

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 87 (1969)  
**Heft:** 49

**Artikel:** Die sofortige Überprüfung von Staumauerdeformationen  
**Autor:** Schnitter, N.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70824>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## 10. Schlussbetrachtungen

Es liegt im Interesse der Werke, die Entwicklung der Dinge aufmerksam zu verfolgen. Die Behörden sollen schon im Stadium der Projektierung auf allfällige entstehende Engpässe aufmerksam gemacht werden. Darüber hinaus lohnt es sich aber auch, schon bei der Wahl der Standorte neuer Werke und Unterwerke dem Transportweg (Durchfahrtshöhen, Durchfahrtsbreiten und maximal zulässige Belastungen) die volle Aufmerksamkeit zu schenken.

Wenn immer möglich sollten Schwertransporte nicht in Tauwetter-Perioden, aber auch nicht bei extrem hohen Temperaturen (Weichwerden der Teerbeläge) ausgeführt werden.

Wir Werkleute müssen auch die Argumente der Strassenbauer anhören und soweit als möglich darauf Rücksicht nehmen. Unsere Forderungen sind auf das unbedingt Nötige zu beschränken, wobei auch auf die zukünftige Entwicklung Rücksicht zu nehmen ist, weil an

dem einmal geschaffenen Strassenennet Änderungen nur mit unverhältnismässig hohen Kosten möglich sind.

### Verwendete Unterlagen

1. Bericht der VSS-Arbeitsgruppe für Ausnahmetransporte vom 1. Oktober 1964
2. Zwischenbericht der technischen Beratungsstelle vom 23. Mai 1967
3. Technischer Bericht der Arbeitsgruppe Versorgungsrouten an die kantonale Baudirektion Zürich vom 14. November 1967

### Literaturverzeichnis

- [1] «SEV-Bulletin» 55 (1964), Heft 3, Seiten des VSE, S. 26
- [2] «SEV-Bulletin» 56 (1965), Heft 18, Seiten des VSE, S. 26
- [3] «Motorlastwagen» 1968, Heft 18, S. 41–53

Adresse des Verfassers: *Hans Wüger*, dipl. Ing., 8802 Kilchberg, Baldernstrasse 15.

## Die sofortige Überprüfung von Staumauerdeformationen

Von N. Schnitter, dipl. Ing. ETH, Baden

DK 627.825.001.4

### 1. Einleitung

Der ständigen und regelmässigen Überwachung des Verhaltens von Talsperren durch Beobachtungen und Messungen wird seit geheimer Zeit die ihr zukommende Bedeutung geschenkt. Eher vernachlässigt wurde hingegen die rasche Interpretation der Messwerte und die sofortige Nachprüfung des ordnungsgemässen Verhaltens der Sperre, zum Beispiel durch Vergleich der gemessenen mit theoretisch oder statistisch vorausgesagten Werten. Nachfolgend wird ein seit mehreren Jahren erprobtes Verfahren beschrieben, welches erlaubt, die Deformationen von Bogenstaumauern, welche mittels Gewichts- oder Schwimmlöten jederzeit rasch und zuverlässig gemessen werden können, sofort nach den Methoden der Statik nachzurechnen. Neben der angestrebten laufenden Überwachung des Verhaltens des Bauwerkes vermitteln solche Nachrechnungen auch eine ständige Kontrolle der Messinstrumente und -ablesungen selbst, da diese bei Auftreten von Diskrepanzen als erste nachzuprüfen sein werden.

### 2. Erfassen der Einflusswerte

Das zu beschreibende Verfahren beruht auf der Verwendung von Einflusswerten für die beiden an den Deformationen einer Bogenstaumauer hauptsächlich beteiligten Wirkungen, das heisst für die Staupiegelschwankungen und die Betontemperaturen. Von letzteren müssen bei dicken Mauern im allgemeinen nur die gleichmässigen Temperaturänderungen berücksichtigt werden, während bei dünnen Sperren auch die Temperaturgefälle zwischen Wasser- und Luftseite eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung zukommt.

#### A. Einflusswerte für Staupiegelschwankungen

Diese lassen sich sehr leicht ermitteln, indem, am besten anlässlich der endgültigen statischen Berechnung für das Ausführungsprojekt<sup>1)</sup>, die gewünschten Deformationen für verschiedene Stauziele berechnet und die entsprechenden Biegelinien aufgezeichnet werden (Bild 1, b). Aus letzteren gewinnt man unmittelbar die Einflusslinien für die Deformation der Messpunkte in Funktion der Staupiegellage (Bild 2).

#### B. Einflusswerte für Temperaturwirkungen

Analog wie für verschiedene Stauziele lassen sich die gewünschten Deformationen auch für Einheitstemperaturänderungen bzw. -gefälle auf verschiedenen Mauerhöhen ermitteln, wobei es unerlässlich ist, dem dreidimensionalen Charakter des Bauwerkes Rechnung zu tragen<sup>2)</sup>. Die entsprechenden Biegelinien (Bild 1, c und d) erlauben nun die Bestimmung der Deformationen der Messpunkte infolge der Temperaturwirkungen auf gewissen, meist aus der statischen Berechnung übernommenen Mauerhöhen, die jedoch im allgemeinen nicht

<sup>1)</sup> Was zum Beispiel bei Verwendung einer Trägerrostmethode lediglich zusätzliche Belastungsglieder im Gleichungssystem für den Lastausgleich erfordert.

<sup>2)</sup> Was zum Beispiel bei Verwendung einer Trägerrostmethode einen Lastausgleich auch für die Temperaturwirkungen bedingt, wobei die gleichmässigen Temperaturänderungen primär nur die Bogen beeinflussen, während die Temperaturgefälle gleichzeitig auch auf die Konsolen wirken.

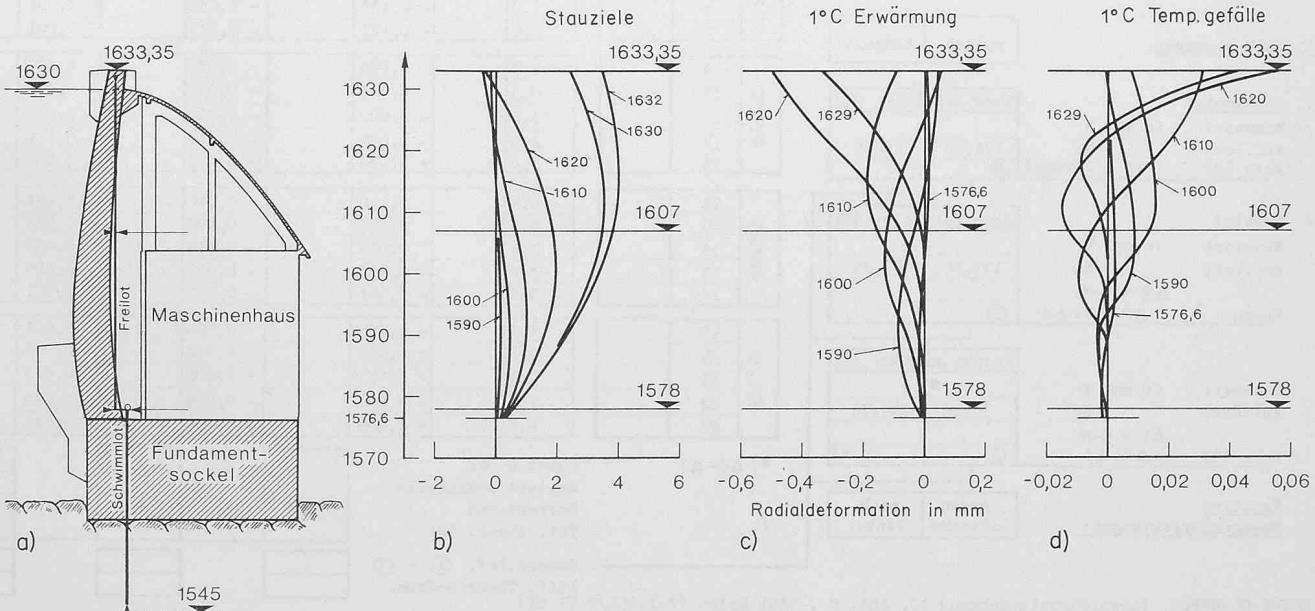
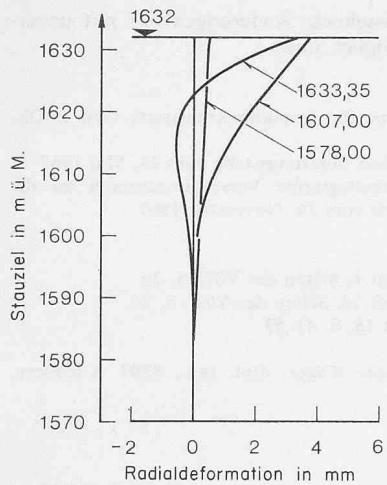


Bild 1. Horizontale Radialdeformationsverlauf im Hauptschnitt der Bogenstaumauer Ova Spin (a) für verschiedene Stauziele (b) bzw. Einheitstemperaturänderungen und -gefälle auf verschiedenen Mauerhöhen (c und d) auf Grund eines sechschnittigen radialen Lastausgleichs



Links:

Bild 2. Aus den Biegelinien von Bild 1b abgeleitete Einflusslinien für die horizontalen Radialdeformationen der drei Lotmesspunkte im Hauptschnitt der Bogenstaumauer Ova Spin

Rechts:

Bild 3. Verfahren zur Bestimmung der Wirkung von Einheitstemperaturänderungen  $t_m$  bzw. -gefällen  $\Delta t$  auf einem Temperaturmesshorizont aus den für benachbarte Mauerhöhen errechneten

Deformation im Messpunkt  $P$  infolge Temperaturwirkungen auf dem Messhorizont  $z_i$ :

$$\delta_{ti}^P = \frac{z_{i+1} - z_0}{z_{i+1} - z_i} \left( t_{mi} \delta_{tz_0}^P + \Delta t_i \delta_{\Delta tz_0}^P \right) + \\ + \frac{z_u - z_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \left( t_{mi} \delta_{tz_u}^P + \Delta t_i \delta_{\Delta tz_u}^P \right) \text{ usw.}$$

worin:  $\left. \begin{array}{l} \delta_{tz}^P \\ \delta_{\Delta tz}^P \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Deformationen in } P \text{ infolge } t_m \\ \text{bzw. } \Delta t = 1^\circ \text{ C auf Rechenhorizont } z \end{array}$

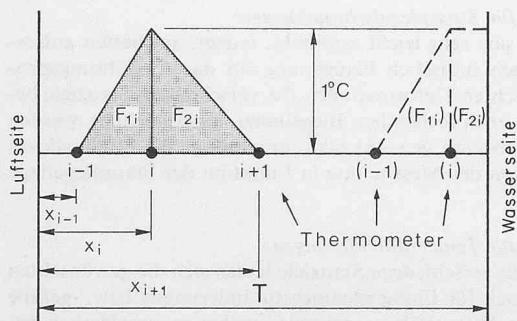
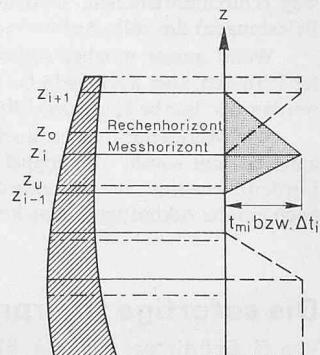


Bild 4. Verfahren zur Ermittlung der Einflüsse der einzelnen Thermometer auf einen Temperaturmesshorizont

Sopracenerina SA, Locarno  
Kraftwerk Giugaglio

#### MESSTEN

#### STAUMAUER VASASCA

Datum: ..... Zeit: ..... Vis.: .....

Seestand  
Lufttemp.

°C

#### A. Lotbewegungen

radial tangent.

#### 1. Schwimmlot

Gang auf Kote: 681

Messwert in mm M  
Anf. Wert Mo  
Kote 682 :  $\Delta F = -(M-Mo)$  (3)

#### 2. Freilot

Gang auf Kote: 681

Messwert in mm M  
Anf. Wert Mo  
 $\Delta M = M-Mo$   
Krone :  $\Delta C = \Delta F + \Delta M$  (1)

Nische auf Kote: 702

Messwert in mm M  
Anf. Wert Mo  
 $\Delta I = M-Mo$   
Kote 702 :  $\Delta C = \Delta F + \Delta I$  (2)

Positive Bewegungsrichtungen:

gegen Luftseite nach links

#### B. Betontemp.

Kote	Tele-therm.	Mess-wert T	Temp.-Äend. °C	
			Anf. Wert To	Δ T
724,90	1		- 0,3	- 0,023
	2		- 0,3	- 0,098
	3		1,5	- 0,169
	4		0,5	- 0,140
712,90	5		- 1,5	0,024
	6		0,0	- 0,038
	7		1,0	- 0,135
	8		2,8	- 0,120
697,90	9		- 1,3	0,034
	10		- 0,5	0,033
	11		1,5	- 0,001
	12		2,5	- 0,035
682,90	13		2,4	- 0,034
	14		- 0,5	0,010
	15		0,5	0,015
	16		3,5	0,012
670,90	17		3,8	0,003
	18		3,0	- 0,001
	19		3,2	- 0,005
	20		4,2	- 0,016
	21		7,0	- 0,027
	22		7,0	- 0,021
	23		6,8	- 0,008

#### C. Theor. radiale Deformationen im Hauptschnitt

Kote	Tele-therm.	Temp.-Äend. °C		Thermische Anteile in mm			
		Anf. Wert To	Δ T	(1) Krone	(2) Kote 702	(3) Kote 682	E
724,90	1	- 0,3	- 0,023	0,007	0,006	0	0,006
724,90	2	- 0,3	- 0,098	0,000	0	0,009	0
724,90	3	1,5	- 0,169	- 0,015	0	0,009	0
724,90	4	0,5	- 0,140	- 0,016	0,006	0	0,006
712,90	5	- 1,5	0,024	- 0,036	0,000	0	0,000
712,90	6	0,0	- 0,038	- 0,056	- 0,001	0	- 0,001
712,90	7	1,0	- 0,135	- 0,037	- 0,001	0	- 0,001
712,90	8	2,8	- 0,120	- 0,013	- 0,001	0	- 0,001
697,90	9	- 1,3	0,034	- 0,036	0,010	0	- 0,010
697,90	10	- 0,5	0,033	- 0,059	0,016	0	- 0,016
697,90	11	1,5	- 0,001	- 0,060	0,015	0	- 0,015
697,90	12	2,5	- 0,035	- 0,044	0,011	0	- 0,011
697,90	13	2,4	- 0,034	- 0,023	0,005	0	- 0,005
682,90	14	- 0,5	0,010	0,005	0,024	0	- 0,024
682,90	15	0,5	0,015	0,002	0,038	0	- 0,038
682,90	16	3,5	0,012	- 0,015	0,030	0	- 0,030
682,90	17	3,8	0,003	- 0,026	0,009	0	- 0,009
682,90	18	3,0	- 0,001	- 0,017	0,001	0	- 0,001
670,90	19	3,2	- 0,005	0,000	0	0,001	0
670,90	20	4,2	- 0,016	- 0,002	0,001	0	- 0,001
670,90	21	7,0	- 0,027	- 0,008	0,017	0	- 0,017
670,90	22	7,0	- 0,021	- 0,009	0,022	0	- 0,022
670,90	23	6,8	- 0,008	- 0,005	0,011	0	- 0,011

\* )  $\Delta C - \Delta I$

Summe E · ΔT

Wasserdruckanteile

Korrekturen

Tot. theor. Def.

Gemess. Def. (1) - (3)

Diff. Theorie-Mess.

MOTOR-COLUMBUS, Ingenieurunternehmung AG, Abt. S, 5401 Baden (Tel. 056/2 71 01)

Bild 5. Kombiniertes Mess- und Auswertungsformular für die horizontalen Deformationen der drei Lotmesspunkte im Hauptschnitt der Bogenstaumauer Vasasca; der rechte Teil des Formulars dient der Nachrechnung der Radialdeformationen

Tabelle 1.

Materialeigenschaft	Bestimmung	Bogenstaumauer Zervreila	Sufers	Vasasca
Beton-Elastizitätsmodul in kg/cm <sup>2</sup>	Betonprismen Mauerdeformationen	220 000 190 000	330 000 320 000	220 000 206 000
Fels-Elastizitätsmodul in kg/cm <sup>2</sup>	Geoseismik Bohrkerne Mauerdeformationen	340 000 n. b. 190 000	300 000 275 000 320 000	190 000 104 000 206 000
Wärmeausdehnungskoeffizient in 10 <sup>-5</sup> /°C	Mauerdeformationen	1.46	0.62	0.64

mit den Horizonten der Temperaturmessung übereinstimmen werden. Ein Verfahren zur Umrechnung auf letztere zeigt Bild 3.

Eine weitere Verfeinerung ist nun möglich, indem die Einheits temperaturwirkung auf einem bestimmten Temperaturmesshorizont in die Einzeleinflüsse der verschiedenen Thermometer zerlegt wird. Dies nach dem Prinzip, wonach die Fläche und das statische Moment der durch eine gleichmässige Temperaturänderung und ein Temperaturgefälle bestimmten theoretischen Temperaturverteilung gleich denjenigen der tatsächlichen sein sollen (Bild 4). Da es sich dabei nur um geometrische Beziehungen handelt, können diese ein für alle Mal berechnet werden. Ferner lassen sich deshalb auch die Wirkungen der Einheitstemperaturänderung  $t_m$  und des -gefälles  $\Delta t$  zusammenfassen, so dass für die Auswertung nur noch ein Einflusskoeffizient pro Thermometer übrig bleibt, Bild 5.

### 3. Anpassen der Einflusswerte

Die vorbeschriebene Erarbeitung der Einflusswerte wird, wie gesagt, am besten zusammen mit den übrigen statischen Berechnungen, im allgemeinen mit vorweg angenommenen elastischen und thermischen Kennziffern erfolgen. Deshalb werden die berechneten Deformationen kaum auf Anhieb mit den gemessenen übereinstimmen, sondern noch gewisser Korrekturen bedürfen, welche wie folgt formuliert werden können:

$$k_w \cdot \delta_w + k_t \cdot \delta_t = \delta_m$$

dabei bedeuten

$\delta_w$  = Theoretische Deformation infolge Wasserdruk

$\delta_t$  = Theoretische Deformation infolge Temperaturwirkungen

$\delta_m$  = Gemessene Gesamtdeformation

$k_w$  = Korrekturfaktor für  $\delta_w$

$k_t$  = Korrekturfaktor für  $\delta_t$

Die Korrekturfaktoren  $k_w$  und  $k_t$  können sodann aus einer genügenden Anzahl von Wertegruppen  $\delta_w$ ,  $\delta_t$  und  $\delta_m$  für eine der anfänglichen Anpassungsphase folgende Messperiode durch multiple lineare Korrelation<sup>3)</sup> ermittelt werden. Glücklicherweise hängen die Deformationen infolge Wasserdruk hauptsächlich vom Elastizitätsmodul des Betons ab, das heisst der Faktor  $k_w$  bzw. sein Reziprokwert  $1/k_w$  stellt im wesentlichen eine Korrektur desselben dar. Analog bedeutet der Faktor  $k_t$  zur Hauptsache eine Korrektur des Wärmeausdehnungskoeffizienten des Betons, der je nach der petrographischen Beschaffenheit der Zuschlagstoffe zwischen etwa 0,5 und  $1,5 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  variieren kann.

Das theoretisch sowohl die Deformationen infolge Wasserdruk als auch diejenigen aus Temperatur beeinflussende Verhältnis der Elastizitätsmoduli des Betons und des Felsuntergrundes ist für letzteren von nur sehr geringer Bedeutung. Bei den Deformationen infolge Wasserdruk macht es sich mit Ausnahme der fundamentenahmen Mauerteile nur beschränkt bemerkbar, nimmt doch zum Beispiel die radiale Kronenscheiteldurchbiegung von schlanken Bogenstaumauern bei seiner Erhöhung von 1 auf 10 bzw. 20 nur etwa um 100 bzw. 200% zu. Innerhalb der Genauigkeitsgrenzen, mit denen das genannte Verhältnis gewöhnlich durch geoseismische oder geomechanische Untersuchungen bestimmt werden kann, hat eine Abweichung von seinem angenommenen Wert somit nur einen geringen Einfluss auf die Deformationen im grössten Teil der Staumauer.

### 4. Schlussfolgerungen

Das beschriebene Verfahren zur sofortigen Nachrechnung der Deformationen von Bogenstaumauern nach den Methoden der Statik konnte bisher anhand mehrjähriger Messungen an den Staumauern Zervreila, Sufers (Bild 6) und Vasasca auf seine Brauchbarkeit geprüft werden.

Zum Schluss mögen noch die aus der Anpassung der Einflusswerte an die Messergebnisse gewonnenen Werte der Materialeigenschaften und deren Vergleich mit den versuchstechnisch vorausbestimmten Werten interessieren. Diese sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

<sup>3)</sup> Für welche die meisten EDV-Systeme über Standardprogramme verfügen.

Adresse des Verfassers: *Niklaus Schnitter, dipl. Ing. ETH, Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden.*

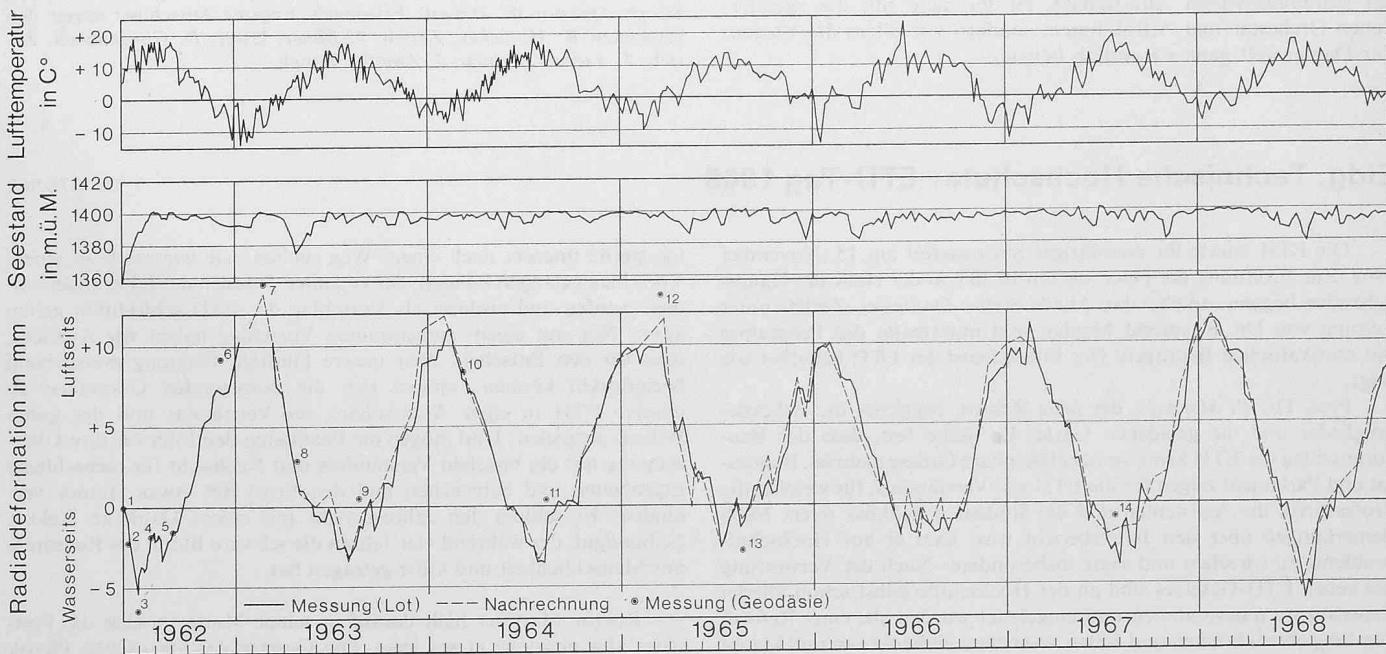


Bild 6. Gemessene und nachgerechnete horizontale Radialdeformationen des Kronenscheitels der Bogenstaumauer Sufers mit Ganglinie der Lufttemperatur und des Seestandes