

Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser
und Bettsedimentwasser *

G. Bretschko

Abstract

Exchange processes between
Surface and Interstitial Water

The 'DARCY-LAW' is shortly described as well as the study area. The development of the configuration of the brook bed is shown. The exchange processes are measured with the help of water ballance measurements between profiles, the comparison of daily temperature curves in the sediments (-60 cm) and the surface water as well as with direct measurements using gypseous spheres. The latter method is described in detail.

Das Verhalten von strömenden Flüssigkeiten in poröser, fester Materie ist seit langer Zeit Gegenstand physikalischer Forschung. Empirische Messungen und theoretische Überlegungen führten zu der als "DARCY-GESETZ" genannten Formulierung (1):

$$V = KS \quad (1)$$

Dabei steht 'V' für die sicht- und meßbare Strömungsgeschwindigkeit und 'S' für den hydraulischen Gradienten. 'K' beschreibt die Permeabilität und wird auch als DARCY-Koeffizient bezeichnet, wobei 'K' alle physikalischen Eigenschaften sowohl der Flüssigkeit als auch der festen Materie umfaßt. Der hydraulische Gradient 'S' ist die Kraft, die die Flüssigkeit treibt, die Permeabilität 'K' erlaubt den Fluß. Bei natürlichen Gerinnen beschreibt der hydraulische Gradient das Gefälle des Gewässers, die Geometrie des Bachbettes und die Verhältnisse des ufernahen Grundwassers.

* Teilfinanziert durch einen Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft über die Bedeutung der Bettsedimente für Fließgewässerbiozönosen im Hinblick auf gewässerbauliche Maßnahmen

Die Durchströmung natürlicher Bettsedimente wurde im Zusammenhang mit dem Laichverhalten von Salmoniden untersucht (z.B. POLLARD 1955). Da der Koeffizient 'K' richtungsunabhängig ist, wurden die aktuellen Messungen (Labor und Feld) nur über das horizontale Strömungsgeschehen in den Sedimenten durchgeführt. VAUX (1968) zeigte mit Hilfe eines Analogmodelles die Richtungsabhängigkeit von 'S' von der Oberflächengeometrie des Bachbettes, von der Geometrie der wasserundurchlässigen Schicht und von räumlich unterschiedlichen Sedimenteigenschaften. Direkte Messungen des vertikalen Strömungs- bzw. Austauschgeschehens wurden im Zusammenhang mit Gewässerbelastungen über das Grundwasser mit 'Minipiezometern' durchgeführt (z.B. LEE e.a. 1977/78).

Im Ritrodatareal wurde bereits 1979 mit der Untersuchung der Austauschprozesse begonnen (BRETSCHKO 1980). Untersucht werden in diesem Zusammenhang die Geometrie des Bachbettes und ihre Veränderungen in der Zeit, Qualität und Verteilung der Bettsedimente, die Austauschprozesse selbst und das Verhalten des ufernahen Grundwassers (BERGER 1978, 1979).

Die Geometrie des Bachbettes

Das Versuchsareal (Abb. 1, BRETSCHKO in press) umfaßt 100 m des Oberen Seebachs und stellt ein sehr einförmiges Schotterbett dar. Abweichende Strukturen sind zwei kleine Kolke (2 Z 1 und 20 C 4, siehe BRETSCHKO 1979) und eine Schotterinsel im Bereich B 22 bis B 12 (Abb. 1). Die Länge der Versuchsstrecke beträgt 100 m, die Breite schwankt bei mittlerem Wasserstand zwischen 15 und 20 Metern. Die Bettsedimente sind Schotter mit einer mittleren Korngröße von 14 bis 26 mm und einem Porenvolumen von 34 bis 35%. Die bis jetzt bearbeiteten Proben zeigen weder horizontal noch vertikal signifikante Unterschiede (BRETSCHKO 1981, in press).

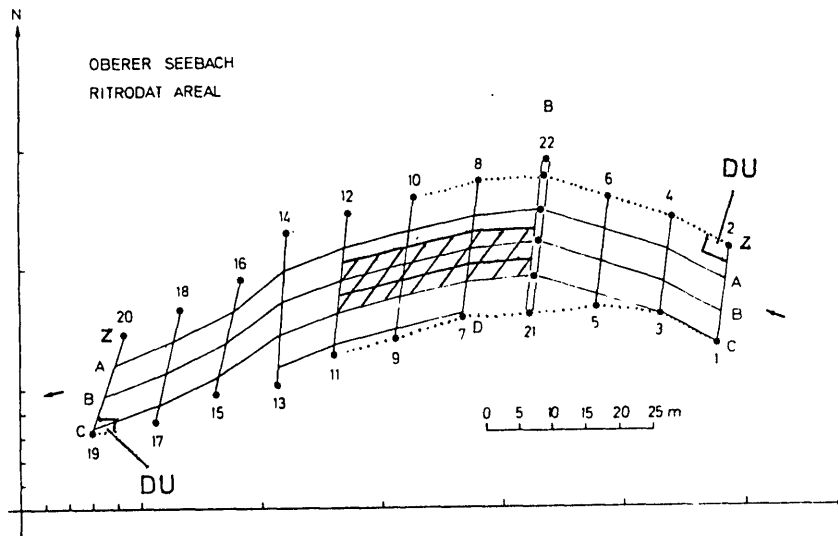


Abb. 1 Versuchsareal. Ziffern und Buchstaben:
 Permanenter Grid (5x10 m Maschenweite). DU = Kolke
 Gerasterte Fläche: Bereich der Schotterinsel.

Die Oberflächenstruktur des Bachbettes bzw. deren Veränderung in der Zeit wird mit zwei Methoden gemessen: die ständig registrierende Super-8-Kamera (BRETSCHKO 1980) erlaubt das Beschreiben großer Strukturen und deren Veränderungen, punktuelle Messungen erlauben das Erkennen feiner Strukturen und deren Dynamik. Letztere werden in Abständen von etwa vier Monaten mit dem Nivelliergerät (Wild NK 05) durchgeführt. Dabei wird meterweise entlang allen Gridlinien der Bachgrund, die Wasseroberfläche und die mittlere Strömungsgeschwindigkeit gemessen (siehe Kap. "Hydrographie"). Bei jeder Meßserie werden etwa 2 000 Einzeldaten erhoben. Da aber die Auswertung gegenwärtig noch händisch erfolgt, muß sie unvollkommen bleiben. Ein spezielles Computerprogramm ist jedoch in Ausarbeitung (siehe Kapitel "Data analysis").

Entsprechend den ständigen Veränderungen der Bettstruktur ist auch das Gefälle in der relativ kurzen Versuchsstrecke Veränderungen unterworfen. In der Zeit von 1980-04 bis 1981-03 schwankt der Niveauunterschied zwischen Beginn und Ende der Ritrodatstrecke zwischen 37 und 49 cm (dies entspricht im Mittel einem Gefälle von 0,4 bis 0,5 %; Tab. 1)

Profil		2		20			Δh (cm)	$\Delta \cdot \text{nm}^{-1}$ (cm)
DATUM	n	\bar{x}	s^2	n	\bar{x}	s^2		
80-04	10	128,10	0,32	11	170,82	176,00	42,72	0,43
80-07	9	154,72	341,44	7	191,29	21,57	36,57	0,37
80-11	9	152,78	98,69	7	193,57	22,62	40,79	0,41
81-03	10	142,10	153,43	7	191,14	29,18	49,04	0,49

Tabelle 1 Niveauunterschied zwischen Profil 2 und 20 zu verschiedenen Zeiten. Referenz: 150 cm Pegel, re. \bar{x} = mittleres Niveau des Profils in cm.

Die Abbildungen 2 bis 23 zeigen die Mobilität der Bachsohle und damit die Veränderungen in der Geometrie des Bachbettes. Meterweise Nivellierungen des Bachbettes entlang dem permanenten Grid (Abb. 1) wurden 1980 am 8. April, 23. Juli, 26. November und 1981 am 8. März durchgeführt. Der Vergleich aufeinanderfolgender Messungen zeigt deutliche Unterschiede in den Sedimentbewegungen zwischen den einzelnen Vergleichsperioden: im Frühjahr 1980 (Periode "1" : 04-08/07-23) sind die Bewegungen sehr unterschiedlich, innerhalb der einzelnen Profile wechseln Abtransport und Anlagerungen ab. In den oberen zwei Dritteln der Versuchsstrecke dominieren in dieser Periode die Anlagerungsprozesse. Im Sommer/Herbst 1980 (Periode "2": 07-23/11-26) wird aus der gesamten Ritrodatstrecke fast nur Sediment abtransportiert. Auffallende Anlagerungen finden sich nur in

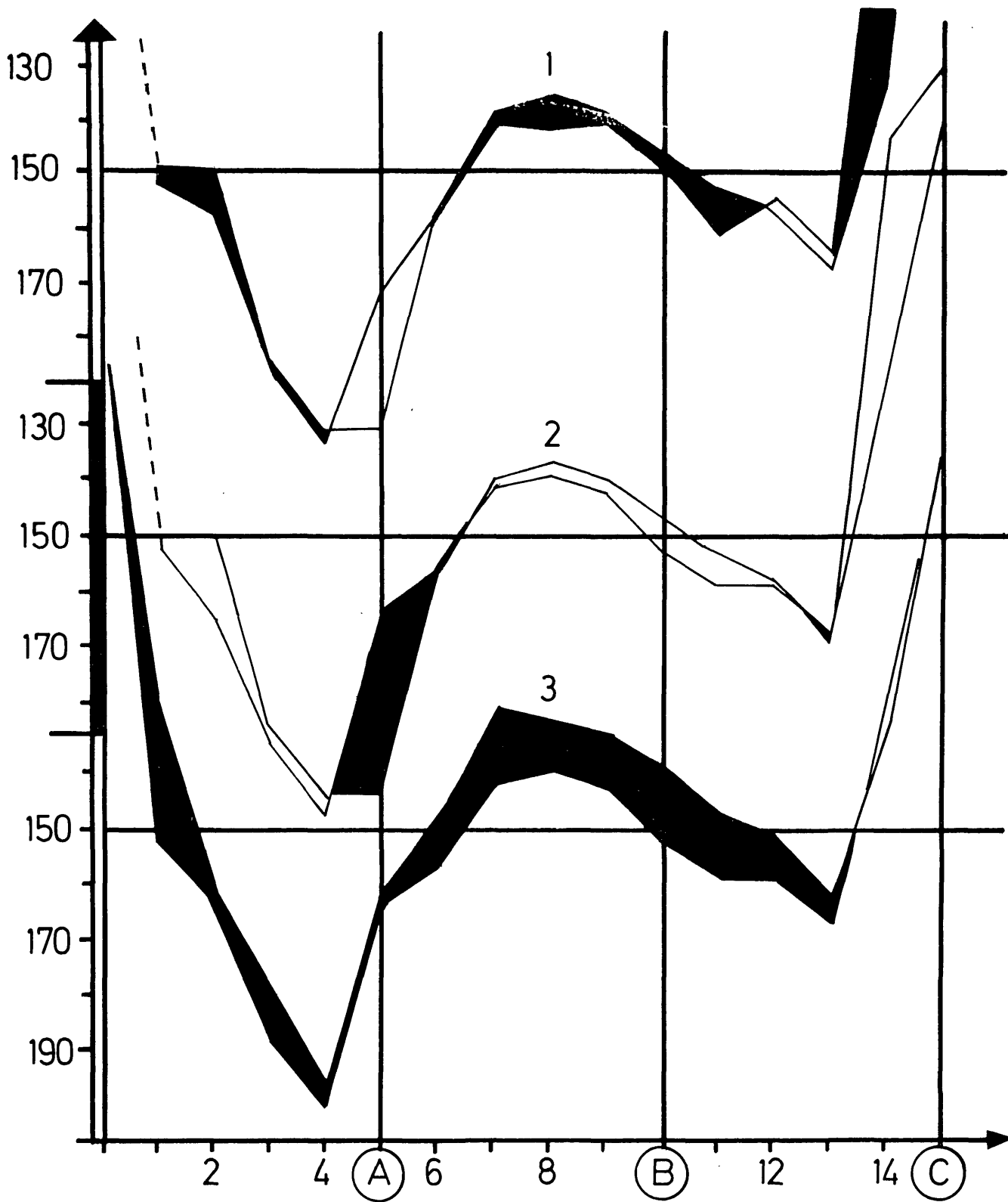


Abbildung 2 Querprofil 2. Abszisse: m, 1:100. Ordinate: cm, 1:10. `1`: 1980-07-08/07-23. `2`: 1980-07-23/11-26. `3`: 1980-11-26/1981-03-08. Siehe Abb. 1 und Text. Schwarze Flächen: Anlagerung, weiße: Abtragung

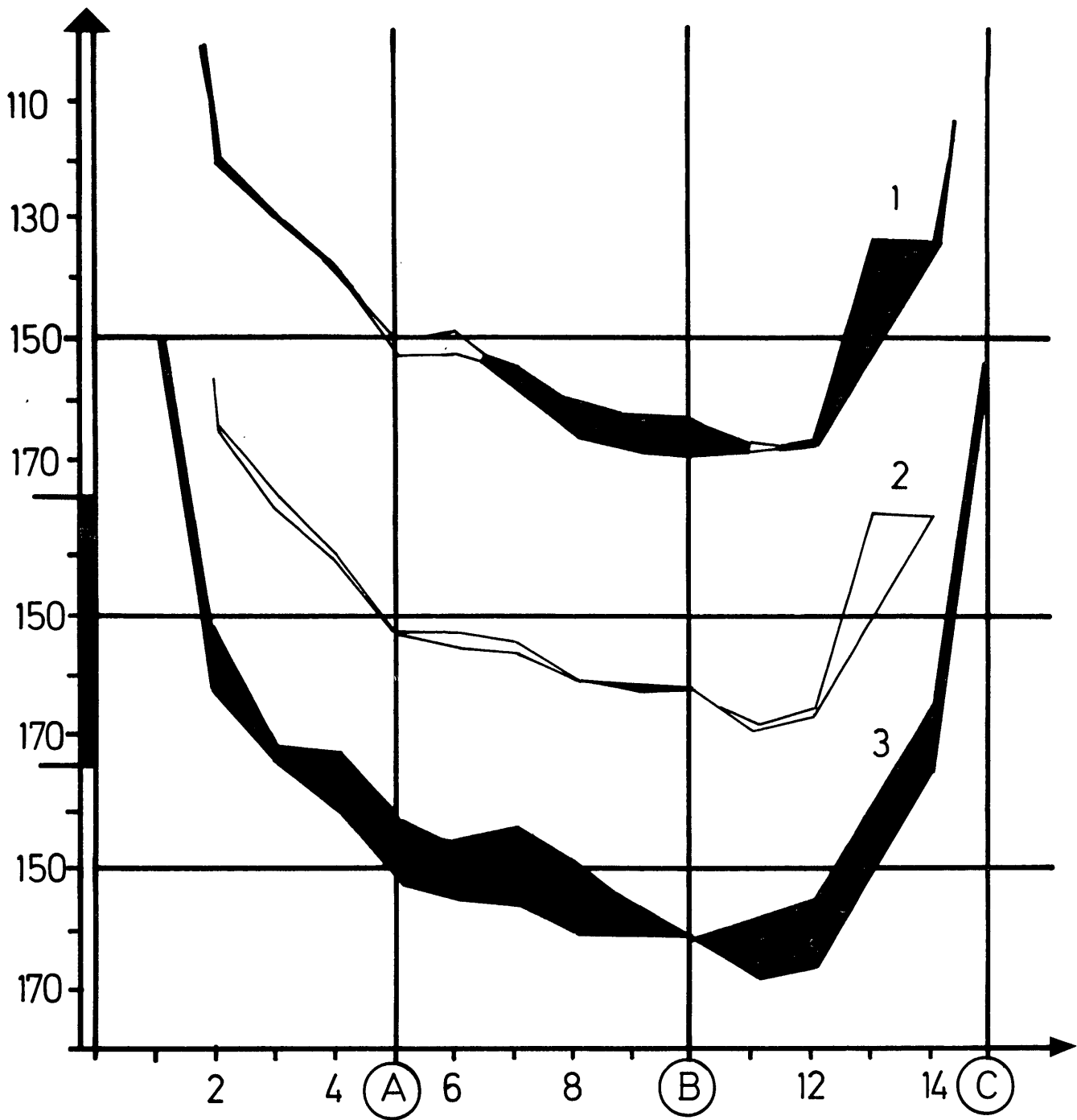


Abbildung 3 Querprofil 4. Legende siehe Abb. 2

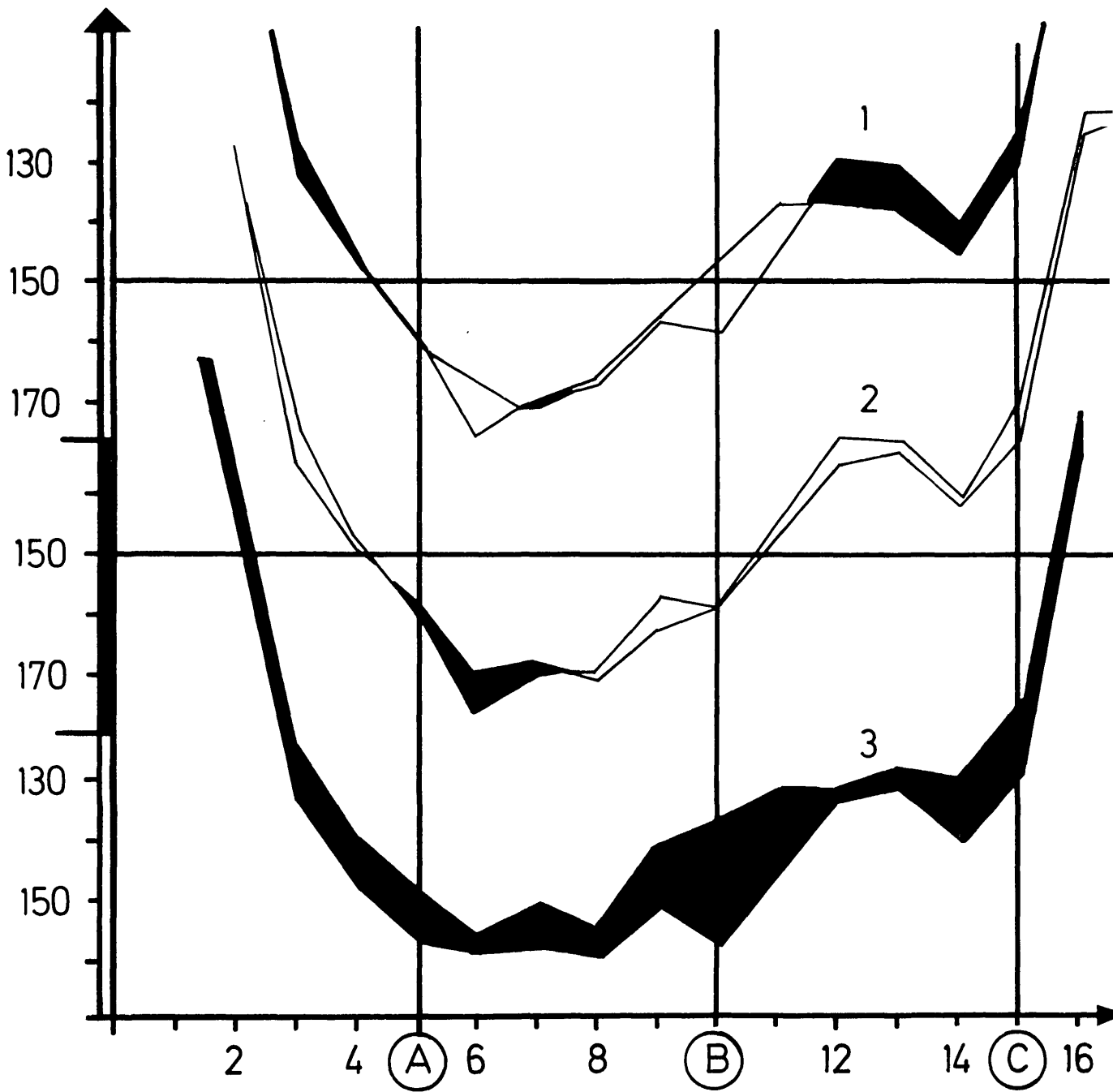


Abbildung 4 Querprofil 6. Legende siehe Abb. 2

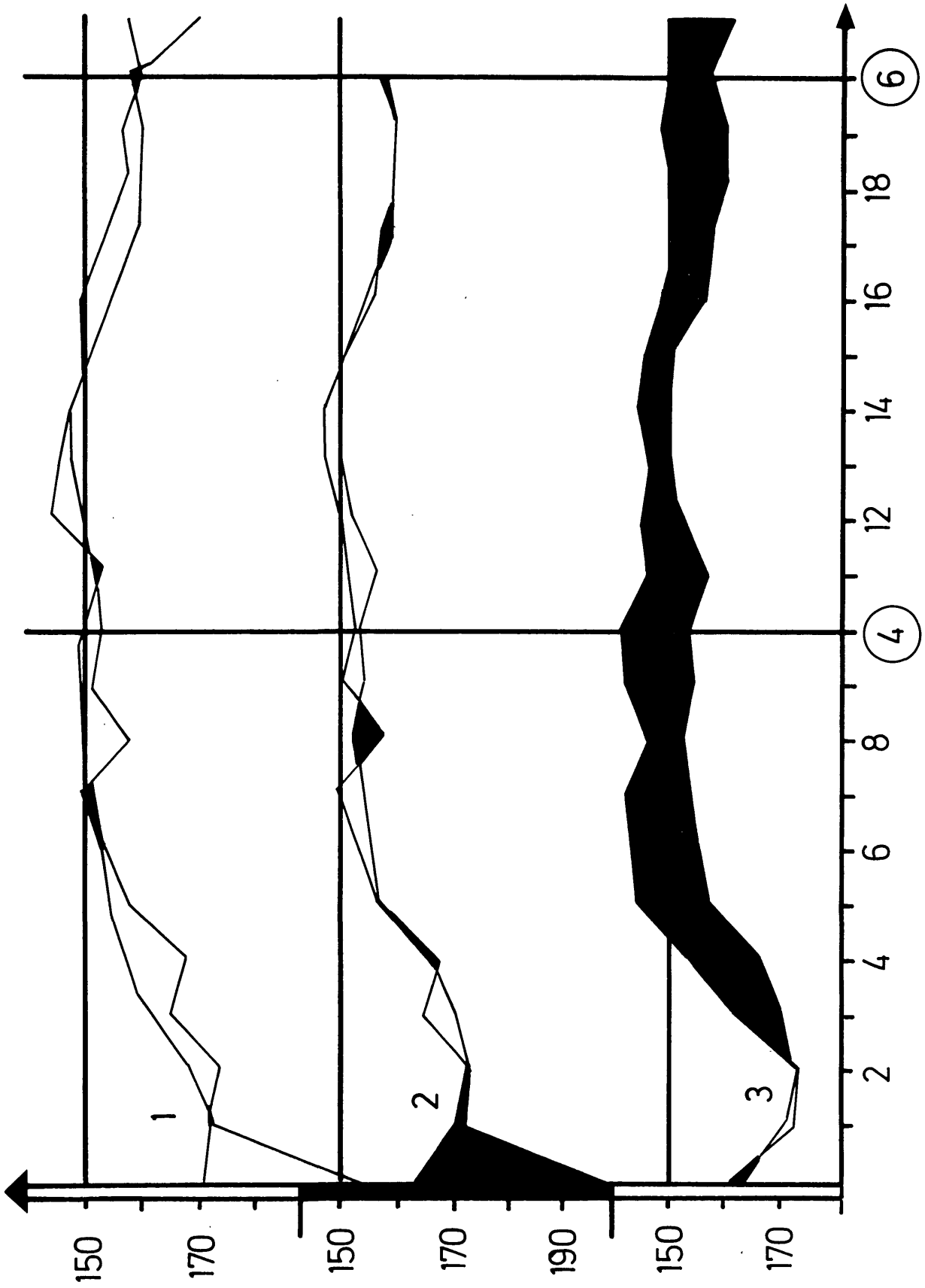


Abbildung 5 Längsprofil 'A (2-6)'. Legende siehe Abb. 2

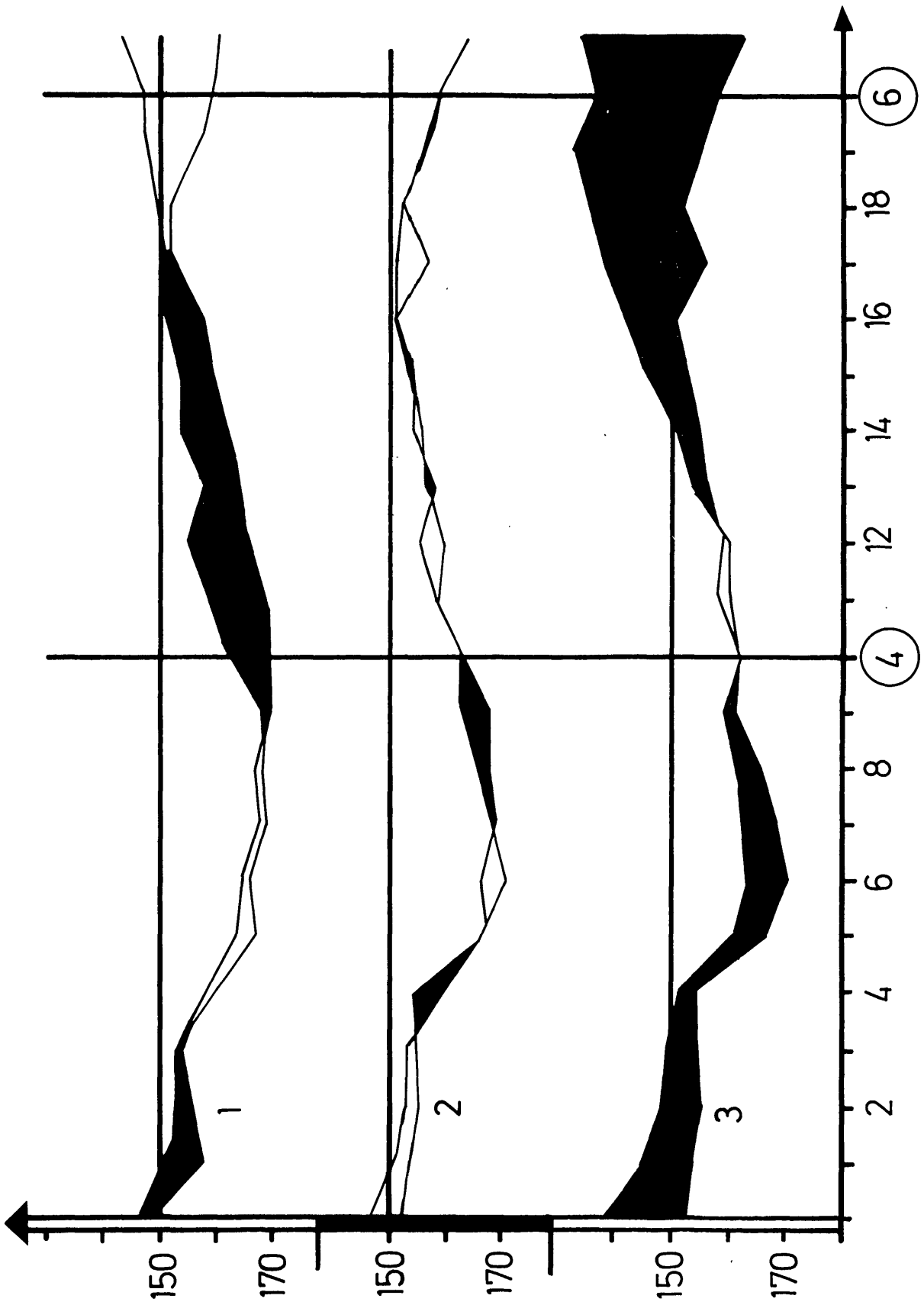


Abbildung 6 Längsprofil 'B (2-6)'. Legende siehe Abb. 2

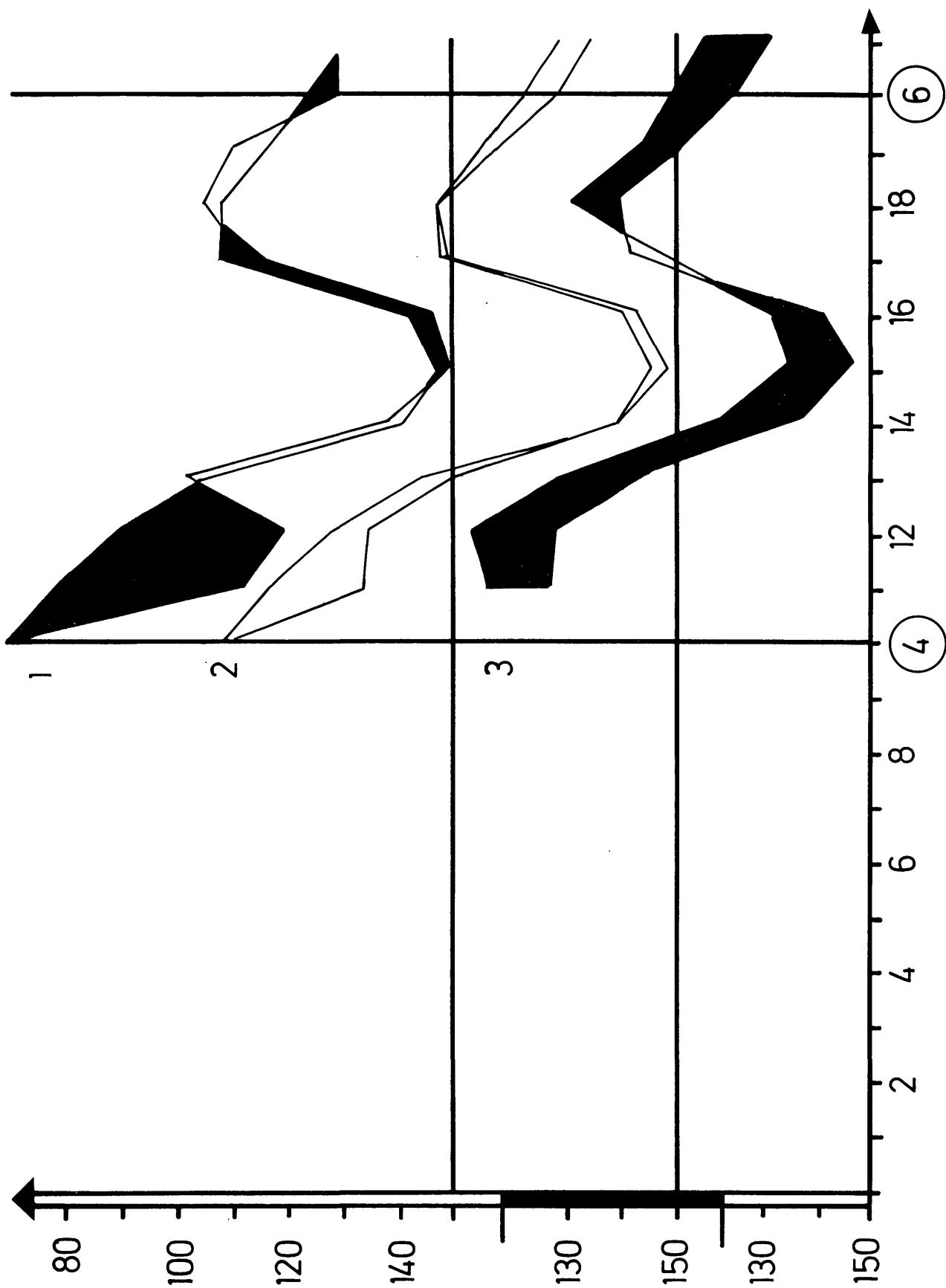


Abbildung 7 Längsprofil 'C (4-6)'. Legende siehe Abb. 2

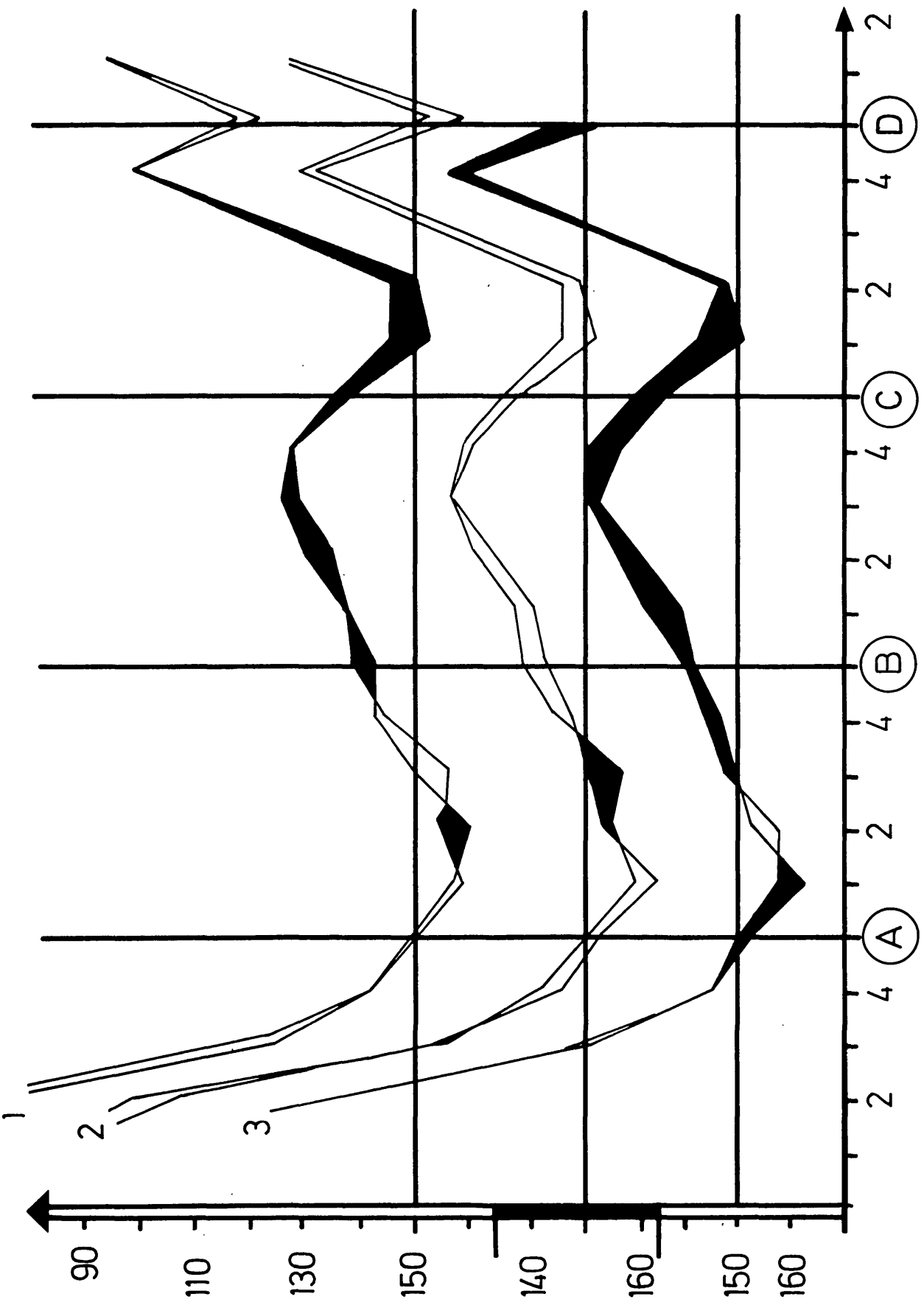


Abbildung 8 Querprofil 8. Legende siehe Abb. 2

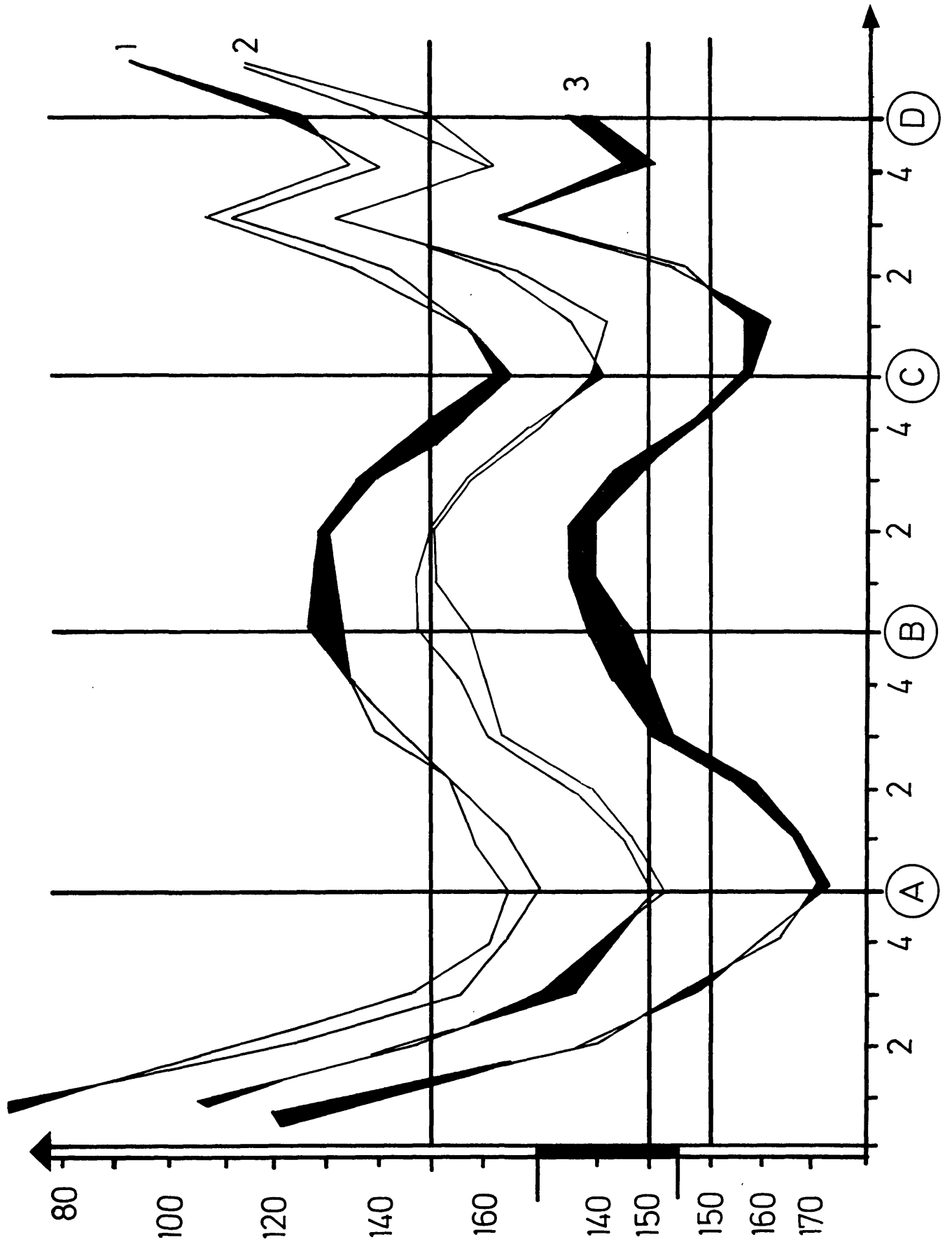


Abbildung 9 Querprofil '10'. Legende siehe Abb. 2

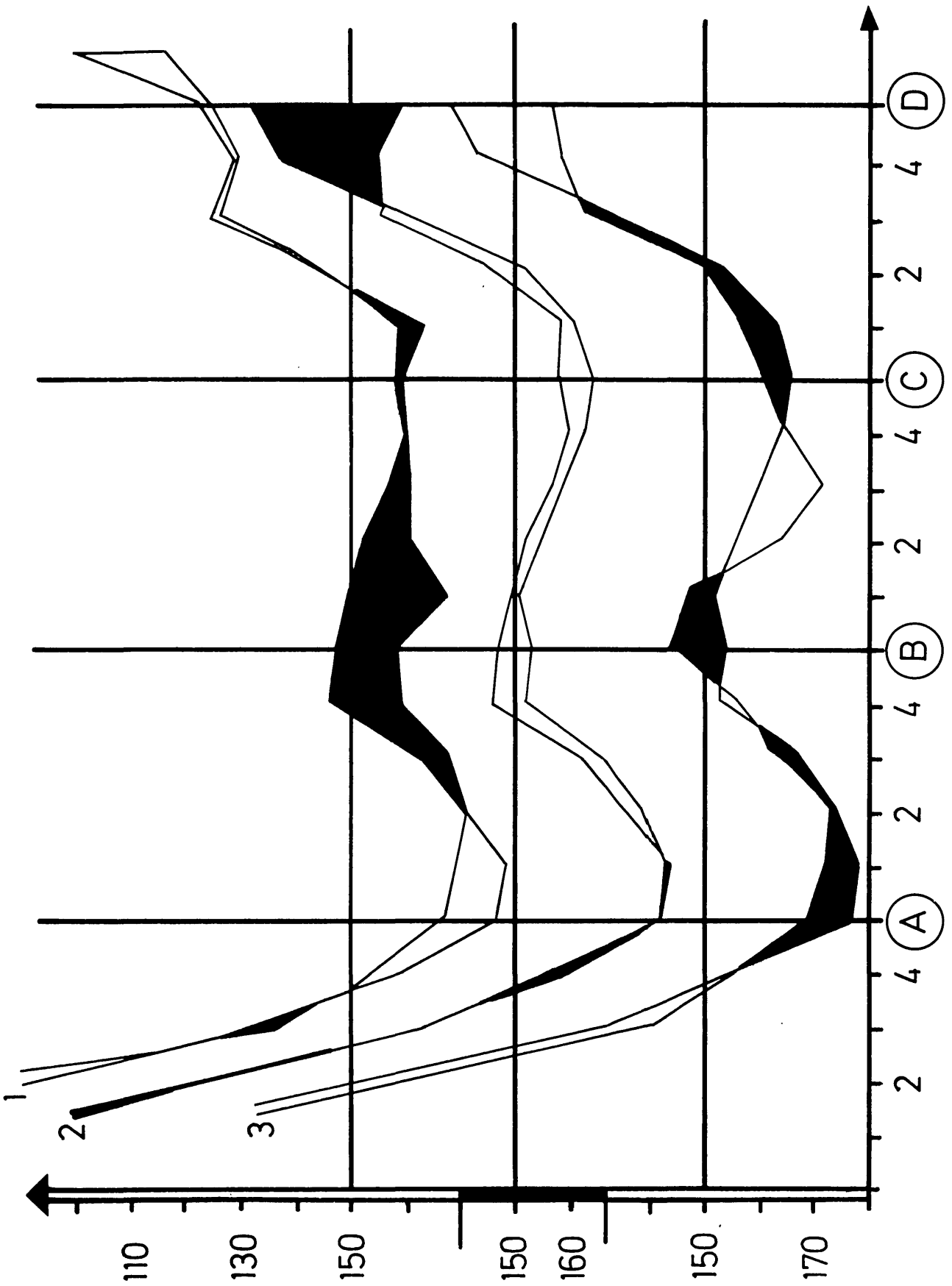


Abbildung 10 Querprofil '12'. Legende siehe Abb. 2

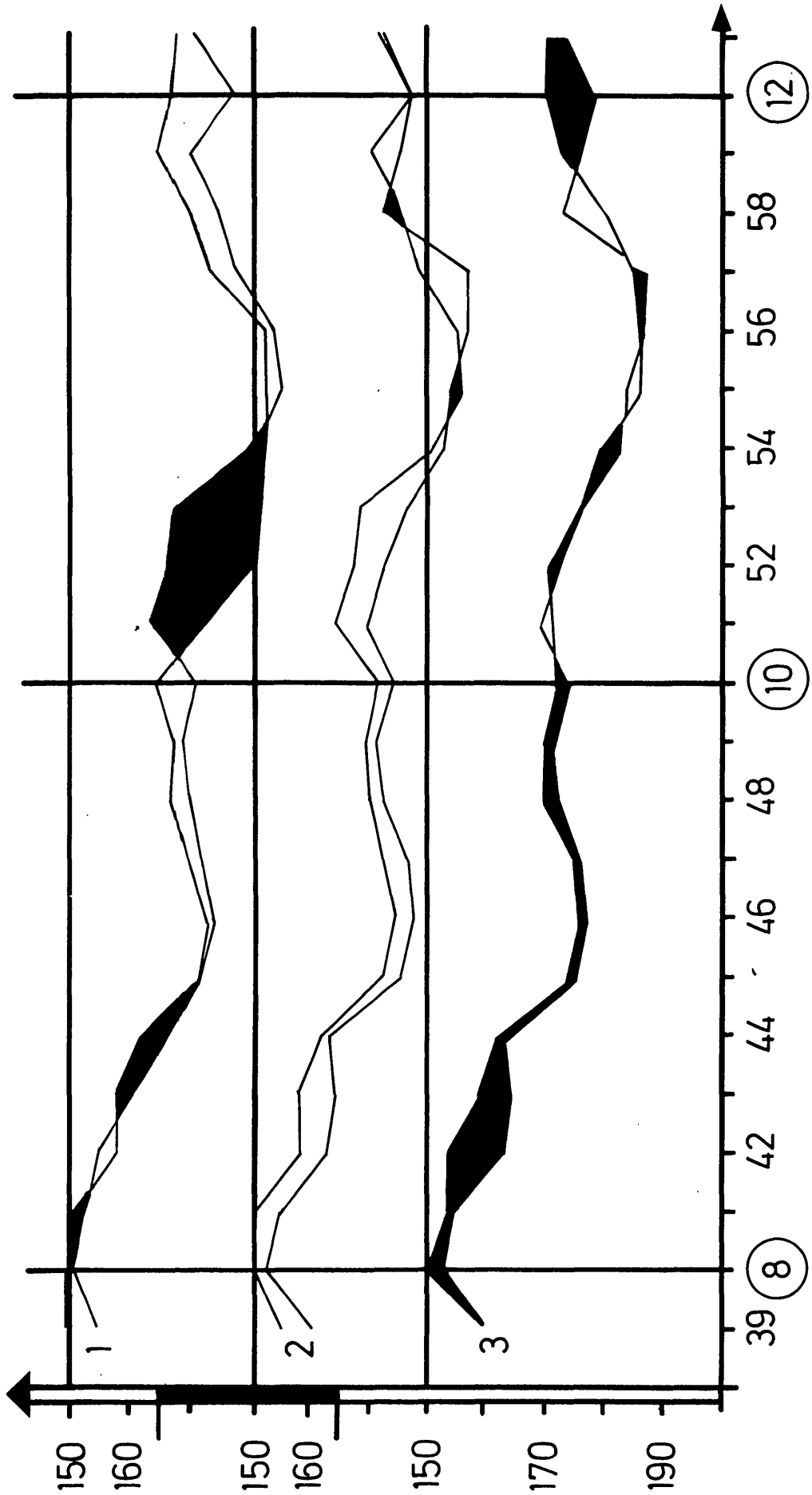


Abbildung 11 Längsprofil 'A' (8-12). Legende siehe Abb. 2

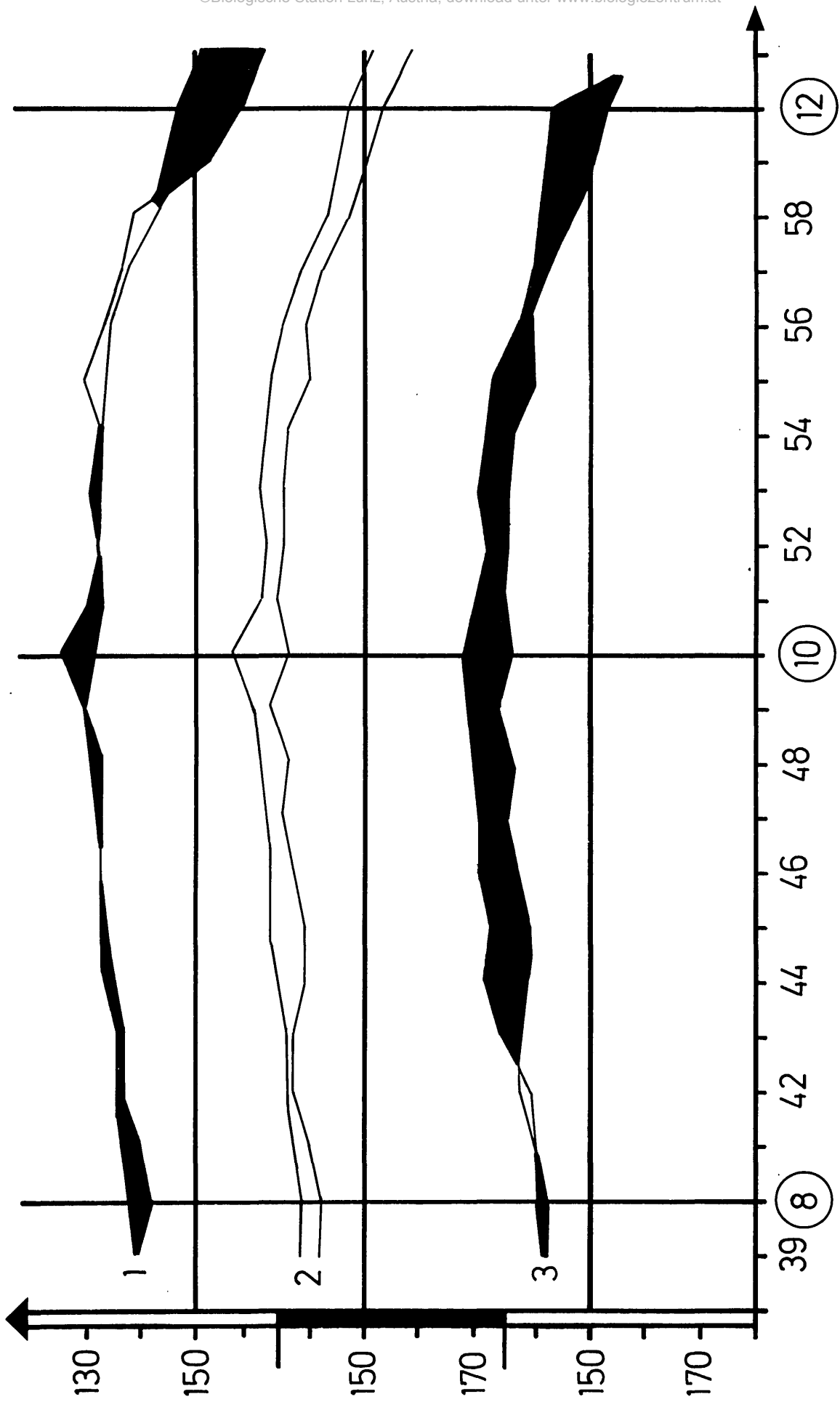


Abbildung 12 Längsprofil 'B (8-12)'. Legende siehe Abb. 2

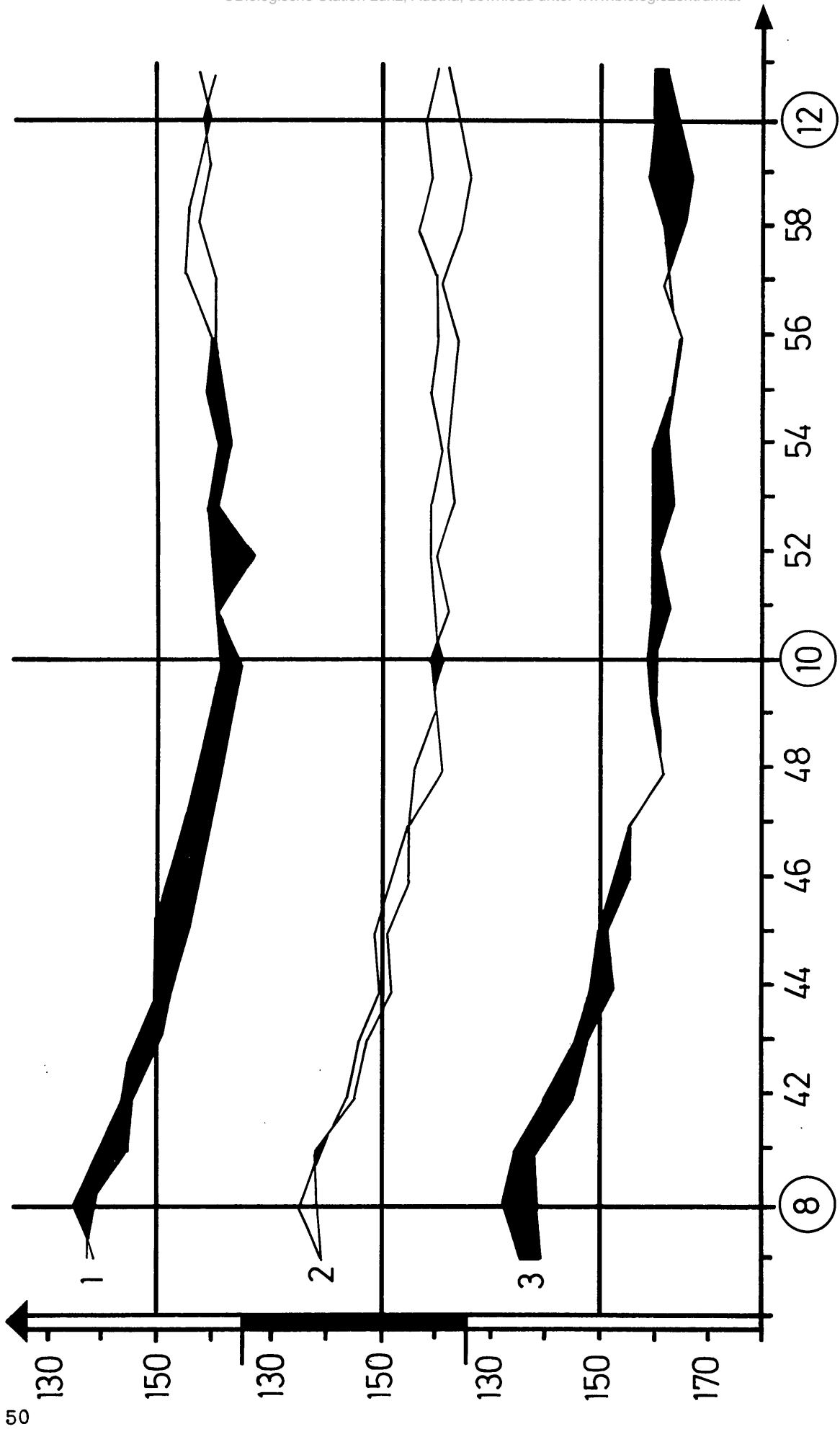


Abbildung 13 Längsprofil °C (8-10). Legende siehe Abb. 2

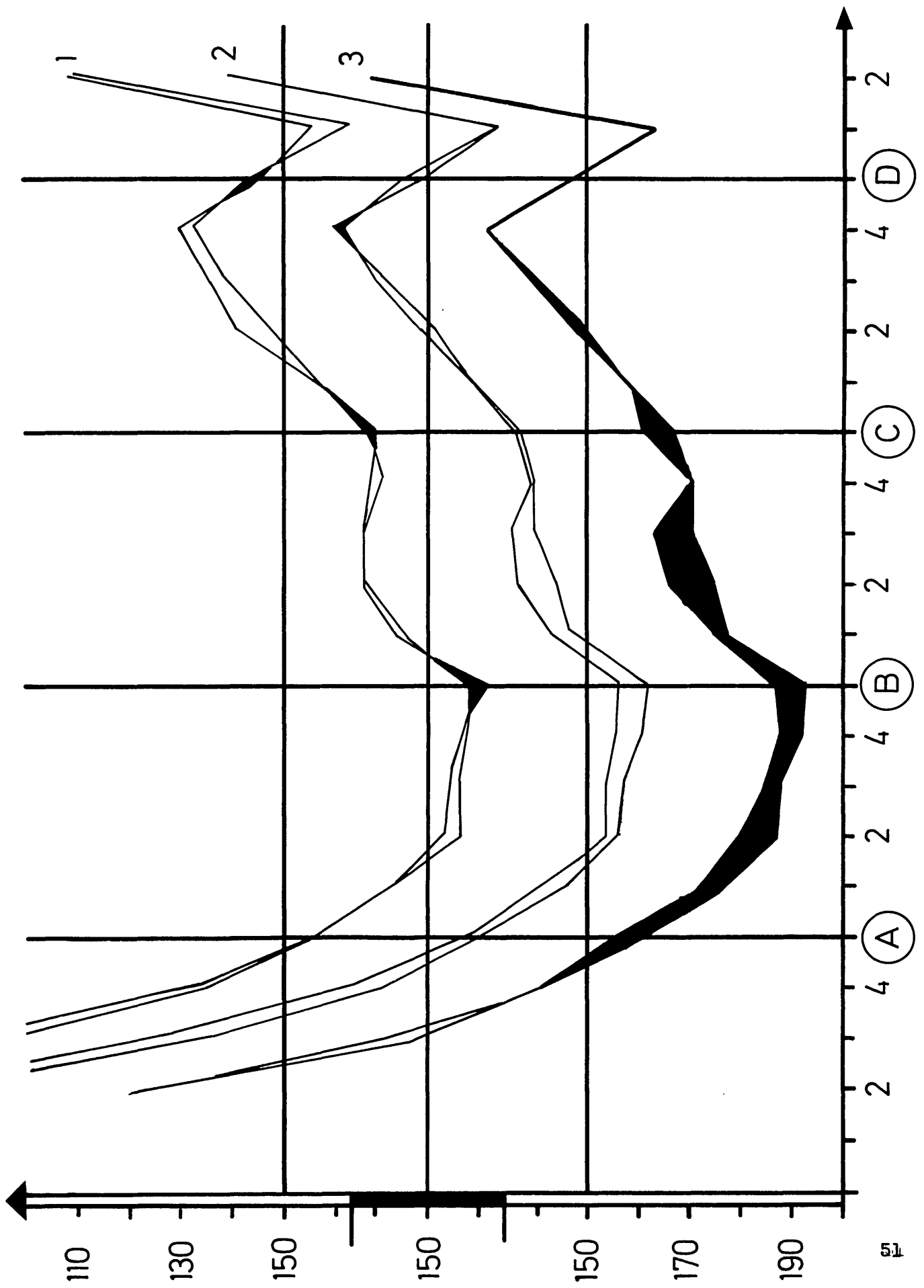


Abbildung 14 Querprofil 14. Legende siehe Abb. 2

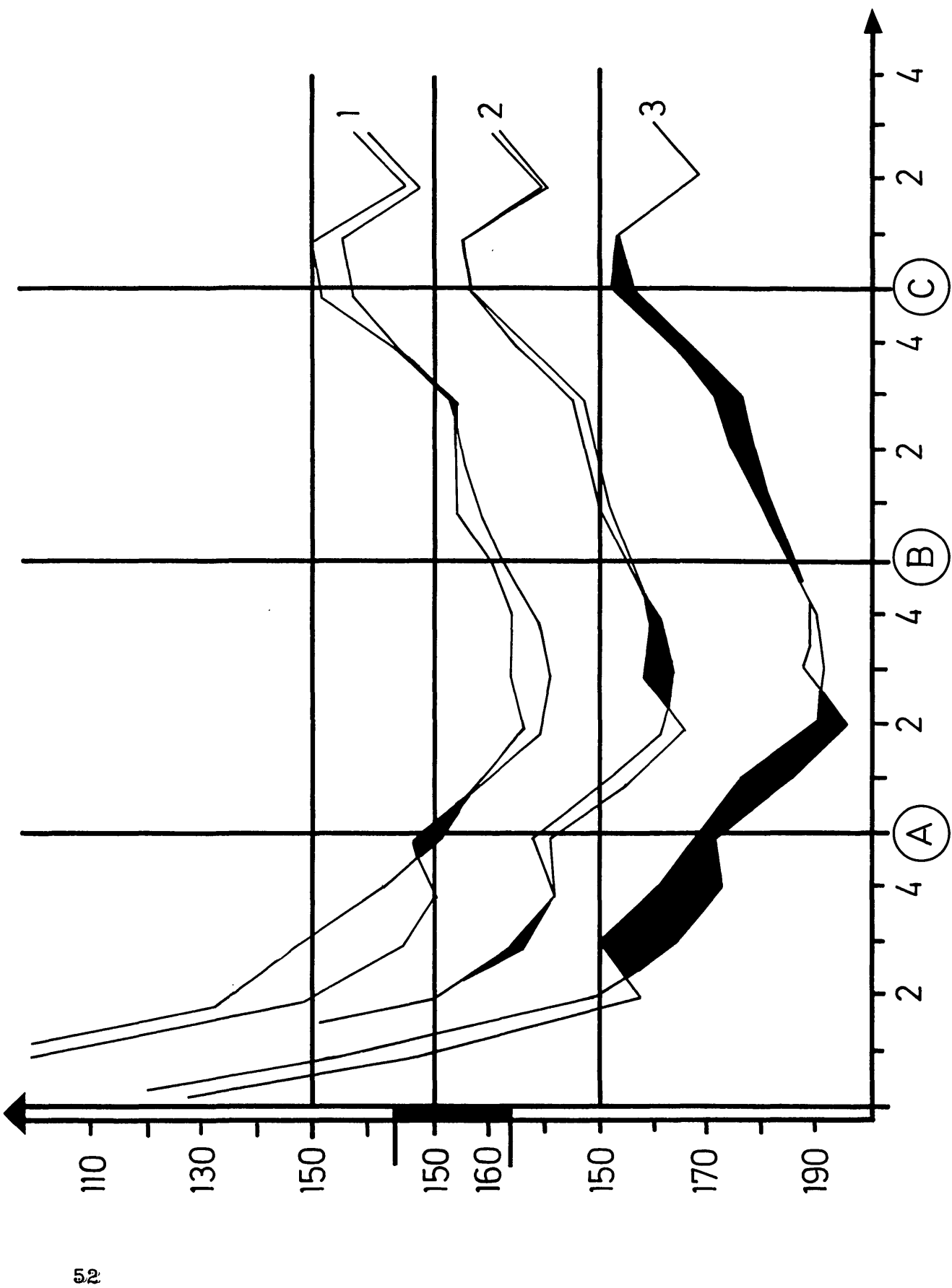


Abbildung 15 Querprofil 16. Legende siehe Abb. 2.

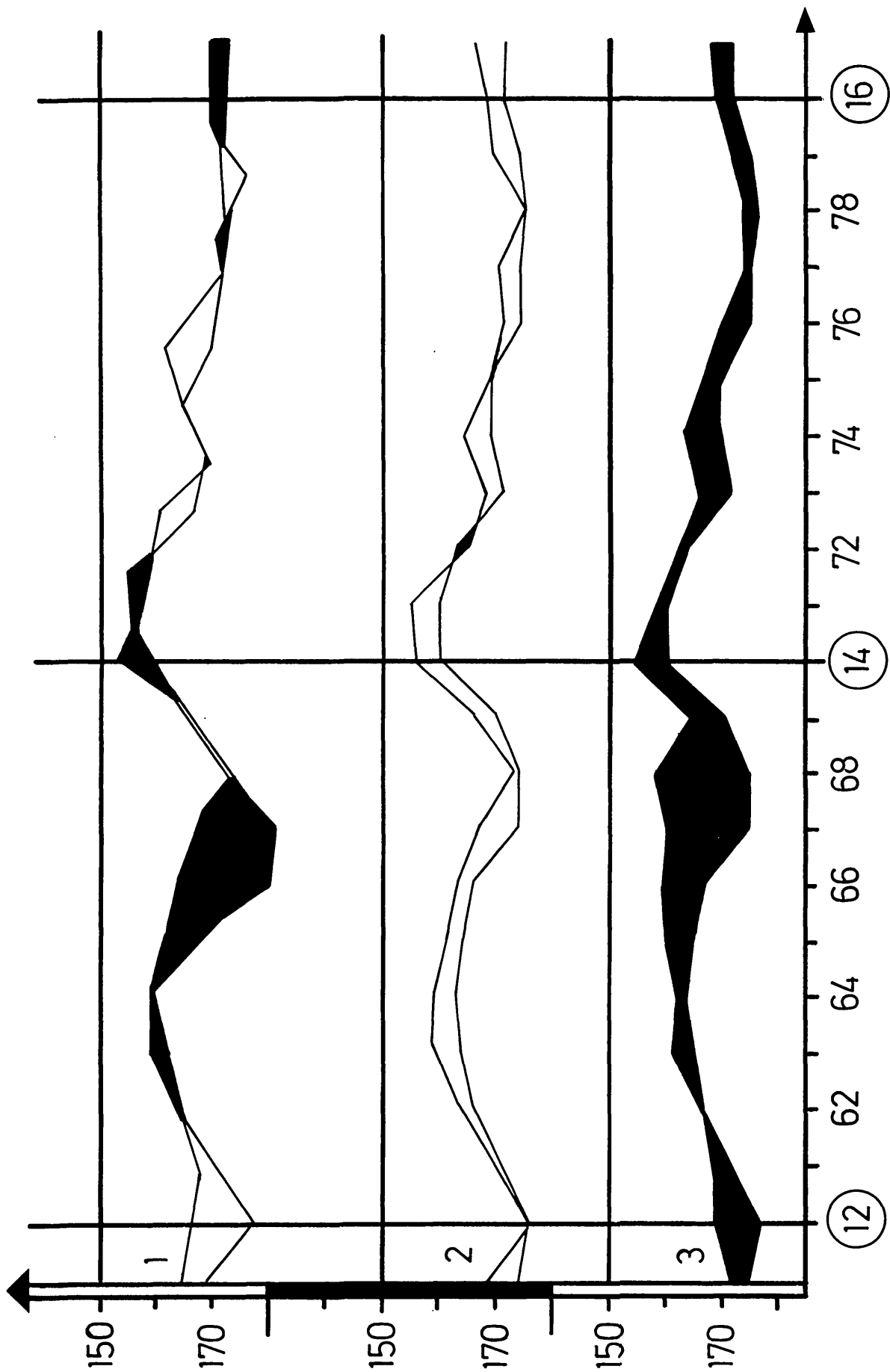


Abbildung 16 Längsprofil 'A (12-16)'. Legende siehe Abb. 2

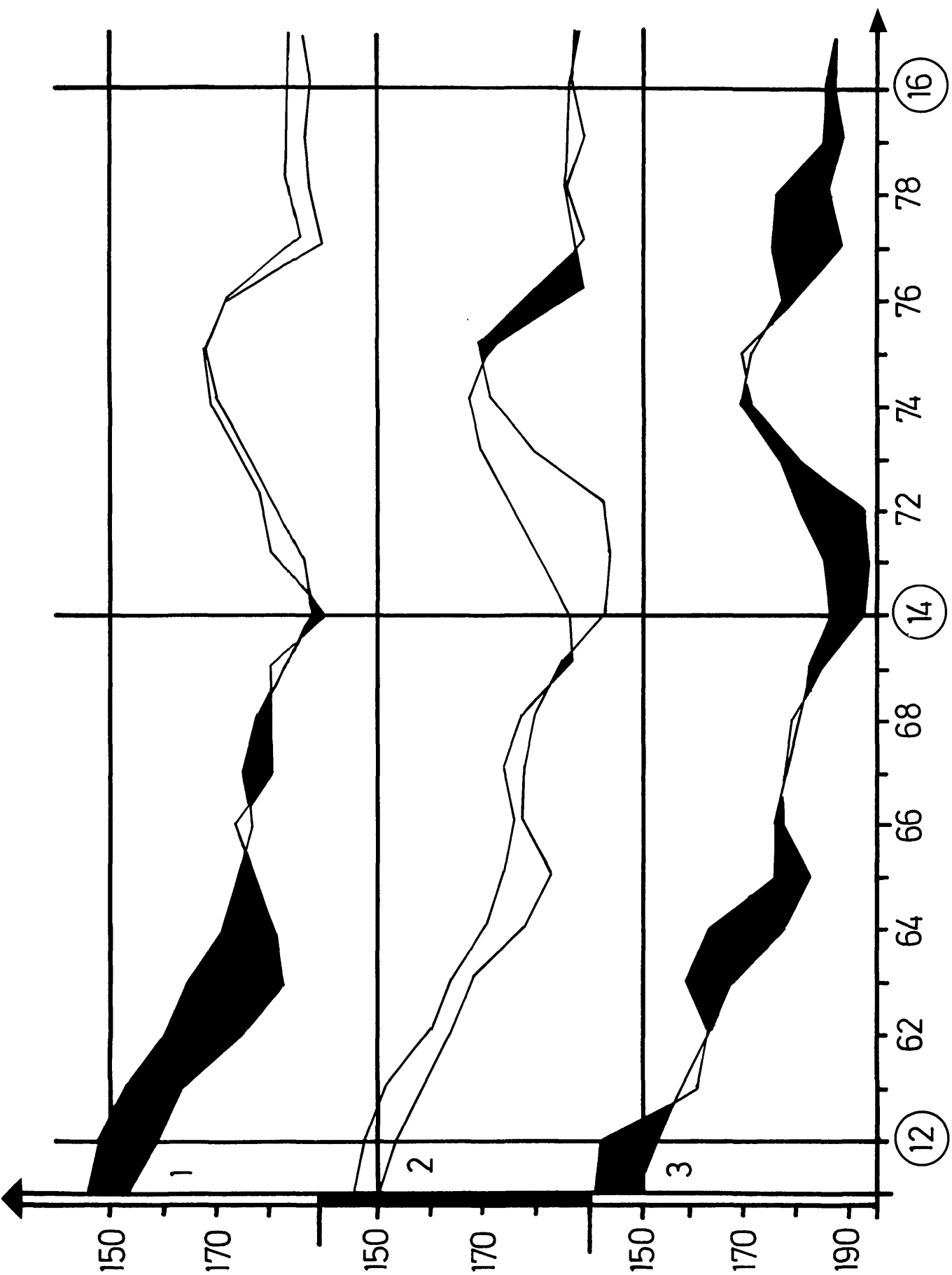


Abbildung 17 Längsprofil 'B (12-16)'. Legende siehe Abb. 2

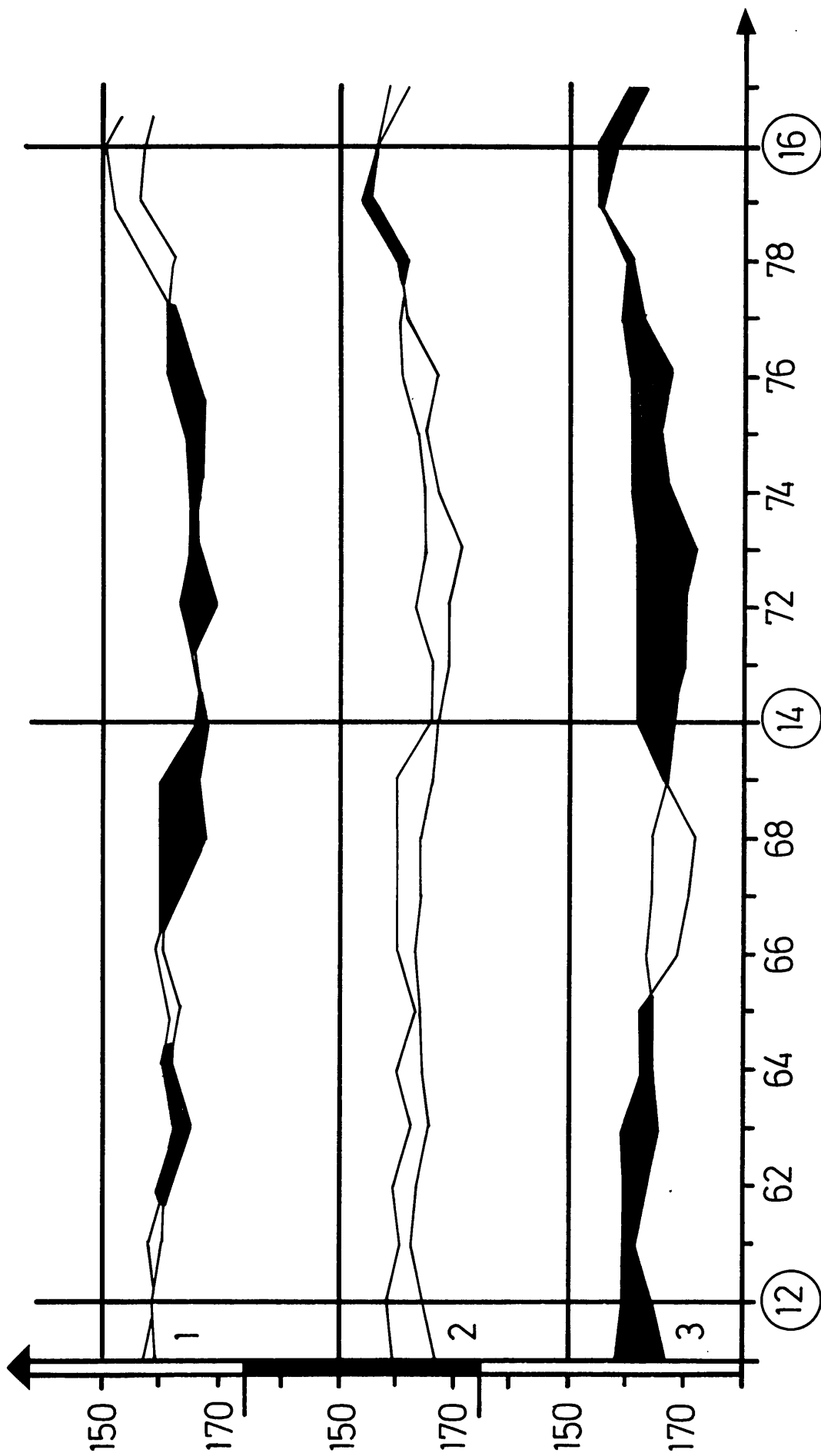


Abbildung 18 Längsprofil 'C (12-16)'. Legende siehe Abb. 2

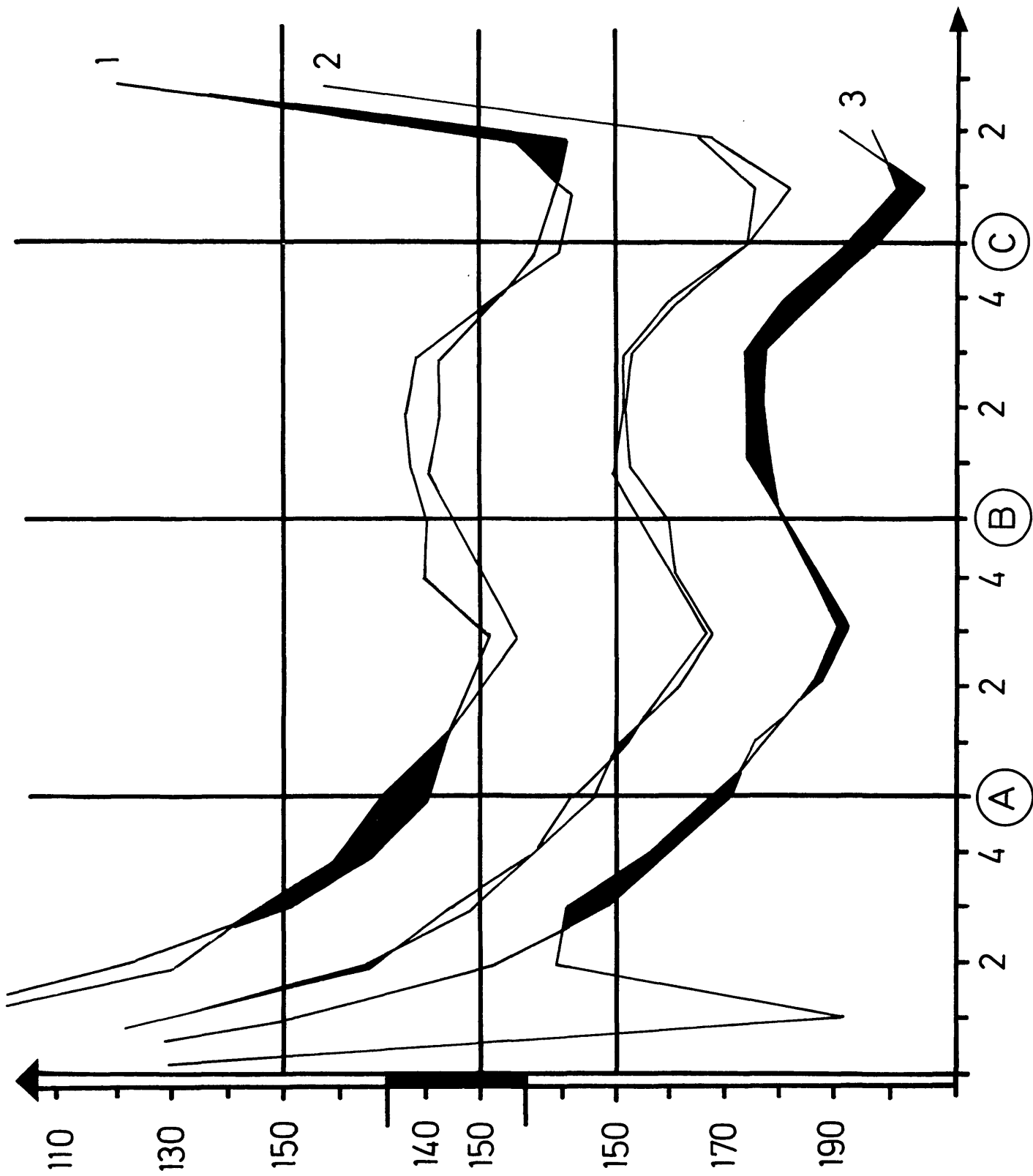


Abbildung 19

Querprofil 18. Legende siehe Abb. 2

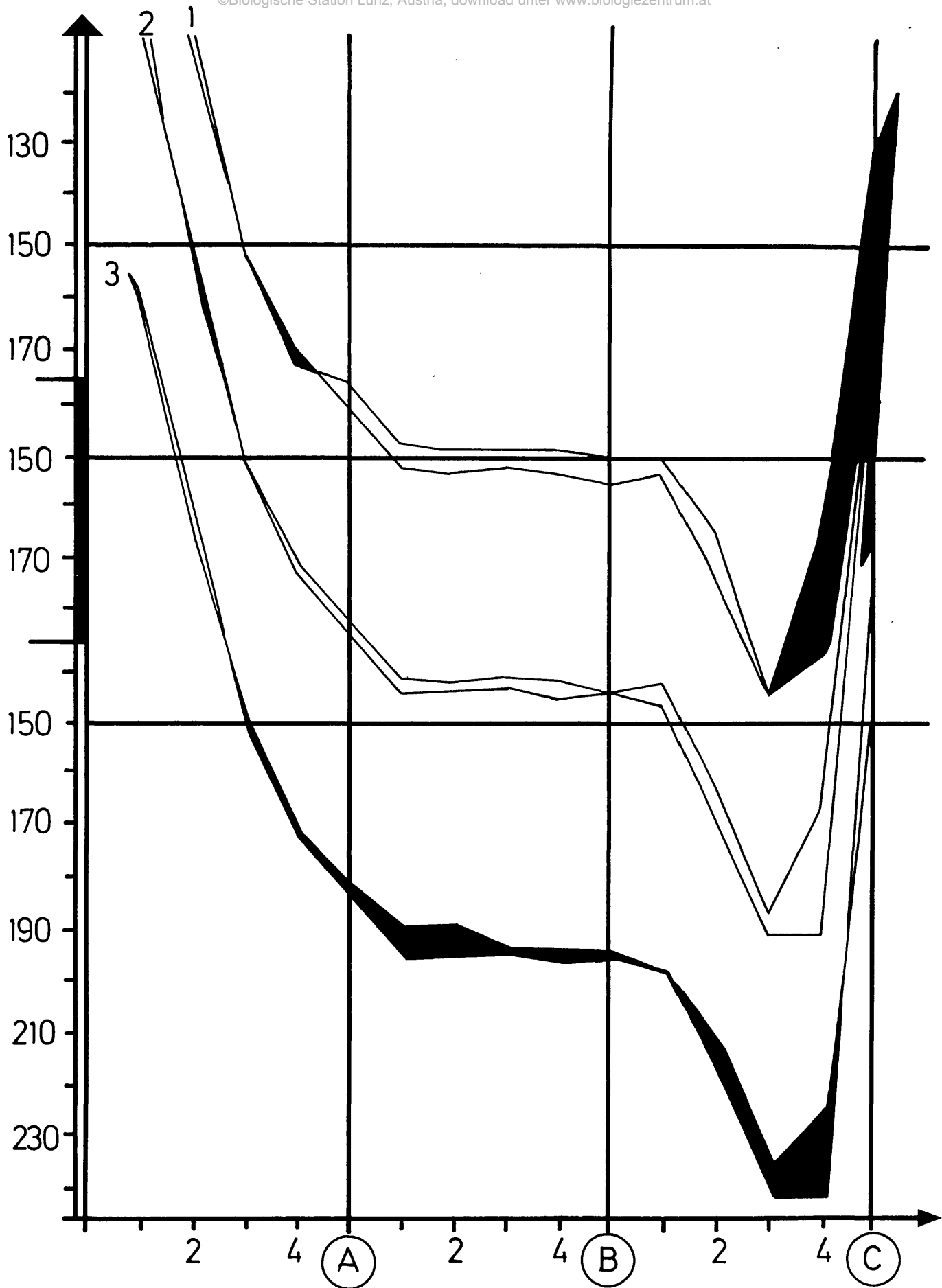


Abbildung 20

Querprofil 20. Legende siehe Abb. 2.

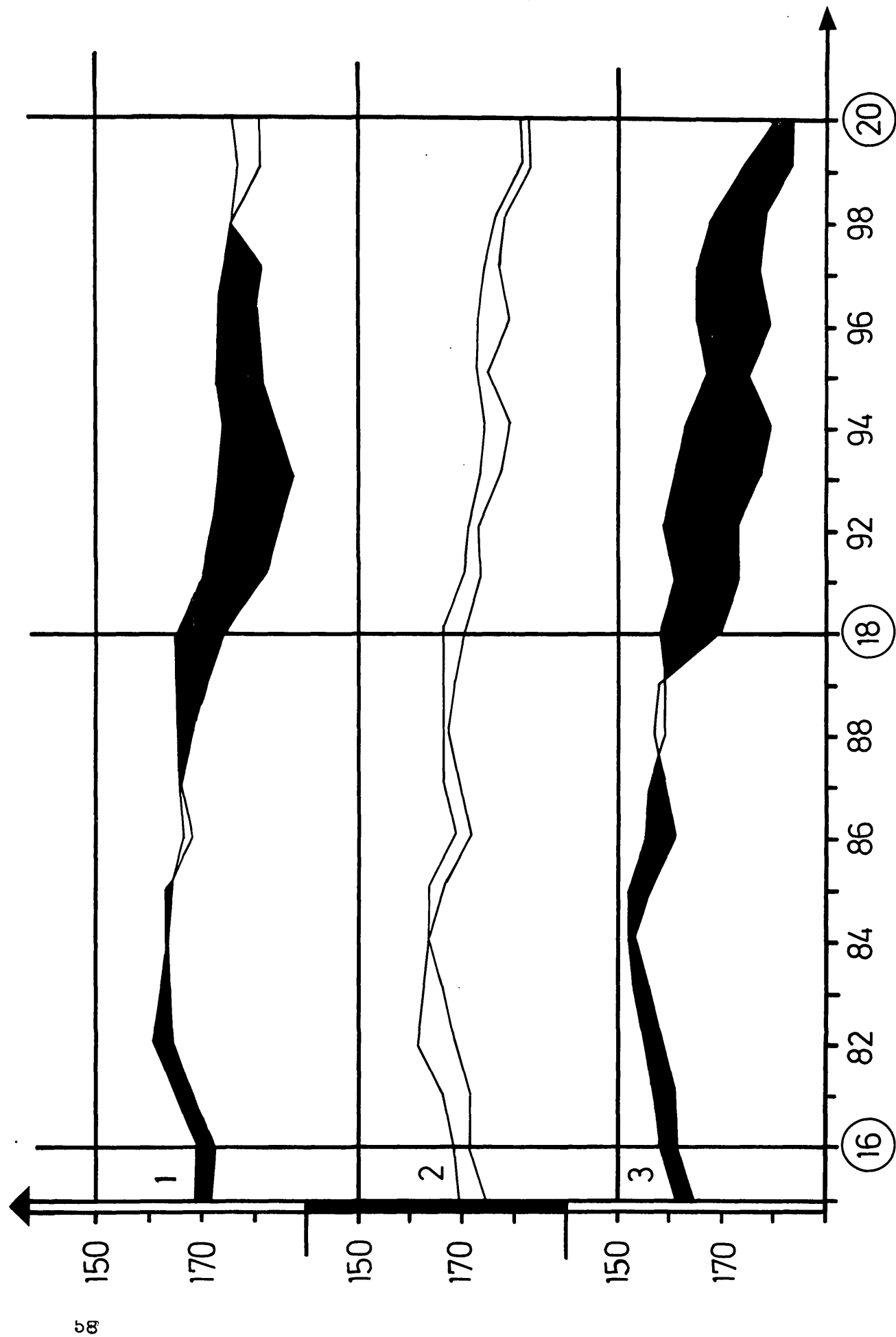


Abbildung 21 Längsprofil 'A (16-20)'. Legende siehe Abb. 2

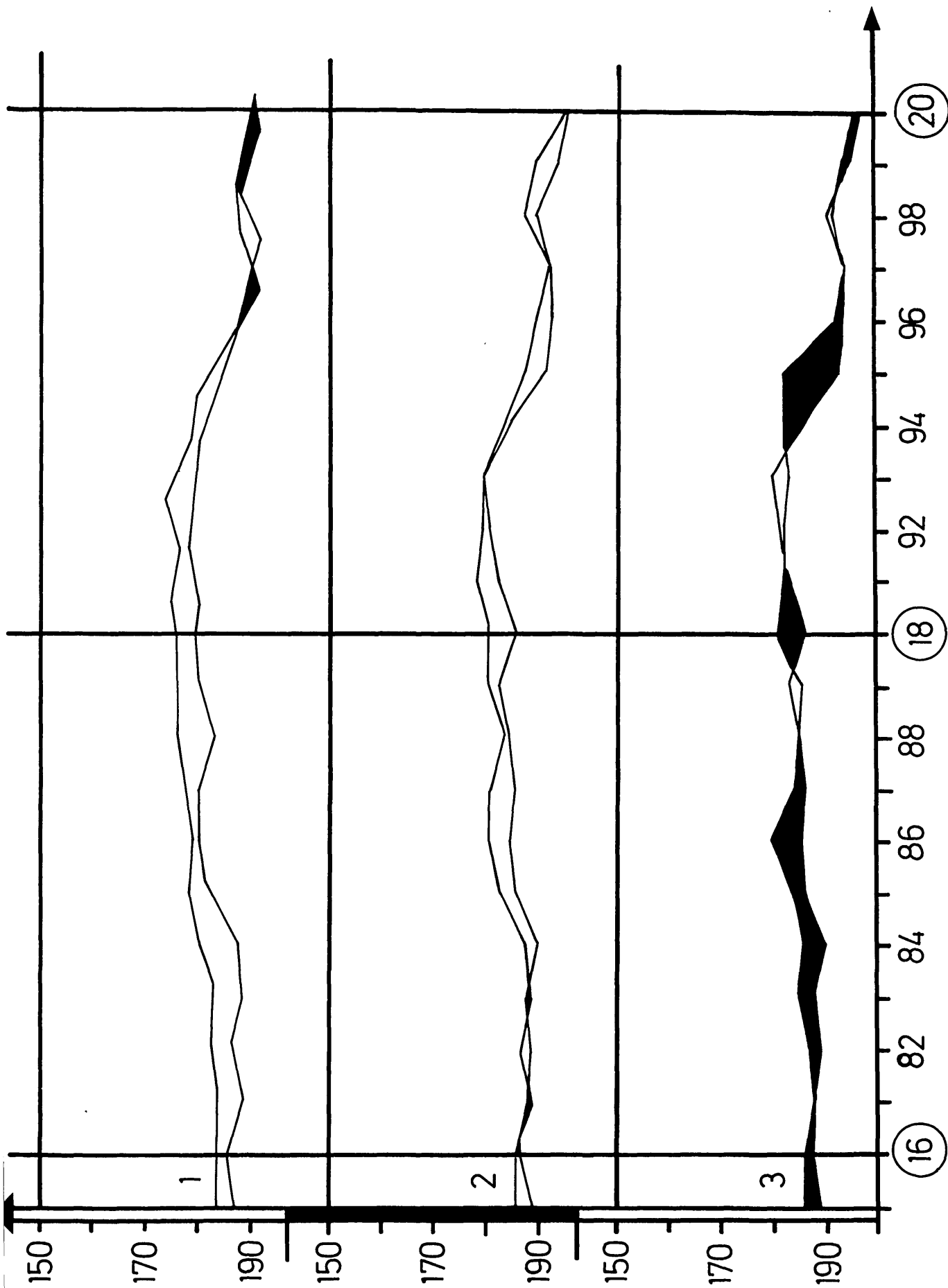


Abbildung 22 Längsprofil 'B (16-20)'. Legende siehe Abb. 2

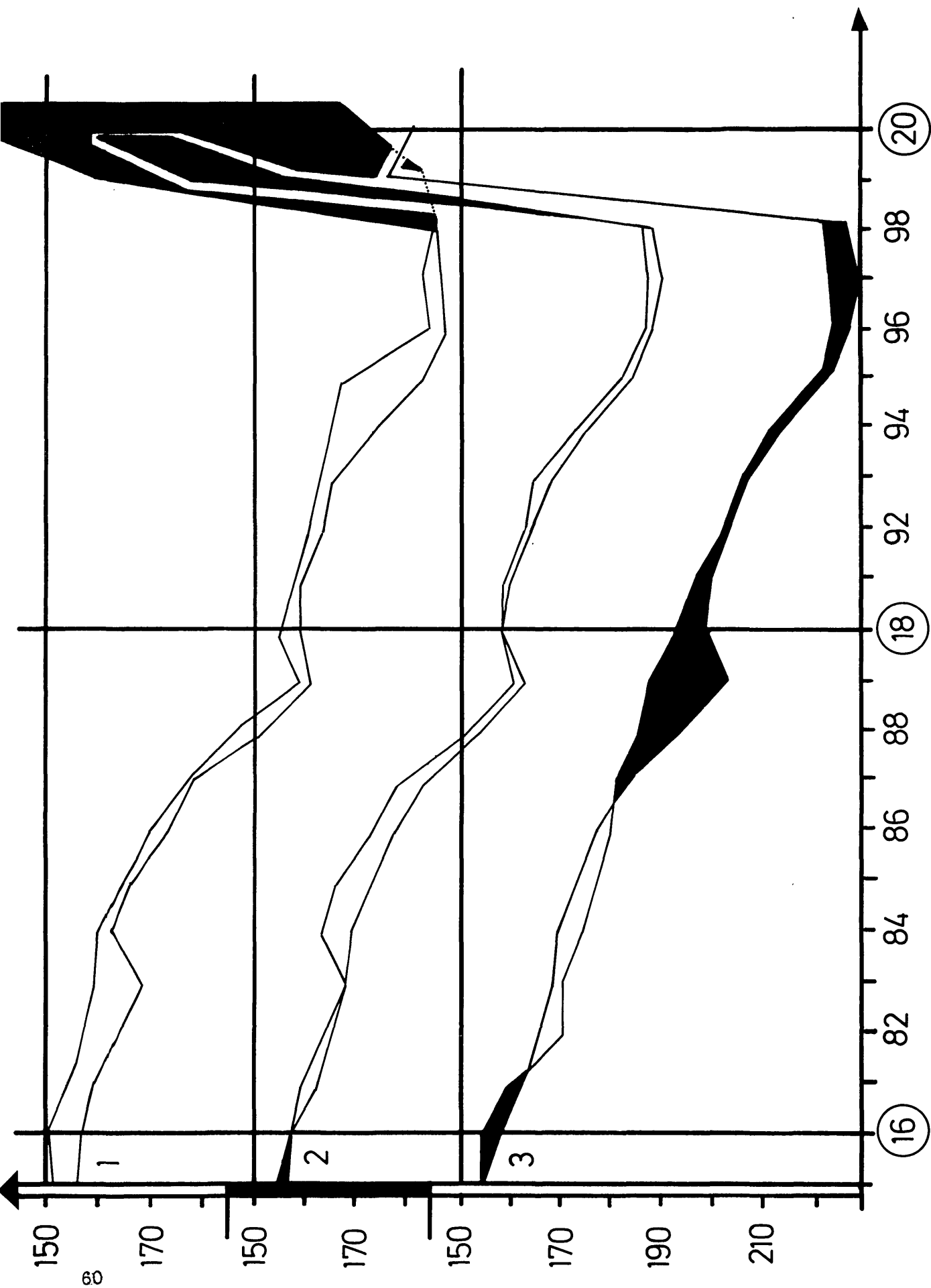


Abbildung 23 Längsprofil 'C (16-20)'. Legende siehe Abb. 2

den Querprofilen 2, 6 und 16, sowie in den Längsprofilen B (2-6) statt. Im Winter 1980/81 (Periode "3" : 80-11-26/81-03-08) wird dagegen fast ausschließlich Sediment angelagert. Nur in den Querprofilen 6 und 12 haben stärkere Abtragungsprozesse stattgefunden. Trotz dieser zeitlich sehr unterschiedlichen Schotterbewegung blieb die großräumige Bachbettgeometrie mehr oder minder konstant. Nur in den Längsprofilen A (4-6) und A (12-14) wurden die in den ersten beiden Perioden bestehenden convexen und/oder concaven Profile völlig begradigt. Eine weitgehende Glättung kleinräumiger Strukturen ist in den Querprofilen 4, 6, 12 und in den Längsprofilen A (16-20) und C (16-20) zu beobachten. Die detaillierte Auswertung bzw. der Versuch einer Korrelations- und Kausalanalyse der erhobenen Daten wird erst nach der Verfügbarkeit des Computerprogrammes erfolgen (siehe oben und Kapitel "Data analysis").

Austauschprozesse

Die Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser und Sedimentwasser bedingen vertikale Wasserströmungen durch die Bettsedimente. Da diese Strömungen meßtechnisch schwierig zu beherrschen sind, wird versucht, mit drei unabhängigen Methoden das Problem einzugrenzen.

- i) Das großräumige Geschehen wird über die Bilanz der Schüttung aufeinanderfolgender Querprofile bestimmt. Die bisher erhobenen Daten sind in Tabelle 2 zusammengefaßt und zeigen, daß die vertikale Durchströmung der Bettsedimente bezogen auf die Oberflächenschüttung sehr groß ist und auch räumlich sehr unterschiedlich. Am gegenwärtigen Stand der Auswertung läßt sich eine Übereinstimmung zwischen den Veränderungen der Geometrie des Bachbettes und der vertikalen Durchströmungen der Bettsedimente nur im obersten Bereich des Versuchsareals erkennen. Ehe eine genaue Analyse möglich ist, muß der

Profil	1980 - 07 - 23			1980 - 11 - 26			1981 - 03 - 18		
	PR	l sec ⁻¹	%	PR	l sec ⁻¹	%	PR	l sec ⁻¹	%
4	45	-439,60	-11,3%	16	-173,0	-31,8	23	-200,50	-18,1
6	45	-155,31	-4,5	16	-4,0	-1,1	23	+46,20	+5,1
22	45	-1266,52	-38,6	16	-46,5	-12,7	23	+22,20	+2,3
8	45	+333,74	+16,6	16	+77,0	+24,0	23	-56,10	-5,8
10	45	-624,91	-26,1	16	-0,8	-0,2	23	+102,30	+11,1
12	45	+147,96	+8,6	16	+27,5	+6,9	23	+122,20	+12,0
14	45	+135,00	+7,2	16	+505,40	+119,1	23	-46,30	-4,0
16	45	+417,48	+20,8	16	-279,50	-30,1	23	+384,60	+35,0
18	45	-208,35	-8,6	16	-224,5	-34,5	23	-507,90	-34,3
20	45	-1016,36	-45,9	16	+59,30	+13,9	23	+161,80	+16,6

Tabelle 2 Schüttungsbilanz aufeinanderfolgender Querprofile

PR = Lattenpegel rechts.

Einfluß des Pegelstandes bzw. der absoluten Schüttung und des ufernahen Grundwassers bestimmt werden.

ii) Aufbauend auf den bisher gesammelten Erfahrungen (BRETSCHKO 1980) wird versucht, mit Hilfe registrierender Temperaturmessungen Daten über das vertikale Strömungsgeschehen bzw. dessen Änderungen in der Zeit zu erheben. Planung, Aufbau und Wartung der Anlage wurde von Herrn E. Lanzenberger mit großem persönlichem Einsatz durchgeführt. Die Auswertung der Schreibstreifen (Tabelierung der täglichen Maxima und Minima) wurde von Fr. O. Gruber und J. Aigner sowie von den Herren M. Spiegl und H. Pöchlauer in dankenswerter Weise übernommen. Trotz dieser primären Datenreduktion kann eine sinnvolle Korrelations- und Kausalanalyse nur mit Hilfe einer maschinellen Datenverarbeitung ökonomisch vertretbar durchgeführt werden.

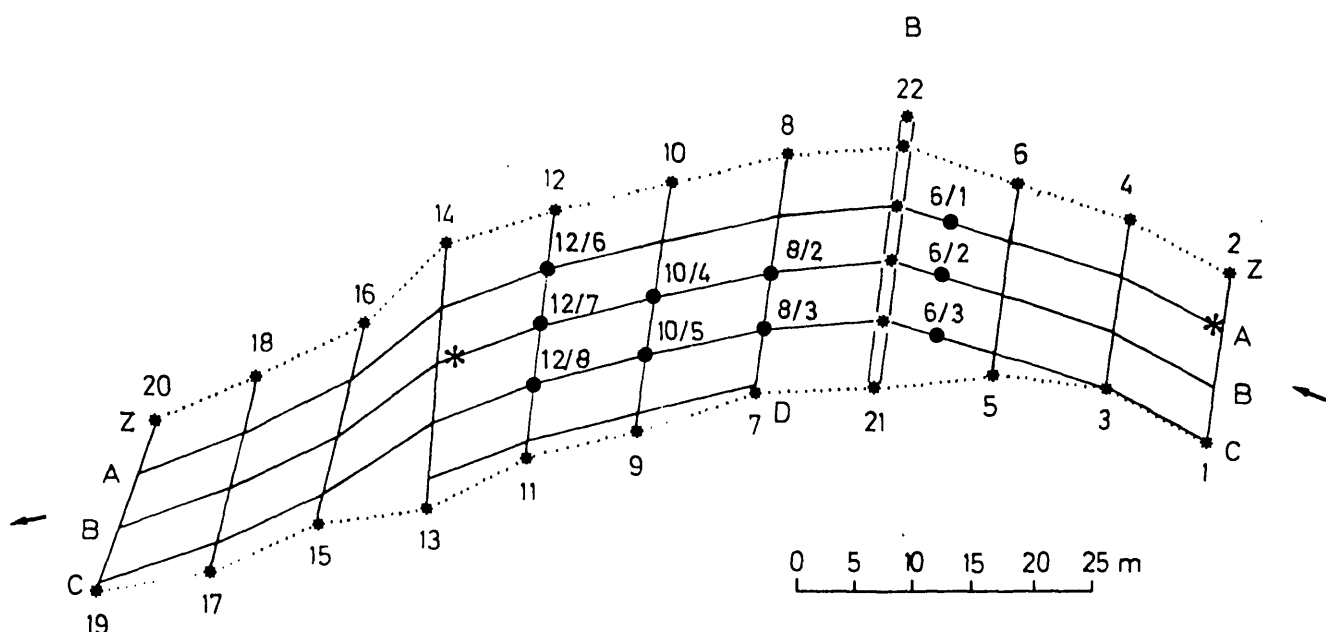


Abbildung 24 Positionen der Thermofühler (Pt-100/Schenk-Fallbügelschreiber). Kreise: Fühler in 60 cm Sedimenttiefe. Sterne: Fühler im Oberflächenwasser

Zehn Fühler wurden in 60 cm Sedimenttiefe installiert (Abb. 24, Kreise), zwei im Oberflächenwasser (Abb. 24, *), zwei im ufernahen Grundwasser (links bzw. rechts vom Bachverlauf) und einer an der Brücke zur Messung der Lufttemperatur (2,0m über der Wasseroberfläche). Die Anlage begann am 1980-05-01 befriedigend zu arbeiten. Am 1980-08-09 wurde die gesamte Anlage durch Blitzschlag zerstört. Mit erheblichen Kosten konnte die Anlage repariert und neu kalibriert werden. Seit 1980-10-10 funktioniert die Anlage zufriedenstellend.

Da die händische Auswertung der Schreiberstreifen eine genaue Bestimmung der Zeitpunkte der täglichen Maxima nicht in befriedigender Weise erlaubt, kann dieser Parameter nicht als Maß für die Austauschprozesse herangezogen werden. Dagegen zeigen die Extremwertdifferenzen und die täglichen Temperaturamplituden deutlich den Einfluß vertikaler Austauschprozesse (Tabelle 3). Erwartungsgemäß sind die Amplituden direkt proportional zu den Austauschprozessen zwischen Oberflächen- und Sedimentwasser (Tab. 4), während sich die Extremwertdifferenzen umgekehrt proportional verhalten. Entsprechend diesem Modell ist der Korrelationskoeffizient zwischen den täglichen Temperaturamplituden im Oberflächenwasser und in den Bettsedimenten ein Maß für Menge und Geschwindigkeit des in die Bettsedimente eindringenden Oberflächenwassers (Tab. 5). Am intensivsten ist die Verbindung zwischen Oberflächen- und Sedimentwasser an der Position 6/1 (Abb. 24, 25). Hoch signifikante Korrelationswerte zeigen auch die Positionen 6/2, 10/4 und 10/5 (Abb. 24, 25, 27). Die Positionen 8/3, 12/7 und 12/8 weisen Korrelationen unterschiedlicher Signifikanz auf (Tab. 5, Abb. 24, 26, 28). Keinerlei Signifikanz der Korrelationskoeffizienten zeigen die Positionen 6/3, 8/2 und 12/6 (Abb. 24, 25, 26, 28). Mit einer Ausnahme (6/2, Exponentialfunktion, Tab. 5) beschreiben lineare Funktionen die Regressionen am besten.

1980 °C -60 cm	6/1		6/2		6/3		8/2		8/3		10/4		10/5						
	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A				
05	I	.12	.17	.98	.43	.12	.74	.87	.18	.76	.15	.67	.10	.36	.11	.05	.21	.64	.99
	II	.01	.03	.29	.08	.01	.19	.46	.01	.43	.01	.31	.01	.04	.02	.003	.01	.30	.29
	III	.11	.12	.71	.58	.22	1.03	1.10	.46	1.20	.09	1.01	.29	.50	.28	.08	1.44	.79	1.44
06	I	.07	.18	1.29	.44	.42	.62	.73	.62	.88	.38	.82	.26	.20	.22	.17	.87	.67	.87
	II	.01	.08	0.30	.06	.13	.12	.17	.03	.20	.02	.12	.02	.06	.02	.02	.41	.11	.41
	III	.57	.79	.74	.46	1.00	.36	.53	.14	.76	0	.67	.15	.18	.25	.12	.53	.74	.53
07	I	.06	.01	.14	.07	.03	.09	.07	.05	.29	-	.22	.03	.05	.06	.02	.17	.38	.17
	II	.75	1.02	1.32	.45	1.27	.62	.58	1.48	1.03	.38	1.00	.35	.19	.40	.40	.77	.92	.77
	III	.05	.13	.68	.10	.22	.17	.17	.29	.44	.19	.37	.18	.06	.04	.18	.48	.58	.48
08	I	.73	.77	1.03	.48	1.18	.37	.60	1.61	.65	.42	.64	.37	.06	.37	.34	.36	.48	.36
	II	.02	.02	.25	.08	.04	.06	.13	.01	.20	.05	.17	.06	.01	.08	.03	.08	.07	.08
	III	.63	.69	1.23	.52	1.05	.56	.65	1.28	1.11	.34	1.10	.27	.02	.50	.24	.61	.43	.61
09	I	.06	.01	.68	.15	.03	.26	.33	.14	.61	.06	.64	.02	.004	.14	.02	.31	.20	.31
	II	.66	.70	1.03	.39	1.01	.39	.57	1.22	.74	.33	.64	.35	.08	.32	.38	.37	.18	.37
	III	.02	.05	.38	.13	.02	.07	.08	.12	.40	.03	.32	.03	.03	.08	.03	.14	.03	.14
10	I	.76	.68	1.41	.61	1.23	.40	.80	1.44	.93	.49	.94	.45	.09	.47	.33	.58	.36	.58
	II	.31	.08	.60	.15	.12	.08	.41	.30	.54	.08	.43	.08	.03	.17	.02	.15	.08	.15
	III	.76	.76	1.90	.44	1.30	.59	.75	1.50	1.09	.58	1.14	.61	.23	.70	.48	.73	.64	.73
11	I	.03	.03	.42	.09	.02	.04	.48	.30	.40	.05	.33	.14	.03	.13	.03	.19	.12	.19
	II	.03	.03	.42	.09	.02	.04	.48	.30	.40	.05	.33	.14	.03	.13	.03	.19	.12	.19
	III	.03	.03	.42	.09	.02	.04	.48	.30	.40	.05	.33	.14	.03	.13	.03	.19	.12	.19

Tabelle 3 Dekadenmittelwerte der täglichen Extremtemperaturdifferenzen zwischen Sedimentwasser und Oberflächenwasser (Profil 2) und tägliche Temperaturamplituden des Sedimentwassers.

St.	6/1		6/2		6/3		8/2		8/3		10/4		10/5									
	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A							
I	\bar{x}	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
	S^2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
10	\bar{x}	.61	.83	.39	.61	.83	.39	.82	1.43	∅	.31	.16	.21	.38	.30	.03	.10	.18	.37	.58	.33	.02
	S^2	.04	.05	.08	.04	.05	.08	.20	.13	-	.06	.06	.02	.11	.05	.01	.01	.05	.09	.20	.08	.004
	\bar{x}	.65	.89	.43	.65	.91	.41	.84	1.50	∅	.37	.30	.05	.35	.36	∅	.33	.32	.11	.29	.31	.06
	S^2	.04	.03	.08	.04	.03	.08	.07	.08	-	.08	.03	.02	.11	.06	-	.06	.01	.04	.09	.03	.02
	\bar{x}	.58	.63	.40	.77	.88	.33	.85	1.22	.08	.23	.23	.03	.42	.45	.03	.17	.25	.13	.52	.53	.03
	S^2	.02	.05	.04	.05	.08	.02	.28	.32	.02	.03	.04	.01	.12	.20	.01	.08	.05	.05	.13	.21	.01
11	\bar{x}	.65	.79	.50	.65	.79	.50	.71	.58	∅	.38	.28	.16	.61	.54	.26	.21	.26	.24	.54	.40	.15
	S^2	.02	.05	.04	.02	.05	.04	.35	.19	-	.04	.02	.05	.10	.34	.21	.04	.04	.07	.07	.05	.05
	\bar{x}	.65	.81	.44	.77	1.08	.39	.73	1.36	.07	.33	.47	∅	.35	.45	∅	.33	.40	.02	.35	.41	∅
	S^2	.10	.13	.04	.15	.17	.03	.12	.12	.03	.03	.23	-	.02	.21	-	.03	.11	.004	.02	.02	.16
	\bar{x}	.61	.95	.23	.78	1.11	.19	.51	.45	.09	.25	.28	.16	.56	.34	.04	.23	.36	.10	.70	.30	∅
	S^2	.08	.05	.05	.13	.02	.05	.09	.18	.03	.10	.07	.08	.18	.13	.01	.07	.07	.04	.29	.04	∅
12	\bar{x}	.63	.81	.31	.63	.83	.29	.92	.86	.13	.38	.39	.16	.76	.56	.03	.42	.33	∅	.65	.40	∅
	S^2	.10	.10	.07	.10	.12	.07	.43	.19	.06	.13	.13	.04	.77	.39	.01	.16	.31	∅	.29	.10	∅
	\bar{x}	.75	.99	.25	.82	1.05	.25	.69	1.07	.11	.33	.38	.05	.38	.44	∅	.20	.42	∅	.33	.40	∅
	S^2	.07	.07	.06	.09	.11	.06	.30	.51	.03	.03	.20	.01	.05	.17	-	.02	.10	-	.04	.13	-

Tabelle 3 (Fortsetzung)

	12/6		12/7		12/8		12/6		12/7		12/8		
	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	MAX	MIN	A	
I	\bar{x}_2	.75	.21	.09	1.15	.19	.07	.97	.20	.20	.20	.20	.61
	S ²	.37	.02	.01	.51	.02	.02	.44	.04	.10	.04	.10	.62
05	II	\bar{x}_2	1.24	.56	∅	1.40	.40	∅	1.43	.35	.02	.02	∅
	S ²	.47	.05	-	.50	.06	-	.42	.06	.004	-	-	∅
	III	\bar{x}_2	.84	.48	∅	.92	.35	∅	.87	.26	.13	.13	∅
	S ²	.20	.03	-	.24	.03	-	.22	.01	.08	-	-	∅
	I	\bar{x}_2	.53	.37	∅	.72	.14	.04	0.21	.15	.66	.66	∅
	S ²	.30	.03	-	.26	.02	.01	.06	.02	.52	-	-	∅
06	II	\bar{x}_2	1.08	.48	∅	1.03	.35	.21	.35	.23	1.21	1.21	∅
	S ²	.36	.29	-	.28	.18	.05	.14	.15	.78	-	-	∅
	III	\bar{x}_2	.47	.60	.03	.68	.32	.09	.64	.26	.17	.17	.02
	S ²	.15	.03	.01	.14	.05	.03	.15	.03	.03	.03	.03	.004
	I	\bar{x}_2	.97	.35	.07	.77	.19	.39	1.21	.26	∅	∅	.03
	S ²	.59	.07	.03	.28	.04	.15	.91	.04	-	-	-	.01
07	II	\bar{x}_2	.59	.46	.02	.58	.23	.26	.88	.23	∅	∅	.10
	S ²	.36	.06	.004	.11	.02	.10	.32	.03	-	-	-	.08
	III	\bar{x}_2	.84	.50	.15	.73	.20	.42	1.13	.30	.14	.14	.08
	S ²	.32	.15	.04	.30	.07	.07	.52	.09	.10	.10	.10	.03
	I	\bar{x}_2	.41	.86	∅	.11	.46	∅	1.08	.55	∅	∅	∅
	S ²	.12	.18	-	.03	.24	-	.15	.13	-	-	-	-
	II	\bar{x}_2	.38	.33	∅	.26	.33	.08	.98	.70	.07	.07	.07
	S ²	.12	.08	-	.04	.10	.03	.60	.37	.01	.01	.01	.01
	III	\bar{x}_2	.40	.67	∅	.20	.58	.02	.52	.62	.03	.03	.03
	S ²	.12	.33	-	.06	.17	.004	.09	.31	.01	.01	.01	.01

Tabelle 3 (Fortsetzung)

		BACH OBEN	6/1	6/2	6/3	8/2	8/3	10/4	10/5	12/6	12/7	12/8
5	I	1.07	.98	.74	.20	.15	.36	.99	.26	.09	.07	.20
	II	1.79	1.71	1.03	.12	.09	.50	1.44	.57	∅	∅	.02
	III	1.22	1.29	.62	.01	.02	.20	.87	.22	∅	∅	.13
6	I	1.00	.74	.36	∅	∅	.18	.53	∅	∅	.04	.66
	II	1.57	1.32	.62	∅	.15	.19	.77	.07	∅	.21	1.21
	III	1.07	1.03	.37	∅	∅	.06	.36	.20	.03	.09	.17
7	I	1.35	1.23	.56	∅	.10	.02	.61	.63	.07	.39	∅
	II	1.07	1.03	.39	∅	∅	.08	.37	.51	.02	.26	∅
	III	1.33	1.41	.40	∅	.02	.09	.58	.55	.15	.42	.14
8	I	1.90	1.90	.59	∅	.11	.23	.73	.88	.23	.66	.61
10	II	.49	.39	.39	∅	.21	.03	.37	.02	.55	.13	∅
	III	.66	.43	.41	∅	.05	∅	.11	.06	.09	∅	.02
11	I	.45	.40	.33	.08	.03	.03	.13	.03	∅	.17	.03
	II	.64	.50	.50	∅	.16	.26	.24	.15	∅	.04	.10
	III	.70	.44	.39	.07	∅	∅	.02	∅	∅	.03	.08
12	I	.53	.23	.19	.09	.16	.04	.10	∅	∅	∅	∅
	II	.49	.31	.29	.13	.16	.03	∅	∅	∅	.08	.07
	III	.48	.25	.25	.11	.05	∅	∅	∅	∅	.02	.03

Tabelle 4 Dekadenmittelwerte der Tagesamplitude ($^{\circ}\text{C}$) im Sediment und im Oberflächenwasser (Bach oben, siehe Abb. 24).

Unterschiede in der Zeit lassen sich am gegenwärtigen Stand der Auswertung nicht erkennen. Es ist jedoch zu bedenken, daß das hier angewandte Verfahren das thermische Verhalten der Bettsedimente nur auf die Wärmezufuhr durch eindringendes Oberflächenwasser zurückführt. Tatsächlich wird das thermische Geschehen in den Bettsedimenten sicher auch vom Verhalten des ufernahen Grundwassers und/oder horizontalen Strömungen in den Bettsedimenten beeinflusst. Darüberhinaus sind auch die

POSITION	r	Wahrscheinlichkeit	Regression
6/1	1.000	>0.001	$y = -0.229 + 1.107 x$
6/2	0,749	>0.001	$y = 0.227 e^{0.651 x}$
6/3	0.389	<0.1	-----
8/2	0.179	<0.1	-----
8/3	0.618	>0.01	$y = -0.057 + 0.187 x$
10/4	0.793	>0.001	$y = -0.187 + 0.665 x$
10/5	0.796	>0.001	$y = -0.231 + 0.468 x$
12/6	0.274	< 0.1	-----
12/7	0.560	>0.02	$y = -0.072 + 0.219 x$
12/8	0.497	>0.05	$y = -0.143 + 0.340 x$

Tabelle 5 Korrelationen zwischen den Temperaturtagesamplituden im Oberflächenwasser (Bach oben, Abb. 24) und bestimmten Stellen in den Bettsedimenten (-60 cm, Abb. 24).

Austauschprozesse selbst von nicht thermischen, dynamischen Parametern abhängig, wie z.B. Wasserführung und Ausformung der Bachsohle. Eine detaillierte Analyse bzw. Interpretation der Meßdaten ist daher nur mittels einer Multivariatenanalyse möglich. Trotz der stark vergrößernden Annahmen zeigen die Befunde jedoch deutlich, daß die Austauschprozesse offenbar nur wenig vom Strömungsmuster des Oberflächenwassers beeinflußt werden (Abb. 29).

iii) Der direkten Messung der vertikalen Durchströmung der Bettsedimente stellen sich große meßtechnische und wirtschaftliche Schwierigkeiten entgegen. Eine finanziell tragbare Meßmöglichkeit bietet sich in der Nutzung der temperatur- und strömungsabhängigen Lösung von Salzen. Prinzipiell erschien

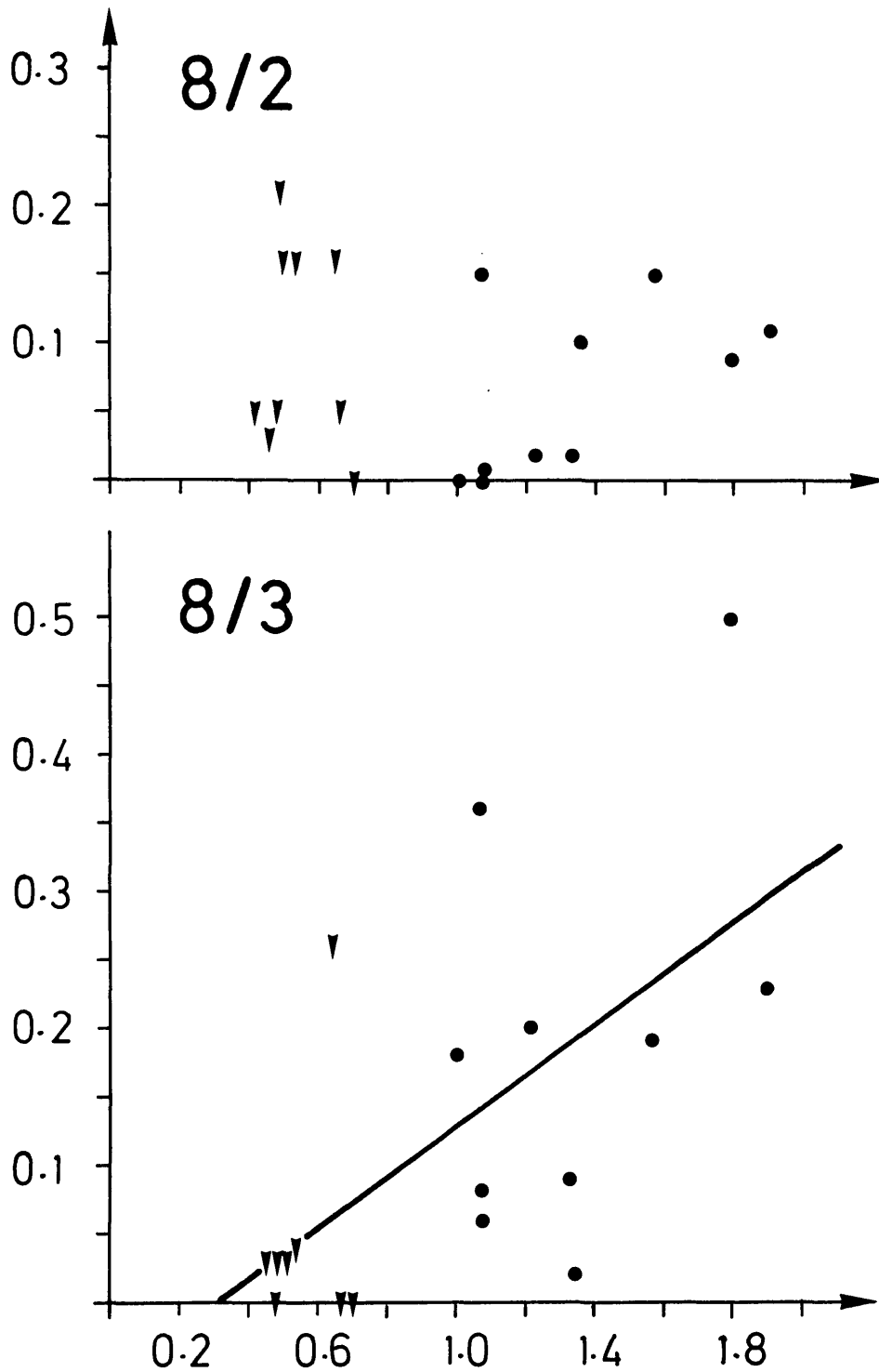


Abbildung 26

Legende siehe Abb. 25

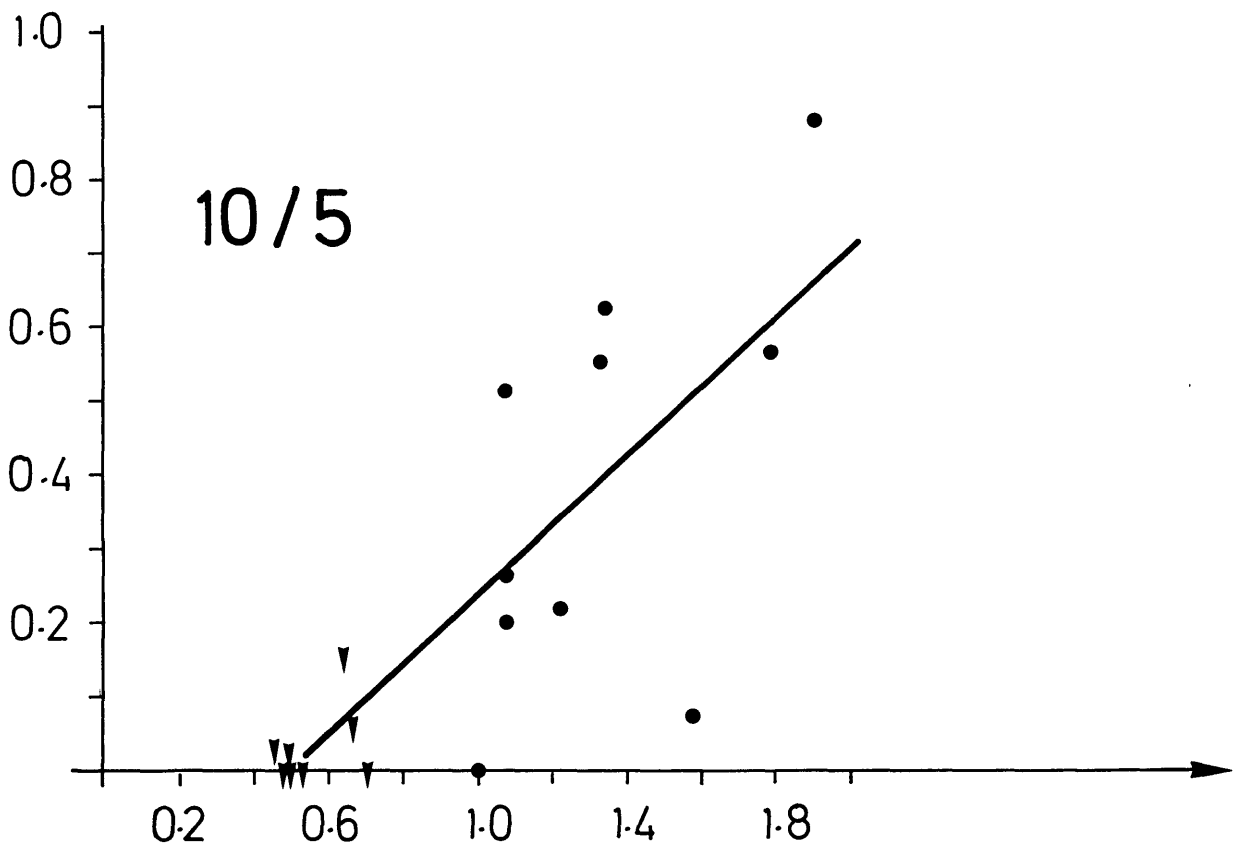
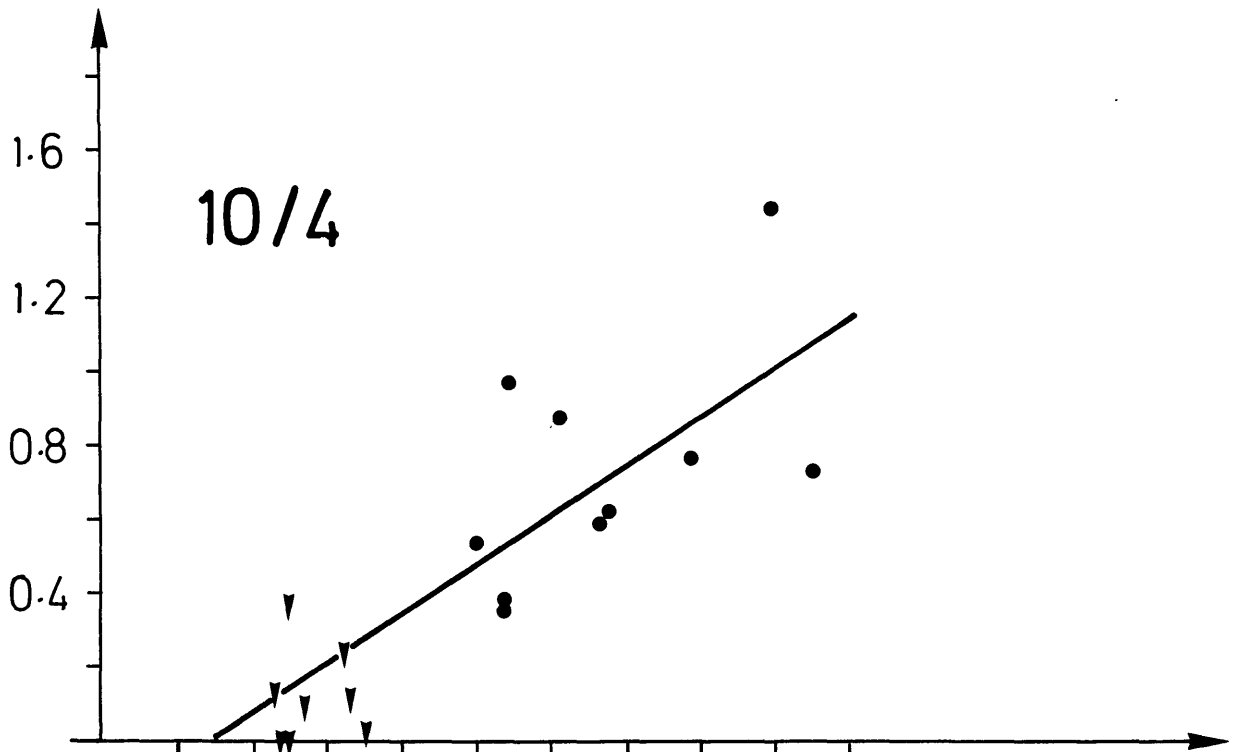


Abbildung 27 Legende siehe Abb. 25

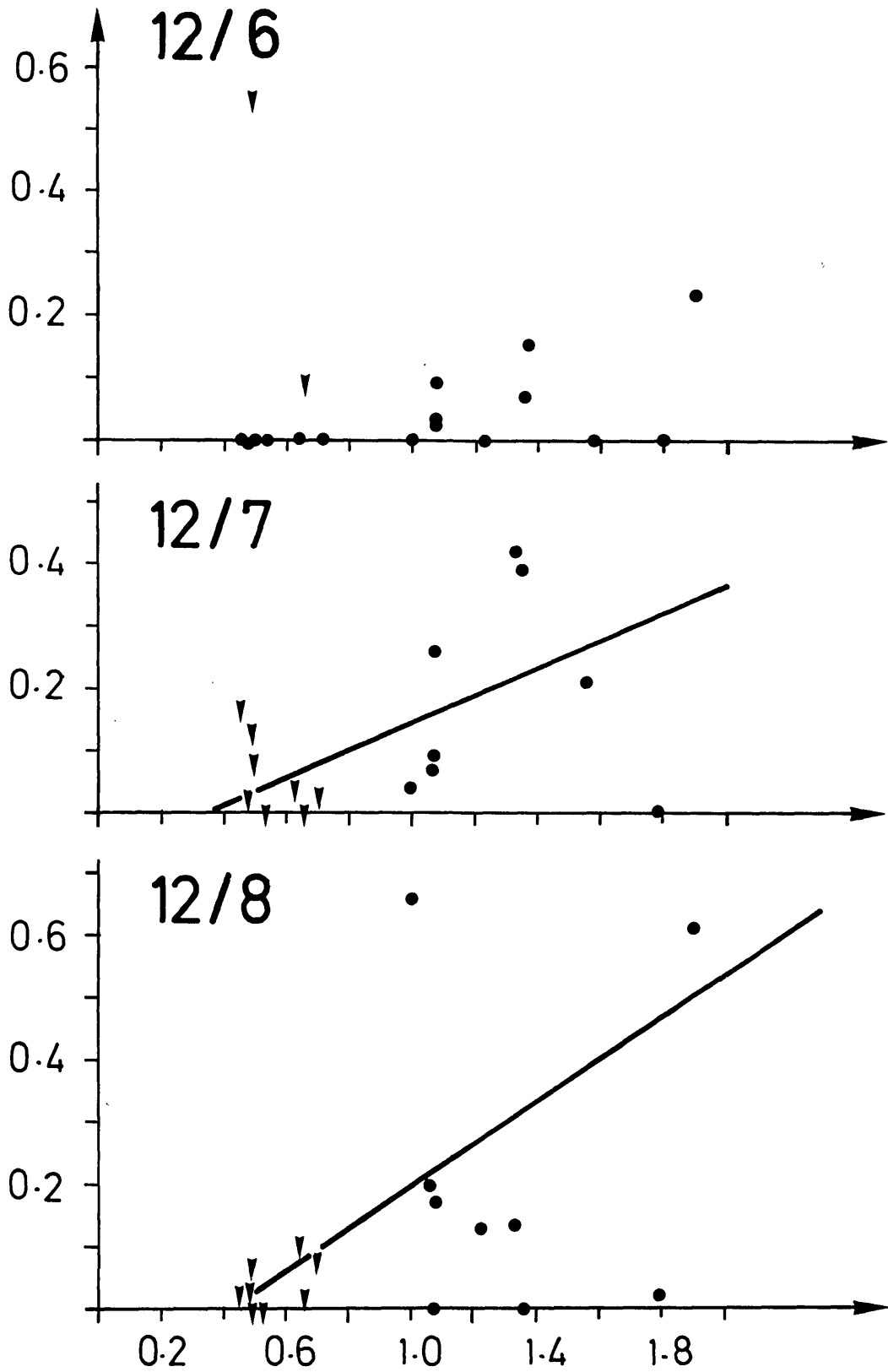


Abbildung 28 Legende siehe Abb. 25

OBERER SEEBACH
RITRODAT AREAL

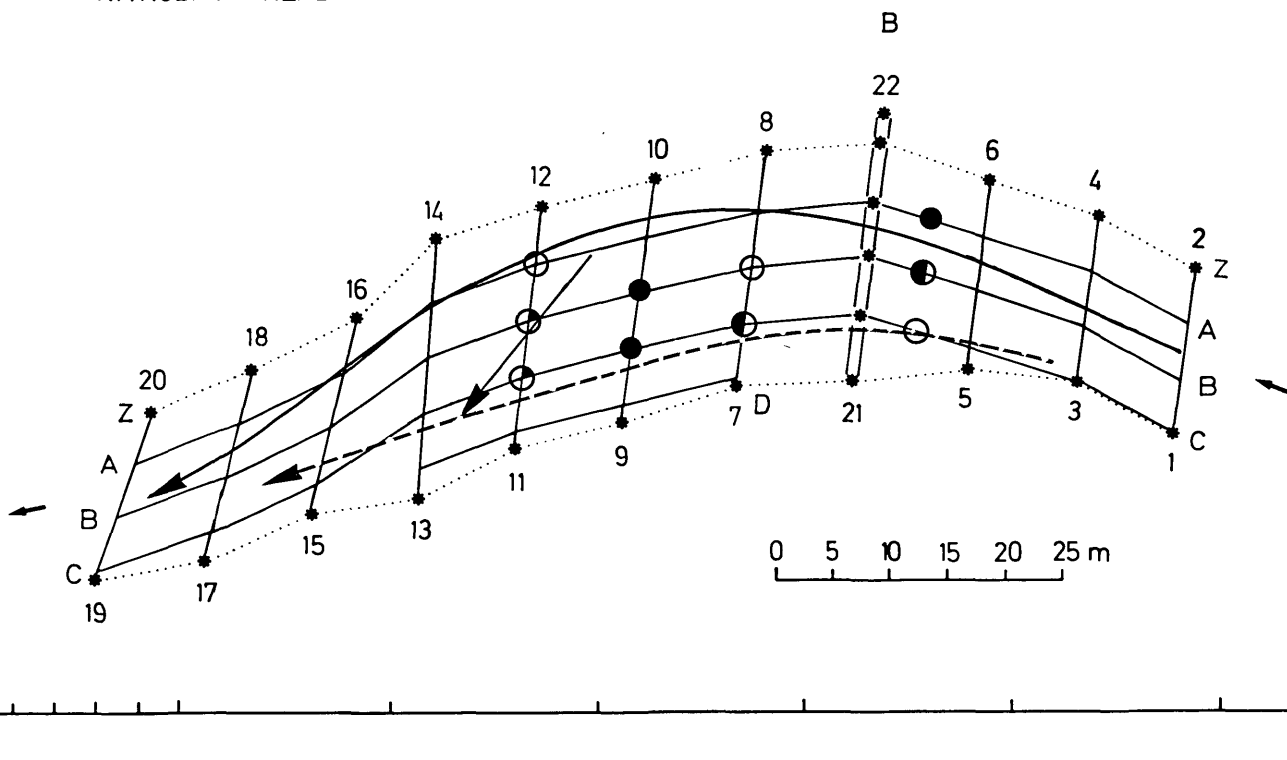


Abbildung 29 Hauptströmungen im Oberflächenwasser (gestrichelte Pfeile nur bei Pegelständen über 25 cm) und gemessene Einströmungen in die Bettsedimente (volle Kreise: starke Einströmungen, offene Kreise: Einströmungen nicht nachweisbar; siehe Tab. 5).

es möglich, bei geeigneter Kalibrierung aus dem Gewichtsdekrement einer in einem nur vertikale Strömungen erlaubenden Gehäuse montierten Salzkugel auf die Wassermenge zu schließen, die während der Expositionszeit durch das Gehäuse floß. Die Verformung der Salzkugel soll es ermöglichen, die Hauptströmungsrichtung zu erkennen. Die Methode erlaubt keine registrierende Messung, sie gibt nur einen integrierten Wert

der Hauptströmung während der Expositionszeit. Obwohl der Meßwertaufnehmer möglichst klein gebaut wurde (Abb. 31), sind Störungen des Sedimentgefüges während des Einbringens unvermeidlich. Aus diesem Grund sollte die Expositionszeit möglichst lang sein, umgekehrt vergrößert eine lange Expositionszeit die Messung. Eine Expositionszeit von drei Tagen hat sich als akzeptabler Kompromiß ergeben. Es wird aber versucht, diese Zeit noch weiter zu verkürzen. Zahlreiche Versuche haben gezeigt, daß der theoretische Ansatz sowohl im Labor als auch im Feld zu verifizieren ist und zu den gewünschten Aussagen führt. Gegenwärtig wird die Methode zum routinemäßigen Einsatz vorbereitet.

Die Auswahl eines geeigneten Salzes war sehr aufwendig: begonnen wurde mit Kochsalz (NaCl), dessen Lösungsgeschwindigkeit aber viel zu hoch ist. Das gleiche gilt für Borsäure (B_2O_3). "Moltofill", eine handelsübliche Gips-Kunststoff-Mischung wies zu hohe Blindwerte auf. Im Handel erhältlicher Gips (für ähnliche Zwecke in der Marinbiologie eingesetzt) ist zu unterschiedlich in seiner Zusammensetzung bzw. im Grade seiner Hydratisierung. Befriedigende Ergebnisse erbrachte folgende Vorgangsweise: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ p.a. (Merck 2161) wird bei $140^\circ C$ über Nacht zum Hemihydrat gebrannt. Noch warm wird das durch das Brennen äußerst feinkörnige und homogene Gipspulver mit Wasser angerührt (90g Gips, 80g Wasser). Der Gipsbrei wird in von Herrn F. AIGNER entwickelte Formen gegossen und gepreßt. Die Formen ermöglichen die Herstellung von 10 Kugeln mit Halterung in einem Arbeitstag. Nach dem Aushärten des Gipses werden die Kugeln abgeschliffen, in Leitungswasser gewaschen und bis zur Gewichtskonstanz bei Zimmertemperatur getrocknet. Die Prüfung und Kalibrierung erfolgt in der in Abb. 30 dargestellten Anlage. Die Abmessungen der Eichgefäße (6 in Serie geschaltet) entsprechen den der im Feld verwendeten Gehäuse (Abb. 31).

Die Feststellung der Hauptströmungsrichtung war aus der Verformung der Kugel nicht zweifelsfrei möglich. Versuche mit halbseitig angefärbten Kugeln schlugen fehl. Erfolgreich ist das Anbringen eines Farbstoffgebers am unteren Ende des Meßwertaufnehmers. Als Farbstoffgeber hat sich eine in Leinen eingenähte Moltofill-Rhodamin-B-Mischung bewährt. Selbst kleinste Spuren von Rhodamin-B auf der Gipskugel zeigen eine starke Fluoreszenz im UV-Licht (366 nm). Um die Abschattung der Strömung durch den Farbstoffgeber möglichst klein zu halten, ist dieser ringförmig angeordnet.

Das möglichst störungsfreie Einbringen des gesamten Meßwertaufnehmers erfolgt mit einem von Herrn F. AIGNER entwickelten Injektor (Abb. 31). Zum Herausziehen wird in unmittelbarer Nähe des exponierten Meßwertaufnehmers eine Eisenstange eingeschlagen. Durch ruckartiges Bewegen der Stange wird das Sediment gelockert und der Meßwertaufnehmer kann mühelos mit dem weichen Plastikseil (\emptyset 3 mm) herausgezogen werden.

Die bisherigen Messungen im Bach wurden alle im Hinblick auf die Methodenentwicklung durchgeführt. Obwohl die hier beispielhaft gegebenen Befunde nicht problemorientiert erhoben wurden, zeigen sie deutlich, daß die Austauschprozesse ein kompliziertes, kleinräumiges Muster aufweisen, sowohl in der Intensität als auch in der Richtung (Abb. 32).

Z u s a m m e n f a s s e n d kann gesagt werden, daß vertikale Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser und Bettsedimentwasser in der Versuchsstrecke nicht nur meßbar sind, sondern auch die Schüttung des Oberflächenwassers beeinflussen. Über größere Flächen gemessen (zwischen den Querprofilen, Fläche um 500 m^2) zeigen sich große Unterschiede sowohl in Intensität als auch in der Richtung. Punktförmige

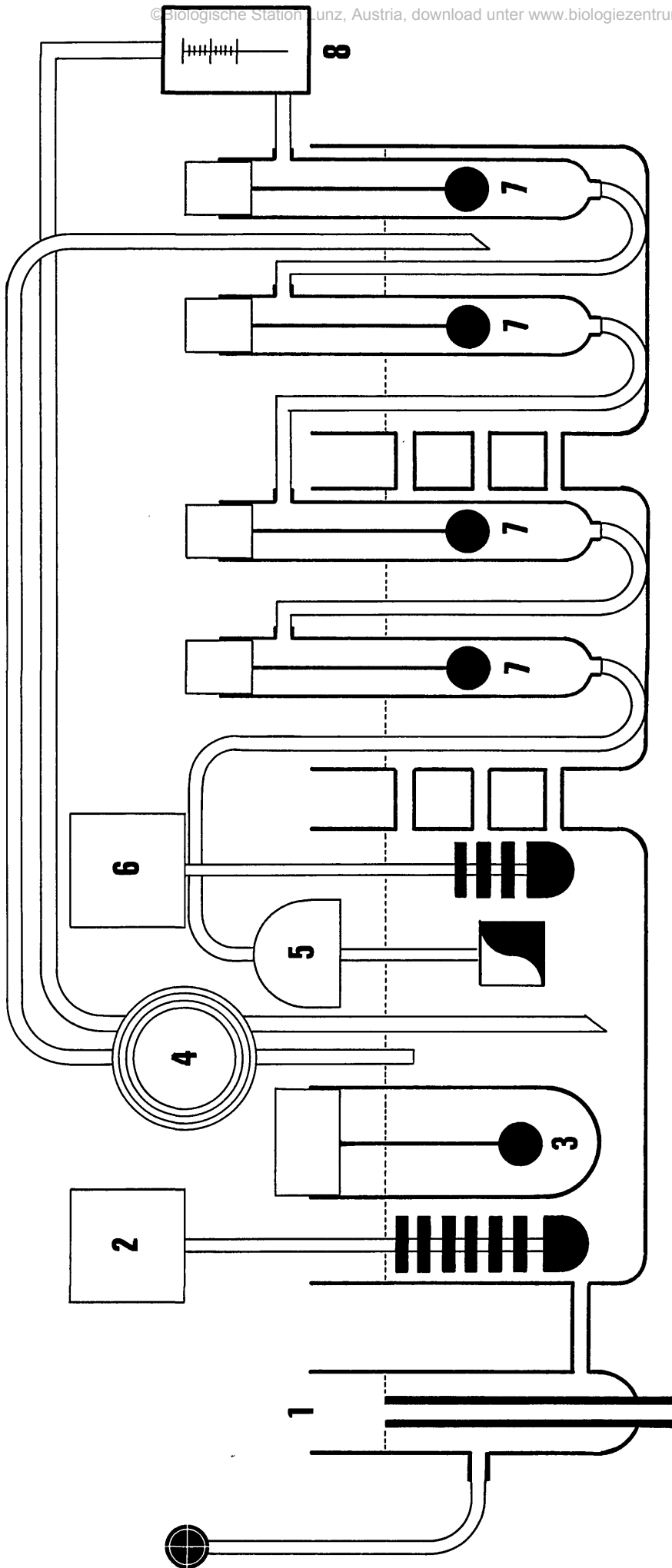


Abbildung 30 Eichenanlage. 1 : Niveaugefäß. 2 : Tauchkühler. 3 : Ruhebad (Blindwertbestimmung). 4 : Umwälzpumpe. 5 : Pumpe. 6 : Heizung und automatische Temperaturregelung. 7 : Eichgefäße. 8 : Durchflußmessung.

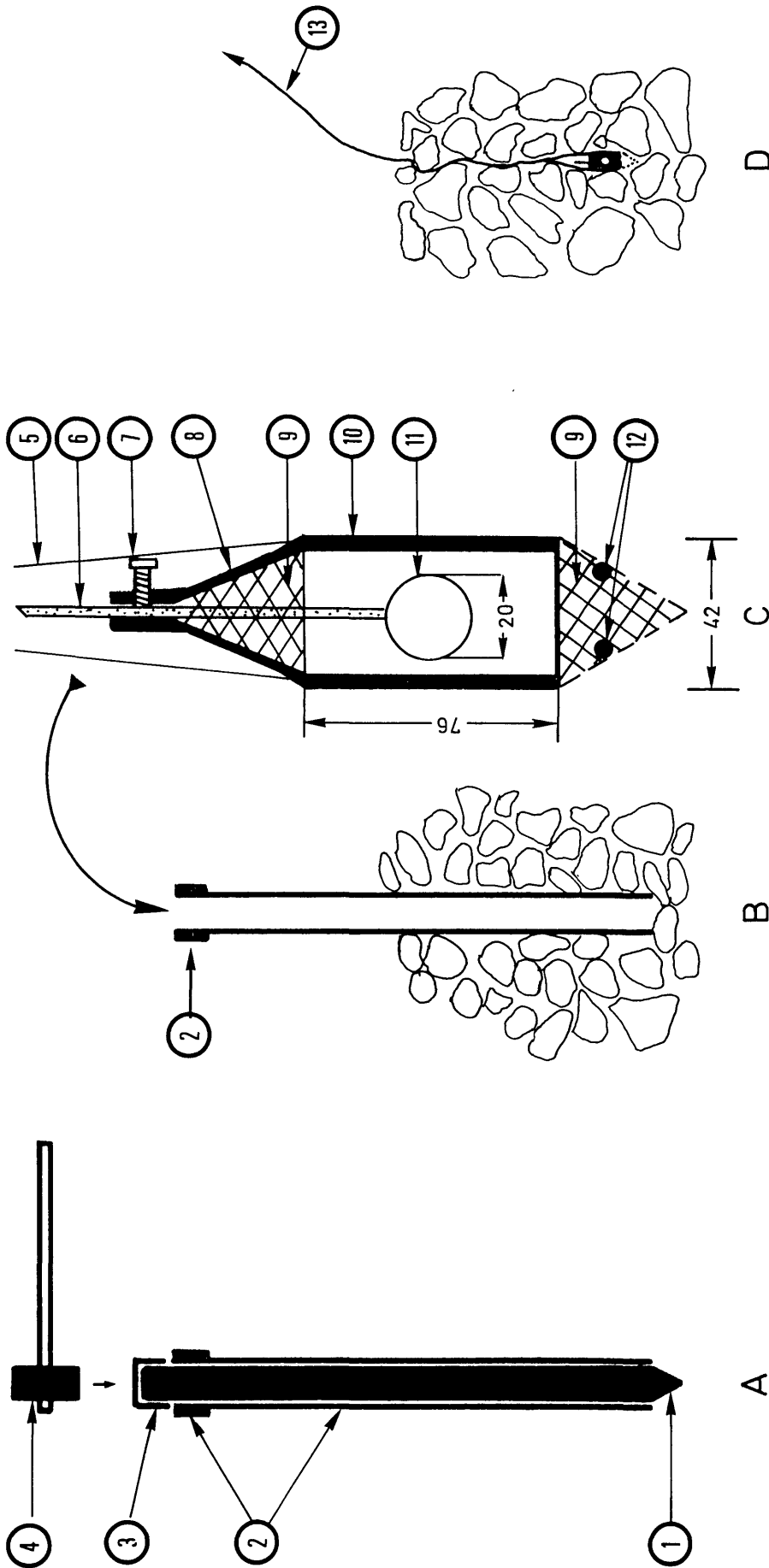


Abb. 31 A Injektor. B Spundrohr (eingebracht). C Meßwertaufnehmer (Maße in mm).
D Meßwertaufnehmer im Sediment (Spundrohr abgezogen)

1 Schlagstange (schwarz: Stahl), 2 Spundrohr mit Verstärkungsring (oben), 3 Schutzkappe,
4 Vorschlaghammer, 5 Halteseile, 6 Messinghalterung für Gipskugel, 7 Justier- und Fixierungs-
mechanismus für Gipskugel, 8 Teil des Gehäuses, 9 Messinggitter (Maschenweite 5 mm), 10 Hüll-
rohr (Stahl), 11 Gipskugel, 12 Farbgeber (s. Text), 13 Plastikseil zum Herausziehen.

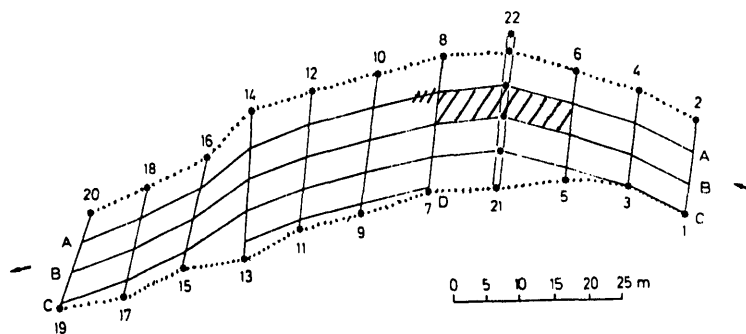
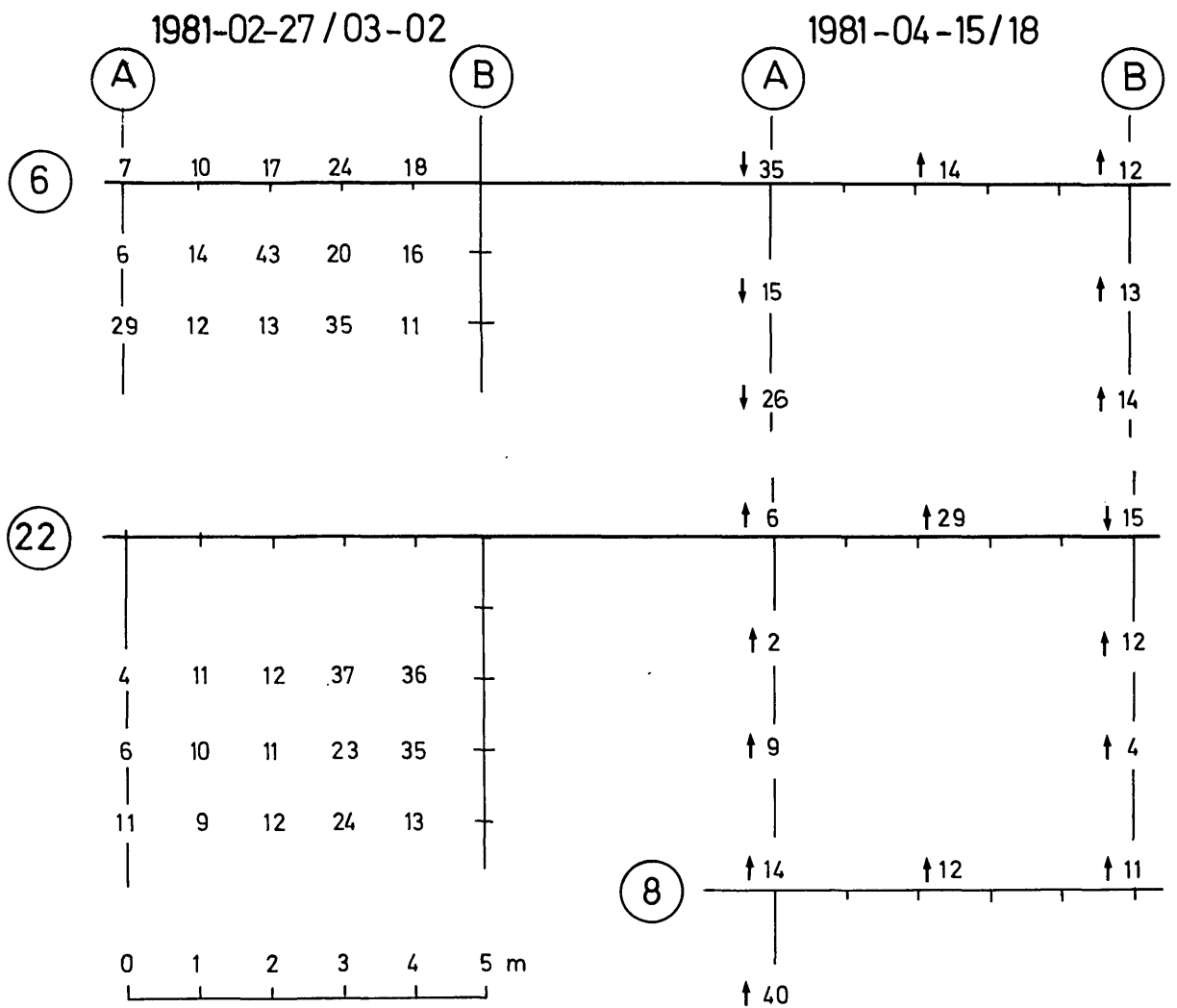


Abbildung 32 Vertikale Strömungsmessungen in den Bett-sedimenten. Zahlen: Relativer Gewichtsverlust der Gipskugeln. 02-27: $\varnothing \leq 8$; >8 : 1~251. 04-15: $\varnothing \leq 10$; >10 : 1~251. Pfeile: Strömungsrichtung.

Messungen ergaben ein kleinräumiges Verteilungsmuster der Austauschprozesse. Diese Muster zeigten im Beobachtungszeitraum keine dramatischen Veränderungen. Die bisher erhobenen Befunde zeigen, daß die Austauschprozesse an einer bestimmten Stelle des Baches das Ergebnis des Zusammenspiels vieler, meist interaktiver Faktoren sind. Eine genaue Korrelations- und Kausalanalyse bedarf daher der registrierenden Messung möglichst vieler Faktoren und einer darauf aufbauenden Multivariatenanalyse.

Literatur

- BERGER, F., 1978: Grundwasser und Thermik im Seebachbett.-
Jber. Biol. Stat. Lunz, 1:60-62
- BERGER, F., 1979: RITRODAT: Das Grundwasser im Seebachbett.-
Ibidem, 2:51-52.
- BRETSCHKO, G., 1979: Positionsbestimmung im Versuchsareal
RITRODAT.-
Jber. Biol. Stat. Lunz, 2:23-30
- BRETSCHKO, G., 1980: Untersuchung der Bettsedimente.-
Jber. Biol. Stat. Lunz, 3:19-42.
- BRETSCHKO, G., in press: Vertical distribution of zoobenthos
in an alpine brook of the RITRODAT-LUNZ
study area. -
Verh.Internat.Verein.Limnol. 21:(841-844)
- LEE, D.R., HYNES, H.B.N., 1977/78: Identifikation of Ground-
water Discharge Zones in a Reach of
Hillman Creek in Southern Ontario. -
Water.Poll.Res. Canada, 13:121-133.
- POLLARD, R.A., 1955: Measuring Seepage through Salmon
Spawning Gravel. -
J. Fish. Res. Bd. Can., 12:706-741.
- VAUX, W.G., 1968: Intragravel Flow and Interchange of
Water in a Streambed. -
Fishery Bull. 66: 479 - 489

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahresbericht der Biologischen Station Lunz](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [1980_004](#)

Autor(en)/Author(s): Bretschko Gernot

Artikel/Article: [Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser und Bettsedimentwasser. 35-80](#)