

# DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

SCHRIFTENREIHE · HERAUSGEGEBEN VON DER  
ÖSTERREICHISCHEN STAUBECKENKOMMISSION  
UND DEM ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND WIEN · SCHRIFTLITUNG:  
PROF. DR. HERMANN GRENGG

## HEFT 3

*Prof. Dr. A. W. Reitz und Mitarbeiter  
Beobachtungen an der Ranna-Talsperre  
1950 bis 1952*

WIEN 1954 · IM SELBSTVERLAG DES  
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

# DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

*Prof. Dr. A. W. Reitz unter Mitwirkung  
von R. Kremser (Ingenieurbüro Beurle Linz)  
und E. Prokop (Beobachter der OKA, Linz)  
Beobachtungen  
an der Ranna-Talsperre 1950 bis 1952  
mit besonderer Berücksichtigung der  
betrieblichen Erfordernisse.*

WIEN 1954 · IM SELBSTVERLAG DES  
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES



BEOBACHTUNGEN AN DER RANNA-TALSPERRE UND  
IHRE AUSWERTUNG, 1950/52  
UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER BETRIEBLICHEN  
ERFORDERNISSE.

Von A.W.REITZ, Graz,

unter Mitwirkung von R.Kremser\*)Linz, und E.Prokop,\*\*)Ranna-Talsperre.

1. Die Sperre; Lage und Anordnung der Messeinrichtungen.
2. Das Beobachtungsprogramm.
  - 2,1. Die tägliche Lotablesung.
  - 2,2. Die monatliche Temperaturbeobachtung im **Mauerkörper**.
3. Die Ableitung der charakteristischen oder Zustandsgrößen.
  - 3,1. Die radiale Lotkomponente  $r$ .
  - 3,2. Die Stauhöhe  $H$ .
  - 3,3. Die Mauertemperatur  $T$ .
  - 3,4. Die Unsymmetrie der Temperaturverteilung  $\Delta$ .
4. Überblick über die Beobachtungsergebnisse.
5. Auswertung der Temperaturprofile.
  - 5,1. Die Wassertemperatur.
  - 5,2. **Betontemperaturen** 1m unter den Oberflächen.
  - 5,3. Die Temperaturen in Mauermitte.
6. Die Analyse der Lotanzeige.
  - 6,1. Tagesgang und  $t$ -Komponente.
  - 6,2. Die Lotbahn auf Kote 461.
  - 6,3. Grundsätzliches zur Analyse; das Staudiagramm.
  - 6,4. Näherungsweise Ermittlung des Temperaturkoeffizienten.
  - 6,5. Analyse der Staudiagramme; individuelle Lastkurven.
    - 6,51. Fall C.
    - 6,52. Fall A.
    - 6,53. Fall B.
  - 6,6. Allgemeine Lastkurven.
  - 6,7. Die  $\Delta$ -Lastkurve, der Einfluss der Unsymmetrie  $\Delta$ .
  - 6,8. Deutung des Verlaufes von  $r_{HT\Delta}$ .
7. Vergleich mit den Ergebnissen der statischen Berechnung.
8. Zusammenfassung und Abschluss.

\*) Ingenieurbüro Beurle, Linz.

\*\*\*) Beobachter der Oberösterreichischen Kraftwerke A.G. Linz.



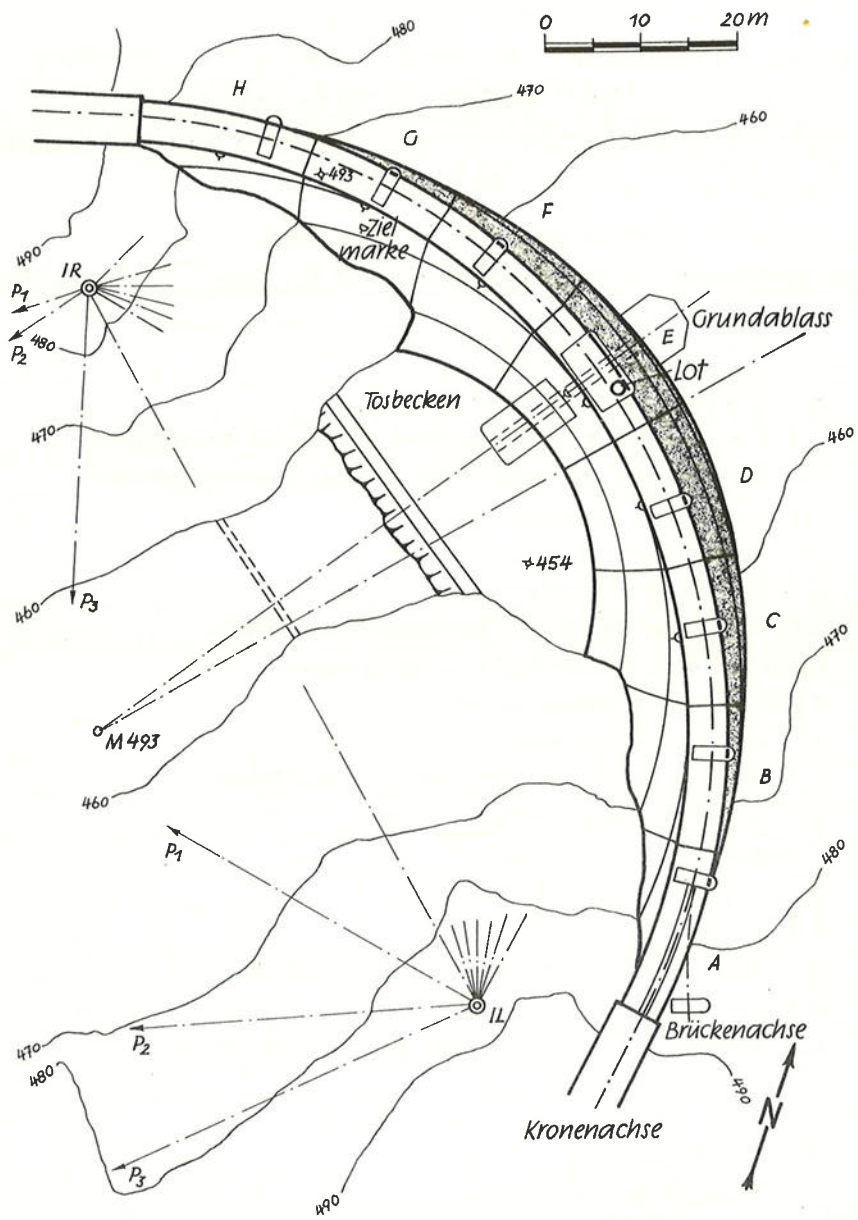


Fig:1 Ranna-Talsperre Grundriss

## 1. Die Sperre; Lage und Anordnung der Messeinrichtungen.

Eine eingehende Darstellung der Ranna-Talsperre und ihrer Baugeschichte findet man bei K. Faehndrich <sup>1)</sup>, ihre charakteristischen Daten der vergleichenden Statistik im Beitrag von H. Grengg <sup>2)</sup> in der ersten Folge dieser Schriftenreihe. In derselben Folge sind die verwendeten Messeinrichtungen und ihr Gebrauch ausführlich beschrieben <sup>3)</sup>; ihre spezielle Anordnung geht aus den drei ersten Figuren dieses Beitrages hervor, die den eigentlichen Sperrkörper betonen und alles andere - einschliesslich der Strassenbrücke zurücktreten lassen. Fig. 1 zeigt den Grundriss im Gelände, den Aufhängepunkt des Lotes im Block E, nahe der Mittelfuge, die Zielmarken, soweit sie nicht vom Überhang der Mauerkrone verdeckt sind, und die Standorte der Beobachtungspfeiler IL und IR mit den Visierrichtungen zum Versicherungsnetz. Auf eine Darstellung der Temperaturmessbohrungen wurde in dieser Figur verzichtet. Die Gewölbesymmetrale weist von der Luftseite nach Südwest. Der gegenseitige Bezug der Messvorkörnungen an und im Mauerkörper wird wesentlich deutlicher in der Abwicklung der Fig. 2. Die Temperaturmessstellen liegen übereinander im Block D und sind daher nicht durch benachbarte Hohlräume im Mauerinneren gestört; der Lotschacht ist nahezu um eine Blockbreite abgerückt und liegt auf der anderen Seite der Mittelfuge. Der geodätischen Beobachtung ist das linke Gewölbedrittel infolge der Geländebildung schlecht zugänglich. Fig. 3 zeigt den mittleren Radialschnitt des Gewölbes (Fuge 4). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden alle Messtellen in diesen Schnitt hineinprojiziert; die Höhenkoten sind angegeben. Der Lotschacht dient gleichzeitig als Zugang zum Absperrorgan des Grundablasses, wodurch seine Erstreckung nach unten leider schon mit der Basisablesung LB auf Kote 461 begrenzt ist. Die Zwischenablesungen Lo und Lm teilen die Lotlänge in Drittel. Auch die Temperaturmessbohrung T1 ist der Verwendung praktisch entzogen, da ihr Zugang im Tosbecken seit Überwindung des Bauzustandes meist überstaut ist.

Die Stauhöhe wird mittels Schreibpegel der Firma Ganser, Modell 42 nahe dem Druckstolleneinlauf etwa 300 m oberhalb der Sperrenstelle laufend registriert.

1) Faehndrich K., Österreichische Bauzeitschrift 7, (1952), 5 und 26.

2) Grengg H., Die Talsperren Österreichs, Heft 1, 1954

3) Reitz A.W., ebenda

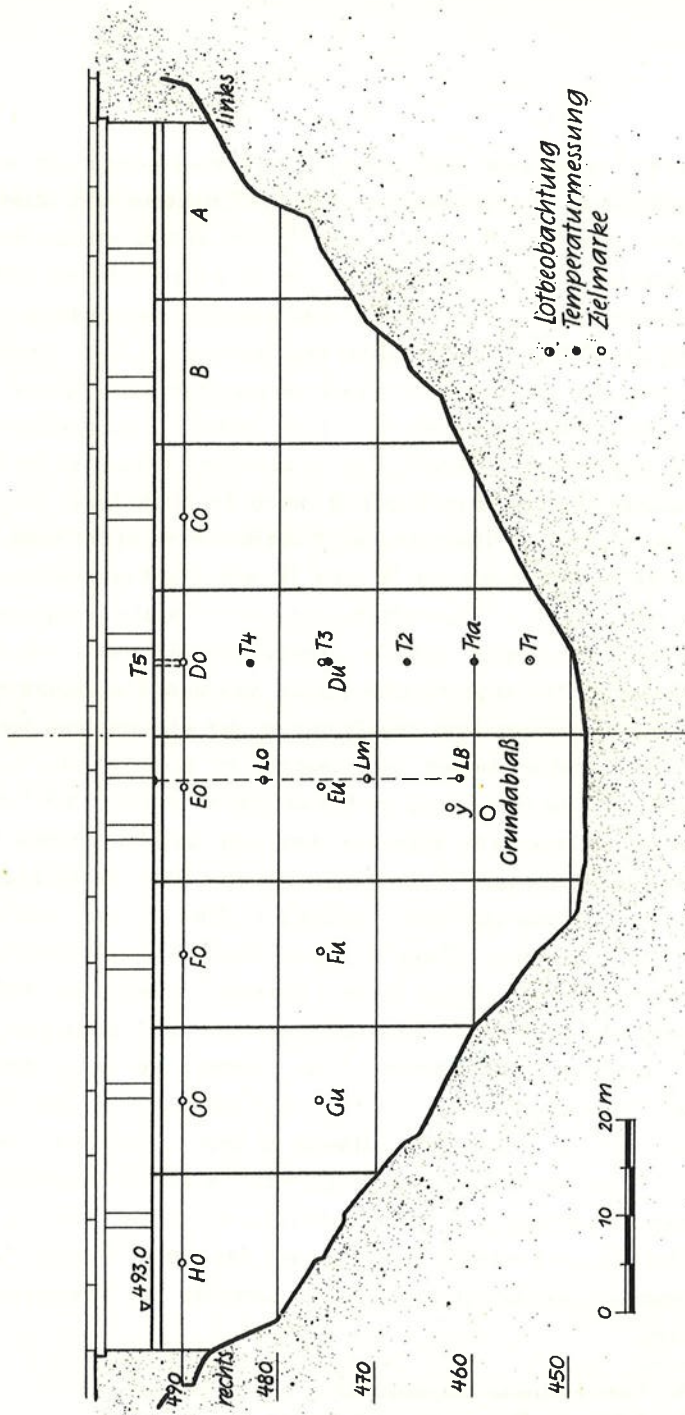
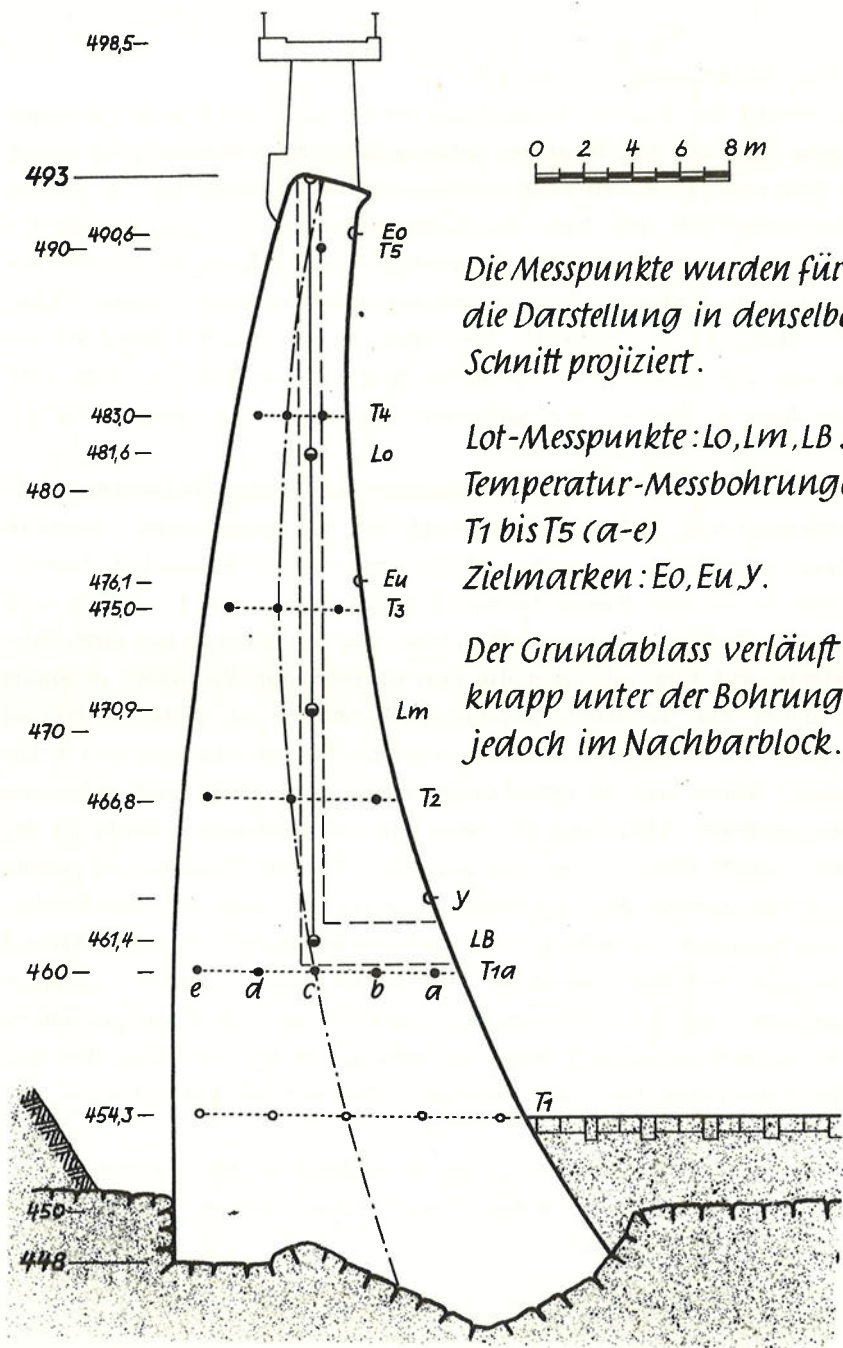


Fig:2 Ranna-Talsperre, Abwicklung in der Sperrenachse



Die Messpunkte wurden für die Darstellung in denselben Schnitt projiziert.

Lot-Messpunkte: Lo, Lm, LB.  
 Temperatur-Messbohrungen: T1 bis T5 (a-e)

Zielmarken: Eo, Eu, y.

Der Grundablass verläuft knapp unter der Bohrung T1a, jedoch im Nachbarblock.

Fig.3 Ranna-Talsperre Radialschnitt



## 2. Das Beobachtungsprogramm.

Der Umfang der Beobachtungsanlage deckt sich, wie man sieht, ungefähr mit dem Ausmass des im ersten Beitrag definierten Minimalprogrammes (l.c.). Es liegt sogar eine weitergehende Einschränkung insoferne vor, als der Mauerkörper unter Kote 460 durch die Beobachtung von Lot und Temperatur nicht mehr erfasst wird, obwohl die Gründungssohle auf Kote 454 liegt. Eine solche Bemessung findet ihre Rechtfertigung in der betonten Blickrichtung auf die Erfordernisse des laufenden Betriebes, in der sich die Wünsche des Bauherren wie die Absicht des Entwurfes deckten; den Bereich unter Kote 460 ausser Acht zu lassen, war allerdings ein - zum Teil unfreiwilliges - Wagnis.

Auch der Betrieb kann seine Beurteilung des inneren Bauwerkszustandes - abgesehen von Sickerwasserbeobachtung und dergleichen - mithilfe der Messung nur auf jene Grundlage stützen, die von der statischen Berechnung geschaffen wurden. Diese Rechnung wurde in unserem Falle und wird ganz allgemein für Sperren der in Rede stehenden Grössenordnung einschneidend ausgeführt, und man hat daher die dort eingehenden Variablen in einem ebenfalls durch die Rechnung gegebenen Ausmasse zu erfassen. Hierbei wird also nicht zur Debatte gestellt, wieweit die Voraussetzungen der Rechnung zulässig waren; das zu untersuchen würde auch eines weit grösseren Aufwandes bedürfen. Ähnliches gilt auch für die messende Verfolgung der besonderen Verhältnisse in der Bauperiode. Für die Temperaturmessung folgt nun im besonderen, dass die Beobachtungen in einem einzigen Radialschnitt, dem mittleren oder einem ihm möglichst benachbarten, grundsätzlich genügen müssen, von ganz besonders gelagerten Fällen vielleicht abgesehen. Es geht ja sogar die mehrschnittige Berechnung in den meisten Fällen von der Annahme konstanter Temperaturverhältnisse für die Länge des einzelnen Horizontalschnittes aus (etwa bei Verwendung der Tabellen von Lieurance).

Ist auf diese Weise die Frage, wo zu messen ist, beantwortet, so ergibt sich der zeitliche Abstand der Beobachtungen ohne weiteres aus der Veränderlichkeit der Variablen.

### 2,1. Die tägliche Lotablesung.

In der Lotangabe kommen einerseits die weitgehend jahreszeitlich gebundenen Temperatureinflüsse, andererseits aber der jeweilige, durch die

Speicherbewirtschaftung bestimmte Staudruck zur Geltung. Der zweite Umstand macht eine tägliche Lotablesung erforderlich. Die Gewölbedurchbiegung macht nun unter dem Einfluss der täglichen Sonneneinstrahlung einen Tagesgang mit, dessen Minimum kurz nach Sonnenaufgang und dessen Maximum etwa am halben Nachmittag liegt. Man schaltet ihn aus, indem man sich auf die Morgenablesung beschränkt, die - aus betrieblichen Gründen einheitlich - auf 7 Uhr festgelegt wird, und erfasst ihn, indem man noch eine zweite Ablesung etwa um 16 Uhr hinzunimmt. Zu Aussagen über den Verlauf der Biegelinien im Lotschnitt gelangt man, wenn ausserdem an den Zwischenpunkten Lo und Lm abgelesen wird. Die Ergebnisse sind zusammen mit den meteorologischen Angaben in den sogenannten Monatstabellen verzeichnet (Anhang I). Die Tabellen enthalten Datum und Ablesezeit, Lufttemperatur und Witterung nach den Normen der Zentralanstalt um 7 Uhr, 14 Uhr und - statt richtig um 22 Uhr leider - um 20 Uhr, das Temperaturtagesmittel (das also etwas zu hoch herauskommt), Stauhöhe zur Ablesezeit und im Tagesmittel und schliesslich für die drei Koten 461, 471 und 482 die Lotablesungen am linken, bzw. rechten Schenkel des Instrumentes, sowie die daraus graphisch ermittelten radialen bzw. tangentialen Koordinaten der Lotlage, kurz Komponenten genannt. Der Nullpunkt der Komponenten ist willkürlich und wurde einfach auf die erste Ablesung am 23. Mai 1950 festgelegt, die Angabe erfolgt in Millimetern, Bewegungen seewärts bzw. gegen KR zählen positiv. Die im Anfang mehrfach erwähnte Reparatur des Ablesegerätes bezog sich auf den zu zart ausgeführten Zeiger; eine kleine konstruktive Änderung im September 1950 hat diesen Mangel endgültig behoben. Der Bezug zur selben Grundablesung wird dadurch dank der Linearität von Tasthebel und Zeiger nicht berührt.

Die Nachmittagsablesung erfolgte zuerst täglich, später nur mehr etwa sechsmal im Monat möglichst in einer Schönwetterperiode, um den Lottagesgang über das Jahr hin verfolgen zu können, und wurde nach einem Jahr eingestellt. Die Ablesungen in Lo und Lm wurden während der ersten beiden Jahre monatlich durch etwa sechs aufeinanderfolgende Tage hindurch vorgenommen und dann ebenfalls abgebrochen.

Die Beobachtungsergebnisse werden für den internen Gebrauch in Monatsdiagrammen zur Darstellung gebracht, die jedoch aus Gründen der Raumsparnis in diesen Bericht nicht aufgenommen, sondern durch die Zusammenfassung der Fig. 5 (nach Anhang II), ersetzt wurden (Doch siehe Fig. 13).

## 2,2 Die monatliche Temperaturbeobachtung im Mauerkörper.

Im Temperaturverlauf überlagern einander dreierlei Periodizitäten: der Jahresgang mit der Periode von 12 Monaten und den Extremwerten zu Sommer- bzw. Winterende, der vorerwähnte Tagesgang, dessen Periodizität an sonnenlosen Tagen unterbrochen ist, und dazwischenliegend die kurzfristigen Wetterperioden von vielleicht 7 bis 10 Tagen, deren durchschnittliche Dauer nur statistisch festgelegt ist, sodass sich zugehörige Temperaturwellen nicht ausbilden können.

Für die Beobachtung ist nun festzuhalten: selbst wenn man die Temperaturmessung durch Installation einer elektrischen Anlage (Widerstandsfernthermometer) wesentlich vereinfacht, so bleibt doch die Auswertung zu mühevoll und zeitraubend, um sie im laufenden Betrieb allzuoft durchzuführen; ferner, ein Wellenvorgang kann nur dann wirklich erfasst werden, wenn mindestens vier Beobachtungen (Durchgang durch die Null- und Extremlagen), besser aber mehr während einer Periode erfolgen. Daraus ergeben sich die Grenzen einer möglichen Zielsetzung.

Es wurde schon erwähnt, dass man sich vom Einfluss des Tagesganges in einfacher Weise durch Ablesen zur Zeit des Minimums am Morgen freimachen kann; ebenso, dass eine weitere Ablesung zur Zeit des Maximalausschlages am halben Nachmittag die Kenntnis der Tagesamplitude von  $r$  (Lot- Radialkomponente) vermittelt. Eine tatsächliche Verwertung dieser Messgrößen würde aber Temperaturbeobachtungen in und nahe unter der luftseitigen Maueroberfläche sowie parallellaufende Registrierungen der Sonnenscheinintensität voraussetzen, was zweifellos interessant aber schon recht aufwendig wäre.

Auch die kurzfristigen Wetterperioden lassen sich in der Mauertemperatur kaum verfolgen; man müsste in Abständen von ein bis höchstens zwei Tagen beobachten. Da es aber nicht zur Ausbildung von Temperaturwellen im Mauerkörper kommt, ist ihr Einfluss wegen der hohen Dämpfung von geringerer Bedeutung; immerhin kann man die Auswirkung auf die Lotangabe nicht ausschalten und muss damit gewisse Störungen bei der später durchzuführenden Analyse in Kauf nehmen.

Der Jahresgang ist, wie die Erfahrung bestätigt, durch die Beobachtung einmal im Monat ausreichend erfasst. Die Messwerte gleichen Datums werden an den zugehörigen Stellen im Mauerquerschnitt eingetragen und ermöglichen so die Ableitung der Isothermen, die ein anschauliches Bild der Tem-

peraturverteilung, das 'Temperaturprofil' ergeben (Anhang II). Es werden nur die Kurven für die geradzahligen ganzen Temperaturgrade eingetragen, die Verteilung im Seewasser sowie die Vorgeschichte sind zu berücksichtigen.

Die geodtischen Beobachtungen haben die gewünschte extreme Genauigkeit von 0,5mm bisher aus verschiedenen Gründen nicht erreicht; unter anderem reicht die Empfindlichkeit der Horizontierungslibelle nicht aus. Die Ergebnisse sind daher leider noch nicht interessant genug, um in diesem Bericht näher darauf einzugehen. Auch hat man derzeit aus demselben Grunde die ursprünglich monatlichen Beobachtungen auf je eine zu Sommer- und Winterende beschränkt.

### 3. Die Ableitung der charakteristischen oder Zustandsgrößen.

Die statische Berechnung ermittelt die radialen Durchbiegungen unter Wasserlast und - auf Grund geschätzter oder abgeleiteter Annahmen über die Temperaturverteilung - ebenso unter Temperaturlast, die in die beiden Anteile infolge gleichmässiger Erwärmung des Querschnittes und infolge Ausbildung einer Temperaturdifferenz Wasser- gegen Luftseite zerlegt wird, und gelangt durch Superposition dieser Ergebnisse zur Formulierung jener Deformationen, wie sie die Beobachtung an der ausgeführten Sperre zu erwarten hat. Auf die Durchführung des tangentialen Ausgleichs wird meist verzichtet und die Untersuchung auf die Extremfälle beschränkt. Die unvermeidlich in die Rechnung eingehenden Zusatzannahmen sollen hier nicht erörtert werden.

Zur Beobachtung gelangen natürlich nur die Gesamtdurchbiegungen, bzw. ihre Radial- und Tangentialkomponenten  $r$  und  $t$ , und es liegt somit die Aufgabe vor, ihre Zusammensetzung aus den Anteilen der Wasser- bzw. Temperaturlast empirisch festzustellen. Dies ist gleich wichtig für den Vergleich mit der theoretischen Berechnung wie für den Betrieb, der jederzeit feststellen können will, ob die jeweils beobachteten Durchbiegungen den herrschenden Staudruck- und Temperaturverhältnissen erwartungsgemäss entsprechen oder ob und welche Veränderungen in der Reaktion des Bauwerkes auf die Zustandsbedingungen in Erscheinung treten (z.B. auch gegenüber dem Vorjahr u.s.w.). Es ist also der funktionale Zusammenhang zwischen Durchbiegung und Wasser- bzw. Temperaturlast zu ermitteln (Wasserlast- bzw. Temperaturlastkurve), wobei überall eine für den Betrieb möglichst handliche Form der Beobachtung und Auswertung anzustreben ist.



Zunächst ist nun je eine Kenngrösse für die Durchbiegung, für die Wasser- und für die Temperaturlast zu definieren, wobei eine zweckmässige Wahl dieser Definition für den Erfolg des ganzen Analysevorhabens entscheidend ist.

### 3,1 Die radiale Lotkomponente r.

Es ist naheliegend, als Kenngrösse für die Deformation der Mauer die radiale Durchbiegung im Kronenscheitel zu benützen. Diese Grösse wird durch das Lot nur zu jenem Anteil erfasst, der dem Höhenunterschied zwischen Lotaufhängung und Basisablesung LB entspricht. Dass das Lot ausserdem um etwa  $7/100$  der halben Kronenbogenlänge ausserhalb der Gewölbesymmetrale liegt, ist ohne Belang, zumal die Maxima der horizontalen Biegelinien flach genug verlaufen. Die Ablesungen am Instrument werden durch einfache Umrechnung oder noch besser graphisch in die Radial- und Tangentialkomponenten ( $r$  bzw.  $t$ ) verwandelt (siehe messtechnischen Beitrag 1. c.), und  $r$  unmittelbar als Mass der Durchbiegung verwendet. Das mitanfallende  $t$  liefert wertvolle Hinweise auf etwa vorhandene Unsymmetrien zwischen den beiden Gewölbehälften und auf das Verhalten der Widerlager; ausserdem bietet es eine verlässliche Kontrolle der Lotablesung.

### 3,2. Die Stauhöhe H.

Die Wasserlast ist naturgemäss durch die Angabe der Stauhöhe H eindeutig definiert; sie muss mindestens auf halbe Dezimeter genau bekannt sein. Als Bezugspunkt für die Auswertung wählt man zweckmässigerweise nicht die selten realisierten Extremfälle 'leeres oder volles Staubecken' sondern einen möglichst häufig vorliegenden Zustand, in diesem Falle  $H=491$ . Steht die Wasserlastkurve (H-Kurve) einmal zur Verfügung, dann kann man die beobachteten Werte  $r$  für Vergleichszwecke auf diese Bezugsstauhöhe reduzieren ( $r_H$ ).

### 3,3. Die Mauertemperatur T.

Die in einem Temperaturprofil (Anhang II) festgehaltene Temperaturverteilung muss nun jeweils durch eine repräsentative Zahl, die Mauertemperatur T zum Ausdruck gebracht und als Variable verwendbar gemacht werden. Der verlockende Gedanke, die Temperaturwerte verschiedener Höhenbereiche mit unterschiedlichen Gewichten zu versehen, muss abgelehnt werden,

TABELLE 1

Die Zustandsgrößen T, Δ, H und r.

No.	Tag t	Δt	T	ΔT	$30 \frac{\Delta T}{\Delta t}$	$2 \times \textcircled{6}$	$\textcircled{6}' + \textcircled{7}''$	$\frac{1}{3} \times \textcircled{8}$	$\Delta$ aus Fig. 12	H	r
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	14.6.50	19	13,9	+1,8	+2,84	+5,68	+8,82	+2,94	+2,5		+2,00
8	3.7.	11	15,7	+0,8	+2,18	+4,36	+7,20	+2,40	+1,8		+2,40
9	14.7.	5	16,5	+0,9	+5,40	+10,80	+12,98	+4,32	+1,5	475,2	+2,10
10	19.7.	19	17,4	-0,8	-1,26	-2,52	+2,88	+0,96	+1,5	479,0	+1,80
11	7.8.	25	16,6	+1,3	+1,56	+3,12	+1,86	+0,62	+0,9	(485)	
12	1.9.	32	17,9	-2,8	-2,63	-5,26	-3,70	-1,23	-0,2	471,2	+4,40
13	3.10.	34	15,1	-4,2	-3,70	-7,40	-10,03	-3,43	-2,5	492,0	-4,20
14	6.11.	29	10,9	-3,0	-3,11	-6,22	-9,92	-3,31	-3,5	490,5	-7,85
15	5.12.	12	7,9	-1,3	-3,25	-6,50	-9,61	-3,21	-3,0	492,3	-11,05
16	17.12.	17	6,6	-1,0	-1,76	-3,52	-6,77	-2,26	-2,6	(485)	-10,65
17	3.1.51	44	5,7	-1,3	-0,89	-1,78	-3,54	-1,18	-2,0	486,5	-11,45
18	16.2.	15	4,8	-0,3	-0,60	-1,20	-2,09	-0,70	-0,5	484,8	-9,00
19	3.3.	17	4,0	0,0	0,0	0,0	-0,60	-0,20	-0,3	458,5	-5,25
20	20.3.	30	4,0	+1,7	+1,70	+3,40	+3,40	+1,14	+0,5	490,2	-7,65
21	19.4.	33	5,7	+2,0	+1,82	+3,64	+5,34	+1,78	+1,5	492,4	-6,80
22	22.5.	29	7,7	+3,5	+3,62	+7,24	+9,06	+3,02	+2,6	492,5	-3,55
23	20.6.	31	11,2	+1,9	+1,84	+3,68	+7,30	+2,44	+2,8	492,6	+0,95
24	21.7	35	13,1	+0,7	+0,60	+1,20	+3,04	+1,01	+1,7	492,1	
25	25.8.	32	13,8	0,0	0,0	0,0	+0,60	+0,20	+0,5	490,5	+0,90
26	26.9.	30	13,8	-3,1	-3,10	-6,20	-6,20	-2,07	-1,3	485,5	+1,60
27	26.10.	33	10,7	-3,5	-3,18	-6,36	-9,46	-3,15	-2,9	474,5	-0,55
28	28.11.	20	7,2	-1,6	-2,40	-4,80	-7,98	-2,66	-3,0	491,1	-7,60
29	18.12.	28	5,6	-1,2	-1,29	-2,58	-4,98	-1,66	-2,5	491,5	-10,20
30	15.1.52	37	4,4	-1,5	-1,22	-2,44	-3,73	-1,24	-1,6	491,7	-11,35
31	21.2.	23	2,9	0,0	0,0	0,0	-1,22	-0,41	-0,5	481,4	-9,25
32	15.3.	41	2,9	+3,1	+2,27	+4,54	+4,54	+1,51	+0,1	478,3	-8,30
33	25.4.		6,0						+2,3	492,0	-5,75

weil die Temperaturkennziffer dadurch mit statischen Annahmen vorbelastet werden würde.  $T$  wird einfach als Mittelwert bestimmt, indem man die Flächen zwischen den Isothermen ausplanimetriert, mit den zugehörigen mittleren Temperaturen (ungerade ganze Temperaturgrade) multipliziert, addiert und durch die Gesamtfläche dividiert; Tabelle 1; dabei muss man sich hier leider auf den Bereich über Kote 460 beschränken. Als Bezugswert wird man dann den mittleren Jahreswert wählen, der für 1951/52 bei  $T = 9,0^{\circ}\text{C}$  lag. Mit der noch zu ermittelnden Temperaturlastkurve ( $T$ -Kurve) lassen sich dann die Lotkomponenten  $r$  auch auf diese selbe Vergleichstemperatur reduzieren ( $r_T$  bzw.  $r_{HT}$ ).

Dem Einwand, dass dieselbe Durchschnittstemperatur  $T$  auf verschiedene Weise zustandekommen kann, ist entgegenzuhalten, dass die Einzelwerte im Profil nicht willkürlich verteilt werden können, sondern durch den Jahresablauf zwangsläufig gegeben und nur durch die Speicherbewirtschaftung in Grenzen beeinflussbar sind. Im übrigen erwies sich aber die Einführung einer weiteren Temperaturvariablen unerlässlich, die der 'Temperaturdifferenz Wasser- zu Luftseite' der statischen Rechnung entspricht und insbesondere den Unterschied zwischen den Verhältnissen im Frühjahr und Herbst festzulegen gestattet.

#### 3.4. Die Unsymmetrie der Temperaturverteilung $\Delta$ .

Die temperaturdämpfende Wirkung des Wassers drückt sich so aus, dass der jährliche Gang der Aussentemperatur an der Wasserseite der Sperre durch die kleineren, an der Luftseite durch die grösseren Amplituden gekennzeichnet ist. Infolgedessen liegt im allgemeinen im Temperaturprofil eine im Bezug auf die Mittellinie unsymmetrische Temperaturverteilung vor, die uninteressant wäre, wenn sie Lage und Ausmass dauernd beibehielte,, infolge ihrer jahreszeitlichen und Witterungsabhängigkeit aber zusätzliche Gewölbebewegungen verursacht, die sich denen infolge des Ganges der Mauertemperatur  $T$  überlagern. Es wäre naheliegend, als Mass für diese Unsymmetrie die Differenz aus den mittleren Oberflächentemperaturen der Wasser- bzw. der Luftseite zu verwenden. Oder im konkreten Falle die Messtellen  $e$ , 1 m unter Wasserseite und  $a$ , 1 m unter Luftseite heranzuziehen. Dies führt aber zu keinem brauchbaren Ergebnis; zunächst ergibt sich gegenüber dem Gang von  $T$  eine nur geringe Phasenverschiebung, und ausserdem zeigt diese Grösse im Bereich der an sich flachen Extrema von  $T$  einen nahezu konstanten Verlauf, ist also ungeeignet, die merkliche Bewegung

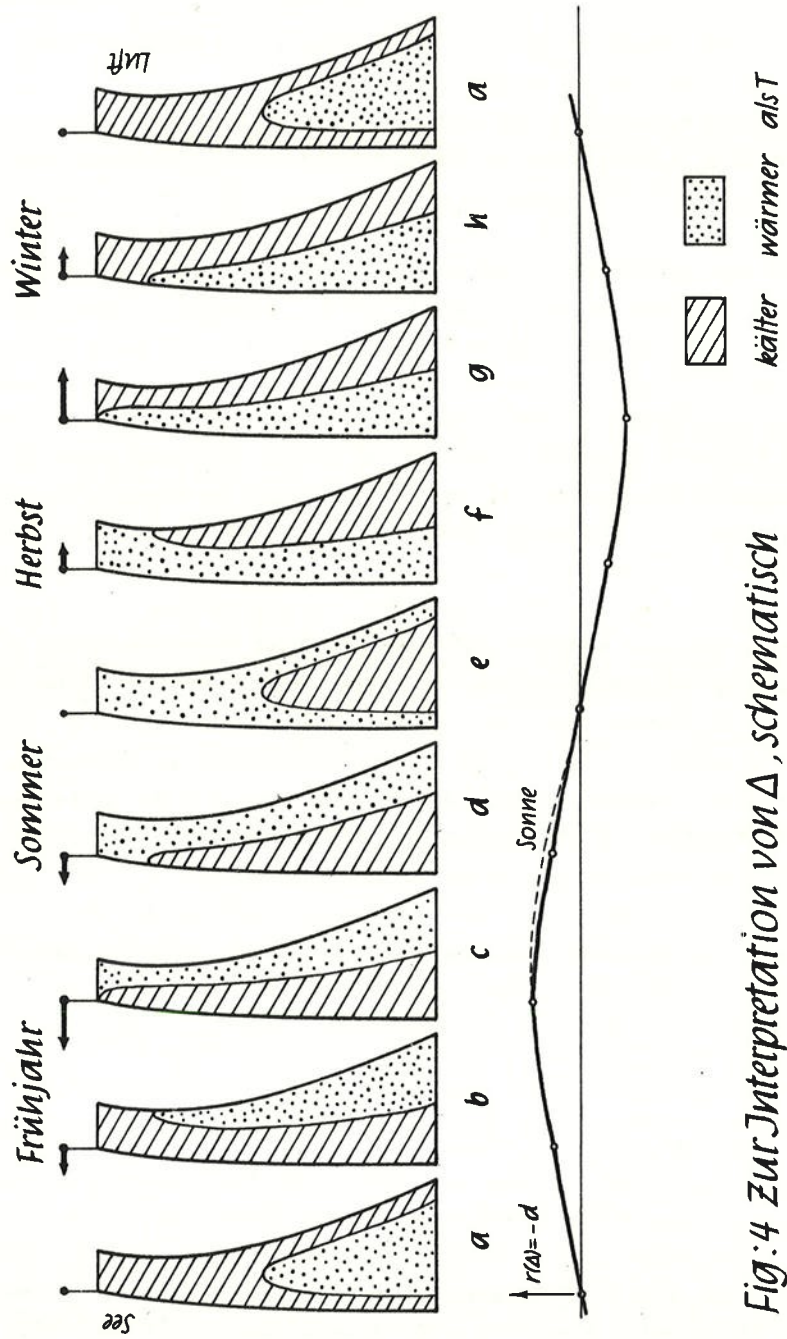


Fig: 4 Zur Interpretation von  $\Delta$ , schematisch



des Gewölbes gerade in diesen Zeitabschnitten zu erklären (siehe auch Fig. 12, die gegenläufige, vierte Kurve von oben).

Am leichtesten macht man sich die Verhältnisse anhand der rein schematischen Fig. 4 klar, in der die Profilbereiche, deren Temperatur über bzw. unter der mittleren Mauertemperatur  $T$  liegen, unterschieden sind. Bild a stellt mit der geläufigsten Isothermenform die Situation etwa am Winterende dar; das Seewasser ist tief abgekühlt, die Lufttemperatur schon etwas angestiegen, sodass in den Temperaturen der Oberflächen praktisch kein Unterschied besteht, der 'wärmere' Bereich fällt mit dem Kern des Mauerfusses zusammen. Dank dieser Symmetrie in der Verteilung besteht aus diesem Titel kein Anlass zu einer Deformation. Nun wird im Frühjahr bis Sommer die Luftseite aufgeheizt, die Wärme infolge des langsamen Ab- und Durchfließens zur Wasserseite gestaut; es kommt im Frühsommer (Bild c) zur Ausbildung der krassesten Unsymmetrie, indem die luftseitige Hälfte des Profils durchgehend die wärmere ist, die Durchbiegung zur Wasserseite daher am grössten (Zeiger über der Krone). Zu Sommerende ist wieder volle Symmetrie wie in a erreicht, nur in umgekehrter Verteilung (Bild e), die Durchbiegung ist verschwunden. Im Herbst 'dringt' von der Luftseite 'die Kälte ein', der Wärmestrom kehrt sich um, im Spätherbst ist das Extremum g erreicht, spiegelbildlich zu c, um bis zum Winterende die betrachtete Ausgangssituation a wieder zu erreichen. Der 'warme' und der 'kalte' Bereich drehen sich sozusagen umeinander, in der Darstellung entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn. Der Jahresgang der Radialkomponente  $r$  als Folge der Unsymmetrie  $\Delta$  ist in der Kurve in Fig. 4 unten schematisch dargestellt; die Einwirkung der Frühjahrs- und Frühsommersonne mag noch die angedeutete Verzerrung bewirken. Diese Kurve durchläuft ihre Nullstellen, hat also den steilsten Verlauf zu Sommer- und Winterende, wenn  $T$  im jeweiligen Extremum liegt.

Man erkennt, dass es sich um ein Problem einer nicht stationären Wärmeströmung handelt, und man kann versuchen, die Zustandsgrösse  $\Delta$  zum zeitlichen Differentialquotienten einer charakteristischen Temperatur, also von  $T$ , in Beziehung oder direkt  $\Delta = \Delta T / \Delta t$  zusetzen. Dies ist schon deshalb aussichtsreich, weil die Differentialkurve in Periode und Phase mit der oben induktiv abgeleiteten Kurve für  $r(\Delta)$  übereinstimmt; der Weg führt auch zum vollen Erfolg.

Praktisch ermittelt man für je zwei aufeinanderfolgende Bestimmungen von T den Differenzen-quotienten, der besseren Anschaulichkeit wegen auf dreissig Tage bezogen; da Differentialkurven allgemein überempfindlich sind, wird besser etwas ausgeglichen: man bildet ein Drittel aus der Summe des doppelten jeweiligen und des einfachen vorangehenden Wertes und ordnet das Ergebnis der Mitte des betrachteten Zeitintervalles zu. (Tab. 1). Dieses Verfahren hat sich gut bewährt und wurde unter anderen deshalb ausgewählt, weil der Betrieb in der Lage sein muss, sogleich nach jeder Beobachtung auszuwerten, ohne auf die nachfolgende erst warten zu müssen, und weil mit Rücksicht auf die Willkür in der Stauraumbewirtschaftung (Wassertemperatur!) zwar ein klarer Bezug für die Mauertemperaturgrössen zur Vorgeschichte, nicht aber zur nachfolgenden Entwicklung gegeben ist; es handelt sich um einen historischen Ablauf.

#### 4. Überblick über die Beobachtungsergebnisse.

Der Verlauf der eben erörterten Grössen in der Berichtszeit vom Mai 1950 bis zum Mai 1952 ist übersichtlich in Fig. 5\*) dargestellt, wobei als weiterer Vergleich der Gang des Lufttemperatur-Tagesmittels herangezogen wurde. Leider ist diese Lufttemperatur für die Sperre nicht recht kennzeichnend, da sie am Sperrenwärterhaus, 300 m seeaufwärts beobachtet wurde. Vor der Luftseite der Sperre, wo in nächster Zeit ein Thermograph zur Aufstellung gelangen wird, dürften sich im Winter wie im Sommer merkliche Abweichungen ergeben. Ausserdem sind die Tagesmittel wie erwähnt dadurch gefälscht, und zwar nach oben, dass die Abendablesung, die mit dem doppelten Wert in die Mittelbildung eingeht, statt um 22 Uhr immer schon um 20 Uhr erfolgte.

a) Die Lufttemperatur. Die witterungsbedingten Schwankungen der mittleren Tagestemperaturen wurden nun graphisch ausgeglichen, wodurch man die auch in spätere Figuren übertragene, strichlierte, sinusähnliche Kurve erhält. Die Extrema sind:

	Sommer 1950	Winter 50	Sommer 51	Winter 51
ausgeglichen	+17,0°	-3,5°	+18,1°	-2,9°
beobachtet	+24,5°	-9,5°	+23,5°	-9,5°

Die mittlere Jahrestemperatur ergibt sich für den Zeitraum vom 1. April 51 bis 1. April 52 zu 7,9°, die Amplitude zu ±10,4° (ausgeglichen).

\*) nach Anhang II am Ende des Beitrages.

b) Die Mauertemperatur T. Sie erfasst - dies sei nochmals ausdrücklich betont - nur den Mauerbereich über Kote 460. Naturgemäss liegt gegenüber der Lufttemperatur merkliche Dämpfung und Phasenverschiebung vor; letztere beträgt etwa 2 Monate, das Jahresmittel für den oben genannten Zeitraum  $9,0^{\circ}$ . Die Extrema sind

Sommer 1950	Winter 50	Sommer 51	Winter 51
+17,9 $^{\circ}$	+4,0 $^{\circ}$	+14,0 $^{\circ}$	+2,6 $^{\circ}$

Zweifellos machen sich im Jahre 1950 restliche Abbindewärme und die Tatsache bemerkbar, dass der Stausee mit warmem Sommerwasser gefüllt worden war. Die Amplitude ist  $\pm 6,3^{\circ}$ .

c) Die Unsymmetrie oder Temperaturdifferenz  $\Delta$ . Für den Vergleich wurde der Masstab beibehalten, für die Auswertung muss dann eine grössere Ordinateinheit verwendet werden. Die Phasenverschiebung beträgt  $\frac{1}{4}$  der Periode, wie es sein muss; allerdings nicht ganz genau, die 'halbe' Welle von März bis September ist etwas verkürzt. Dies hängt offenbar mit der Sonneneinstrahlung zusammen. Die Extrema:

Herbst 50	Frühjahr 51	Herbst 51	Frühjahr 52
-3,5 $^{\circ}$	+3,0 $^{\circ}$	-3,2 $^{\circ}$	(+4,5 $^{\circ}$ )

Die Amplitude beträgt  $\pm 3,7^{\circ}$ , das Jahresmittel muss natürlich null sein.

d) Die Stauhöhe H. Nach dem zögernden Anstieg im Sommer 50 wird der ganze Zeitraum bis Mai 52 durch mehr oder minder radikale Absenkungen in vier bzw. fünf Abschnitte zerlegt, während welcher der Stauspiegel, grob gesehen, weitgehend konstant gehalten wurde. Eine völlige Entleerung wurde nur im Februar/März 51 und zwar zum Zwecke der Fugenauspressung durchgeführt.

e) Die Radialkomponenten r der Lotangabe. Der am stärksten ins Auge fallende Linienzug entspricht der Basisablesung LB, die beiden nur punktwweise festgelegten Züge der Zwischenablesungen Lm und Lo. Ihr Verlauf wird, insbesondere im Bereich des grossen Staumanövers, Gegenstand der ausführlichen Analyse im Kapitel 6 sein.

Die grösste, in der Berichtszeit beobachtete Gesamtbewegung des Kronenscheitels gegenüber Kote 461 beträgt 16,6 mm unter Ausserachtlassung des Tagesganges, der in diese Darstellung nicht mehr aufgenommen wurde.

f) Die Tangentialkomponente  $t$  ist nur für Kote 461 (LB) dargestellt; sie bewegt sich in einem Bereich von  $\pm 1,2$  mm. Der auffallende Sprung im März 51 hängt enge mit den Vorgängen beim Fugenauspressen zusammen, die Abweichungen im Juni/Juli 51 gehen auf eine Beschädigung des Instrumentes zurück. Für die eingehendere Analyse sei auf Kapitel 6 verwiesen.

## 5. Auswertung der Temperaturprofile.

Mit jedem Temperaturprofil wird zugleich die Stauwassertemperatur gemessen. Für das Wärmegeschehen im Mauerkörper ebenso bestimmend wie die Lufttemperatur, ist sie von gleichem Interesse; da sich die Wassertemperatur jedoch ungleich stetiger verhält, wie die Lufttemperatur, genügt eine Bestimmung im Monat. Ferner ergeben sich wertvolle Einblicke, wenn man gleichartig liegende Messpunkte innerhalb des Mauerkörpers zu Gruppen zusammenfasst und vergleicht.

### 5,1 Die Wassertemperatur.

Die Messpunkte liegen vor dem Gewölbescheitel in gleicher Höhe wie die Temperaturmess-Bohrungen. Fig. 6 zeigt den vertikalen Temperaturverlauf in der Berichtszeit von Monat zu Monat; die Kurven sind in zeitlicher Reihenfolge eingetragen, ihre Lage in der Temperaturskala ist durch die Angabe der Zahlenwerte unten bei T1 und in der jeweiligen Spiegelhöhe definiert. Zunächst erkennt man das starke Temperaturgefälle in den warmen Monaten Mai bis September. Die sogenannten Temperatursprünge sind nicht sehr deutlich ausgeprägt (S-förmiger Verlauf in den Knickstellen). Besonders auffallend sind die Isothermien unter Kote 462; es handelt sich dabei um den durch die Gestaltung der Staubeckensohle bedingten Totwasserbereich<sup>\*)</sup>. Zwar wurde hier im Sommer 50 warmes Sommerwasser mit  $16,4^{\circ}$  eingefüllt, das sich bis zum Winterende auf  $1,3^{\circ}$  abkühlte, dann aber nicht mehr die  $7^{\circ}$ -Grenze erreichte. In Ermanglung von Messungen am Seegrund wurden die untersten 4 m der Kurven extrapoliert, aber ohne Spielraum für die Willkür, wie man leicht sieht. Wegen der schwierigen Eisverhältnisse konnte in den kältesten Monaten leider nicht gemessen werden, mit der einzigen Ausnahme von Februar 51. Diese Kurve, obgleich nur in den Punkten T1, T3 und T4 festliegend, ist besonders bemerkenswert; sie ist durchaus nicht zufällig, sondern typisch auch für beträchtliche Tiefen natürlicher

<sup>\*)</sup> eine spezielle Eigentümlichkeit an der Ranna.



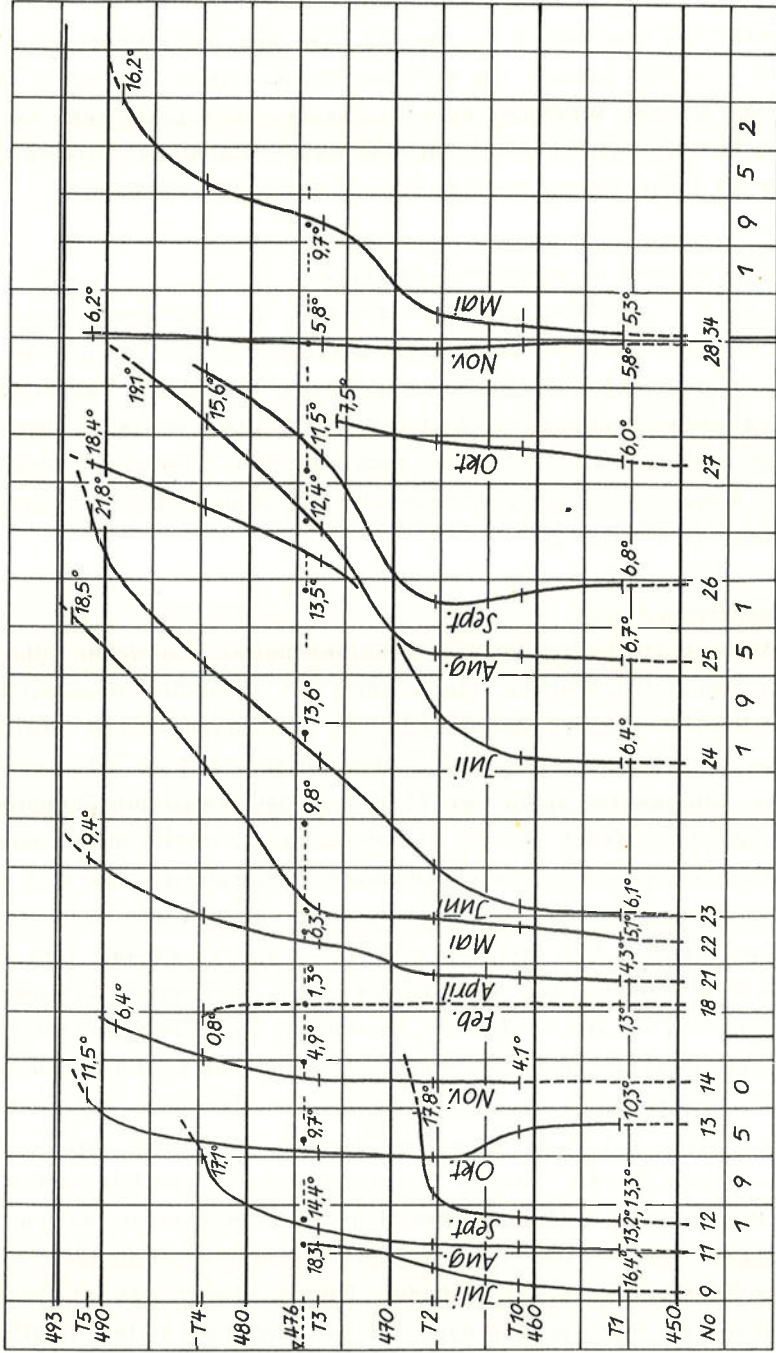


Fig. 6 Die Temperaturschichtung im Stauwasser vor dem Gewölbescheitel  
1950/52

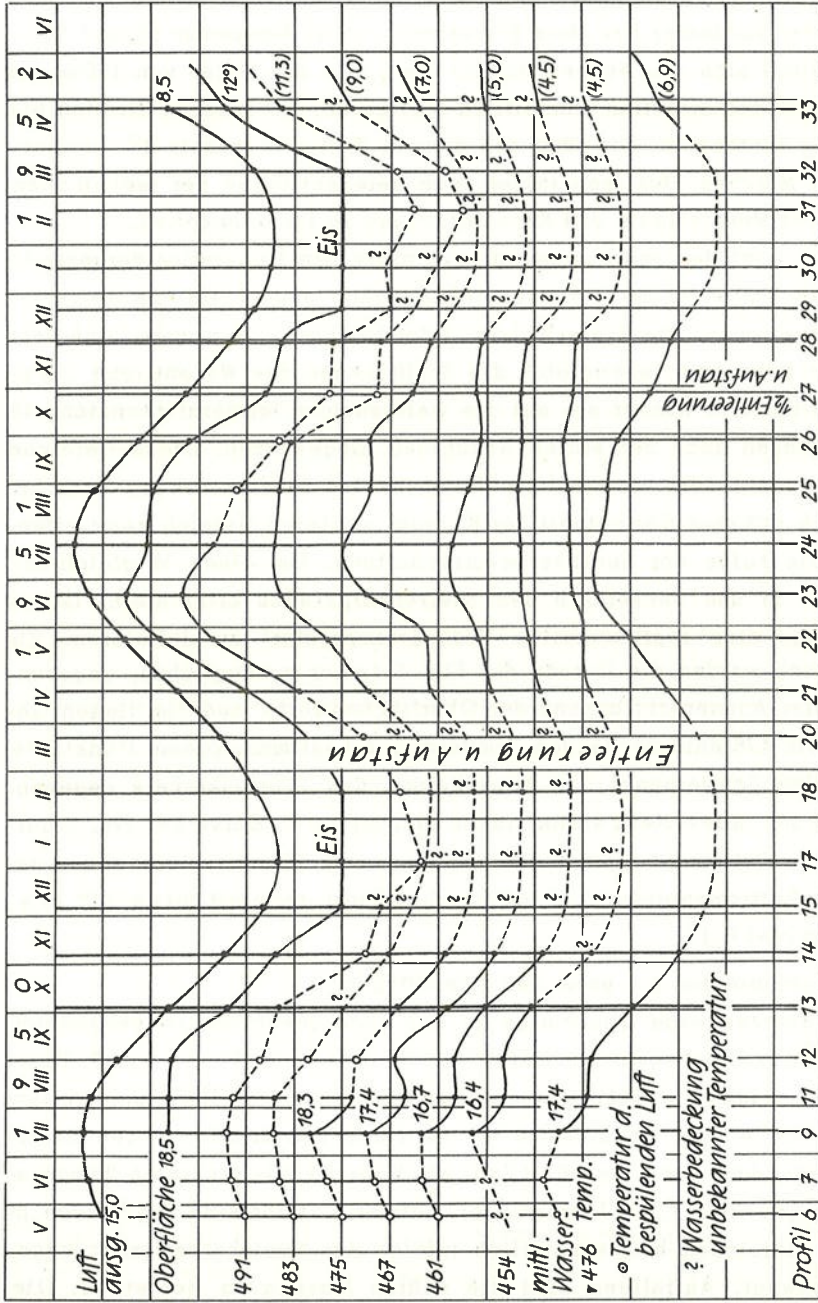


Fig. 7 Jahresgang der Wassertemperaturen vor dem Gewölbescheitel.

Seen (ohne Grundablass!). Zu Winteranfang wird Isothermie (dieselbe Temperatur in der Vertikale) bei etwa  $4^{\circ}$  erreicht - siehe November 50 und 51 - dann aber kühlt sich das Wasser als Ganzes bis in die Tiefen von 100m und mehr je nach der Situation einheitlich weiter ab, in unseren Breiten bis gegen  $1^{\circ}$  zu Winterende. Die über den ganzen Winter konstante  $4^{\circ}$ -Isothermie ist ein Märchen, das man immer noch gelegentlich in der technischen Literatur trotz Meteorologie und Klimaforschung zu lesen bekommt.

In Fig. 7 ist der Jahresgang für die einzelnen Messtellen dargestellt. Eine weitere Kurve ist für die Wasseroberfläche, unabhängig von der Spiegellage, eingetragen. Die Winterlücken in der Beobachtung machen sich sehr unangenehm bemerkbar, wenngleich die Schätzungen das Wesentliche ziemlich treffen dürften. Wieder sei auf die weitgehende Temperaturkonstanz in den tiefen Lagen nach der ersten Abkühlung hingewiesen. Diese Bereiche werden eben nicht mehr von der Umwälzung infolge Windeinwirkung erreicht. Die ungleich stärkere Bewegtheit der Kurven im oberen Bereich zeigt offenbar auch die Folge der Speicherbewirtschaftung. Um einen Vergleich der Verhältnisse in und ausserhalb des Sperrenkörpers zu erleichtern, ist es zweckmässig, eine repräsentative 'Wassertemperatur' zu definieren. Zu diesem Zweck werden die Kurven der Fig. 6 linear ausgeglichen, gegebenenfalls unter Ausserachtlassung der Oberflächenwerte, und die diesen Geraden für Kote 476 entsprechenden Temperaturen bestimmt. Dieser Punkt 476 ist durch den Schwerpunkt der Abwicklung des Sperrenkörpers gegeben. Der Verlauf der 'Wassertemperatur' ist in der untersten Kurve der Fig. 7 dargestellt. Die Extrema zeigen keine nennenswerte Phasenverschiebung gegenüber der Lufttemperatur, sind aber nicht scharf definiert (etwa  $14^{\circ}$  bzw.  $1^{\circ}$ ). Jahresmittel  $8,1^{\circ}$ .

## 5.2. Betontemperaturen 1 m unter den Oberflächen. .

Eine überzeugende Illustration zu den eben geschilderten besonderen Verhältnissen im Stauseewasser liefert der Vergleich der Fig. 8 und 9. Unter der Luftseite zeigen die Betontemperaturen über die ganze Höhe nahezu denselben Verlauf. An der Wasserseite ist die Dämpfung in den unteren Bereichen so stark, dass für Kote 461 (T1a) ab Winter 50/51 praktisch Temperaturkonstanz bei etwa  $7,2^{\circ}$  (Jahresmittel?) eintritt. Dafür sind die Kurven in den oberen Bereichen hier ersichtlich infolge des Speicherbetriebes ungewöhnlich bewegt. Auffallend sind die späten Maxima im Herbst 51. Die Kurve des Mittelwertes (ohne Sommer 50) verläuft zwischen  $3,5^{\circ}$  und  $12,9^{\circ}$ .



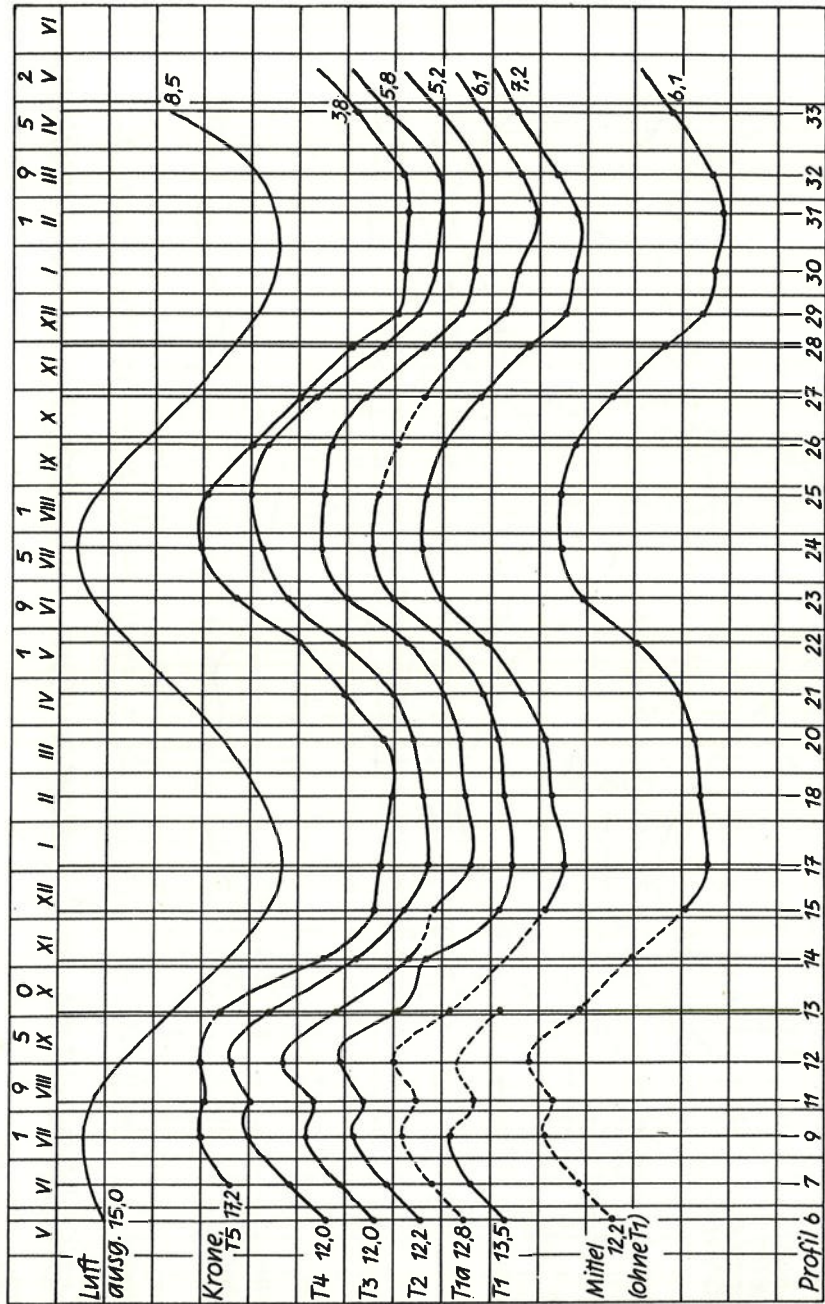


Fig: 8 Jahresgang der Betontemperatur 1m innerhalb der luftseitigen Oberfläche.



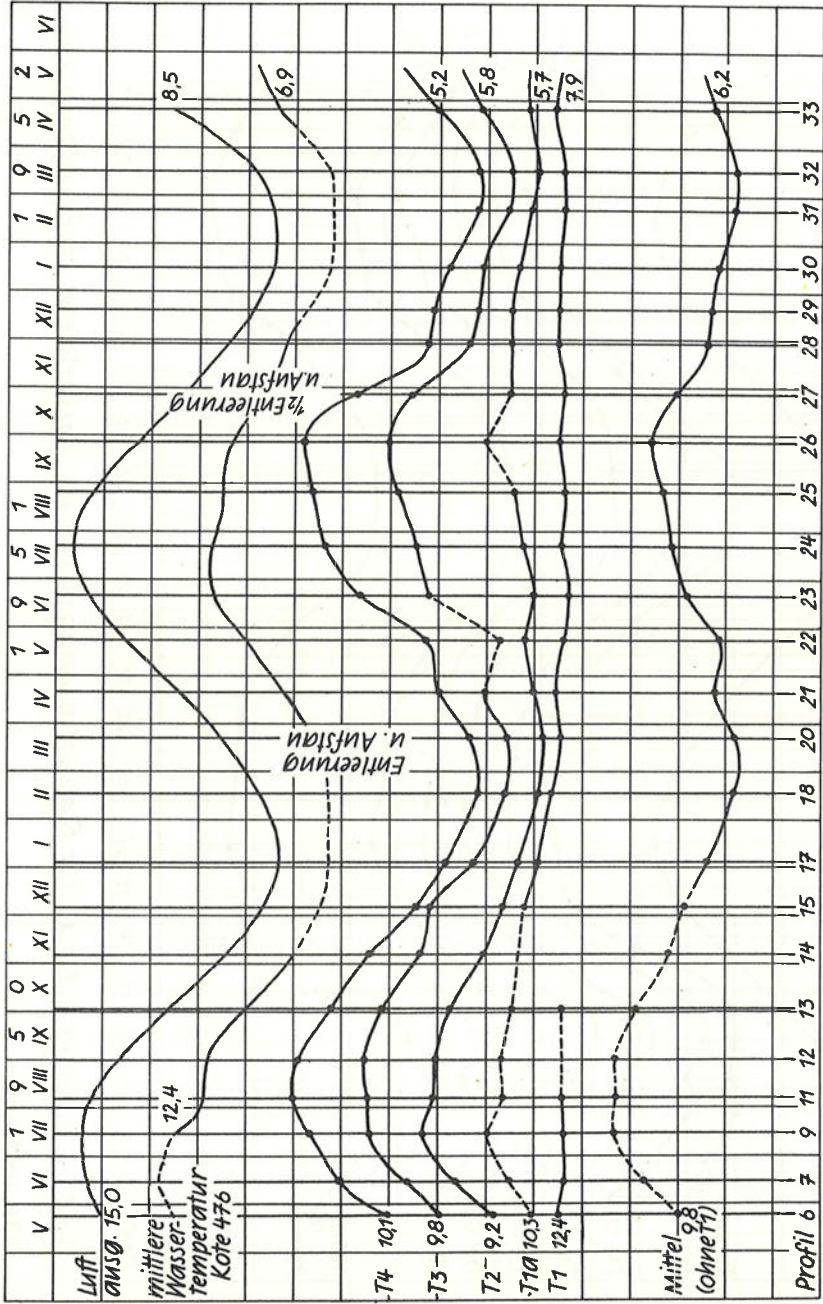


Fig:9 Jahresgang der Betontemperatur 1m innerhalb der wasserseitigen Oberfläche.

Die fallweisen, nicht recht verständlichen Schwankungen in beiden Figuren dürften eher auf gelegentliche Beobachtungsfehler zurückgehen.

Die Kurve der Mittelwerte in Fig. 8 zeigt sehr deutlich die rasche Aufheizung im Mai und Juni und das allmähliche Abklingen des Maximums von Oktober bis Jänner. Sie bewegt sich zwischen  $0,5^{\circ}$  und  $17,3^{\circ}$ ; die Extrema sind gegenüber der Lufttemperatur um etwa 14 Tage verschoben. Die erwähnte starke Aufheizung tritt bei den Kurven T1a und T2 besonders stark in Erscheinung; in der Oberfläche selbst muss der Effekt noch merklich massiver sein, d.h. es dürfte zur Ausbildung eines örtlichen Temperaturmaximums im Bereich von Kote 460 bis 470 kommen, was im Sommerreparaturfall für die etwa notwendige Berieselung von Interesse ist.

### 5.3. Die Temperaturen in Mauermitte.

In der Mauermitte wirken sich die Störungen in den Aussenbedingungen relativ wenig aus, umso merklicher werden Phasenverschiebung und Dämpfung. (Fig. 10). Mittelbildung ist naturgemäss nicht mehr sinnvoll. Die Phasenverschiebung wird etwas willkürlich auf die Lage der Extrema der Lufttemperatur bezogen und für die vier erfassten Zeiträume in Fig. 11 als Funktion der Mauerstärke dargestellt. Sie ist dank der grösseren Amplituden für die oberen Kurven im allgemeinen besser definiert. Möglicherweise liegen die Minima der unteren Bereiche im Frühjahr 51 infolge Abfliessens der restlichen Abbindewärme über den Winter 50 etwas zu spät. Die Störung im Frühjahr 52 ist nicht ohneweiteres erklärbar.

Wesentlicher als die absolute Lage (Bezugswert!) der einzelnen Punkte in Fig. 11 ist die Neigung der verbindenden Linienzüge. Mit Rücksicht auf die mehrfachen Störungen im Ablauf des Geschehens ist kein sehr einheitliches Bild zu erwarten; besser ist die Übereinstimmung im oberen Teil der Mauer (in der Figur links unten). Was an der Streuung in den unteren Mauerbereichen einmalig, bzw. charakteristisch ist, kann wohl erst bei Vorliegen reicherer Materials entschieden werden. So wurde das vorläufige Ergebnis durch eine ausgleichende Gerade zum Ausdruck gebracht, wengleich eine gegen die Zeitachse konvexe Kurve vielleicht besser entspräche. Die Neigung dieser Geraden ist ein Mass für die Geschwindigkeit, mit der die Temperaturwelle in den Mauerkörper eindringt; sie ergibt sich zu  $0,918$  m/Monat. Doch seien diese wie die Dämpfungsverhältnisse einer späteren Untersuchung vorbehalten. Hier sei nur noch bemerkt, dass die Amplitude im Mauer-

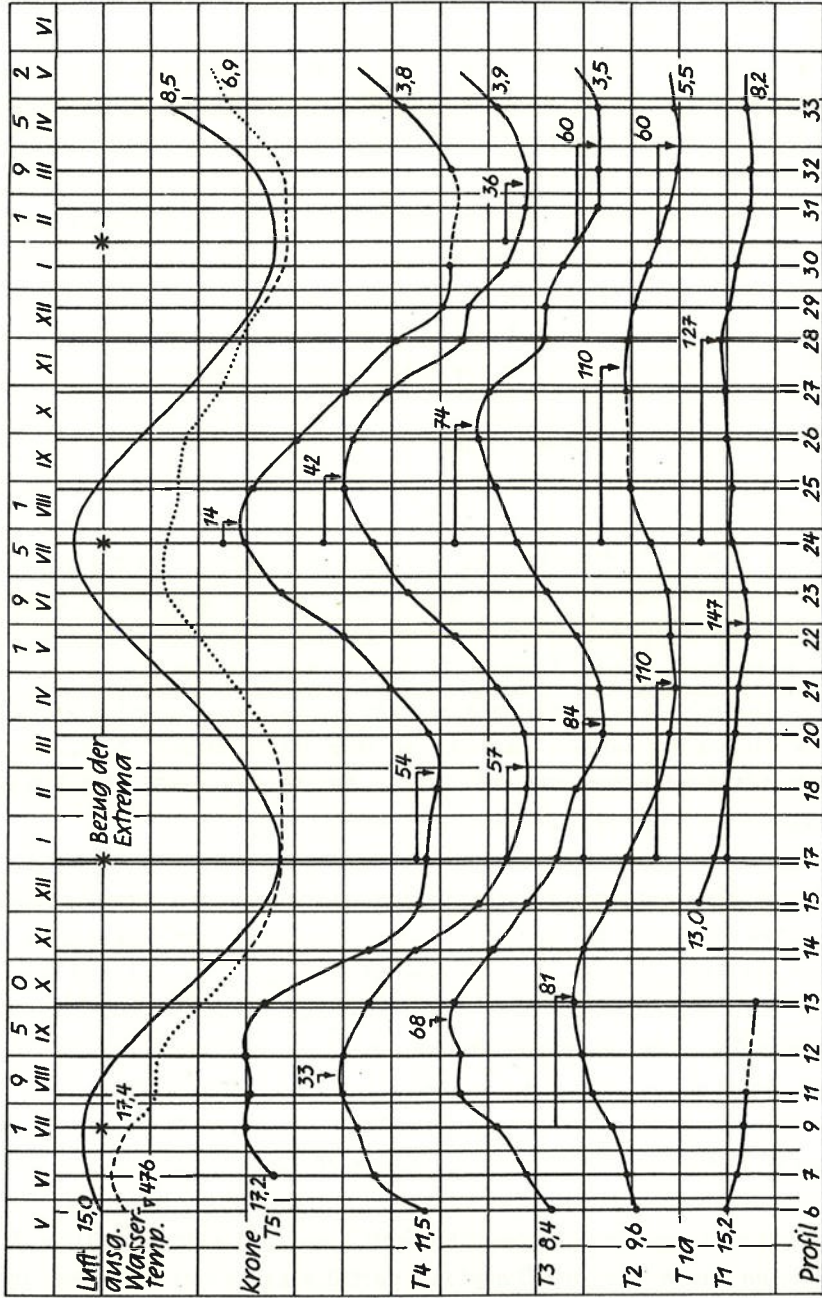


Fig.10 Jahresgang der Betontemperatur in Sperrenmitte.



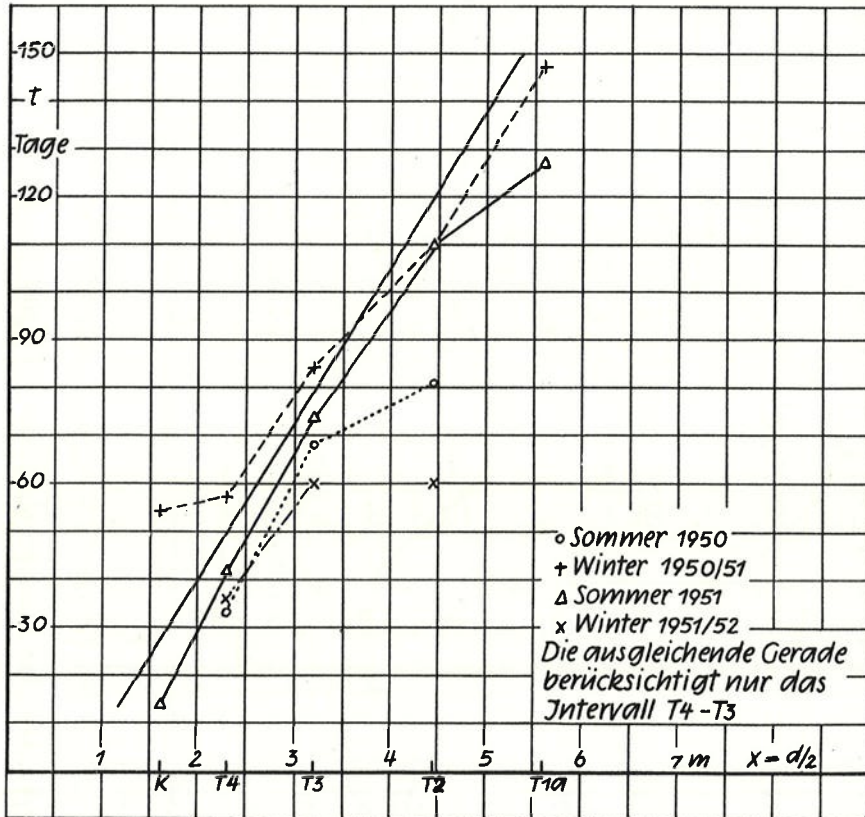


Fig:11 Verschiebung der Temperaturphase in Mauermitte in Abhängigkeit von  $d$ . Mauerstärke  $d$ .



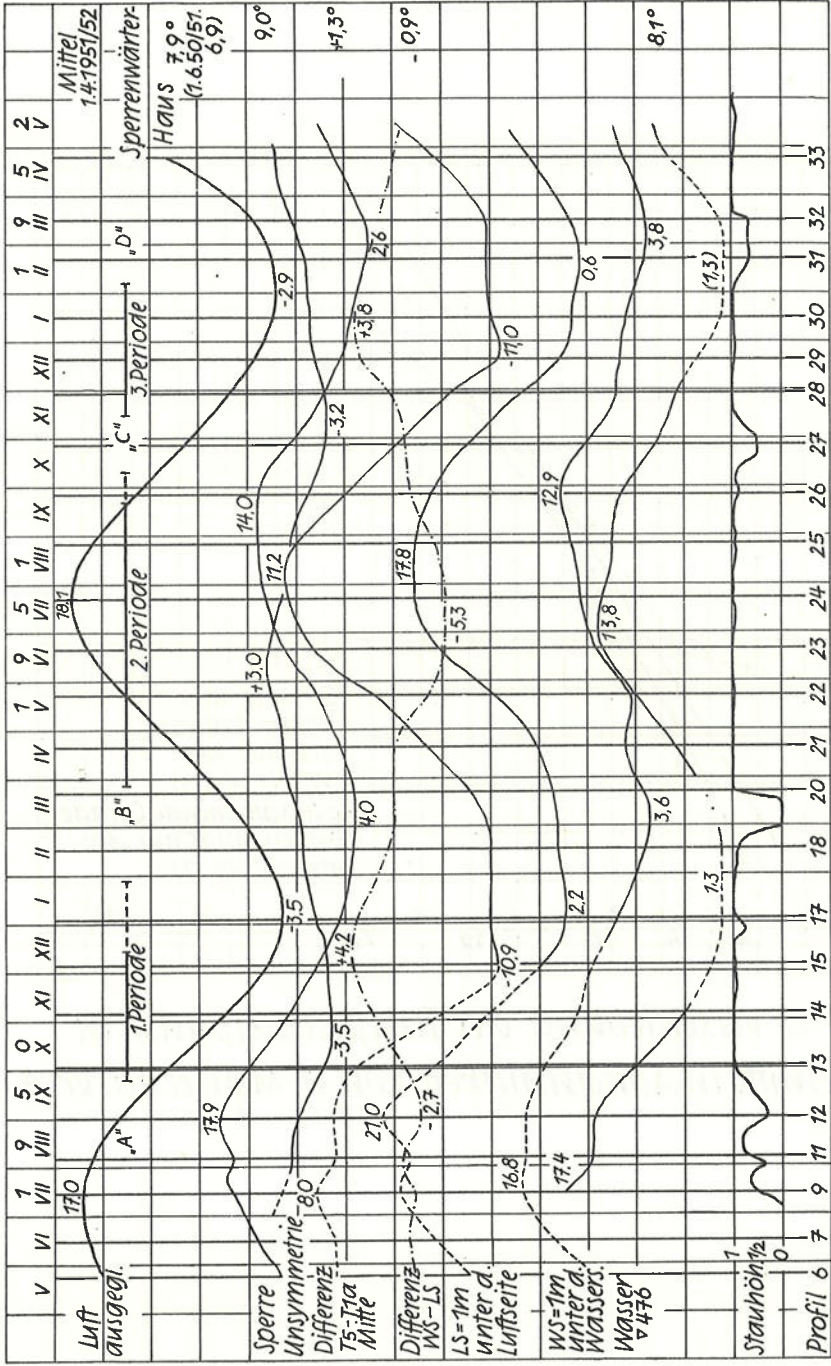


Fig:12 Die Temperaturverhältnisse an der Ranna-Talsperre 1cm~5°

kern auf Kote 471 bereits auf den halben Wert des Mittels zwischen den beiden Aussentemperaturamplituden herabgesetzt ist und für die leider nicht mehr zugängliche Bohrung T1 wahrscheinlich praktisch verschwindet. Daher darf man hoffen, da einmal die Abbindewärme abgeflossen ist, das Temperaturverhalten des Gewölbes aus der laufenden Kenntnis der Verhältnisse über Kote 460 ausreichend zu beschreiben.

Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Fig. 12 nochmals zusammenfassend und in einzelnen Punkten ergänzt dargestellt. Es wurden zusätzlich eingetragen die Differenz der Kerntemperaturen von Krone und Kote 460 sowie die Differenz der Mittelwerte von Wasser- und Luftseite, 1m unter der Oberfläche beobachtet. Diese beiden Kurven zeigen zum Teil eine merkliche Symmetrie und offenbar charakteristische Extrema im Dezember/Jänner bringen weiter aber keine kennzeichnenden Periodizitäten im Temperaturverlauf zum Ausdruck. Schliesslich wurde in der Figur unten noch die Stauhöhe schematisch eingetragen, wobei die wesentlichen Spiegelbewegungen durch die Buchstaben A bis D und die dazwischenliegenden Perioden weitgehend konstanter Staulage am Kopf der Figur gekennzeichnet wurden.

## 6. Die Analyse der Lotanzeige.

Hier liegt nun die eigentliche Aufgabe vor, die schon in Kapitel 3 gekennzeichnet wurde und von unmittelbarstem betrieblichen Interesse ist: nämlich mithilfe der gegebenen bzw. oben definierten Kenngrössen für Stauhöhe und Temperatur aus der einheitlichen Lotangabe die Anteile für Wasser- und Temperaturlast zu isolieren und die zugehörigen Lastkurven festzulegen. Die Untersuchung wird sich hierbei lediglich auf die Radialkomponente  $r$  der Lotanzeige beziehen. Zunächst seien aber noch einige Bemerkungen über den Lot-Tagesgang und über die  $t$ -Komponente vorausgeschickt.

### 6,1 Tagesgang und $t$ -Komponente.

Zur Illustration des mehrfach erwähnten Lot-Tagesganges möge Fig. 13 dienen, in der die Beobachtungen vom Juni 1950 verzeichnet sind. Die jeweils unteren Messpunkte stellen die Morgenablesung, die Zackenspitzen die 16-Uhr-Beobachtung dar. Aus der fast ununterbrochenen Folge derselben lässt sich erkennen, wie ausnehmend schön das Wetter damals war; nur der 14. war völlig, der 23. fast sonnenlos. Ganz ähnlich ist das Ergeb-

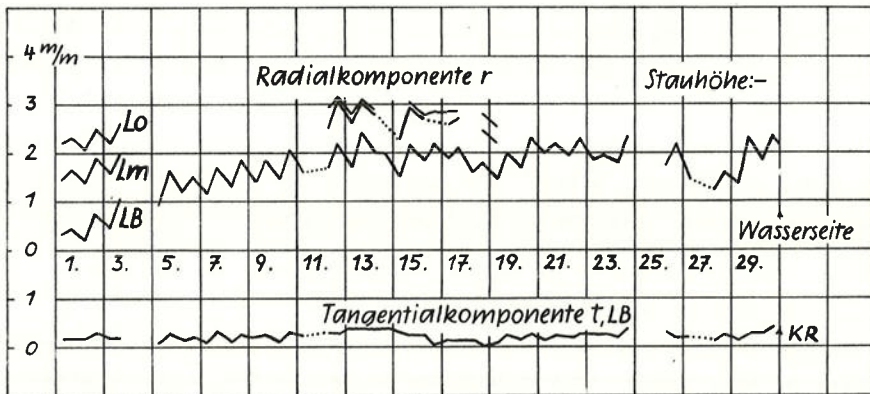


Fig 13: Lotbeobachtungen im Juni 1950, Tagesgang

nis für die oberen Beobachtungsstellen. Die t-Komponente zeigt einen weit ausgeglicheneren Verlauf, tatsächlich überhaupt keine Tagesschwankungen, sondern nur solche über das ganze Jahr hin. Die hier auftretenden Schwankungen, die sich später nicht mehr zeigen, sind nur das Dokument der noch nicht ausreichenden Übung bei der Ablesung im ersten Beobachtungsmontat. Wie schon erwähnt ist die mehr oder minder ausgeprägte Konstanz im T-Wert ein Mass für die Beobachtungsgenauigkeit.

Die Maximalwerte des Tagesganges liegen für das Ranna-Gewölbe bei 1mm, eine jahreszeitliche Abhängigkeit festzustellen ist nicht mit Sicherheit gelungen, wengleich die Maxima in die Zeit der ersten Sommerhälfte zu fallen scheinen.

Der ausgeprägte jahreszeitliche Gang der t-Komponente in der Fig. 14 findet in der Südwest-Orientierung des Gewölbes seine einfache Erklärung. Im Winter erhält nur der orographisch rechte Teil des Bauwerkes hinreichend Sonne, weshalb der Scheitel vermöge der einseitigen Erwärmung nach links (KL) gedrängt wird; im Sommer kann dank der entsprechenden Bestrahlung auch der linken Gewölbehälfte die Symmetrie einigermaßen hergestellt werden. Der Jahresgang umfasst etwa 1,5mm. Der jähe Sprung im März 1951 steht mit der Fugenauspressung im Zusammenhang und wird später noch Erwähnung finden. Der normale Verlauf der Monatsmittel ist glatt, wie es die Kurve abgesehen von der erwähnten Stelle auch zeigt. Die Phase ist im Sommer gegenüber der Lufttemperatur um etwa 6 Wochen nach-, im Winter um 2 bis 3 Wochen vorverschoben, womit sich ein allmählicher Anstieg der Kurve im Frühjahr und ein rascher Rückgang im Herbst ergibt. Die Kurve ist aus den Monatsmittelwerten abgeleitet.

#### 6,2. Die Lotbahn auf Kote 461.

Neben der Untersuchung des Ganges der Lotkomponenten ist es zweckmässig, sich ein anschauliches Bild der vollständigen Lotbewegung zu beschaffen, die Spur etwa, die das Lotgewicht mithilfe eines achsial angebrachten Schreibstiftes in ein horizontiertes und zum Gewölberadius orientiertes Koordinatensystem eintragen würde. Ein solches Bild wäre höchst unklar, weil die Spur sich vielfach überkreuzen und überdecken und eine Unsymmetrie in Richtung der Gewölbetangente zuwenig aufgelöst würde. Eine deutlichere Darstellung wurde daher auf folgende Weise in der 'Lotbahn' der Fig. 15 erreicht: Aus dem Verlauf der Kurve der Radialkomponente der Fig. 5 wurden die markanten Punkte ausgewählt und, durch Datum und



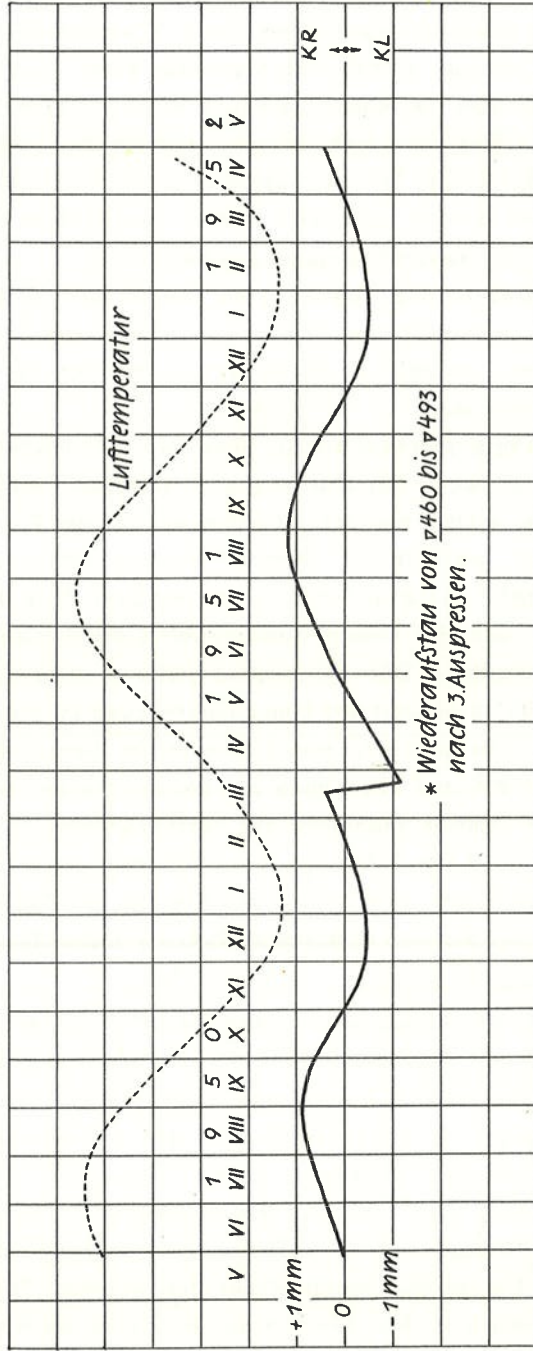


Fig:14 Der jahreszeitliche Gang in der t-Komponente.

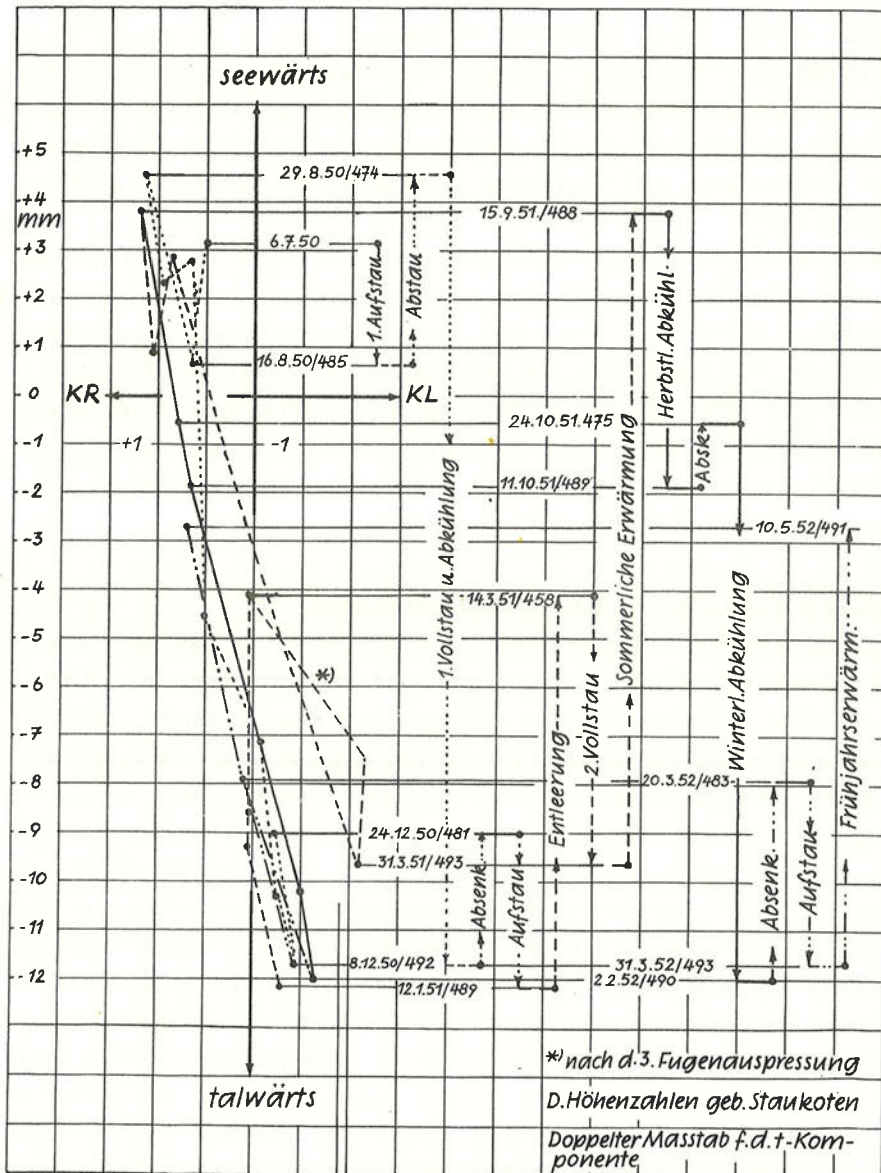


Fig:15 Die Lotbahn auf Kote 461

und Stauhöhe gekennzeichnet, in das  $r, t$ -Koordinatensystem der Fig. 15 eingetragen, wobei für die  $t$ -Komponente (KR-KL) der doppelte Masstab verwendet wurde. Diese markanten Punkte sind nun in zeitlicher Folge durch Gerade verbunden, wobei verschiedene Phasen des Vorganges in der Darstellung unterschieden sind. Im rechten Teil der Figur sind diese Phasen in zeitlicher Reihenfolge von links nach rechts fortschreitend ausdrücklich benannt, sodass eine recht vollständige Bauwerksgeschichte seit Fertigstellung vorliegt.

Die unter (6,1) erwähnte Unsymmetrie tritt im Jahre 1950 (punktierte Linie) erst zögernd in Erscheinung, offenbar eine Folge des besonderen Wärmehaltes im Beton im Jahre des Bauabschlusses (siehe oben). Natürlich muss auch das ungewöhnliche Verhalten vor und nach dem Fugenauspressen im März 1951 und die Rückbildung dieser einmaligen Erscheinung bis zum darauffolgenden Sommer deutlich werden. Die stark exzentrische Lage des Koordinatenursprunges ergibt sich daraus, dass das Lot zu Sommerbeginn bei leerem Becken eingebaut wurde.

### 6,3. Grundsätzliches zur Analyse; das Staudiagramm.

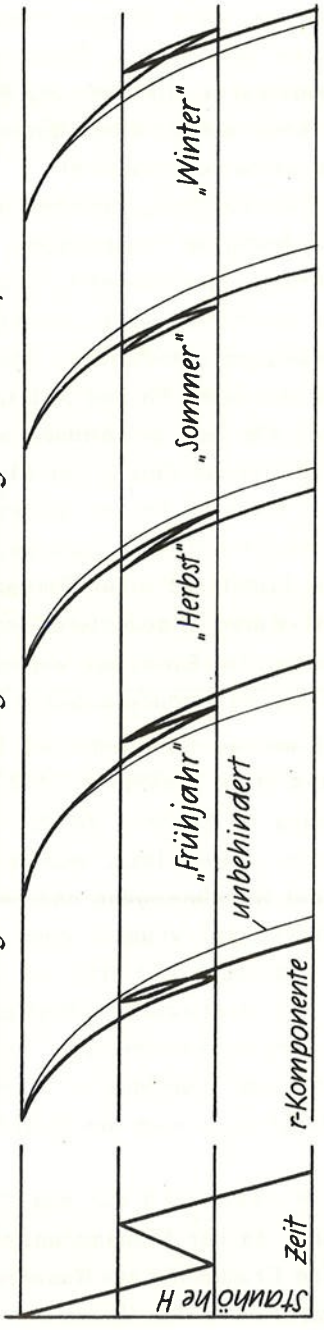
Es handelt sich nun also darum, den stärkeren Einfluss der jahreszeitlich gebundenen Variablen 'Temperatur' und den geringeren der willkürlichen Variablen 'Stauhöhe' auf die Lotkomponente  $r$  zu isolieren. Die Variable 'Temperatur' zerfällt ihrerseits in zwei Komponenten und zwar eine erster Ordnung, die Mauertemperatur  $T$ , und die sicher nachgeordnete 'Ungleichmässigkeit'  $\Delta$ , die man zunächst zweckmässig ausser acht lassen wird, da ihre tatsächliche Rolle erst die Erfahrung lehren muss. Für den Gang der Analyse bieten sich nun zwei verschiedene Wege an. Einmal kann man aus den Beobachtungen Wertetripel mit konstanter Stauhöhe ( $r, H_0, T$ ) herausgreifen und  $r$  als Funktion der Temperatur  $T$  auftragen, um sich so Zugang zur Temperaturlastkurve zu verschaffen. Um eine ausreichende Veränderung von  $T$  zu erfassen, müssen grössere Zeitintervalle herangezogen werden; dann aber ergibt sich notwendig ernste Störung infolge der eben nahegelegten Vernachlässigung des  $\Delta$  die den ganzen Versuch zum Scheitern bringen kann.

Es wird daher besser der Weg über das Staudiagramm eingeschlagen. Man verfolgt messend eine möglichst radikale und kurzfristige Stauspiegelbewegung und trägt das beobachtete  $r$  im sogenannten Staudiagramm als Funktion der Stauhöhe  $H$  auf; der so entstehende Linienzug ist durch die

4. Ausbildung einer Temperaturdiff. infolge  
 a) wärmerer Luft b) wärmeren Wassers

1 Elastische Nachwirkung 2. Erwärmung 3. Abkühlung

a) Senken



b) Stauen

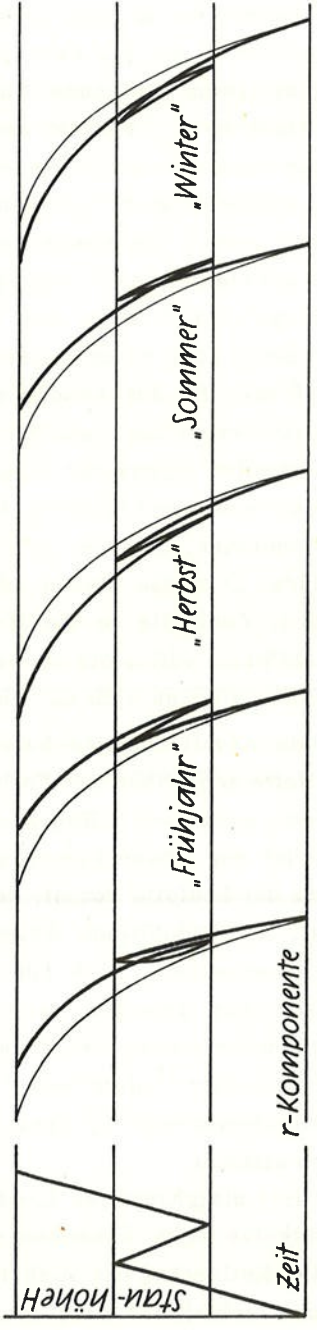


Fig:16 Schematische r-H-Diagramme bei Vorliegen von Nebenbedingungen



stets parallellaufenden Temperaturänderungen jedoch nur in zweiter Linie gestört, sodass der Versuch berechtigt ist, diese Störung herauszukorrigieren, was auch in ein bis zwei Schritten gelingt. Das Ergebnis ist die zu dem Staudiagramm gehörende Wasserlastkurve, die dann zur Reduktion auf gleiche Stauhöhe ( $r_H$ ) benützt werden kann und auf diese Weise im nächsten Schritt die Ableitung einer Temperaturlastkurve ermöglicht.

Es empfiehlt sich in diesem Zusammenhange, zunächst rein formal zu überlegen, welche Veränderung ein ungestörtes Staudiagramm (Wasserlastkurve) durch gleichzeitige Temperaturänderungen oder etwa durch elastische Nachwirkung erfährt. Dies wird noch deutlicher, wenn man sich den Stauvorgang durch eine kürzere Gegenbewegung unterbrochen denkt, wie dies in Fig. 16 oben für das Absenken (a) und unten für das Aufstauen (b) dargestellt ist, wobei die Stauhöhe gegen die Zeit aufgetragen wurde. In den anschliessenden Teilfiguren 1 bis 4 ist nun die Zeit in der Abszisse gegen die  $r$ -Komponente vertauscht und stets dieselbe Wasserlastkurve als dünne Linie eingetragen, der die Grösse  $r$  bei Ausbleiben jeglicher Störung mit wechselnder Stauhöhe folgen müsste (nicht mit einer Biegelinie zu wechseln!). Auch die in der  $H$ -Zeit-Kurve angedeutete Gegenbewegung müsste natürlich völlig auf ihr verlaufen. Bei Einwirken verschiedener Nebeneinflüsse ergeben sich nun aber folgende Veränderungen:

1. Bei elastischer Nachwirkung werden die tatsächlich beobachteten  $r$ -Werte gegenüber den Sollwerten stets nachhinken; bei Beginn des Wiederaufstauens (Gegenbewegung in 1a) wird die Nachwirkung zunächst der Absenkbewegung noch weiterfolgen, wodurch es zu Ansatz der Schleife kommt, dann der Rückbewegung und, wieder verzögert, der endgültigen Abwärtsbewegung, wodurch dann die Schleife voll ausgebildet wird. Für den Aufstau ergibt sich das Analoge, mit dem Effekt, dass bei Vorliegen von elastischer Nachwirkung die Staudiagramme steiler verlaufen als die Wasserlastkurve, der die bei Gegenbewegung entstehenden Schleifen zugekehrt sind. Bei längerem Aufrechterhalten des Stau-Endzustandes wird der Sollwert schliesslich erreicht.

2. Bei gleichzeitiger Erwärmung ('Frühjahr') eilt das Diagramm der Lastkurve beim Absenken voraus, da der Kronenscheitel sowohl infolge Entlastung als auch infolge Erwärmung zur Wasserseite wandert (nach rechts); das Diagramm wird flacher, die Zacke der Gegenbewe-

gung bleibt aufgelöst. Bei Stauen erhält man hingegen eine steilere Kurve, weil die Bewegungskomponenten gegenläufig sind.

3. Für die Abkühlung im 'Herbst' gilt das genau Entgegengesetzte, nun wird die Absenkkurve die steilere.

4. Der Vollständigkeit halber wird noch der Fall angeführt, bei dem an die Stelle des absinkenden Wassers die Bepflügelung der Mauer durch die wärmere (bzw. kältere) Luft tritt. Erwärmung der Wasserseite allein erzeugt im allgemeinen Durchbiegung zur Luftseite, die Absenkkurve wird steiler, die Gegenbewegung erfolgt wieder flacher; unter Umständen kommt es zur Ausbildung der Schleife, die nun aber von der Wasserlastkurve abgewandt sein muss. Analog überlegt man sich die anderen Beispiele unter (4).

Man könnte nun noch eine ganze Reihe komplizierter Kombinationen dieser Fälle untersuchen, was aber praktisch ohne Interesse und auch wenig überschaubar ist, weil es dann schliesslich darauf ankommt, wie stark die einzelnen Nebenerscheinungen beteiligt sind.

Mit Nachdruck sei aber das Folgende hier festgestellt. Man wird nur in den seltensten Fällen Gelegenheit haben, eine Wasserlastkurve direkt zu beobachten; man wird meist nur ein Staudiogramm erhalten, das durch die Überlagerung der Nebeneinflüsse, am häufigsten thermischer, aus jener hervorgeht und nicht unbeträchtlich davon abweichen kann. Diese Staudiogramme werden häufig unmittelbar als charakteristisch für die Beibehaltung oder Änderung der ursprünglichen statischen Eigenschaften eines Gewölbes ausgegeben. Dies ist allenfalls im Grenzfall so kleiner Dimensionen zugänglich, dass die Entleerung oder Füllung des Staubeckens innerhalb eines so kurzen Zeitraumes erfolgen kann, dass sich unterdessen die Temperaturverhältnisse praktisch nicht ändern können. Es ist aber fraglich, ob diese Voraussetzung jemals erreichbar ist, da gerade bei kleinen Objekten das Zurückziehen der Wasserbedeckung und die Wiederbenetzung bereits von merklichen thermischen Effekten gefolgt ist. Das Staudiogramm stellt daher stets nur die unentbehrliche Grundlage für die Ermittlung der Eigenschaften des Sperrkörpers dar, die in der daraus abgeleiteten Wasserlast- und Temperaturlastkurve erst ihren Ausdruck finden

Die nun zu analysierenden Staudiogramme A bis C sind in den Figuren 18 bis 20 dargestellt.

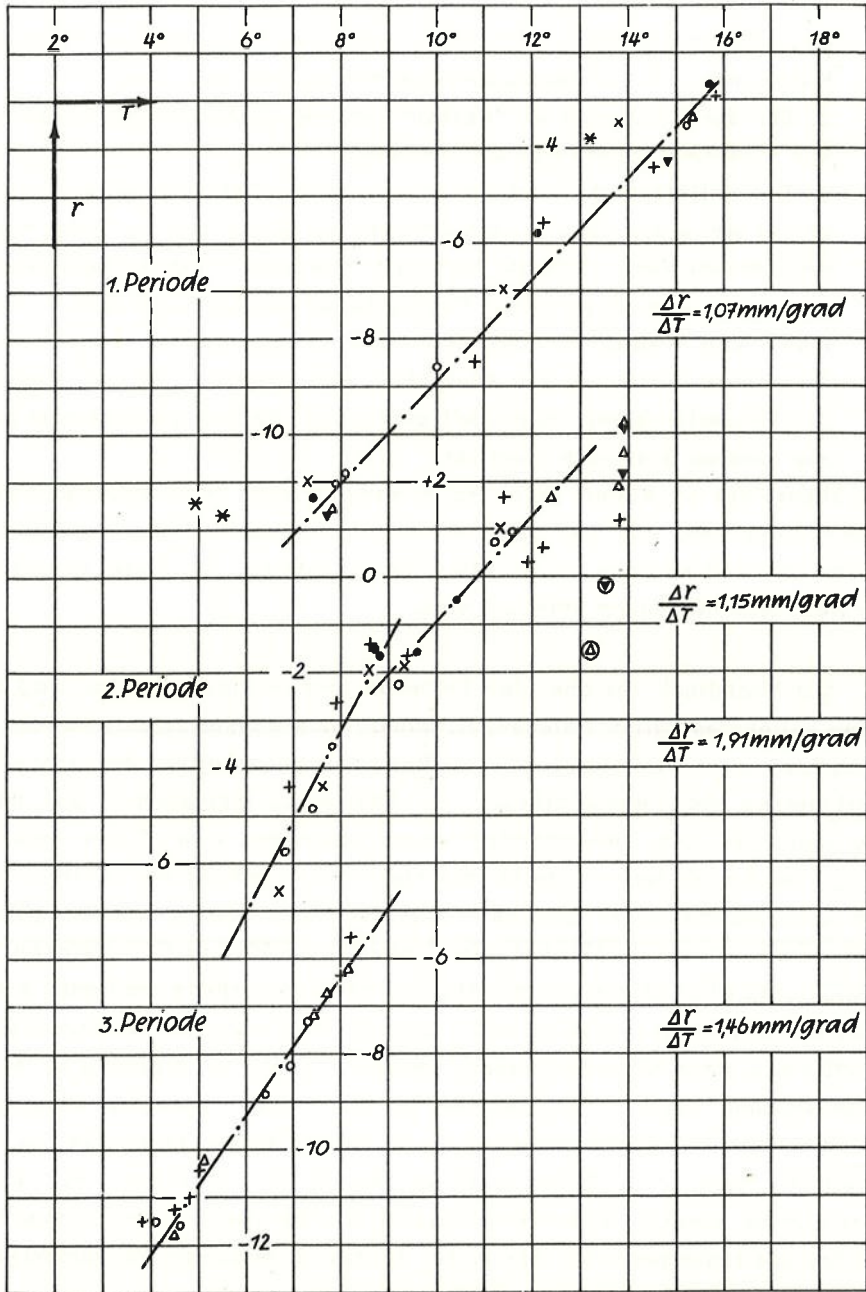


Fig: 17 Zum Temperaturkoeffizienten.

#### 6,4. Näherungsweise Ermittlung des Temperaturkoeffizienten.

Um den Temperatureinfluss im ersten Schritt aus dem Staudiagramm herauskorrigieren zu können, verschafft man sich auf dem in (6,3) eingangs angedeuteten Wege eine erste Orientierung über die Temperaturabhängigkeit. Da bei völliger Entlastung des Gewölbes vom Wasserdruck immerhin mit einer Veränderung ihrer Eigenschaften (einschliesslich Widerlager) gerechnet werden muss, wird hiezu nur der Zeitraum herangezogen, der auf das Staumanöver folgt, laut Fig. 12 für Fall A also die 1. Periode u.s.w. Für jeden Zeitraum wurden Gruppen von Wertetripeln ( $r$ ,  $H_0$ ,  $T$ ) mit konstantem  $H_0$  ausgewählt und die  $r$  als Funktion der Mauertemperatur  $T$  aufgetragen (Fig. 17), wobei Werte derselben Gruppe durch das gleiche Zeichen dargestellt sind. Trotz der fallweise starken Streuung lässt sich der Zusammenhang zwischen  $r$  und  $T$  grob durch ausgleichende Gerade darstellen, auch sieht man, dass das schliessliche Ergebnis eine nach oben konvexe Kurve sein wird. Die Werte für diese erste Abschätzung eines mittleren Staukoeffizienten sind in der Figur rechts eingetragen. Dass einzelne Punkte aus der sonst erkennbaren Gesetzmässigkeit gänzlich herausfallen, findet später mit Einführung der Unsymmetrie  $\Delta$  volle Erklärung.

Der Temperaturkoeffizient ist mithin eine Funktion der Temperatur und liegt nach dem vorläufigen Befund der Fig. 17 für den Bereich von  $T=4^\circ$  bis  $T=16^\circ$  zwischen den Werten 1,9 mm/Grad und 1,1 mm/Grad.

#### 6,5. Die Analyse der Staudiagramme; individuelle Lastkurven.

Der ideale Stauvorgang, wie er zur Ableitung der Wasserlastkurve angestrebt und vom Betrieb stets gefordert werden soll, besteht in einem zügigen und stetigen Abstauen bis zur vollen Entlastung der Mauer und einem ebensolchen Wiederaufstauen, wobei Anfangs- und Endzustand der Vollstau sein soll. Unter diesen Umständen sind die verlässlichsten und am weitesten reichenden Aussagen möglich; jedes Abgehen von diesen Forderungen bringt zwangsläufig Unsicherheiten und Einschränkungen in das Ergebnis.

Diesen Gesichtspunkten scheint das Staudiagramm B, Fig. 19, am ehesten Rechnung zu tragen. Es sei wiederholt: nach (6,3) wird in der Ordinate die jeweilige Stauhöhe  $H$  und in der Abszisse die zugehörige Lotkomponente  $r$  aufgetragen. Zeitlich ist dieses Diagramm von links nach rechts zu lesen, den gebrochenen Linienzügen folgend; die stetigen Kurven



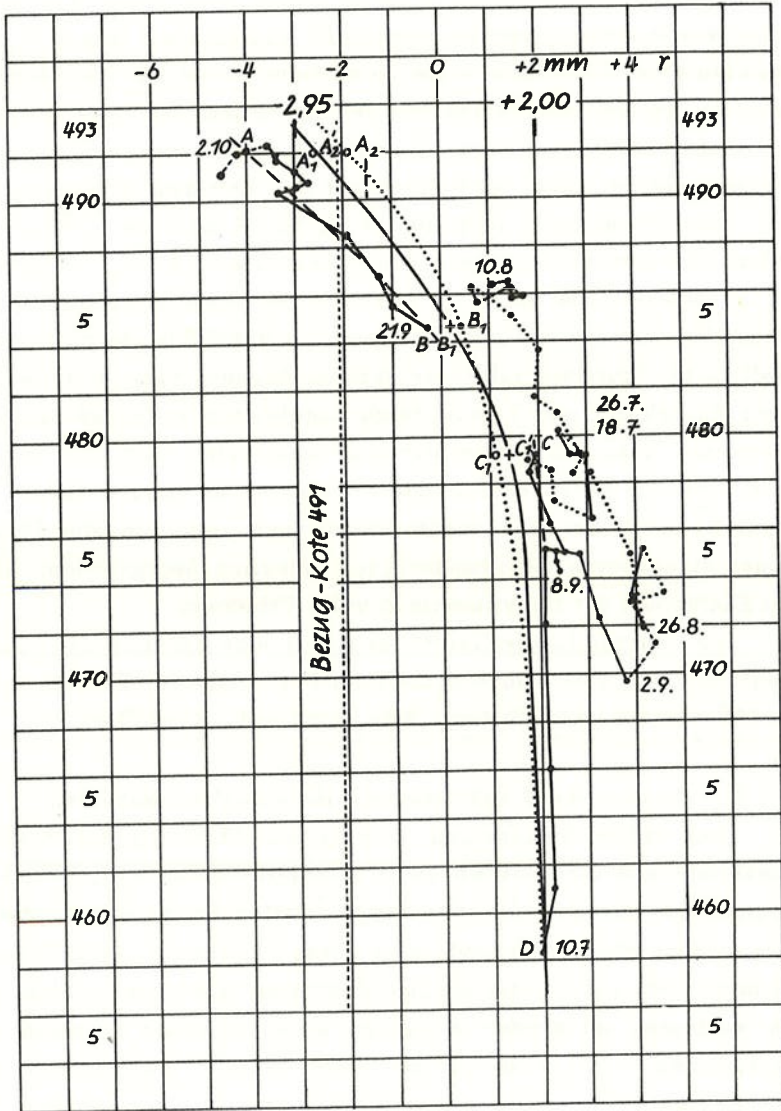


Fig:18 staudiagramm und Wasserlastkurve A.  
VII/X.1950

TABELLE 2

## Charakteristische Daten der Staudiagramme

Datum	Charakt. Punkt-Symbol	Stauhöhe H	Lufttemperaturmtl.	Wassertemp. ausg.	r - Komponente	Mauertemp. T	Änderung in T	Temperaturanteil in r	Anteil in r laut voll. Lastkurve	Verschiebung	Nebenbedingung laut Fig. 16	verw. T - Profile	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
C 1951													
8.10.	D	490,0	9,6°	10,3°	-1,45	13,3°	-2,5°	1,2 mm/Grad	-3,0	-1,75	D→A <sub>1</sub>	α3	
27.10.	C	474,5	6,3°	8,0°	-0,55	10,8°			0,40	BC→C <sub>1</sub>		<u>27</u>	
31.10.	B	475,2	5,8°	7,6°	-1,10	10,3°	-2,1°		+2,5	+1,90	A→A <sub>1</sub>	b3	
17.11.	A	490,3	3,4°	6,5°	-5,35	8,2°						<u>30</u>	
A 1950													
10.7.	D	458,3	17,0°	(17,0°)	+2,00	16,2°	+0,7°	1,1 mm/Grad	+0,8	+0,55	C→C <sub>1</sub>	b2	
18.7.	C	479,3	16,9°	16,9°	+1,95	16,9°							<u>12</u> <u>17</u>
2.9.		469,6	13,2°	14,2°	+3,80	17,9°							
4.9.		475,0	12,8°	14,1°	+2,85	17,8°	-0,6°		-0,7	-0,45	B→B <sub>1</sub> A <sub>1</sub> →A <sub>2</sub>	(b4b)	
21.9.	B	484,6	10,2°	11,9°	-0,30	16,3°	-1,3°		-1,4	-1,05	A→A <sub>1</sub>	b3	
2.10	A	492,1	8,3°	10,0°	-4,00	15,0°							
B 1951													
20.1.	A	490,2	-3,2°	(1,3°)	-11,75	4,9°		- *) -	A/C (-1,50)			<u>19</u> <u>26</u>	
11.2.	B	484,2	-1,7°	(1,3°)	-9,25	4,3°	-0,9°						α3
21.2.		484,8	-0,4°	(1,3°)	-9,10	4,1°							
1.3.	C	458,5	+0,2°	(0,2°)	-5,40	4,0°	0				0		
14.3.	D	458,5	+1,7°	(1,7°)	-4,10	4,0°	0				0		b
20.3.	E	490,2	+2,5°	(3,5°)	-7,65	4,0°	+0,3°		-0,45	F→F'	b3		
24.3.	F	493,1	+3,1°	(3,5°)	-8,85	4,3°							

\*) 5. - 8. III. - 3. Fugenauspressung  
12. - 17. III. - Nachinjektion

stellen schon Ergebnisse der Analyse oder ihre Schritte dar. Jedes Diagramm ist durch eine Reihe markanter Punkte charakterisiert, in diesem Falle Punkt A, mit dem der Abstau beginnt, bei B tritt eine Unterbrechung der Absenkung ein, in C wird der tiefste Punkt erreicht (völlige Entleerung) in D setzt der Aufstau ein und in F wird das Stauziel erreicht. Jedem dieser Punkte sind nun ausser H und r eine Reihe von Temperaturwerten zugeordnet, die man aus dem in Kapitel 5 zusammengestellten Material, etwa aus den Kurven der Fig. 5 und 12 entnimmt; sie sind in Tab. 2 für alle drei Fälle A bis C zusammengestellt und ermöglichen die Entscheidung, welcher der schematischen Vorgänge der Fig. 16 vorliegt (Spalte 11). Die Änderungen (Spalte 7) der Sperrentemperatur T (Spalte 6) können nun mithilfe der angenäherten Temperaturkoeffizienten der Fig. 17 in die Temperaturanteile der Lotkomponente r (Spalte 8) umgerechnet und als Korrekturen für die weitere Analyse des Staudiagramms verwendet werden. Gelingt es auf diese Weise, den gesamten Temperatureinfluss herauszukorrigieren und bezieht man dabei - etwa im angezogenen Beispiel des Falles B - alle Temperaturdifferenzen auf einen Punkt, der zeitlich gesehen genau zwischen den Punkten C und D liegt, dann müssten die beiden Wasserlastkurven (H-Kurven), die sich aus dem Absenk- bzw. Aufstaudiagramm ergeben, zusammenfallen und durch eben diesen Punkt zwischen C und D gehen. Dies gilt nun zwar für Fall C, in dem die Bereiche unter  $H=475$  leider nicht erfasst wurden, nicht aber für Fall B, da in der Zeit zwischen den Punkten C und D die dritte Fugenauspressung erfolgte, die beiden Teildiagramme daher verschiedenen Bauzuständen des Gewölbes entsprechen, die nicht ohneweiters miteinander kombiniert werden dürfen. Im Folgenden werden nun die einzelnen Fälle analysiert.

#### 6,51. Fall C.

Dieser Fall soll als der durchsichtigste an erster Stelle behandelt werden. Das Diagramm (Fig. 20) ist bei spätherbstlicher Abkühlung der Mauer entstanden und daher zeitlich von rechts nach links zu lesen. Zunächst werden die beiden Teildiagramme graphisch ausgeglichen (strichlierte Kurven), womit man zugleich die charakteristischen Punkte A bis D erhält, die man tunlichst auf korrespondierende Niveaus legt. Da durchgehend Beispiel 3 aus Fig. 16 vorliegt, verläuft die Absenkkurve steiler, die Aufstaukurve flacher als die gesuchte H-Kurve. Der Temperaturrück-

TABELLE 3

Die Reduktion von r auf H = 491 und T = 9,0°.

Angaben				1. Näherung				Endgiltige Werte			
No	T	H	r	h	r <sub>H</sub>	t	r <sub>H, T, 1</sub>	h	r <sub>H</sub>	t	r <sub>H, T, 1</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	5α	6α	7α	8α
Gruppe C											
27	10,7	474,5	-0,55	-3,65	-4,20	-1,45	-5,65	-3,25	-3,80	-1,65	-5,45
28	7,2	491,1	-7,60	+0,05	-7,55	+1,90	-5,65	+0,05	-7,55	+2,05	-5,40
29	5,6	491,5	-10,20	+0,20	-10,00	+3,90	-6,10	+0,20	-10,00	+4,25	-5,75
30	4,4	491,7	-11,35	+0,30	-11,05	+5,70	-5,35	+0,30	-11,05	+5,90	-5,15
Gruppe A											
12	17,9	471,2	+1,05	-3,15	-2,10	-7,65	-9,85	-3,90	-2,85	-7,00	-9,85
13	15,1	492,0	-4,20	+0,40	-3,80	-5,35	-9,15	+0,40	-3,80	-5,25	-9,05
14	10,9	490,5	-7,85	-0,20	-8,05	-1,85	-9,90	-0,25	-8,10	-1,85	-9,95
15	7,7	492,3	-11,05	+0,55	-10,50	+1,40	-9,10	+0,55	-10,50	+1,45	-9,05
16	6,6	(485)	-10,65	-1,80	-12,45	+2,70	-9,75	-2,20	-12,85	+2,90	-9,95
17	5,7	486,5	-11,45	-1,50	-12,95	+3,85	-9,10	-1,70	-13,15	+4,15	-9,00
Gruppe B											
19	4,0	458,5	-5,25					-3,90	-9,15	+6,25	-2,70
20	4,0	490,2	-7,65					-0,35	-8,00	+6,25	-1,55
21	5,7	492,4	-6,80					+0,70	-6,10	+3,95	-2,15
22	7,7	492,5	-3,55					+0,75	-2,80	+1,40	-1,40
23	11,2	492,6	+0,95					+0,80	+1,75	-1,70	+0,05
25	13,8	490,5	+0,90					-0,25	+0,65	-3,30	-2,65
26	13,8	485,5	+1,60					-2,00	-0,40	-3,30	-3,70



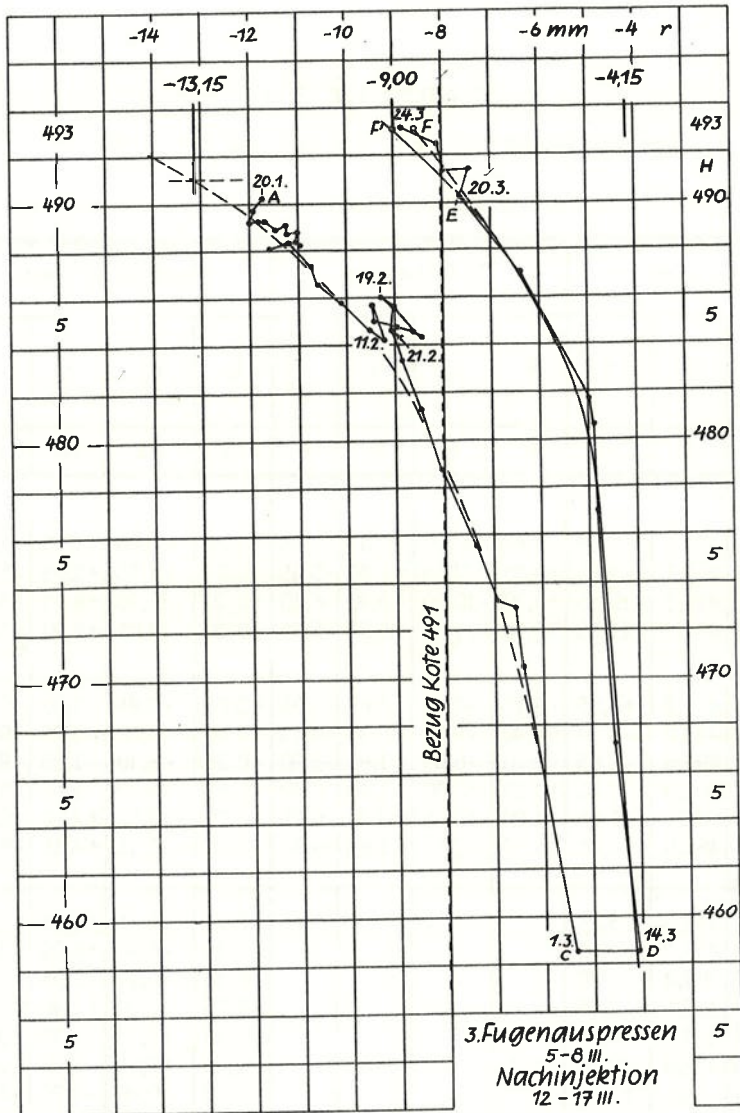


Fig:19  
 Staudiagramm und Wasserlastkurve B  
 I./III.51.

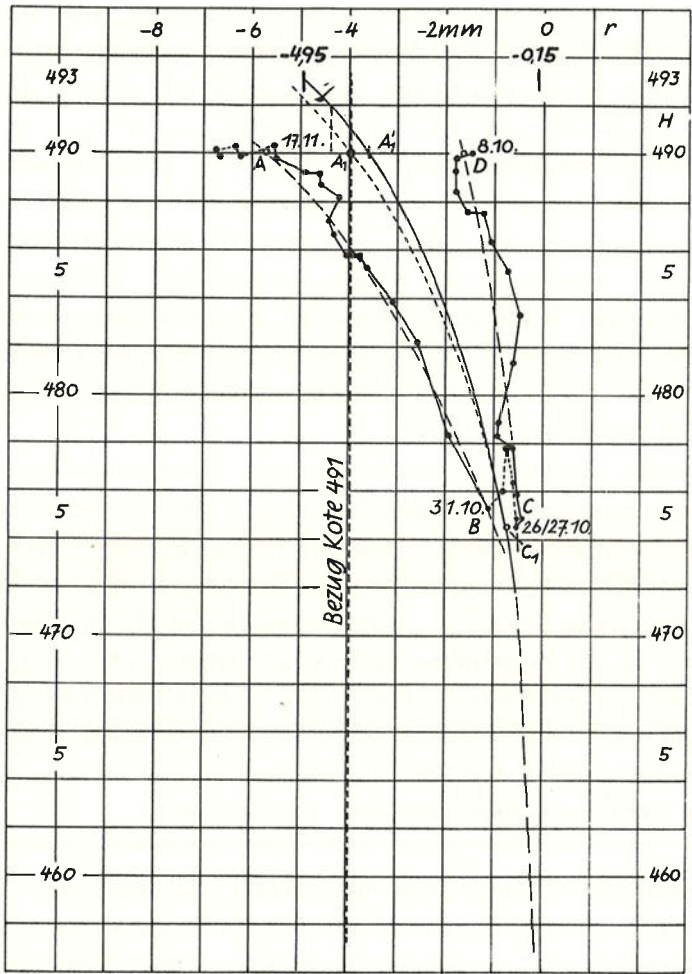


Fig:20  
 Staudiagramm und Wasserlastkurve C.  
 X./ XI. 1951

gang von D bis C beträgt  $2,5^\circ$ , von B bis A nur  $2,1^\circ$  und kann im betrachteten Zeitraum als linear bezeichnet werden. Auf C, bzw. B bezogen, hat man dann die beiden Kurven so zu neigen, bzw. aufzurichten, dass Punkt D um 3,0 mm nach links, Punkt A um 2,5 mm nach rechts rückt; hierauf sind beide Äste soweit parallel zu verschieben, dass sie durch  $C_1$  gehen, das auf der Höhe von C genau zwischen den beiden strichlierten Kurven liegt, womit der Bezug auf die Mitteltemperatur zwischen C und D hergestellt ist. Nun liegen die Punkte A und D um 4,1 mm auseinander, die beiden Korrekturwerte ergeben zusammen aber 5,5 mm, offenbar, weil ein zu grosser Temperaturkoeffizient (1,2 mm/Grad) oder besser, weil ein Koeffizient anstelle der erst zu ermittelnden Temperaturlastkurve (T-Kurve) verwendet wurde. Man wird daher die Strecke von 4,1 mm einfach im Verhältnis 2,5 : 3,0 teilen und dieses Verhältnis bis  $C_1$  auf 1 : 1 linear wachsen lassen. So erhält man die punktierte, vorläufige H-Kurve.

Nun werden die zeitlich anschliessenden Temperaturprofile 27 bis 30 herangezogen, deren charakteristische Daten in Tab. 3 verzeichnet sind, und auf Grund der angegebenen Stauhöhen H die Lotwerte r über die eben gewonnene vorläufige H-Kurve auf gleiche Stauhöhe  $H=491$  reduziert: Korrekturen h, reduzierte Werte  $r_H$ . Letztere werden nun als Funktion der Temperatur T in Fig. 21 aufgetragen und die vorläufige T-Kurve hindurchgelegt (strichliert, eingeringelte Punkte\*); nun ist auch Reduktion auf gleiche Sperrtemperatur  $T=9,0^\circ$  möglich (Korrekturen t und reduzierte Lotlagen  $r_{H,T,1}$  in Spalte 7 und 8 der Tab. 3, gewonnen an den individuellen Lastkurven). Die Werte schwanken zwischen -5,35 und -6,10.

Die vorläufige T-Kurve wird nun benützt, um den ganzen Analysevorgang nochmals zu wiederholen, wobei nun die Temperaturanteile, Spalte 9 in Tab. 2, mittels der T-Werte der Spalte 6 zu interpolieren sind. So ergibt sich die vollausgezogene H-Kurve in Fig. 20, zunächst zwischen  $A_1$  und  $C_1$ , die dann später in Anlehnung an die beiden anderen Kurven A und B unter Berücksichtigung der Neigungsverhältnisse nach oben mit grösserer, nach unten mit geringerer Sicherheit extrapoliert wird. Es folgt neuerdings Reduktion auf  $H=491$ , Ableitung der endgültigen T-Kurve (voll ausgezogen, angekreuzte Punkte) und Reduktion auf  $T=9^\circ$ . Die Werte  $r_{H,T,1}$  liegen zwischen -5,75 und -5,15, der obere Teil der T-Kurve ist natürlich ganz unsicher, da Messpunkte fehlen.

\* Zweite Kurve von unten.

6,52. Fall A.

Das Diagramm A stellt den ersten vollen Aufstau dar und ist als aufsteigender Ast von rechts nach links zu lesen. Der Vorgang lief nicht in einem Zuge ab, wurde vielmehr mehrfach durch Gegenbewegungen des Stauspiegels unterbrochen und über 3 Monate (!) erstreckt. Aufwärtsbewegungen wurden vollausgezogen, Abwärtsbewegungen punktiert dargestellt. Zunächst zügiges Aufsteigen von D bis C mit einer Zacke nach rechts bei Kote 475, von C (18.7.) Absenken und kurzer Wiederanstieg bis 26.7.; dann fielen die Beobachtungen infolge einer Störung aus und setzten erst am 10.8. mit  $H=486,3$  wieder ein. Von dort geht es, teils zögernd, bis 2.9. herunter auf Kote 469,6 mit anschliessendem Wiederanstieg bis 8.9.,  $H=474,3$ . Nach einer neuerlichen Unterbrechung der Beobachtungen bis 21.9. führt das Diagramm schliesslich zügig von B (484,6) bis auf Kote 492 (A). Im Hinblick auf einige Unsicherheiten im mittleren Teil schien es geboten, nur die beiden Teilstücke D bis C und B bis A heranzuziehen. Der Anstieg D bis C erfolgt bei Temperaturzunahme, das Diagramm ist daher steiler als die H-Kurve und muss durch Verschieben von C nach  $C_1$  um den Temperaturanteil in  $r$  von 0,8 mm geneigt werden. Von B bis A fällt die Temperatur  $T$  um  $1,3^\circ$ , die strichlierte Ersatzkurve ist durch Verschieben von A um den äquivalenten Betrag von 1,4 mm nach  $A_1$  aufzurichten. Damit liegen von der vorläufigen H-Kurve, bei deren weiterer Verwendung es auf die Gestalt und auf die Orientierung zur H-Achse, nicht aber zur  $r$ -Achse ankommt, zwei Teilstücke  $DC_1$  und  $BA_1$  vor, die durch einen Zeitraum von zwei Monaten mit dem noch ungeklärten Durchlaufen des Sommermaximums getrennt sind. Es bleibt wohl kein anderer Weg, als einen der beiden Teile in der  $r$ -Richtung soweit parallel zu verschieben, als es dem Temperaturabfall von C nach B entspricht (B nach  $B_1 = A_1$  nach  $A_2$ ). Die vorläufige H-Kurve läuft dann durch D,  $C_1$ ,  $B_1$  und  $A_2$ .

Der weitere Gang der Analyse vollzieht sich genau wie in Fall C. Es werden die Profile 12 bis 17 herangezogen, mittels der H-Kurve auf gleiche Stauhöhe reduziert (Tab. 3), die  $r_H$  in Fig. 21 unten als Funktion von  $T$  eingetragen (geringelte Punkte) und die vorläufige T-Kurve eingezeichnet. Mit ihrer Hilfe gewinnt man verlässlichere Werte für die Temperaturanteile in  $r$  (Übergang von Spalte 8 auf 9 in Tab. 2) und damit die Kurvenpunkte  $C'_1$ ,  $B'_1$  und  $A'_2$ , durch die die endgültige H-Kurve zu legen ist. Mit neuerlicher Reduktion in Tab. 3 erhält man die T-Kurve (Kreuze) und schliesslich  $r_{HT1}$ , das im Mittel bei -9,48 liegt.



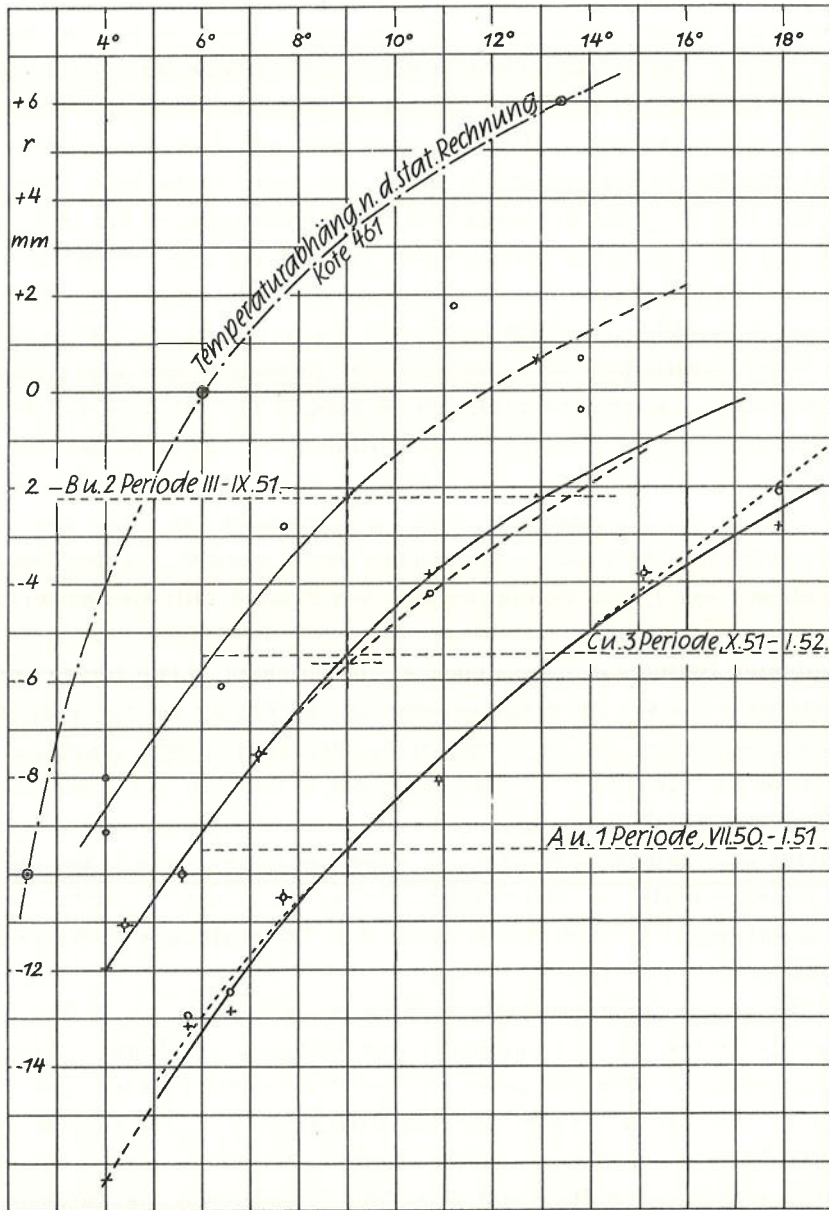


Fig:21 Die Temperaturlastkurven

### 6,53. Fall B.

Dieses Diagramm ist auch zeitlich von links nach rechts zu lesen: Abstauen von A nach C bis zur völligen Entleerung bei gleichzeitiger Abkühlung um  $0,9^{\circ}$ , Fugenauspressen zwischen C und D im Jahresminimum der Mauertemperatur bei  $4,0^{\circ}$  und Aufstauen in einem Zuge bis F, Kote 493, wobei lediglich zwischen E und F eine Temperaturzunahme von  $0,3^{\circ}$  parallelgeht. Der Zweig DF stellt also die H-Kurve nach dem Fugenschluss dar, wenn man noch F nach F' rückt, wobei für die Temperaturreduktion ein Mittelwert aus den beiden T-Kurven A und C verwendet wurde. Unter Heranziehen der Temperaturprofile 19 bis 26 ergibt sich die T-Kurve (2. Kurve von oben in Fig. 21) und die Werte  $r_{HT1}$  in Tab. 3.

Die strichlierte Kurve in Fig. 19 stellt den bereits temperaturkorrigierten, linken Ast des Diagrammes dar, der, wie man sofort übersieht, mit dem rechten nicht in Einklang zu bringen ist. Ferner sei betont: die Streuung an der T-Kurve für Fall B ebenso wie der reduzierten Werte  $r_{HT1}$  ist beträchtlich, etwa  $\pm 1,4$  mm. Die reduzierten Lotlagen ( $H=491$ ,  $T=9,0^{\circ}$ )  $r_{HT1}$  liegen für die Fälle A bis C bei -9,5 bzw. -2,2 und -5,4. Alle diese Diskrepanzen seien der späteren Erörterung vorbehalten.

Zum Vergleich wurden in Fig. 21 noch die Temperatur-Durchbiegungen der statischen Berechnung, auf die formale Fugenschlusstemperatur von  $6^{\circ}$  bezogen, eingetragen und durch die strich-punktierte Kurve verbunden; ihre Gestalt ist oberhalb  $6^{\circ}$  mit dem praktischen Befund wohl verträglich, weicht aber bei tieferen Temperaturen beträchtlich ab.

### 6,6. Allgemeine Lastkurven.

Die abgeleiteten individuellen Lastkurven sind untereinander soweit ähnlich, dass man es wagen kann, graphisch zu mitteln. Die zusammengehörigen Tripel wurden in Fig. 22 durch Parallelverschieben in der Richtung von r untereinander möglichst zur Deckung gebracht; die T-Kurven so, dass vor allem die gesicherten unteren Teile berücksichtigt wurden. Die Streuung im oberen Teil ist vermutlich nicht reell, sondern rührt daher, dass diese Kurven dort durchwegs schlecht definiert waren, sodass die Mittelwertbildung sinnvoll ist (starkausgezogene Kurven). Für die H-Kurven entnimmt man schon den Fig. 18 bis 20, dass ihr Wertebereich in r nahezu identisch ist, nämlich im Durchschnitt 4,87 mm zwischen den Koten 458 und 493. Die Streuung ist über die ganze Länge ziemlich gleichmässig. Ob der durch die

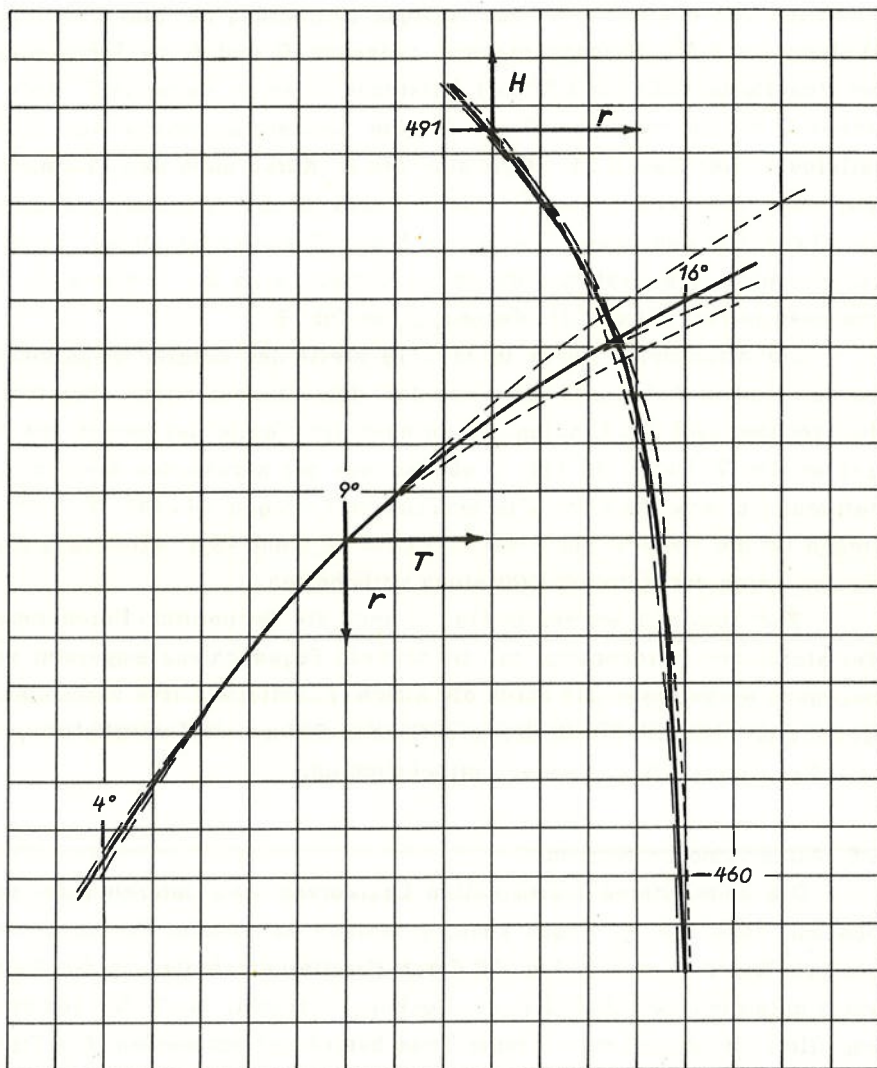


Fig:22 Individuelle und allgemeine Lastkurven

TABELLE 4

Die Reduktion von r auf H = 491, T = 9,0,  $\Delta = 0,0$ ;  $r_{HT\Delta}$ 

No	Tag	H	T	$\Delta$	r	h	$r_H$	t	$r_{HT}$	d	$r_{HT\Delta}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	14.6.50.		13,9		+2,00	-4,10	-2,10	-3,80	-5,90		
8	3.7.		15,7	+2,5	+2,40	-4,10	-1,70	-4,90	-6,60	-1,65	-8,3
9	14.7.	475,2	16,5	+1,8	+2,10	-3,45	-1,35	-5,30	-6,65	-1,25	-7,9
10	19.7.	479,0	17,4	+1,5	+1,80	-3,15	-1,35	-5,75	-7,10	-1,05	-8,2
11	7.8.	(485)	16,6	+0,9		-2,05		-5,60		-0,70	
12	1.9.	471,2	17,9	-0,2	+4,40	-3,65	+0,75	-6,00	-5,25	+0,20	-5,0
13	3.10.	492,0	15,1	-2,5	-4,20	+0,45	-3,75	-4,55	-8,30	+2,35	-6,0
14	6.11.	490,5	10,9	-3,5	-7,85	-0,20	-8,05	-1,70	-9,75	+3,50	-6,3
15	5.12.	492,3	7,9	-3,0	-11,05	+0,55	-10,50	+1,20	-9,30	+2,90	-6,4
16	17.12.	(485)	6,6	-2,6	-10,65	-2,05	-12,70	+2,80	-9,90	+2,45	-7,5
17	3.1.51.	486,5	5,7	-2,0	-11,45	-1,65	-13,10	+4,15	-8,95	+1,85	-7,1
18	16.2.	484,8	4,3	-0,5	-9,00	-2,15	-11,15	+6,10	-5,05	+0,45	-4,6
19	3.3.	458,5	4,0	0,0	-5,25	-4,00	-9,25	+6,60	-2,65	0,0	-2,7
20	20.3.	490,2	4,0	+0,5	-7,65	-0,35	-8,00	+6,60	-1,40	-0,35	-1,8
21	19.4.	492,4	5,7	+1,5	-6,80	+0,60	-6,20	+4,05	-2,15	-1,05	-3,2
22	22.5.	492,5	7,7	+2,6	-3,55	+0,65	-2,90	+1,45	-1,45	-1,70	-3,2
23	20.6.	492,6	11,2	+2,8	+0,95	+0,70	+1,65	-1,95	-0,30	-1,85	-2,2
24	21.7.	492,1	13,1	+1,7		+0,50		-3,30		-1,20	
25	25.8.	490,5	13,8	+0,5	+0,90	-0,20	+0,70	-3,75	-3,05	-0,35	-3,4
26	26.9.	485,5	13,8	-1,3	+1,60	-1,95	-0,35	-3,75	-4,10	+1,15	-3,0
27	26.10.	474,5	10,7	-2,9	-0,55	-3,50	-4,05	-1,55	-5,60	+2,80	-2,8
28	28.11.	491,1	7,2	-3,0	-7,60	+0,05	-7,55	+2,05	-5,50	+2,90	-2,6
29	18.12.	491,5	5,6	-2,5	-10,20	+0,20	-10,00	+4,15	-5,85	+2,35	-3,5
30	15.1.52.	491,7	4,4	-1,6	-11,35	+0,30	-11,05	+5,95	-5,10	+1,45	-3,7
31	21.2.	481,4	2,9	-0,5	-9,25	-2,85	-12,10	+8,60	-3,50	+0,45	-3,1
32	15.3.	478,3	2,9	+0,1	-8,30	-3,20	-11,50	+8,60	-2,90	-0,05	-3,0
33	25.4.	492,0	6,0	+2,3	-5,75	+0,45	-5,30	+3,60	-1,70	-1,55	-3,3

Nach Fugenschluss (Profil 21 bis 33):  $r_{HT\Delta} = -3,1 \pm 0,3$  (wahrscheinlicher Fehler).



Mittelung ausgeschaltete Gang in der Krümmung reell ist, müssten wohl erst weitere Erfahrungen erweisen. Den beiden vollausgezogenen Kurven kommt nun die Bedeutung von Lastkurven schlechtweg zu, die somit mindestens für den ganzen betrachteten Zeitraum 1950/52 Gültigkeit haben sollten; ob sich ein solches Vorgehen bewährt, hat die weitere Untersuchung darzutun.

Sinngemäss sind diese beiden allgemeinen Lastkurven nun zur Reduktion aller durch die Temperaturprofile beschafften Angaben auf  $H=491$  und  $T=9,0^\circ$  zu verwenden; dies geschieht in Tab. 4, Die Zustandsgrössen der Spalten 3 bis 6 sind aus Tab. 1 übernommen, Spalte 7 enthält die Höhenkorrekturen  $h$ , die an der  $H$ -Kurve interpoliert wurden, Spalte 8 die reduzierten Werte  $r_H = r + h$ . Letztere sind in Fig. 23 oben in zeitlicher Abfolge aufgetragen. Der enge Zusammenhang mit dem Verlauf der darunter dargestellten Sperrtemperatur  $T$  ist unmittelbar deutlich. Als nächster Schritt erfolgt nun Reduktion an der  $T$ -Kurve der Fig. 22, Ergebnis Spalte 9 und 10 in Tab. 4:  $r_{HT} = r_H + t$ . Der Verlauf von  $r_{HT}$  in Fig. 23 zeigt nun eine so deutliche, von  $T$  jedoch verschiedene, jahreszeitliche Abhängigkeit, dass über die Wirksamkeit einer zweiten Temperaturzustandsgrösse kein Zweifel bestehen kann.

#### 6,7. Die $\Delta$ -Lastkurve, der Einfluss der Unsymmetrie $\Delta$ .

Dass es sich dabei um das in (3,4) definierte Mass  $\Delta$  der Unsymmetrie der Temperaturverteilung handelt, geht aus Fig. 23 ebenso klar hervor, die Kurven für  $r_{HT}$  und für  $\Delta$  laufen einander grossenteils geradezu parallel. Wie erinnerlich, ist  $\Delta$  nichts anderes als  $dT/dt$ . Um nun den Zusammenhang herzustellen, wird  $r_{HT}$  in Fig. 24 als Funktion von  $\Delta$  aufgetragen; der Linienzug zerfällt deutlich in zwei oder besser drei Abschnitte, Sommer 1950 als Zeitraum des ersten Vollstauens, Herbst und Winter 1950 vor dem endgültigen Fugenschluss im März 1951 und der darauffolgende Normalzustand, der nun auch für die Ableitung einer Lastkurve geeignet ist (starkausgezogene Kurve; sie wurde im oberen Teil etwas vorgezogen mit Rücksicht auf einige weitere Ergebnisse, die aus dem zeitlichen Rahmen dieser Arbeit fallen). Die Punktegruppe Herbst-Winter 50 liesse sich nach Parallelverschieben durch dieselbe Kurve approximieren; das heisst aber zugleich auch, dass sich über den Winter 50 eine Kronenscheitel-Wanderung abgespielt hat, die durch keine der drei Lastkurven beschrieben werden kann.

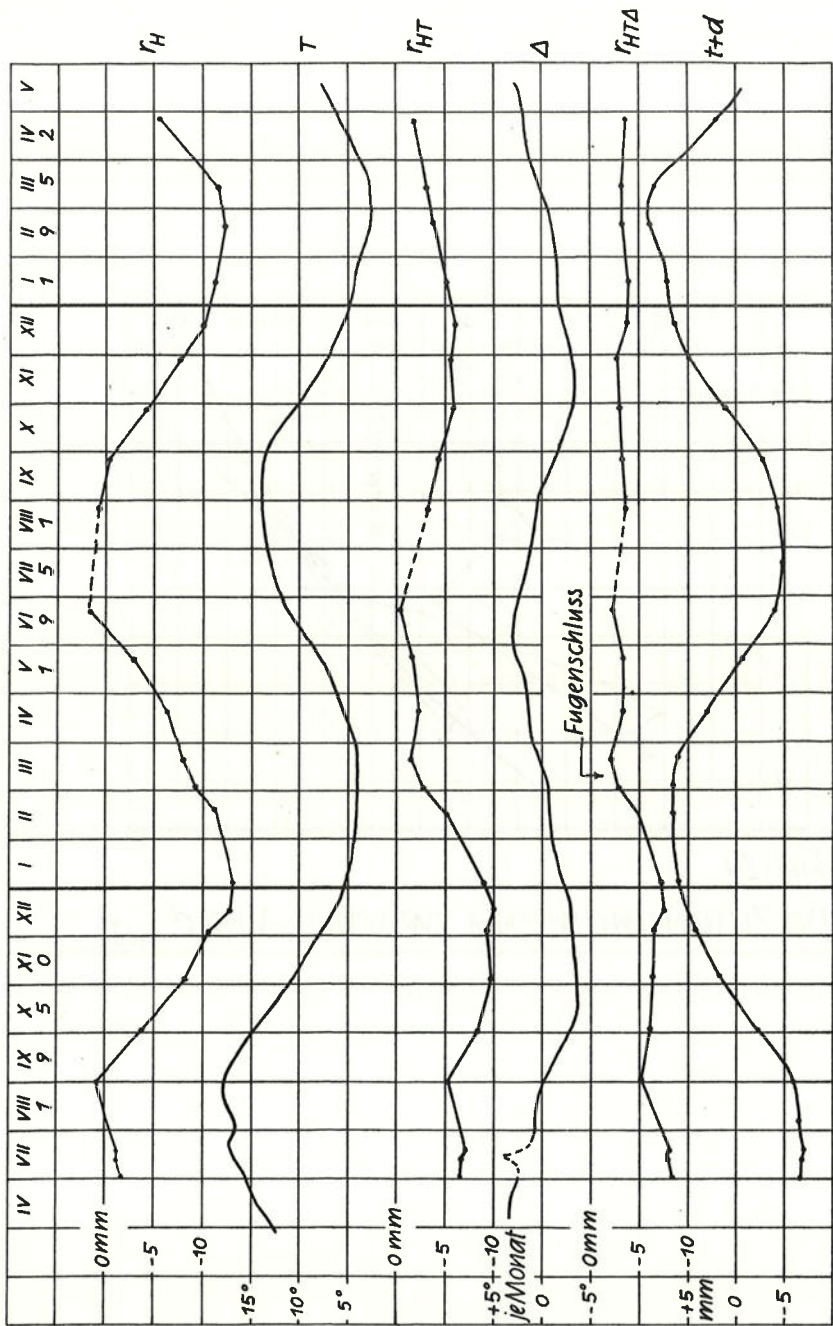


Fig. 23 Die schrittweise Reduktion von  $r_H$  über  $T$  nach  $r_{HT}$  und über  $\Delta$  nach  $r_{HT\Delta}$ ; Temperaturkorrektur  $t+d$

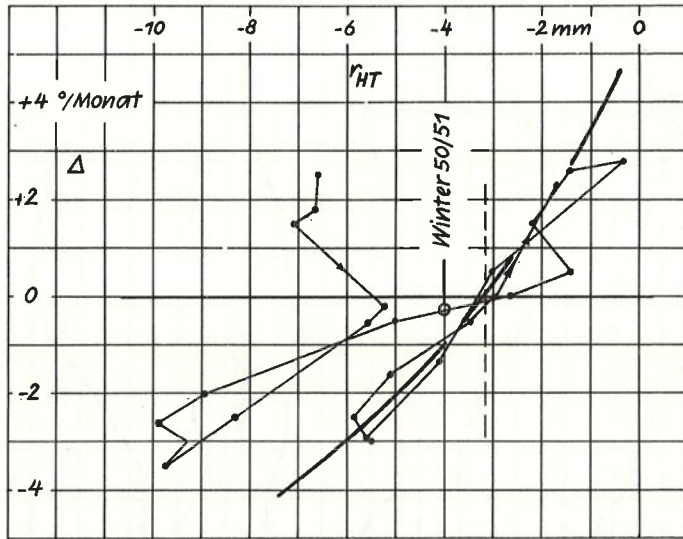


Fig:24  
 Der Zusammenhang zwischen  $\Delta$  und  $r_{HT}$

Die drei Lastkurven sind in Fig. 25 nunmehr übersichtlich und einheitlich so angeordnet, dass die Korrekturgrößen  $h$ ,  $t$ , und  $d$  - letztere auf Unsymmetrie  $\Delta = 0$  - in gewohnter Weise als Funktionen der Unabhängigen  $H$ ,  $T$  und  $\Delta$  erscheinen und am selben Ordinatenmasstab abzulesen sind.

Die Reduktion in Tab. 4 kann nunmehr zuende geführt werden; man erhält  $r_{HT} + d = r_{HT\Delta}$ , das in Fig. 23 als vorletzte Kurve aufgetragen ist. Man erkennt, dass alle periodischen Einflüsse ausgeschaltet sind. Schliesslich wurde in der Figur noch der Verlauf der gesamten Temperaturkorrektur  $t + d$  dargestellt.

#### 6,8. Deutung des Verlaufes von $r_{HT\Delta}$ .

Die noch vorhandene Inkonzanz von  $r_{HT\Delta}$  ist nun ein Ausdruck dauernder Veränderungen des Gewölbezustandes. Für das Jahr 1950 ist zu berücksichtigen, dass erstens noch Abbindewärme im Betonkörper vorhanden war, die erst in der kühleren Jahreszeit, aus dem Mauerfuss erst im Spätwinter abfliessen konnte, und dass zweitens die Fugenauspressung im Mai, über Kote 483 sogar erst Anfang Juli stattgefunden hat, wegen der hohen Temperaturen daher nicht als eigentlicher Fugenschluss zu betrachten ist. Dieser erfolgte erst im März 1951 bei  $T = 4^{\circ}$ . Das Abfliessen restlicher Abbindewärme aus den oberen Mauerbereichen muss eine einmalige Kronenwanderung talwärts zur Folge haben, wie sie am Sommerende 50 angedeutet ist (Fig. 23); im Winter kann dann auch die Restwärme aus dem Mauerfuss entweichen, was wegen Schrumpfens der unteren, horizontalen Querschnitte unter Mitnahme der Lotbasis LB ein Seewärtswandern des Kronenscheitels vortäuschen muss. Tatsächlich war die Temperatur in Mauermitte (Fig. 10) in  $T_{1a}$  Anfang Dezember 50 noch  $13^{\circ}$ , während sie 1951/52 die Grenze von  $10,5^{\circ}$  nicht mehr überschritt. Diese Effekte sind aber wohl kaum ausreichend, um den Gang von  $r_{HT\Delta}$  von Dezember bis März zu erklären. Ab 20. Jänner wird die ausgekühlte Mauer durch Abstauen entlastet; da die Füllung vom Sommer 50 nicht ausreichen kann, öffnen sich die Fugen, das Gewölbe löst sich in die einzelnen Kragträger auf und die Lastkurven müssen versagen. Die Kronenwanderung beträgt bis 1. März etwa  $+3,1$  mm (Fig. 23). In dieser Zeit ist die Temperaturkorrektur  $t + d$  praktisch konstant, das ausgeglichene Diagramm B, linker Ast, Fig. 19, ist daher unmittelbar zu verwenden. Zieht man von der Abszisse des Punktes C (am 1.3.), nämlich  $-5,4$ , für die Wasserlast 491 den bekannten Betrag von  $4,9$  mm und die obigen



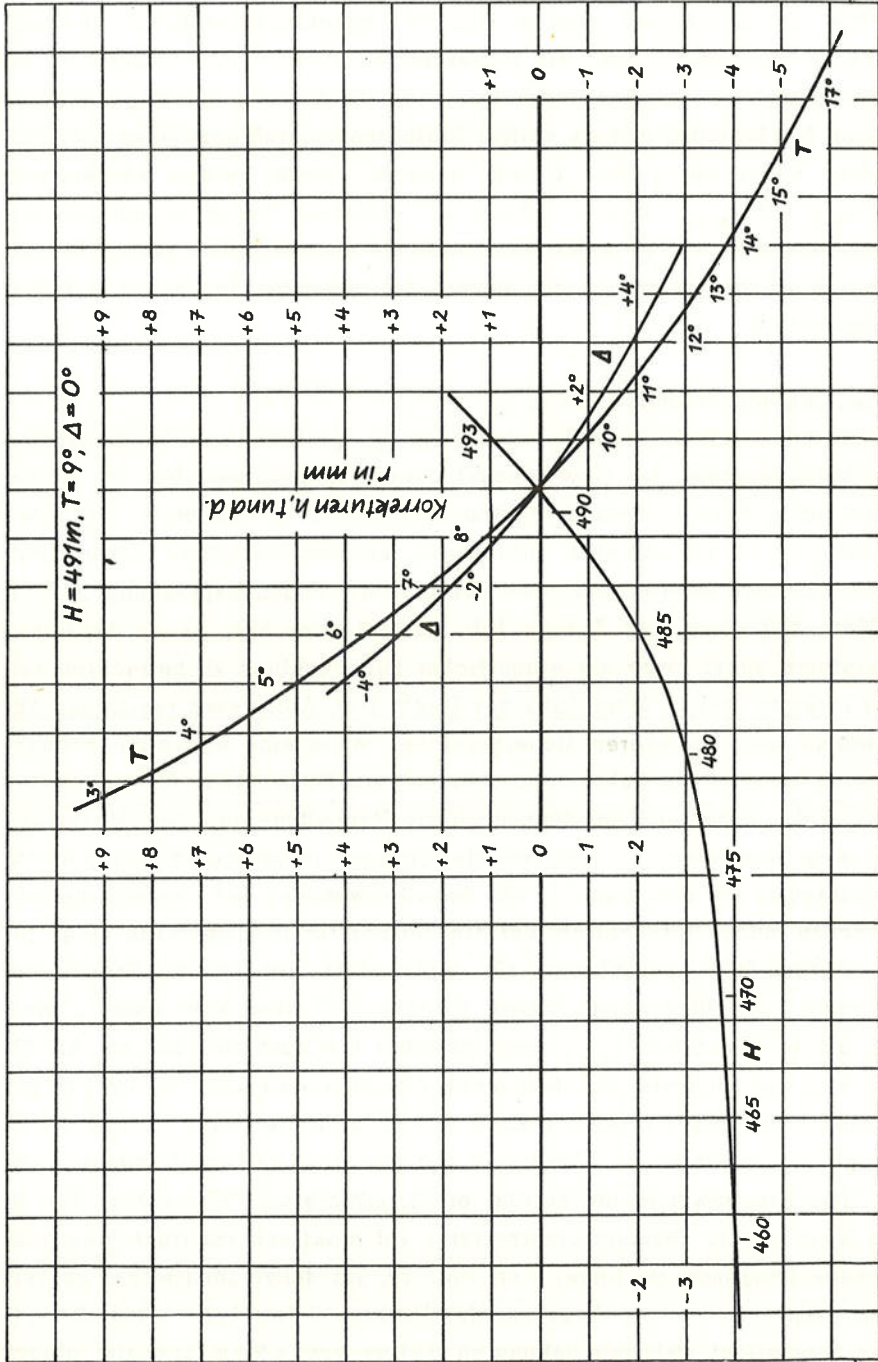


Fig:25 Die Lastkurven des Ranna-Gewölbes Reduktion auf den Normalzustand

3,1 mm für das Fugenöffnen ab, so erhält man -13,4, fast genau die Lage der verlängerten Kurve auf Kote 491.

Nach einer einfachen Überschlagsrechnung entspricht der Kronenwanderung von 3 mm ein mittleres Fugenöffnen um 0,6 mm. Mit diesem Geschehen hängt die Deformation und der markante Sprung in der Kurve der Fig. 14, die den Gang der Lot-Tangentialkomponente darstellt, unmittelbar zusammen. Es sieht so aus, als hätte eine Verkeilung vor und während des Fugenauspressens stattgefunden, die bei Wiederaufbringen der Wasserlast nahezu plötzlich überwunden wurde.

Schliesslich hat man sich noch zu überzeugen, wieweit die Einführung der Variablen  $\Delta$  die Ableitung der individuellen Lastkurven tangiert und ob nicht etwa ein weiterer Iterationsschritt erforderlich ist, der eine Wiederholung der gesamten Analyse notwendig machen würde. Das ist zum Glück kaum der Fall, da mindestens die Staudiagramme B und C zeitlich ausserordentlich günstig liegen. Für Fall B, rechter Ast, ist die Korrektur richtig erfasst, wie man anhand der Kurve für  $t + d$  in Fig. 23 leicht feststellt. Analoges gilt auch für C, da man sich gerade nahe dem Minimum der  $\Delta$ -Kurve bewegt. Diese beiden Kurven haben aber bei der Mittelung die allgemeine H-Kurve weitestgehend bestimmt; auf den Fall A näher einzugehen erübrigt sich nach der vorangehenden Diskussion. Wegen der erkannten Ausnahmeverhältnisse des Sommers 1950 und des dabei allzulange erstreckten Aufstauens eignet er sich nicht zur Ableitung von Regelgesetzen; doch ist dies eben jetzt erst deutlich.

Erst ab Fugenschluss im März 1951 sind die Werte  $r_{HT\Delta}$  untereinander wirklich vergleichbar, sodass es sinnvoll wird, einen Mittelwert zu bilden. Auf diese Weise definieren die Ergebnisse der Profile 21 bis 33 eine Null-Lage des Kronenscheitels von -3,1 mit einem wahrscheinlichen Fehler von  $\pm 0,3$ ; vielleicht ist ausserdem eine minimale Wanderung gegen die Luftseite gerade angedeutet. Es darf wohl angemerkt werden, dass das Ergebnis im Hinblick auf manche Vernachlässigung und auf die Robustheit der Methode verblüffend genau ist. Bewährung auf längere Sicht bleibt abzuwarten; sicher ist aber mit reichem Material und weiterem Durcharbeiten auf diesen Wegen noch mehr zu erreichen.

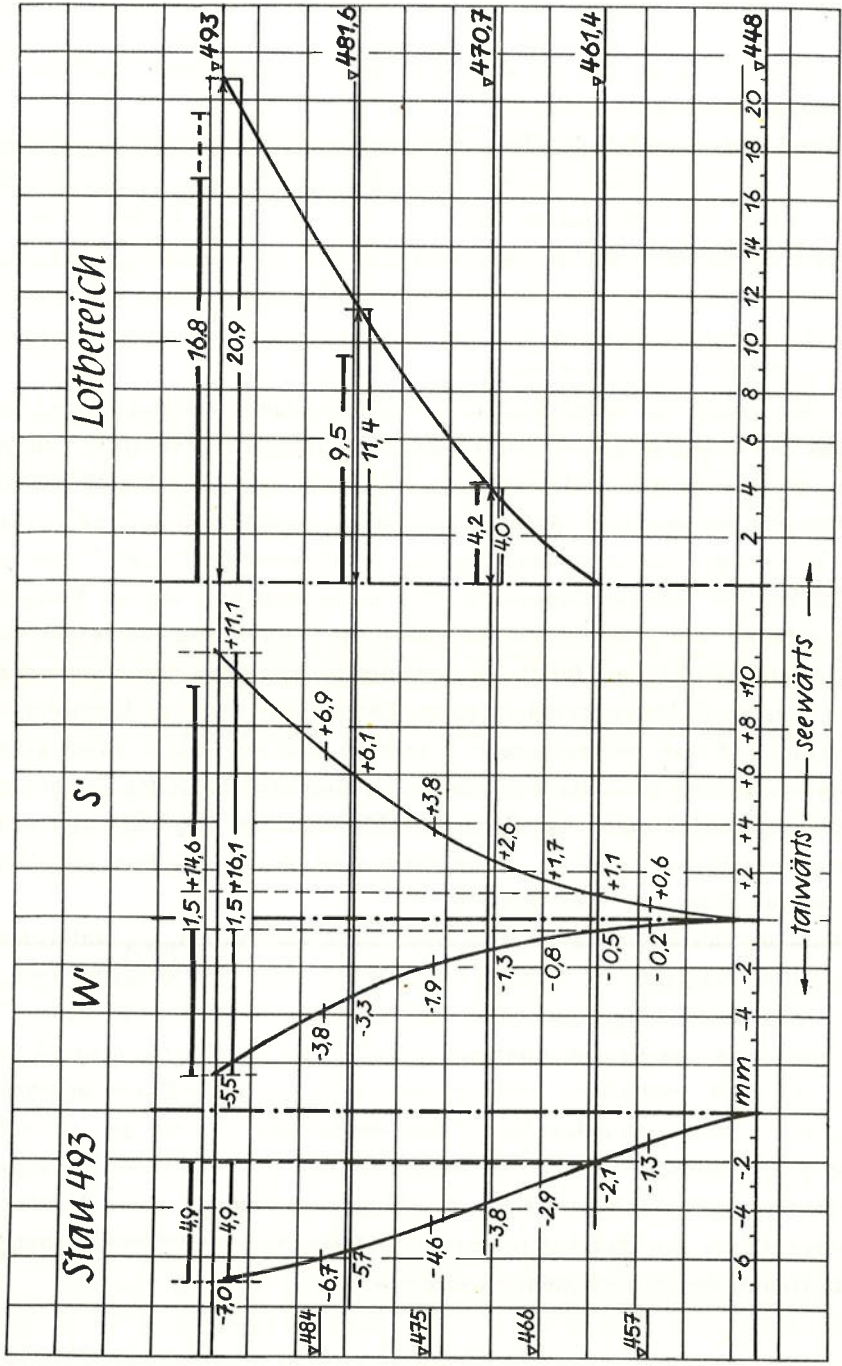


Fig: 26 Vergleich der beobachteten mit den berechneten Durchbiegungen

## 7. Vergleich mit den Ergebnissen der statischen Berechnung.

Die Wasserlastkurve hat für den vollen Staudruck ( $H=493$ ) eine Verschiebung des Kronenscheitels von 4,9 mm zur Luftseite ausgewiesen, und zwar bezogen auf die Lotbasis, Kote 461,4. Die statische Rechnung hatte einen Betrag von 7,0 mm ergeben, jedoch auf Kote 448 bezogen. Die errechnete, vertikale Biegelinie ist in Fig. 26, links, dargestellt. Bringt man die Auslenkung, die sich für die Kote der Lotbasis ergeben hat, in Abzug, dann folgt aus der Rechnung genau der durch die Erfahrung bestätigte Wert von 4,9 mm.

Der analoge Vergleich bezüglich der Temperaturlast setzt einige Worte über die Temperaturprognose voraus. Auf Grund der örtlichen Verhältnisse waren für den Sperrenbereich Temperaturen unter den regionalen Mittelwerten angenommen worden, und zwar  $6,0^{\circ}$  im Jahresdurchschnitt, während der langjährige Durchschnitt für diese Gegend 7 bis  $8,3^{\circ}$  beträgt. Die Erfahrung hat - jedoch beim Sperrenwärterhaus - für April 51 bis April 52 einen von diesem Mittel nicht abweichenden Wert, nämlich  $7,9^{\circ}$  ergeben. Für die extremen Gewölbezustände waren Temperaturprofile prognostiziert worden, die für den Zweck des Vergleiches ebenfalls ausplanimetriert wurden und für das Sommer- bzw. Winterextremum  $13,4^{\circ}$  bzw.  $2,4^{\circ}$  ergaben. Obwohl diese Werte aus der eben dargestellten, unterschätzten Jahrestemperatur abgeleitet worden waren, sind die Extrema recht gut getroffen: beobachtet wurden September 51 als Maximum  $14,0^{\circ}$  und Anfang März 52 als Minimum  $2,6^{\circ}$ . Zum Vergleich sind nun natürlich die Temperaturwerte der Prognose heranzuziehen, weil gleiche Temperaturintervalle in verschiedenen Temperaturbereichen ja nicht gleichwertig im Bezug auf die Durchbiegung sind. Auch kann man nicht einfach bestimmte Werte  $t$  und  $d$  für die Auswirkung von  $T$  und  $\Delta$ , oder gar die entsprechenden Extrema einfach addieren, abgesehen davon, dass sich aus der Prognose ein  $\Delta$  nicht herleiten lässt. Es wurde vielmehr die Summe  $t + d$  aus Fig. 23 als Funktion von  $T$  in Fig. 27 aufgetragen. Ohne den Beitrag infolge  $\Delta$  hätte man die Temperaturlastkurve vor sich; so kommt es zur Schleifenbildung, die ausser Sommer und Winter auch Frühjahr und Herbst zu unterscheiden gestattet. Man erkennt leicht die ausserordentlichen Verhältnisse des Sommers 1950 und ferner, dass der Winter 52 kälter war als sein Vorgänger. Andererseits war es im Mai 52 im Mauerinneren schon beträchtlich wärmer als ein Jahr vorher.



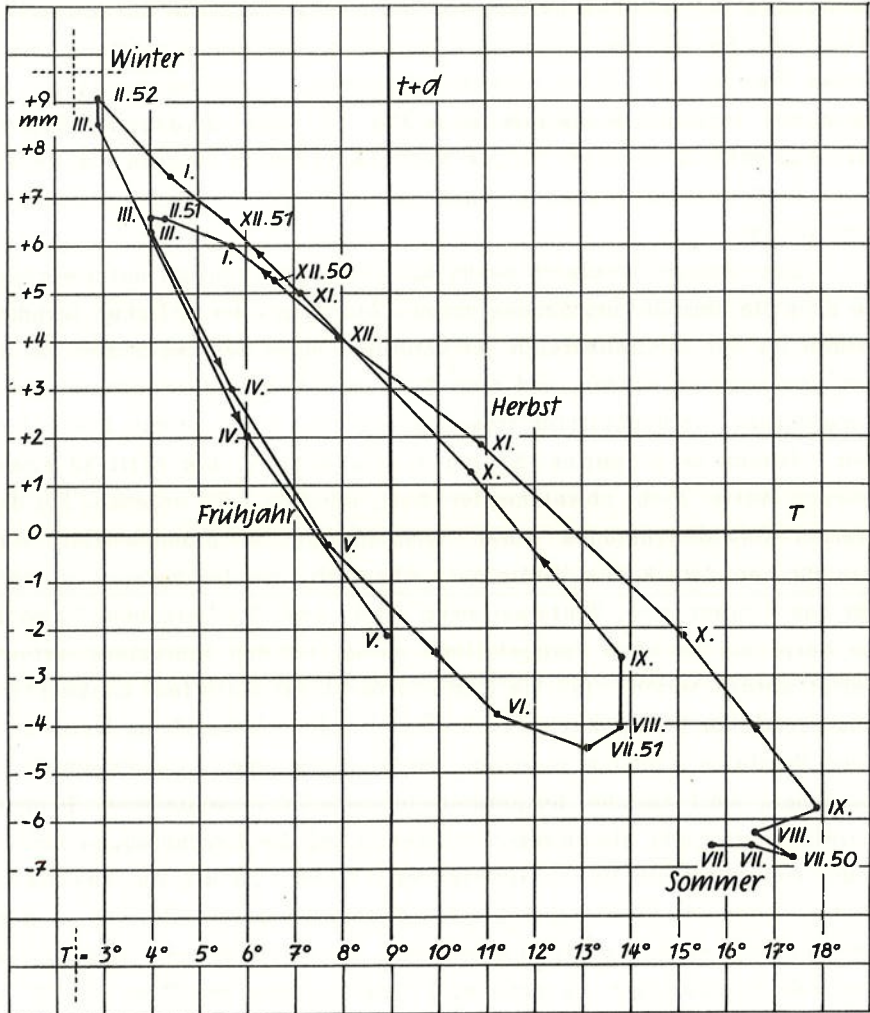


Fig:27 Die Korrektur  $t+d$  als Funktion von  $T$ .

Geht man nun mit den Extremtemperaturen der Prognose in dieses Diagramm ein, so extrapoliert man für  $T=2,4^{\circ}$  mit ziemlicher Sicherheit ein  $t+d=+9,6_s$  und für  $T=13,4^{\circ}$  mit einiger Vorsicht  $-4,9$ , womit man für 1952 höhere Sommertemperaturen voraussetzt als im Jahr zuvor. Der so ermittelten vollen Scheitelbewegung infolge Temperatur von  $14,6\text{ mm}$  steht ein vorberechneter Wert  $11,1 + 6,5 = 17,6\text{ mm}$  gegenüber, wovon wieder für die Bewegung der Bezugskote  $1,6$  abzuziehen ist, also tatsächlich  $16,0\text{ mm}$  (Fig. 26). Dies würde bedeuten, dass das Gewölbe gegenüber Temperatur steifer ist, als die Rechnung ergab, und zwar laut Fig. 21 im wesentlichen im Bereich der tiefsten Mauertemperaturen. Doch bedarf es für eine solche Feststellung erst weiterer Erfahrung.\*

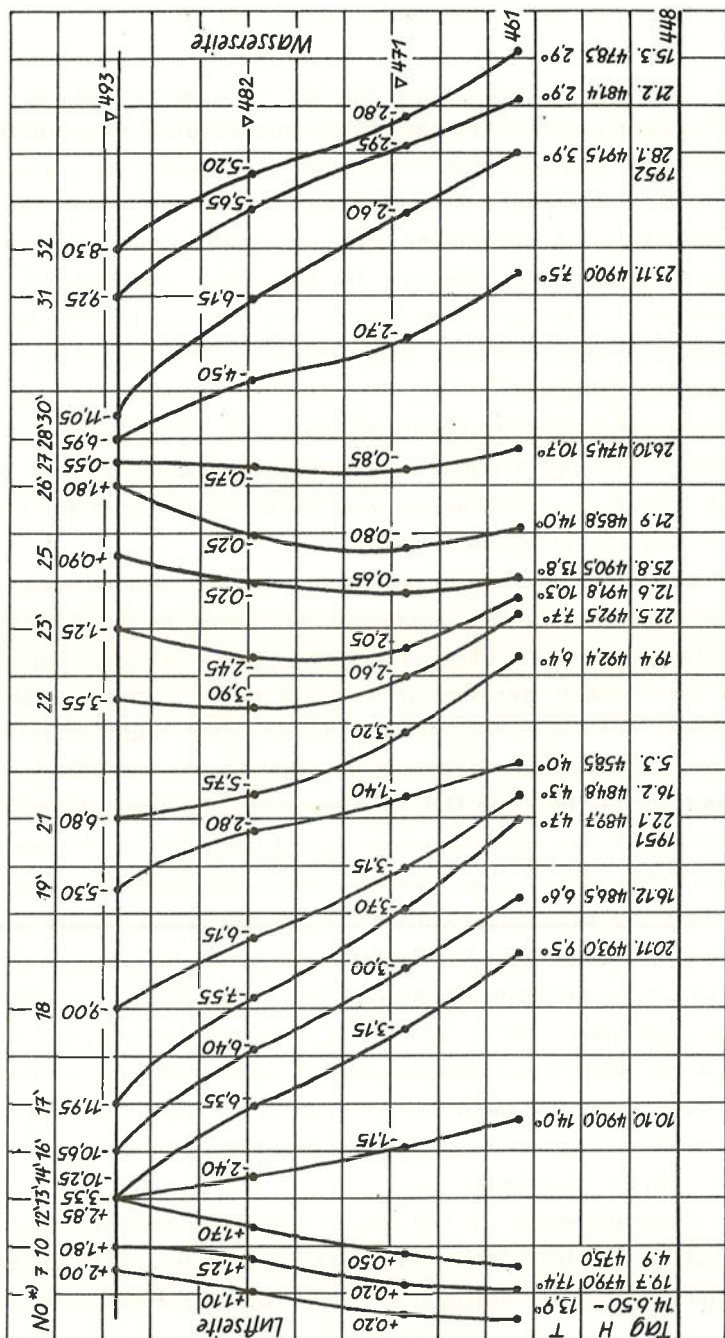
Fig. 27 ermöglicht einen aufschlussreichen Vergleich der thermischen Verhältnisse von Jahr zu Jahr. Ebenso interessante Einblicke gewährt eine Darstellung der Grösse  $r_{HT}$  als Funktion von  $T$ , die aus Gründen der Raumersparnis jedoch beiseite gelassen wurde.

Schliesslich wurden in Fig. 28 noch die vertikalen Biegelinien mitgeteilt, wie sie sich aus den Beobachtungen des Lotes in den Zwischen-niveaus  $L_0$  und  $L_m$  ergeben. Es wäre wünschenswert, diese Linien auf einen Normalzustand zu beziehen, der nur durch  $T=9,0^{\circ}$  und  $\Delta=0$  mit  $H=458$  gegeben sein könnte. Da diese Kombination naturgemäss nicht vorkommen kann, wurden die Beobachtungsergebnisse unverändert wiedergegeben, d.h. sie sind auf die Lotlage von Ende Mai 1950 bezogen, als wenigstens keine Wasserbelastung vorhanden war.  $T$  betrug jedoch bereits  $11,5^{\circ}$ , weshalb der Scheitel der Krone etwa  $2,2\text{ mm}$  zuweit wasserwärts lag und die in der Figur auf die Vertikale bezogenen Kurven um diesen Betrag zusehr gegen die Luftseite geneigt erscheinen. Im übrigen geht schon aus dem Vergleich der Fig. 26 hervor, dass sich die Biegelinien nur innerhalb des errechneten Bereiches bewegen können; eine Extrapolation unter die Kote 461 ist leider nicht möglich, zumal über die Beteiligung des Untergrundes an der Deformation nichts bekannt ist, Das gesamte Spiel der Bewegung betrug auf

Kote	493	482	471	gegenüber 461, ohne Tagesgang, und so-
	16,8	9,5	4,2 mm	

weit es durch Beobachtungen in den Zwischenpunkten erfasst ist. Der mittlere Staukoeffizient beträgt für die obersten 10 Staumeter  $-0,34\text{ mm/Staumeter}$ , der mittlere Temperaturkoeffizient  $1,32\text{ mm/Grad}$  im Bereich über der

\* Durch Addition der maximalen Lotbewegung infolge Stau und Temperatur ( $W+S$ ) ergibt sich in Fig. 26 rechts der maximale "Lotbereich"; beobachtete Werte sind ober-, theoretische unterhalb eingetragen.



\* Einfache Nummern bezeichnen den Tag des Temperaturprofils, gestrichene einen der Profilaufnahme der betreffenden Nummer möglichst benachbarten Tag.

Fig: 28 Die Biegelinien.

durchschnittlichen Mauer-Jahrestemperatur von  $9,0^{\circ}$  und  $0,76 \text{ mm/Grad}$  unterhalb  $9^{\circ}$ .

#### 8. Zusammenfassung und Abschluss.

Im ersten Beitrag dieser Schriftenreihe waren verhältnismässig einfache und wenig aufwendige Messeinrichtungen beschrieben worden, wie sie für die Beobachtung mindestens an kleineren Gewölbe-Talsperren genügen sollten. Im besonderen war ein Minimalprogramm hervorgehoben worden, das Stauhöhen- und Mauer-Lot- und -Temperaturbeobachtungen - letztere an mehreren Punkten im radialen Mittelschnitt - umfasst und erfüllt werden muss, wenn Beobachtungen überhaupt einen Sinn haben sollen.

Es war nun möglich, am Beispiel des Ranna-Gewölbes ein Verfahren zu entwickeln, das gestattet, im Rahmen dieses Minimalprogrammes in den Ergebnissen der Lotbeobachtung die Einflüsse von Wasserlast und Temperatur zu isolieren und Wasser- sowie Temperaturlastkurven abzuleiten. Die Wasserlast ist durch die Stauhöhe  $H$ , die Temperaturlast durch zwei Grössen, die Mauertemperatur und ihre zeitlichen Differentialquotienten  $\Delta = dT/dt$  gegeben, welche letzterer ein Mass für die Unsymmetrie der Temperaturverteilung im Radialschnitt ist.

Die Lastkurven sind Erfahrungsgut und werden aus der Analyse von Staudiagrammen und Temperaturprofilen gewonnen. Sie gestatten für jede gleichzeitige Beobachtung von Stauhöhe, Temperatur und Lotlage den Erwartungswert für letztere aus den beiden ersten Grössen abzuleiten, und zwar mit einer Genauigkeit - etwa  $\pm 0,3 \text{ mm}$  -, die für die betriebliche Überwachung wie für den Vergleich mit der statischen Berechnung ausreicht. Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung ist für das Rannagewölbe sehr gut.

Die Auswertungen sind im betrieblichen Rahmen durchaus möglich. Sie setzen voraus: tägliche Ablesung der Lotlage zur Zeit oder kurz nach Sonnenaufgang, bzw. nachdem die ersten Sonnenstrahlen den Sperrkörper am Morgen erreichen, gleichzeitige Feststellung der Stauhöhe und monatlich einmal Temperaturmessung im radialen Mittelschnitt an einer mässigen Anzahl von Punkten. Dazu gehört ferner, wenn die Lastkurven gegeben sind (Fig. 25) die Führung der Tab. 1 und 4 sowie der graphischen Darstellungen 5, 23, 24, 26 zuzüglich einer Auftragung von  $r_{HT}$  als Funktion von  $T$ .



Nun der Weg der Auswertung einmal bekannt ist, ist es auch ein Leichtes, die günstigsten Beobachtungsbedingungen anzugeben; solche sind nur bei der Ermittlung von Wasserlastkurven zu berücksichtigen und bestehen darin, dass das Auf- und Abstauen möglichst zügig durchgeführt wird. Ausserdem sind vorher, im Stauminimum und nachher Temperaturprofile aufzunehmen. Von besonderem Interesse ist die Lastkurve beim ersten Aufstau, ferner vor und nach Fugenauspressungen. Sie sollten in den ersten Betriebsjahren mindestens einmal jährlich aufgenommen werden, weil hier die grössten Veränderungen, wenn überhaupt, zu erwarten sind; späterhin in grösseren Abständen, etwa alle drei bis fünf Jahre oder aus besonderen Anlässen. Die Betriebsleitung muss jedoch auf alle Fälle gezwungen werden, im gegebenen Falle auf die messtechnischen Erfordernisse Rücksicht zu nehmen, denn nur so werden die Kenntnisse gewonnen, die das Tragen einer Verantwortung für den Bau- und Betriebszustand möglich machen. Die Ableitung der Lastkurven und die Überwachung der laufenden Auswertung ist Ingenieurarbeit.

Erst mehrjährige Beobachtungen haben wirklichen Wert: ohne ausreichendes Material können keine definierten Aussagen über die Eigenschaften einer Sperrmauer gemacht, d.h. kaum vor dem Ende des zweiten Betriebsjahres ein zusammenfassendes Bild gegeben werden und alle, nicht katastrophalen Veränderungen vollziehen sich nur sehr langsam. Je länger die Beobachtungsreihen erstreckt werden, umso tiefer die Einblicke. Es ist nicht zu erwarten, dass früher als fünf Jahre nach Inbetriebnahme eine Stabilisierung der Verhältnisse an und in der Sperre mit einiger Sicherheit erkennbar wird.

Beobachtungen wie Ergebnisse hätten nicht gewonnen werden können ohne das rege Interesse und stets verständnisvolle Eingehen auf die messtechnischen Erfordernisse seitens der Bauherrin, das dankbarst hervorgehoben sei.

**ANHANG I.**

**Tabellen der täglichen Beobachtungen am Ranna-Gewölbe.  
Mai 1950 bis April 1952.**

**(Monatstabellen)**

**Diese Tabellen wurden vom Beobachter unverändert übernommen.**

# RANNATALSPERRE LOTBEOBACHTUNGEN Mai 1950

klar: ☉ Regen: • Bewölkung: 1/4 bis 4/4 'Zeit' = Ablesezeit (Lot)  
 Nebel: ☁ Schnee: \* Sonnenbestrahlung: 0 bis 4/4 (Tagesmittel)  
 Nieselreg.: Sturm: ⚡

t, r: Millimeter  
 Positiv: Flussaufwärts  
 und zum KR

Tag	Abl. Zeit	Temperatur, Wetter						Sonne	Stauspiegel		Messtelle Kote 461			Messtelle Kote 471			Messtelle Kote 483			Beobachter	Anmerkungen					
		7 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	Mittel	Abl. Zeit	Mittel		Abl. Zeit	Mittel	t	r	Abl. Zeit	t	r	Abl. Zeit	t	r								
23.	7 <sup>00</sup> 17 <sup>00</sup>	+15	3/4	+25	1/2	+19	1/4	19 <sup>5</sup>	1/2	Kein	Stau	147,65	30,10	0	0	147,40	31,85	0	0	151,15	31,15	0	0	Reitz Kremser	Grundabmessungen:	
24.	7 <sup>30</sup>	14	•	20	•	15	•	16	3/4			147,95	29,55	+0,2	+0,6									"		
25.	7 <sup>30</sup>	12 <sup>5</sup>	•	25	•	16	1/4	17 <sup>5</sup>	3/4			147,45	29,80	+0,15	+0,3									"		
26.	7 <sup>30</sup>	16	3/4	18	4/4	10	3/4	13 <sup>5</sup>	•			147,85	29,60	+0,2	+0,5											"
	148,30											29,15	+0,2	+1,1												
30.	16 <sup>00</sup>	9	•	20	1/4	14	•	14 <sup>5</sup>	3/4			147,95	29,50	+0,2	+0,65											"
	148,05											29,50	+0,15	+0,7												
31.	16 <sup>00</sup>	10	•	21 <sup>5</sup>	4/4	15 <sup>5</sup>	3/4	15 <sup>5</sup>	1/4			147,45	30,05	+0,2	-0,1	147,65	31,80	-0,15	+0,2	151,05	31,15	+0,05	-0,05	"		
	147,95											29,40	+0,3	+0,7	148,05	31,35	-0,1	+0,8	151,25	30,65	+0,3	+0,4				
	7 <sup>30</sup>											147,70	29,65	+0,3	+0,35	147,85	31,50	-0,1	+0,55	151,20	30,85	+0,2	+0,25	"		

# RANNATALSPERRE LOTBEOBACHTUNGEN Juni 1950

klar: ☉ Regen: ☉ Bewölkung: 1/4 bis 4/4 'Zeit' = Ableszeit (Lot)  
 Nebel: ☁ Schnee: ☉ Sonnenbestrahlung: 0 bis 4/4 (Tagesmittel)  
 Niesel: ☉ Sturm: ☉

t, r: Millimeter  
 Positiv: Flussaufwärts  
 und zum KR

Tag	Abl. Zeit	Temperatur, Wetter						Sonne	Stauspiegel		Messstelle Kote 461			Messstelle Kote 471			Messstelle Kote 483			Beobachter	Anmerkungen			
		7 <sup>00</sup>		14 <sup>00</sup>		20 <sup>00</sup>			Mittel	Abl. Zeit	Mittel	Ablesung	t	r	Ablesung	t	r	Ablesung	t			r		
1.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>30</sup>	+13	3/4	+18 <sup>5</sup>	3/4	+13	3/4	+14 <sup>5</sup>	1/4	kein Stau	147,75	29,70	+0,2	+0,35	147,80	31,60	-0,1	+0,45	151,20	30,90	+0,15	+0,2	Kremser	Grundabmessungen: 147,65 30,10 unten 147,40 31,85 Mitte 151,15 31,15 oben
2.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	12	☉	20	☉	14 <sup>5</sup>	☉	15 <sup>5</sup>	4/4		147,85	29,65	+0,2	+0,45	147,90	31,40	-0,05	+0,65	151,25	30,80	+0,2	+0,3	"	
3.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	16	☉	24 <sup>5</sup>	1/4	15	1/4	17 <sup>5</sup>	3/4		147,65	29,85	+0,2	+0,2	147,40	31,65	-0,05	+0,35	151,05	31,00	+0,2	+0,05	"	
5.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14 <sup>5</sup>	☉	26	☉	17	1/4	18 <sup>5</sup>	4/4		148,00	29,35	+0,3	+0,75	148,15	31,30	-0,15	+0,9	151,40	30,70	+0,15	+0,5	"	
6.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14	☉	26	1/2	17	☉	18 <sup>5</sup>	3/4		147,85	29,65	+0,2	+0,45	147,90	31,60	-0,2	+0,55	151,20	30,90	+0,2	+0,2	"	
7.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14	☉	27	1/2	20	3/4	20 <sup>5</sup>	3/4		148,25	29,20	+0,2	+1,05	148,20	31,15	-0,05	+1,0	151,45	30,60	+0,2	+0,6	"	
8.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	15 <sup>5</sup>	☉	28 <sup>5</sup>	1/2	19	☉	20 <sup>5</sup>	4/4		148,40	29,15	+0,15	+1,2									"	
9.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14	3/4	25	3/4	15	3/4	17 <sup>5</sup>	1/4		148,55	28,85	+0,2	+1,5									"	
10.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	12	☉	20 <sup>5</sup>	1/4	14 <sup>5</sup>	☉	15 <sup>5</sup>	3/4		148,40	29,20	+0,1	+1,15									"	
11.	8 <sup>00</sup> 7 <sup>30</sup>	10	☉	21	1/4	15 <sup>5</sup>	☉	15 <sup>5</sup>	4/4		148,60	28,65	+0,35	+1,70									"	
12.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	9	☉	24	☉	19	1/4	18	4/4		148,80	28,60	+0,25	+1,85									"	
13.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	9	☉	26	☉	18	1/2	18	4/4		148,60	28,80	+0,3	+1,6	148,45	30,80	0	+1,45	151,65	30,40	+0,2	+0,9	"	
14.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	9	4/4	25	4/4	17	1/4	17	☉		149,00	28,30	+0,3	+2,2	148,85	30,30	+0,05	+2,1	151,85	30,20	+0,2	+1,15	"	
15.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14	☉	17	1/4	16	1/2	16	3/4		148,60	28,60	+0,4	+1,7	148,50	30,70	+0,05	+1,6	151,60	30,45	+0,2	+0,8	"	
16.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	13	1/4	23 <sup>5</sup>	1/2	16	3/4	17	1/2		149,00	28,15	+0,4	+2,4	148,80	30,30	+0,1	+2,05	151,85	30,25	+0,15	+1,1	"	
17.	8 <sup>00</sup> 7 <sup>30</sup>	12	,	19	4/4	15	3/4	15 <sup>5</sup>	☉		148,80	28,40	+0,4	+2,0	148,65	30,50	+0,05	+1,8	151,65	30,35	+0,2	+0,9	"	
18.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	12	4/4	18	4/4	16	4/4	15 <sup>5</sup>	☉		"	"	+0,4	+2,0	"	"			"	"			"	
19.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	11	4/4	25	1/4	16 <sup>5</sup>	☉	17 <sup>5</sup>	3/4		148,50	28,80	+0,3	+1,5	148,25	30,90	+0,05	+1,25					"	
20.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	9	☉	27	1/4	18	☉	18	4/4		149,00	28,40	+0,25	+2,15	148,75	30,45	+0,05	+1,95	151,75	30,25	+0,2	+1,05	"	
21.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	13	☉	28,5	3/4	13 <sup>5</sup>	1/2	17	1/2		148,80	28,60	+0,25	+1,85	148,75	30,70	-0,05	+1,7	151,60	30,45	+0,2	+0,8	"	
22.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	13	4/4	18 <sup>5</sup>	3/4	14	☉	15	3/4		149,20	28,50	+0,05	+2,2	148,20	30,90	+0,1	+1,25	151,70	30,50	+0,05	+0,85	Prokop	
23.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	9	4/4	19	4/4	15	3/4	14 <sup>5</sup>	1/4		148,90	28,65	+0,15	+1,9	148,65	30,80	-0,15	+1,6	"	"	+0,05	+0,85	Prokop	
24.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	10	3/4	17 <sup>5</sup>	1/2	13	☉	13 <sup>5</sup>	1/2		149,05	28,50	+0,15	+2,1	"	30,65	-0,05	+1,7	151,60	30,40	+0,2	+0,85	Prokop	
26.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	12	4/4	15	4/4	14 <sup>5</sup>	4/4	14	☉		148,70	28,85	+0,15	+1,6									Prokop	
27.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14	4/4	15	,	15	4/4	14 <sup>5</sup>	☉		148,90	28,80	+0,05	+1,8	148,50	30,90	-0,1	+1,45	151,65	30,50	+0,1	+0,80	Prokop	
28.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	16	4/4	21 <sup>5</sup>	4/4	19 <sup>5</sup>	3/4	19	1/4		148,60	29,00	+0,1	+1,45	148,40	31,15	-0,2	+1,2	151,70	30,70	+0,05	+0,55	Prokop	
29.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	16 <sup>5</sup>	1/2	27	1/4	20 <sup>5</sup>	☉	21	3/4		148,90	28,50	+0,25	+2,0									"	
30.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	17	☉	30 <sup>5</sup>	1/2	23	☉	23 <sup>5</sup>	4/4		148,75	28,80	+0,15	+1,7									"	
											149,05	28,55	+0,3	-1,85									"	
											149,05	28,15	+0,4	-2,35									"	



RANNATALSPERRE LOTBEOBACHTUNGEN Juli 1950

Klar: ☉ Regen: \* Bewölkung: 1/4 bis 4/4 'Zeit' = Ableszeit (Lot)  
 Nebel: ☁ Schnee: \* Sonnenbestrahlung: 0 bis 4/4 (Tageemittel)  
 Niesel: ☂ Sturm: ⚡

t, r: Millimeter  
 Positiv: Flussaufwärts  
 und zum KR

Tag	Abl. Zeit	Temperatur, Wetter				Son- ne	Stauspiegel		Messtelle Kote 461			Messtelle Kote 471			Messtelle Kote 483			Beobach- ter	Anmerkungen	
		7 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	Mit- tel		Abl. Zeit	Mit- tel	Ablesung	t	r	Ablesung	t	r	Ablesung	t	r			
1.	7 <sup>00</sup> 16 <sup>00</sup>	+17 3/4	+25 <sup>5</sup> 3/4	+22 1/2	+21 <sup>5</sup> 3/4	1/2	⊕	⊕	148,90	28,40	+0,3	+2,05							Kremser Prokop	Grundablesungen unten 147,65 30,10 Mitte 147,40 31,85 oben 151,15 31,15
2.	17 <sup>5</sup>	4/4	28 °	20 3/4	21 <sup>5</sup> 4/4	4/4			149,10	26,20	+0,3	+2,35								
3.	7 <sup>00</sup> 16 <sup>30</sup>	19 °	32 °	23 <sup>5</sup> 4/4	24 <sup>5</sup> 4/4	4/4			149,05	28,10	+0,4	+2,4	148,75	30,40	+0,05	+1,95	151,65	30,30	+0,25	
4.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>30</sup>	19 °	31 1/4	24 °	24 <sup>5</sup> 4/4	4/4	463,5	464	149,60	27,50	+0,45	+3,2	148,95	30,20	+0,05	+2,25	152,10	29,70	+0,35	+1,70
5.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	20 <sup>5</sup> °	34 1/4	17 ,	22 4/4	4/4	464	463	149,20	27,75	+0,55	+2,75	149,35	29,70	+0,15	+2,85	151,80	30,10	+0,4	+1,20
6.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>30</sup>	16 3/4	22 4/4	17 <sup>5</sup> ,	16 <sup>5</sup> ⊕	⊕	464	463	149,70	27,30	+0,55	+3,4	149,00	30,50	+0,05	+2,3	152,20	30,05	+0,05	+1,50
7.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	15 1/4	20 3/4	13 <sup>5</sup> 1/2	15 <sup>5</sup> 1/4	1/4	463	⊕	149,40	27,70	+0,45	+2,9	149,00	30,50	+0,05	+2,3	151,80	"	+0,3	+1,25
8.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>30</sup>	17 4/4	18 <sup>5</sup> 4/4	15 3/4	16 1/4	1/4	⊕	⊕	149,80	27,15	+0,55	+3,55	149,25	29,70	+0,2	+0,8	151,95	29,90	+0,3	+1,45
9.	8 <sup>00</sup> 16 <sup>00</sup>	13 <sup>5</sup> °	23 <sup>5</sup> 1/2	17 <sup>5</sup> °	17 <sup>5</sup> 3/4	3/4	⊕	⊕	149,55	27,50	+0,5	+3,15	149,05	30,05	+0,1	+2,4	151,95	30,05	+0,2	+1,35
10.	8 <sup>00</sup> 16 <sup>00</sup>	15 <sup>5</sup> 1/4	25 1/2	15 <sup>5</sup> ,	17 <sup>5</sup> 3/4	3/4	458,3	458,3	"	27,60	+0,4	+3,1	149,10	30,05	+0,05	+2,45	151,85	"	+0,3	+1,25
11.	7 <sup>00</sup> 16 <sup>00</sup>	15 1/2	20 3/4	15 1/4	16 1/2	1/2	461	462	149,30	27,90	+0,4	+2,7	148,80	30,40	+0,05	+2,0	151,75	30,30	+0,2	+1,0
12.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>30</sup>	13 4/4	18 3/4	14 <sup>5</sup> 1/2	14 <sup>5</sup> 1/2	1/2	462	467	149,25	28,05	+0,3	+2,55	"	30,45	0	+1,95	151,55	30,45	+0,2	+0,75
13.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	13 <sup>5</sup> 4/4	22 1/4	15 <sup>5</sup> 1/4	16 3/4	3/4	466	467	148,95	28,20	+0,4	+2,3	148,50	30,80	-0,05	+1,50	151,50	30,55	+0,2	+0,65
14.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	15 1/4	27 3/4	20 <sup>5</sup> 1/4	20 <sup>5</sup> 3/4	3/4	468,1	473	148,95	"	+0,4	+2,25	148,40	"	+0,05	+1,45	151,45	30,50	+0,25	+0,65
15.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	13 <sup>5</sup> ,	15 4/4	14 3/4	13 <sup>5</sup> ⊕	⊕	472,1	474	148,80	28,40	+0,4	+2,0	148,35	30,90	0	+1,35	151,35	30,60	+0,25	+0,55
16.	7 <sup>00</sup> 16 <sup>00</sup>	12 1/2	22 <sup>5</sup> 1/4	16 1/4	16 3/4	3/4	458,3	458,3	149,15	28,05	+0,4	+2,5	148,60	30,55	+0,05	+1,75	151,50	30,45	+0,25	+0,75
17.	7 <sup>00</sup> 16 <sup>00</sup>	14 °	25 1/4	19 1/4	19 4/4	4/4	461	462	148,95	28,20	+0,4	+2,25	"	"	+0,05	+1,75	151,55	30,40	+0,25	+0,8
18.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	16 <sup>5</sup> 4/4	23 <sup>5</sup> 3/4	18 <sup>5</sup> 1/4	19 3/4	3/4	462	467	149,10	28,10	+0,4	+2,4	148,60	30,45	+0,15	+1,8	"	30,35	+0,3	+0,85
19.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>30</sup>	15 °	24 <sup>5</sup> 1/4	19 1/4	19 4/4	4/4	466	467	148,85	28,20	+0,5	+2,15	148,55	30,60	+0,05	+1,7	"	30,45	+0,2	+0,75
20.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>30</sup>	16 1/4	24 3/4	20 1/4	19 <sup>5</sup> 3/4	3/4	468,1	473	149,10	28,10	+0,4	+2,4	148,80	30,50	-0,05	+1,95	151,65	30,30	+0,25	+0,95
21.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	16 <sup>5</sup> °	27 1/4	19 <sup>5</sup> °	20 4/4	4/4	472,1	473	148,90	28,35	+0,35	+2,1	148,60	30,70	-0,05	+1,65	151,50	30,40	+0,3	+0,75
22.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	16 1/4	29 1/2	20 3/4	21 3/4	3/4	474,10	474	149,20	27,85	+0,5	+2,65	148,80	30,30	+0,1	+2,05	151,75	30,20	+0,25	+1,1
23.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	16 <sup>5</sup> 1/2	24 3/4	18 4/4	18 <sup>5</sup> 1/2	1/2	475,20	474	148,85	28,30	+0,4	+2,1	148,65	30,55	+0,05	+1,8	151,55	30,40	+0,25	+0,8
24.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14 <sup>5</sup> 4/4	19 1/2	16 3/4	16 1/2	1/2	474,00	475	149,30	27,65	+0,55	+2,85	148,90	30,00	+0,25	+2,35	151,75	30,00	+0,4	+1,25
25.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14 <sup>5</sup> 3/4	21 1/2	17 °	17 3/4	3/4	475,10	475	149,05	27,90	+0,55	+2,5	148,85	30,25	+0,1	+2,15	151,70	30,15	+0,45	+1,1
26.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	13 <sup>5</sup> 1/4	26 1/4	19 °	19 4/4	4/4	475,20	477	149,20	28,00	+0,4	+2,55	148,80	30,40	+0,05	+2,0	151,65	30,30	+0,25	+0,95
27.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	17 1/4	16 <sup>5</sup> 4/4	16 <sup>5</sup> 3/4	19 1/4	1/4	476,40	477	148,80	28,10	+0,6	+2,2	148,60	30,50	+0,1	+1,8	151,60	30,40	+0,2	+0,85
28.	7 <sup>30</sup> 16 <sup>00</sup>	14 3/4	24 <sup>5</sup> 1/4	18 1/2	18 3/4	3/4	477,50	479	148,50	28,40	+0,6	+1,8	148,40	30,55	+0,2	+1,6	151,10	30,40	+0,55	+0,5
29.	15 3/4	19 ,	15 4/4	15 <sup>5</sup> 1/4	15 <sup>5</sup> 1/4	1/4	479,25	479	148,60	28,25	+0,65	+1,95	148,50	30,40	+0,25	+1,8	151,25	30,30	+0,55	+0,65
30.	14 3/4	20 1/2	13 °	14 <sup>5</sup> 3/4	14 <sup>5</sup> 3/4	3/4	479,50	479	148,85	27,80	+0,75	+3,45	148,65	30,05	+0,4	+2,45	151,40	30,10	+0,55	+0,9
31.	10 <sup>5</sup> 4/4	22 <sup>5</sup> 4/4	15 <sup>5</sup> 3/4	15 <sup>5</sup> 1/2	15 <sup>5</sup> 1/2	1/2	479,00	479	148,30	28,15	+0,9	+1,8	148,20	30,35	+0,5	+1,6	151,05	30,30	+0,65	+0,55
							479,00	479	149,00	27,55	+0,85	+2,75	148,75	29,70	+0,55	+2,45	151,45	30,00	+0,6	+1,0
							476,90	478	148,70	27,95	+0,75	+2,25	148,55	30,10	+0,4	+2,05	151,35	30,15	+0,55	+0,85
							477,30	476	149,55	27,65	+0,4	+3,05	149,15	30,05	+0,05	+2,5	152,05	30,10	+0,10	+1,35
							476,05	476	148,90	28,10	+0,55	+2,3	148,75	30,50	0	+1,9	151,45	30,50	+0,25	+0,65
							476,05	476	149,70	26,95	+0,75	+3,65	149,35	29,45	+0,3	+3,05	151,95	29,50	+0,6	+1,70
							476,50	477	149,25	27,25	+0,9	+3,1	149,05	29,65	+0,4	+2,7	151,80	29,70	+0,55	+1,45
							476,50	478	149,10	27,20	+1,0	+3,05	148,80	29,70	+0,55	+2,5	151,65	29,90	+0,55	+1,25
							479,20	479	149,20	27,45	+0,75	+2,95	148,95	29,75	+0,35	+2,5	151,70	29,85	+0,55	+1,3
							478,30	479	149,30	27,40	+0,75	+3,05	"	"	"	"	"	"	"	"
							479,20	480	149,05	27,75	+0,65	+2,65	148,80	30,05	+0,3	+2,25	151,60	30,00	+0,5	+1,1
							480,20	480	148,80	27,85	+0,75	+2,4	148,55	30,25	+0,3	+1,95	151,50	30,05	+0,55	+1,0
							479,10	478	149,20	27,50	+0,75	+2,9	"	"	"	"	"	"	"	"
							478,20	477	148,90	"	+0,95	+2,7	"	"	"	"	"	"	"	"
							475,70	471	149,40	27,20	+0,8	+3,25	"	"	"	"	"	"	"	"

Instrument zur Rep.











# RANNATALSPERRE LOTBEOBACHTUNGEN November 1950

Klar: ☉ Regen: •  
 Nebel: ☁ Schnee: \*  
 Niesel: ☂ Sturm: ⚡  
 Bewölkung: 1/4 bis 4/4 'Zeit' = Ableszeit (Lot)  
 Sonnenbestrahlung: 0 bis 4/4 (Tageamittel)

l, r: Millimeter  
 Positiv: Flussschwärze  
 und zum KF

Tag	Abl. Zeit	Temperatur, Wetter				Sor- ne	Stauspiegel		Messstelle Kote 461			Messstelle Kote 471			Messstelle Kote 483			Beobach- ter	Anmerkungen						
		7 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	Mitt- tel		Abl. Zeit	Mitt- tel	Ableseung	t	r	Ableseung	t	r	Ableseung	t	r								
1.	7 <sup>30</sup>	-1 <sup>5</sup>	4/4	+4	3/4	-0 <sup>5</sup>	+0 <sup>5</sup>	1/4	489,30	489	142,70	35,25	-0,1	-7,1					Kremser	Grundablesungen unten 147,65 30,1 Mitte 147,4 31,85 oben 151,15 31,15					
2.	7 <sup>30</sup>	+1	=	+5	3/4	+2	4/4	+2 <sup>5</sup>	1/4	489,60	489 <sup>5</sup>	142,60	"	-0,05	-7,15				"						
	16 <sup>00</sup>									489,50		142,85	35,05	-0,1	-6,85				"						
3.	7 <sup>00</sup>	+3	3/4	3 <sup>5</sup>	4/4	+2 <sup>5</sup>	4/4	+3	0	489,60	490	142,70	35,20	"	-7,05				"						
	16 <sup>00</sup>									"	"	"	35,15	-0,05	-7,0				"						
4.	7 <sup>00</sup>	+2	4/4	+2	4/4	0	4/4	+1	0	489,80	490	142,65	35,30	-0,1	-7,15				"						
	14 <sup>00</sup>	0	4/4	+1	4/4	0	4/4	+0 <sup>5</sup>	0	"	"	"	"	"	"				"						
5.	7 <sup>00</sup>	0	4/4	+1	4/4	+1	4/4	+1	0	490,50	"	142,25	35,90	-0,25	-7,85				"						
	14 <sup>00</sup>									490,20	"	142,40	35,80	-0,3	-7,7				"						
6.	7 <sup>00</sup>	0	4/4	+1	4/4	+1	4/4	+1	0	490,60	491	142,10	35,95	-0,2	-8,0				Prokop						
	17 <sup>00</sup>									"	"	"	36,00	"	-8,05				Kremser						
7.	7 <sup>30</sup>	+1	4/4	+2	4/4	+1 <sup>5</sup>	4/4	+1 <sup>5</sup>	0	491,00	491	141,85	36,15	-0,15	-8,3				"						
	17 <sup>00</sup>									490,90	"	141,80	36,30	-0,25	-8,45				"						
8.	7 <sup>30</sup>	0	4/4	0	4/4	+0 <sup>5</sup>	4/4	+0 <sup>5</sup>	0	490,60	491	141,70	36,35	"	-8,55				"						
	16 <sup>00</sup>									490,70	490 <sup>5</sup>	141,70	36,35	"	-8,55				"						
9.	7 <sup>00</sup>	-3 <sup>5</sup>	1/4	+3 <sup>5</sup>	1/4	-1	0	-0 <sup>5</sup>	3/4	490,70	"	142,00	36,10	-0,25	-8,1				"						
	16 <sup>00</sup>									490,70	"	142,00	36,10	-0,25	-8,1				"						
10.	7 <sup>30</sup>	0	=	+5	3/4	+0 <sup>5</sup>	0	+1 <sup>5</sup>	1/4	490,50	490	141,75	36,30	-0,2	-8,5				"						
	16 <sup>00</sup>									490,70	491	141,80	36,25	"	-8,4				"						
11.	7 <sup>00</sup>	+0 <sup>5</sup>	1/4	+10	1/2	+8	0	+6 <sup>5</sup>	1/2	491,80	492	141,60	36,50	-0,25	-8,75				"						
	16 <sup>00</sup>									491,90	"	141,80	36,20	-0,15	-8,4				"						
12.	7 <sup>00</sup>	+4	3/4	+7 <sup>5</sup>	4/4	+5	4/4	+5 <sup>5</sup>	0	492,30	492	141,60	36,30	-0,1	-8,6				"						
	16 <sup>00</sup>									492,40	"	141,70	36,40	-0,25	"				"						
13.	7 <sup>30</sup>	+2 <sup>5</sup>	4/4	+3 <sup>5</sup>	4/4	+1 <sup>5</sup>	4/4	+2 <sup>5</sup>	0	492,60	493	141,40	36,65	-0,2	-9,0				Prokop						
	16 <sup>00</sup>									492,80	"	141,30	"	-0,1	-9,05				Kremser						
14.	7 <sup>00</sup>	+1	4/4	+2	4/4	+0 <sup>5</sup>	4/4	+1	0	492,90	493	141,10	37,00	-0,25	-9,45				"						
	16 <sup>00</sup>									"	"	"	"	"	"				"						
15.	7 <sup>00</sup>	+7	4/4	+6	4/4	+3 <sup>5</sup>	4/4	+5	0	493,10	493	141,00	37,10	"	-9,6				"						
	16 <sup>00</sup>									"	"	140,90	37,15	-0,2	-9,7				"						
16.	7 <sup>30</sup>	-3	4/4	+1	3/4	-1	0	-1	1/4	"	"	"	"	"	"				"						
	16 <sup>00</sup>									"	"	"	"	"	"				"						
17.	7 <sup>00</sup>	-3	0	+1	=	-1	0	-1	1/4	"	"	"	"	"	"				"						
	16 <sup>00</sup>									"	"	"	"	"	"				"						
18.	7 <sup>30</sup>	0	=	+1 <sup>5</sup>	4/4	+1	0	+1	0	493,00	"	140,55	37,60	-0,25	-10,25	142,55	37,05	-0,25	-7,05	147,85	33,40	+0,75	-3,9	Kremser	
	16 <sup>00</sup>									492,90	"	140,60	37,55	"	-10,15	"	37,10	-0,3	-7,1	"	33,35	+0,8	-3,85	"	
19.	7 <sup>00</sup>	+0 <sup>5</sup>	=	+2 <sup>5</sup>	4/4	+0 <sup>5</sup>	=	+1	0	492,80	493	140,65	37,60	-0,35	"	"	"	"	"	147,95	"	+0,7	-3,8	"	
	16 <sup>00</sup>									492,70	"	140,70	37,55	-0,3	"	"	"	"	"	"	148,00	33,30	"	-3,7	"
20.	7 <sup>30</sup>	-1 <sup>5</sup>	1/4	+4	3/4	+8 <sup>5</sup>	3/4	+5	1/4	493	493	140,60	37,65	-0,35	-10,25	142,50	37,15	"	-7,15	147,95	33,35	"	-3,8	"	
	17 <sup>00</sup>									492,50	"	140,70	37,50	-0,25	-10,15	142,55	37,05	-0,25	-7,05	"	33,30	+0,75	-3,75	"	
21.	7 <sup>30</sup>	+1 <sup>5</sup>	4/4	+4	4/4	-1	=	+1	0	492,70	493	140,70	37,55	-0,35	-10,1	142,60	"	-0,3	-7,0	148,05	33,25	+0,7	-3,65	"	
	16 <sup>00</sup>									492,50	"	140,50	37,85	-0,4	-10,45	142,45	37,20	"	-7,2	147,90	33,40	"	-3,85	"	
22.	7 <sup>00</sup>	-3	1/4	+3	1/4	-1	=	-0 <sup>5</sup>	3/4	492,50	"	140,70	37,60	-0,35	-10,15	142,65	37,00	"	-6,95	148,15	33,25	+0,65	-3,55	"	
	16 <sup>00</sup>									492,60	493	140,55	37,80	-0,4	-10,4	142,50	37,20	"	-7,2	147,90	33,35	+0,75	-3,8	"	
23.	7 <sup>00</sup>	0	4/4	+0 <sup>5</sup>	4/4	0	4/4	0	0	492,60	"	"	"	"	"					"					
	16 <sup>00</sup>									"	"	"	"	"	"					"					
24.	7 <sup>00</sup>	-1 <sup>5</sup>	4/4	-1	4/4	-6	0	-3 <sup>5</sup>	0	492,50	492	140,45	38,10	-0,55	-10,65					Kremser	Eis 0,5cm				
	16 <sup>00</sup>									492,30	"	140,30	38,20	-0,5	-10,85					"					
25.	7 <sup>00</sup>	-7 <sup>5</sup>	1/4	+1	1/2	+0 <sup>5</sup>	4/4	-1 <sup>5</sup>	1/2	492,20	492	139,95	38,60	-0,55	-11,35					"	Eis 2,5cm				
	16 <sup>00</sup>									492,00	"	140,20	38,20	-0,45	-10,9					"	Eis 2-2,5cm				
26.	7 <sup>30</sup>	+0 <sup>5</sup>	1/2	+7	0	+4	0	+4	4/4	492,00	"	140,20	38,20	-0,45	-10,9					"	Auflösende Eisdecke				
	16 <sup>00</sup>									492,60	493	140,40	37,90	-0,35	-10,55					"	0,5cm				



# RANNATALSPERRE LOTBEOBACHTUNGEN Jänner 1951

klar: ☉ Regen: \*  
 Nebel: ☁ Schnee: \*  
 Niesel: ☂ Sturm: ⚡  
 Bewölkung: 1/4 bis 4/4 'Zeit' = Ableszeit (Lot)  
 Sonnenbestrahlung: 0 bis 4/4 (Tagesmittel)

t, r: Millimeter  
 Positiv: Flussaufwärts  
 und zum KR

Tag	Abl. Zeit	Temperatur, Wetter				Sonne	Stauspiegel		Messstelle Kote 461				Messstelle Kote 471			Messstelle Kote 483			Beobachter	Anmerkungen						
		7 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	Mittel		Abl. Zeit	Mittel	Ablesung	t	r	Ablesung	t	r	Ablesung	t	r									
1.	10 <sup>00</sup>	-10	1/2	-5 <sup>5</sup>	1/2	-11	1/4	-9 <sup>5</sup>	3/4	487,40	487 <sup>5</sup>	139,85	38,60	-0,5	-11,4							Kremser	Grundablesungen			
2.	7 <sup>30</sup>	-9 <sup>5</sup>	3/4	-4	4/4	-7 <sup>5</sup>	4/4	-7	1/2	486,80	486 <sup>5</sup>	90	55	"	-11,35							"	Höhe 461: 147,65 30,10			
3.	"	-5 <sup>5</sup>	4/4	-2 <sup>5</sup>	4/4	-2	4/4	-3	0	486,50	487	80	60	-0,45	-11,45							"	" 471: 147,40 31,85			
4.	"	-2	4/4	+1	3/4	-7	0	-4	0	487,30	"	80	60	"	"							"	" 482: 151,15 31,15			
5.	7 <sup>00</sup>	-4 <sup>5</sup>	4/4	+1	3/4	-3	"	-2 <sup>5</sup>	0	487,80	487 <sup>5</sup>	65	80	-0,5	-11,7							"				
6.	10 <sup>00</sup>	-8	1/4	+0 <sup>5</sup>	3/4	-3 <sup>5</sup>	1/2	-3 <sup>5</sup>	1/4	487,50	488	70	75	"	-11,6							"				
7.	10 <sup>00</sup>	-10	1/2	+1 <sup>5</sup>	4/4	+2	4/4	-1 <sup>5</sup>	1/2	488,20	488 <sup>5</sup>	50	95	"	-11,9							"				
8.	7 <sup>00</sup>	+2	4/4	+2 <sup>5</sup>	0	-2	1/2	0	1/2	488,90	489	60	75	-0,4	-11,7							"				
	16 <sup>00</sup>									489,00		70	35	-0,2	-11,35							"	Instrument gereinigt			
9.	7 <sup>00</sup>	-7	1/4	+1	3/4	-1 <sup>5</sup>	1/4	-2 <sup>5</sup>	1/2	489,30	"	35	75	-0,25	-11,85							"	gelockerte Fusschraube			
10.	7 <sup>30</sup>	-8 <sup>5</sup>	0	-1 <sup>5</sup>	0	-5	0	-5	4/4	489,50	489 <sup>5</sup>	20	95	-0,3	-12,1							"	nachgezogen			
11.	"	-10	0	+1	1/2	-3 <sup>5</sup>	1/2	-4	3/4	489,30	489	15	39,00	"	-12,2							"				
12.	"	-9 <sup>5</sup>	0	-1	1/2	-3	1/2	-4	1/2	489,40	"	20	"	"	-12,15							"				
13.	"	-5 <sup>5</sup>	4/4	0	4/4	-1	4/4	-2	0	"	"	"	"	"	"							"				
14.	9 <sup>30</sup>	-1	3/4	+1	1/2	-2 <sup>5</sup>	3/4	-1 <sup>5</sup>	1/4	489,20	"	35	38,80	"	-11,9							"				
15.	7 <sup>00</sup>	-7 <sup>5</sup>	4/4	-0 <sup>5</sup>	4/4	0	"	-2	0	489,00	"	30	80	-0,25	-11,95							"				
16.	7 <sup>30</sup>	-0 <sup>5</sup>	"	-1 <sup>5</sup>	4/4	0	4/4	-0 <sup>5</sup>	0	489,20	"	30	75	-0,2	-11,9							"				
17.	7 <sup>00</sup>	-1	"	+0 <sup>5</sup>	1/2	-1	"	-0 <sup>5</sup>	1/4	489,30	"	30	65	-0,15	-11,85							"				
18.	7 <sup>30</sup>	+1	"	+2	"	0	4/4	+1	0	"	"	45	50	"	-11,6							"				
19.	"	0	"	0	"	-0 <sup>5</sup>	"	-0 <sup>5</sup>	0	490,00	490	45	50	"	"							"				
20.	9 <sup>00</sup>	-0 <sup>5</sup>	"	0	"	0	4/4	0	0	490,20	"	35	60	"	11,75							"				
21.	7 <sup>30</sup>	-1	4/4	-0 <sup>5</sup>	"	-6	0	-3 <sup>5</sup>	1/4	"	"	"	"	"	"							"				
22.	16 <sup>00</sup>	-15	1/4	-2	4/4	-3	4/4	-6	0	489,70	489 <sup>5</sup>	25	80	-0,2	-11,95	141,55	37,80	-0,1	-8,25	147,40	33,65	+0,9	-4,4	"		
	7 <sup>30</sup>	-2	(*)	+1 <sup>5</sup>	4/4	-0 <sup>5</sup>	4/4	-0 <sup>5</sup>	0	489,10	489	25	85	-0,25	-12,0	"	37,85	-0,15	-8,3	"	33,70	+0,85	"	"		
23.	"	0	4/4	+2	3/4	-1	1/2	0	1/4	489,20	"	30	70	-0,2	-11,85	141,70	37,75	"	-8,1	147,45	33,75	+0,75	"	"		
24.	"	0	4/4	+2	3/4	-1	1/2	0	1/4	489,20	"	30	70	-0,2	-11,85	141,70	37,75	"	-8,1	147,45	33,75	+0,75	"	"		
25.	8 <sup>00</sup>	-5	0	0	3/4	-4	1/4	-3 <sup>5</sup>	1/2	"	"	40	60	"	-11,75	141,75	"	-0,25	-8,1	147,60	33,55	+0,8	-4,15	"		
26.	7 <sup>30</sup>	-2	"	+1	4/4	-1	"	-1	0	"	"	50	60	-0,25	-11,65	141,90	37,55	-0,2	-7,85	"	33,45	+0,9	-4,1	"		
27.	8 <sup>00</sup>	-1	4/4	+2	4/4	0	"	+0 <sup>5</sup>	0	488,85	"	60	45	-0,2	-11,5	141,95	37,45	-0,15	-7,75	147,70	33,40	+0,85	-4,0	"		
28.	8 <sup>30</sup>	-2	"	+2	3/4	+3	4/4	+0 <sup>5</sup>	1/4	488,90	"	60	40	"	-11,45	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
29.	8 <sup>00</sup>	-1	"	+2	4/4	-1	3/4	-0 <sup>5</sup>	0	489,10	"	70	30	"	-11,3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
30.	7 <sup>30</sup>	-1 <sup>5</sup>	"	+2 <sup>5</sup>	3/4	-0 <sup>5</sup>	1/4	0	1/4	488,70	488 <sup>5</sup>	75	30	"	-11,25	"	"	"	"	"	"	"	"	"	Prokop	
31.	"	-2	"	+1	4/4	0	"	-0 <sup>5</sup>	0	488,60	488	85	10	-0,15	-11,05	"	"	"	"	"	"	"	"	"	Kremser	













































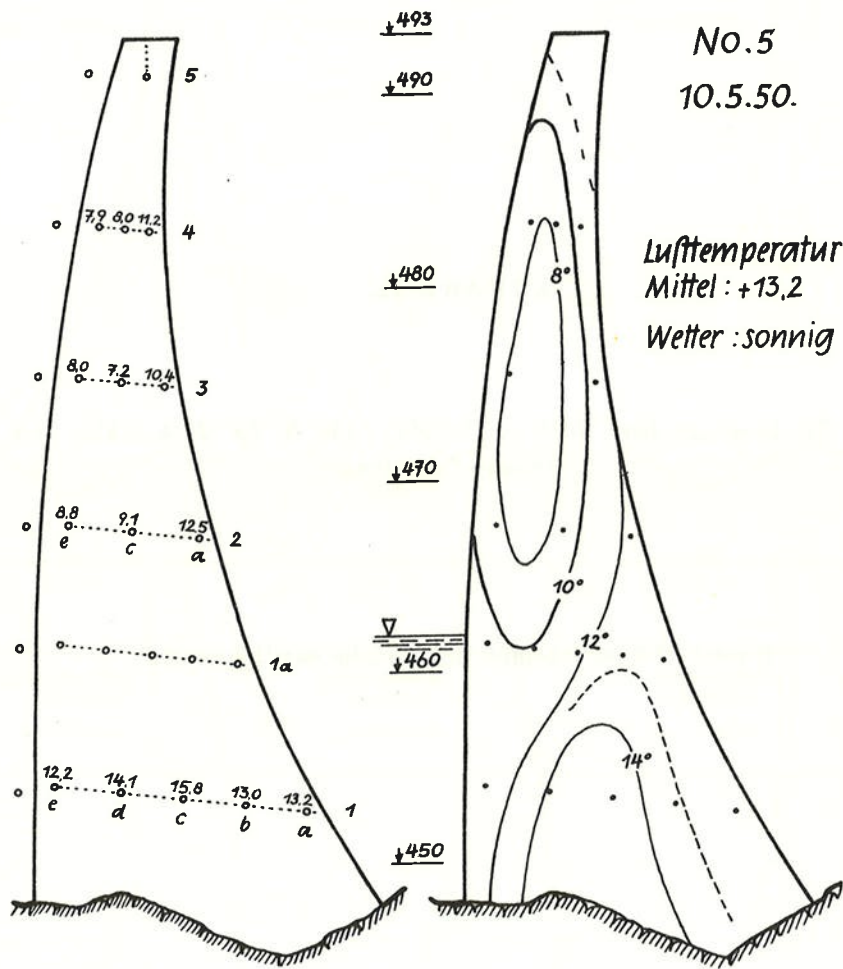


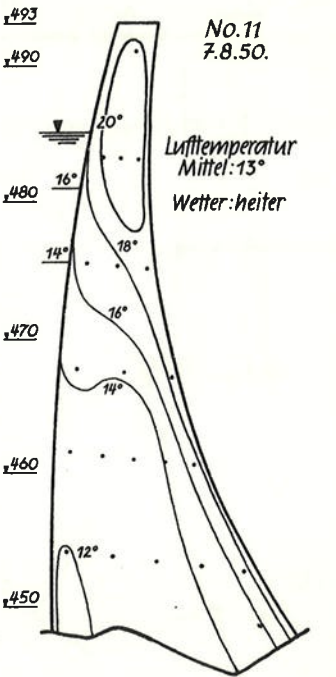
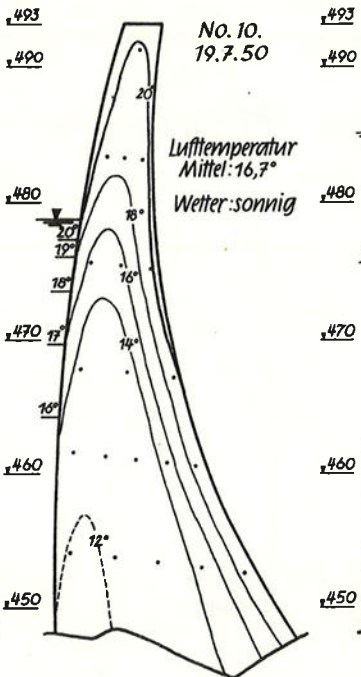
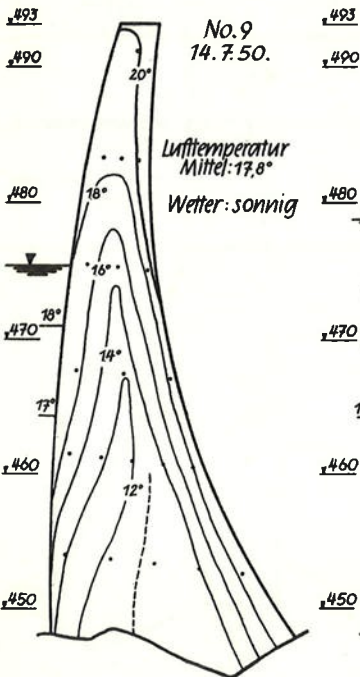
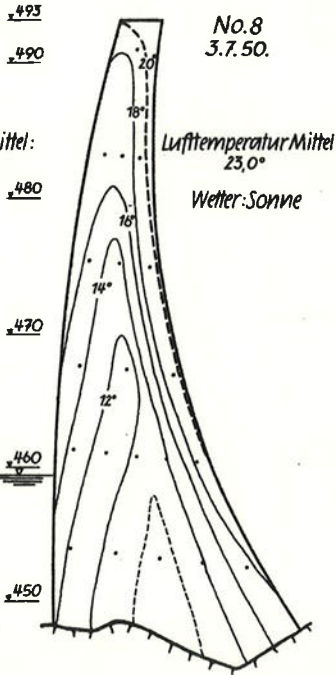
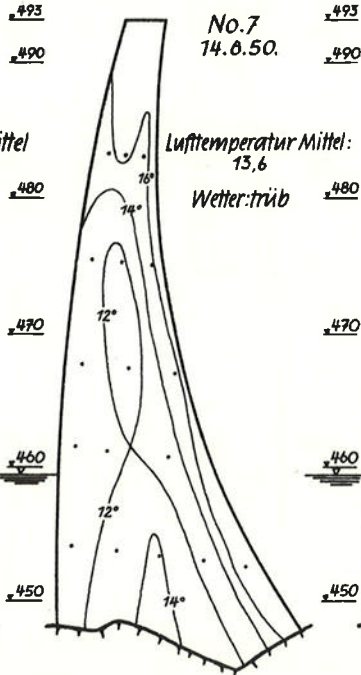
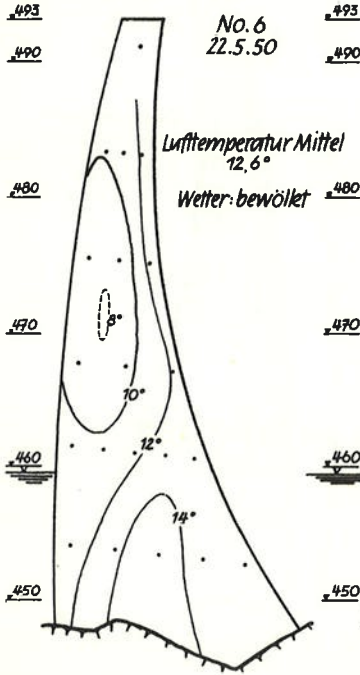
ANHANG II.

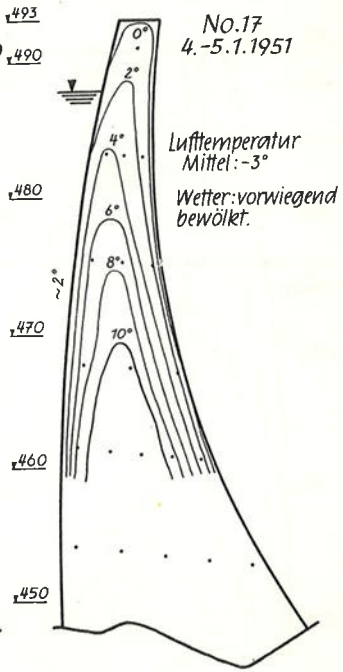
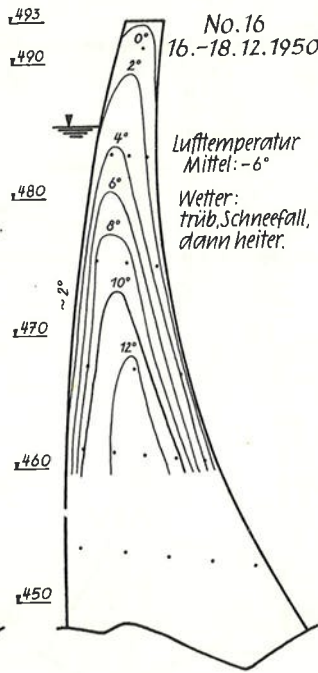
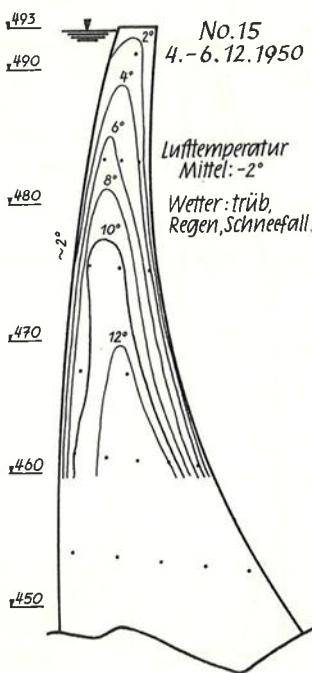
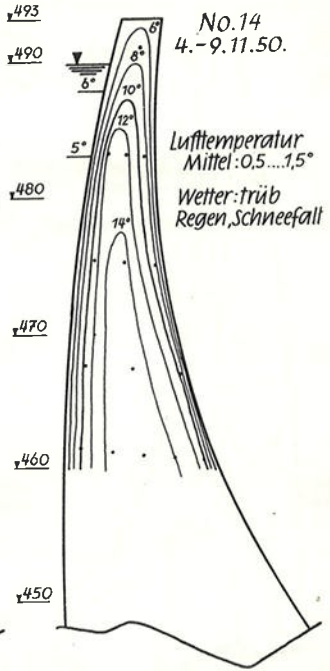
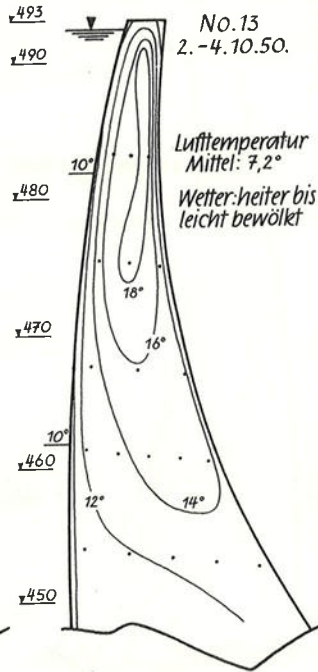
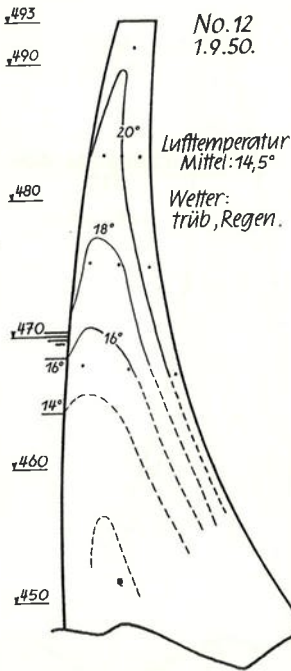
Die Temperaturprofile N° 5 (10.5.1950) bis N° 33 (25.4.1952) des  
Ranna - Gewölbes

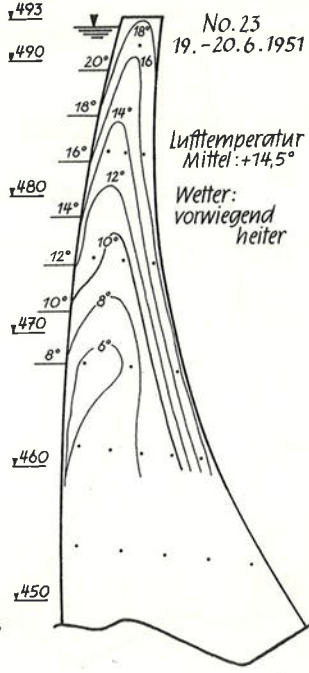
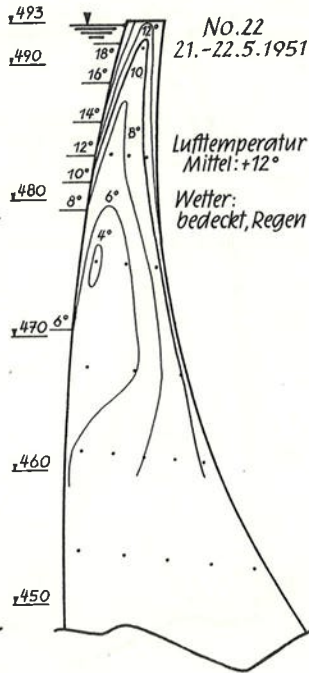
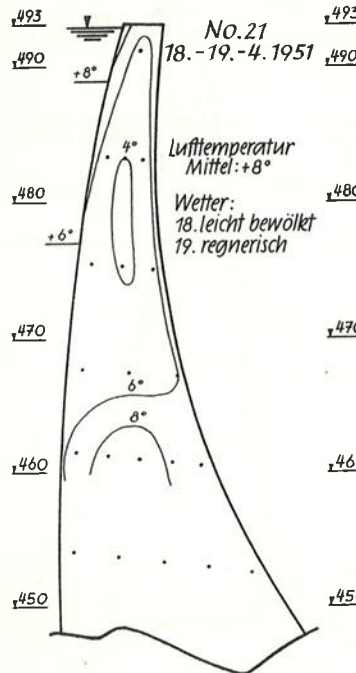
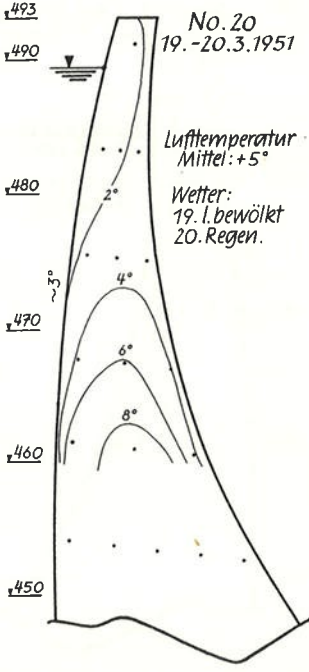
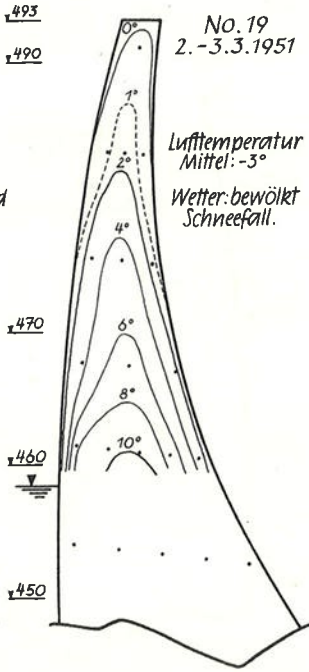
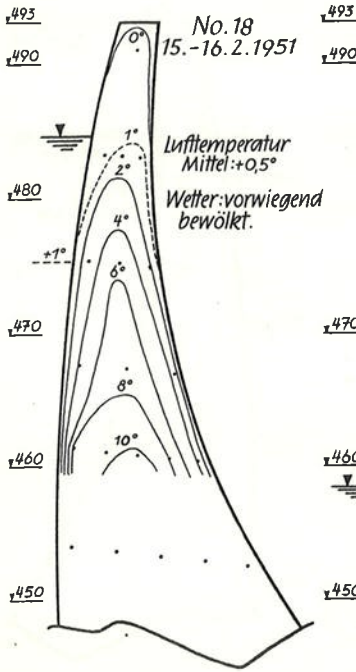
(Profil N° 5 beispielhaft mit Angabe der Messwerte).



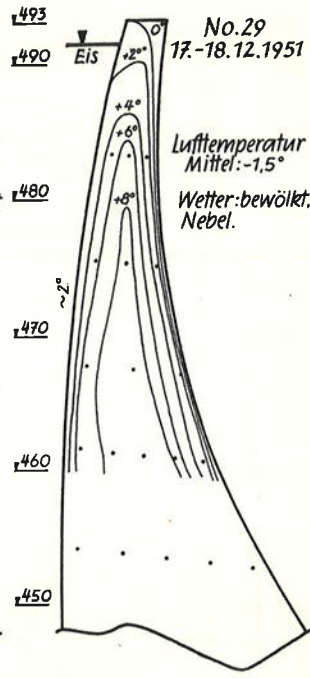
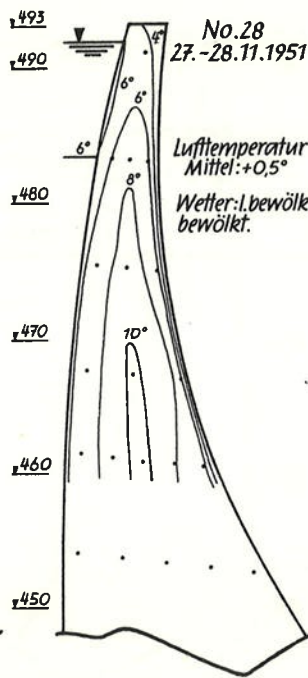
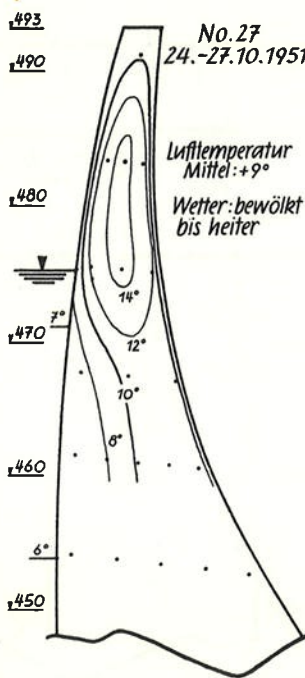
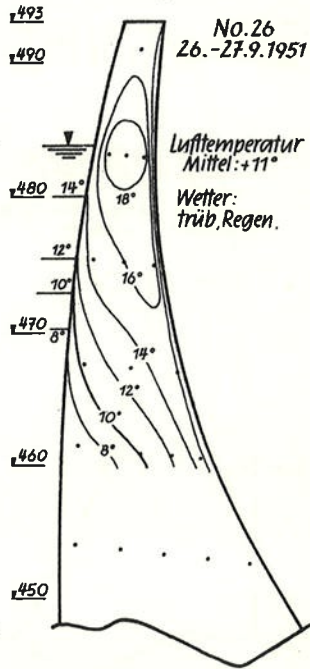
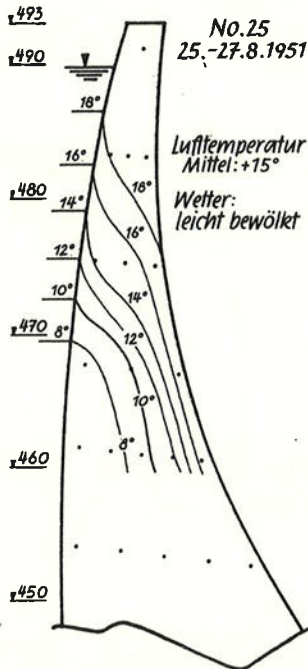
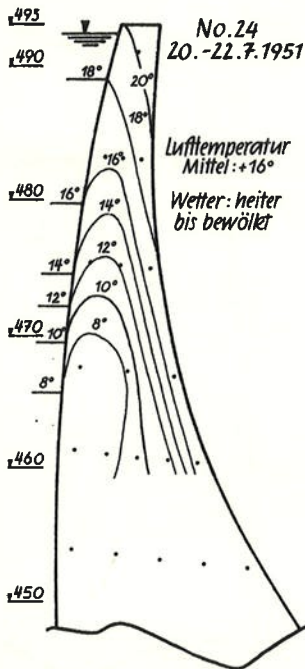


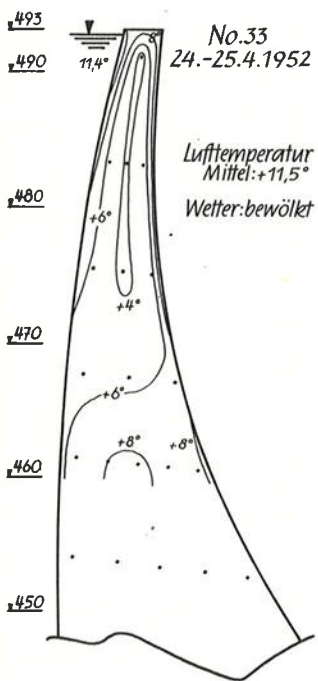
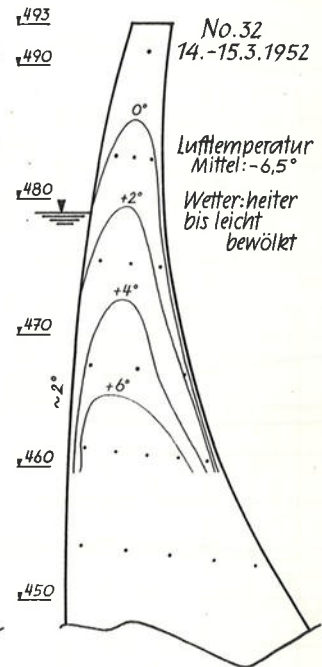
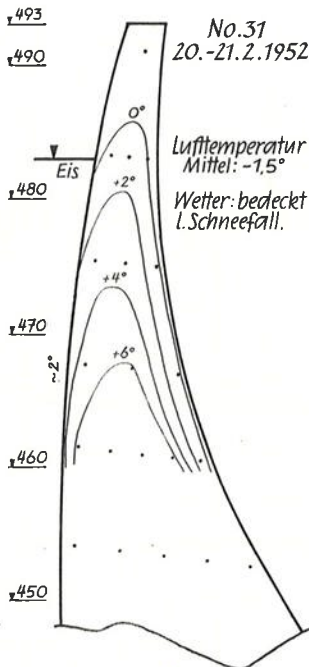
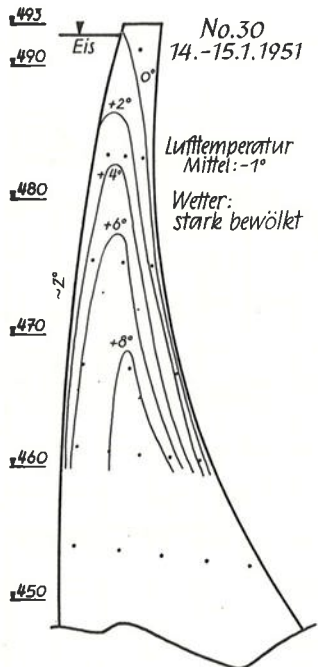














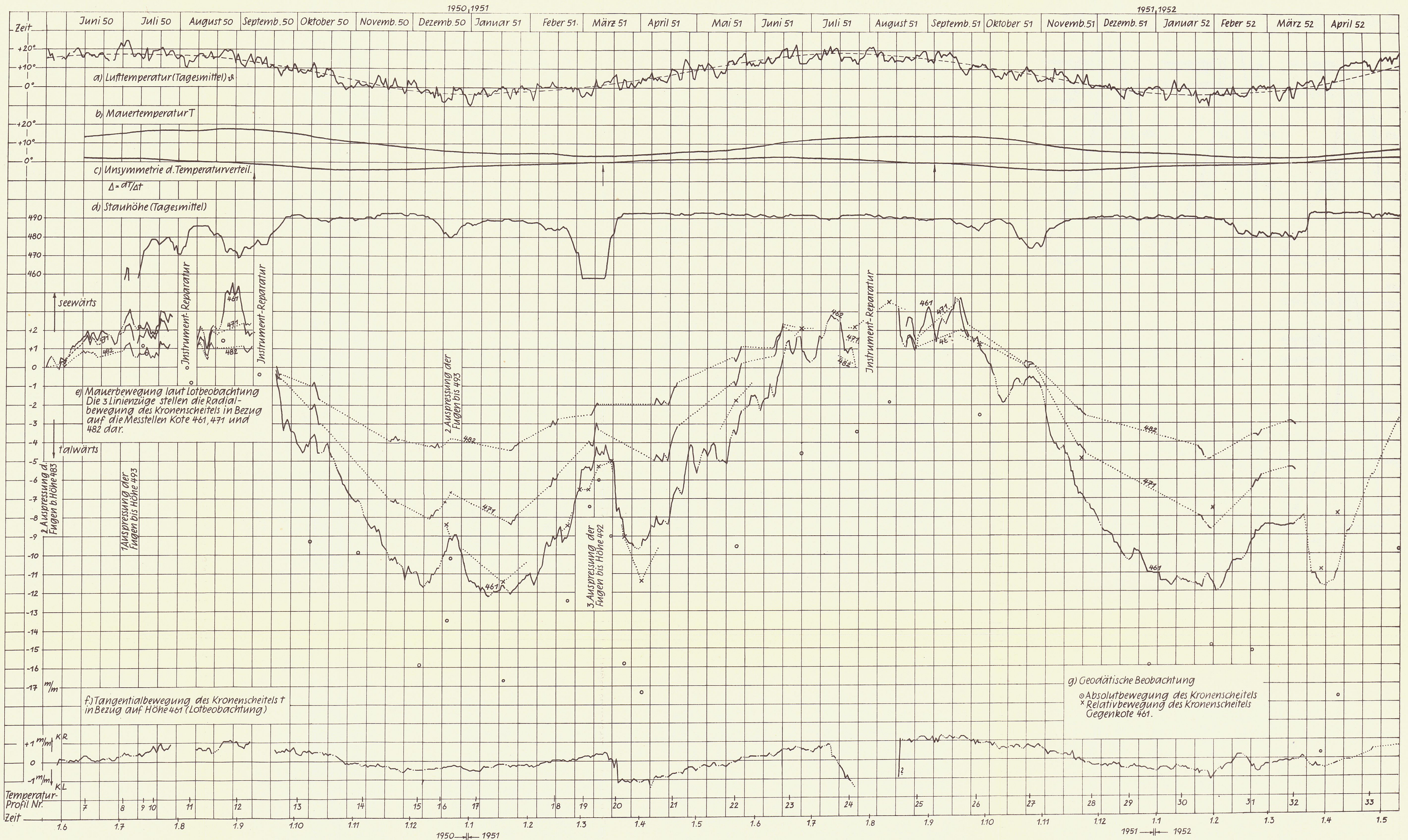


Fig. 5 Bogenstaumauer Ranna, Zusammenfassung der Beobachtungen Zeitraum: 23.5.1950 (Beginn) bis 31.8.1952.