätsdichte benötigt. Ein Trend hin zu schwereren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten in kleineren Flusssystemen könnte als Folge des höheren Einflusses durch eingeschwemmtes organisches Material aus dem Boden gedeutet werden.

Bei Muscheln hohen Alters stellt sich ein Gleichgewicht in der Schale zwischen Kohlenstoff aus der Nahrung und dem umgebenden Medium ein. Durch das Detrending der  $\delta^{13}\text{C}$ -Zeitreihen werden folglich die ontogenetisch bedingten Muster entfernt. Demnach hätten die in dieser Arbeit beschriebenen SSCI-Oszillationen (Kap. III.2.3.) ihren Ursprung in Änderungen der Umweltparameter. Von diesen Parametern können Variationen im pH-Wert des Wassers aufgrund des geringen Toleranzbereichs von *Margaritifera margaritifera* ebenso als Auslöser für die Oszillationen in den SSCI-Zeitreihen ausgeschlossen werden wie Änderungen in der Salinität, da es sich ja bei den Habitaten um Süßwasser-Systeme handelt. Nur der Einfluss der Bioproduktivität verbleibt in der Auswahl der möglichen Umweltparameter, da z.B. auch physiologische Schwingungen nicht zu überlagernden Kurven bei verschiedenen alten Individuen führen würden.

Wie schon weiter oben erwähnt, entzieht Phytoplankton dem DIC-Pool bevorzugt  $^{12}\text{C}$ , wodurch es bei verstärkter Bioproduktivität zu einer Verschiebung von  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  in Richtung positiver bzw. weniger stark negativer Werte kommt (vgl. Lorrain et al. 2004 und Finlay 2001). Für die untersuchten Gebiete waren weder kurz- noch langzeitige Datenreihen aus z.B. Loggerdaten oder Satellitenaufnahmen vorhanden. Deshalb wurden andere instrumentelle Zeitreihen (siehe Kap. II.4.5.) zum Vergleich mit den SSCI-Zeitreihen herangezogen.

Die Nordatlantische Oszillation (Jones et al. 1997) und die Schwankungen im Dipol der Meeresoberflächenwasser-Temperaturanomalien (NADP-SST; Deser & Blackmon 1993) üben dominanten Einfluss auf die Klimaentwicklung in Nordeuropa aus. Temperatur und Sonneneinstrahlung (Sonnenfleckenzahlen mit eingeschlossen) wirken auf die Aktivität des Phytoplanktons ein. Durch höhere Niederschlagsraten kommt es zu vermehrtem Eintrag von Nahrungsmaterial in die Gewässer und somit auch zu Änderungen im  $\delta^{13}\text{C}$ -Haushalt der Muscheln.

Es ist zu erwarten, dass wohl nur Muscheln nahe beieinander liegender Lokalitäten hohe Übereinstimmungen in den konstruierten SSCI-Zeitreihen aufweisen. Aufgrund der Tatsache,

dass die für diese Arbeit untersuchten Habitate jedoch häufig weit mehr als 1000 km voneinander entfernt sind, werden Gemeinsamkeiten – wenn vorhanden – nur bei Glättung der Zeitreihen erkennbar und mit den instrumentellen Datensätzen vergleichbar. Hinzu kommen weitere Faktoren, die in Betracht gezogen werden müssen. Sich relativ langsam vollziehende, mehrere Jahre andauernde Verlagerungen von Hoch-/ Tiefdruckgebieten oder Meeresströmungen wirken sich in Seen dämpfend auf die SSCI-Signale aus. Unter Einbezug der kontinuierlichen Wavelet- und Fourier-Analysen sollten jedoch ähnliche bis gleiche Muster und Periodizitäten auftreten, da sich, wenn auch zum Teil zeitlich gegeneinander verschoben, großräumige Umweltänderungen auf alle Habitate auswirken.

Aufgrund des Reservoir-Effekts wurden die Chronologien des Nuortejaurbäckens und des Grundträsktjärbäckens nicht mehr mit in die Erstellung der Master-Chronologie für Nord-Europa einbezogen, sondern einzeln betrachtet und diskutiert. Auffällig ist, dass beide Lokalitäten schwach positive Korrelationen ( $r_{\text{NJB}} = 0,24$  und  $r_{\text{GTB}} = 0,27$ ) mit Winter-NADP-SST (Deser & Blackmon 1993) und Temperatur-Aufzeichnungen (Lugina 1999) aufwiesen. Während die Görjeån-Chronologie sogar noch stärker positive Zusammenhänge ( $r = 0,52$ ) mit dem NADP-SST erkennen ließ, wurden im Gegensatz dazu negative Korrelationen zwischen dieser instrumentellen Zeitreihe und den Regnitz-Individuen verzeichnet ( $r = -0,43$ ). Dies, wie auch die unterschiedlich starke Ausprägung der Temperatur-Korrelation, lässt sich sehr leicht durch eine Kombination aus Reservoir-Effekt und räumlicher Entfernung erklären. Der Wasserkreislauf des Sees führt zur Dämpfung und Verzögerung des isotopisch gespeicherten NADP-SST-Signals. Dementsprechend sind die Zeitreihen der regional näher beieinander liegenden schwedischen Lokalitäten gleichartig ausgerichtet, aber unterschiedlich in ihrer Intensität.

Was für den NAO (Jones et al. 1997) bekannt ist, also regional unterschiedliche Auswirkungen des Systems, könnte auch hier in Betracht gezogen werden. Je nach Ausprägung des Dipols würden verschiedene Gebiete regional unterschiedlich von Wetter- und Klimaphänomenen beeinflusst werden. Bei stärker positiven Anomalien wäre relativ warmes Klima im Norden und moderates bis kaltes Klima in Mitteleuropa die Folge, bei negativen entsprechend umgekehrt. Die Korrelation zwischen der Mittelkurve aus Görjeån-, Regnitz- und Tarn-Muscheln, also ohne die durch Reservoir-Effekte beeinflussten Zeitreihen, und dem NADP-SST-Index (Deser & Blackmon 1993) für die Monate Mai bis August, resultierte in einem Wert von  $r = 0,57$ . Als Szenarien für hohe Korrelationen von Temperatur, Niederschlag und somit auch NADP-SST und NAO mit den Muschel-Zeitreihen in Schweden stünden folglich folgende vier Möglichkeiten zur Verfügung:

a) positiver NAO – positiver NADP-SST (+/+):

Während Phasen positiver NAO-Indizes (Hurrell 1995, Jones et al. 1997) ist die Druckdifferenz zwischen Island-Tief- und Azoren-Hochdruckgebiet besonders stark ausgeprägt, was zu relativ milderen, aber auch stürmischeren und niederschlagsreicheren Wintern vor allem in Nordeuropa führt. Da es sich beim NADP-SST (Deser & Blackmon 1993) um eine durch die Temperatur bestimmte Größe handelt, die Anomalien zwischen den beiden Polen vor Neufundland und der Südost-Küste von Amerika beschreibt, ist bei positivem Index mehr Regen und Wärme zu erwarten, bei negativem trockenere Kälte. Bei Koinzidenz von positiven Phasen dieser beiden natürlichen Oszillationen wären also besonders warme und feuchte Jahreszeiten zu erwarten, was zu relativ erhöhter Bioproduktivität auf dem Festland führen würde. Durch das indirekte Einwirken des Faktors (Oberflächenwasser-) Temperatur ist auch der nur schwache Zusammenhang mit den Zeitreihen zu erklären. Zu hohen Vergleichswerten kommt es nur bei idealen Verhältnissen, also „+/-“ Bedingungen, was bei den untersuchten Schalen anscheinend alle 12 bis 13 bzw. 20 bis 25 Jahre der Fall war.

b) positiver NAO – negativer NADP-SST (+/-):

Bei positivem NAO- und negativem NADP-SST-Index werden die Effekte beider Klimafaktoren gedämpft, wobei die NAO wahrscheinlich die für das terrestrische Klima dominantere Oszillation ist. Für eine deutliche Ausprägung in den SSCI-Zeitreihen fehlt die Beeinflussung durch die beiden besprochenen natürlichen Klimaoszillationen.

c) negativer NAO – positiver NADP-SST (-/+):

Zu Phasen negativer NAO-Indizes herrscht nur ein geringer Druckunterschied zwischen Azoren-Hoch und Island-Tief. Hierdurch kommt es in Europa zu kalten, trockenen Wintern mit relativ weniger Winterstürmen. Durch das Einbringen warmen Wassers bei positiven NADP-SST-Phasen ist das NAO-Muster nur schwach ausgeprägt. Somit kommt es zu einem ganz ähnlichen Effekt wie bei dem weiter oben behandelten Fall „+/-“. Es werden keine dominanten Signalen in den SSCI-Zeitreihe aufgezeichnet.

d) negativer NAO – negativer NADP-SST (-/-):

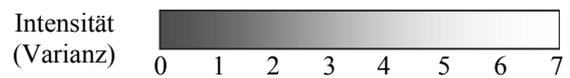
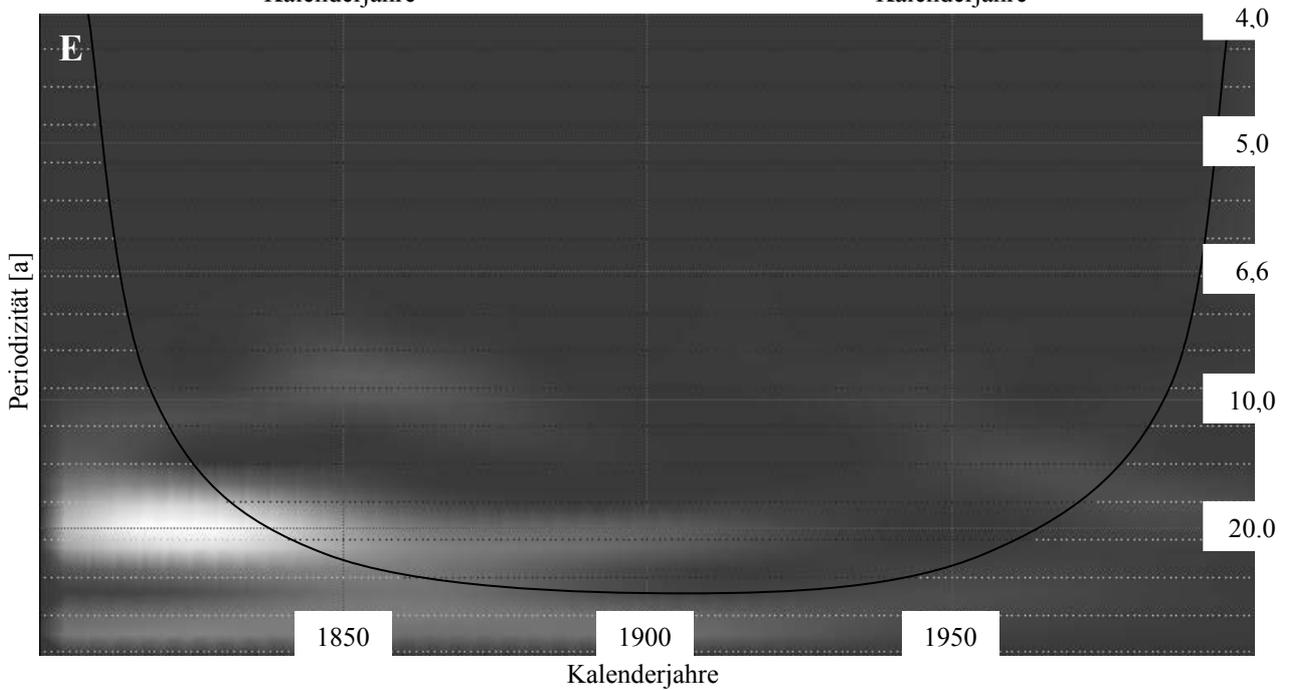
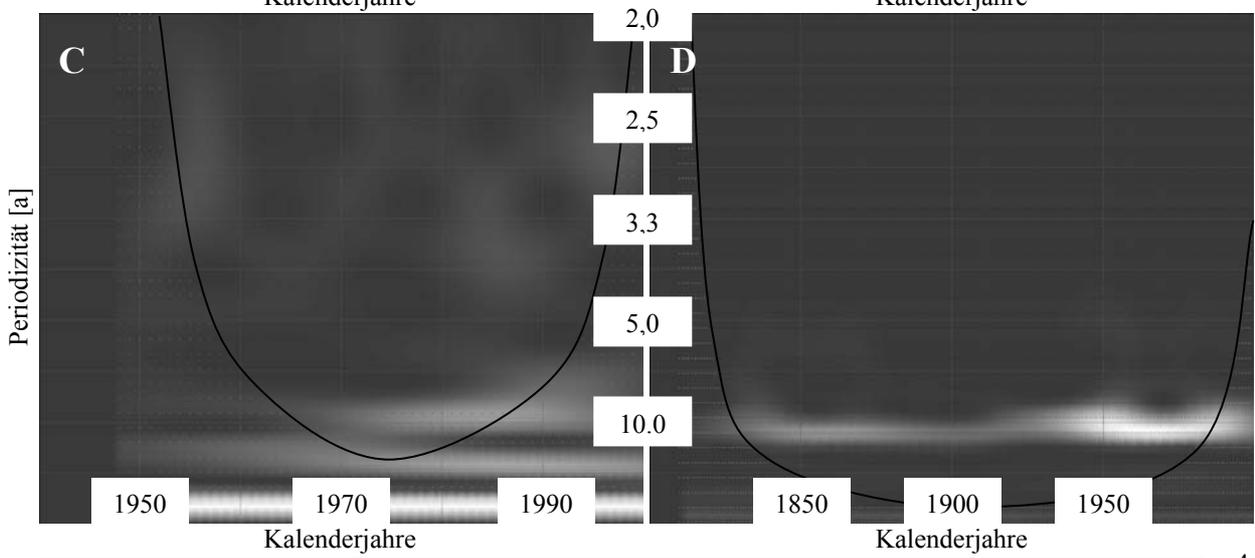
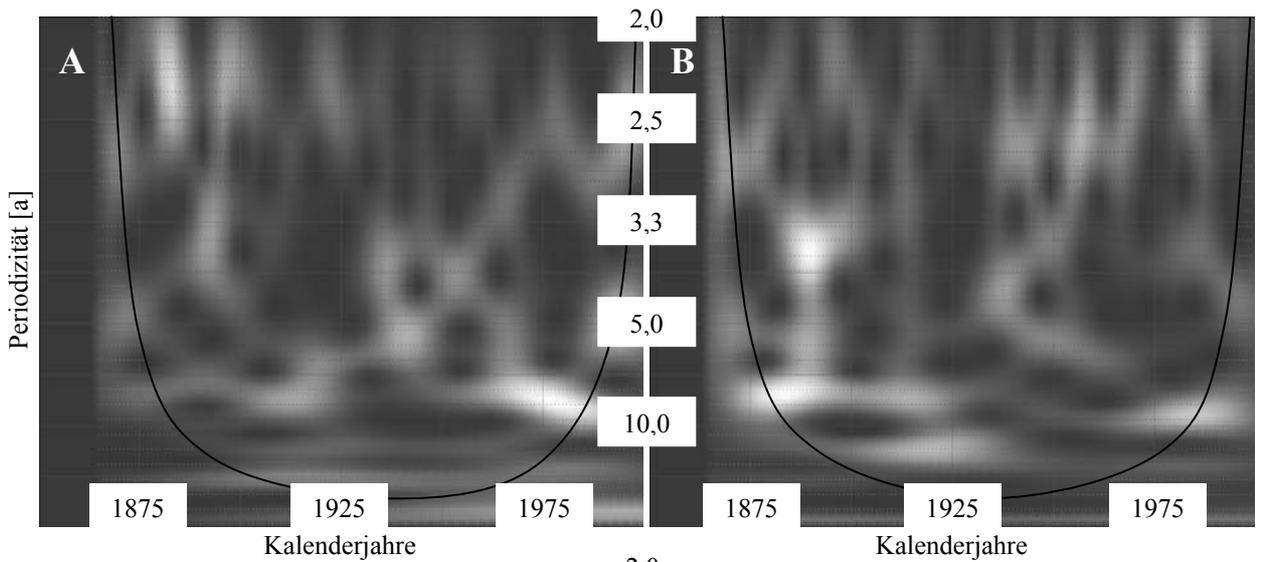
Im letzten möglichen Fall kommt es zu einer Kopplung von zwei Kältemaxima der Klimaoszillationen. Es überwiegen trockene, kalte Winter in Nordeuropa, die nur von kaltem

Wasser gespeist werden. Stürme und Niederschläge sind weitaus schwächer und seltener vertreten als im ersten Fall „+/-“.

Die ausgeprägten und den meisten Zeitreihen gemeinsamen Oszillationen hatten Wellenlängen von 9-10 a bzw. 2-2,5 a. Dies war bei allen untersuchten Chronologien, außer bei den Muscheln der Regnitz und der NWS-Wiesbaden (Tarn), der Fall. Zusätzlich zu diesen relativ kurzwelligen Oszillationen war in der Master-Chronologie und in der Tarn-Zeitreihe eine Schwingung mit etwa 20 Jahren Wellenlänge sehr deutlich ausgeprägt. Diese konnte in den Fourier-Analysen an den Zeitreihen der Görjeån- und der Tarn-Muscheln, der regionalen Mittelkurve für den Norden und der Master-Chronologie nachgewiesen werden; entweder mit einer Periode von 21 a bis 22 a oder mit der in etwa jeweiligen doppelten Wellenlänge von 42 bis 43 Jahren. Eine Wellenlänge von 21 Jahren spiegelte sich auch in den gefensternten Korrelationen der SSCI-Zeitreihen von Görjeån (21 Jahre) und Grundträsktjärnbäcken (10,7 Jahre) mit Temperatur bzw. Winter-NAO wider.

Die quasidekadischen Oszillationen (9 bis 10 Jahre Wellenlänge) können wohl auf den NADP-SST zurückgeführt werden (Abb. IV-7C). Von diesem berichteten Deser & Blackmon (1993) Periodizitäten von 9 bzw. 12 Jahren Wellenlänge vor (nach) 1945. Wie in Abb. III-24 ersichtlich ist, kommt es auch vor dem von den genannten Autoren untersuchten Zeitfenster (90 Jahre) immer wieder zu Intensitätsmaxima in den beschriebenen Wellenlängenbereichen. Zyklen von 2-2,5 Jahren finden sich ebenfalls in der NAO-Zeitreihe (Abb. IV-7A und B) und könnten somit in diesem atmosphärischen Phänomen ihren Ursprung haben. Das etwas langwelligere Signal ( $\lambda = 11$  a) der Sonnenfleckenzahlen ist in den SSCI-Datensätzen nicht zu sehen. Wie im vorherigen Absatz beschrieben wird, sind jedoch Vielfache von 11 Jahren Wellenlänge in den Zeitreihen sehr ausgeprägt (22 und 44 Jahre).

Die zyklisch variierenden Übereinstimmungen (Abb. IV-8) mit Winter-NAO (Hurrell 1995) und Temperatur sind wohl in der bereits weiter oben besprochenen Interaktion von NAO und NADP-SST begründet. Trotz der klar erkennbaren Zyklen in den gefensternten Korrelationen an allen Datensätzen sind kaum positive, signifikante Korrelationen zwischen den Lokalitäten berechnet worden. Erneut kann dies als Reservoir-Effekt der die Bäche speisenden Seen ausgelegt werden, da z.B. bei der Korrelation der Sonnenfleckenzahl mit den regionalen Chronologien die Görjeån-Zeitreihe und die des Tarn gut übereinstimmen (siehe Abb. IV-8A).



vorhergehende Seite:

Abb. IV-7:

Kontinuierliche Wavelet-Analysen an Winter-NAO (A; Hurrell 1995), NAO-Index (B; Jones et al. 1997), NADP-SST (C; Deser & Blackmon 1993), Zahl der Sonnenflecken (D; Sunspot Index Data Center 2007) und der bereinigten Master-Chronologie (E), die aus den Schalen des Görjeån, der Regnitz und der NWS-Wiesbaden (Tarn) rekonstruiert wurde. Nur NADP-SST und Sonnenflecken-Zyklen wiesen klare und distinkte Muster auf. So deuten die an der Master-Chronologie beobachteten Periodizitäten mit etwa 10 und 22 Jahren Wellenlänge auf einen Ursprung im NADP-SST-Index hin.

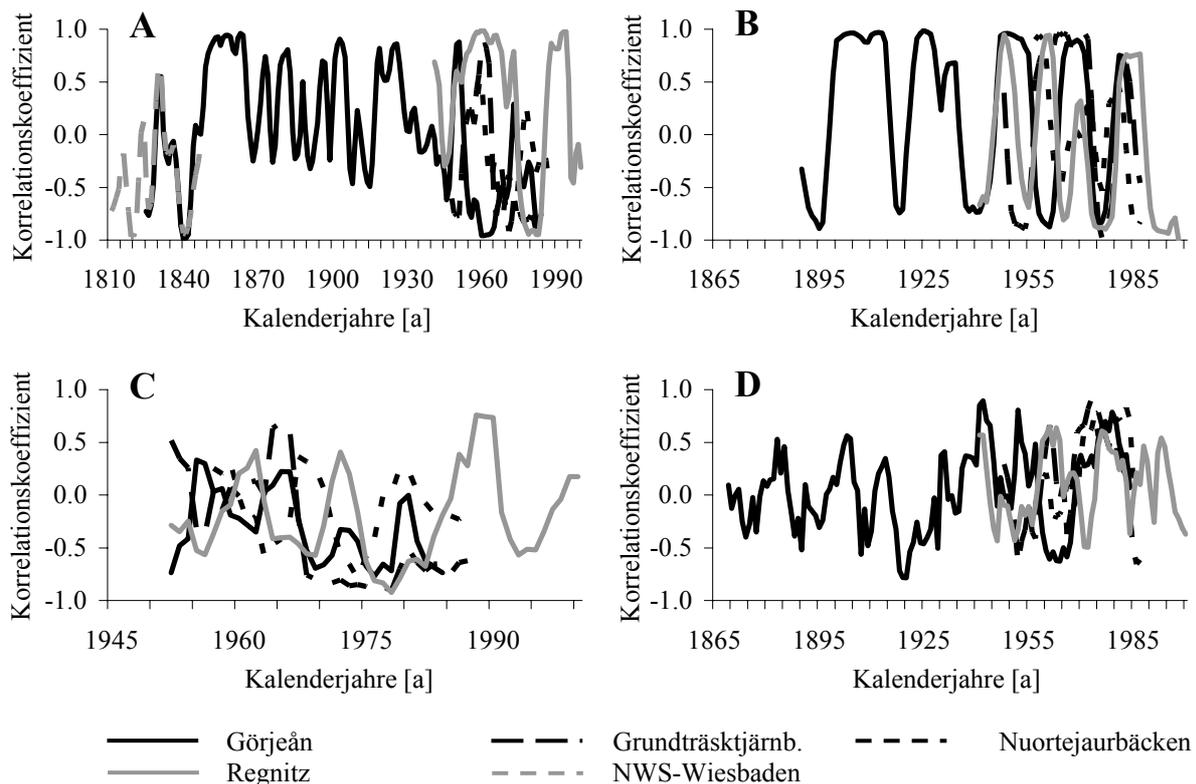


Abb. IV-8:

Gefenstertere Korrelationen (Fensterlänge: 10 a) der regionalen Chronologien mit Sonnenfleckenzahlen (A), Temperatur-Anomalien (B; 10-Jahresfilter; Lugina 1999), NADP-SST-Index (C; Deser & Blackmon 1993) und Winter-NAO-Index (Hurrell 1995).

Die Unterschiede in der Korrelation mit Sonnenflecken-Zyklen könnten vermutlich durch großräumlich stark variierende Wolkenbedeckung ihren Ursprung haben. Jedoch konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Wolkenbedeckung und SSCI-Zeitreihen gefunden werden.

Als Aussage lässt sich festhalten, dass die  $\delta^{13}\text{C}$ -Daten extrinsisch beeinflusst werden. Vermutlich ist dies in schwankenden Bioproduktivitätsraten (vgl. Finlay 2001) begründet. Diese spiegeln wiederum andere Faktoren wie Niederschlagsraten, Sonneneinstrahlung oder Temperatur. Für signifikante Aussagen ist das Netz der vorhandenen Daten jedoch zu dünn.

### **IV.3. Sauerstoffisotopie**

Die jahreszeitlich gesteuerte Bildung der Inkremente konnte durch intraannuelle Beprobung nachgewiesen werden. Zwischen zwei Zuwachslinien fand sich immer ein Jahreszyklus in der  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Kurve. Die saisonalen Schwankungen waren auf die intrannuelle Temperaturvariation und Beeinflussung durch den Niederschlag zurückzuführen. Negative  $\delta^{18}\text{O}$ -Peaks wurden in den Schalen zu Sommermonaten, positive zu Herbst-/ Wintermonaten ( $T_{\text{H}_2\text{O}} > 5\text{ °C}$ ) aufgezeichnet. Sie zeugten von den typischen Schwankungen in der Wassertemperatur während der Wachstumsperiode der Muscheln (vgl. Kap. III-3).

Innerhalb eines Jahresgangs überlappten die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ - und  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Kurven nur selten miteinander. Oft waren beide Kurven gegeneinander verschoben, so dass einem  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Maximum nur mit einigen Probenpunkten Abstand ein  $\delta^{18}\text{O}$ -Maximum folgte bzw. einem negativen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert ein negativer  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert. Dieser zeitliche Versatz könnte darin begründet sein, dass im Habitat der Muscheln bereits maximale Temperaturen erreicht sind, sich das z.B. durch Seen gespeiste Quellwasser (im Falle des Nuortejaur- und Grundträsktjärnbäcken) allerdings erst noch aufheizt. Die zweite Beobachtung, dass  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Peaks vor  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Peaks zu verzeichnen sind, ist durch eine Verzögerung in der Phytoplankton-Aktivität gegenüber dem Wärmeverlauf zu erklären.

Die Klimawandel führte in Skandinavien den letzten Jahrzehnten zu einer nur relativ geringen Erwärmung von  $\Delta T \leq 1\text{ °C}$ . Dies würde sich in einer Veränderung der Wasserisotopie von etwa  $\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,23\text{ ‰}$  auswirken. Es wurden allerdings im Mittel Veränderungen von  $\Delta\delta^{18}\text{O}_{\text{Schale}} = 1,6\text{ ‰}$  im Laufe der Ontogenese aufgezeichnet. Da dies – bei Beeinflussung der Wasserisotopie nur über die Temperatur – als eine Änderung von  $\Delta T = 7\text{ °C}$  gedeutet werden müsste, müssen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  und somit auch  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Schale}}$  neben der Temperatur vor allem durch Veränderungen im Niederschlag bestimmt sein.

#### **IV.3.1. Latitudinale Trends**

Die latitudinale Abhängigkeit der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Niederschlags (Daansgard 1964) spiegelt sich in der Schalenisotopie mit einer konstanten, wohl temperaturbedingten Abweichung von etwa 3 ‰ wider (siehe auch Abb. III-32). Entsprechend konnte, bis auf die nahe beieinander gelegenen Bäche Grundträsktjärnbäcken und Nuortejaurbäcken, von Nord nach Süd ein Trend zu weniger stark negativen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werten festgestellt werden. Die

sauerstoffisotopisch leichtesten Schalen wurden im Görjean (-11,5 ‰; Höhenlage:  $\geq 100$  m NN) ermittelt, gefolgt von Nuortejaurbäcken (-9,5 ‰) und dem Grundträsktjärbäcken (-9,4 ‰). In der Regnitz (-7,9 ‰), die etwa 600 m über NN fließt, und dem Tarn (NWS-Wiesbaden; -5,3 ‰) fanden sich schließlich die sauerstoffisotopisch schwersten Schalen.

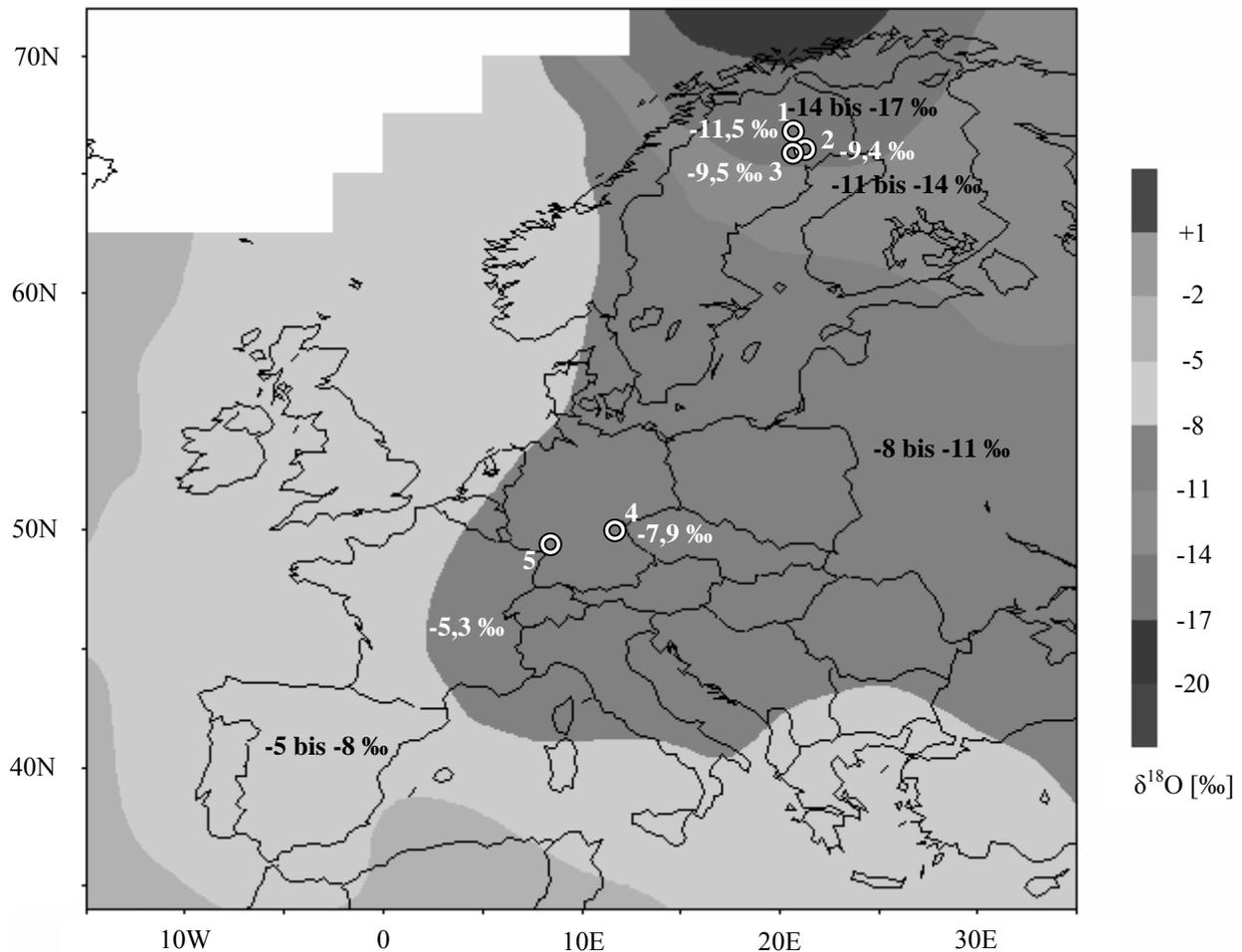


Abb. IV-9:

Gewichtete, annuelle Jahresniederschlags-Karte zur  $\delta^{18}\text{O}$ -Verteilung (IAEO 2001) und Mittelwerte für Sauerstoff-Isotope in Schalen von Flussperlmuscheln. Die Kreise markieren die Fundorte der Muscheln: 1. Görjeån, 2. Grundträsktjärbäcken, 3. Nuortejaurbäcken, 4. Regnitz, 5. NWS-Wiesbaden (Tarn, Frankreich). Zwischen  $\delta^{18}\text{O}$  des Niederschlags und  $\delta^{18}\text{O}$  der Schale ist ein Offset (von etwa 3 ‰) zu beobachten. Dies begründet sich darin, dass die Schalen in ihrer Sauerstoffisotopie die Zeit von April/Mai bis September/Oktober widerspiegeln und von der (Sommer-)Temperatur beeinflusst sind, die Isotopenwerte des Niederschlags jedoch über das ganze Jahr gemittelt sind.

Nur die Bäche Nuortejaur- und Grundträsktjärbäcken weichen etwas vom beschriebenen latitudinalen Trend ab. Mögliche Ursachen könnten lokale Temperaturunterschiede, die größere Entfernung des Nuortejaurbäcken zum Meer oder die von den übrigen Flüssen abweichende Höhenlage sein. Jedoch beträgt diese nur wenige Zehnermeter, was nur zu einer geringen Differenz führen würde. Beide Bäche befinden sich in Höhenlagen von  $< 100$  m NN.

Ähnlich der Interpretation der stabilen Kohlenstoffisotopie in Kap. IV.2. könnte ein Reservoireffekt in den Quellseen von Bedeutung sein. Die Seen speichern und vermischen Regen- und Grundwasser vieler Jahre. Zudem wird die Sauerstoffisotopie des Sees jährlich durch Niederschlag und Insolation bzw. der daraus folgenden Evaporation stark beeinflusst. Erhöhter Niederschlag wirkt sich als eine Verschiebung hin zu leichteren  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werten aus. Bei der Evaporation hingegen wird bevorzugt leichter Sauerstoff ( $^{16}\text{O}$ ) aus dem System entfernt. Nicht zuletzt wird durch diese Prozesse auch die Temperaturabhängigkeit des Quellwassers undeutlich. Dominante Signale, die auch die Pufferung der Seen überprägen könnten, sind nur für extreme Regenereignisse oder starke Schneeschmelzen denkbar. Die Schneeschmelze könnte entsprechend auch für eine Übergewichtung des winterzeitlichen Niederschlags im  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  verantwortlich sein.

Niederschlag spielt nicht nur direkt für einen See, sondern auch für sein Einzugsgebiet eine wichtige Rolle. Wie stark sich das isotopische Signal des Niederschlags bis in die Muschelschalen durchzeichnet, ist auch im Vergleich mit den Daten des ‚Global Network of Isotopes in Precipitation‘ (IAEA 2001, 2007) zu sehen. Während zum Teil große Unterschiede zwischen  $\delta^{18}\text{O}$ -Daten (Niederschlag) aus Messstationen in der Umgebung der untersuchten Lokalitäten (Tab. IV-1A und B) und dem gemessenen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$  bestehen, minimieren sich die Unterschiede, sobald nur die Monate des Schalenwachstums in die Berechnung des Mittelwerts einbezogen werden (siehe Tab. IV-1C). Von Mai bis September glichen die gemessenen Schalenisotopien in etwa den Werten der IAEA-Messstationen. Gerade in höheren Breiten (Kalinin, Ny Ålesund) herrschen zwischen den Isotopien von Winter- und Sommer-Niederschlag starke Diskrepanzen, z.B. bis zu 8 ‰ in Kalinin. Entsprechend wird das Jahresmittel von  $\delta^{18}\text{O}$  (Niederschlag) eher durch Muscheln niedriger Breiten reflektiert als durch solche höherer Breiten. Umgekehrt übt auch die Isotopie des winterzeitlichen Niederschlags (Schnee) bzw. die Schneeschmelze, einen wesentlich höheren Einfluss auf die Muscheln aus Skandinavien aus als auf die Mittel- bzw. Südeuropas. Die Sommerwerte hingegen werden sehr gut durch die Muscheldaten wiedergegeben.

Aufgrund des deutlichen isotopischen Unterschieds zwischen den beiden „deutschen“ Zeitreihen aus Muscheln der Regnitz und der NWS-Wiesbaden konnte davon ausgegangen werden, dass die Schale NWS-WI-3 nicht, wie zuerst vermutet, in Deutschland aufgelesen wurde. Entsprechend Abbildung IV-9 war eine Lokalität weiter im Westen oder Südwesten sehr viel wahrscheinlicher. In der Tat fanden sich nach weiterer Recherche Hinweise darauf, dass die Schale nicht in der Eifel aufgelesen wurde, sondern dem Fluss Tarn in Frankreich entnommen worden ist und post mortem an die Naturwissenschaftliche Sammlung in

Wiesbaden gebracht wurde. Diese „neue“ Fundlokalität passte somit sehr gut in das weiter oben erklärte Schema der leichteren Isotopenwerte mit höherer Latitude. Deshalb wurden für diese Schale die Messstationen von Avignon und Trier als Referenzpunkte für die Isotopie des Niederschlags herangezogen.

Tab. IV-1:

$\delta^{18}\text{O}$ -Niederschlagswerte (IAEA 2007) aus den Messstationen in Avignon, Trier, Würzburg, Hof a.d. Saale, Ny Ålesund und Kalinin. A: Längen-, Breitengrad und Höhenlage der Messstationen. B: Monats- und Jahresmittel der  $\delta^{18}\text{O}$ -Niederschlagswerte an den Stationen. Fett hervorgehoben sind die Monate des regulären Schalenwachstums. C: Probenstandorte / -fundorte und mittlere Schalenisotopien im Vergleich mit den Mittelwerten von Mai bis September an den Messstationen.

<b>A</b> Geographische Daten der Messstationen				
Station	Stationsnummer	Breitengrad [°N]	Längengrad [°E]	Höhe [m]
Avignon	764501	43.95	4.82	30
Trier	1060900	49.75	6.07	273
Würzburg	1065500	49.80	9.90	259
Hof an der Saale	1068501	50.30	11.85	567
Kalinin	2740200	56.54	35.54	31
Ny Ålesund	100400	78.15	11.56	7

<b>B</b> Niederschlag: $\delta^{18}\text{O}$ -Monatsmittel						
entsprechende Lokalität	Tarn (NWS-Wiesbaden)		Regnitz		Nuortejaurb. Grundträsk.	Görjeån
Zeit	Avignon	Trier	Würzburg	Hof/S.	Kalinin	Ny Ålesund
Januar	-	-7,96	-9,26	-10,49	-16,17	-11,73
Februar	-	-8,20	-10,39	-11,24	-17,16	-10,34
März	-	-7,15	-8,91	-9,71	-14,36	-10,16
April	-5,57	-8,64	-8,69	-10,62	-12,31	-11,62
<b>Mai</b>	<b>-4,24</b>	<b>-7,07</b>	<b>-7,47</b>	<b>-8,31</b>	<b>-9,16</b>	<b>-11,25</b>
<b>Juni</b>	<b>-4,78</b>	<b>-6,25</b>	<b>-7,29</b>	<b>-8,42</b>	<b>-9,20</b>	<b>-11,32</b>
<b>Juli</b>	<b>-2,86</b>	<b>-5,73</b>	<b>-5,72</b>	<b>-6,86</b>	<b>-9,37</b>	<b>-11,08</b>
<b>August</b>	<b>-4,92</b>	<b>-5,72</b>	<b>-5,82</b>	<b>-6,84</b>	<b>-8,18</b>	<b>-11,33</b>
<b>September</b>	<b>-3,17</b>	<b>-6,83</b>	<b>-6,49</b>	<b>-7,60</b>	<b>-9,99</b>	<b>-9,84</b>
Oktober	-4,14	-7,67	-8,79	-8,53	-11,02	-11,59
November	-4,75	-8,67	-9,82	-10,69	-16,29	-13,43
Dezember	-7,11	-8,98	-10,37	-10,88	-16,73	-10,71
Mittelwerte						
annuell	-	-7,41	-8,16	-9,09	-11,29	-10,93
Mai-Sep.	-3,99	-6,32	-6,56	-7,61	-9,18	-10,96

<b>C</b> Vergleich: Schalenisotopie – Niederschlag (Sommermonate)				
Station	Breitengrad	Längengrad	Isotopie	Vergleichswerte (Mai-Sep.)
NWS-Wiesbaden	-	-	-5,3 ‰	-5,2 ‰ (Avignon / Trier)
Regnitz	50,17 °N	12,07 °E	-7,9 ‰	-7,6 ‰ (Hof a.d. Saale)
Nuortejaurbäcken	65,42 °N	19,02 °E	-9,5 ‰	-9,2 ‰ (Kalinin)
Grundträsktjärnbäcken	66,03 °N	22,05 °E	-9,4 ‰	
Görjeån	66,20 °N	20,30 °E	-11,5 ‰	-10,1 ‰ (Kalinin / Ny Ålesund)

### IV.3.2. Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag

In der Literatur werden in Zusammenhang mit der Sauerstoffisotopie in biogenen Hartgeweben (siehe unter anderem Swart et al. 1996, Wurster & Patterson 2001) im Allgemeinen zwei Größen genannt: Temperatur und  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ . Letztere Größe wird durch Niederschlag und Evaporation gesteuert.

Für verschiedene Flusssysteme Schwedens wurden bereits eindeutige Zusammenhänge zwischen Zuwachsraten und Temperatur nachgewiesen (Dunca & Mutvei 2001, Dunca et al. 2005, Schöne et al. 2004, 2005c). Die untersuchten Flüsse lagen zum einen südwestlich der in dieser Arbeit behandelten Lokalitäten Görjeån, Grundträsktjärbäcken und Nuortejaurbäcken, zum anderen in der großräumlichen Umgebung von Göteborg und im Süden Schwedens. In schneller gebildeten Schalenpartien (Sommermonate) wären negativere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zu erwarten gewesen. Dieser Effekt, der also gleichläufige Ergebnisse in Temperatur und Isotopie hervorrufen würde, kann jedoch nur bei drei der fünf Chronologien beobachtet werden. Vergleiche der Temperatur (Lugina 1999) mit den regionalen Chronologien führten zu Korrelationen von  $r = 0,74$  bei den Individuen aus dem Grundträsktjärbäcken,  $r = 0,61$  bei den Schalen aus dem Nuortejaurbäcken und  $r = 0,35$  mit der Regnitz-Zeitreihe. Für die Zeit vor dem Sterbedatum der Muschel aus dem Tarn (NWS-WI-3) liegen keine instrumentellen Datensätze vor.

Die Görjeån-Mittelkurve weist eine negative Korrelation von  $r = -0,29$  mit der Temperatur auf. Möglicherweise liegt die Ursache hierfür erneut in der Größe bzw. der Art der jeweiligen Süßwassersysteme. Die beiden Bäche Grundträsktjärbäcken und Nuortejaurbäcken werden durch Seen gespeist, die zwar – wie im vorherigen Kapitel über die stabile Kohlenstoff-Isotopie bereits beschrieben – eine Art Reservoir und Puffer bilden, jedoch aufgrund der großen Oberfläche stark durch Evaporation beeinflusst werden und entsprechende isotopische Jahrgänge aufweisen. Das Regnitz-System besteht in seinem Ursprung aus mehreren kleinen Bächen, wird vor allem von Grundwasser dominiert und bietet mehr Möglichkeiten zur „Störung“ des Systems. Dies zeigt sich nicht zuletzt in der geringeren Korrelation mit der Temperatur. Der Görjeån, in deutschen Maßstäben bereits ein großer Fluss oder kleiner Strom, wird von einer Vielzahl von Flüssen und Bächen gespeist und stellt somit ein Mischgewässer vieler isotopisch unterschiedlich ausgeprägter Zuflüsse dar. Das letztgenannte System ist somit durch das große Einzugsgebiet vor allem von Niederschlag beeinflusst.

Die mittleren, intraannuellen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von 0,8 bis 1,1 ‰ entsprechen umgerechnet mittleren jährlichen Schwankungen in der Wassertemperatur von 3,5 bis 4,8°C. Nach Dunca

& Mutvei (2001) stellen Flussperlmuscheln ab einer Wassertemperatur von etwa 5°C das Wachstum ein bzw. reduzieren es auf ein Minimum. Somit würden die Schalen maximale Wassertemperaturen von 8,5 bis 10°C widerspiegeln.

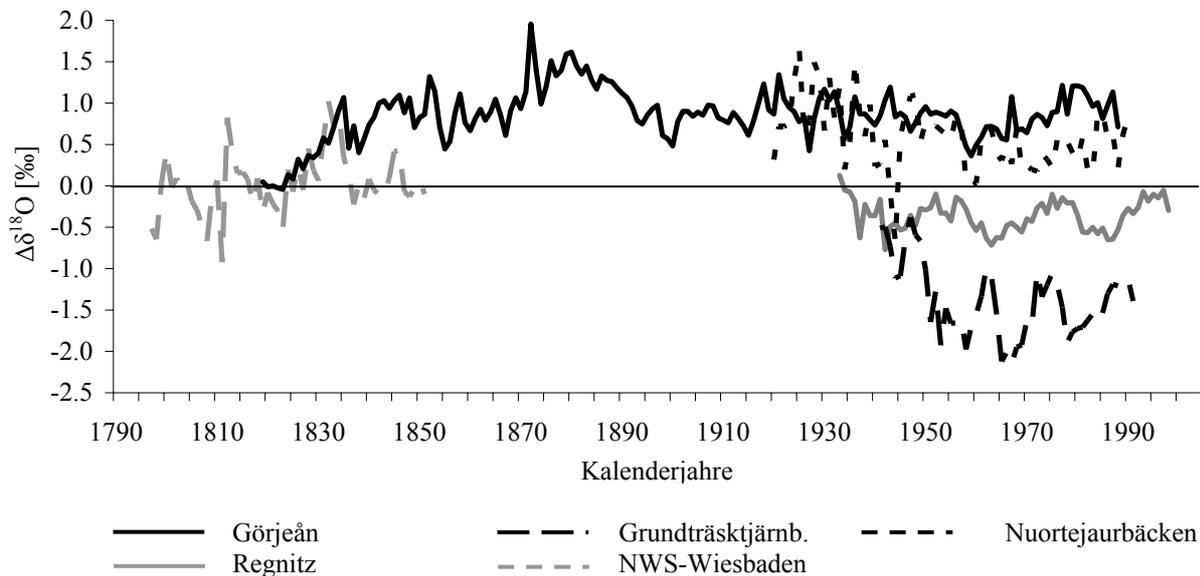


Abb. IV-10:

Summe der Jahr-zu-Jahr-Änderungen von  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Werten. Während die Kurven der Individuen des Nuortejaurbäcken und des Görjeån mit einer positiven Bilanz von etwa 0,5 ‰ abschließen, zeigen die Zeitreihen aus Deutschland kaum oder nur geringe Veränderungen. Die Kurve der Grundträsktjärnbäcken-Muscheln endet mit etwa -1,5 ‰. Ein leichter Anstieg (bis etwa 1880) hin zu positiveren Werten in der Görjeån-Zeitreihe deutet auf einen Wechsel hin zu trockeneren klimatischen Bedingungen. Umgekehrt zeigen Grundträsktjärnbäcken und Nuortejaurbäcken einen lokalen Trend hin zu deutlich feuchterem Klima (bis 1950).

Genauere Aussagen bezüglich der Zusammenhänge zwischen der Schalenisotopie und dem Niederschlag lassen sich jedoch ohne langjährige Daten-Aufzeichnung in der Nähe der Fundorte nicht treffen. Deshalb konnten auch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Zeitreihen und annuellen Niederschlagsraten der von den Fundorten doch relativ weit entfernten Wetterstationen in Trier, Berlin und Stockholm erkannt werden. Nur die Aufzeichnungen der Niederschlagsraten bei Jokkmokk konnten zum Vergleich mit der Görjeån-Zeitreihe herangezogen werden. Die auf 25 Jahre geglätteten Zeitreihen korrelierten mit  $r = 0,74$  ( $p < 0,0001$ ), was auf eine dominante Beeinflussung der Schalenisotopie durch (Winter-) Niederschlag schließen lässt. Bezogen auf die Regressionsdaten ändert sich die Schalenisotopie pro Millimeter Niederschlag durchschnittlich um 0,005 ‰. Allein der winterzeitliche Niederschlag (etwa 180 mm) könnte somit bei der Schneeschmelze zu einer Änderung der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um 0,9 ‰ führen.

In den Chronologien sind sowohl Trends hin zu positiven als auch zu negativeren Werten in den intraanuellen Änderungen beobachtet worden (vgl. Abb. IV-10). Die Zeitreihen der

Flüsse Görjeån und Nuortejaurbäcken enden mit positivem Betrag (Summe der interannuellen Veränderungen in der Sauerstoffisotopie der Schalen etwa + 0,7 ‰). Die NWS-Chronologie weist keine absolute Veränderung auf, die anderen beiden Zeitreihen, Grundträsktjärbäcken und Regnitz, schließen mit negativen Anomalien ab. Diese Veränderungen sind in direkten Zusammenhang mit dem hydrologischen System und mit der großräumlichen Wetterlage zu sehen. Sie deuten z.B. einen Wechsel von feuchterem (ab 1790) hin zu trockenerem Klima (bis etwa 1880) an (vgl. Abb. IV-10; Görjeån), was als Ausklang der kleinen Eiszeit gedeutet werden könnte. Von 1920 bis etwa 1950 scheint sich ein lokaler Trend hin zu deutlich feuchteren Bedingungen bei der Grundträsktjärbäcken- und der Nuortejaurbäcken-Chronologie darzustellen.

### **IV.3.3. Vergleich mit instrumentellen Datensätzen**

Daten aus Muschelschalen werden nicht nur als Proxy für primär Einfluss nehmende Systeme wie Niederschlag (u.a. Kaandorp et al. 2005) oder Temperatur (z.B. Dunca & Mutvei 2001; Marchitto et al. 2000) benutzt, sondern auch als Nachweis für die Aktivität periodischer Klimaoszillationen in der Vergangenheit. Hier seien beispielsweise der Golfstrom, die Nordatlantische Oszillation (z.B. Wanamaker et al. 2007) oder die El Niño Southern Oscillation (Schöne et al. 2006a) genannt. Bei allen natürlichen Oszillationen stehen Veränderungen in Luft- und Wassertemperaturen, Luftdruck, Niederschlag und Wolkenbedeckung in engem Zusammenhang mit den Ausprägungen dieser Systeme, die gleichermaßen marine wie terrestrische Lebensräume beeinflussen. Deshalb wurden die Sauerstoffisotopen-Zeitreihen mit Datensätzen zweier das europäische Klima bestimmenden Klimamotoren verglichen, dem NADP-SST (Deser & Blackmon 1993) und der Nordatlantischen Oszillation, NAO (Jones et al. 1997). Auch wenn sich keine direkten Zusammenhänge mit Temperatur oder Wolkenbedeckung feststellen ließen, ist es möglich, über periodische Muster Rückschlüsse auf das einwirkende System zu ziehen. Korrelationen zwischen NADP-SST und den Zeitreihen der skandinavischen Gewässer führten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im Vergleich von NADP-SST und der Nuortejaurbäcken-Zeitreihe bzw. der Grundträsktjärbäcken-Zeitreihe wurden Korrelationen von  $r = 0,31$  (annuell) bzw.  $r = 0,66$  (Mai bis September) berechnet. Mit der Görjeån-Zeitreihe korrelierte der NADP-SST (Winterhalbjahr) nur mit  $r = -0,25$ . Zu keinem signifikanten Resultat führte die Korrelation mit der Regnitz-Chronologie.

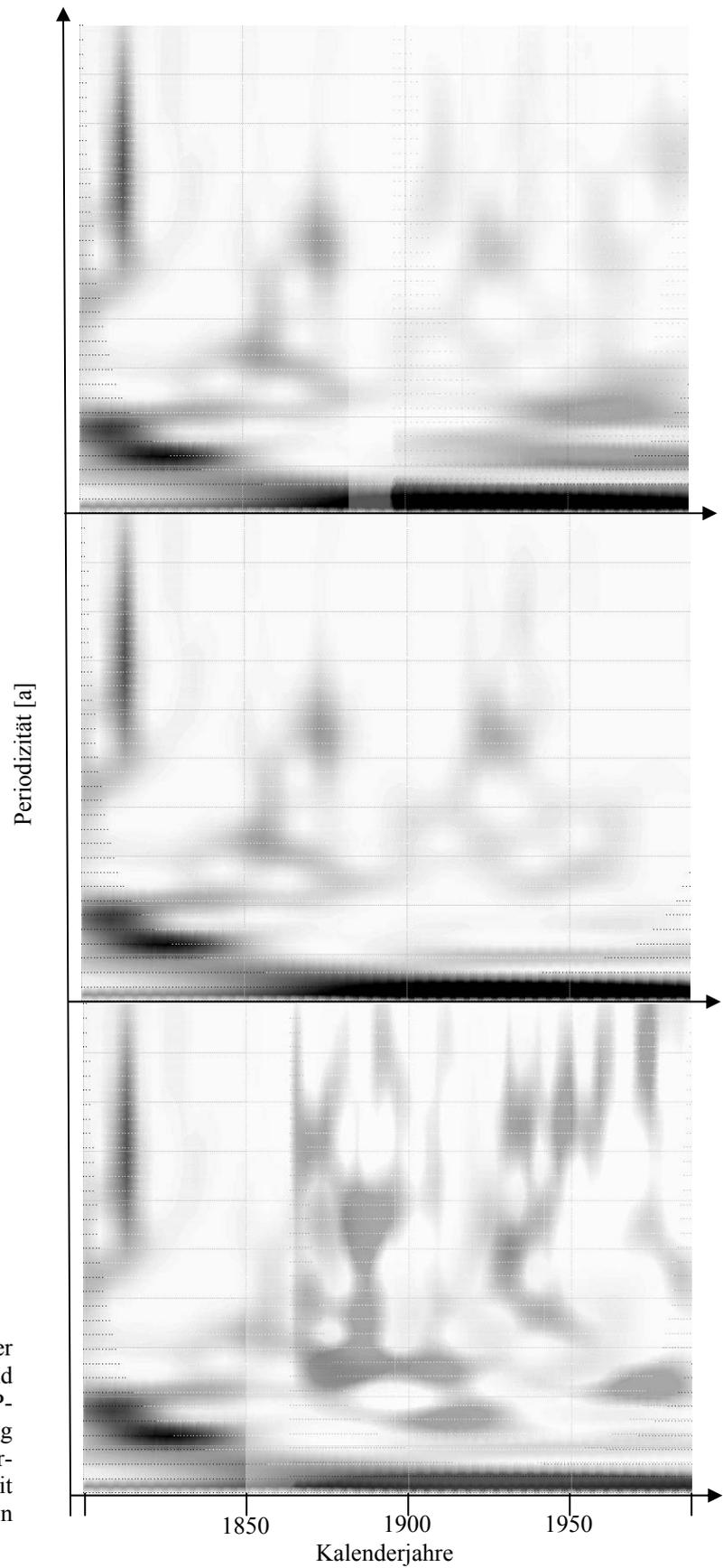


Abb. IV-11:  
 Kontinuierliche Wavelet-Analysen der Sauerstoff-Masterchronologie (Mitte) und den überlagerten Wavelets von NADP-SST (oben) und NAO (unten). Auffällig ist, dass die Analyse der Sauerstoffisotopen Signalmaxima zeitgleich mit den Intensitätsminima der beiden instrumentellen Zeitreihen anzeigt.

Nachdem es je nach Ausprägung der NAO zu mehr oder weniger starken (Winter-) Niederschlagsraten in Zentral- bzw. Nordeuropa kommt, scheint sich die Menge des eingebrachten Niederschlags nur auf langfristigen Zeitskalen ( $\lambda > 10$  a) auf die Schalenisotopie auszuwirken. Der NADP-SST wirkt sich indirekt auf das Wetter auf dem Festland aus (vgl. hierzu auch Kushnir 1994), indem er unter anderem zu wärmeren Winden und isotopisch leichteren Niederschlägen führt. Anscheinend ist der NADP-SST die für das Klima Skandinaviens dominante natürliche Oszillation.

Mitteleuropa scheint von mehreren Klimaoszillationen gleichermaßen kontrolliert zu werden. Ein Hinweis darauf ist in allen produzierten Datensätzen zu finden: zyklisch hohe Korrelationen von Wachstumsraten, den stabilen Kohlenstoff- und den Sauerstoffisotopen mit Temperatur, NAO- und NADP-SST-Index. Werden die kontinuierlichen Wavelet-Analysen der Sauerstoffisotopen-Zeitreihe und der Chronologien von NADP-SST (Deser & Blackmon 1993) und NAO (Jones et al. 1997) miteinander verglichen (siehe auch Abb. IV-11), so fällt auch auf, dass gleichzeitig mit den Intensitäts-Maxima der regionalen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Aragonit}}$ -Chronologien Intensitäts-Minima von NAO und NADP-SST auftreten.

#### ***IV.4. Probleme bei der Arbeit mit Süßwassermuscheln***

Prämortale Korrosion und postmortale Lösung der Schalensubstanz durch diagenetische Prozesse gehören zu den beiden wichtigsten Faktoren, die eine Nutzung des Klima- und Umweltarchivs Muschelschale beeinträchtigen. Vor allem infolge des Eintrags von Humin- und Fumarolsäuren aus zerfallendem Pflanzenmaterial weisen Süßgewässer meist einen niedrigen pH-Wert (pH = 5 bis pH = 6,5) auf. Deshalb ist die Umbonalregion von Süßwassermuscheln meist stark angegriffen (vgl. Abb. IV-12). Je länger die Tiere leben, desto länger sind sie dem ätzenden Milieu ausgesetzt und umso stärker sind sie in Wirbelnähe korrodiert. Ontogenetisch junge Schalenabschnitte fehlen deshalb meist.

Der Grad der Schalenauflösung hängt aber auch davon ab, wie exponiert die Muschel gelebt hat, wie stark die Strömung und wie durchlüftet das Wasser war. Aufgrund der Vielfalt an beeinflussenden Faktoren ist der Grad der Zerstörung der Schalen nicht linear mit dem individuellen Alter der Tiere korreliert. Wegen der Korrosion der Wirbelregion ist eine Abschätzung des Lebensalters der Muscheln auf rein sklerochronologischem Weg nicht möglich. Das tatsächliche Lebensalter kann um 10 bis 20 Jahre (eigene Beobachtung) unterschätzt werden. Dies führt zu einer bloßen Abschätzung des absoluten Alters der Individuen.

Erfolgt nach Absterben des Individuums ein rein physikalischer Transport der Schale, bleibt sie länger dem sauren Milieu ausgesetzt und zersetzt sich schnell. Mit zunehmendem Zerstörungsgrad bleibt nur noch die Lederhaut (Periostrakum) von der Schale übrig. Eine schnelle Einbettung der Tiere würde zu einer besseren Erhaltungsfähigkeit des Aragonits führen, ist jedoch in den überwiegend kargen und sedimentarmen Flüssen meist nicht der Fall. Nur bei Überschwemmungen könnte es zu dieser Art der Erhaltung kommen.



Abb. IV-12:

Erodierter Wirbel einer Flussperlmuschel. Durch die weiße Linie ist die Grenze zwischen angegriffenem und intaktem Schalenmaterial gekennzeichnet. Bei älteren Tieren können mehr als 20 Jahresinkremente von Erosion betroffen sein.

Um dem Problem unterschiedlicher Wachstumsphasen im Verlauf der Ontogenese aus dem Weg zu gehen, werden beispielsweise in der Dendrochronologie (vgl. hierzu Fritts 1976) ontogenetisch junge Abschnitte nicht mit zur Erstellung von (Master-) Chronologien einbezogen. Grund hierfür ist, dass bei wachsenden Organismen in jungen Jahren oftmals keine extrinsischen Signale aufgezeichnet werden, da bei jungen Organismen das Erreichen einer bestimmten Größe im Vordergrund steht, beispielsweise bei Bäumen ein schnelles Erreichen der von Licht durchfluteten Zone. Dementsprechend wurden die *Margaritifera*-Zeitreihen darauf untersucht, ob sich Unterschiede in der Korrelation der Zeitreihen untereinander oder im Vergleich mit instrumentellen Datensätzen ergeben, wenn ontogenetisch junge Jahre für die Rekonstruktion weggelassen werden. Hierzu wurden testweise bei allen untersuchten Exemplaren nur die Jahresinkremente mit in die Erstellung der regionalen Chronologien einbezogen, die nach dem Erreichen der maximalen annualen Inkrementbreite gebildet wurden. Die maximale annuelle Inkrementbreite stand hierbei für den Zeitpunkt des Erreichens der Maturität. Es konnte jedoch keine signifikante Verbesserung z.B. in den EPS-Werten festgestellt werden. Im Gegenteil wurde beispielsweise das *Cross-Dating* erschwert und kurzweilige Schwingungen ( $\lambda < 10$  a) wurden bei Wavelet-Analysen an den Zeitreihen sehr viel undeutlicher. Deshalb wurden die Zeitreihen mitsamt eventuell vorhandener Juvenilphasen zur Erstellung der regionalen Chronologien verwendet.

Der geologische Untergrund der Fundorte bzw. des Einzugsgebiets des Muttergewässers ist bezüglich des Einbaus der stabilen Isotope von Kohlenstoff und Sauerstoff bei *Margaritifera margaritifera* nur von geringer Bedeutung. Die Tiere leben in fließenden Gewässern, die in der Varianz des pH-Wertes eng begrenzt sind, und kommen nicht im karbonatischen Substrat vor. Dies ist auch in den Grundgebirgs- und Bodenkarten in Kapitel II.2. (Abbildungen II-7 bis II-17) zu sehen. Jedoch beeinflusst die isotopische Zusammensetzung des umgebenden Mediums die  $\delta^{18}\text{O}$ -Schalenwerte. Die Süßwasser-Isotopie entsteht aus einer Mischung von Grundwasser als Hauptbestandteil in südlicheren Regionen und Regen- bzw. Schmelzwasser als Hauptbestandteil in nördlichen Regionen. Außerdem spielt die Höhenlage des Habitats eine Rolle; je höher das Habitat gelegen ist, desto sauerstoff-isotopisch leichter wird der Niederschlag.

Wie am Görjeån zu sehen war, verändert sich die Isotopie des Flusswassers mit der Größe des Einzugsgebiets bzw. mit der Zahl der einmündenden Flüsse und Bäche. Durch das größere Gebiet werden die weiter oben besprochenen Effekte noch verstärkt. Beispielsweise könnten verschiedene Grundwasserquellen den Fluss speisen. Zudem kommt es gerade in Fenno-Scandinavien sehr häufig vor, dass dem Flussverlauf mehrere Seen zwischengeschaltet

sind. Wie bereits in den Kapiteln IV.2. und IV.3.2. bei den stabilen Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopen beschrieben, werden durch Seen verschiedenste Signale abgeschwächt. Hinzu kommen lokale Temperaturunterschiede. Während sich an einigen Orten Wärmestaus bilden können, sind andere Lokalitäten beispielsweise nicht windgeschützt und relativ kühler. Außerdem sind in Relation zu südlicheren Gebieten im Norden weniger Wetterstationen als Lieferanten für Referenzdaten vorhanden.

Während noch vor 20 oder 30 Jahren in den Flüssen abertausende von Exemplaren dicht an dicht siedelten, gibt es heute nur noch wenige, wesentlich kleinere Populationen (Young & Williams 1983; Bauer 1988) und die Flussperlmuschel ist vom Aussterben bedroht. Für das Aufsammeln von sowohl lebendem als auch totem Material ist eine Genehmigung der lokalen Behörden nötig. Jedoch sind für die letzten Refugien, die meistens nur aus kleinen Bächen oder Seitenarmen von Flüssen bestehen, keine langzeitlichen Aufzeichnungen von beispielsweise Änderungen in der Wassertemperatur, Schwankungen im pH-Wert oder im DIC-Gehalt des Wassers vorhanden. Diese Datensätze wären allerdings dringend erforderlich, um die Proxy-Daten aus den Muschelschalen zu kalibrieren.

Um die bereits gewonnenen Datensätze in die Vergangenheit ausdehnen zu können, ist subrezentes Material nötig. Da Flussperlmuscheln bis zu 280 Jahre alt werden können (Mutvei & Westermark 2001), wäre es möglich, bestehende Chronologien allein unter Einbeziehung von Museumsmaterial bis in die Mitte des 16. Jahrhunderts auszudehnen. Im Zuge dieser Arbeit war dem Autor dabei der Zugang zu fünf Archiven mit Süßwassermuscheln möglich:

- 1) Naturhistorisches Reichsmuseum in Stockholm (Abteilung für Invertebraten),
- 2) Sammlung des Schwedischen Geologischen Dienstes (SGU) in Uppsala,
- 3) Länsstyrelsen i Norrbottens Län in Luleå (Landesamt für Umwelt in Norrbotten),
- 4) Naturhistorische Sammlung des Hessischen Landesmuseums in Wiesbaden und
- 5) Privat-Sammlung von Stefan Schmidt, Hof.

Der Großteil der dort vorliegenden Muscheln bestand allerdings aus Individuen, die nach 1900 gesammelt wurden. Die Schalen der wenigen, älteren Tiere konnten für diese Arbeit verwendet werden. Die erstellten Chronologien reichten allerdings trotzdem nur bis 1716. Unzureichende Katalogisierung, Falsch-Bestimmung und unbekannte Funddaten lassen Flussperlmuscheln häufig zu offiziell nicht existierenden Lagerbeständen werden. Um dennoch an weitere Tiere zu gelangen, die vor 1900 gefangen wurden, müssen noch viele (vor allem kleine) Museen besucht und deren Lager gesichtet werden. Dies war allerdings im Rahmen dieser Arbeit logistisch und zeitlich nicht möglich.

Eine weitere Möglichkeit, um in Zukunft an altes Schalenmaterial zu gelangen, stellen sog. „shell middens“ dar, subrezente bis prähistorische Küchenabfälle, unter denen sich auch immer wieder Schalenmaterial von Süßwassermuscheln befindet. Hier bietet sich die Zusammenarbeit mit Forschern aus der Vor- und Frühgeschichte, Archäologen oder Anthropologen an. Über die Kolmosjoki-Tiere wurde beispielsweise in dieser Arbeit eine zeitliche Ausdehnung der Master-Chronologie von 1813 bis auf 1698 ermöglicht. Die Schalen aus dem Kolmosjoki (Finnland) sind ebenfalls in anthropogenen Ablagerungen gefunden worden. Wahrscheinlich waren Perlräuber für den Tod der Tiere verantwortlich.

Bei der Auszählung der annuellen Inkremente kann es zu Fehlinterpretationen kommen (vgl. Geist et al. 2005 und Schöne et al. 2006b). Zuwachsreduktionen während der Reproduktionphase können in makroskopisch erkennbaren Wachstumslinien resultieren. Diese fälschlicherweise (vgl. Sato, S. 1994, Yamaguchi et al. 2006, Kanazawa & Sato 2008) oft als *Spawning breaks* bezeichneten Wachstumslinien sind kaum von winterlichen Zuwachsreduktionen und entsprechenden Wachstumslinien unterscheidbar. Auch *Disturbance breaks* (z.B. Ivell 1979), deren Ursache z.B. Stürme oder Angriffe durch Beutejäger sind, können mit Jahreszuwachslinien verwechselt werden. Das sklerochronologisch ermittelte Alter würde in beiden oben geschilderten Fällen das tatsächliche Lebensalter überschätzen. Infolge verminderten Wachstums sind die Inkremente in geronten Schalenabschnitten meist so dicht gedrängt, dass eine Differenzierung der annuellen Wachstumsinkremente kaum möglich ist. In vorliegender Arbeit wurde versucht, die potentielle Fehlerquote durch Mehrfachmessungen gering zu halten. Durch *Cross-Dating* lassen sich schließlich fehlende oder doppelte Inkremente ausfindig machen; denn zeitgleich aufwachsende Individuen der gleichen Art produzieren unter gleichen äußeren Zuwachsbedingungen ähnliche Zuwachsmuster (vgl. Kennish & Olsson 1975). Abweichungen bei einzelnen Tieren sind möglicherweise auf individuelle Unterschiede zurückzuführen, wie Krankheiten oder Unterschiede im Mikrohabitat.

Im Vergleich zur sklerochronologischen Analyse können bei der geochemischen relativ weniger Fehler auftreten. Die methodischen Fehler werden durch die Messgenauigkeit des Massenspektrometers angegeben. Jedoch ist es bei der Probennahme möglich, Teile der Perlmutter mit zu beproben und dann unter Umständen ein Mischsignal von Prismen- und Perlmutter zu erhalten. Insbesondere in ontogenetisch fortgeschrittenen Schalenabschnitten ist hohe intraannuelle Auflösung kaum mehr möglich. Jede Pulverprobe repräsentiert dann erheblich größere Zeitabschnitte als in juvenilen Schalenbereichen. Saisonale  $\delta^{18}\text{O}$ -Amplituden geronter Schalenabschnitte fallen deutlich reduzierter aus, als sie

es tatsächlich sind. Die zur Auflösung der tatsächlichen Amplitude nötige, extrem hohe räumliche Auflösung kann mittels manueller Frästechnik aber nicht erreicht werden. Kleinste, verlässliche Probenschritte mit der hier angewendeten Beprobungsmethode liegen bei etwa 80µm. Bei geringeren Schrittweiten kann diskrete Beprobung nicht gewährleistet werden; denn es ist nicht möglich, den Zuwachsflächen exakt zu folgen: jede Probe stellt dann eine Mischprobe dar und enthält Material der umliegenden Probenpunkte (*Time-Averaging*).

## V. Schlussfolgerungen

Trendbereinigte, standardisierte Zuwachsraten (SGI) wurden auf statistische Abhängigkeit von Umweltsignalen geprüft. Für die meisten Datensätze konnte nur eine schwache Korrelation mit der Oberflächen-Temperatur (für die nördliche Hemisphäre), dem Index zur Meeresoberflächenwasser-Temperaturanomalie im Nordatlantik (NADP-SST) und der von Schöne et al. (2004) konstruierten Master-Chronologie für Schweden nachgewiesen werden. Seltener errechneten sich signifikante Vergleichswerte mit lokalen Niederschlagsraten der Nordatlantischen Oszillation (NAO). Auffallend waren hingegen bei allen Zeitreihen periodisch sehr hohe Korrelationen mit den Datensätzen zu NAO und Temperatur. Ein Vergleich der Wavelet-Transformationen ergab, dass die periodisch hohen Korrelationskoeffizienten zwar nicht zeitgleich bei verschiedenen Individuen und Populationen entwickelt waren, doch stellten sich die gleichen Periodizitäten von etwa 20 Jahren Dauer heraus. Bei den regionalen SGI-Chronologien waren zwei Gruppen von inhärenten Signalen vertreten. Zum einen die Gruppe mit Wellenlängen zwischen etwa 2,5 und 8 Jahren, zum anderen die mit einer Wellenlänge zwischen 12 und 30 Jahren.

Nach Auswertung der massenspektrometrisch analysierten, annuellen Schalenproben fielen lokalitätsspezifische Trends in der stabilen Kohlenstoffisotopie auf. Während Schalen der beiden von Seen gespeisten Bäche Trends hin zu stärker negativen  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werten aufwiesen, waren bei der Regnitz-Population und der Schale aus dem Tarn (ein Exemplar aus der Naturwissenschaftlichen Sammlung des Museums Wiesbaden) nur schwache Trends hin zu positiveren Werten ausgeprägt. Sehr deutlich hingegen war der Verlauf der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Aragonit}}$ -Werte von stark negativen hin zu weniger stark negativen Werten bei den Görjeån-Muscheln. Nach Bereinigung der ontogenetisch bedingten Trends konnten die standardisierten stabilen Kohlenstoffisotopen-Zeitreihen – genau wie zuvor die SGI-Zeitreihen – zu regionalen (SSCI-) Chronologien zusammengefasst und untersucht werden.

Ähnlichkeiten zwischen den SSCI-Zeitreihen wurden als Auswirkung der Änderungen im DIC-Pool bzw. als Resultat der Bioproduktion gedeutet. Auch bei den SSCI-Zeitreihen wurden mittlere Korrelationskoeffizienten von bis zu  $r = 0,5$  mit NADP-SST festgestellt. Außerdem bestehen periodisch hohe Übereinstimmungen bei gefensterten Korrelationen mit den instrumentellen Datensätzen, die aber ebenfalls keine signifikanten Gemeinsamkeiten aufwiesen. Den SSCI-Zeitreihen wohnten – wie auch den SGI-Datensätzen – inhärente Oszillationen von etwa 2,5 und 20 Jahren Wellenlänge inne. Für die Analysen an den stabilen

Kohlenstoffisotopen lässt sich abschließend festhalten, dass die  $\delta^{13}\text{C}$ -Daten von mindestens einem extrinsischen Faktor beeinflusst werden. Vermutlich sind Änderungen in der Kohlenstoffisotopie durch wechselnde Bioproduktivität verursacht, die selbst wiederum weitere Faktoren wie Niederschlagsraten, Sonneneinstrahlung oder Temperatur widerspiegelt. Für definitive Aussagen ist jedoch das Netz der vorhandenen Daten zu dünn.

Obwohl für die Sauerstoff-Isotopenverhältnisse signifikante Zusammenhänge zwischen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Schale}}$  und der Temperatur erwartet wurden, traf diese Annahme hier nicht zu. Es errechneten sich für die  $\delta^{18}\text{O}$ -Zeitreihen aller Lokalitäten unterschiedliche Vergleichswerte mit sowohl Temperatur- als auch Niederschlagszeitreihen.  $\delta^{18}\text{O}$ -Aragonit-Werte verändern sich als Folge einer kombinierten niederfrequenten Beeinflussung durch Niederschlag (Schnee und Regen) und Temperatur. So wurde der Korrelationskoeffizient der geglätteten (25-Jahresfilter) Zeitreihen von Görjeån ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{Schale}}$ ) und Niederschlag (Jokkmokk, Schweden) auf einen Wert  $r = 0,74$  bestimmt.

Die Seen, die zwei der untersuchten Lokalitäten speisten, wirkten sowohl für die stabilen Kohlenstoff- als auch für die Sauerstoff-Schalenisotopie dämpfend auf die Speicherung von Umweltsignalen. Die lokalen Isotopen-Mittelkurven spiegelten aufgrund der Abhängigkeit des Süßwassermilieus vom meteorischen Niederschlag die geographische Herkunft der Muschelpopulationen wider. Die Verteilung der Populationen von Nord nach Süd wurde klar durch eine latitudinale Abhängigkeit in der Schalenisotopie verdeutlicht.

Im Vergleich der kontinuierlichen Wavelet-Analysen an den instrumentellen Zeitreihen der NAO, des NADP-SST, der SSCI- und der SGI-Zeitreihen fielen erneut die eingangs bei den SGI-Daten erwähnten Gruppen auf. Waren bei der Wavelet-Transformation an der NAO noch die kurzweiligen Periodizitäten ( $\lambda < 10$  a) dominant, so traten bei der NADP-SST vor allem die langfristigen Wellenlängen hervor.

## VI. Mögliche Ziele weiterer Forschung

Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Ergebnisse und Thesen stellen neben den Resultaten aus der Veröffentlichung von Dunca et al. (2005) erste Versuche dar, an ein neues Multiproxy-Archiv Flussperlmuschel heranzutreten. Während in der Veröffentlichung von Dunca et al. (2005) noch der Fokus auf Temperaturrekonstruktion mittels der Sklerochronologie lag, sollten hier in einer kombinierten Herangehensweise von Geochemie und Sklerochronologie neue Ergebnisse hervorgebracht werden. Für künftige Forschungsansätze wären langfristige Datenloggerreihen erforderlich, die Auskunft über die Variation von pH-Wert des umgebenden Milieus, DIC (*Dissolved Inorganic Carbon*), POM (*Particulate Organic Matter*) und eine Möglichkeit zur Verifikation der hier aufgestellten Thesen geben bzw. Kalibrierung des neuen Proxies dienen könnten. Mittels Spurenelement-Analysen an den unterschiedlichen Schichten der Schale von *Margaritifera margaritifera* könnten Fraktionierungsprozesse innerhalb der Schale verdeutlicht und neue Wege zur Rekonstruktion von Temperatur gefunden werden. Weitere Versuche zur stabilen Kohlenstoffisotopie der Schale (auch anderer Arten) würden viel versprechende Ergebnisse liefern, die zur Rekonstruktion vergangener Bioproduktivitätsraten dienen könnten. Auch die Möglichkeit zur Untersuchung der Abhängigkeit der  $\delta^{13}\text{C}$ -Schalenwerte von (lokalen) DIC-Werten wäre ein interessanter Gesichtspunkt für weiterführende Forschungsansätze.

## VII. Quellenverzeichnis

### VII.1. Literaturverzeichnis

- Baillie, M.G.L. & Pilcher, J.R., 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin* **33**: 7-14.
- Barker, J., 1862-1865. Notes on some dissections of the fresh-water mussel (*Unio margaritifera*). *Proceedings of the Natural History Society of Dublin* **4**: 111-114.
- Bauer, G., 1986. The status of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in the South of its European range. *Biological Conservation* **38**: 1-9.
- Bauer, G., 1987a. Reproductive strategy of the freshwater pearl mussel. *Journal of Animal Ecology* **56**: 691-704.
- Bauer, G., 1987b. The parasitic stage of the freshwater pearl mussel, II. Susceptibility of brown trout. *Archiv für Hydrobiologie, Supplementband* **76**: 393-402.
- Bauer, G., 1988. Threats to the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in Central Europe. *Biological Conservation* **45**: 239-253.
- Bauer, G., 1992. Variation in the life span and size of the freshwater pearl mussel. *Journal of Animal Ecology* **61**: 425-436.
- Bertalanffy, L.v., 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws, II). *Human Biology* **10**: 181-213.
- Boycott, A.E., 1921. Ecological notes 3: *Margaritana margaritifera* out of water. *Proceedings of the Malacological Society, London* **14**: 130.
- Brauer, A., 2004. Annually laminated lake sediments and their paleoclimatic relevance. In: Fischer, H., Kumke, T., Lohmann, G., Flöser, G., Miller, H., Storch, H. v. & Negendank, J. F.W. (Hrsg.). *The Climate in Historical Times. Towards a Synthesis of Holocene Proxy Data and Climate Models*. Springer, Berlin: 109-128.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H. & Osborn, T.J., 1998. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature* **393**: 350-354.
- Burton, R.F., 1983. Ionic regulation and water balance. In: *The Mollusca*. A. S. M. Saleuddin & Wilbur, K. M (Hrsg.). Academic Press, New York: **5**: 291-352.

- Clark, G.R. II., 1975. Periodic growth and biological rhythms in experimentally grown bivalves. In: G.D. Rosenberg & Runcorn, S.K. (Hrsg.). Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. Wiley, London: 103-117.
- Cobb, K.M., Charles, C.D., Cheng, H. & Edwards, R.L., 2003. El Niño/Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millenium. *Nature* **424**: 271-276.
- Coe, W.R., 1948. Nutrition, environmental conditions, and growth of marine bivalve mollusks. *Journal of Marine Research* **7**: 586-601.
- Cook, E.R. & Kairiukstis, L.A., 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 393 S.
- Craig, H., 1953. The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **3**: 53-65.
- Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* **16**: 436-468.
- Davenport, C.B., 1938. Growth lines in fossil pectens as indicators of past climates. *Journal of Paleontology* **12**: 514-515.
- De Geer, G., 1912. Geochronologie der letzten 12000 Jahre. *Geologische Rundschau* **3**: 457-471.
- Deser, C. & Blackmon, M.L., 1993. Surface climate variations over the North Atlantic during winter: 1900-1989. *Journal of Climate* **10**: 393-408.
- Dettman, D.L., Reische, A.K. & Lohmann, K.C., 1999. Controls on the stable isotope composition of seasonal growth bands in aragonitic fresh-water bivalves (Unionidae). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **63**: 1049-1057.
- Dunca, E., 1999. Bivalve shells as archives for changes in water environment. *Vatten* **55**: 279-290.
- Dunca, E. & Mutvei, H., 2001. Comparison of microgrowth pattern in *Margaritifera margaritifera* shells from south and north Sweden. *American Malacological Bulletin* **16**: 239-250.
- Dunca, E., Schöne, B.R. & Mutvei, H., 2005. Freshwater bivalves tell of past climates: But how clearly do shells from polluted rivers speak? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **228**: 43-57.
- Epstein, S., Buchbaum, R., Lowenstam, H.A. & Urey, H.C., 1953. Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geological Society of America Bulletin* **64**: 1315-1326.
- Fiebig, J., Schöne, B.R. & Oschmann, W., 2005. High precision oxygen and carbon isotope analysis of very small (10-30µg) amounts of carbonates using CF-IRMS. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* **19**: 2355-2358.

- Finlay, J. C., 2001. Stable-carbon isotope ratios of river biota: Implications for energy flow in lotic food webs. *Ecology* **82**(4): 1052-1064.
- Fredén, C., 1988. Marine life and deglaciation chronology of the Vänern Basin, southwestern Sweden. Sveriges geologiska undersökning, Avhandlingar och uppsatser i A4 Ser.Ca **71**: 3-80.
- Freidrich, M., Kromer, B., Spurk, M., Hofmann, J. & Kaiser, K.F., 1999: Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial / Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International* **61**: 27-39.
- Fritts, H. C., 1976. Tree rings and climate. London, Academic Press Ltd. 567 S.
- Fritz, P. & Poplawski, S., 1974.  $^{18}\text{O}$  and  $^{13}\text{C}$  in shells of freshwater molluscs and their environments. *Earth and Planetary Science Letters* **24**: 91-98.
- Fry, B. & Allen, Y.C., 2003. Stable isotopes in zebra mussels as bioindicators of the riverwatershed linkages. *River Research and Applications* **19**: 683-696.
- Gagan, M.K., Chivas, A.R. & Isdale, P.J., 1994: High resolution isotopic records from corals using ocean temperature and mass-spawning chronometers. *Earth and Planetary Science Letters* **121**: 549-558.
- Geist, J., Auerswald, K. & Boom, A., 2005. Stable carbon isotopes in freshwater mussel shells: Environmental record or marker for metabolic activity? *Geochimica et Cosmochimica Acta* **69**: 3545-3554.
- Gillikin, D.P., Ridder, F.D., Ulens, H., Elskens, M., Keppens, E., Baeyens, W. & Dehairs, F., 2005. Assessing the reproducibility and reliability of estuarine bivalve shells (*Saxidomus giganteus*) for sea surface temperature reconstruction: Implications for paleoclimate studies. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* **228**: 70-85.
- Grissino-Mayer, H.D., 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* **57**: 205-221.
- Goewert, A., Surge, D., Carpenter, S.J. & Downing, J., 2007. Oxygen and carbon isotope ratios of *Lampsilis cardium* (Unionidae) from two streams in agricultural watersheds of Iowa, USA. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* **252**: 637-648.
- Grossmann, E.L. & Ku, T.-L., 1986. Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: Temperature effects. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, **59**: 59-74.
- Grissino-Mayer, H.D. & Swetnam, T.W., 2000. Century scale changes in fire regimes and climate in the Southwest. *The Holocene* **10**: 207-214.
- Hall Jr., C., Dollase, W.A. & Corbató, C.E., 1974. Shell growth in *Tivela stultorum* (Mawe, 1823) and *Callista chione* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia): annual periodicity, latitudinal

- differences, and diminution with age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **15**: 33-61.
- Hartig, R., 1891. *Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Forstgewächse*. Springer, Berlin. 308 S.
- Hastie, L.C., Boon, P.J. & Young, M.R., 2000a. Physical microhabitat requirements of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). *Hydrobiologia* **429**: 59-71.
- Hastie, L.C., Young, M.R. & Boon, P.J., 2000b. Growth characteristics of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). *Freshwater Biology* **43**: 243-356.
- Hellings, L., Van den Driessche, K., Baeyens, W., Keppens, E. & Dehairs, F., 2000. Origin and fate of dissolved inorganic carbon in interstitial waters of two freshwater intertidal areas: A case study of the Scheldt Estuary, Belgium. *Biogeochemistry* **51**: 141-160.
- Heming, T.A., Vinogradov, G.A., Klerman, A.K. & Komov, V.T., 1988. Acid-base regulation in the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera*: Effects of emersion and low water pH. *Journal of Experimental Biology* **137**: 501-511.
- Henderson, J.T., 1929. Lethal temperatures of Lamellibranchiata. *Contributions to Canadian Biology and Fishery* **4**: 399-411.
- Hertel, R., 1956. Praehistorische Fund von *Margaritana auricularia* Spglr. und *Margaritana margaritifera* (L.) in Sachsen. *Abhandlungen und Berichte aus dem Staatlichen Museum für Tierkunde Dresden* **23**: 1-7.
- Huber, B., 1943. Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. *Holz* **6**: 263-268.
- Hurrell, J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation. *Science* **269**: 676-679.
- Ivell, R., 1979: The biology and ecology of a brackish lagoon bivalve, *Cerastoderma glaucum* Bruguière, in Lago Lungo, Italy. *Journal of Molluscan Studies* **45**: 364-382.
- Johnsen, S., Clausen, H., Dansgaard, W., Gundestrup, N., Hammer, C., Andersen, U., Andersen, K.K., Hvidberg, C.S., Dahl-Jensen, D., Steffensen, J.P., Shoji, H., Sveinbjornsdottir, A.E., White, J., Jouzel, J. & Fisher, D., 1997. The  $\delta^{18}\text{O}$  record along the Greenland Ice Core Project deep ice core and the problem of possible Eemian climatic instability. *Journal of Geophysical Research* **102**: 26397-26410.
- Jones, D.S., 1978. Age and growth rate determinations for the Atlantic Surf Clam *Spisula solidissima* (Bivalvia: Mactracea), based in internal growth lines in shell cross-sections. *Marine Biology* **47**: 63-70.
- Jones, D.S., 1980. Annual cycle of shell growth increment formation in two continental shelf bivalves and its paleoecological significance. *Paleobiology* **6**: 331-340.

- Jones, D.S., 1983. Sclerochronology: Reading the record of the molluscan shell. *American Scientist* **71**: 384-391.
- Jones, D.S., 1985. Growth increments and geochemical variations in the molluscan shell. *SEPM Short Course. Studies in Geology* **13**: 72-87.
- Jones, P.D., Jónsson, T. & Wheeler, D., 1997. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *International Journal of Climatology* **17**: 1433-1450.
- Jones, P.D., Osborn, T.J., Briffa, K.R., Folland, C.K., Horton, E.B., Alexander, L.V., Parker, D.E. & Rayner, N.A., 2001. Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series. *Journal of Geophysical Research* **106**: 3371-3380
- Kaandorp, R.J.G., Vonhof, H.B., Del Busto, C., Wesselingh, F.P., Ganssen, G.M., Marmól, A.E., Pittman, L.R. & van Hinte, J.E., 2003. Seasonal stable isotope variations of the modern Amazonian freshwater bivalve *Anodontites trapesialis*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **194**: 339-254
- Kaandorp, R.J.G., Vonhof, H.B., Wesselingh, F.P., Pittman, L.R., Kroon, D. & Van Hinte, J.E., 2005. Seasonal Amazonian rainfall variation in the Miocene Climate Optimum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **221**: 1-6.
- Kanazawa, T. & Sato, S., 2008: Environmental and physiological controls on shell microgrowth pattern of *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae) from Japan. *Journal of Molluscan Studies* **74**: 89-95.
- Keith, M.L., Anderson, G.M. & Eichler, R., 1964. Carbon and oxygen isotopic composition of mollusk shells from marine and fresh-water environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **28**: 1757-1786.
- Kennish, M.J. & Olsson, R.K., 1975. Effects of thermal discharges on the microstructural growth of *Mercenaria mercenaria*. *Environmental Geology (Springer)* **1**: 41-64.
- Kuhnert, H., Crüger, T. & Pätzold, J., 2005. NAO signature in a Bermuda coral Sr/Ca record. *Geochemistry Geophysics Geosystems* **6**, DOI: 10.1029/2004GC000786.
- Kushnir, Y., 1994. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions. *Journal of Climate* **7**: 141-157.
- Lauritzen, S.-E. & Lundberg, J., 1999. Speleothems and climate: a special issue of the Holocene. *The Holocene* **9**: 643-647.
- Linsley, B. K., Wellington, G. M. & Schrag, D. P., 2000. Decadal sea surface temperature variability in the subtropical South Pacific from 1726-1997 A.D. *Science* **290**: 1145-1148.

- Lorrain, A., Paulet, Y.-M., Chauvaud, L., Dunbar, R., Mucciarone, D. & Fontugne, M., 2004.  $\delta^{13}\text{C}$  variation in scallop shells: increasing metabolic carbon contribution with body size? *Geochimica et Cosmochimica Acta* **68**: 3509-3519.
- Lugina, K.M., 1999. Some features of zonal changes in the surface air temperatures under the global warming. *Bulletin of St. Petersburg University, Series 7, Geology and Geography* **4**.
- Marsden, I.D. & Pilkington, R.M., 1995. Spatial and temporal variations in the condition of *Austrovenus stutchburyi* Finlay, 1927 (Bivalvia: Veneridae) from the Avon–Heathcote estuary, Christchurch. *New Zealand Natural Sciences* **22**: 57-67.
- Marsh, R., Petrie, B., Weidman, C.R., Dickson, R.R., Loder, J.W., Hannah, C.G., Frank, K. & Drinkwater, K., 1999. The 1882 tilefish kill—a cold event in shelf waters off the northeastern United States? *Fisheries Oceanography* **8**: 39-49.
- McConnaughey, T.A., 1989.  $^{13}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$  isotopic disequilibrium in biological carbonates: 2. In vitro simulation of kinetic isotope effects. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **53**: 163-171.
- McCorkle, D.C., Emerson, S.R. & Quay, P.D., 1985. Stable carbon isotopes in marine porewaters. *Earth and Planetary Science Letters* **74**: 13-26.
- McCulloch, M. T., 2006. Contemporary changes in continental runoff: Evidence for increased sediment and freshwater fluxes into the Great Barrier Reef. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **70**. DOI: 10.1016/j.gca.2006.06.822.
- Meyer, L. & Klupp, R., 1980. Über die Situation der Perlmuschel in Oberfranken. *Fischerei und Teichwirt* **317**: 194-197.
- Mook, W.G. & Vogel, J.C., 1968. Isotopic equilibrium between shells and their environment. *Science* **159**: 874-875.
- Mutvei, H. & Westermark, T., 2001. How environmental information can be obtained from Naiad shells. In: G. Bauer & K. Wächtler (Hrsg.). *Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoidea*, Ecological Studies 145. Springer, Berlin, Heidelberg: 367-379.
- Mutvei, H., Dunca, E., Timm, H. & Slepukhina, T., 1996. Structure and growth rates of bivalve shells as indicators of environmental changes and pollution. *Bulletin de l'Institute océanographique, Monaco. No. spécial* **14**: 65-72.
- Mutvei, H., Westermark, T., Dunca, E., Carell, B., Forberg, S. & Bignert, A., 1994. Methods for the study of environmental changes using the structural and chemical information in molluscan shells. *Bulletin de l'Institute océanographique, Monaco. No. spécial* **13**: 163-186.
- Nagel, K.-O., 1992. Das Schalenwachstum dreier Muschelarten (Bivalvia: Unionidae) in der Schwalm, einem nordhessischen Mittelgebirgsfluss. *Decheniana* **145**: 165-176.

- Negus, C.L., 1966. A quantitative study of growth and production of unionid mussels in the river Thames at Rearing. *Journal of Animal Ecology* **35**: 513-532.
- Nyström, J., Dunca, E., Mutvei, H. & Lindh, U., 1996. Environmental history as reflected by Freshwater Pearl Mussels in the River Vramsån, Southern Sweden. *Ambio* **25**: 350-355.
- Nyström, J., Lindh, U., Dunca, E. & Mutvei, H., 1995. A study of *M. margaritifera* shells from the River Pauliströmsån, S. Sweden. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **104**: 612-618.
- Oldenborgh, G.J.v. & Burgers, G., 2005. Searching for decadal variations in ENSO precipitation teleconnections. *Geophysical Research Letters* **32**: L15701, DOI: 15710.11029/12005GL023110.
- Owen, R., Kennedy, H. & Richardson, C., 2002. Isotopic partitioning between scallop shell calcite and seawater: effect of shell growth rate. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **66**: 1727-1737.
- Paillard, D., Labeyrie, L. & Yiou, P., 1996. Macintosh program performs time-series analysis. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* **77**: 379.
- Pannella, G. & MacClintock, C., 1968. Biological and environmental rhythms reflected in molluscan shell growth. *Paleontological Society, Memoir* **42**: 64-81.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.-M., Basile, I., Benders, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delayque, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E. & Stievenard, M., 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* **399**: 429-436.
- Pittendrigh, C.S., 1979. Some functional aspects of circadian pacemakers. In: M. Suda, Hayaishi, O. & Nakagawa, H. (Hrsg.). *Biological Rhythms and their Central Mechanism*. Elsevier, Netherlands: 3-12.
- Reed, J.K., 1983. Nearshore and shelf-edge *Oculina* coral reefs: The effects of upwelling on coral growth and on the associated faunal communities. In: M. Reaka (Hrsg.). *The Ecology of Deep and Shallow Coral Reefs*. Symposia Series for Undersea Research; NOAA. **1**: 119-124.
- Rein, B., Jäger, K., Kocot, Y., Grimm, K. & Sirocko, F., 2007. Varve classification of interglacial Eifel maar lake sediments. In: F. Sirocko, Litt, T. & Claussen, M. (Hrsg.). *The climate of past interglacials*. Elsevier, Netherlands: 141-156.
- Rimbu, N., Lohmann, G., Felis, T. & Pätzold, J., 2001. Arctic Oscillation signature in a Red Sea coral. *Geophysical Research Letters* **28**: 2959-2962.

- Sato, S., 1997. Shell microgrowth patterns of bivalves reflecting seasonal change of phytoplankton abundance. *Paleontological Research* **1**: 260-266.
- Sato, S., 1996: Temporal change of life-history traits in fossil bivalves: An example of *Phacosoma japonicum* from the Pleistocene of Japan. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* **154**: 313-323.
- Schöne, B.R., Dunca, E., Fiebig, J. & Pfeiffer, M., 2005b. Mutvei's solution: An ideal agent for resolving microgrowth structures of biogenic carbonates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **228**: 149-166.
- Schöne, B.R., Dunca E., Mutvei H., Baier, S.M. & Fiebig, J., 2005c. Scandinavian climate since the late 18th century reconstructed from shells of bivalve mollusks. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaft* **156**: 500-516.
- Schöne, B.R., Dunca, E., Mutvei, H. & Norlund, U., 2004. A 217-year record of summer air temperature reconstructed from freshwater pearl mussels (*M. margaritifera*, Sweden). *Quaternary Science Reviews* **23**: 1803-1817.
- Schöne, B.R., Fiebig, J., Pfeiffer, M., Gleß, R., Hickson, J., Johnson, A.L.A., Dreyer, W. & Oschmann, W., 2005a. Climate records from a bivalved Methuselah (*Arctica islandica*, Mollusca; Iceland). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **228**: 130-148.
- Schöne, B.R., Oschmann, W., Rössler, J., Freyre Castro, A.D., Houk, S.D., Kröncke, I., Dreyer, W., Janssen, R., Rumohr, H. & Dunca, E., 2003. North Atlantic Oscillation dynamics recorded in shells of a long-lived bivalve mollusk. *Geology* **31**: 1037-1040.
- Schöne, B.R., Page, N.A., Rodland, D.L., Fiebig, J., Baier, S.M., Helama, S.O. & Oschmann, W., 2006a. ENSO-coupled precipitation records (1959–2004) based on shells of freshwater bivalve mollusks (*Margaritifera falcata*) from British Columbia. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, DOI: 10.1007/s00531-006-0109-3.
- Schöne, B.R., Rodland, D.L., Surge, D.M., Fiebig, J., Gillikin, D.P., Baier, S.M. & Goewert, A., 2006b. Comment on “Stable carbon isotopes in freshwater mussel shells: Environmental record or marker for metabolic activity?” by J. Geist et al. (2005). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **70**: 2658-2661.
- Sirocko, F., Seelos, K., Schaber, K., Rein, B., Dreher, F., Diehl, M., Lehne, R., Jäger, K., Krbetschek, M. & Degering, D., 2005. A late Eemian aridity pulse in central Europe during the last glacial inception. *Nature* **436**: 833-836.
- Spötl, C. & Vennemann, T., 2003. Continuous-flow isotope ratio mass spectrometric analysis of carbonate minerals. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* **17**: 1004-1006.

- Strom, A., Francis, R.C., Mantua, N.J., Miles, E.L. & Peterson, D.L., 2005. Preserving low frequency climate signals in growth records of geoduck clams (*Panopea abrupta*). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **228**: 167-178.
- Suess, H.E., 1955. Radiocarbon concentration in modern wood. *Science* **122**: 415-417.
- Swart, P.K., Dodge, R.E. & Hudson, H.J., 1996. A 240-year stable oxygen and carbon isotopic record in a coral from South Florida: Implications for the prediction of precipitation in Southern Florida. *Palaios* **11**: 362-375.
- Taylor, J.D. & Layman, M., 1972. The mechanical properties of bivalve (Mollusca) shell structures. *Paleontology* **15**: 73-87.
- Thompson, D.W.J. & Wallace, J.M., 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters* **25**: 1297-1300.
- Trutschler, K. & Samtleben, C., 1988. Shell growth of *Astarte elliptica* (Bivalvia) from Kiel Bay (Western Baltic Sea). *Marine Ecology-Progress Series* **42**: 155-162.
- Valovirta, J., 1980. The freshwater pearl mussel, a protected but endangered species of running water. *Luonnon Tutka* **84**: 137-389.
- Van der Merwe, N., 1982. Carbon isotopes, photosynthesis and archaeology. *American Scientist* **70**: 596-606
- Vannote, R.L. & Minshall, G.W., 1982. Fluvial processes and local lithology controlling abundance, structure and composition of mussel beds. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **79**: 4103-4107.
- Veinott, G.I. & Cornett, R.J., 1998. Carbon isotopic disequilibrium in the shell of the freshwater mussel *Elliptio complanata*. *Applied Geochemistry* **13**: 49-57.
- Walker, B., 1910. The distribution of *Margaritifera margaritifera* in North America. *Proceedings of the Malacological Society, London* **9**: 126-145.
- Wanamaker, A.D. Jr., Kreutz, K.J., Schöne, B.R., Pettigrew, N., Borns, H.W., Introne, D.S., Belknap, D., Maasch, K.A. & Feindel, S., 2007. Coupled North Atlantic slope water forcing on Gulf of Maine temperatures over the past millenium. *Climate Dynamics*, **12**. DOI: 10.1007/s00382-007-0344-8.
- Wigley, T.M.L., Briffa, K.R. & Jones, P.D., 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meterology* **6**: 201-213.
- Wilbur, K.M., 1972. Shell formation in molluscs. *Chemical Zoology* **VII**: 103-144.

- Wurster, C.M. & Patterson, W.P., 2001. Seasonal variation in stable oxygen and carbon isotope values recovered from modern lacustrine freshwater molluscs: Paleoclimatological implications for sub-weekly temperature records. *Journal of Paleolimnology* **26**: 205-218.
- Yamaguchi, K., Seto, K., Takayasu, K. & Aizaki, M., 2006: Shell layers and structures in the brackish water bivalve, *Corbicula japonica*. *The Quaternary Research* **45**: 317-331.
- Young, M.R. & Williams, J., 1983. The status and conservation of the freshwater pearl mussel. *Biological Conservation* **25**: 35-52.
- Young, M.R. & Williams, J., 1984. The reproductive biology of the freshwater pearl mussel in Scotland I. *Archiv für Hydrobiologie* **99**: 405-422.
- Ziuganov, V., Zotin, A., Nezhlin, L. & Tretiakov, V., 1994. The freshwater pearl mussels and their relationship with salmonid fish. VNIRO Publications, Moscow. 104 S.

## VII.2. Sonstige Quellen

- CDC, 2006. Climate Diagnostics Centre. <<http://www.cdc.noaa.gov>>. Letzter Zugriff am 15. Mai 2006.
- GNIP, 2007. Global Network of Isotopes in Precipitation. <<http://isohis.iaea.org>>. Letzter Zugriff am 15. April 2007.
- Hadley Centre for Climate Prediction and Research, 2007. Temperature for the Northern Hemisphere. <<http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/obsdata/globaltemperature.html>>. Letzter Zugriff am 15. April 2006.
- Mollusc-Specialist-Group, 1996. *Margaritifera margaritifera*. 2006 IUCN Red List of Threatened Species. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Letzter Zugriff am 9. Mai 2007.
- National Research Council of Canada, 2007. 10.7 cm Solar Flux. <[ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SOLAR\\_RADIO/FLUX/MONTHLY.OBS](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/MONTHLY.OBS)>. Letzter Zugriff am 15. März 2007.
- National Climatic Data Center, 2007. Temperature and precipitation records for Berlin-Tempelhof, Trier and Stockholm. <<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>> Letzter Zugriff am 3. Mai 2007.
- SGU, 2007. Geological Survey of Sweden (SGU) 2007: Soil and bedrock maps. <<http://maps.sgu.se>>. Letzter Zugriff am 24. Mai 2007.
- Sunspot-Index-Data-Center, 2007. World Data Center for the Sunspot Index, Royal Observatory of Belgium, Monthly Report on the International Sunspot Number, online catalogue of the sunspot index: <<http://www.sidc.be/sunspot-data/>>, 1810-2006. Letzter Zugriff am 15. April 2007.
- von Proschwitz, T., 2007. The Large Freshwater Mussels (Margaritiferidae, Unionidae and Dreissenidae) of Sweden. <<http://www.nrm.se/researchandcollections/zoology/invertebratezoology/factsoninvertebrates/thelargefreshwatermussels.4.5fdc727f10d795b1c6e80007096.html>>. Letzter Zugriff am 9. Mai 2007.
- WISIA, 2006. *Margaritifera margaritifera*. <[http://www.s2you.com/wisia/FsetWisial\\_dt.html](http://www.s2you.com/wisia/FsetWisial_dt.html)>. Letzter Zugriff am 9. Mai 2007.

## VIII. Anhang

### VIII.1. Abkürzungs-Verzeichnis

*Kursiv* gesetzte Abkürzungen entstammen den Abbildungen.

A	lebend gefangen; <i>collected alive</i>
Abb.	Abbildung
<i>Ak</i>	Aragonitkristalle
AL	Almaån
<i>ant.</i>	anterior
ASR	Aminosäure-Razemisation; Altersbestimmung
BOD	<i>Biochemical oxygen demand</i>
D	tot gefangen; <i>dead collected</i>
DIC	<i>Dissolved Inorganic Carbon</i>
ED	Elena Dunca
EPF	Extrapalliales Fluid
EPS	<i>Expressed Population Signal</i>
<i>eU</i>	erodierte Umbonalregion
F.	Formel
GI	Wachstumsindex; <i>growth index</i>
GJ	Görjeån (Fluss)
<i>Gp</i>	Glycoproteine
GTB	Grundträsktjärbäcken (Bach)
<i>Ink</i>	Inkrement
<i>Kz</i>	Kardinalzahn
L	links (orientiert)
L.	<i>bei Artnamen</i> : Erstbeschreibung durch Carl von Linné (Linnaeus)
<i>Lg</i>	Ligament
<i>Mf</i>	Muskelfeld
<i>MiF</i>	Mikrofräse
Mittlg.	Mitteilung
MJ	Maljan (Fluss)
NAO	Nordatlantische Oszillation
NADP	Nordatlantischer Dipol
NJB	Nuortejaurbäcken (Bach)
NRM	Naturhistorisches Reichsmuseum (in Stockholm, Schweden)
NWS	Naturhistorische Landessammlung Museum Wiesbaden
(V)PDB	<i>(Vienna) Pee Dee Belemnite</i>
persönl.	persönlich(e)
<i>Pe</i>	Periostracum
<i>Pm</i>	Perlmuttschicht
<i>post.</i>	posterior
<i>pP</i>	primäre Perlmuttschicht
<i>Pr</i>	Prismenschicht

R	rechts (orientiert)
RG	Regnitz (Fluss)
SB	Sven Baier
SSCI	Standardisierter stabiler Kohlenstoff-Isotopen Index
SGI	Standardisierter Wachstums Index; <i>standardized growth index</i>
SGU	<i>Sveriges geologiska undersökning</i> (Schwedisches Bundesamt für Geologie)
SiC	Siliziumcarbid
(V)SMOW	<i>(Vienna) Standard Mean Ocean Water</i>
<i>sP</i>	sekundäre Perlmutternschicht
SST	Seasurface temperature (Meeresoberflächenwasser-Temperatur)
Tab.	Tabelle
TBB	Tjartsebäckbiflöde (Bach)
TIM	Timpermühle (an Zinnbach, ZIN)
UP	Uppsalaån
W	Wirbel
WOB	Wolfsbach (Bach)
WWA	Wasserwirtschaftsamt
ZIN	Zinnbach (Bach)

## VIII.2. Einzelzeitreihen

### VIII.2.1. Zuwachsraten

Görjeån und Maljan

ED-	GJ-							SN-	MJ-
	A1	A2	A3	A4	D5	D6		A12	
1	195.20	223.95	151.48	187.33	106.76	56.99	1	64.07	
2	207.43	204.67	113.04	154.24	108.18	55.34	2	78.42	
3	121.45	239.73	91.81	196.38	149.95	84.81	3	94.86	
4	152.80	162.31	143.03	116.08	108.26	36.56	4	108.19	
5	157.94	198.15	147.24	129.15	87.73	40.43	5	129.50	
6	135.25	224.42	109.53	159.55	93.80	68.87	6	147.08	
7	130.04	200.38	84.53	107.77	132.47	55.90	7	147.93	
8	92.46	201.89	96.78	93.05	137.05	62.27	8	192.28	
9	107.66	139.93	92.29	139.27	135.16	46.26	9	199.41	
10	129.58	137.03	73.99	160.79	121.48	37.83	10	241.57	
11	115.28	191.74	79.85	114.26	91.01	42.62	11	230.69	
12	81.57	107.54	81.98	88.57	79.81	41.80	12	232.47	
13	63.78	49.34	81.83	113.80	92.89	67.65	13	219.34	
14	71.38	59.94	55.58	112.13	76.68	73.00			
15	81.30	86.82	64.40	86.89	71.76	55.89			
16	88.93	99.26	89.84	83.95	81.36	76.64			
17	105.50	107.54	75.39	101.73	41.60	73.28			
18	119.20	132.37	82.74	83.27	53.39	51.57			
19	89.19	152.56	60.83	60.98	50.14	50.75			
20	63.43	159.65	65.42	66.20	49.57	47.57			
21	85.92	145.31	69.35	88.62	61.02	50.52			
22	89.17	96.46	42.40	83.57	71.31	53.13			
23	82.81	112.11	61.42	95.24	67.99	57.45			
24	85.43	84.62	29.85	68.34	63.26	35.59			
25	100.95	92.20	39.29	59.71	77.95	28.26			
26	65.90	101.24	37.61	59.90	53.47	40.73			
27	65.19	127.16	40.87	49.15	48.02	44.43			
28	71.64	97.07	45.91	49.94	60.43	38.16			
29	60.10	99.75	53.29	36.54	70.96	20.32			
30	87.87	86.33	46.51	35.39	63.77	30.69			
31	35.73	82.58	48.49	38.85	45.34	37.28			
32	59.97	107.82		44.64	70.82	40.21			
33	100.16	69.68	48.26	50.65	83.44	47.83			
34	41.96	84.18	39.71	57.45	87.23	46.48			
35	68.44	44.69	35.30	51.21	69.29	43.57			
36	54.46	53.87	41.55	53.50	83.40	35.15			
37	42.00	59.23	39.53	44.21	73.43	30.84			
38	56.13	70.07	42.88	41.40	61.17	24.05			
39	49.86	52.54	36.46	40.51	52.53	16.66			
40	47.62	48.33	40.18	49.77	43.78	27.16			
41	43.43	57.31	35.16	52.02	66.51	33.68			
42		74.89	35.67	37.30	73.21	32.41			
43	45.18	80.59	39.79	46.91	76.37	34.06			

ED-	GJ-							SN-	MJ-
	A1	A2	A3	A4	D5	D6		A12	
44	42.68	63.21	47.86	38.18	97.55	28.70			
45	53.54	57.54	40.74	39.62	52.15	19.74			
46	46.52	57.68	34.52	45.21	45.59	22.20			
47	50.92	64.47	41.97	36.66	57.87	24.38			
48	49.97	51.43	49.80	39.91	49.09	29.61			
49	38.22	64.90	41.47	30.09	48.46	30.54			
50	51.41	56.28	36.45	27.85	47.20	18.10			
51	50.71	33.17	37.54	40.78	66.46	21.03			
52	43.50	49.70	31.21	37.30	93.12	25.09			
53	38.03	51.52	52.10	37.80	75.21	25.87			
54	43.11	54.30	45.42	31.84	51.94	20.56			
55	37.87	52.79	38.11	23.88	49.99	22.63			
56	44.68	55.06	32.79	24.99	61.50	18.38			
57	51.64	59.95	21.27	31.52	58.16	14.40			
58	46.63	55.97	19.05	28.05	58.29	19.81			
59	51.26	50.17	26.59	31.23	64.94	19.81			
60	53.60	55.49	23.98	29.82	54.97	18.69			
61	48.16	60.83	28.80	25.07	45.16	21.80			
62	52.55	63.42	30.58	26.06	46.03	25.95			
63		61.29	24.83	29.02	46.03	21.80			
64	53.74	67.88	26.52	29.90	44.00	17.99			
65	61.65	76.56	30.72	40.09	61.90	28.15			
66	51.03	63.00	33.74	35.30	64.49	22.94			
67	40.78	73.74	31.94	23.86	46.00	22.17			
68	50.83	52.87	29.21	24.68	68.25	21.81			
69	40.19	52.99	21.49	20.74	82.17	19.05			
70	47.73	50.68	21.20	26.56	68.67	24.76			
71	43.81	55.80	20.05	26.73	52.38	21.89			
72	42.43	61.51	23.36	30.80	57.07	23.97			
73	38.73	54.46	25.17	32.98	65.70	26.32			
74	28.69	57.54	32.90	28.64	50.35	24.88			
75	31.18	56.70	27.08	25.68	51.78	25.67			
76	36.90	43.31	29.62	28.73	48.51	24.69			
77	19.02	46.33	23.21	30.48	50.38	27.10			
78	17.79	43.72	24.22	29.33	50.90	21.87			
79		26.07	30.55	29.33	64.88	16.66			
80		22.03	20.24	21.98	56.44	16.39			
81			22.53	24.03	63.76	13.82			
82			22.53	19.21	38.54	15.10			
83			20.08	22.06	37.96	15.07			
84			21.34	27.13	52.31	15.78			
85			26.48	26.88	33.45	23.15			
86			25.28	22.91	27.79	17.58			
87			20.14	22.65	31.81	27.33			
88			22.20	33.14	46.23	23.96			
89			23.42	28.65	45.04	21.80			
90			24.91	29.25	50.69	29.34			
91			24.20	30.85	46.07	26.86			
92			24.75	29.53	40.49	30.76			
93			33.45	39.02	29.44	27.16			
94			30.56	32.09	34.49	31.92			
95			31.00	30.11	27.06	17.73			
96			26.21	27.93	32.11	25.61			
97			24.64	30.45	44.50	20.00			

ED-	GJ-						SN-	MJ-
	A1	A2	A3	A4	D5	D6		A12
98			26.98	31.21	47.75	22.40		
99			22.12	26.44	38.14	17.63		
100			24.05	30.58	33.70	28.88		
101			24.25	17.60	33.85	23.52		
102			29.28	21.13	59.10	22.22		
103			27.97	25.36	63.38	18.17		
104			30.40	15.78	47.06	21.76		
105			26.67	17.55	53.20	18.17		
106			19.95	35.44	39.28	20.94		
107			21.49	36.50	40.18	28.84		
108			23.82	26.22	49.26	26.04		
109			17.25	27.29	42.38	17.91		
110			18.93	23.75	70.06	13.21		
111			25.47	30.48	50.72	15.51		
112			18.78	33.84	36.37	17.67		
113			16.35	29.64	48.67	14.65		
114			17.93	32.52	52.72	19.73		
115			20.06	19.62	52.76	19.47		
116			25.58	20.05	49.73	17.67		
117			22.20	31.40	57.21	14.81		
118			22.82	19.46	40.43	17.78		
119			21.66	20.79	54.24	16.87		
120			20.64	22.55	58.66	13.91		
121			25.15	24.33	62.15	16.04		
122			13.72	27.56	34.38	18.87		
123			20.83	23.14	39.30	17.11		
124			24.90	19.83	45.28	13.91		
125			17.24	25.43	46.43	22.58		
126			18.31	20.86	44.86	21.19		
127			12.34	10.98	37.33	18.41		
128			21.77	12.40	32.70	27.28		
129			25.02		37.87	17.85		
130			22.44		49.88	19.53		
131			27.76		32.44	27.68		
132			11.98		19.06	17.06		
133			10.34		23.83	19.53		
134			6.28		23.72	26.20		
135					31.53	19.81		
136					34.28	22.50		
137					35.83	24.47		
138					19.06	18.29		
139					22.00	18.29		
140					36.29	21.77		
141					30.67	21.72		
142					34.11	20.55		
143					34.11	20.19		
144					38.75	17.78		
145					15.46	16.33		
146					15.61	25.12		
147					25.11	18.37		
148					16.66	18.72		
149					28.15	18.88		
150					28.71	13.50		
151					19.58	13.02		

ED-	GJ-						SN-	MJ-
	A1	A2	A3	A4	D5	D6		A12
152					18.11	14.54		
153					27.63	14.87		
154					17.45	12.64		
155					29.22	16.71		
156					21.70	16.39		
157					30.55	11.57		
158					16.42			
159					16.02			
160					16.13			
161					12.57			
162					12.98			
163					16.13			
164					15.33			
165					11.77			
166					12.98			
167					12.17			
168					14.19			
169					17.23			
170					12.06			
171					13.79			
172					19.98			
173					14.54			
174					13.22			
175					5.68			
176					4.36			
177					7.01			
178					11.50			

# Grundträsktjärnbäcken

## ED-GTB-Exemplare

ED-	GTB-	A1	A2	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
1		98.65	157.38	48.48	64.90	63.71	51.29	44.01	95.76	54.79
2		94.21	132.74	54.65	108.16	53.13	42.39	32.15	51.50	52.01
3		109.42	109.64	49.90	67.76	36.40	49.38	37.19	42.48	44.94
4		103.41	90.06	52.33	57.96	56.24	59.87	32.39	62.25	44.03
5		112.26	107.54	61.23	115.52	65.45	75.58	43.32	68.90	49.75
6		97.17	95.83	86.99	130.18	45.06	77.06	54.91	82.24	62.71
7		98.55	71.36	73.30	137.16	62.60	109.68	83.59	83.22	77.43
8		127.35	77.64	85.79	169.71	57.92	110.26	84.65	63.17	50.84
9		143.81	93.42	83.06	65.08	72.17	116.22	83.13		74.18
10		123.53	107.74	83.08	121.59	77.16	113.86	78.62		75.54
11		117.90	93.90	89.31	70.31	100.87	134.15	111.35		73.96
12		149.46	78.77	88.22	146.49	88.64	145.50	110.21		105.19
13		109.99	78.61	84.12	115.59	61.49	161.99	118.44		82.68
14		121.84	71.90	93.10	132.94	73.23	153.63	104.42		78.22
15		111.40	58.80	104.10	111.14	82.76	140.11	68.78		109.05
16		103.75	65.04	102.08	68.54	112.48	102.97			
17		159.33	69.75	85.81	67.22	108.90	133.58			
18		146.72	80.37	78.80	113.75	81.32	97.79			
19		116.56	59.28	97.33	82.32	72.31				
20		104.35	73.61	96.48	68.73	94.81				
21		116.95	78.55	81.94	118.76	80.63				
22		116.04	70.29	94.01	157.90	66.81				
23		122.56	73.71	85.09	109.10	60.40				
24		115.98	62.90	68.93	63.78					
25			61.60		126.86					
26			79.76		118.71					
27		99.73	72.88		128.08					
28		86.26	50.09		96.69					
29		74.78	66.96		66.17					
30		80.17	57.93		77.74					
31		104.49	53.87		102.43					
32		111.86	48.45		70.70					
33		121.89	45.91		55.97					
34		102.61	49.20		87.56					
35		83.76	34.09		89.31					
36		100.03	32.69		57.33					
37		68.87	46.08							
38		65.78	45.94							
39		58.12	38.30							
40		70.82	73.10							
41		63.69	43.01							
42		65.50	37.25							
43		78.18	34.80							
44		79.86	29.42							
45		59.69	26.01							
46		55.84	35.62							
47		77.35	36.73							
48		65.55	28.98							
49		63.79	22.31							

SB-	GTB-			
	A1	A2	A3	A4
50	68.93			
51	60.15			
52	48.48			

## Grundträsktjärnbäcken

### SB-GTB-Exemplare

SB-	GTB-			
	A1	A2	A3	A4
1	365.77	207.14	292.13	461.48
2	206.82	210.00	238.08	429.48
3	377.14	229.69	249.46	358.05
4	403.05	280.02	360.70	316.97
5	375.67	262.69	394.82	415.80
6	403.31	233.64	330.29	429.90
7	388.38	240.61	323.02	394.46
8	290.87	231.39	340.51	431.77
9	324.14	237.85	246.35	423.92
10	287.38	200.09	243.16	436.58
11	209.90	222.86	214.07	414.42
12	223.55	200.09	194.97	417.06
13	271.96	147.54	320.36	344.06
14	314.84	165.25	288.82	225.67
15	216.42	188.50	213.00	257.83
16	301.60	219.19	204.67	
17	279.02	199.62	192.42	
18	208.26	203.67	188.70	
19	214.76	189.04	200.38	
20	191.57	143.10	130.99	
21	152.37	150.78	152.84	
22	150.00	93.42	157.06	
23	198.52	77.44	94.79	
24	157.40	124.47	118.12	
25	119.28	134.98	183.44	
26	115.87	119.51	183.32	
27	110.36	102.82	161.64	
28	93.31	109.51	129.30	
29	102.60	84.75	103.90	
30	123.39	95.01	132.04	
31	86.47	76.83	105.60	
32	85.94	96.34	112.92	
33	64.38	94.24	128.22	
34	83.86	69.31	130.81	
35	103.55	58.40	117.73	
36	139.25	102.89	140.27	
37	103.34	93.94	141.52	
38	87.00	80.31	149.91	
39	94.84	58.71	115.64	
40	97.00	55.56	105.24	
41	73.87	67.46	135.53	
42	78.10	34.12	117.69	
43	59.29	45.01	89.14	
44	56.46	34.12	118.65	
45	86.99	56.28	148.17	
46	119.64	61.93	169.96	
47	132.56	75.31	188.59	
48	104.77	74.94	162.80	
49	91.72	81.23	104.58	

	A1	A2	A3	A4
50	114.30	51.42	144.32	
51	92.88	53.13	127.68	
52	95.02	69.21	166.47	
53	72.93	56.79	156.68	
54	95.16	50.30	138.04	
55	109.27	61.54	136.64	
56	119.63	61.80	101.98	
57	112.43	85.54	88.95	
58	128.38	74.08		
59	126.70	59.34		
60	78.43	75.74		
61	121.30	93.40		
62	152.67	60.35		
63	134.29	66.70		
64	104.83	80.86		
65	68.89	66.40		
66	83.84	64.56		
67		48.20		
68		64.72		

## Nuortejaurbäcken

ED-	NJB								
	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	
1	150.49	70.83	117.70	83.39	33.59	55.99	32.91	25.79	
2	141.44	87.67	122.03	74.34	34.42	45.56	62.21	23.34	
3	67.88	79.78	101.87	117.70	30.23	66.55	67.16	45.36	
4	111.38	65.83	129.55	90.03	30.28	73.59	49.19	25.42	
5	125.48	116.32	78.20	123.65	28.67	75.42	82.79	30.31	
6	139.44	129.00	150.12	104.44	27.31	107.32	81.54	18.22	
7	170.19	137.69	105.28	110.87	25.28	101.24	43.43	19.27	
8	134.71	159.77	121.16	86.58	23.31	72.69	53.41	25.51	
9	125.88	154.19	114.32	124.47	23.01	78.43	59.60	26.55	
10	168.48	169.59	74.21	179.56	19.97	94.35	95.85	22.58	
11	149.60	107.33	60.53	174.22	17.64	123.53	105.49	23.73	
12	118.16	134.59	65.86	148.54	18.97	176.68	127.65	29.28	
13	102.62	108.57	109.34	117.04	20.36	154.31	126.17	19.19	
14	80.28	123.92	126.03	108.87	19.90	135.83	122.39	18.57	
15	99.26	112.36	115.97	92.31	21.19	120.90	50.07	11.18	
16	85.46	78.37	133.60	109.27	17.15	115.56		13.80	
17	68.13	70.88	153.71	80.35	18.12	83.71			
18	79.21	116.61	128.97	70.10	17.82	122.26			
19	68.13	159.06	104.49	100.29	17.38	101.05			
20	64.18	161.09	110.82	99.37	15.91	100.27			
21	57.69	126.96	65.24	66.40	14.01	106.15			
22	78.05	121.94	108.85	66.45	16.84	96.77			
23	71.47	132.04	69.70	33.90	17.27	89.40			
24	91.67	118.55	84.11		17.72	41.58			
25	82.31	75.89	82.26		16.01				
26	80.02	74.10	77.16		13.30				
27	68.95	76.52	184.64						
28	64.99	101.61	79.14						
29	58.81	67.06	31.01						
30	114.30	51.84							
31	64.06	85.79							
32	76.39	92.60							
33	45.92	37.49							
34	48.55								
35	64.27								
36	66.89								
37	56.90								
38	59.80								
39	73.80								
40	48.35								
41	46.80								
42	28.17								
43	34.78								

## Kolmosjoki (1)

	KOL0		KOL1								
	D2F	D2L	D3L	D4L	D8R	D9R	D10R	D11R	D12L	D13L	D17R
1	111.26	207.64	81.54	133.24	169.62	263.79	352.75	438.13	265.97	343.81	292.03
2	126.30	123.86	59.45	189.33	148.66	192.05	246.94	377.45	288.19	281.56	220.41
3	130.81	173.27	66.41	179.19	167.40	164.15	235.66	449.70	281.42	294.57	331.50
4	168.40	131.68	81.44	203.92	198.10	218.89	317.10	448.36	378.05	408.62	270.46
5	223.63	104.17	101.04	200.29	138.66	164.63	237.02	330.10	286.62	271.72	271.97
6	203.19	131.18	129.99	151.03	164.60	157.88	208.17	398.21	240.97	253.67	
7	165.19	105.48	187.14	214.03	168.27	208.19	200.96	344.90	301.04	213.11	
8	160.80	134.72	294.23	221.65	168.29	186.83	204.32	360.86	274.79	214.19	
9	228.12	94.81	285.03	187.16	139.82	161.21	181.39	352.67	271.48	298.01	
10	102.71	81.07	271.24	236.17	146.02	138.95	150.61	241.63	140.72	213.54	
11	162.83	86.03	227.09	240.38	202.97	166.74	220.82	359.29	172.49	222.07	
12	189.95	97.07	177.05	265.66	107.82	258.81	310.19	313.41	189.69	244.69	
13	168.58	94.06	215.04	278.78	125.27	154.94	155.90	311.56	127.72	141.68	
14	136.74	73.61	199.71	143.50	156.07	212.31	221.49	274.66	119.68	213.87	
15	121.71	42.88	226.83	208.76	162.20	191.41	194.20	293.53	127.58	162.01	
16	145.64		149.42	233.38	81.53	164.30	180.32	184.59	106.14	153.11	
17	158.61		155.23	292.84		109.87	164.47	225.94	82.07	120.07	
18	89.60		183.56	267.40		107.86	143.18	241.30	83.51		
19	146.57		134.30	160.44		170.78	225.98	219.07			
20	113.40		154.83	142.99		101.77	144.45	227.15			
21	114.62		138.14	223.61		127.06	152.07	168.12			
22	113.87		160.56	159.62		155.05	183.84	184.46			
23	105.78		201.01	155.51		183.64	224.79	182.16			
24	141.58		210.32	190.89		158.77	197.13	244.67			
25	80.07		189.01	188.58		150.12	198.61	205.10			
26	110.25		179.62	122.12				174.97			
27	116.98		158.68	122.21				163.99			
28	129.52		139.50	144.84				194.69			
29	115.05		155.91	189.39				149.96			
30	108.79		161.18	121.50				143.35			
31	100.60		118.84	201.31				173.56			
32	100.28		140.32	179.10				163.01			
33	80.48		118.94	169.72				133.47			
34	108.79		142.64	162.77				132.85			
35	86.07		126.08	115.36				145.61			
36	123.38		122.76	154.64				229.52			
37	103.03		115.23	95.24				122.75			
38	123.67		104.56	88.16				155.78			
39	111.35		63.72	97.90				143.52			
40	108.01		86.68	141.09				120.52			
41	110.90		75.81	97.61				116.08			
42	105.00		66.37					110.30			
43	125.88		84.26					198.22			
44	93.57		94.70					105.44			
45	94.52		63.93					110.01			
46	84.28		86.94								
47	103.67		87.59								
48	115.97		98.52								
49	77.92		91.11								
50	84.31		58.70								

	D2F	D2L	D3L	D4L	D8R	D9R	D10R	D11R	D12L	D13L	D17R
51	69.19		82.17								
52	49.21		96.57								
53	84.75		83.56								
54	81.34		61.71								
55	63.31		72.17								
56	66.35		80.08								
57	90.00		59.15								
58	66.94		73.80								
59	79.45		67.17								
60	105.22		68.45								
61	96.24		83.91								
62	80.64		73.98								
63	49.89		86.83								
64	68.09		69.95								
65	62.45		82.57								
66	79.82		83.66								
67	69.18		78.58								
68	78.96		67.37								
69	68.99		66.26								
70	67.59		51.39								
71	60.63		51.75								
72	48.83		53.04								
73	55.87		55.99								
74	47.62		52.59								
75	52.70		41.55								
76	74.72		50.03								
77	69.29		67.43								
78	54.12		38.16								
79	62.71		50.88								
80	93.60		43.67								
81	68.54		42.83								
82	67.87		41.98								
83	59.29		35.19								
84	72.58		51.73								
85	43.54		36.93								
86	55.87		36.47								
87	46.53		50.92								
88	38.68		52.58								
89	58.26										
90	22.28										

## Kolmosjoki (2)

	KOL1						KOL3					
	D19F	D20F	D20R	D23L	D25L	D28L	D1L	D2R	D3L	D5R	D7R	
1	170.34	260.83	270.30	377.58	264.17	255.59	205.67	72.74	219.48	188.47	181.71	
2	108.84	192.67	245.72	319.42	276.79	218.53	221.56	124.68	271.95	226.61	89.86	
3	102.06	171.54	212.11	371.57	249.97	243.55	213.47	95.41	300.35	147.18	127.89	
4	132.85	210.96	275.02	383.53	210.33	289.01	178.42	105.65	237.01	223.88	259.78	
5	81.72	240.23	235.52	322.78	239.68	229.05	137.47	104.63	259.22	173.38	245.07	
6	84.08	197.10	219.71	350.39	308.73	229.39	150.83	127.67	210.83	144.87	268.99	
7	104.89	175.55	268.67	300.13	236.21	219.96	103.10	89.75	235.03	173.86	255.19	
8		217.03	230.29	334.16	276.42	249.40	111.77	73.12	188.47	178.02	248.09	
9		276.67	269.49	228.52	273.88	267.32	143.42	71.39	155.62	166.43	290.40	
10		144.50	323.66	239.54	264.74	265.10	135.67	58.57	133.98	126.75	291.63	
11		244.65	261.97	238.40	224.06	202.72	125.89	72.40	209.53	153.69	273.30	
12		194.07	253.64	184.97	199.05	239.68	150.04	91.62	226.99	100.19	241.95	
13		200.90	206.43	259.44	278.56	256.04	149.79	85.05	214.46	127.35	252.58	
14		170.24	251.70	347.53	167.19	186.44	129.65	59.38	170.41	122.71	301.57	
15		152.41	219.26	298.00	182.03	168.21	115.68	99.22	180.00	118.58	215.01	
16		209.22	173.65	293.90	196.25	247.47	139.34	107.08	200.53	99.05	222.91	
17		152.17	213.13	260.12		159.29	91.04	98.81	241.00	156.73	229.23	
18		128.83	165.38	232.61		150.18	91.27	86.51	209.42	143.08	213.70	
19		148.39	264.33	206.55		171.58	126.85	71.06	145.31	100.17	187.60	
20			219.77	197.52		150.70	95.07	66.06	160.95	102.08	196.02	
21			152.57	179.91		156.10	148.17	74.83	152.28	124.91	195.83	
22			179.57	200.08		100.53	130.66	77.71	108.35	114.35	143.34	
23			167.14	220.25		105.72	123.91	57.33	132.99	79.14	127.35	
24			206.22	153.45		120.89	121.49	79.08	182.86	93.24	100.12	
25			151.18	192.17		113.90	121.09	66.61	152.51	99.48	109.26	
26			186.70	174.45		108.30	126.09	61.62	166.11	136.73	95.51	
27			170.30	183.29		92.88	104.51	64.23	162.38	133.02	102.96	
28			212.19	150.09		109.14	131.20	58.15		129.83		
29			206.74	145.64		144.01	101.25	53.59		117.97		
30			144.27	154.93		132.14	131.86	73.45		113.26		
31				121.67		125.91	98.45	83.11		111.23		
32				112.24		120.36	78.42	46.74		112.70		
33				140.56		105.41	83.63	51.56		97.28		
34				166.10		106.74	98.65	65.51		87.36		
35				160.59		85.01	52.80	41.96		93.76		
36				138.46		88.32	79.31	48.53		111.44		
37				177.47		124.58	77.39	55.85		81.21		
38				126.70		74.07	85.99	47.32		77.35		
39				122.11		84.84	70.14	23.66		98.03		
40				139.82		112.81	68.86			75.08		
41				151.29		100.54	63.07			86.14		
42				139.44		82.39	69.68			78.35		
43				123.82		66.21	77.05			92.66		
44				152.19		69.97	72.15			68.50		
45				145.77		58.15	74.15			65.92		
46				135.75		58.13	94.30			58.73		
47				106.23		64.95	112.15			64.22		
48				108.77		65.85	106.92			74.40		
49				106.46		55.06	88.23			58.19		
50				90.37		56.59	67.93			61.61		

	D19F	D20F	D20R	D23L	D25L	D28L	D1L	D2R	D3L	D5R	D7R
51				129.07		87.46	74.73			78.75	
52				152.42		73.08	65.87			98.27	
53				126.12		59.67	72.38			80.16	
54				125.67		61.23	95.90			138.82	
55				121.76		82.31	91.47			62.18	
56				86.50		68.42	70.07			40.14	
57				106.10		61.22	91.56			55.98	
58				110.55		97.74	85.67			81.12	
59				101.67		81.28	78.22			60.98	
60						76.65	69.94			51.76	
61						67.90	71.63			74.40	
62						74.61	88.85			67.25	
63						64.30	63.06			63.80	
64						76.29	88.91				
65						72.92	80.41				
66						75.02	66.36				
67						98.50	76.72				
68						85.19	92.77				
69						106.43	82.80				
70						103.76	62.11				
71						92.61	66.16				
72							65.62				
73							87.29				
74							91.84				
75							65.30				
76							81.76				
77							59.99				
78							56.28				
79							29.75				
80							32.93				

### Kolmosjoki (3)

	KOL3			KOL4				KOL5			
	D9R	D13L	D20F	D28R	D1R	D2R	D3L	D3R	D1L	D2L	D3R
1	451.21	124.71	112.94	229.75	322.84	400.44	125.55	144.38	199.32	315.46	213.23
2	297.16	82.37	108.86	245.41	291.95	379.70	90.63	110.18	358.61	322.66	242.34
3	331.88	97.97	151.13	248.16	332.87	289.86	133.96	157.46	347.64	203.03	202.71
4	297.83	114.94	110.33	223.42	418.33	384.66	148.80	170.99	339.43	298.16	200.04
5	296.78	120.36	113.59	211.60	311.09	360.85	153.80	128.05	299.60	352.06	211.59
6	291.39	101.48	116.87	151.96	395.65	286.39	112.03	137.69	248.80	309.92	224.50
7	272.09	75.79	98.96	186.51	296.50	320.70	134.71	124.38	273.48	302.41	220.89
8	341.22	121.36	88.90	178.76	356.27	246.58	128.66	110.01	235.77	360.35	217.60
9	228.61	86.14	95.70	187.81	327.79	233.33	112.21	84.03	315.83	264.02	211.93
10	339.94	90.59	74.60	135.73	338.73	199.09	88.96	125.16	316.24	261.41	164.12
11	261.28	87.46	101.85	127.25	258.73	126.47	146.73	143.23	280.23	219.62	184.88
12	214.03	62.85	102.83	152.38		254.60	163.97	96.54	215.68	260.76	171.35
13	191.58	64.51	100.23	109.60		230.40	105.54	120.00	282.19	254.27	183.49
14	224.98	77.45	94.29	115.45		239.75	100.43	165.90	247.15	272.30	147.19
15	275.19	108.07	91.02				156.55	123.59	204.88	254.62	156.64
16	262.19	102.99	117.97				120.12	124.51	263.86	190.37	196.00
17	220.66	63.33	113.51				116.70	104.69	234.77	177.94	134.24
18	141.50	83.87	94.52				96.05	106.96	264.08	180.15	169.69
19	136.54	69.60	102.40				109.78	130.68		182.69	169.41
20	147.44	76.12	87.70				112.90	117.91		179.70	152.30
21	111.42	68.66	91.92				115.60	90.93		224.45	144.80
22	107.30	95.18	88.81				92.05	91.96		140.92	154.64
23	128.93	83.84	116.73				105.59	145.37		216.40	165.51
24	187.41	93.96	111.46				162.82	76.17		221.32	153.45
25	172.10	105.50	78.85				85.22	102.72		203.48	124.79
26	135.36	94.63	107.30				113.83	128.99		235.60	124.60
27	151.81	79.94	100.18				141.90	102.90		193.53	124.65
28	181.92	71.43	109.80				106.11	89.75		245.63	119.57
29	176.44	83.30	80.63				90.33	84.93		177.36	120.77
30	195.93	65.73					61.47	65.70		174.83	113.47
31	152.24	75.93					60.56	74.58		180.01	79.20
32	146.85	111.87					73.25	98.40		126.28	160.62
33	164.29	54.96					101.29	71.49		163.05	166.04
34	140.31	51.97					73.98	74.53		123.06	142.15
35	147.52	41.33					83.48	88.62		106.49	155.73
36	103.18	57.63						142.38			180.73
37	91.29							92.67			143.76
38	120.70							106.72			140.13
39	118.27							106.02			133.49
40	83.47							79.31			146.05
41	73.34							94.46			149.82
42	71.53							104.96			128.63
43	76.82							101.40			129.68
44	84.45							73.29			102.12
45	76.49							95.29			116.33
46	73.17							84.90			117.27
47	83.06							57.71			108.20
48	122.31							134.97			131.84
49	165.73										120.16
50	182.19										87.09

	D9R	D13L	D20F	D28R	D1R	D2R	D3L	D3R	D1L	D2L	D3R
51	153.81										108.18
52	155.50										94.36
53	147.97										74.92
54	121.34										120.35
55	141.37										122.09
56	166.54										120.71
57	122.32										99.91
58	136.59										98.41
59	115.75										112.32
60	110.87										80.50
61	113.11										91.04
62	120.62										104.61
63	98.62										88.03
64	73.02										111.89
65	91.86										64.73
66	60.32										51.39
67	77.12										
68	80.15										
69	75.91										
70	70.53										
71	71.38										
72	50.56										
73	49.13										
74	38.80										
75	201.00										

## Kolmosjoki (4)

	KOL5								Kol5a		
	D6R	D14R	D16L	D17F	D20L	D26R	D28F	D28L	D1R	D2F	D2R
1	284.40	218.33	146.69	244.38	249.41	317.84	236.44	327.77	248.91	239.83	169.47
2	269.09	248.68	140.05	278.48	187.30	293.70	239.97	328.98	275.59	313.07	193.32
3	277.94	208.20	162.27	230.00	208.58	121.33	232.70	324.52	261.50	247.20	201.24
4	347.16	210.86	145.15	226.87	236.41	147.92	221.01	261.72	375.87	229.73	215.31
5	423.27	142.14	156.35	189.07	195.76	309.05	282.57	212.48	298.38	307.77	224.99
6	345.84	189.58	129.28	182.91	179.67	320.63	229.22	325.68	247.95	253.41	254.18
7	322.60	180.58	136.14	203.23	181.32	143.67	226.19	277.82	257.82	224.95	243.04
8	255.09	201.10	133.14	261.28	148.59	292.95	286.54	258.12	323.21	231.25	215.02
9	251.78	159.21	120.80	219.46	150.58	258.10	249.53	280.11	233.24	290.99	216.50
10	228.56	207.84	110.52	196.12	172.08	225.90	222.30	320.13	152.21	231.35	207.90
11	320.60	190.56	98.83	183.54	186.80	225.09	166.00	294.01	170.05	171.67	203.55
12	295.67	143.70	93.12	151.03	157.47	213.30		247.28			305.07
13	282.34	200.79	64.00	169.72	170.03	213.30		258.09			220.38
14	393.04	168.03	96.92	223.68	175.40	179.78		277.50			215.14
15	279.30	149.41	103.93	218.30	137.14	298.14		220.27			298.54
16	270.63	166.12	112.29	178.27	135.62	179.88		265.42			246.87
17	293.15	166.61	101.01	168.55	195.38	193.40		246.94			198.86
18	215.43	148.48	76.31	162.25	129.93	260.50		260.08			203.61
19	257.45	125.54	154.14	149.82	148.15	243.22		260.93			151.06
20	172.24	111.13	135.08	152.02	188.39	208.42		202.49			163.78
21	217.74	87.07	112.57	208.80	176.05	183.62		220.27			100.07
22	287.49	126.87	111.80	101.15	149.74	151.89		317.78			139.54
23	205.81	107.25	102.69	88.10	124.96	143.84		209.92			186.81
24	205.20	140.44	105.27	94.06	86.47	82.12		245.98			140.11
25	224.54	116.70	102.89	93.60	86.31	130.00		206.38			149.52
26	188.38	69.02	91.81			170.38		174.61			172.72
27	188.81	161.87	107.46			139.66		202.91			137.03
28	196.92	150.94	83.16			128.69		124.96			129.32
29	189.40	130.43	91.51			127.12		175.28			145.63
30	211.39	139.16	92.21			96.68		197.55			
31	221.10	168.35	102.23			127.35		171.97			
32	172.35	141.57	97.31			152.01		161.55			
33	192.08	126.78	99.21			150.43		179.33			
34	165.81	125.76	76.33			145.91		160.19			
35	195.94	149.33	96.36			130.16		204.49			
36	184.15	120.10	102.05			151.02		160.19			
37	67.00	105.95	70.26			133.12		106.81			
38	110.55	100.90	86.39			145.08		222.34			
39	152.18	97.38	85.93			124.75		204.93			
40	177.12	105.10	84.33			119.17		185.70			
41	213.63	111.28	98.11			104.13		187.68			
42	159.76	134.01	109.23			116.64		180.48			
43	177.49	111.51	109.71			138.30		158.34			
44	149.71	111.51	79.70			102.86		144.13			
45	148.70	71.98	100.38			121.46		150.11			
46	145.13	121.00	105.90			116.51		172.97			
47	161.52	113.26	84.36			117.92		172.84			
48	161.57	139.34	96.25			112.78		158.04			
49	153.13	106.48	95.48			80.82		143.56			
50	147.86	149.15	79.94			75.20		128.97			

	D6R	D14R	D16L	D17F	D20L	D26R	D28F	D28L	D1R	D2F	D2R
51	120.70	108.52	74.28			71.43		130.77			
52	124.70	112.71	52.82			72.28					
53	151.53	111.31	100.15			82.47					
54	154.15	148.60				62.77					
55	125.76	92.64				93.14					
56	78.03	114.94				108.62					
57	189.53	97.82				79.22					
58	158.23	137.95				53.93					
59	130.43					116.02					
60	134.88					94.94					
61	154.98					80.97					
62	148.98					82.39					
63	153.90					92.88					
64	130.30					68.46					
65	142.62					69.58					
66	130.47					68.38					
67	120.56					97.19					
68	120.58					82.74					
69	133.40					88.51					
70	121.07					73.53					
71	135.40					52.32					
72	107.73					51.71					
73	92.66					44.78					
74	111.90					49.68					
75	128.00										
76	99.41										
77	91.63										
78	84.63										
79	86.61										

## Kolmosjoki (5)

	KOL5a				KOL7			
	D3F	D17F	D20L	D22L	D1R	D2L	D3L	
1	387.66	209.66	236.76	226.25	325.67	263.24	208.54	
2	362.55	169.75	162.54	276.72	296.73	286.72	226.19	
3	289.19	195.87	206.09	271.39	267.16	259.69	233.60	
4	296.14	159.26	165.00	209.07	393.34	282.21	215.57	
5	366.57	211.76	134.84	215.70	319.29	307.46	139.02	
6	260.79	248.64	156.97	223.22	297.25	369.70	149.11	
7	236.78	224.40	104.65	222.30	362.16	319.48	73.73	
8	348.09	239.38	102.52	191.24	314.89	259.56	95.38	
9	279.28	238.64	61.77	298.22	301.81	157.91	143.91	
10	230.47	232.87	96.18	188.04	270.90	243.17	123.32	
11	222.78	273.42	127.70	194.51	263.40	312.10	141.95	
12	305.55	219.91	90.28	230.03	207.97	288.69	160.54	
13	255.55	159.49	104.63	243.13	133.05	284.68	124.42	
14	255.16	176.59	119.46	209.70	203.97	244.11	113.89	
15	211.71	219.62	97.16	156.01	308.52	238.10	123.46	
16	226.44	168.17	102.51		201.63	194.49	127.90	
17	212.92	172.74	122.72		207.31	184.06	148.45	
18	112.79	238.14	121.03		215.25	189.53	116.02	
19	100.51	188.85	111.09		165.64	198.47		
20	170.49	166.91	97.45		206.63	177.17		
21	193.84	174.38	115.20		209.36	195.14		
22	228.81	148.51	101.01		151.59	159.08		
23	161.48	126.24	115.90		168.61	184.56		
24	190.14	111.05	104.42		203.99	253.97		
25	256.07	119.59	116.84		186.96	213.52		
26	260.97	119.90	81.46		150.80	187.71		
27	225.13	111.39	108.85		176.91	164.12		
28	189.57	148.69	82.92		172.23	147.43		
29	228.47	135.06	106.72		128.84	142.32		
30	191.29	171.61	83.54		111.25	159.34		
31	136.76	195.37	85.04		110.23	162.46		
32	145.03	197.84	88.18		179.97	152.46		
33	172.03	188.69	76.88		152.92	172.95		
34	151.38	177.34			184.66	206.35		
35	120.82	150.75			137.69	167.65		
36	166.57	134.38			133.60	131.12		
37	92.98	134.71			122.59	129.60		
38	133.46	155.94			138.97	118.08		
39	151.53	133.89			152.34	126.75		
40	84.12	119.04			126.48	72.68		
41		149.17			98.50	119.99		
42		144.36			183.85	134.69		
43		125.68			130.87	74.65		
44		102.60			140.53	90.82		
45		111.06			142.97	104.37		
46		95.50			171.43	91.92		
47		81.60			166.22	127.35		
48		96.47			168.29	108.49		
49					283.91	111.73		
50					182.52	115.23		

	D3F	D17F	D20L	D22L	D1R	D2L	D3L
51					150.58	106.03	
52					141.49	88.00	
53					141.49	64.22	
54					176.48	58.06	
55					128.86	70.98	
56					118.38	77.94	
57					86.19	64.56	
58					86.47	47.80	
59					98.43	80.86	
60					108.36	45.30	
61					111.66	83.92	
62					102.72	55.85	
63					132.13	72.30	
64					161.52	56.22	
65					111.59	44.15	
66					114.24	43.27	
67					91.57	49.99	
68					96.78	49.42	
69					90.61	46.36	
70					86.52	24.28	
71					56.29	16.72	
72					69.58	35.05	
73						50.14	
74						51.24	
75						41.79	
76						88.70	
77						81.15	
78						53.47	
79						42.71	

## Regnitz und NWS-Wiesbaden (Tarn)

	SB-					NWS			
	WOB1	TIM2	TIM4	TIM6	ZIN1	WI1	WI2	WI3	
1	167.98	149.60	179.98	72.17	129.74	1	539.73	392.23	231.80
2	178.62	152.51	200.99	100.47	187.12	2	431.00	397.44	236.63
3	225.00	171.65	118.04	102.48	205.48	3	399.46	102.46	217.59
4	222.76	134.42	178.23	115.05	178.00	4	364.72	171.47	222.16
5	153.47	112.69	254.24	129.72	121.98	5	402.63	493.88	187.10
6	142.81	100.97	181.18	123.15	123.18	6	391.01	248.77	146.91
7	129.68	141.26	211.82	82.46	124.38	7	280.82	288.15	242.74
8	125.89	85.01	140.31	88.13	143.39	8	257.55	287.87	289.29
9	129.62	98.28	220.27	53.65	155.12	9	288.61	344.32	224.57
10	107.71	116.80	246.02	65.83	127.82	10	340.46	290.49	206.05
11	76.66	101.99	234.51	100.60	130.79	11	216.62	89.37	197.80
12	72.13	130.01	150.83	108.76	212.29	12	136.69	144.74	233.39
13	164.61	114.77	95.95	91.36	43.08	13	172.94	257.95	343.24
14	123.87	151.24	112.26	32.72	108.51	14	177.50	193.79	213.90
15	88.51	174.19	147.87	93.44	106.06	15	208.49	167.81	182.99
16	104.33	207.89	150.84	165.43	162.82	16	141.18	171.63	109.12
17	70.33	101.38	149.92	165.06	119.91	17	146.83	185.32	93.57
18	65.64	232.05	138.28	96.30	144.44	18	455.70	149.80	108.55
19	113.40	116.84	128.61	74.12	118.87	19	310.53	185.67	111.62
20	81.43	107.34	114.75	93.25	71.31	20	211.17	105.96	246.24
21	32.69	153.66	109.02	119.23	119.18	21	150.31	175.72	188.92
22	38.04	135.53	168.04	113.16	115.06	22	181.63	175.40	174.52
23	46.22	27.93	119.23	93.85	92.17	23	172.44	140.95	193.77
24	45.40	42.70	151.82	113.16	50.24	24	160.33	102.94	154.37
25	57.46	66.47	167.01		41.90	25	144.12	110.81	139.89
26	55.46	114.63	140.42	76.64	37.23	26	99.34	178.84	221.05
27	134.74	71.66	86.17	104.27	68.67	27	48.36	120.30	107.85
28	131.22	73.88	116.73	67.84	97.70	28	91.36	97.63	140.78
29	104.41	95.08	79.18	109.85	80.73	29	39.66	181.32	102.41
30	88.89	95.34	35.56		84.66	30	59.23	105.48	89.03
31	82.96	58.27	29.02	80.45	76.06	31	66.49	139.11	101.39
32	86.80	95.32	46.28	83.39		32	71.13	99.99	162.98
33	62.99		57.08	109.36	29.72	33	60.72	131.24	108.47
34	79.79	139.96	65.61	128.36	101.71	34	84.76	114.12	115.39
35	62.86	136.23	40.89	75.06	89.12	35	91.33	64.56	92.81
36	61.54	79.47	52.47	92.09	72.23	36		67.71	68.02
37	61.30	42.04	46.51	92.10	89.59	37		75.17	70.92
38	88.93	22.85	35.13	72.24	34.46	38		53.76	78.94
39	61.77	68.89	28.80	69.19		39		48.84	85.71
40	72.78	73.25	34.25	71.56		40		48.84	50.39
41	98.16		34.50	67.56		41		42.78	65.74
42	125.10	58.14	39.06	69.82		42		98.08	40.56
43	159.04	68.14	45.67	73.19		43			40.49
44	147.32	36.07		69.52		44			32.33
45	147.00								
46	109.65								
47	97.05								
48	69.15								
49	70.77								
50	54.32								
51	40.09								

WOB1

52	58.04
53	46.72
54	26.67
55	34.41
56	84.56
57	30.77
58	30.49
59	32.09
60	42.63
61	19.57
62	18.27
63	11.86
64	19.87
65	21.16
66	21.80
67	18.93
68	23.08
69	20.52
70	26.31
71	21.88
72	14.13
73	15.73

## VIII.2.2. $\delta^{13}\text{C}$ -Rohdaten

### Görjeån und Nuortejaurbäcken

Jahr	ED-GJ- A1	ED-GJ- A2	ED-GJ- A3	ED-GJ- D5	ED-GJ- D6	ED-NJB- A2	ED-NJB- A3	ED-NJB- A4	ED-NJB- A6
1819					-12.55				
1820					-12.79				
1821					-12.27				
1822					-12.57				
1823					-12.16				
1824					-12.40				
1825					-12.40				
1826					-12.64				
1827					-12.33				
1828					-12.31				
1829					-11.87				
1830					-12.01				
1831					-12.22				
1832					-11.83				
1833					-12.14				
1834					-11.63				
1835					-11.66				
1836					-11.54				
1837					-11.90				
1838					-11.86				
1839					-11.91				
1840					-11.81				
1841					-12.85				
1842					-13.02				
1843					-12.72				
1844					-12.47				
1845					-12.16				
1846					-12.58				
1847					-12.13				
1848					-12.68				
1849					-12.68				
1850					-12.55				
1851					-12.46				
1852					-12.27				
1853					-12.39				
1854					-11.51				
1855				-12.41	-11.74				
1856				-13.53	-11.96				
1857				-13.55	-12.31				
1858				-14.50	-12.29				
1859				-14.10	-12.14				
1860				-13.80	-12.29				
1861				-14.30	-11.82				
1862				-13.60	-11.78				
1863				-14.35	-11.74				
1864				-13.30	-11.76				
1865				-13.15	-11.37				
1866				-13.26	-11.24				
1867				-13.26	-11.43				
1868				-13.05	-11.47				
1869				-14.18	-11.36				
1870				-13.50	-11.28				
1871			-11.67	-12.40	-11.37				
1872			-12.39	-12.92	-11.28				

Jahr	ED-GJ- A1	ED-GJ- A2	ED-GJ- A3	ED-GJ- D5	ED-GJ- D6	ED-NJB- A2	ED-NJB- A3	ED-NJB- A4	ED-NJB- A6
1873			-12.35	-12.25	-10.18				
1874			-12.07	-11.53	-10.89				
1875			-11.50	-11.62	-11.06				
1876			-11.85	-12.38	-11.19				
1877			-12.00	-11.83	-11.62				
1878			-11.71	-12.25	-11.32				
1879			-11.99	-12.09	-11.31				
1880			-12.39	-12.54	-11.39				
1881			-12.14	-12.91	-11.11				
1882			-12.14	-12.76	-11.23				
1883			-11.70	-12.55	-11.19				
1884			-12.19	-12.63	-11.12				
1885			-12.67	-11.82	-11.20				
1886			-12.56	-12.23	-11.20				
1887			-11.81	-13.26	-11.21				
1888			-11.54	-12.74	-10.97				
1889			-11.75	-12.89	-11.05				
1890			-11.83	-13.26	-11.33				
1891			-11.85	-13.39	-11.05				
1892			-12.09	-12.41	-11.40				
1893			-11.55	-12.80	-11.58				
1894			-11.40	-12.61	-11.37				
1895			-11.38	-11.85	-11.19				
1896			-11.17	-13.21	-11.38				
1897			-11.39	-12.76	-11.00				
1898			-11.59	-12.36	-11.16				
1899			-11.75	-12.29	-11.26				
1900			-11.79	-11.96	-11.07				
1901			-11.42	-12.87	-10.70				
1902			-11.39	-13.15	-11.08				
1903			-11.72	-12.33	-11.13				
1904			-12.08	-12.39	-11.16				
1905			-11.86	-11.92	-11.17				
1906			-12.69	-11.63	-11.15				
1907			-12.19	-11.33	-11.20				
1908			-12.36	-11.42	-11.22				
1909			-12.27	-11.94	-11.35				
1910			-12.48	-11.72	-11.36				
1911			-12.51	-11.93	-11.43				
1912			-11.85	-11.79	-11.55				
1913			-11.53	-11.52	-11.15				
1914			-11.79	-11.25	-11.22				
1915			-12.03	-10.98	-11.33				
1916		-14.85	-11.92	-11.03	-11.43				
1917		-15.75	-12.01	-10.66	-11.42				
1918		-14.20	-12.10	-11.42	-11.49				
1919		-14.39	-11.72	-11.71	-11.25				
1920		-14.30	-11.44	-11.60	-11.56				
1921		-13.43	-11.09	-10.61	-11.56				
1922		-15.94	-11.49	-10.40	-11.42				
1923		-14.18	-11.62	-10.33	-11.46				
1924		-15.57	-11.76	-10.84	-11.61				
1925		-14.27	-11.94	-10.81	-11.58				
1926		-14.17	-12.41	-10.49	-11.54				
1927		-14.27	-12.05	-10.70	-11.55				
1928		-13.29	-12.17	-11.44	-11.65				
1929		-14.76	-12.03	-11.24	-11.41				
1930		-13.20	-11.94	-11.36	-11.59				
1931		-13.23	-11.78	-11.67	-11.62				
1932		-13.54	-11.99	-11.26	-11.39				
1933		-13.85	-12.20	-11.08	-11.61				
1934		-12.85	-12.11	-11.12	-11.75				
1935	-14.69	-13.08	-11.99	-11.17	-11.65				

Jahr	ED-GJ- A1	ED-GJ- A2	ED-GJ- A3	ED-GJ- D5	ED-GJ- D6	ED-NJB- A2	ED-NJB- A3	ED-NJB- A4	ED-NJB- A6
1936	-14.45	-13.78	-12.31	-11.26	-11.71				
1937	-14.44	-13.92	-11.76	-11.52	-11.66				
1938	-13.99	-14.05	-11.75	-10.96	-11.37				
1939	-14.39	-12.83	-11.49	-11.07	-11.46				
1940	-13.72	-12.75	-11.61	-11.61	-11.31				
1941	-13.63	-12.66	-11.88	-11.86	-11.46				
1942	-13.31	-12.69	-12.08	-11.61	-11.46				
1943	-13.53	-13.20	-11.75	-11.58	-11.38				
1944	-13.42	-13.12	-11.88	-11.88	-11.24				
1945	-13.49	-12.91	-11.95	-11.80	-11.24				
1946	-13.49	-12.13	-11.92	-11.73	-11.04	-9.84			
1947	-12.92	-11.82	-12.10	-11.25	-11.40	-11.19			
1948	-12.91	-12.45	-11.96	-11.48	-11.51	-9.99			
1949	-13.16	-12.85	-11.60	-11.42	-11.45	-11.23			
1950	-12.94	-12.27	-11.50	-11.45	-11.54	-9.79			
1951	-12.72	-12.21	-11.80	-11.13	-11.46	-10.96	-11.70		
1952	-12.38	-12.56	-12.00	-10.79	-11.40	-10.17	-11.75		
1953	-12.52	-12.25	-11.50	-10.77	-11.40	-10.58	-12.33		
1954	-12.39	-12.26	-11.87	-11.29	-11.41	-9.61	-12.12		
1955	-12.25	-12.48	-11.59	-11.72	-11.17	-10.77	-12.19		
1956	-12.55	-12.68	-11.70	-11.16	-11.03	-10.87	-12.52		
1957	-12.34	-11.40	-11.97	-10.66	-11.20	-10.71	-12.18		
1958	-11.99	-12.11	-12.28	-10.95	-11.02	-10.68	-12.47		
1959	-12.00	-12.00	-12.34	-10.62	-11.38	-9.51	-12.37		
1960	-11.95	-12.22	-12.02	-10.20	-11.43	-10.97	-10.60		
1961	-11.91	-12.25	-11.72	-10.35	-12.31	-10.72	-10.52		
1962	-12.26	-11.99	-11.87	-10.67	-12.15	-12.22	-10.36		
1963	-12.96	-12.65	-12.32	-11.16	-11.44	-12.15	-13.46		
1964	-12.52	-12.99	-12.21	-11.19	-11.19	-12.14	-11.41		
1965	-12.34	-11.80	-11.86	-10.70	-11.71	-12.78	-11.60	-8.60	
1966	-12.38	-11.88	-12.42	-10.46	-11.17	-11.78	-12.54	-8.35	
1967	-12.56	-12.19	-12.13	-10.59	-10.90	-12.32	-13.08	-8.94	
1968	-12.19	-12.83	-12.28	-10.65	-10.79	-11.42	-11.43	-8.60	
1969	-12.95	-12.54	-11.84	-10.17	-10.78	-12.86	-11.23	-8.28	
1970	-12.87	-12.00	-12.01			-12.66	-10.64	-9.47	
1971	-12.79	-12.01	-12.45			-12.59	-11.72	-9.33	
1972	-12.87	-12.49	-12.32			-12.63	-11.10	-10.04	
1973	-12.72	-12.40	-12.21			-13.00	-11.66	-10.09	
1974	-12.69	-12.31	-11.86			-13.11	-11.08	-8.46	-11.50
1975	-12.44	-12.23	-12.42			-13.29	-11.21	-9.13	-10.61
1976	-12.03	-12.43	-12.13			-13.02	-11.66	-8.65	-10.96
1977	-12.08	-11.78	-12.28			-12.22	-11.55	-9.98	-10.56
1978	-12.47	-11.64	-11.84			-12.16	-11.40	-10.13	-9.98
1979	-12.32	-11.51	-12.01			-12.47	-11.56	-11.01	-10.56
1980	-12.06	-11.78	-12.45			-12.30	-11.70	-10.46	-10.50
1981	-11.83	-12.04				-12.71	-11.91	-11.92	-12.63
1982	-12.07	-11.86				-12.33	-12.31	-11.63	-12.61
1983	-11.83	-12.31				-11.10	-11.96	-11.95	-12.54
1984	-11.99	-11.91				-11.48	-13.02	-12.36	-12.96
1985	-11.84	-12.51				-11.74	-12.87	-12.47	-12.63
1986	-11.85	-11.58				-11.86	-11.08	-11.82	-12.96
1987	-11.92	-11.54				-12.03	-12.22	-12.08	-12.30
1988	-11.38	-11.65				-12.29	-11.70	-13.08	-12.69
1989	-10.30	-11.72				-12.32		-12.76	-12.41
1990		-11.80				-12.43		-12.84	
1991						-12.21		-12.58	
1992						-11.73		-12.97	
1993						-11.70		-12.67	

## Grundträsktjärnbäcken, Regnitz und Tarn (NWS-Wiesbaden)

Jahr	ED-GTB-A1	ED-GTB-A2	SB-WOB-D1	SB-TIM-D2	SB-TIM-D4	SB-TIM-D6	SB-ZIN-D1	Jahr	NWS-WI-D3
1935			-11.72					1799	-10.44
1936			-12.22					1800	-10.93
1937			-12.60					1801	-10.79
1938			-12.16					1802	-10.75
1939			-11.72					1803	-10.47
1940			-11.88					1804	-11.24
1941			-11.57					1805	-11.05
1942		-10.61	-11.57					1806	-11.18
1943		-11.85	-11.84					1807	-10.98
1944		-11.61	-11.08					1808	-11.22
1945		-11.01	-12.70			-12.71		1809	-10.93
1946		-11.56	-12.19			-11.51		1810	-10.20
1947		-12.02	-11.50			-11.52		1811	-10.31
1948		-11.55	-11.94			-11.87		1812	-9.46
1949	-11.47	-11.57	-11.16			-12.20		1813	-9.30
1950	-10.99	-12.14	-10.93			-12.27		1814	-8.06
1951	-12.09	-12.24	-11.49			-12.48		1815	-8.99
1952	-12.65	-11.81	-10.68			-11.94		1816	-9.12
1953	-13.12	-12.11	-10.59			-10.87		1817	-9.57
1954	-13.37	-12.41	-10.98			-11.29		1818	-9.28
1955	-13.67	-13.61	-12.41			-12.19		1819	-9.40
1956	-12.53	-11.73	-12.75			-11.76		1820	-10.35
1957	-13.59	-12.80	-12.29		-12.53	-11.75		1821	-10.40
1958	-13.02	-13.27	-12.01		-12.54	-11.79		1822	-10.59
1959	-13.06	-12.69	-12.19		-12.72	-12.39		1823	-10.34
1960	-13.96	-12.86	-12.04		-12.95	-12.97		1824	-10.36
1961	-13.78	-12.50	-11.75		-14.11	-13.12		1825	-10.85
1962	-13.26	-12.59	-11.42		-12.51	-12.32		1826	-10.86
1963	-13.06	-12.37	-11.36		-12.27	-13.50	-11.61	1827	-9.63
1964	-12.73	-12.60	-11.62		-12.16	-12.91	-12.44	1828	-10.24
1965	-13.60	-12.93	-11.38		-13.73	-13.02	-12.83	1829	-10.19
1966	-12.99	-12.47	-12.05		-12.04	-12.19	-14.03	1830	-10.12
1967	-13.11	-12.43	-12.57		-13.20	-11.94	-12.29	1831	-8.34
1968	-12.07	-12.73	-13.01		-12.59	-11.71	-12.59	1832	-8.83
1969	-12.76	-12.08	-13.26		-13.59	-13.38	-12.42	1833	-9.29
1970	-13.31	-12.46	-13.48		-14.64	-12.55	-12.46	1834	-8.54
1971	-12.70	-13.13	-15.11	-13.10	-13.83	-12.12	-12.78	1835	-8.15
1972	-12.83	-12.80	-13.45	-12.48	-13.80	-12.60	-12.91	1836	-8.85
1973	-13.82	-12.76	-12.91	-12.32	-12.74	-12.22	-13.09	1837	-7.99
1974	-13.55	-12.83	-12.67	-13.15	-13.20	-12.91	-12.82	1838	-8.69
1975	-13.44	-12.57	-12.49		-13.02	-12.60		1839	-9.08
1976	-12.66	-12.85	-12.69		-12.43	-12.06	-13.56	1840	-9.96
1977	-12.57	-12.60	-12.12	-12.44	-12.27	-12.20	-12.37	1841	-9.75
1978	-12.77	-12.14	-12.27	-13.08	-12.40	-13.31	-12.20	1842	-9.57
1979	-12.71	-11.95	-12.08	-12.50	-11.95	-13.27	-12.03	1843	-9.56
1980	-12.53	-12.19	-12.25	-11.84	-12.96	-12.47	-11.81	1844	-9.64
1981	-12.76	-12.08	-12.22	-11.39	-12.51	-12.88	-11.80	1845	-9.26
1982	-12.53	-12.03	-12.39	-12.56	-13.49	-13.04	-12.72	1846	-9.37
1983	-13.18	-12.73	-12.48	-12.59	-13.51	-12.94	-12.77	1847	-9.16
1984	-13.56	-12.47	-12.40	-12.78	-12.55	-13.07	-12.33	1848	-9.52
1985	-12.96	-12.40	-12.41	-12.66	-13.46	-12.91	-12.04	1849	-9.54
1986	-12.99	-12.14	-12.31	-12.72	-14.27	-13.82	-12.27	1850	-10.01
1987	-13.59	-12.02	-12.35	-13.02	-12.73	-13.23	-12.15	1851	-9.99
1988	-12.85	-12.12	-12.15	-13.16	-13.03	-12.72	-12.99	1852	-9.85
1989	-12.67	-11.99	-12.17	-13.16	-14.13	-12.23	-12.80	1853	-9.61
1990	-12.81		-12.10	-12.98	-13.53	-11.65	-12.63	1854	-9.06
1991	-12.49		-12.03	-12.81	-14.38	-12.45	-12.57		

Jahr	ED- GTB-A1	ED- GTB-A2	SB- WOB- D1	SB- TIM-D2	SB- TIM-D4	SB- TIM-D6	SB-ZIN- D1
1992	-12.81		-12.03	-13.30	-13.00	-12.06	-12.25
1993	-13.34		-12.04	-12.75	-14.23	-11.65	
1994			-12.04	-12.66	-12.90	-12.20	
1995			-12.03	-12.26	-13.32	-12.18	
1996			-12.06	-12.61	-13.52	-11.92	
1997			-12.09	-12.57	-11.34	-12.38	
1998			-12.19				
1999			-12.28				
2000			-12.25				
2001			-12.23				

### VIII.2.3. $\delta^{18}\text{O}$ -Rohdaten

#### Görjeån und Nuortejaurbäcken

Jahr	ED-GJ-A1	ED-GJ-A2	ED-GJ-A3	ED-GJ-D5	ED-GJ-D6	ED-NJB- A2	ED-NJB- A3	ED-NJB- A4	ED-NJB- A6
1820					-12.26				
1821					-12.21				
1822					-12.27				
1823					-12.26				
1824					-12.28				
1825					-12.30				
1826					-12.12				
1827					-12.18				
1828					-11.94				
1829					-12.05				
1830					-11.89				
1831					-11.92				
1832					-11.86				
1833					-11.68				
1834					-11.74				
1835					-11.56				
1836					-11.35				
1837					-11.19				
1838					-11.80				
1839					-11.53				
1840					-11.86				
1841					-11.69				
1842					-11.52				
1843					-11.43				
1844					-11.26				
1845					-11.23				
1846					-11.32				
1847					-11.23				
1848					-11.16				
1849					-11.37				
1850					-11.20				
1851					-11.55				
1852					-11.43				
1853					-11.39				
1854					-10.94				
1855				-11.07	-11.17				
1856				-11.65	-11.45				
1857				-11.89	-11.74				
1858				-12.11	-11.33				
1859				-11.56	-11.19				
1860				-11.24	-11.05				
1861				-11.87	-11.12				
1862				-11.62	-11.57				
1863				-11.50	-11.40				
1864				-11.43	-11.23				
1865				-11.30	-11.63				
1866				-11.17	-11.56				
1867				-11.28	-11.14				
1868				-11.28	-11.53				
1869				-11.50	-11.80				
1870				-11.17	-11.53				
1871				-11.13	-11.25				
1872				-11.30	-11.36				
1873				-10.93	-11.31				

Jahr	ED-GJ-A1	ED-GJ-A2	ED-GJ-A3	ED-GJ-D5	ED-GJ-D6	ED-NJB-A2	ED-NJB-A3	ED-NJB-A4	ED-NJB-A6
1874				-10.50	-10.11				
1875				-10.73	-10.96				
1876				-11.18	-11.36				
1877				-10.85	-11.27				
1878				-10.44	-11.05				
1879				-10.77	-11.08				
1880				-10.65	-11.08				
1881			-10.47	-10.61	-10.92				
1882			-10.49	-10.76	-10.68				
1883			-10.80	-10.78	-10.84				
1884			-11.05	-10.96	-10.71				
1885			-10.88	-10.79	-10.76				
1886			-11.31	-10.90	-10.74				
1887			-11.27	-11.20	-10.79				
1888			-11.14	-10.96	-10.69				
1889			-11.15	-11.11	-10.69				
1890			-11.41	-10.75	-10.84				
1891			-11.27	-10.99	-10.96				
1892			-11.37	-11.01	-11.03				
1893			-11.40	-11.08	-11.10				
1894			-11.50	-11.15	-11.24				
1895			-11.69	-11.47	-11.25				
1896			-11.69	-11.55	-11.29				
1897			-11.40	-11.56	-11.25				
1898			-11.42	-11.21	-11.35				
1899			-11.48	-10.99	-11.38				
1900			-11.90	-11.64	-11.41				
1901			-11.87	-11.76	-11.44				
1902			-12.06	-11.49					
1903			-11.55	-11.47	-11.43				
1904			-11.57	-11.15	-11.35				
1905			-11.54	-11.18	-11.36				
1906			-11.57	-11.17	-11.51				
1907			-11.61	-11.09	-11.40				
1908			-11.53	-11.17	-11.51				
1909			-11.48	-11.04	-11.32				
1910			-11.58	-10.89	-11.41				
1911			-11.40	-11.34	-11.56				
1912			-11.64	-11.19	-11.56				
1913			-11.63	-11.27	-11.60				
1914			-11.89	-10.98	-11.24				
1915			-12.13	-10.87	-11.33				
1916		-11.90	-11.92	-10.88	-11.45				
1917		-12.28	-11.66	-11.08	-11.57				
1918		-11.06	-12.05	-11.23	-11.54				
1919		-10.69	-11.70	-10.96	-11.66				
1920		-10.32	-11.81	-10.66	-11.32				
1921		-11.00	-11.87	-10.83	-11.66	-10.32			
1922		-11.79	-11.41	-10.60	-11.76	-10.00			
1923		-10.93	-10.93	-10.36	-11.43	-9.60			
1924		-11.41	-11.43	-10.50	-11.47	-9.60			
1925		-11.87	-11.53	-10.41	-11.43	-9.56			
1926		-11.62	-11.60	-10.72	-11.49	-9.06			
1927		-11.68	-11.88	-11.24	-11.13	-8.66			
1928		-11.54	-11.70	-11.45	-11.02	-9.69			
1929		-12.51	-11.83	-11.44	-11.56	-9.53			
1930		-12.00	-11.75	-10.99	-11.02	-8.83			
1931		-11.22	-11.65	-10.82	-11.09	-8.99			
1932		-11.35		-10.87	-11.04	-9.65			
1933		-11.49	-11.70	-10.83	-10.87	-8.88	-9.15		
1934		-11.00	-11.30	-10.91	-11.28	-8.94	-10.06		
1935		-11.38	-11.56	-11.10	-11.42	-9.65	-8.59		
1936		-12.06	-12.04	-11.10	-11.56	-10.30	-9.94		

Jahr	ED-GJ-A1	ED-GJ-A2	ED-GJ-A3	ED-GJ-D5	ED-GJ-D6	ED-NJB- A2	ED-NJB- A3	ED-NJB- A4	ED-NJB- A6
1937	-11.75	-11.75	-11.87	-10.75	-11.63	-10.07	-9.57		
1938	-10.84	-11.45	-11.58	-10.67	-11.38	-8.63	-9.00		
1939	-11.30	-11.62	-11.70	-11.02	-11.30	-9.16	-9.74		
1940	-11.59	-11.52	-11.61	-11.00	-11.23	-9.71	-9.73		
1941	-12.05	-11.41		-11.11	-11.27	-9.25	-9.42		
1942	-11.97	-11.64	-11.77	-10.98	-11.27	-9.86	-10.30		
1943	-11.90	-11.27	-11.62	-11.06	-11.21		-10.05		
1944	-11.56	-11.40	-11.29	-10.74	-11.11	-9.71	-9.82		
1945	-11.28	-11.00	-11.15	-10.75	-11.13	-10.68	-10.10		
1946	-12.27	-11.11	-11.26	-11.12	-11.37	-10.98	-10.99		
1947	-12.00	-11.07	-11.35	-11.18	-11.28	-9.75	-9.70		
1948	-11.58	-11.53	-11.48	-11.12	-11.41	-9.66	-9.25		
1949	-12.28	-11.77	-11.55	-10.99	-11.41	-9.50	-8.97		
1950	-11.81	-11.51	-11.70	-11.01	-11.44	-9.23	-9.21		
1951	-11.81	-11.65	-11.74	-10.41	-11.29	-10.34	-9.24		
1952	-11.36	-11.69	-11.72	-10.35	-11.37	-9.76	-9.32		
1953	-11.72	-11.55	-11.79	-10.52	-11.38	-10.34	-8.90		
1954	-11.62	-11.57	-11.68	-10.59	-11.38	-10.03	-9.15		
1955	-11.77	-11.53	-11.53	-10.85	-11.27	-9.71	-9.58		
1956	-11.83	-11.57	-11.56	-10.83	-11.29	-10.32	-9.06		
1957	-11.55	-11.13	-11.56	-10.98	-11.54	-9.58	-9.95		
1958	-11.49	-11.09	-11.78	-11.04	-11.58	-9.78	-9.17		
1959	-11.41	-12.19	-12.16	-10.78	-11.42	-9.73	-9.35		
1960	-12.16	-11.89	-12.17	-11.01	-11.70	-10.05	-10.48		
1961	-12.00	-12.28	-12.21	-11.17	-11.82	-10.09	-10.56		
1962	-11.84	-11.83	-11.90	-11.53	-11.72	-10.06	-10.51		
1963	-11.81	-11.81	-11.60	-11.69	-11.44	-9.74	-9.75		
1964	-11.69	-11.77	-11.38	-11.68	-11.19	-9.44	-9.80		
1965	-11.52	-11.21	-11.48	-11.29	-12.20	-9.25	-9.67		-9.99
1966	-11.45	-11.51	-11.68	-11.23	-11.98	-9.63	-10.29		-9.87
1967	-11.52	-11.58	-11.87	-11.48	-11.98	-9.30	-10.16		-10.57
1968	-11.62	-11.86	-11.90	-11.41	-11.71		-9.68		-10.03
1969	-11.52	-11.31	-11.61	-10.85	-10.62	-10.27	-10.32		-9.57
1970	-11.97	-11.40	-11.40			-9.89	-9.57		-9.38
1971	-11.92	-11.26	-11.53			-9.94	-10.25		-10.16
1972	-11.85	-11.32	-11.68			-10.15	-9.79		-10.28
1973	-11.60	-11.35	-11.39			-10.34	-9.84		-10.19
1974	-11.57	-11.09	-11.52			-10.50	-9.20	-10.16	-10.70
1975	-11.37	-11.24	-11.69			-10.47	-9.07	-10.35	-9.84
1976	-11.31	-12.06	-11.22			-10.36	-9.44	-10.48	-9.72
1977	-11.31	-11.29	-11.52			-10.16	-9.87	-10.32	-10.04
1978	-11.27	-11.04	-11.78			-9.98	-9.79	-9.56	-9.75
1979	-10.99	-10.78	-11.36			-10.08	-10.07	-9.98	-9.32
1980	-11.19	-10.95	-12.02			-9.93	-9.92	-9.85	-9.43
1981	-10.98	-11.13				-10.25	-9.79	-9.97	-9.65
1982	-11.06	-11.04				-10.11	-10.46	-9.28	-10.17
1983	-11.02	-11.11				-10.02	-9.57	-9.59	-9.79
1984	-11.24	-11.10				-9.98	-10.38	-10.04	-10.05
1985	-11.24	-11.35				-9.72	-10.17	-10.29	-10.50
1986	-11.26	-11.25				-9.71	-8.89	-9.60	-9.55
1987	-11.56	-11.34				-9.58	-9.88	-9.12	-9.22
1988	-11.30	-11.26				-9.82	-9.98	-9.73	-9.49
1989	-10.84	-11.40				-10.11		-9.83	-9.13
1990		-11.54				-10.31		-9.90	
1991						-10.13		-9.27	
1992						-9.56		-9.41	
1993						-9.46		-9.49	

## Grundträsktjärnbäcken, Regnitz und Tarn (NWS-Wiesbaden)

Jahr	ED-GTB-A1	ED-GTB-A2	SB-WOB-D1	SB-TIM-D2	SB-TIM-D4	SB-TIM-D6	SB-ZIN-D1	Jahr	NWS-WI-D3
1934			-7.65					1798	-5.30
1935			-7.52					1799	-5.81
1936			-7.70					1800	-5.94
1937			-7.72					1801	-5.26
1938			-7.84					1802	-4.88
1939			-8.28					1803	-5.31
1940			-7.87					1804	-5.21
1941			-8.01					1805	-5.33
1942		-8.06	-8.01					1806	-5.26
1943		-8.57	-7.81					1807	-5.48
1944		-8.55	-8.42					1808	-5.59
1945		-8.79	-8.14					1809	-5.78
1946		-9.17	-7.99			-8.22		1810	-5.96
1947		-9.14	-8.42			-7.95		1811	-5.41
1948		-8.69	-8.06			-8.26		1812	-5.23
1949	-8.32	-8.56	-8.13			-7.88		1813	-6.22
1950	-8.68	-8.62	-8.57			-7.68		1814	-4.47
1951	-9.04	-8.41	-8.36			-7.49		1815	-4.90
1952	-9.75	-8.39	-8.21			-7.67		1816	-5.14
1953	-10.21	-9.19	-8.12			-7.71		1817	-5.13
1954	-9.56	-9.09	-7.97			-7.63	-7.65	1818	-5.21
1955	-9.87	-10.09	-8.22			-7.77	-7.96	1819	-5.50
1956	-9.82	-9.25	-8.07			-7.94	-7.92	1820	-5.20
1957	-9.97	-9.46	-8.05		-7.67	-7.83	-8.35	1821	-5.63
1958	-9.57	-9.85	-7.90		-7.70	-7.61	-7.85	1822	-5.38
1959	-9.71	-9.64	-7.80		-7.55	-7.71	-7.98	1823	-5.51
1960	-10.14	-9.93	-7.88		-7.61	-7.89	-8.02	1824	-5.59
1961	-9.67	-9.86	-8.01		-8.17	-8.15	-8.13	1825	-5.82
1962	-9.29	-9.95	-8.14		-7.19	-8.07	-8.35	1826	-5.10
1963	-9.34	-9.45	-8.23		-7.43	-7.70	-8.37	1827	-5.37
1964	-9.05	-9.05	-8.21		-7.73	-8.30	-8.34	1828	-5.07
1965	-9.18	-9.14	-8.43		-8.02		-8.31	1829	-5.34
1966	-9.77	-9.41	-8.24		-7.53	-8.00	-8.58	1830	-4.85
1967	-10.43	-9.93	-8.46		-8.08	-8.25	-8.14	1831	-5.10
1968	-9.81	-10.33	-8.30		-7.74	-7.95	-8.14	1832	-5.23
1969	-10.13	-10.28	-8.14		-8.05	-7.99	-8.16	1833	-4.73
1970	-10.03	-9.98	-8.92		-8.33	-7.64	-7.89	1834	-4.28
1971	-9.80	-10.15	-8.61		-7.84	-8.07	-7.94	1835	-4.56
1972	-9.45	-9.93	-8.31		-8.05	-7.75	-8.09	1836	-4.41
1973	-9.67	-9.82	-8.11	-8.42	-7.94	-7.80	-7.99	1837	-4.96
1974	-8.82	-9.38	-8.01	-7.88	-8.12	-7.99	-7.79	1838	-5.15
1975	-9.47	-9.33	-8.03	-7.97	-8.18	-7.73	-7.72	1839	-5.52
1976	-8.93	-9.57	-7.83	-8.29	-8.07	-8.06	-7.75	1840	-5.29
1977	-8.91	-9.32	-7.84	-7.83	-7.73	-7.80	-7.54	1841	-5.46
1978	-9.55	-8.95	-8.13	-8.31	-7.97	-7.72	-7.52	1842	-5.21
1979	-9.47	-9.59	-8.16	-7.92	-7.48	-7.64	-7.46	1843	-5.35
1980	-9.96	-9.94	-8.09	-7.86	-7.67	-8.01	-7.47	1844	-5.40
1981	-9.85	-9.80	-8.22	-7.72	-7.91	-7.98	-7.50	1845	-5.42
1982	-9.80	-9.76	-8.32	-8.23	-8.15	-7.89	-7.56	1846	-5.21
1983	-9.78	-9.75	-8.46	-8.08	-8.10	-8.09		1847	-4.88
1984	-9.70	-9.67	-8.54	-7.95	-7.88	-8.16		1848	-4.87
1985	-9.57	-9.63	-8.49	-7.79	-8.08	-8.17		1849	-5.37
1986	-9.73	-9.28	-8.51	-7.83	-8.16	-8.35		1850	-5.43
1987	-10.01	-9.18	-8.32	-7.84	-7.97	-8.32		1851	-5.33
1988	-9.47	-9.24	-8.40	-7.98	-8.11	-8.53		1852	-5.24
1989	-9.15	-9.34	-8.32	-8.18	-8.32	-8.39		1853	-5.40
1990	-9.27		-8.21	-8.32	-8.24	-8.01			
1991	-9.17		-8.14	-7.92	-8.44	-7.96			

Jahr	ED-GTB- A1	ED-GTB- A2	SB-WOB- D1	SB-TIM- D2	SB-TIM- D4	SB-TIM- D6	SB-ZIN- D1	Jahr	NWS-WI- D3
1992	-9.19		-8.08	-7.93	-8.10	-7.75			
1993	-9.45		-8.10	-7.83	-8.68	-8.03			
1994			-8.13	-7.75	-8.43	-7.85			
1995			-8.11	-7.53	-8.09	-7.52			
1996			-8.09	-7.72	-8.11	-7.70			
1997			-8.02	-7.58	-7.79	-7.65			
1998			-7.96			-7.63			
1999			-7.95			-7.46			
2000			-7.95						

## VIII.2.4. Regionale Chronologien

GJ:	Görjeån
GTB:	Grundträsktjärnbäcken
NJB:	Nuortejaurbäcken
RG:	Regnitz
NWS:	Tarn (Frankreich); aus NWS Hessisches Landesmuseum Wiesbaden
KOL:	Kolmosjoki
Nord:	Überregionale Chronologie Nord (Schweden, Finnland)
Süd:	Überregionale Chronologie Süd (Deutschland, Frankreich)
Master:	Master-Chronologie

SGI: Standardisierte Wachstums-Indizes

Jahr	GJ	GTB	NJB	RG	NWS	KOL	Nord	Süd	Master
1698						-0.21	-0.21		-0.21
1699						-0.57	-0.57		-0.57
1700						-0.32	-0.32		-0.32
1701						0.71	0.71		0.71
1702						0.76	0.76		0.76
1703						0.69	0.69		0.69
1704						1.04	1.04		1.04
1705						1.32	1.32		1.32
1706						1.33	1.33		1.33
1707						0.36	0.36		0.36
1708						-0.21	-0.21		-0.21
1709						-0.12	-0.12		-0.12
1710						0.81	0.81		0.81
1711						-0.03	-0.03		-0.03
1712						-0.08	-0.08		-0.08
1713						-0.09	-0.09		-0.09
1714						0.30	0.30		0.30
1715						0.60	0.60		0.60
1716						0.76	0.76		0.76
1717						-0.06	-0.06		-0.06
1718						0.19	0.19		0.19
1719						0.16	0.16		0.16
1720						-0.66	-0.66		-0.66
1721						0.93	0.93		0.93
1722						0.77	0.77		0.77
1723						-0.02	-0.02		-0.02
1724						-0.48	-0.48		-0.48
1725						-0.38	-0.38		-0.38
1726						0.09	0.09		0.09
1727						-1.19	-1.19		-1.19
1728						-0.94	-0.94		-0.94
1729						-0.88	-0.88		-0.88
1730						-2.05	-2.05		-2.05
1731						-1.07	-1.07		-1.07
1732						-0.97	-0.97		-0.97
1733						-0.33	-0.33		-0.33
1734						0.48	0.48		0.48
1735						-0.31	-0.31		-0.31
1736						0.29	0.29		0.29
1737						0.20	0.20		0.20
1738						0.73	0.73		0.73
1739						-0.25	-0.25		-0.25
1740						-0.88	-0.88		-0.88
1741						0.74	0.74		0.74

Jahr	GJ	GTB	NJB	RG	NWS	KOL	Nord	Süd	Master
1742						-0.77	-0.77		-0.77
1743						-0.31	-0.31		-0.31
1744						0.63	0.63		0.63
1745						0.19	0.19		0.19
1746						-0.55	-0.55		-0.55
1747						-0.67	-0.67		-0.67
1748						0.14	0.14		0.14
1749						1.66	1.66		1.66
1750						-0.24	-0.24		-0.24
1751						0.59	0.59		0.59
1752						0.18	0.18		0.18
1753						0.51	0.51		0.51
1754						-0.33	-0.33		-0.33
1755						-0.82	-0.82		-0.82
1756						1.31	1.31		1.31
1757						-0.65	-0.65		-0.65
1758						-0.76	-0.76		-0.76
1759						-0.14	-0.14		-0.14
1760						0.22	0.22		0.22
1761						0.54	0.54		0.54
1762						-0.14	-0.14		-0.14
1763						-0.74	-0.74		-0.74
1764						-0.40	-0.40		-0.40
1765						-1.11	-1.11		-1.11
1766						-0.35	-0.35		-0.35
1767						-0.93	-0.93		-0.93
1768						-0.39	-0.39		-0.39
1769						0.18	0.18		0.18
1770						0.50	0.50		0.50
1771						0.24	0.24		0.24
1772						1.11	1.11		1.11
1773						0.42	0.42		0.42
1774						0.18	0.18		0.18
1775						0.29	0.29		0.29
1776						-0.19	-0.19		-0.19
1777						0.75	0.75		0.75
1778						-0.18	-0.18		-0.18
1779						0.61	0.61		0.61
1780						1.22	1.22		1.22
1781						0.27	0.27		0.27
1782						-0.37	-0.37		-0.37
1783						0.00	0.00		0.00
1784						-0.60	-0.60		-0.60
1785						-0.21	-0.21		-0.21
1786						-0.24	-0.24		-0.24
1787						-0.47	-0.47		-0.47
1788						0.11	0.11		0.11
1789						-0.39	-0.39		-0.39
1790						0.11	0.11		0.11
1791						0.35	0.35		0.35
1792						-0.47	-0.47		-0.47
1793						0.06	0.06		0.06
1794						0.04	0.04		0.04
1795						0.22	0.22		0.22
1796						0.18	0.18		0.18
1797						-0.52	-0.52		-0.52
1798						0.15	0.15		0.15
1799						-0.10	-0.10		-0.10
1800						-0.08	-0.08		-0.08
1801						-0.09	-0.09		-0.09
1802						-0.15	-0.15		-0.15
1803						-1.27	-1.27		-1.27
1804						-0.15	-0.15		-0.15

Jahr	GJ	GTB	NJB	RG	NWS	KOL	Nord	Süd	Master
1805						0.31	0.31		0.31
1806						0.39	0.39		0.39
1807						0.65	0.65		0.65
1808						0.40	0.40		0.40
1809						0.33	0.33		0.33
1810						0.05	0.05		0.05
1811						-0.38	-0.38		-0.38
1812						0.51	0.51		0.51
1813	0.63					0.58	0.60		0.60
1814	0.32					0.40	0.36		0.36
1815	-1.36					-0.14	-0.75		-0.75
1816	0.33					-0.08	0.12		0.12
1817	-0.38					-0.61	-0.49		-0.49
1818	-0.35					-0.17	-0.26		-0.26
1819	1.35					0.12	0.73		0.73
1820	-0.05					0.45	0.20		0.20
1821	-0.91					0.07	-0.42		-0.42
1822	-0.44					-0.66	-0.55		-0.55
1823	0.87					0.73	0.80		0.80
1824	-1.31					-0.02	-0.66		-0.66
1825	-0.69					-0.31	-0.50		-0.50
1826	0.11					0.55	0.33		0.33
1827	2.05					-0.20	0.93		0.93
1828	-0.34					0.09	-0.12		-0.12
1829	-1.31					0.16	-0.58		-0.58
1830	0.09					-0.29	-0.10		-0.10
1831	0.63					0.02	0.32		0.32
1832	0.94					-0.76	0.09		0.09
1833	0.07				0.05	-0.99	-0.46	0.05	-0.20
1834	-0.15				0.17	-0.23	-0.19	0.17	-0.01
1835	-0.84				-0.14	0.45	-0.19	-0.14	-0.17
1836	-1.06				-0.03	0.37	-0.35	-0.03	-0.19
1837	-0.72				-0.63	-0.35	-0.53	-0.63	-0.58
1838	-1.14				-1.34	-0.18	-0.66	-1.34	-1.00
1839	1.90				0.43	0.58	1.24	0.43	0.83
1840	0.27				1.32	0.72	0.50	1.32	0.91
1841	0.49				0.18	0.45	0.47	0.18	0.32
1842	0.93				-0.12	-0.09	0.42	-0.12	0.15
1843	0.16				-0.22	-0.16	0.00	-0.22	-0.11
1844	0.23				0.55	-0.28	-0.02	0.55	0.26
1845	-0.23				2.83	-0.04	-0.13	2.83	1.35
1846	0.35				0.36	0.39	0.37	0.36	0.37
1847	-0.16				-0.17	0.55	0.20	-0.17	0.01
1848	0.55				-1.65	-0.28	0.13	-1.65	-0.76
1849	-0.24				-1.93	0.56	0.16	-1.93	-0.88
1850	-0.51				-1.54	0.31	-0.10	-1.54	-0.82
1851	-0.84				-1.42	-0.08	-0.46	-1.42	-0.94
1852	0.77				1.80	-0.37	0.20	1.80	1.00
1853	-0.94				0.55	0.39	-0.27	0.55	0.14
1854	0.69				0.30	0.03	0.36	0.30	0.33
1855	-0.32				0.89	-0.55	-0.43	0.89	0.23
1856	0.56				0.00	-0.34	0.11	0.00	0.05
1857	1.06				-0.27	0.83	0.95	-0.27	0.34
1858	1.40				2.09	-0.16	0.62	2.09	1.36
1859	0.97				-0.92	0.10	0.54	-0.92	-0.19
1860	0.41				0.18	0.53	0.47	0.18	0.33
1861	-0.99				-0.83	0.26	-0.36	-0.83	-0.60
1862	-0.87				-1.12	-0.99	-0.93	-1.12	-1.02
1863	-1.55				-0.56	0.16	-0.69	-0.56	-0.63
1864	-0.63				1.81	-0.33	-0.48	1.81	0.66
1865	-0.11				0.08	0.74	0.32	0.08	0.20
1866	-0.33				0.60	0.61	0.14	0.60	0.37
1867	0.36				-0.05	-0.46	-0.05	-0.05	-0.05

Jahr	GJ	GTB	NJB	RG	NWS	KOL	Nord	Süd	Master
1868	0.14				-0.90	0.56	0.35	-0.90	-0.27
1869	0.03				-0.51	0.11	0.07	-0.51	-0.22
1870	-0.47				0.22	-0.66	-0.56	0.22	-0.17
1871	0.08				1.01	-1.71	-0.82	1.01	0.10
1872	0.07				-0.74	-1.25	-0.59	-0.74	-0.67
1873	-0.31				0.77	-1.13	-0.72	0.77	0.02
1874	-0.99				-0.65	-0.98	-0.99	-0.65	-0.82
1875	0.09				-0.13	-0.70	-0.30	-0.13	-0.22
1876	0.38				-0.32	-0.10	0.14	-0.32	-0.09
1877	-0.42					0.44	0.01		0.01
1878	-0.16					-1.02	-0.59		-0.59
1879	0.15						0.15		0.15
1880	-0.05						-0.05		-0.05
1881	-0.22						-0.22		-0.22
1882	0.52						0.52		0.52
1883	0.25						0.25		0.25
1884	-0.52						-0.52		-0.52
1885	-0.55						-0.55		-0.55
1886	-0.53						-0.53		-0.53
1887	-0.17						-0.17		-0.17
1888	-0.12						-0.12		-0.12
1889	0.92						0.92		0.92
1890	0.57						0.57		0.57
1891	-0.78						-0.78		-0.78
1892	-0.33						-0.33		-0.33
1893	0.00						0.00		0.00
1894	-0.22						-0.22		-0.22
1895	-0.58						-0.58		-0.58
1896	-0.50						-0.50		-0.50
1897	-0.42						-0.42		-0.42
1898	-0.33						-0.33		-0.33
1899	0.91						0.91		0.91
1900	0.21						0.21		0.21
1901	-0.28						-0.28		-0.28
1902	0.09						0.09		0.09
1903	-0.02						-0.02		-0.02
1904	0.33						0.33		0.33
1905	-0.15						-0.15		-0.15
1906	0.13						0.13		0.13
1907	0.07						0.07		0.07
1908	-0.59						-0.59		-0.59
1909	-0.50						-0.50		-0.50
1910	-0.51						-0.51		-0.51
1911	-0.59						-0.59		-0.59
1912	0.35						0.35		0.35
1913	0.08						0.08		0.08
1914	-0.28						-0.28		-0.28
1915	-0.07						-0.07		-0.07
1916	1.13						1.13		1.13
1917	1.24						1.24		1.24
1918	0.77						0.77		0.77
1919	0.37						0.37		0.37
1920	0.76						0.76		0.76
1921	0.07						0.07		0.07
1922	0.14						0.14		0.14
1923	0.56						0.56		0.56
1924	0.29						0.29		0.29
1925	0.77						0.77		0.77
1926	-0.54						-0.54		-0.54
1927	-0.29						-0.29		-0.29
1928	-0.26				0.59		-0.26	0.59	0.17
1929	-0.50				0.77		-0.50	0.77	0.14
1930	0.20				-2.12		0.20	-2.12	-0.96

Jahr	GJ	GTB	NJB	RG	NWS	KOL	Nord	Süd	Master
1931	-0.01					-1.35	-0.01	-1.35	-0.68
1932	-0.52					2.25	-0.52	2.25	0.86
1933	-1.10				-0.39	-0.34	-1.10	-0.37	-0.73
1934	0.06				-0.09	0.23	0.06	0.07	0.06
1935	0.21				0.84	0.36	0.21	0.60	0.40
1936	0.18	-0.90			0.99	1.24	-0.36	1.12	0.38
1937	0.36	-0.76			-0.12	0.71	-0.20	0.30	0.05
1938	0.07	-0.15			-0.17	-1.92	-0.04	-1.05	-0.54
1939	-0.29	-0.52			-0.29	-1.06	-0.40	-0.67	-0.54
1940	-0.78	0.51			-0.22	0.64	-0.14	0.21	0.04
1941	-0.20	0.49			0.03	-0.05	0.14	-0.01	0.07
1942	0.49	0.51			-0.34	-0.23	0.50	-0.29	0.11
1943	0.85	0.74			-1.01	-0.19	0.80	-0.60	0.10
1944	0.30	0.82			-1.03	0.21	0.56	-0.41	0.07
1945	0.12	-0.06			1.82	-0.02	0.03	0.90	0.46
1946	-0.38	0.24			0.81	0.01	-0.07	0.41	0.17
1947	0.36	-0.35			-0.15	-0.76	0.00	-0.45	-0.22
1948	0.00	-0.63			0.55	0.21	-0.32	0.38	0.03
1949	-0.84	-0.70			-0.51	0.59	-0.77	0.04	-0.36
1950	-0.10	-0.23	0.35		-0.57	-0.28	0.01	-0.42	-0.21
1951	-1.18	0.78	0.16		1.40	-1.04	-0.08	0.18	0.05
1952	-0.79	0.61	-2.07		0.25	-0.67	-0.75	-0.21	-0.48
1953	0.08	1.07	-0.63		-1.69	0.25	0.17	-0.72	-0.27
1954	0.23	0.49	-0.10		-1.44	-0.18	0.21	-0.81	-0.30
1955	-0.85	0.15	0.45		-0.67	-0.80	-0.08	-0.73	-0.41
1956	-0.92	-0.27	1.60		-0.56	0.42	0.14	-0.07	0.03
1957	0.35	-0.73	0.49		-0.64	1.61	0.04	0.48	0.26
1958	0.66	-0.93	0.29		0.07	1.25	0.01	0.66	0.33
1959	0.82	0.01	1.96		0.94	0.12	0.93	0.53	0.73
1960	0.84	0.95	1.40		0.60	0.30	1.06	0.45	0.76
1961	0.73	0.71	-0.49		0.48	0.46	0.32	0.47	0.39
1962	0.03	-0.68	-0.29		-0.06	-0.28	-0.31	-0.17	-0.24
1963	0.29	-0.17	-0.60		-0.08	-0.15	-0.16	-0.11	-0.14
1964	0.06	-0.37	-0.63		0.38	0.05	-0.31	0.22	-0.05
1965	-0.56	0.16	0.07		-0.50	-0.68	-0.11	-0.59	-0.35
1966	0.54	-0.27	-0.14		-0.52	-1.22	0.04	-0.87	-0.41
1967	-0.57	-0.15	0.28		-0.08	-0.51	-0.15	-0.29	-0.22
1968	-0.57	-0.31	0.17		-0.86	-1.20	-0.24	-1.03	-0.64
1969	-0.20	-0.75	0.18		-0.37	0.93	-0.26	0.28	0.01
1970	-0.40	-1.16	-0.05		-0.71	-0.40	-0.54	-0.56	-0.55
1971	-0.48	-0.28	-1.00		0.10	0.02	-0.59	0.06	-0.27
1972	0.68	0.08	-0.57		0.58	-0.13	0.06	0.22	0.14
1973	0.11	0.16	-0.42		1.02	1.33	-0.05	1.17	0.56
1974	0.01	0.27	-0.21		-0.04	2.22	0.02	1.09	0.56
1975	0.07	0.44	-0.26		0.35		0.08	0.35	0.22
1976	-0.07	0.12	-0.27		0.58		-0.07	0.58	0.26
1977	0.27	-0.28	-0.39		0.53		-0.13	0.53	0.20
1978	0.64	-0.40	0.19		0.62		0.14	0.62	0.38
1979	0.67	-0.01	0.98		0.20		0.55	0.20	0.37
1980	0.74	0.20	0.23		-0.31		0.39	-0.31	0.04
1981	0.04	0.09	1.09		-0.93		0.41	-0.93	-0.26
1982	0.18	-0.22	0.47		0.06		0.14	0.06	0.10
1983	0.01	-0.01	0.31		-0.55		0.10	-0.55	-0.22
1984	-0.27	0.30	0.02		-0.43		0.01	-0.43	-0.21
1985	-0.03	0.36	-0.27		-0.57		0.02	-0.57	-0.28
1986	0.06	-0.46	0.02		-0.56		-0.13	-0.56	-0.34
1987	0.38	-0.17	0.19		-0.68		0.13	-0.68	-0.27
1988	0.09	0.07	1.17		1.35		0.44	1.35	0.90
1989	1.04	-0.24	-0.18		0.20		0.20	0.20	0.20
1990	0.45	0.31	-0.36		0.50		0.13	0.50	0.31
1991	0.86	0.55	-0.59		0.33		0.27	0.33	0.30
1992	-0.25	0.39	-0.30		-0.55		-0.05	-0.55	-0.30
1993	-1.40	-0.03	-1.44		-1.12		-0.96	-1.12	-1.04

Jahr	GJ	GTB	NJB	RG	NWS	KOL	Nord	Süd	Master
1994		-0.82	-0.12		-0.28		-0.47	-0.28	-0.37
1995			0.18		-0.26		0.18	-0.26	-0.04
1996			1.38		0.18		1.38	0.18	0.78
1997			-0.46		0.90		-0.46	0.90	0.22
1998			0.82		-0.17		0.82	-0.17	0.32
1999			1.49		-0.05		1.49	-0.05	0.72
2000			0.58		0.79		0.58	0.79	0.68
2001			0.07		0.52		0.07	0.52	0.30
2002			-1.33		1.75		-1.33	1.75	0.21
2003			-0.88		1.13		-0.88	1.13	0.13
2004					-0.22			-0.22	-0.22
2005					0.27			0.27	0.27

Trendbereinigte, standardisierte  $\delta^{13}\text{C}$ -Daten

Jahr	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Nord	Süd	Master
1799					-0.62		-0.62	-0.62
1800					0.10		0.10	0.10
1801					0.00		0.00	0.00
1802					0.03		0.03	0.03
1803					-0.29		-0.29	-0.29
1804					0.85		0.85	0.85
1805					0.68		0.68	0.68
1806					0.94		0.94	0.94
1807					0.76		0.76	0.76
1808					1.17		1.17	1.17
1809					0.85		0.85	0.85
1810					-0.09		-0.09	-0.09
1811					0.15		0.15	0.15
1812					-1.00		-1.00	-1.00
1813					-1.15		-1.15	-1.15
1814					-2.87		-2.87	-2.87
1815					-1.48		-1.48	-1.48
1816					-1.23		-1.23	-1.23
1817					-0.52		-0.52	-0.52
1818					-0.89		-0.89	-0.89
1819	0.27				-0.66	0.27	-0.66	-0.20
1820	1.03				0.78	1.03	0.78	0.91
1821	-0.49				0.90	-0.49	0.90	0.21
1822	0.47				1.24	0.47	1.24	0.85
1823	-0.72				0.91	-0.72	0.91	0.09
1824	0.05				1.00	0.05	1.00	0.52
1825	0.09				1.78	0.09	1.78	0.93
1826	0.85				1.84	0.85	1.84	1.35
1827	-0.04				0.05	-0.04	0.05	0.01
1828	-0.05				1.03	-0.05	1.03	0.49
1829	-1.35				1.01	-1.35	1.01	-0.17
1830	-0.88				0.95	-0.88	0.95	0.04
1831	-0.19				-1.73	-0.19	-1.73	-0.96
1832	-1.32				-0.93	-1.32	-0.93	-1.13
1833	-0.36				-0.20	-0.36	-0.20	-0.28
1834	-1.85				-1.32	-1.85	-1.32	-1.59
1835	-1.74				-1.90	-1.74	-1.90	-1.82
1836	-2.04				-0.80	-2.04	-0.80	-1.42
1837	-0.92				-2.11	-0.92	-2.11	-1.52
1838	-1.00				-1.01	-1.00	-1.01	-1.00
1839	-0.79				-0.40	-0.79	-0.40	-0.60
1840	-1.06				0.96	-1.06	0.96	-0.05
1841	2.18				0.62	2.18	0.62	1.40
1842	2.75				0.34	2.75	0.34	1.54
1843	1.88				0.31	1.88	0.31	1.09
1844	1.16				0.43	1.16	0.43	0.79
1845	0.28				-0.18	0.28	-0.18	0.05
1846	1.62				-0.03	1.62	-0.03	0.80
1847	0.28				-0.37	0.28	-0.37	-0.05
1848	2.04				0.16	2.04	0.16	1.10
1849	2.10				0.16	2.10	0.16	1.13
1850	1.78				0.87	1.78	0.87	1.32
1851	1.55				0.81	1.55	0.81	1.18
1852	1.01				0.58	1.01	0.58	0.80
1853	1.46				0.19	1.46	0.19	0.82
1854	-1.22				-0.68	-1.22	-0.68	-0.95
1855	-0.44					-0.44		-0.44
1856	-0.02					-0.02		-0.02
1857	0.63					0.63		0.63
1858	1.57					1.57		1.57
1859	1.05					1.05		1.05

Jahr	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Nord	Süd	Master
1860	1.08					1.08		1.08
1861	0.91					0.91		0.91
1862	0.27					0.27		0.27
1863	1.01					1.01		1.01
1864	0.12					0.12		0.12
1865	-0.55					-0.55		-0.55
1866	-0.56					-0.56		-0.56
1867	-0.17					-0.17		-0.17
1868	-0.23					-0.23		-0.23
1869	0.80					0.80		0.80
1870	0.09					0.09		0.09
1871	-0.92					-0.92		-0.92
1872	0.16					0.16		0.16
1873	-1.45					-1.45		-1.45
1874	-1.40					-1.40		-1.40
1875	-1.73					-1.73		-1.73
1876	-0.66					-0.66		-0.66
1877	-0.35					-0.35		-0.35
1878	-0.66					-0.66		-0.66
1879	-0.44					-0.44		-0.44
1880	0.43					0.43		0.43
1881	0.14					0.14		0.14
1882	0.20					0.20		0.20
1883	-0.43					-0.43		-0.43
1884	0.12					0.12		0.12
1885	0.22					0.22		0.22
1886	0.40					0.40		0.40
1887	0.31					0.31		0.31
1888	-0.58					-0.58		-0.58
1889	-0.13					-0.13		-0.13
1890	0.55					0.55		0.55
1891	0.38					0.38		0.38
1892	0.39					0.39		0.39
1893	0.29					0.29		0.29
1894	-0.21					-0.21		-0.21
1895	-0.92					-0.92		-0.92
1896	0.01					0.01		0.01
1897	-0.45					-0.45		-0.45
1898	-0.30					-0.30		-0.30
1899	-0.04					-0.04		-0.04
1900	-0.42					-0.42		-0.42
1901	-0.58					-0.58		-0.58
1902	0.03					0.03		0.03
1903	-0.11					-0.11		-0.11
1904	0.39					0.39		0.39
1905	-0.15					-0.15		-0.15
1906	0.57					0.57		0.57
1907	-0.12					-0.12		-0.12
1908	0.17					0.17		0.17
1909	0.62					0.62		0.62
1910	0.74					0.74		0.74
1911	1.04					1.04		1.04
1912	0.37					0.37		0.37
1913	-0.59					-0.59		-0.59
1914	-0.40					-0.40		-0.40
1915	-0.20					-0.20		-0.20
1916	-0.16					-0.16		-0.16
1917	0.19					0.19		0.19
1918	0.05					0.05		0.05
1919	-0.16					-0.16		-0.16
1920	-0.19					-0.19		-0.19
1921	-1.43					-1.43		-1.43
1922	-0.05					-0.05		-0.05

Jahr	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Nord	Süd	Master
1923	-0.77					-0.77		-0.77
1924	0.48					0.48		0.48
1925	-0.02					-0.02		-0.02
1926	0.14					0.14		0.14
1927	0.07					0.07		0.07
1928	0.21					0.21		0.21
1929	0.58					0.58		0.58
1930	-0.05					-0.05		-0.05
1931	0.07					0.07		0.07
1932	0.02					0.02		0.02
1933	0.48					0.48		0.48
1934	0.03					0.03		0.03
1935	0.12			-0.17		0.12	-0.17	-0.02
1936	0.68			0.72		0.68	0.72	0.70
1937	0.57			1.42		0.57	1.42	0.99
1938	0.00			0.67		0.00	0.67	0.33
1939	-0.21			-0.10		-0.21	-0.10	-0.16
1940	-0.34			0.20		-0.34	0.20	-0.07
1941	0.06			-0.33		0.06	-0.33	-0.13
1942	-0.01		-1.72	-0.32		-0.87	-0.32	-0.59
1943	0.20		1.74	0.18		0.97	0.18	0.57
1944	0.33		0.66	-1.17		0.50	-1.17	-0.34
1945	0.41		-1.44	1.71		-0.51	1.71	0.60
1946	-0.01		-0.12	0.81		-0.07	0.81	0.37
1947	-0.30		0.92	-0.42		0.31	-0.42	-0.06
1948	0.16		-0.74	0.35		-0.29	0.35	0.03
1949	0.32		-1.12	-1.04		-0.40	-1.04	-0.72
1950	0.00		-1.15	-1.46		-0.58	-1.46	-1.02
1951	-0.10	-0.39	-0.07	-0.50		-0.19	-0.50	-0.34
1952	-0.16	-0.30	-0.35	-1.96		-0.27	-1.96	-1.11
1953	-0.47	0.55	0.31	-2.15		0.13	-2.15	-1.01
1954	-0.01	0.28	0.75	-1.50		0.34	-1.50	-0.58
1955	-0.09	0.41	2.51	0.95		0.94	0.95	0.95
1956	0.00	0.91	-1.51	1.48		-0.20	1.48	0.64
1957	-0.66	0.46	0.92	0.18		0.24	0.18	0.21
1958	-0.34	0.90	0.83	-0.12		0.46	-0.12	0.17
1959	-0.24	0.80	-0.02	0.11		0.18	0.11	0.15
1960	-0.54	-1.70	1.05	0.09		-0.40	0.09	-0.16
1961	-0.10	-1.80	0.34	0.64		-0.52	0.64	0.06
1962	0.19	-2.01	-0.10	-0.89		-0.64	-0.89	-0.76
1963	1.06	2.46	-0.59	-1.44		0.98	-1.44	-0.23
1964	0.67	-0.45	-0.60	-0.82		-0.13	-0.82	-0.48
1965	-0.16	0.29	0.78	0.01		0.30	0.01	0.16
1966	-0.20	0.45	-0.45	0.34		-0.07	0.34	0.14
1967	-0.24	1.32	-0.35	-0.04		0.24	-0.04	0.10
1968	-0.15	-0.48	-0.99	0.08		-0.54	0.08	-0.23
1969	-0.26	-1.20	-1.13	0.55		-0.86	0.55	-0.16
1970	0.10	-0.59	0.01	1.18		-0.16	1.18	0.51
1971	0.48	-0.23	0.32	1.70		0.19	1.70	0.94
1972	0.83	-0.20	0.03	0.69		0.22	0.69	0.45
1973	0.49	0.01	1.08	0.10		0.53	0.10	0.31
1974	0.04	0.41	0.93	0.57		0.46	0.57	0.51
1975	0.34	0.06	0.52	0.00		0.31	0.00	0.15
1976	-0.24	-0.62	0.14	0.52		-0.24	0.52	0.14
1977	-0.46	-0.05	-0.23	-0.58		-0.25	-0.58	-0.42
1978	-0.48	-0.86	-0.59	-0.13		-0.64	-0.13	-0.39
1979	-0.48	-0.11	-0.86	-0.81		-0.48	-0.81	-0.65
1980	-0.04	-1.08	-0.67	-0.90		-0.60	-0.90	-0.75
1981	-0.34	1.10	-0.54	-1.36		0.08	-1.36	-0.64
1982	0.08	0.59	-0.81	0.27		-0.05	0.27	0.11
1983	0.36	0.32	0.91	0.33		0.53	0.33	0.43
1984	0.39	1.12	1.00	-0.18		0.83	-0.18	0.33
1985	1.07	0.64	0.30	-0.12		0.67	-0.12	0.28

Jahr	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Nord	Süd	Master
1986	0.19	-0.71	0.01	0.26		-0.17	0.26	0.04
1987	0.55	-0.43	0.53	-0.18		0.22	-0.18	0.02
1988	-0.14	0.25	-0.07	0.35		0.01	0.35	0.18
1989	-1.95	-0.17	-0.39	0.65		-0.84	0.65	-0.10
1990	0.21	0.25	-0.25	0.19		0.07	0.19	0.13
1991		-0.48	-0.94	0.35		-0.71	0.35	-0.18
1992		0.34	-0.26	0.00		0.04	0.00	0.02
1993		-0.46	0.88	0.35		0.21	0.35	0.28
1994				-0.32			-0.32	-0.32
1995				-0.40			-0.40	-0.40
1996				0.05			0.05	0.05
1997				-0.97			-0.97	-0.97
1998				0.11			0.11	0.11
1999				0.30			0.30	0.30
2000				0.27			0.27	0.27

## $\delta^{18}\text{O}$ -Daten

	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Master
1798					-5.30	
1799					-5.81	
1800					-5.94	
1801					-5.26	
1802					-4.88	
1803					-5.31	
1804					-5.21	
1805					-5.33	
1806					-5.26	
1807					-5.48	
1808					-5.59	
1809					-5.78	
1810					-5.96	
1811					-5.41	
1812					-5.23	
1813					-6.22	
1814					-4.47	
1815					-4.90	
1816					-5.14	
1817					-5.13	
1818					-5.21	
1819					-5.50	
1820	-12.26				-5.20	-8.73
1821	-12.21				-5.63	-8.92
1822	-12.27				-5.38	-8.82
1823	-12.26				-5.51	-8.89
1824	-12.28				-5.59	-8.94
1825	-12.30				-5.82	-9.06
1826	-12.12				-5.10	-8.61
1827	-12.18				-5.37	-8.77
1828	-11.94				-5.07	-8.50
1829	-12.05				-5.34	-8.70
1830	-11.89				-4.85	-8.37
1831	-11.92				-5.10	-8.51
1832	-11.86				-5.23	-8.55
1833	-11.68				-4.73	-8.20
1834	-11.74				-4.28	-8.01
1835	-11.56				-4.56	-8.06
1836	-11.35				-4.41	-7.88
1837	-11.19				-4.96	-8.07
1838	-11.80				-5.15	-8.48
1839	-11.53				-5.52	-8.53
1840	-11.86				-5.29	-8.57
1841	-11.69				-5.46	-8.57
1842	-11.52				-5.21	-8.37
1843	-11.43				-5.35	-8.39
1844	-11.26				-5.40	-8.33
1845	-11.23				-5.42	-8.32
1846	-11.32				-5.21	-8.26
1847	-11.23				-4.88	-8.06
1848	-11.16				-4.87	-8.01
1849	-11.37				-5.37	-8.37
1850	-11.20				-5.43	-8.31
1851	-11.55				-5.33	-8.44
1852	-11.43				-5.24	-8.33
1853	-11.39				-5.40	-8.40
1854	-10.94					
1855	-11.12					
1856	-11.55					
1857	-11.81					

	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Master
1858		-11.72				
1859		-11.37				
1860		-11.15				
1861		-11.49				
1862		-11.59				
1863		-11.45				
1864		-11.33				
1865		-11.47				
1866		-11.37				
1867		-11.21				
1868		-11.41				
1869		-11.65				
1870		-11.35				
1871		-11.19				
1872		-11.33				
1873		-11.12				
1874		-10.30				
1875		-10.84				
1876		-11.27				
1877		-11.06				
1878		-10.75				
1879		-10.93				
1880		-10.86				
1881		-10.67				
1882		-10.64				
1883		-10.81				
1884		-10.91				
1885		-10.81				
1886		-10.98				
1887		-11.09				
1888		-10.93				
1889		-10.98				
1890		-11.00				
1891		-11.07				
1892		-11.14				
1893		-11.19				
1894		-11.30				
1895		-11.47				
1896		-11.51				
1897		-11.40				
1898		-11.33				
1899		-11.28				
1900		-11.65				
1901		-11.69				
1902		-11.78				
1903		-11.48				
1904		-11.36				
1905		-11.36				
1906		-11.42				
1907		-11.37				
1908		-11.40				
1909		-11.28				
1910		-11.29				
1911		-11.44				
1912		-11.46				
1913		-11.50				
1914		-11.37				
1915		-11.44				
1916		-11.54				
1917		-11.65				
1918		-11.47				
1919		-11.25				

	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Master
1920		-11.03				
1921		-11.34	-10.32			
1922		-11.39	-10.00			
1923		-10.91	-9.60			
1924		-11.20	-9.60			
1925		-11.31	-9.56			
1926		-11.36	-9.06			
1927		-11.48	-8.66			
1928		-11.43	-9.69			
1929		-11.83	-9.53			
1930		-11.44	-8.83			
1931		-11.19	-8.99			
1932		-11.09	-9.65			
1933		-11.22	-9.02			
1934		-11.12	-9.50		-7.65	-8.98
1935		-11.36	-9.12		-7.52	-8.88
1936		-11.69	-10.12		-7.70	-9.30
1937		-11.55	-9.82		-7.72	-9.20
1938		-11.18	-8.82		-7.84	-8.92
1939		-11.39	-9.45		-8.28	-9.35
1940		-11.39	-9.72		-7.87	-9.21
1941		-11.46	-9.34		-8.01	-9.20
1942		-11.52	-10.08	-8.06	-8.01	-8.95
1943		-11.41	-10.05	-8.57	-7.81	-8.91
1944		-11.22	-9.76	-8.55	-8.42	-9.13
1945		-11.06	-10.39	-8.79	-8.14	-9.11
1946		-11.43	-10.99	-9.17	-8.10	-9.31
1947		-11.38	-9.73	-9.14	-8.19	-9.13
1948		-11.43	-9.46	-8.69	-8.16	-9.01
1949		-11.60	-9.23	-8.44	-8.01	-8.88
1950		-11.49	-9.22	-8.65	-8.13	-8.96
1951		-11.38	-9.79	-8.72	-7.93	-8.94
1952		-11.30	-9.54	-9.07	-7.94	-8.96
1953		-11.39	-9.62	-9.70	-7.91	-9.08
1954		-11.37	-9.59	-9.33	-7.75	-8.92
1955		-11.39	-9.64	-9.98	-7.98	-9.16
1956		-11.41	-9.69	-9.54	-7.98	-9.10
1957		-11.35	-9.76	-9.72	-8.07	-9.18
1958		-11.40	-9.48	-9.71	-7.79	-8.99
1959		-11.59	-9.54	-9.68	-7.83	-9.05
1960		-11.78	-10.27	-10.03	-7.93	-9.31
1961		-11.90	-10.32	-9.76	-8.10	-9.38
1962		-11.76	-10.28	-9.62	-8.19	-9.37
1963		-11.67	-9.75	-9.39	-8.10	-9.18
1964		-11.54	-9.62	-9.05	-8.29	-9.18
1965		-11.54	-9.64	-9.16	-8.37	-9.24
1966		-11.57	-9.93	-9.59	-8.27	-9.32
1967		-11.68	-10.01	-10.18	-8.28	-9.45
1968		-11.70	-9.86	-10.07	-8.13	-9.34
1969		-11.18	-10.05	-10.21	-8.10	-9.29
1970		-11.59	-9.61	-10.01	-8.15	-9.28
1971		-11.57	-10.11	-9.98	-8.21	-9.38
1972		-11.62	-10.07	-9.69	-8.05	-9.25
1973		-11.45	-10.12	-9.75	-8.08	-9.26
1974		-11.39	-10.14	-9.10	-7.92	-9.06
1975		-11.43	-9.93	-9.40	-7.86	-9.06
1976		-11.53	-10.00	-9.25	-7.98	-9.12
1977		-11.37	-10.10	-9.11	-7.75	-8.97
1978		-11.36	-9.77	-9.25	-7.92	-9.02
1979		-11.04	-9.86	-9.53	-7.79	-8.97
1980		-11.39	-9.78	-9.95	-7.86	-9.12
1981		-11.05	-9.91	-9.82	-7.85	-9.06

	GJ	NJB	GTB	REG	NWS	Master
1982		-11.05	-10.01	-9.78	-8.00	-9.14
1983		-11.07	-9.74	-9.76	-8.21	-9.20
1984		-11.17	-10.11	-9.68	-8.22	-9.27
1985		-11.30	-10.17	-9.60	-8.15	-9.25
1986		-11.25	-9.44	-9.50	-8.23	-9.15
1987		-11.45	-9.45	-9.59	-8.16	-9.16
1988		-11.28	-9.76	-9.35	-8.30	-9.22
1989		-11.12	-9.69	-9.25	-8.30	-9.16
1990		-11.54	-10.11	-9.27	-8.18	-9.24
1991			-9.70	-9.17	-8.01	-8.72
1992			-9.48	-9.19	-7.92	-8.63
1993			-9.48	-9.45	-7.99	-8.72
1994					-7.91	
1995					-7.72	
1996					-7.84	
1997					-7.75	
1998					-7.80	
1999					-7.70	
2000					-7.95	

# Lebenslauf - Dipl. Geol. Sven Baier

Name: Sven Baier  
Geboren am: 18. Oktober 1978  
in Kronach

Anschrift: Robert-Koch-Str. 6  
D-68642 Bürstadt  
eMail: sven.baier@googlemail.com

**Schulische Laufbahn:**  
Sep. 1985 bis Aug. 1989 Grundschule Nordhalben  
Sep. 1989 bis Jun. 1998 Frankenwald-Gymnasium Kronach  
Jun. 1998 Abitur, Allgemeine Hochschulreife (Note 2,5)

**Studium:**  
Okt. 1999 bis Aug. 2004 Studium der Geologie und Paläontologie  
Johannes Gutenberg-Universität, Mainz  
Mai 2003 Diplom-Vorprüfung (Note 1,4)  
Aug. 2004 Diplom im Fach Geologie - Paläontologie (Note 1,3)  
Betreuer der Diplomarbeit:  
Prof. Dr. F. Sirocko, Dr. W. Rosendahl

**Praktika:**  
Mär. 2001 Landratsamt Kronach, Abteilung für Abfallwirtschaft  
Okt. 2002 Naturhistorische Landessammlung im Museum Wiesbaden

**Studentische Hilfskraft:**  
Mär. 2000 bis Aug. 2003 Eigenständiges Arbeiten als wissenschaftliche Hilfskraft in der  
Facheinheit Sedimentologie bei Prof. Dr. F. Sirocko

**Berufserfahrung:**  
Okt. 2002 bis Jul. 2004 Freier Mitarbeiter an der Naturhistorischen Landessammlung  
im Museum Wiesbaden  
Okt. 2004 bis Okt. 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Emmy Noether Forschergruppe von  
PD B. R. Schöne an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in  
Frankfurt am Main  
Okt. 2006 bis Okt. 2007 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Emmy Noether Forschergruppe von  
Prof. Dr. B. R. Schöne an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz

**Mitgliedschaften:**  
American Geophysical Union (AGU)  
Geological Society of America (GSA)  
European Association for Geochemistry (EAG)  
Freunde des paläontologischen Museums, Nierstein  
Nassauischer Verein für Naturkunde

### **Veröffentlichungen:**

- Rodland, D.L., Schöne, B.R., Helama, S., Nielsen, J.K. & Baier, S. (2006): A clockwork mollusk: ultradian rhythms in bivalve activity revealed by digital photography. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 334, pp.316-323
- Schöne, B.R., Dunca, E., Mutvei, H., Baier, S. & Fiebig, J. (2005): Scandinavian climate since the late 18th century reconstructed from shells of bivalve mollusks. – *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 156 (4), pp.501-516
- Schöne, B.R., Page, N.A., Rodland, D.L., Fiebig, J., Baier, S., Pfeiffer, M., Helama, S. & Oschmann, W. (2006): ENSO-coupled precipitation records (1959-2004) based on shells of freshwater bivalve mollusks (*Margaritifera falcata*) from British Columbia. – *International Journal of Earth Sciences*, DOI 10.1007/s00531-006-0109-3.
- Schöne, B.R., Rodland, D.L., Surge, D.M., Fiebig, J., Gillikin, D.P., Baier, S.M. & Goewert, A. (2006): Comment on “Stable carbon isotopes in freshwater mussel shells: Environmental record or marker for metabolic activity?” by J. Geist et al. (2005). – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, pp.2658-2661

### **Vorträge mit Kurzfassung:**

- Baier, S.M., Schöne, B.R., Fiebig, J., Dunca, E. (2007): Interregionale Klimarekonstruktion mit der Flussperlmuschel. – *Wissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für Geologie* 31/2007, 77th Annual Meeting of the Paleontological Society, Freiberg, September 17-19, 2007
- Baier, S.M., Schöne, B.R., Fiebig, J. (2007): The freshwater pearl mussel: one species – several proxies. – *Goldschmidt 2007*, Cologne, August 19-24, 2007
- Baier, S.M., Schöne, B.R., Fiebig, J. & Dunca, E. (2006): Land-sea Interactions in the North Atlantic Sector - Stories From Freshwater Pearl Mussels. – *Eos Trans. AGU*, 87(36), Ocean Sciences Meeting Suppl., Abstract OS24J-01
- Baier, S.M., Schöne, B.R., Dunca, E., Fiebig, J. & Rodland, D.L. (2005): Touched by Man: Bivalve Shells (*Margaritifera margaritifera*, L.) as archives for anthropogenic forcing of the climate. – Abstracts and Programs, Geological Society of America, Annual Meeting, Salt Lake City, Utah, 16-19 Oct. 2005
- Baier, S.M., Schöne, B.R. & Fiebig, J. (2005): Changes in climate variation: Swedish Pearl Mussels as Climate Archives by the use of Sclerochronology and Geochemistry. – *Bio System Earth Sphere Coupling 2005*, Erlangen (International Conference and Annual Meeting GV and DGG)
- Baier, S.M., Schöne, B.R. (24.08.2005): Freshwater pearl mussels from Sweden as multi-proxy climate archives. – Vortrag am County Administrative Board of Norrbotten, Lulea (unveröffentlichter Abstract)
- Baier, S.M., Schöne, B.R. (01.09.2005): Shells of freshwater pearl mussels tell stories of the climatic past of Sweden. – SYNTHESYS-Vortrag am Naturhistorischen Museum, Stockholm (unveröffentlichter Abstract)

### **Poster:**

- Baier, S.M., Schöne, B.R., Dunca, E., Mutvei, H. & Fiebig, J. (2005): Freshwater Pearl Mussels, *Margaritifera margaritifera*, from Sweden tell of past climates. – *Geophysical Research Abstracts* 7, #02943, EGU Vienna, April 24-29, 2005
- Baier, S.M., Schöne, B.R., Dunca, E., Mutvei, H. & Fiebig, J. (2005): Bivalve shells tell of the climatic past – Growth and isotope analysis of freshwater pearl mussel, *Margaritifera margaritifera* (L.), from Fennoscandia. – ESF HOLIVAR Training Course 2005, Toulouse (unveröffentlichter Abstract)

**CD mit Datensätzen**

