

Volker Bettzieche, Ruhrverband, Essen

Erfahrungen bei der meßtechnischen Überwachung von Talsperren

1 Einführung

Die Wasserversorgung des Ballungsraumes Ruhrgebiet erfolgt im wesentlichen durch die Entnahme von Wasser aus der Ruhr. Wegen der schwankenden natürlichen Wasserführung des Flusses und der Wasserverluste durch das Überpumpen in benachbarte Flußgebiete ist die kontinuierliche Bedarfsdeckung nur mit dem Betrieb von Talsperren an den Nebenflüssen der Ruhr möglich. Diese speichern in abflußreichen Zeiten Wasser, das in Zeiten geringer natürlicher Wasserführung als Zuschußwasser abgegeben wird. Die Talsperren dienen damit einerseits dem Hochwasserschutz und andererseits der Niedrigwasseranreicherung der Ruhr in Trockenzeiten.

Der 1899 als privatrechtlicher Verein gegründete und 1913 in eine Körperschaft des öffentlichen Rechts umgewandelte Ruhrtalsperrenverein, baute und betrieb Talsperren im Einzugsgebiet der Ruhr. Im Jahre 1990 wurde der Ruhrtalsperrenverein mit dem für die Wassergütewirtschaft zuständigen Ruhrverband vereinigt. Der neue Wasserverband führt seitdem den Namen Ruhrverband und nimmt sowohl die Aufgaben der Wassermengen- als auch der Wassergütewirtschaft wahr.

Die Talsperren des Ruhrverbands werden durch Absperrbauwerke verschiedener Bauarten eingestaut:

- 3 Bruchsteinmauern mit Kronenhöhen von 29 bis 42 m
- 2 Steinschüttdämme mit Betonkerninnendichtung mit Kronenhöhen von 54 bis 69 m
- 2 Steinschüttdämme mit Oberflächendichtung mit Kronenhöhen von 57 bis 60 m
- 1 Wehranlage mit Erddamm mit 16 m Kronenhöhe

Sie besitzen einen Gesamtstauraum von etwa 450 Mio. m³.

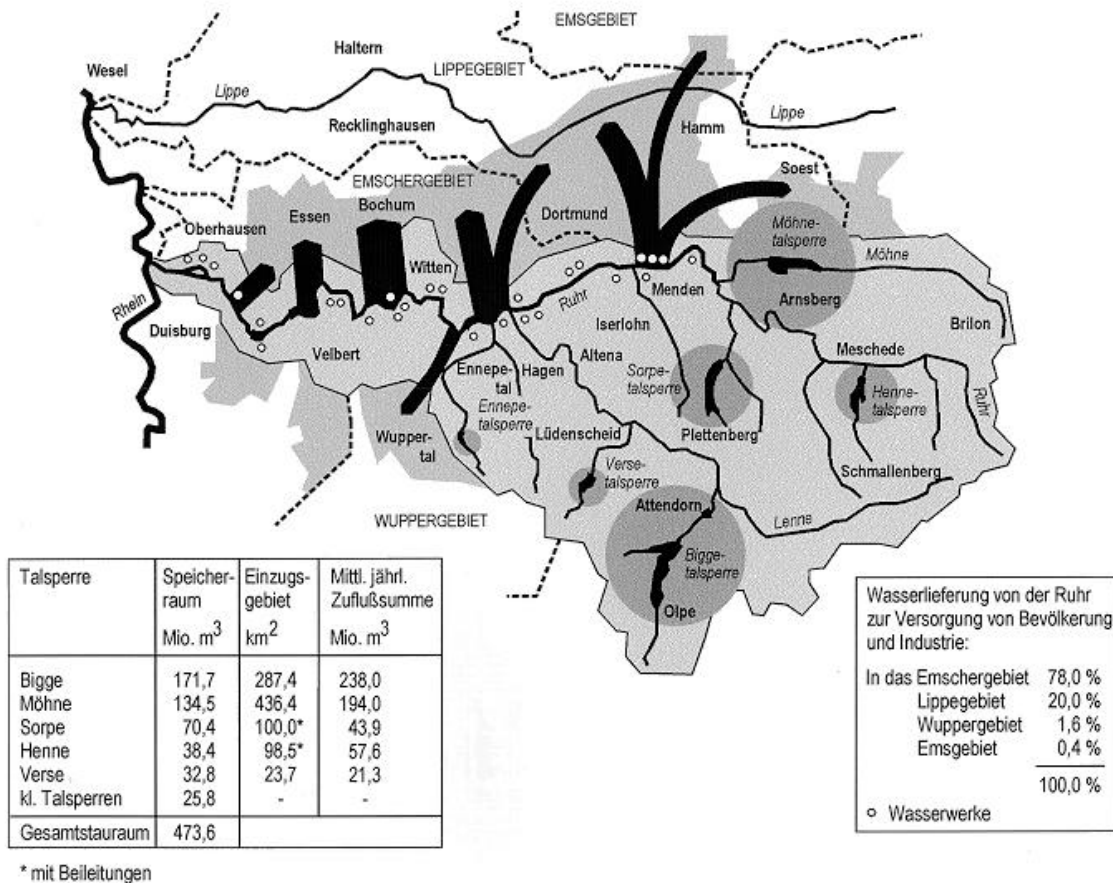


Abbildung 1: Verbandsgebiet

2 Erfahrungen bei der Überwachung von Absperrbauwerken

Die ständige Überwachung und Kontrolle seiner Staubawerke gehört zu den wesentlichen Aufgaben eines Talsperrenbetreibers. An den Talsperren des Ruhrverbands werden daher seit ihrer Bauzeit, also z.T. seit mehr als 90 Jahren, Messungen und Beobachtungen durchgeführt. Die Meßeinrichtungen wurden während diesem langen Zeitraum ständig der technischen Entwicklung angepaßt und entsprechen heute dem Stand der Technik, wie er z.B. in der DIN 19700 oder dem DVWK-Merkblatt 222 [2] beschrieben ist.

Die jeweilige Meßausstattung eines Absperrbauwerks berücksichtigt die Bauweise (Stau-mauer oder Staudamm mit Innen- oder Außendichtung) und die entsprechend zu überwa-chenden Meßgrößen.

Über einige der Meßeinrichtungen, die an ihnen ermittelten Meßergebnisse sowie die zuge-hörigen Fragen der Meßproblematik soll an dieser Stelle berichtet werden.

2.1 Verschiebungs- und Neigungsmessungen im Versestaudamm

Die Versetalsperre liegt südlich von Lüdenscheid im Versetal am Südhang des Ebbegebirges. Erste Arbeiten zur Einrichtung der Talsperre wurden bereits am Anfang der 30er Jahre durchgeführt. Aufgrund der Wirtschaftskrise wurde die Errichtung des Sperrbauwerkes zurückgestellt und erst 1938 aufgrund des wieder steigenden Wasserbedarfes wieder aufgenommen. Nach einer weiteren Unterbrechung der Bauarbeiten bei Kriegsende konnte im April 1951 mit dem Einstau begonnen werden.

Das Absperrbauwerk wurde als Steinschüttdamm mit Betonkerndichtung errichtet. Am Fuß des 54 m hohen Dammes befindet sich ein Kraftwerk, das die Wasserspiegeldifferenz zur Energiegewinnung nutzt. Der Stauinhalt der Talsperre beträgt 32,8 Mio. m³.

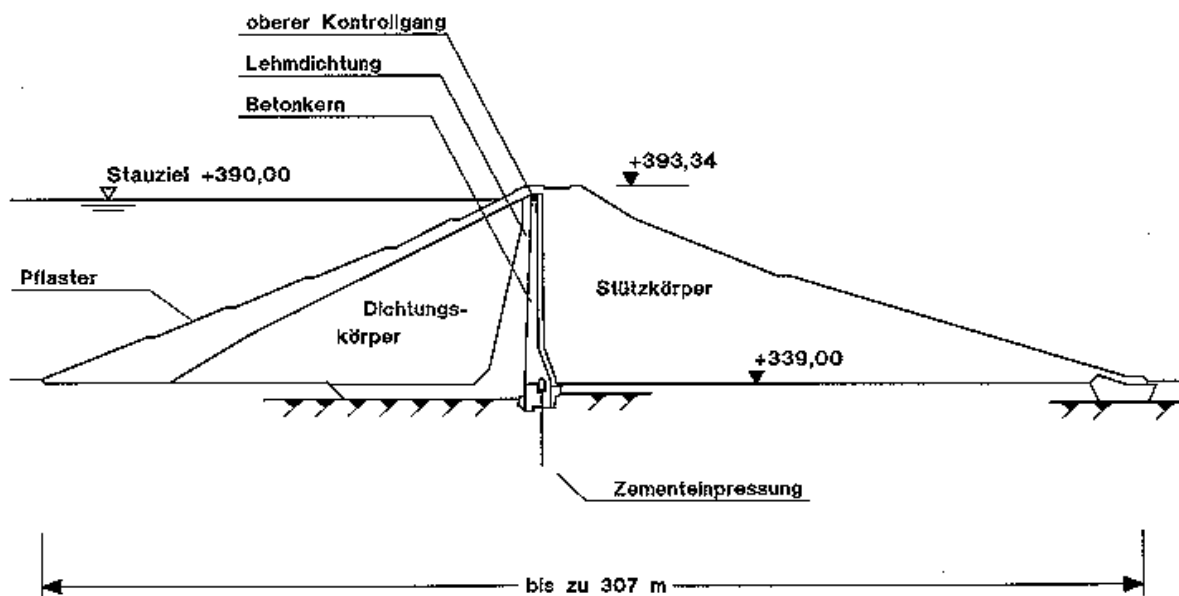


Abbildung 2: Dammquerschnitt Versetalsperre

Eine Lotvorrichtung in der Mitte des Dammes erlaubt eine Beobachtung der horizontalen Verschiebungen des Betonkerns (s. Abbildung 3). Die Einrichtung besteht aus 9 Einzellosten, die vom oberen Kontrollgang zum unteren Kontrollgang reichen. Die Einrichtung wurde in den Jahren 1950/1951 schrittweise eingebaut und mit dem Einstau in Betrieb genommen. Die Lote werden monatlich abgelesen, wobei der etwa 50 m hohe Meßschacht durchstiegen werden muß.

Die seit dem Einstau beobachteten Werte zeigen das typische Verformungsverhalten eines Dammes mit Innendichtung. Nach anfänglich deutlichen Verschiebungen liegen die seither beobachteten Verschiebungsdifferenzen unter der Meßgenauigkeit.

Aufgrund der Aufteilung der Lotanlage in neun Einzellote können neben der Verschiebung der Dammkrone die Verschiebungen des Betonkerns über die neun Lotpunkte beobachtet werden und so die Biegelinie des Kerns konstruiert werden.

Um über die Durchbiegung des Betonkerns noch detailliertere Informationen zu erhalten, wurde Anfang 1993 ein elektronisches Neigungsmeßsystem mit 4 Neigungsmessern (SCHAEVITZ-Inklinometer) in verschiedenen Horizonten des Lotschachtes eingebaut und 1996, auch aufgrund der guten Erfahrungen, auf 8 Neigungsmesser erweitert. Die Meßwerte werden kontinuierlich aufgenommen, 2-mal am Tag gespeichert und 1-mal pro Monat mittels Computer aus dem Meßverstärkersystem ausgelesen.

Anhand dieser Neigungsmesser können nun die Bewegungen von 8 der 11 Betonierabschnitte beobachtet werden. Die Meßergebnisse sollen später zur Beurteilung der Beanspruchung des Betonkerns herangezogen werden.

Obwohl die Meßeinrichtung zur Zufriedenheit arbeitet, seien hier einige (anfängliche) Probleme aufgeführt:

- trotz Abschirmung der Meßkabel Störeinflüsse durch benachbarte Stromkabel - die Kabelführung wurde verändert
- Störeinflüsse durch Spannungsschwankungen im Netz, hervorgerufen durch die Nähe zum Kraftwerk
- defektes Meßkabel
- Stromausfall - die vorhandene spannungsfreie Stromversorgung ist zur Überbrückung von 10 Stunden ausgelegt. Aufgrund des ständigen Nachladens im Betriebsfall trat im Akku ein sog. Gedächtnisverlust auf.
- Blitzschaden - die Meßeinrichtung ist durch einen Überspannungsschutz gesichert, jedoch nahm die spannungsfreie Stromversorgung Schaden

Anzumerken bleibt, daß sämtliche Kalamitäten abgestellt wurden. Die Meßeinrichtung arbeitet inzwischen erwartungsgemäß.

Abgesehen von den zusätzlichen Informationen, die die Neigungsmeßanlage über die Verformungen des Betonkerns liefert, soll noch auf die Redundanz der beiden Meßsysteme Neigungsmesser-Lotanlage hingewiesen werden. Neben der Möglichkeit, die Ergebnisse auf Plausibilität zu überprüfen, werden die Nachteile der einen Meßeinrichtung durch die andere ausgeglichen. So kann die elektronische Neigungsmeßeinrichtung nach einem längeren Ausfall (wie z.B. während der o.g. Erweiterung der Meßanlage) anhand der Lotanlage

wieder justiert werden. Gegenüber dem monatlich unter entsprechendem Aufwand abzulesenden Lot liefert die elektronische Anlage praktisch kontinuierliche Daten ohne großen Aufwand.

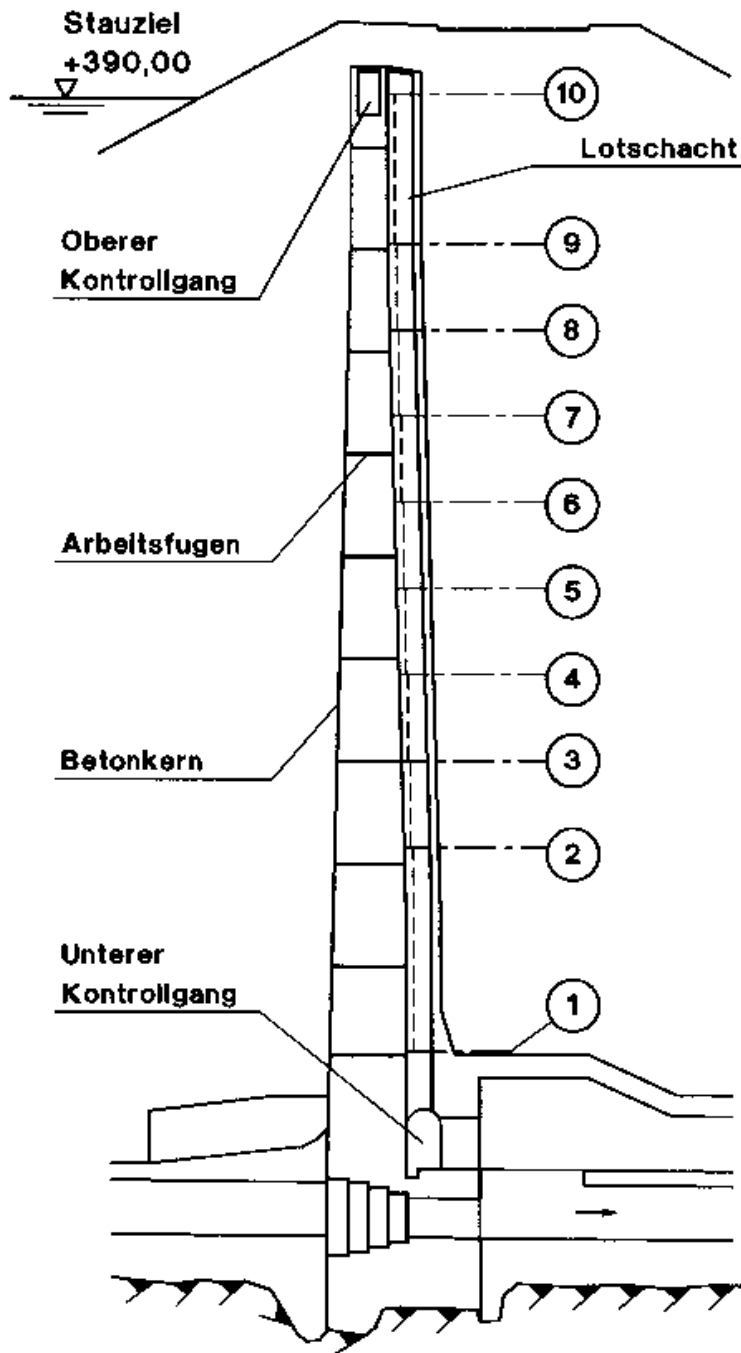


Abbildung 3: Betonkern des Versedamms mit Lotanlage

2.2 Spannungs- und Porendruckmessungen unter der Fürwiggestaumauer

Die in den Jahren 1902 bis 1904 errichtete Fürwiggetalsperre gehört zu den ersten Talsperren, die nach Plänen von Prof. Intze im Einzugsgebiet der Ruhr errichtet wurden. Mit einer Stauoberfläche von 17,7 ha und einem Stauinhalt von 1,67 hm³ gehört sie nach heutigem Maßstab zu den kleinen Talsperren.

Um genauere Informationen über das Verhalten der in Talmitte 29 m hohen Staumauer zu erhalten, wurde 1986 die zur Überwachung der Mauer vorhandene Meßeinrichtung wesentlich erweitert. Neben einer Lotanlage wurden Spannungsgeber, Porenwasserdruckgeber sowie Inkrementalextensometer und Temperaturmeßeinrichtungen eingebaut (s. [3,4]).

Zunächst seien die Spannungs- und Porenwasserdruckgeber betrachtet. Sie wurden in einem Meßquerschnitt in Talmitte angeordnet. Fünf Porenwasserdruckgeber P1 bis P5 (Glözl P4 SF 10 ER3) und die Spannungsgeber G1 bis G4 verteilen sich wie folgt: P1 mit G1 und G2 etwa 2 m vor der Mauer, P2 und P3 sowie G3 und G4 unmittelbar am wasserseitigen Mauerfuß, P4 im wasserseitigen Drittelpunkt und P5 in Sohlenmitte.

Die Messungen werden seit dem Einbau wöchentlich durchgeführt. Die Meßeinrichtung liefert seither plausible und verwertbare Ergebnisse. Lediglich der Porendruckgeber P1 lieferte aus nicht bekannten Gründen in der Anfangszeit überaus schwankende Ergebnisse, ist jedoch seit 1988 stabil. Außer dem Austausch dreier Drucklufthähne in den Jahren 1991 und 1992 traten keine Probleme auf.

Die Meßergebnisse geben die im Untergrund einer Staumauer erwartete Situation wieder. Sie zeigen, daß (kurzgefaßt)

- der Porenwasserdruck unter dem wasserseitigen Mauerfuß etwa 70% des aus der Wassersäule möglichen Wasserdrucks entspricht und zur Luftseite hin überproportional abnimmt;
- die Spannungsgeber G1 und G2 praktisch unbeeinflusst sind von wechselnden Belastungen, während die unter dem Mauerfuß angeordneten Spannungsgeber deutlich auf die jahreszeitlichen Bewegungen der Mauer reagieren, die durch Temperatureinwirkungen erklärt werden können.
- unter dem wasserseitigen Mauerfuß keine Zugspannungen auftreten, also keine Fuge klafft.

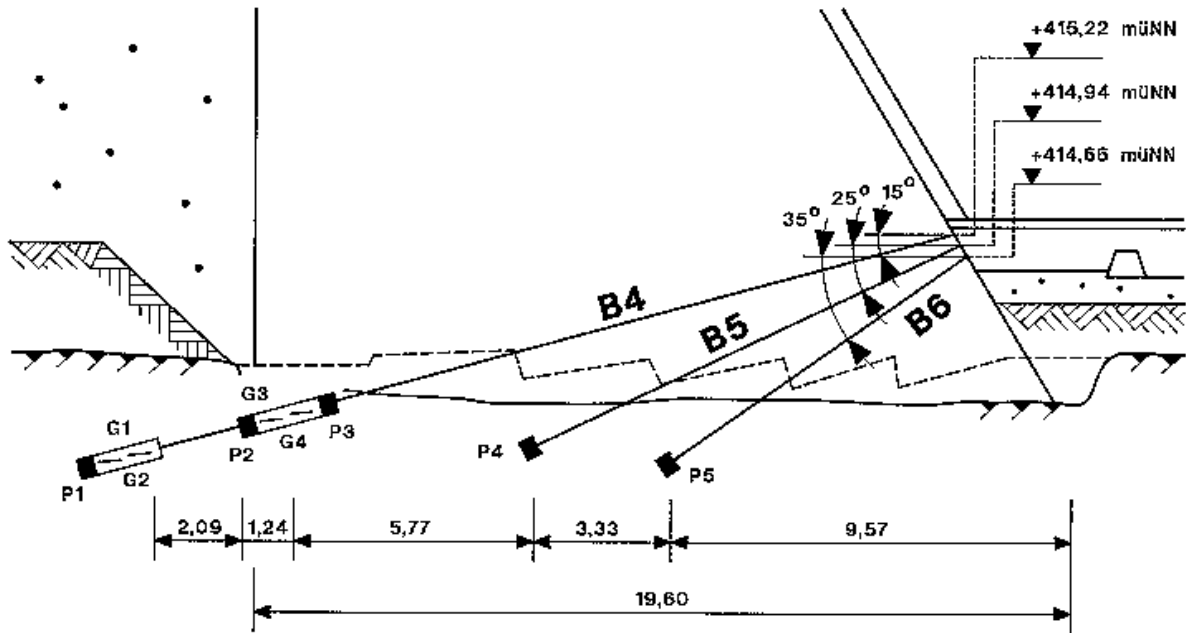


Abbildung 4: Meßquerschnitt in Talmitte

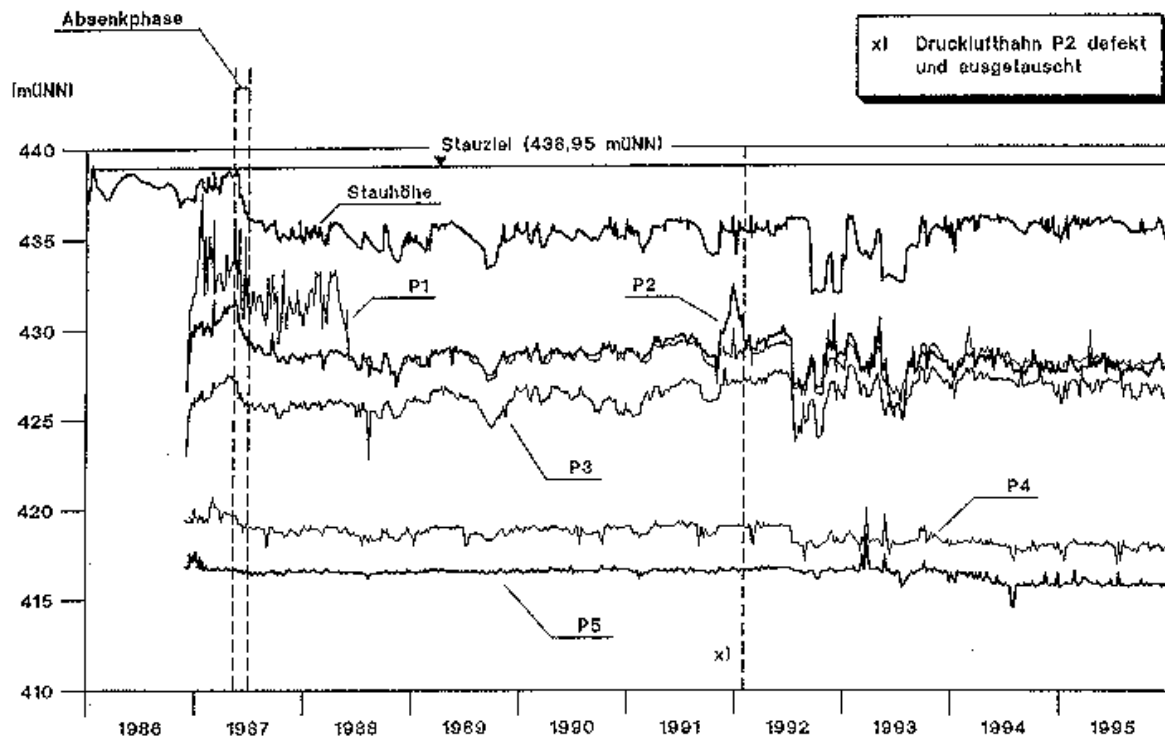


Abbildung 5: Porenwasserdrücke

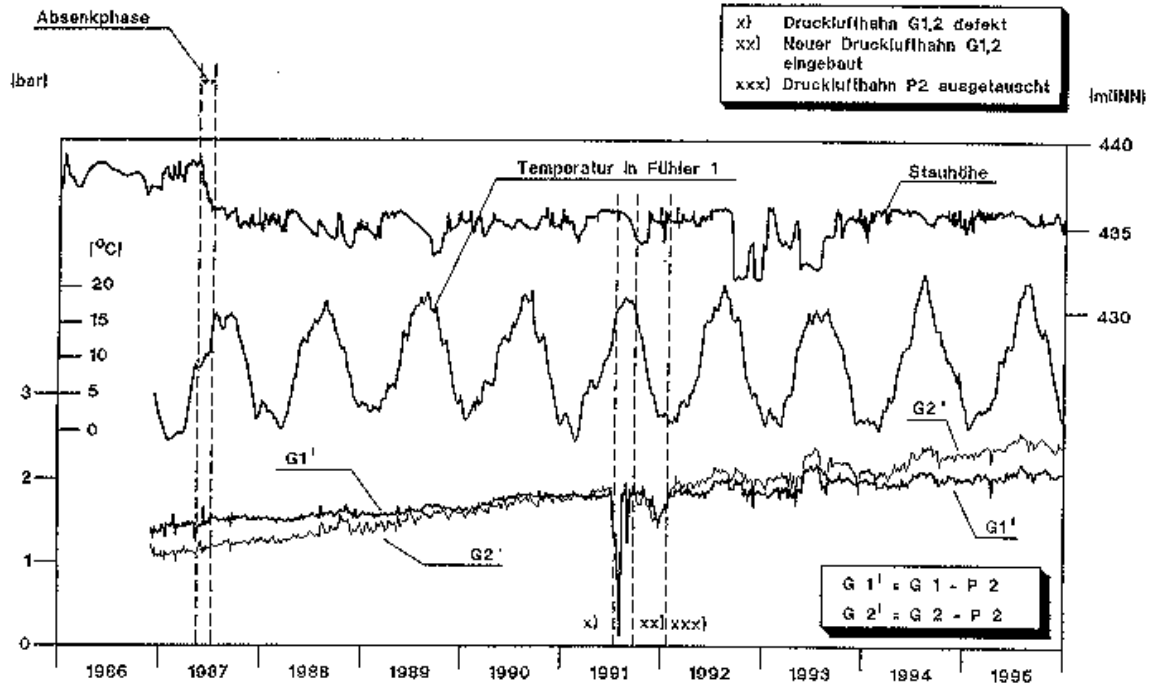


Abbildung 6: Spannungen an den Gebern G1 und G2

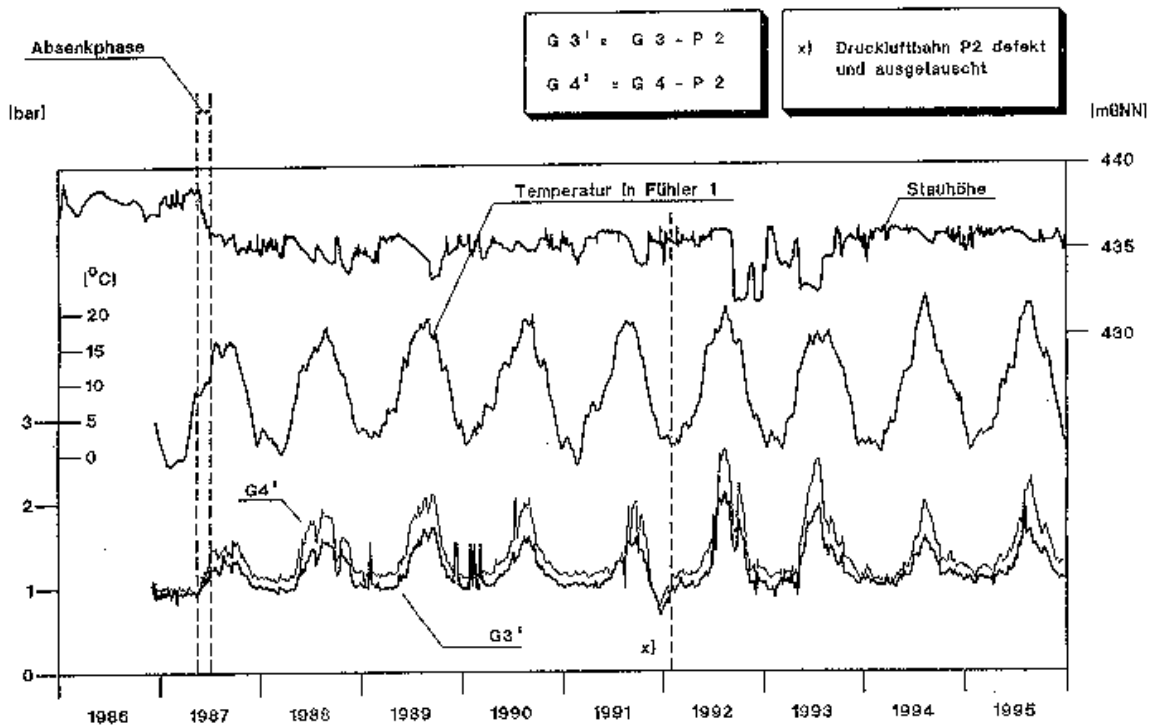


Abbildung 7: Spannungen an den Gebern G3 und G4

2.3 Verformungs- und Temperaturmessungen in der Fürwiggestaumauer

Zur Überwachung des Mauerkörpers wurden zwei Bohrungen von der Mauerkrone bis in den Fels abgeteuft und mit je 6 Temperaturmeßfühlern und einer Verformungsmeßeinrichtung (Inkrementalextensometer) ausgestattet (s. Abbildung 9).

Inkrementalextensometer

Die Meßeinrichtung besteht aus einer Kunststoffverrohrung, die in das Bohrloch eingebaut wurde. Im Abstand von 1 m befinden sich Meßringe in dieser Verrohrung, deren Abstände überwacht werden können. Hierzu wird eine Meßsonde in die Verrohrung eingeführt und schrittweise die Teilmeßstrecken angefahren. Durch Wiederholungsmessungen lassen sich die Änderungen der Abstände zwischen den Meßringen bestimmen. Ziel der Messungen sollte eine detaillierte Auskunft über das Dehungsverhalten der Staumauer auf der Wasserseite sein, wobei insbesondere der Nachweis erbracht werden sollte, daß keine Zugspannungen oder gar klaffende Fugen auftreten.

Leider zeigten sich in der Meßpraxis Probleme, die 1992 zur Einstellung der Messungen führten:

- Bei einer Messung mußte die Sonde mit Hilfe eines Gestänges dreimal in die Bohrung abgelassen und wieder gezogen werden. Dies bedeutete einen immensen Aufwand, da jedesmal das über 30 m lange Gestänge montiert und wieder zerlegt werden mußte.
- Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten auf der Staumauer bedeutete dies für die Meßmannschaften besonders im Winter kaum zumutbare Bedingungen, mit entsprechenden Rückwirkungen auf die Ergebnisse.
- Das genaue Anfahren der Meßbereiche wird mit zunehmender Teufe erschwert, insbesondere weil die Bohrungen wassergefüllt sind.
- Die Präzisionsmessung ist naturgemäß deutlich temperaturabhängig. Der Einfluß der Temperaturen im Bohrloch und im Arbeitsbereich der Meßmannschaften (s.o.) führte immer wieder zu nicht interpretierbaren Fehlmessungen.

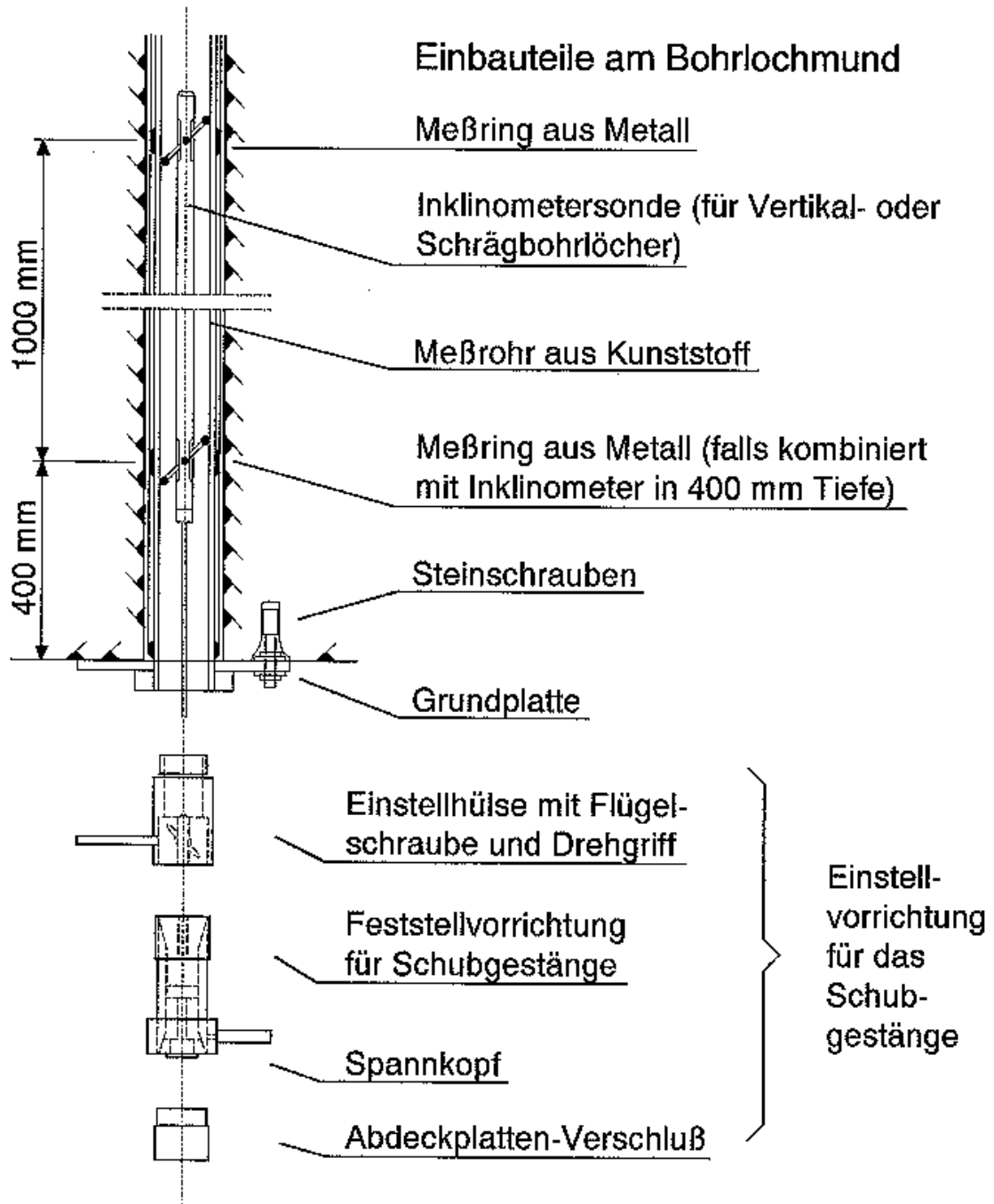


Abbildung 8: Meßeinrichtung Inkrementalextensometer

Temperaturmessungen

In den gleichen Bohrungen wurden Temperaturmeßfühler angeordnet, die nun seit fast 10 Jahren Auskunft über die Mauertemperatur geben. Zusammen mit den ebenfalls gemessenen Temperaturen des Wassers in der Talsperre und der Luft geben sie Aufschluß über die wechselnden Temperaturverteilungen innerhalb der Staumauer. Moderne Rechenmethoden erlauben es, Temperaturverteilungen sowie den ihnen zugrundeliegenden Wärmefluß in Bauwerken zu simulieren [1].

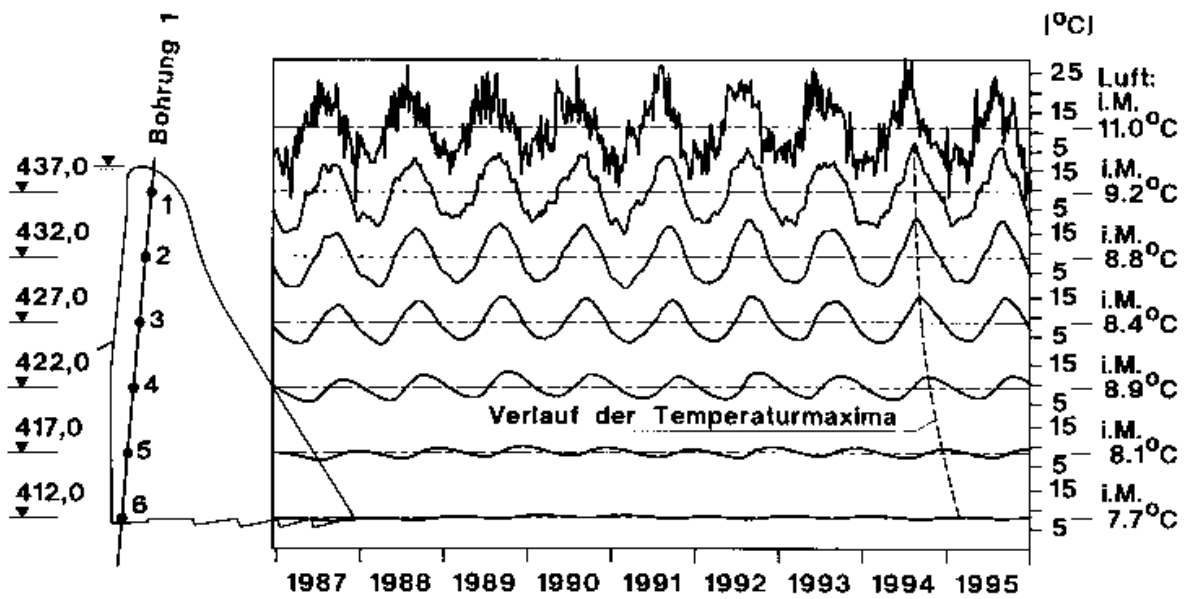


Abbildung 9: Bohrung mit Inkrementalextensometer und Temperaturfühlern, sowie Ergebnisse der Temperaturmessung

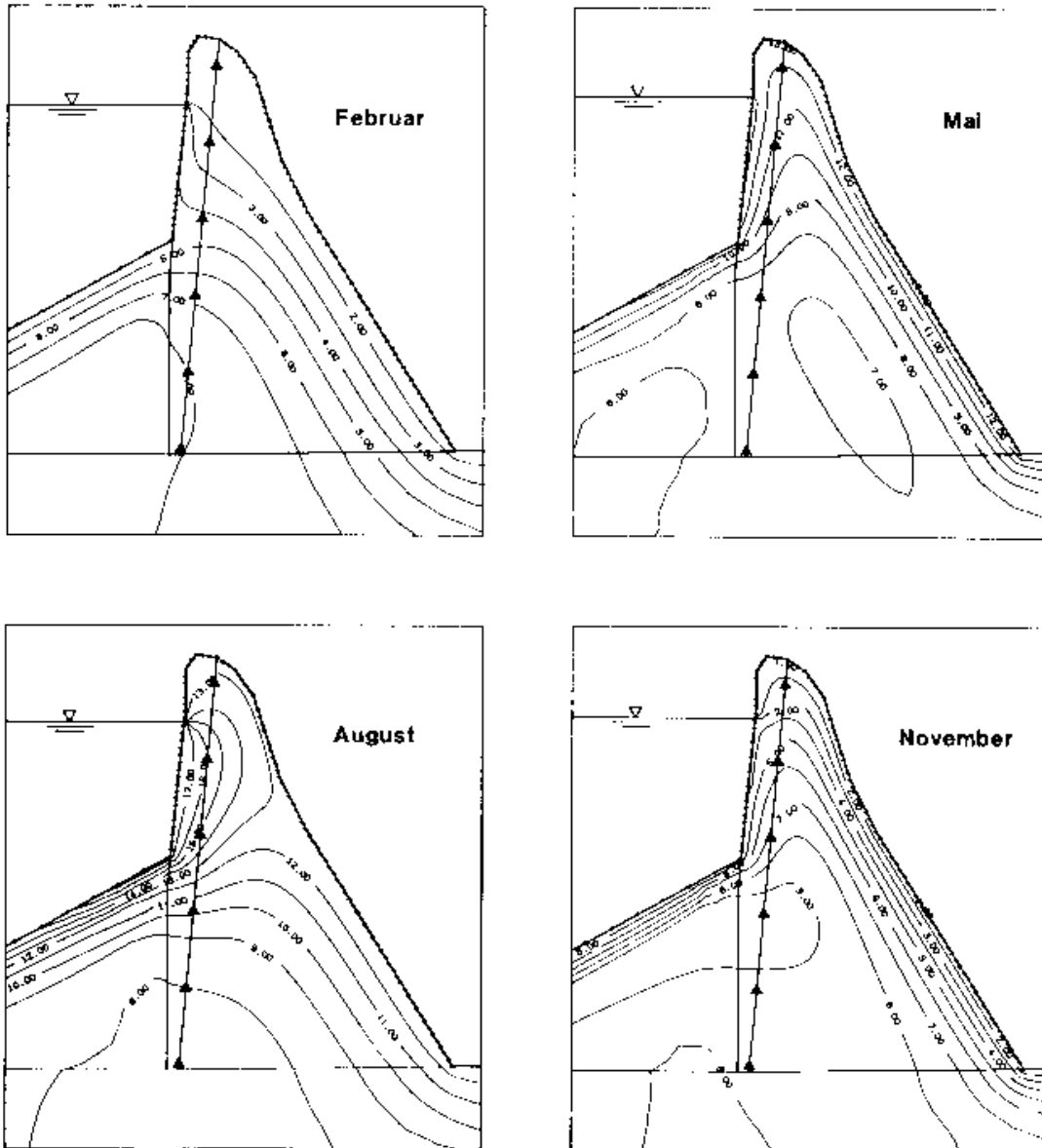


Abbildung 10: Aufgrund der Meßergebnisse mit Hilfe eines numerischen Modells ermittelte Temperaturverteilungen in der Staumauer

3 Meßgrößen, deren Beobachtung verbessert werden könnte

Anhand der unter Abs. 2.2 und 2.3 geschilderten Erfahrungen lassen sich an einer Stau-
mauer drei Meßbereiche beschreiben, in denen aus der Sicht des Ingenieurs weitere Lö-
sungen aus der Meßtechnik gesucht werden:

- Entlang der wasserseitigen Maueroberfläche interessieren die Spannungen im Mauer-
werk, insbesondere im Hinblick auf die gewünschte Vermeidung von Zugspannungen o-
der gar klaffenden Fugen
- Im gesamten Mauerkörper interessiert die Verteilung des Porenwasserdrucks im Mauer-
körper
- Im Untergrund interessieren die Verteilungen der Spannungen und des Sohlenwasser-
drucks

Ein bisher noch nicht zufriedenstellend gelöstes Problem ist zudem die Frage der Verteilung
der gemessenen Größen in der gesamten Mauer (oder im Damm). Die z.Zt. verfügbaren
Meßeinrichtungen liefern die Meßgrößen an diskreten Punkten, die meist in einem Meß-
querschnitt angeordnet sind. Schon die Interpretation und Interpolation der Meßwerte im
Meßquerschnitt kann oft in Frage gestellt werden. Eine Übertragung der Ergebnisse entlang
der Mauerlängsachse in einen benachbarten Querschnitt ist nicht immer plausibel zu bele-
gen.

Infolge dieser Frage werden i.a. weitere Meßquerschnitte installiert, die aufwendig und teu-
er sind. Andere Lösungen wären wünschenswert.

4 Anforderungen an die Meßtechnik

Aus den Erfahrungen, die der Ruhrverbands an seinen Meßeinrichtungen sammeln konnte,
lassen sich folgende Forderungen an eine zukünftige Meßtechnik formulieren:

- Einfachste Handhabung auch bei extremen Witterungsbedingungen
- Ausfallsicherheit gegenüber den äußeren Einflüssen an den exponiert liegenden Ab-
sperrbauwerken.
- Kopplungsmöglichkeiten mit einfachen mechanischen Meßeinrichtungen aus Plausibili-
täts- und Redundanzgründen

5 Schrifttum

- [1] Bettzieche, V.; Temperaturmessungen und -berechnungen am Beispiel einer alten Gewichtsstaumauer, Wasserwirtschaft 87 (1997)
- [2] DVWK; Meß- und Kontrolleinrichtungen zur Überprüfung der Standsicherheit von Stau-
mauern und Staudämmen; DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 222; 1991
- [3] Idel, K.H., Reißler, P.; Standsicherheit einer alten Gewichtsstaumauer; gwf - Was-
ser/Abwasser 129 (1988), Heft 4
- [4] Reißler, P.; Untersuchungen und Messungen an der Fürwiggemauer; Wasserwirtschaft 81
(1991)

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Volker Bettzieche, Entwicklungsabteilung Talsperrenwesen, Ruhrverband, Kron-
prinzenstraße 37, 45128 Essen

Tel.: 0201 178 2690

Fax: 0201 178 2605

e-mail: vbe@ruhrverband.de