

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Armbruster, Heinrich

Messungen, Inspektion und Kontrolle an Dämmen

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102907>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Armbruster, Heinrich (1985): Messungen, Inspektion und Kontrolle an Dämmen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 57. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 1-35.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Dipl.-Ing. Heinrich A r m b r u s t e r

MESSUNGEN, INSPEKTION UND KONTROLLE AN DÄMMEN

Measurements, inspection and control of dams

Inhaltsangabe

Der Beitrag gibt zunächst einen Überblick über Meßsysteme, die zur Überwachung von Dammbauten eingesetzt werden. Im Hauptteil werden Verfahren vorgestellt, die zur Kontrolle von Längsdämmen ohne eingebaute Meßsysteme dienen. Dabei wird unterschieden zwischen Verfahren, die ohne Eingriff in den fertigen Damm auskommen (Schwerpunkt auf Thermographie) und Verfahren, bei denen die vorzunehmende Messung zumindest zeitweise den Dammzustand verändert. Abschließend wird das Vorgehen bei Schadensfällen erörtert.

Summary

The article gives a general view about measurement systems in dams. The main part describes the possibilities of controlling long dams, which have no special system of measurements. Systems with destructive methods are confronted to systems which have only contact with the surface of the dam, or which are without soil contact (specially the infrared thermography). A last part gives some ideas about the treatment of defects.

I N H A L T

	Seite
1 Einleitung	3
2 Messungen an Querdämmen	3
2.1 Allgemeines (DIN 19700)	3
2.2 Verformungsmessungen	5
2.2.1 Setzungsmessungen	6
2.2.2 Verschiebungsmessungen	7
2.3 Spannungsmessungen	7
2.4 Hydraulische Messungen	9
2.5 Weitere Messungen (Temperaturmessungen)	11
3 Kontrollsysteme an Längsdämmen	11
3.1 Damminspektionen	11
3.2 Beobachtungen und einfache Messungen an Routinefällen	15
3.3 Flächendeckendes Überwachungssystem (Infrarotthermographie)	17
4 Möglichkeiten der Ortung von Leckagen	21
4.1 Überblick	21
4.2 Meßsysteme ohne Eingriff in den Damm	23
4.3 Meßsysteme mit Eingriff in den Damm	24
5 Behandlung von Schadensfällen	28
6 Zusammenfassung	31
7 Literatur	32

1 Einleitung

Von den rund 1100 km Kanalstrecken und 1250 km kanalisiertem Flußstrecken der Bundesrepublik liegen etwa 700 km in einer Dammstrecke. Damit ergibt sich im Gegensatz zu den Dämmen für die Wasserversorgung, die im allgemeinen nur relativ kurze Staubaugeräte benötigt, die Notwendigkeit, lange Dämme wirtschaftlich zu kontrollieren. Während in den Querdämmen bis heute eine ganze Reihe von Kontrollsystemen installiert sind, hat man für die Längsdämme nur wenige oder überhaupt keine Kontrollsysteme eingebaut.

Der Überwachung von Dämmen wird aber in Deutschland insbesondere nach dem Bruch zweier Dämme an Wasserstraßen vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Dies kommt sowohl in einer neuen Vorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes als dem Eigner der Dämme zum Ausdruck (VV - WSV 2301) als auch in dem Bestreben der WSV, neue Wege zur Früherkennung von Dammschäden zu beschreiten.

In den nachstehenden Ausführungen werden sowohl die herkömmlichen als auch die neu beschrittenen Wege dargelegt, die eine Kontrolle von Dämmen ermöglichen. Zum besseren Verständnis sind auch Ausführungen über die heute vorhandenen Meßsysteme aufgenommen.

2 Messungen an Querdämmen

2.1 Allgemeines (DIN 19700)

Die DIN 19700 (Stauanlagen) schreibt in den Punkten 10 und 11 des Teils 10 (Entwurf 1984) vor, daß zur Überwachung der Staudämme Meßeinrichtungen vorzusehen sind, die eine Kontrolle während des Baus, der Inbetriebnahme und des Betriebs ermöglichen. Dabei sind solche Zeitabstände zu wählen, daß die auftretenden Veränderungen erfaßt werden und jederzeit eine Aussage über die Sicherheit der Anlage möglich ist. Die Meßgeräte müssen zuverlässig sein und dem jeweiligen Meßzweck entsprechend auch genau. Die Meßeinrichtungen müssen in angemessenen Zeitabständen überprüft und notfalls ersetzt werden, die Meßergebnisse sind schriftlich festzuhalten, umgehend auszuwerten und aufzubewahren.

Zur Häufigkeit der Messungen ist keine Festlegung getroffen mit Ausnahme bei der Messung des Sickerwasserabflusses beim Probestau, der täglich erfolgen soll. Im folgenden werden die in Tabelle 1 stichwortartig aufgezählten Meßsysteme und die Meßgeräte für die Kontrolle von Dämmen näher beschrieben, soweit sie nicht Allgemeinwissen des Wasserbauingenieurs sind.

Tabelle 1 Meßverfahren im Dammbau

Verformungsmessungen	
Setzungsmessungen	Verschiebungsmessungen
<ul style="list-style-type: none"> - Technische Nivellements - Setzungspegel (Drahtpegel, Stangenpegel) - Sonden (Magnet-, Radio-Kontaktsonden) - Extensometer - Hydraulische Setzungsgeber 	<ul style="list-style-type: none"> - Polygonmessungen - Aligement - Längenmessungen (opt. Verfahren, Invarbänder, Meßdrähte, Konvergenzgeräte) - geodät. Einschneideverfahren - Inclinometer - Gleitmikrometer - Fotolotgerät - stationäre Meßketten (Neigungsgeberkette, Deflektoren) - Waagrechtpegel mit Umlenkrolle - Sonde oder Extensometer mit waagrechter Rohrführung

Spannungsmessungen	
Normal- und Schubspannungsmessungen	Porenwasserdruckmessungen
<ul style="list-style-type: none"> - Druckmeßdose nach dem System: schwingende Saite - Dehnungsmeßstreifen - induktive Widerstandsmessung - Druck-, Schubmeßdosen nach oben genannten Systemen arbeitend 	<ul style="list-style-type: none"> - offene Systeme mit kleinen Durchmessern und speziellen Meßsonden - geschlossene Systeme nach System Druckgeber mit Filterstein (Porenwasserdruckgeber)

Hydraulische Messungen		
Wasserstandsmessungen	Wasserdruck	Wassermenge
<ul style="list-style-type: none"> - Lichtlot - Brunnenpfeife - Schwimmerpegel - elekt. Wasserstandsanzeige - Druckwaage - Druckpegel - Luftblasenpegel 	<ul style="list-style-type: none"> - Manometer - Porenwasserdruckgeber 	<ul style="list-style-type: none"> - Geschwindigkeitsmessungen (offenes Syst.) - Volumenmessungen und Zeitmessungen - Meßgefäße mit Druck- od. Wasserstandsanzeige - Meißwehre

Temperaturmessungen		
mechanisches Berührungsthermometer	elektrisches Berührungsthermomet.	Strahlungsthermometer
<ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeit-Glastherm. - Flüssigkeit-Federtherm. - Dampfdruck-Federtherm. - Metallausdehnungsthermometer 	<ul style="list-style-type: none"> - Thermolemente - Widerstandstherm. - Thermosensoren auf Halbleiterbasis 	<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtstrahlungsthermometer - Bandstrahlungstherm. - Spektralpyrometer - Infrarotscanner

weitere Messungen
<ul style="list-style-type: none"> - Lufttemperatur - Niederschläge - Wassertemperatur - Untersuchung des Wassers nach mechanisch, chemischen und physikalisch/chemischen Parametern - Geoelektrische, seismische, radiometrische und akkustische Messungen

2.2 Verformungsmessungen

Die alte, noch gültige DIN 19700 (1984) spricht von äußeren und inneren Verformungen, die neue DIN allgemein von Setzungen und Verschiebungen, unabhängig von der Höhenlage des betrachteten Punktes. Verformungen an einem Damm entstehen, soweit nicht äußere Einwirkungen oder Erdbeben eine Rolle spielen, durch:

- Kriechvorgänge in Längsrichtung
- Kriechvorgänge in Querrichtung
- Setzungen
- Verschiebungen

Die Verformung eines Punktes kann angegeben werden durch seine Verschiebungskomponenten im orthogonalen dreidimensionalen Achsenkreuz (Bild 1), dessen Nullpunkt und Achsen beliebig gewählt werden können. Die Lage der Bezugsachsen wird im allgemeinen so gewählt, daß die vorherrschende Bewegungsrichtung eines Punktes mit einer Achse zusammenfällt.

Im Dammbau sind die Verformungen im allgemeinen nur senkrecht (Setzungen/Hebungen) oder horizontal orthogonal zur Dammachse (waagerechte Verschiebungen). Ausnahmen bilden die Verformungen bei Kriechvorgängen in Längsrichtung des Dammes und die selten vorkommenden Verformungen bei Rutschvorgängen.

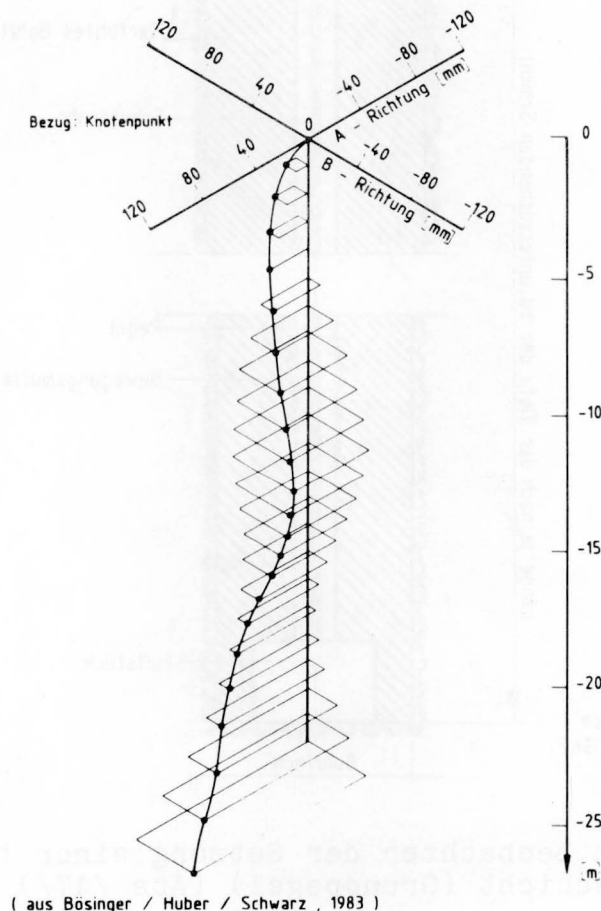


Bild 1 Darstellung einer Verschiebungsmessung
(aus Böisinger/Huber/Schwarz in /11/)

2.2.1 Setzungsmessungen

In der DIN 4107 (Jan. 1978) werden Setzungen (Hebungen) definiert als lotrechte Bewegungskomponente eines Bauwerks- oder Geländepunkts, die durch eine Verformung des Baugrunds infolge Belastungsänderungen oder Erschütterungen hervorgerufen wird. Im Gegensatz dazu ist eine Senkung zwar ebenfalls die lotrechte Komponente einer Bewegung, deren Ursache ist aber ein Bodenzug (Auswaschung, Auslaugung, Bergbau), und eine Sackung ist die plötzliche Verformung eines Erdkörpers infolge Durchfeuchtung.

Für die Messung der 3 Bewegungsarten werden die gleichen Meßverfahren benutzt:

- Technische Nivellements von Höhenbolzen an der Oberfläche.
- Messung der Bewegung von Setzungspegeln. Setzungspegel messen Setzungen (Senkungen) in einer gewählten Tiefe, die sich aus der Oberkante des Setzungsfußes ergibt (Bild 2).

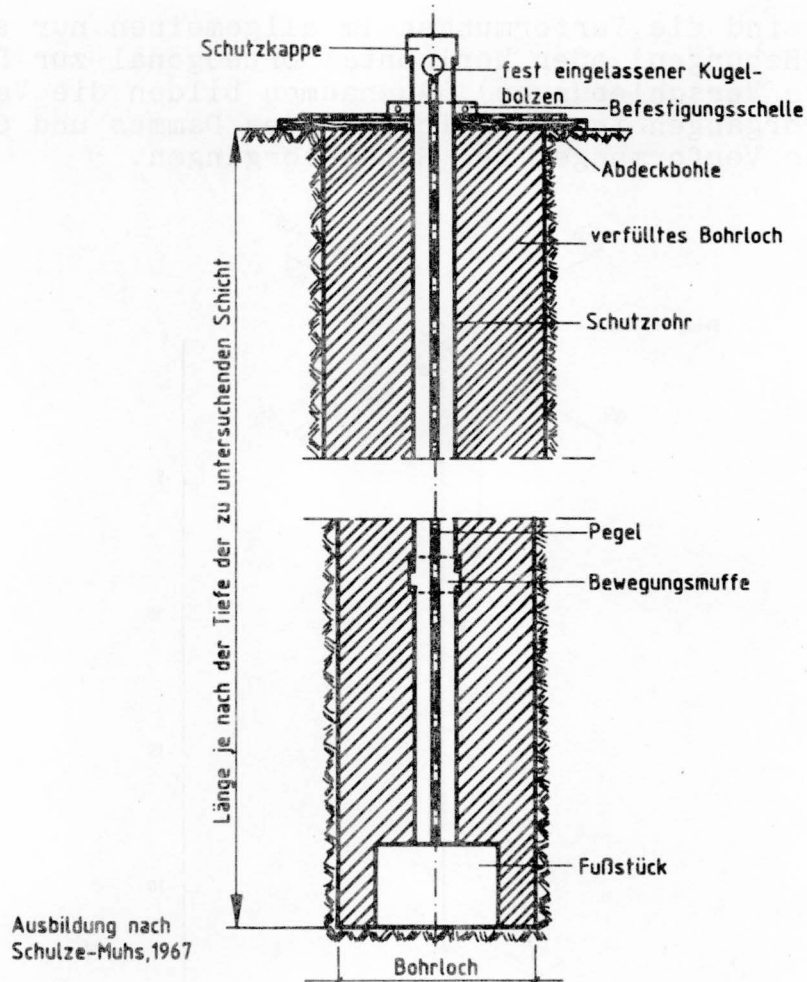


Bild 2 Anordnung zum Beobachten der Setzung einer tiefliegenden Bodenschicht (Grundpegel) (Aus /17/)

- Messung der Bewegung durch Sonden. Als Sonden werden Magnet-, Radio- und Kontaktsonden benutzt. Bei allen drei Verfahren wird die Zusammendrückung (Hebung) in Bodenschichten gemessen.
- Messung der Bewegung durch Extensometer. Es werden Extensometer als Einfach-, Mehrfach- und Kettenextensometer verschiedener Firmen benutzt. Extensometer messen die Entfernung eines in der Höhe definierten tiefliegenden Fußpunktes (Ankerpunkt) von einem ausgewählten oberliegenden Bezugspunkt (Meßkopf).
- Messung der Bewegung durch hydraulische Setzungsgeber. Hydraulische Setzungsgeber arbeiten nach dem Manometerprinzip und werden dort eingesetzt, wo keine Setzungspegel gesetzt werden können.

2.2.2 Verschiebungsmessungen

Die Verschiebung von Punkten an der Oberfläche (Meßbolzen) werden gemessen durch:

- Polygonmessungen (mittels Theodoliten mit Zielmarken)
- Alignements (Abweichungen von Punkten aus einer Linie, gemessen z.B. mit sogen. Bauprüfgeräten)
- Längenmessungen (optische Verfahren, mit Invarbändern, mit Meßdrähten, mit Konvergenzmeßgerät)
- geodätische Einschneiderverfahren mit Richtungsmessungen (Entfernungs- plus Winkelmessung)

Die Verschiebung von Punkten im Bauwerk bzw. unterhalb der Gründungssohle wird entweder über direkte Neigungsmessungen bestimmt oder über die Beobachtung von Neigungen in speziellen Rohren bzw. Schächten oder durch Meßgeräte, die waagerechte Verschiebungen messen. Als Geräte kommen in Betracht:

- Inclinometer verschiedener Bauart
- Gleitmikrometer
- Optische Neigungsgeber (Fotolotgeräte)
- Stationäre Meßketten in Rohren
- Waagrechtpegel mit Umlenkrollen

2.3 Spannungsmessungen

Spannungsmessungen geben Aufschluß über die Beanspruchungen der Schüttstoffe und weisen auf die Gefahr von Rißbildungen infolge von Umlagerungen hin. Spannungsmessungen sind in Verbindung mit Porenwasserdrücken vor allem im Bauzustand und bei wechselnden Wasserbelastungen wichtig.

Trotz der verschiedenartigsten Druckmeßsysteme könnten zur Bestimmung von Spannungen und Spannungsänderungen in einem Körper prinzipiell nur 2 Methoden herangezogen werden:

- a) Die direkte Methode, die mittels einer (theoretisch unendlich) dünnen Platte die Spannungen direkt als Druck normal zu dieser Platte mißt.

- b) Die indirekte Methode, bei der auf Spannungsänderungen über den Umweg anderer physikalischer Eigenschaften (meist Längenänderungen, aber auch Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Wellen u.a.) geschlossen wird. Sie ist nur einsetzbar bei Vorhandensein gültiger Spannungs-, Dehnungs-, bzw. Spannungs-Geschwindigkeits u.ä. Beziehungen.
(Bei Deformationsmessungen darf darüber hinaus auch keine plastische Zone innerhalb der Meßlänge vorkommen). Im Dammbau sind diese Voraussetzungen i.a. nicht gegeben, sodaß alle nachgenannten Meßverfahren auf der direkten Methode basieren.

Die Meßsysteme für Spannungsmessungen unterscheiden sich durch die Art der Umwandlung des zu messenden Drucks in ein Signal, das vom Geber angezeigt wird. Es gibt folgende drei Geberanzeigesysteme:

- a) die Anzeige erfolgt über elektrische Umwandlung,
- b) die Anzeige erfolgt über hydraulische Umwandlung (z.B. Öldruck)
- c) die Anzeige erfolgt über pneumatische Umwandlung (Luftdruck).

2.3.1 Messung von Normal- und Schubspannungen

Normalspannungen werden gemessen mit ausgerichteten Druckmeßdosen, die nach einem der o.g. Prinzipien arbeiten. Beim Einbau muß sehr sorgfältig vorgegangen werden, die Geber sollten geschützt werden, z.B. durch eine Magerbetonschicht.

Zur Messung der Schubspannungen sind spezielle Druck-Schub-Meßdosen entwickelt worden, die ebenfalls mit einem der genannten Meßprinzipien arbeiten.

2.3.2 Messung von Porenwasserdrücken

In nichtbindigen Böden mißt man gemäß Punkt 2.4 Wasserstände mit Standrohren (offene Systeme) und Wasserdrücke mit Druckgebern (geschlossene Systeme). In bindigen Böden kann bei Lastumlagerungen das in den Poren befindliche Wasser nicht schnell genug entweichen bzw. zufließen, sodaß Porenwasserüber- bzw. -unterdrücke entstehen, die sich erst nach einer Verzögerung (time lag) ausgleichen. Diese Verzögerungen hängen von der Durchlässigkeit des Bodens und der Art des Porenwasserdruckgebers ab.

Für die Messung der Porenwasserdrücke können entweder:

- offene Systeme verwendet werden ($k \text{ Boden} > 10^{-7} \text{ m/s}$); dafür wird ein Standrohr mit kleinem Durchmesser verwendet, das mit der Meßsonde verbunden ist;
- geschlossene Systeme verwendet werden ($k < 10^{-7} \text{ m/s}$).

2.4 Hydraulische Messungen

Darunter werden Messungen der Wasserstände, des Wasserdrucks, der hydraulischen Potentialhöhe (Summe aus Druckhöhe und geodätischer Höhe über einem definierten Niveau, meist NN) und der Sickerwassermenge in nichtbindigen Böden verstanden. Sie dienen vor allem der Kontrolle von Dichtungselementen (Oberflächendichtung, Kerndichtung, Untergrundabdichtung) und Dichtungsanschlüssen. Ihre Ergebnisse sind entscheidend für die Beurteilung der Sicherheiten gegen hydraulischen Grundbruch und der Sicherheiten gegen Erdstoffumlagerungen (Erosion, Suffosion, rückschreitende Erosion). Die Wassermengenmessung soll außerdem eine Ortung von Leckstellen ermöglichen.

- Wasserstandsmessungen werden stets von einem über dem Wasserspiegel liegenden Meßniveau (OK Gelände, OK Damm) vorgenommen. Gemessen wird eine hydraulische Potentialhöhe an einem Punkt, der durch die Lage und Bauart des Meßgerätes bestimmt ist. Das Meßgerät ist ein geschlitztes Rohr (=Filterrohr) mit einer Länge von 1 m (manchmal 2 m), das vor dem Eindringen des anstehenden Bodens geschützt sein muß. Über dem Filterrohr befinden sich Vollrohre mit wasserdichten Verbindungen, damit der Wasserstand gemäß dem an der Filterstrecke vorhandenen (mittleren) Potential steigen kann. Nur bei horizontaler Strömung (Potentiallinien sind senkrecht) spielt die Höhenlage der Filterstrecke keine Rolle (deswegen sind Grundwasserbeobachtungsrohre oft auf volle Höhe verfiltert), ansonsten ist das Potential längs einer Vertikalen veränderlich (siehe Bild 3) und die freie Oberfläche nicht identisch mit dem Wasserstand im Rohr. Als Meßwertgeber werden Brunnenpfeifen, Lichtlote, elektrische Wasserstandsanzeiger oder Luftblasenpegel (Druckwaage, Druckpegel) verschiedener Firmen verwendet.

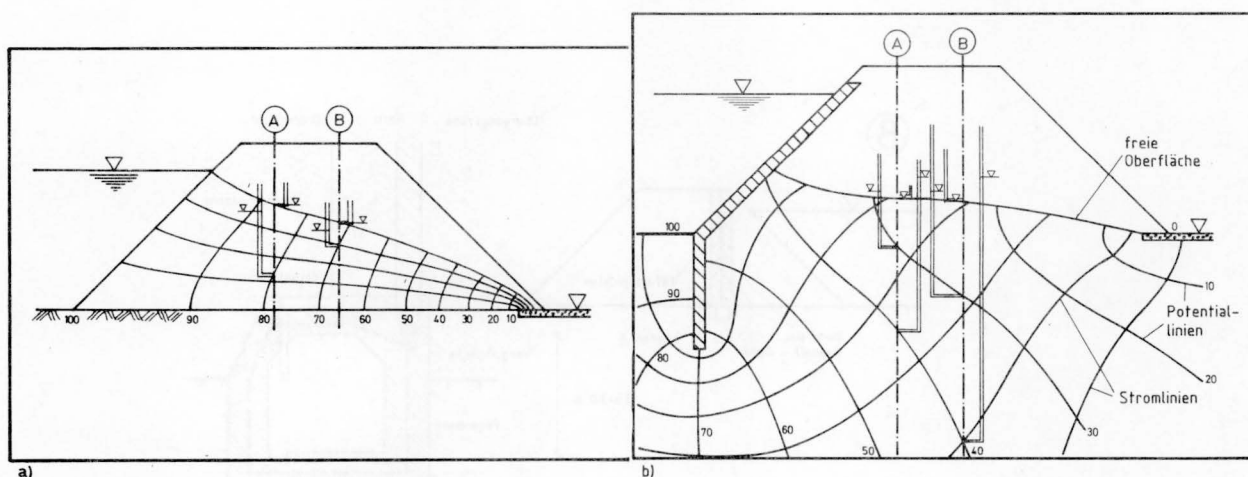


Bild 3 Potentialverteilungen bei Dämmen (Prinzipskizzen)
 Bild a: Damm ohne Dichtung, Untergrund undurchlässig
 Bild b: Damm mit Dichtung, Untergrund durchlässig
 (teilgedichtet)

- Wasserdruckmessungen werden stets von einem unter dem Wasserspiegel liegenden Meßniveau vorgenommen; ansonsten gilt das für Wasserstandsmessungen Gesagte. Als Meßgeräte dienen bei offenen Systemen ebenfalls geschlitzte Rohre, wobei der Druck mit Manometern abgelesen wird. In bindigen Böden werden die Wasserdrücke mit Porenwasserdruckgebern nach Punkt 2.3.2 gemessen.
- Sickerwassermengenmessungen werden in Herdmauern und Kontrollgängen, in Dränagen unter Dichtungen, in bituminösen Dränschichten zwischen zwei Asphaltbetondichtungslagen und an Wasseraustrittsstellen gemessen. (Beispiel siehe Bild 4). Wichtig ist vor allem, daß das gesammelte aussickernde Wasser einem begrenzten Bereich des Damms zuzuordnen ist und daß die Kontrolleinrichtung keine zusätzliche Gefahr für die Dammsicherheit bedeutet. Hier sind vor allem Filterkriterien und konstruktive Gesichtspunkte zu beachten. Die Meßgeräte sind Volumenmeßgeräte bei Messung der Füllzeit und Wasserstands- oder Wasserdruckmeßgeräte bei definierten Meßgefäßen mit Überlauf.

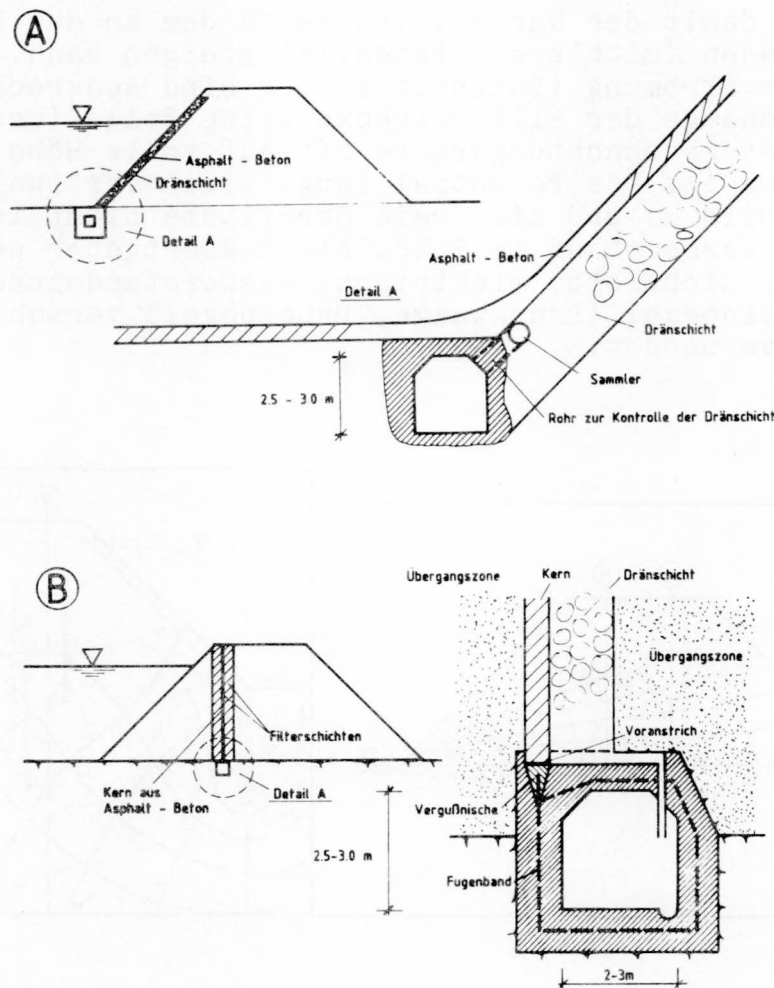


Bild 4 Kontrolleinrichtungen für Sickerwassermengen (aus /7/)
 Bild a: Anschluß der Oberflächendichtung am Kontrollgang
 Bild b: Anschluß der Kerndichtung am Kontrollgang

2.5 Weitere Messungen (Temperaturmessungen)

Weitere Messungen sind begleitende Messungen wie Niederschlag, Wassertemperatur, Lufttemperatur, Chemismus des Stau-, Sicker- und Quellwassers und die Prüfung der vom Sickerwasser mitgeführten Bodenmenge. Zu erwähnen sind außerdem Messungen der Temperaturen im Bauwerksinneren, die sowohl für die Korrektur und Bewertung der meisten vorstehenden Meßergebnisse als auch für Aussagen zur Wirksamkeit von Abdichtungssystemen eine Rolle spielen.

Temperaturmessungen werden durchgeführt mit:

- mechanischen Berührungsthermometern verschiedener Bauarten. Die Temperaturfühler (Meßwertgeber) müssen die Temperatur des zu messenden Mediums annehmen. Für die Messung von Wassertemperaturen und Bodentemperaturen des obersten Dezimeters sind Quecksilberthermometer geeignet;
- elektrischen Berührungsthermometern verschiedener Bauarten: Bei Thermoelementen werden die Temperaturfühler von der Meßstelle eines Thermopaars (zwei elektr. Leiter aus unterschiedlichen Werkstoffen) gebildet, das eine von der Temperatur beeinflusste Thermospannung liefert. Bei Widerstandsthermometern werden die Temperaturfühler durch Meßwiderstände (Meßdraht, Meßband) gebildet, deren Widerstandswert sich mit der Temperatur ändert. Bei Thermosensoren bestehen die Temperaturfühler aus einem integrierten Bauteil aus Dioden, Kondensatoren und Widerständen (Halbleiterfühler). Die Spannungsänderung am Bauteil entspricht linear der Temperaturänderung.
- Strahlungspyrometer verschiedener Bauarten. Strahlungspyrometer sind Thermometer, mit denen die Temperatur eines Meßgegenstandes aus der von ihm ausgesandten Temperaturstrahlung (Teil der elektromagnetischen Strahlung) bestimmt. Jede Messung geschieht daher berührungslos, zur Bestimmung der Temperatur müssen einige Einflußgrößen bekannt sein.

Die Anwendung von Infrarotmeßgeräten im Dammbau (flächenhafte Aufnahmen) ist noch in Entwicklung und wird in Punkt 3.3 näher ausgeführt.

Als Beispiel für Messungen an Dämmen sind die für die Mauthaustalsperre durchzuführenden Messungen genannt (Tab. 2). Das Bild 5 zeigt als weiteres Beispiel den Querschnitt des Damms Frauenau und die Lage der Meßgeber.

3. Kontrollsysteme an Längsdämmen

3.1 Damminspektionen

Für die Inspektionen von Dämmen einschließlich Durchdringungen und Bauwerksanschlüsse ist für den Bereich der Bundeswasserstraßen am 01.12.81 eine "Allgemeine Dienstvorschrift" in Kraft getreten (VV - WSV 2301). Dort werden die Aufgaben von Dammbesachtern, Außenbeamten, des zuständigen Amtes und die Vorgehensweise bei Schadensmeldungen festgelegt.

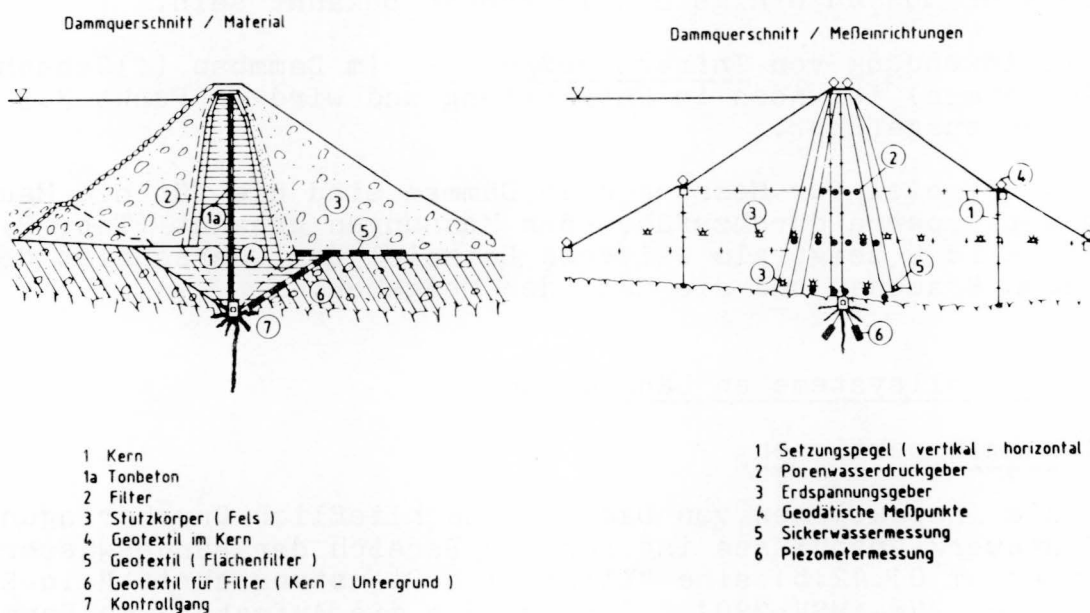
Tabelle 2 Art und Häufigkeit von Messungen am Beispiel der Mauthaustalsperre (aus /15/)

	Meßeinrichtung für	Stk.	Art der Messung	Häufigkeit	Auftragung
a)	Verformungsmessungen	37	ma	*	*
	Geodätische Meßpunkte	5	ma	1 x j	j
	Vertikale Setzungspegel	3	ma	1 x j	j
	Horizontale Pegel				
b)	Spannungsmessungen	53	a	3 x w	2 x mo
	Erddruckgeber	2	a	3 x w	2 x mo
	Fugendruckgeber	21	a	3 x w	2 x mo
c)	Wasserstands- und Wasserdruckmessungen				
	Grundwasserpegel	9	m	1 x m	j
	Druckgeber l. u. K.St.	10	a	3 x w	j
	Druckgeber B.-Stollen	10	m	2 x m	j
d)	Wassermengenmessungen				
	Sickerwasser	4	a,v	1 x t	t
	Sonst. Dränagen	6	m,v	z.T. 1 x w z.T. 1 x m	j j

Erläuterung: ma = manuell
a = automatisch
v = visuell
t = täglich

w = wöchentlich
mo = monatlich
j = jährlich

* Nur auf besondere Anordnung



- 1 Kern
- 1a Tonbeton
- 2 Filter
- 3 Stützkörper (Fels)
- 4 Geotextil im Kern
- 5 Geotextil (Flächenfilter)
- 6 Geotextil für Filter (Kern - Untergrund)
- 7 Kontrollgang

- 1 Setzungspegel (vertikal - horizontal)
- 2 Porenwasserdruckgeber
- 3 Erdspannungsgeber
- 4 Geodätische Meßpunkte
- 5 Sickerwassermessung
- 6 Piezometermessung

nach List, 1984

Bild 5 Beispiel für den Einbau von Meßgebern in einen Damm mit Kern und Filter (Staudamm Frauenau, aus /12/).

Armbruster: Messungen Inspektion und Kontrolle an Dämmen

Der Dammbeobachter begeht die Dämme und Bauwerke in einem Rhythmus, der von amtswegen vorgegeben ist. Dabei achtet er allgemein auf die 19 im Mängelbericht (genormter Vordruck der Vorschrift) genannten Merkmale eines möglichen neuen Schadens (Tabelle 3) und im besonderen auf alle vom Amt in Aufgabenblättern genannten Bereiche, über die ein Mängelbericht schon vorlag.

Tabelle 3 Merkmale und Ursachen eines möglichen Schadens
(aus /19/)

Merkmale		Ursachen	
1	Mulden, Sackungen, Risse in Dammflächen	1	Hochwasserstände, auch in seitlichen Gewässern
2	Einbrüche, Löcher, Ausspülungen	2	Sickerwasser
3	Abbrüche, Rutschungen, Rinnen, Abspülungen	3	Grundwasserbewegungen
4	Aufbrüche, Wurzelausbrüche	4	Zerrungen
5	Feuchtstelle(n), Vernässung(e)n ohne sichtbaren Wasseraustritt	5	Pressungen aus Bergbau
6	Quelle(n) klar	6	Bergsenkung
7	Quelle(n) trüb	7	Einbrüche im Untergrund
8	großflächiger Wasseraustritt ohne Materialtransport	8	Verwerfungen
9	großflächiger Wasseraustritt mit Materialtransport	9	Erdbeben
10	Kahlstelle(n) in der Grasnarbe	10	Erschütterungen
11	schädigender / hinderlicher Bewuchs	11	Sohlbaggerungen
12	Tierbauten (Gänge , Löcher)	12	Wasserspiegelabsenkungen
13	behinderte Vorflut im Seitengraben	13	Trockenlegung
14	Setzungen, Verkantungen von Bauwerken / Bauwerksteilen	14	Grundwasserabsenkung
15	Abplatzungen, Risse in Bauwerken	15	Bohrungen
16	Feuchtstelle(n) an Bauwerken	16	Schürfe
17	Wasseraustritt(e) aus Bauwerken	17	Beseitigen von Dichtungen
18	Sonstiges (unter Anmerkung erläutern)	18	sonstige Baumaßnahmen
19	Überschreiten eines Grenzwerts bei Messungen	19	Wasserspiegelschwankungen
		20	Wellenschlag
		21	Schraubenstrahl
		22	Ankerwurf
		23	Grundberührung
		24	Schiffsstoß
		25	Pollerzug
		26	abgestorbenes Wurzelwerk
		27	lebendes Wurzelwerk
		28	Tiere
		29	menschliche Einwirkungen
		30	Alterung
		31	Versprödung
		32	Temperatureinfluß
		33	Eisgang
		34	Niederschlag

Alle Beobachtungen und eventuelle Messungen werden festgehalten (Beispiel in Tab. 4) und müssen mit den vorangegangenen verglichen werden. Danach muß der Dammbeobachter seine Beobachtungen in folgende 3 Kategorien einstufen: Beschädigung, Schaden, Gefahr.

1. Beschädigung ist eine Abweichung vom Sollzustand, die kein sofortiges Handeln erfordert, weil eine Gefährdung nicht vermutet wird.
2. Schaden ist eine Abweichung vom Sollzustand, die ein sofortiges Handeln erfordert, weil eine Gefährdung möglich erscheint.
3. Akute Gefahr ist eine Abweichung vom Sollzustand, die ein sofortiges Handeln erfordert, weil eine unmittelbare Gefahr vermutet wird.

Tabelle 4 Beispiel eines Aufgabenblattes für Dammebeobachter (aus /19/, leicht verändert)

Aufgaben	Strecke am Dammfuß abgehen im Vorland, am Seitengraben und auf der landseitigen Böschung achten auf		
	Ausspülungen Abbrüche, Rutschungen Quellen, klar oder trüb großflächiger Wasseraustritt ohne oder mit Materialtransport		
	Mulden, Sackungen, Risse in Dammflächen Einbrüche, Löcher Rinnen, Abspülungen Aufbrüche, Wurzelaustritte Feuchtsstelle(n), Vernäflungen ohne sichtbaren Wasseraustritt		
	Kahlstelle(n) in der Graflnarbe (Brand, Trampelpfade) schädigender oder hinderlicher Bewuchs Tierbauten (Gänge, Löcher) behinderte Vorflut im Seitengraben Auffreten von Wasserpflanzen (Schilf, Binsen) Abgrabungen, Auffüllungen, Baugruben im Vorland		
Veranlassung bei	a	keinem Befund	Ergebnis und ggf. Meßwerte in Beobachtungsbericht eintragen
	b	Beschädigung	Mängelbericht aufstellen
	c	Schaden	- Mängelbericht aufstellen - Außenbezirk sofort unterrichten - Entwicklung des Schadens beobachten und ggf. schriftlich festhalten
	d	akuter Gefahr	- Außenbezirk sofort unterrichten oder, falls nicht erreichbar WSA / Notfall - Meldestelle - Ereignisablauf beobachten und ggf. schriftlich festhalten
Aufgaben	Drainage - Kontrollausläufe der Mauerrückenenwässerung besichtigen und austretende Wassermengen mit Stoppuhr und Meßgefäß messen		
	Drainageauslauf bringt - erstmalig $\geq 0,5$ l/min oder - gegenüber vorangegangener Messung > 50 % Wasseraustritt aus dem Bauwerk		
	Drainageauslauf bringt - erstmalig $0,1 - 0,5$ l/min oder - gegenüber vorangegangener Messung ≤ 50 % Abplatzungen, Risse in Bauwerksteilen Feuchtsstelle(n) an Bauwerksteilen		
	Drainageauslauf feucht - feucht oder - bringt $0,1$ l/min Setzungen, Verkanfungen von Bauwerksteilen Klaffung, Lamellenfugen ≥ 2 cm		

Zur Beurteilung stehen dem Dammebeobachter seine Erfahrung (z.B. über Schulungen) und leicht zu handhabende Geräte zur Verfügung (siehe Punkt 3.2), außerdem für bekannte Stellen vorgegebene Kriterien, die in Aufgabenblättern des Amtes genannt sind (z.B. Höhe eines Wasserstandes, der in einem vorhandenen Beobachtungsrohr nicht überschritten werden darf). Die Einstufung der Beobachtung regelt auch das weitere Verhalten des Dammebeobachters. Bei den Stufen zwei und drei muß er sofort seinen Vorgesetzten benachrichtigen und vor Ort die Beobachtungen festsetzen.

Der Außenbeamte als Vorgesetzter des Dammebeobachters erstellt Einsatzpläne für die Dammebeobachtungen und veranlaßt die periodischen und die fallweisen Beobachtungen und Messungen.

Außerdem prüft er die Mängelberichte, beurteilt die Ursachen der dort genannten Beobachtungen und veranlaßt eventuell notwendige Maßnahmen. Zur Beurteilung stehen ihm die ständig aufbereiteten Meßergebnisse zur Verfügung, außerdem die persönliche Inaugenscheinnahme der betreffenden Stelle, die bei Schaden und akuter Gefahr sofort vorgenommen werden muß. Die notwendigen Maßnahmen reichen von Zusatzmessungen (Punkt 3.2 und 4) bis zum sofortigen Aufbringen von Auflastfiltern.

Im zuständigen Amt liegen die Bestandspläne, die zur Beurteilung von Mängelberichten, Beobachtungen und Messungen notwendig sind. Dies gilt vor allem bei gedichteten Dammstrecken und bei Bauwerken.

Außerdem sind im Amt die Aufgabenblätter über die Dämme des vollen Zuständigkeitsbereichs zu erstellen, in denen detailliert die speziellen Aufgaben des Dammbeobachters beschrieben werden nebst Hinweisen für Beurteilungskriterien.

Das Amt hat zudem die Aufgabe, die Einteilung der Dämme in Beobachtungsklassen vorzunehmen, wodurch die Häufigkeit der Messungen bzw. Beobachtungen geregelt wird. Als Einstufungsmerkmal ist die Art der Gefährdung für das Umfeld bzw. den Damm zu bestimmen (keine, mögliche, vermutete Gefährdung). Die Einteilung erfolgt in 4 Beobachtungsklassen, wobei die Klasse 0 eine ständige, die Klasse III eine monatliche bis vierteljährliche Beobachtung fordert. Die Kriterien für die Einteilung in Beobachtungsklassen sind in Tab. 5 genannt.

Tabelle 5 Einteilung der Dämme in Beobachtungsklassen (aus /19/)

Beobachtungs- klassen	Einstufungsmerkmale	
	nach Bebauung Topographie	nach Sicherheit des Dammes
0	M	V
0	K	V
I	M	M
I	K	M
II	M	K
III	K	K

Klasse 0	: ständige Beobachtung und Durchführung von Sicherungsmaßnahmen
Klasse I	: tägliche bis wöchentliche Beobachtung - je nach Erfordernis
Klasse II	: wöchentliche bis monatliche Beobachtung - je nach Erfordernis
Klasse III	: monatliche bis vierteljährliche Beobachtung - je nach Erfordernis

V	= vermutete Gefährdung
M	= mögliche Gefährdung
K	= keine Gefährdung

3.2 Beobachtungen und einfache Messungen in Routinefällen

Unter Beobachtungen sollen alle Aktivitäten verstanden werden, die auf Wahrnehmungen beruhen. Die Wahrnehmung geschieht:

Armbruster: Messungen, Inspektion und Kontrolle an Dämmen

- a) mit dem Auge: Feuchtigkeit, Grasbewuchs, Farben, Formen (Mulde, Sackung, Risse etc.), Spuren (Menschen, Tiere, Geräte), Bewegungen (Tiere, Rutschung); andere Beispiele finden sich in Tabelle 2.
- b) mit dem Ohr: Wassergeräusche (Tropfen, Gluckern, Fließen, Quietschen), Tiergeräusche, Bewegungsgeräusche
- c) mit den Tastorganen: Tasten mit der Hand (Feuchtigkeit, Temperatur, Fließvorgänge), Abgehen und Achten auf weiche Stellen, Vertiefungen, Löcher, Froststellen
- d) (in Sonderfällen) mit der Nase.

Die Beobachtungen werden beschrieben und mit Hilfe von Fotos und/oder Skizzen ergänzt. Dafür notwendig sind einfache Meßgeräte wie Meterstab, Bandmaß, Nivelliergerät und einige Markierungsmöglichkeiten (Pflöcke, Kreide, Stifte), um Geometrien eindeutig festzuhalten. Diese Beobachtungen werden im Rahmen der routinemäßigen Dammspektion vorgenommen (Punkt 3.1) oder gezielt bei den in Punkt 5 vorgeschlagenen Untersuchungsarten.

Unter einfachen Messungen bei Routinefällen sollen alle Aktivitäten verstanden werden, die schnell und sofort von einem oder höchstens zwei Mann durchgeführt werden können, um die Beobachtungen möglichst schnell klassifizieren zu können. Dabei müssen die Messungen alle naheliegenden Meßsysteme einbeziehen, die dem Dammsbeobachter zugänglich sind. Gemessen oder zumindest geschätzt werden, wenn möglich:

- a) Hydraulische Kenngrößen: Wasserstände der offenen Gewässer, Grund- bzw. Sickerwasserstände (Beobachtungsrohre im Damm und im Grundwasser, in Dränschächten und Dränrohren), Höhenlage der Wasseraustritte, Wassermengen (Dränagen, Sicker-mengen).
In Sonderfällen können Geschwindigkeiten bzw. Richtungen des Sickerwassers durch Färbeversuche ermittelt werden.
- b) Temperaturen: Offene Gewässer, Dränagen, Sickerstellen, Beobachtungsrohre mit Temperaturprofil über die volle Tiefe.
- c) Wassermengen: Dränagen, Sickerstellen
- d) Bodenmechanische Kenngrößen: Klassifizierung von ausgespültem Material, von Material in Dränageabläufen, Bodenbeschaffenheit (leichte Schlitzsonde), Lagerungsdichten (leichte Rammsonde)
- e) Chemische Kenngrößen: Stellen wie bei b), Messen der elektrischen Leitfähigkeit und Wasserhärten.

Zur Messung der vorgenannten Größen genügen folgende einfache Geräte: Temperaturlichtlot, Eimer und Uhr, Probenbecher und Probenflaschen (je 1 Liter), leichte Schlitzsonde mit Gummihammer, leichte Rammsonde (Handbetrieb), Meßgerät für Leitfähigkeiten und Wasserhärten.

Weitere Kontrollsysteme erfordern größeren Aufwand und werden im Punkt 4 unter Ortungssysteme von Leckagen behandelt.

3.3 Flächendeckendes Überwachungssystem

(Infrarotthermographie)

In den letzten Jahren wurde versucht, ein Meßsystem zu entwickeln, das relativ schnell große Dammstrecken überwachen kann und ohne Eingriff in die Dämme auskommt. Dafür wurde in der BAW ein Pilotprojekt gestartet, das den Zusammenhang zwischen Leckstellen im Dammdichtungssystem und Oberflächentemperaturen klären sollte. Das Pilotprojekt, das in der ersten Phase abgeschlossen ist, zeigte, daß die Infrarotthermographie als flächendeckendes Überwachungssystem für viele Fälle geeignet ist. Im folgenden wird das Meßsystem vorgestellt:

Die Meßgrößen sind die Temperaturen der Oberfläche des Dammes, des Wassers und des angrenzenden Hinterlandes. Diese Temperaturen hängen von einer Vielzahl von Einflußgrößen ab, von denen einige genannt werden sollen: Boden, Bewuchs, Sonnenstand, Jahreszeit, Böschungswinkel, Feuchtigkeiten, Wind, Bewölkung etc. Jede Temperaturaufnahme muß für eine Interpretation entweder den Einfluß aller genannten Größen voneinander trennen können oder durch die Meßwerte werden nur im Zusammenhang mit Vergleichswerten Aussagen ermöglicht. Dabei können die Vergleichsmeßwerte aus anderen aber gleichzeitig aufgenommenen Dammbereichen stammen oder im gleichen Bereich zu anderen Zeiten gewonnen sein. Die besten Aussagen ergaben sich, wenn beide Möglichkeiten gegeben sind. Die Auswertung erfolgt über das Bewerten von

- a) Abweichungen der Temperaturen gegenüber dem intakten Dammbereich (gleichzeitige Aufnahme),
- b) Abweichungen bei der Temperaturveränderung innerhalb eines Zeitraums (mehrere Aufnahmen z.B. bei Tag und Nacht).

Voraussetzung für die Bewertung der Temperaturmeßwerte ist, daß die Temperatur an der Oberfläche (Wasser, Damm, Hinterland) überhaupt durch die gesuchten Inhomogenitäten im Bauwerk beeinflusst wird. In einem Pilotprojekt der Bundesanstalt für Wasserbau konnte nachgewiesen werden, daß dies im allgemeinen der Fall ist, wenngleich auf unterschiedliche Weise. Eine Leckstelle im Abdichtungssystem kann sich thermisch erkennbar machen durch:

- a) Temperaturanomalien am Damm (Berme, Dammfuß, Dammflanke), die durch die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit des Bodens aufgrund von Wasseraustritten, Vernässungen, vermehrter Feuchtigkeit oder kapillar aufgestiegenem Wasser entstehen.
- b) Temperaturanomalien am Damm, die durch die Veränderung der Temperatur des Bodens aufgrund konvektivem (weiterleitend) und/oder konduktivem (mittransportierend) Wärmetransports bei einer Leckstelle entsteht.
- c) Temperaturanomalien im Seitengraben bzw. Dränsystem oder im Unterwasser einer Stauanlage, die aufgrund unterschiedlicher Anströmungen (konduktiver Wärmetransport) zwischen Leckstelle und intaktem Damm entstehen.

- d) Temperaturanomalien im Hinterland bzw. Vorflutern, wobei für deren Entstehung die Gründe von a) bis c) in Frage kommen.

Das Meßinstrument zur Aufnahme der Temperaturmeßwerte ist ein Infrarotscanner. Der Infrarotscanner gehört zu der Gruppe von Strahlungsthermometern (Punkt 2.5), die berührungslos die Reflexionsstrahlung von Objekten messen. Die heute gebräuchlichen Aufnehmer der Strahlung (Detektoren) reagieren auch auf die relativ niederen Temperaturen, die bei der Dammebeobachtung vorhanden sind, mit geringen Belichtungszeiten, so daß eine flächendeckende Aufnahme aus einem fliegenden Gerät (Hubschrauber, Flugzeug) punktwise bzw. zeilenweise (scan = Zeile) möglich ist (Bild 6). Dieser Scanner ordnet jedem Flächenelement auf dem Boden, dessen Größe je nach Flughöhe und Auflösungsvermögen variabel ist (i.a. etwa $0,5 \text{ m}^2$), eine Intensität der Reflexionsstrahlung im nahen oder mittleren Infrarot (i.a. 8 bis 14 μ) zu, die über Referenzmessungen einer bestimmten Temperatur der Genauigkeit von $0,1^\circ \text{ K}$ zugeordnet werden kann. Die Aufnahme erfolgt mit Hilfe eines Drehspiegels über einen Detektor auf ein Magnetband, so daß die Temperaturdaten mit Computern bearbeitet werden können. Die Aufnahme aller Bildpunkte erfolgt sehr schnell nacheinander, wodurch nahezu eine Zeitgleichheit der Aufnahme benachbarter Dammabschnitte vorhanden ist.

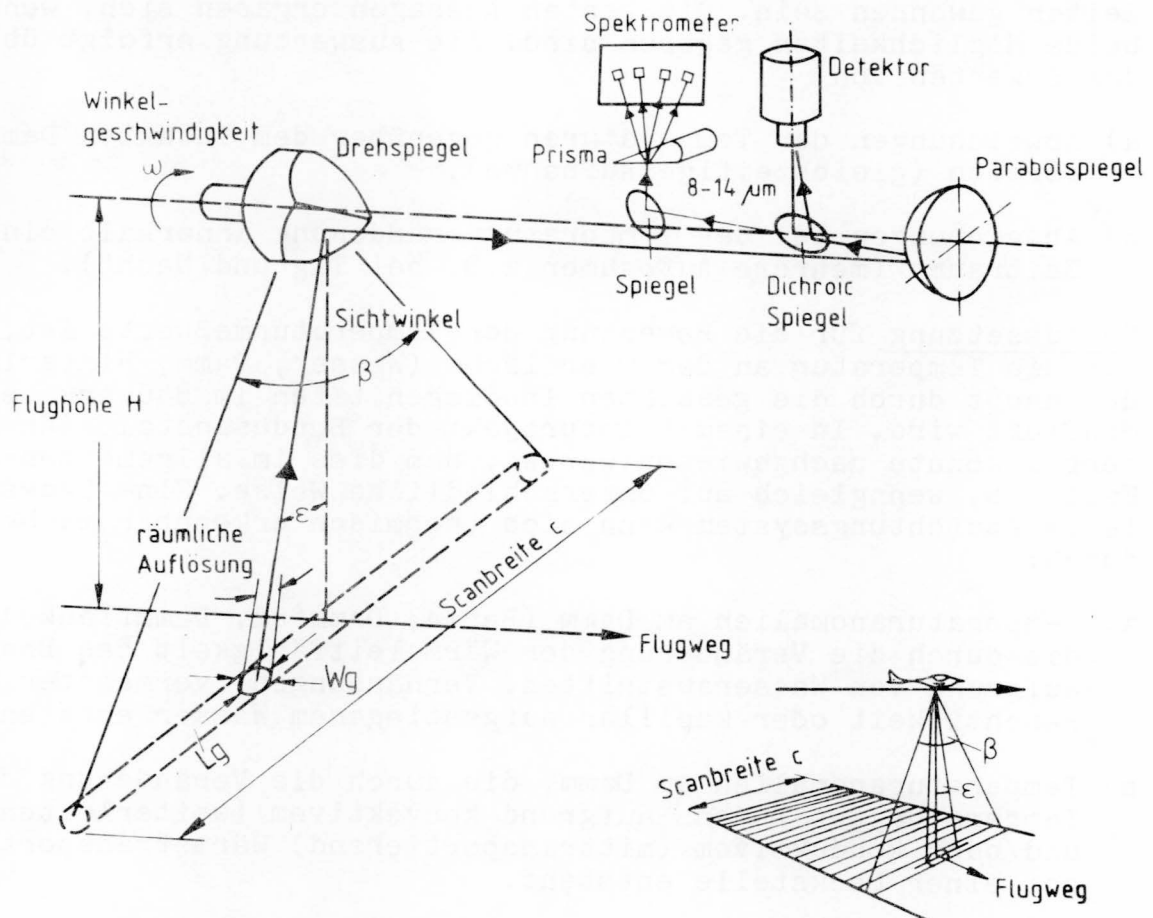


Bild 6 Prinzipskizze eines Infrarotscanners

Die Temperaturaufnahme sollte zu Zeiten erfolgen, wo die erwarteten Anomalien der Punkte a) bis d) möglichst groß sind und viele der äußeren Einflußgrößen definiert sind. Zum einen betrifft dies den Bewuchs, der am besten fehlen sollte, zum anderen die Temperaturunterschiede zwischen Oberflächenwasser (Kanal, Fluß) und Damminnern, der möglichst groß sein sollte, zum dritten die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht, die ebenfalls möglichst groß sein sollten, um die Leitfähigkeitsunterschiede optimal ausnutzen zu können (Bild 7).

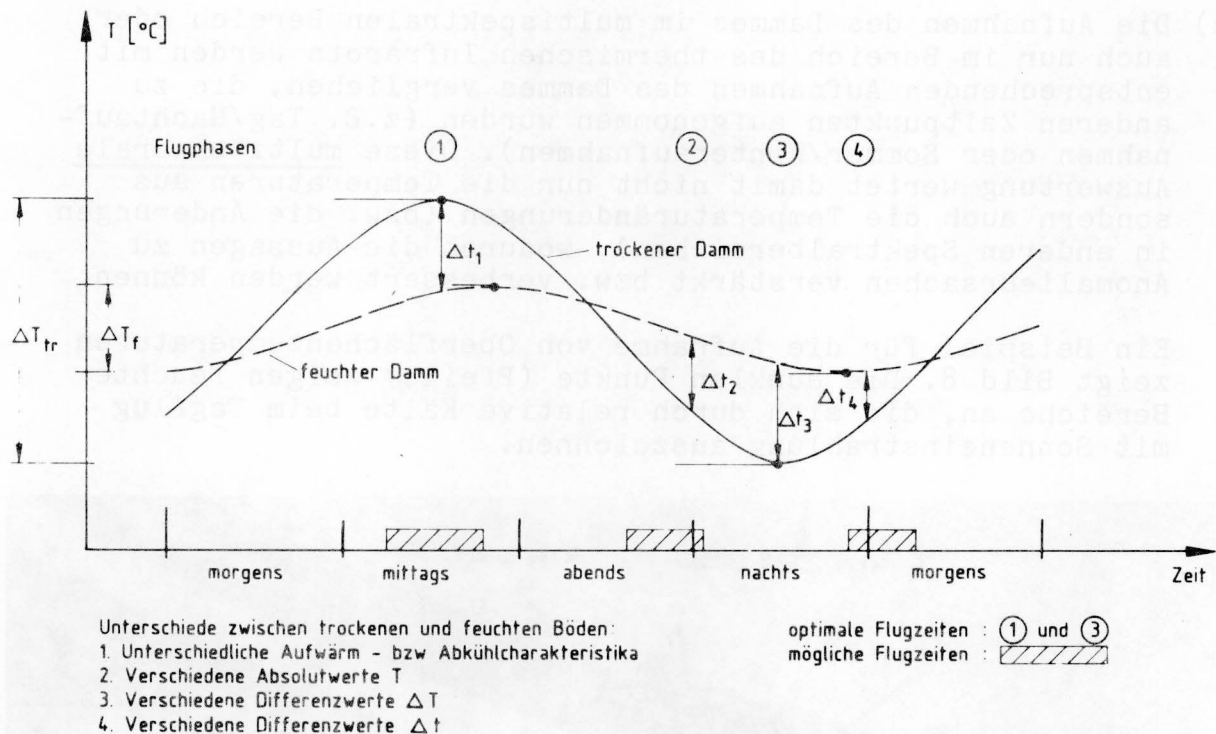


Bild 7 Prinzipskizze zum Zeitpunkt von Infrarotaufnahmen

Die Vorbereitung des Flugs erfordert einigen Aufwand bezüglich der späteren Zuordnung von thermischen Bildern, am Flugtag müssen einige Referenzmessungen am Boden vorgenommen werden.

Für die Auswertung der Aufnahmen, d.h. für das Feststellen von Temperaturanomalien, deren Ursachen nicht anders erklärbar sind außer durch das Vorhandensein einer Anomalie des Absperresystems, gibt es drei Klassifikationssysteme:

- a) Die Aufnahme des Dammes im Wellenlängenbereich des thermischen Infrarot (mit Hinterland) wird empirisch klassifiziert, d.h. der Damm wird auf thermische Anomalien Stück für Stück abgesucht. Jede gefundene Anomalie wird festgehalten und mit Hilfe von Luftaufnahmen oder Messungen bzw. Beobachtungen vor Ort interpretiert.

- b) Die in einem Multispektralscanner möglichen Aufnahmen des Dammes im Wellenlängenbereich sowohl des sichtbaren Lichts als auch des thermischen Infrarots werden zur Auswertung herangezogen. Dieses System besitzt den Namen multispektrale Klassifikation. Das sichtbare Licht ist aufgrund eines Prismendurchganges in einzelne Farbkomponenten aufgeteilt, wobei zwei dieser Komponenten Aufschlüsse über die Vitalität von Pflanzen geben und damit Rückschlüsse auf die Feuchtigkeit von Dämmen erlauben.
- c) Die Aufnahmen des Dammes im multispektralen Bereich oder auch nur im Bereich des thermischen Infrarots werden mit entsprechenden Aufnahmen des Dammes verglichen, die zu anderen Zeitpunkten aufgenommen wurden (z.B. Tag/Nachtaufnahmen oder Sommer/Winteraufnahmen). Diese multitemporale Auswertung wertet damit nicht nur die Temperaturen aus sondern auch die Temperaturänderungen (bzw. die Änderungen in anderen Spektralbereichen), wodurch die Aussagen zu Anomalieursachen verstärkt bzw. verbessert werden können.

Ein Beispiel für die Aufnahme von Oberflächentemperaturen zeigt Bild 8. Die dunklen Punkte (Pfeile) zeigen feuchte Bereiche an, die sich durch relative Kälte beim Tagflug mit Sonneneinstrahlung auszeichnen.

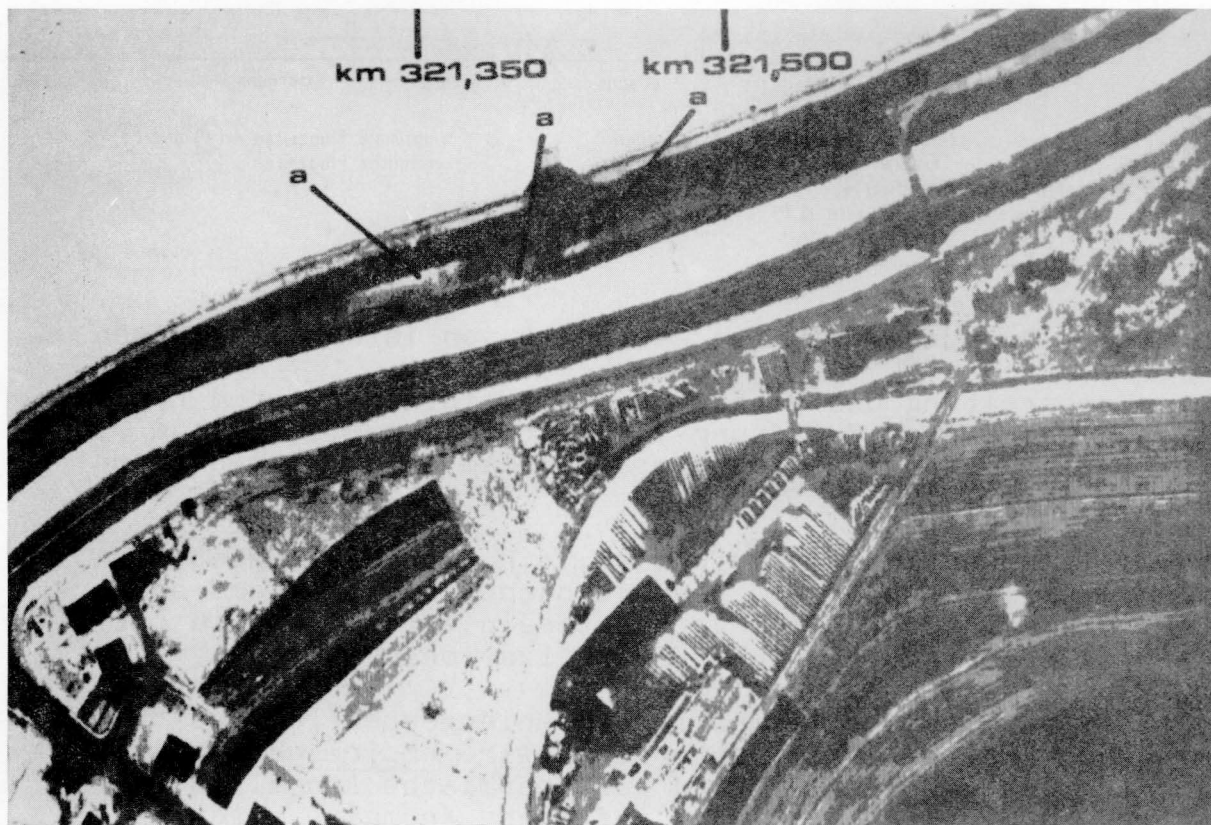


Bild 8 Beispiel für ein Infrarotbild (6 Grautöne)

Nach der Auswertung der Anomalien müssen Nachuntersuchungen klären, wieweit die Ursachen der Anomalien den Damm gefährden können. Diese werden im Punkt 4 näher gegliedert und erläutert.

4. Möglichkeiten der Ortung von Leckagen

4.1 Überblick über die Verfahren

Alle Verfahren beruhen entweder auf Beobachtungen eines erfahrenen Dammläufers (Gruppe I) oder auf Messungen an der Dammoberfläche (Gruppe II) oder auf Messungen im Damm (Gruppe III).

Die Tabelle 6 zeigt eine Übersicht über die Verfahren mit Vor- und Nachteilen.

Die Gruppe I kommt ohne Meßinstrumente aus, benötigt werden nur die Sinnesorgane des Menschen. Im Punkt 3.2 ist die Gruppe beschrieben.

Die Gruppe II faßt alle Verfahren zusammen, bei denen alle Meßgeräte oder Meßwertaufnehmer sich über oder an der Oberfläche oder höchstens 0,5 m unterhalb befinden; damit kann nicht von einem Eingriff in den Damm gesprochen werden. Dazu gehört das unter Punkt 3.3 beschriebene Infrarotscanning, außerdem seismische, radiologische, geoelektrische und akustische Meßverfahren (Punkt 4.2).

Die Gruppe III faßt alle Verfahren zusammen, bei denen sich Meßgeräte oder Meßwertgeber im Bauwerk befinden, unabhängig davon, ob diese während des Baus oder später installiert wurden. Dazu gehören die Kontrollsysteme mit den unterschiedlichsten Gebern (Druck, Setzung, Verschiebung, Neigung, Temperatur, Wasserdruck) und die Sickerwasserbeobachtungsrohre, die mehrere Funktionen erfüllen. Den Verfahren der Gruppe III ist gemeinsam, daß durch den Einbau der Meßgeräte eine Störung der Homogenität des Dammaufbaus vorhanden ist. Dadurch stellt das Meßgerät möglicherweise eine Gefährdung des Bauwerks dar, zumindest aber ist in Frage gestellt, ob der Meßwert nur für einen Punkt gilt oder für größere Bereiche repräsentativ ist. Im Punkt 2 (Meßsysteme) sind diese Verfahren detailliert vorgestellt. Dabei besteht kein prinzipieller Unterschied, ob die Meßwertgeber schon während des Baus oder erst nach der Fertigstellung des Damms installiert werden. Im ersten Fall können Entwicklungen verfolgt und bewertet werden, so daß ein Alarmsystem vorliegt. Im zweiten Fall dient der Einbau meist der Beweissicherung.

Als Gruppe IV ist die Sonderform der Dränagen aufgenommen, die gleichzeitig Konstruktionselemente des Damms als auch Meßgeber darstellen.

Tabelle 6 Einteilung der Verfahren zur Ortung von Sickerströmungen

Gruppe	Nr.	Bezeichnung	Meßgröße	Art des gemessenen Feldes	Meßgeräte	Bewertung
I	1	Ablaufen	Beobachtung durch Hören, Fühlen, Sehen	natürlich	keine	gutes Hilfsmittel als Ausgang für weitere Untersuch.
	2	Begehen	Wasserbewegung	natürlich	Wünschelrute	umstritten, nicht quantifizierbar
II	3	Seismische Messungen	Bodenart und Schichtung	künstlich erregt	Seismometer-Geophon, Registrierapparat (Oszillograph)	für spezielle Fälle zusätzliches Hilfsmittel
	4	Elektrische Widerstandsmessung	Bodenart	künstlich erregt	Widerstandsmessgerät, Spezialelektroden	für flächenhaften Einsatz bei bekanntem Boden
	5	Elektrische Eigenpotentialmessung	Wasserbewegung	natürlich vorhanden	Hochohmiges Millivoltmeter, unpolarisierbare Elektroden	noch in Entwicklung für flächenhaften Einsatz
	6	Seismoakustik	Bewegungsphänomene im Boden	natürlich vorhanden	Geophon-Mikrofon Vorverstärker, Breitbandige Registrierapparat	noch in der Entwicklung
	7	Thermometrie (Oberflächenmessung)	Temperatur	natürlich vorhanden	Strahlungsthermometer, Infrarotkamera, Infrarot-Scanner	noch in der Entwicklung für flächenhaften Einsatz geeignet
	8	Radiometrische Messungen	natürliche Wassergehalte (Feuchtigkeiten)	natürlich	Isotopsonde (Aufsatzsonde)	für flächenhaften Einsatz, schwierig zu quantifizieren
III	9	Direkter Bodenaufschluß	Bodenart	natürlich vorhanden	Bohrgerät, Sondiergeräte, Laborgeräte	sehr gut, bei Verdacht gezielt einsetzbar, punktförmig
	10	Hydraulische Messungen	Wasserpotential punktweise	natürlich oder künstlich erzeugbar (Pumpen)	Lichtlot, Pegelschreiber, Radionuclide, Isotopsonde	sehr gut, vielseitig andere Messungen möglich, aber aufwendig
	11	Untersuchung von Wasser	mechanische chemische und phys.-chemische Parameter	natürlich oder künstlich (Tracer)	Chemielabor tragbare Meßgeräte	gutes Hilfsmittel als Ergänzung anderer Methoden
	12	Messung von Wassertemperaturen	Temperaturverteilung Linienförmig	natürlich oder künstlich erzeugbar (Einleiten Heißwasser)	Wasserthermometer	sehr gute billige Zusatzmessung
	13	Messung von Bodentemperaturen	Temperaturverteilung flächenhaft	natürlich oder künstlich erzeugt	Bodenthermometer	sehr gute Zusatzmessung, noch in Entwicklung
IV	14	Beobachtung von Seitengraben	Wassermengen u. Temperaturen	natürlich	Volumenmessung pro Zeiteinheit	sehr gut, weit kontrollierbar und reparierbar
<p>Gruppe I : Nr. 1, 2 Beobachtungsverfahren Gruppe 2 : Nr. 3 - 8 Verfahren ohne Eingriff in den Damm Gruppe 3 : Nr. 9 - 13 Verfahren mit Eingriff in den Damm Gruppe 4 : Nr. 14 Verfahren ohne Eingriff, Kontrollsystem ist Bauwerksteil.</p>						

4.2 Meßsysteme ohne Eingriff in den Damm

Diese Verfahren sind in der Tabelle 6 unter den Nummern 3 bis 8 zusammenfassend charakterisiert. Allen Verfahren ist gemeinsam, daß zur Interpretation der Meßwerte zumindest ein Aufschluß aus dem Verfahren der Gruppe III vorhanden sein sollte oder der Aufbau des Dammes zumindest an einem Punkt genau bekannt sein muß. An diesem Punkt, der innerhalb des Meßfeldes liegen muß, wird das Meßverfahren "geeicht", d.h. alle Meßwerte sind Relativwerte.

Die seismischen Messungen und die Widerstandsmessungen ermöglichen auch Angaben über den Damm in vorgebbaren Tiefen. Akustische Messungen mit Hilfe der sogenannten Schallemissionsanalyse (SEA) und die Eigenpotentialmessungen sind zwar noch keine Standardverfahren, die Forschungen auf diesen Gebieten sind aber in den letzten zwei Jahren soweit fortgeschritten, daß die Verfahren gezielt eingesetzt werden können. Die Messungen der Oberflächentemperatur sind Relativmessungen und bedürfen weiterer Untersuchungen beim Auffinden von Anomalien, die radiologischen Messungen mit der Aufsatzsonde geben Aussagen nur für die obersten Dezimeter des Dammes.

Das gebräuchlichste und best abgesichertste Verfahren dieser Gruppe ist die Messung der Widerstände, sehr gute Erfolge werden z.Zt. auch mit der Auswertung von Eigenpotentialmessungen erzielt. Dieses Verfahren ist allerdings ebenso noch in Entwicklung wie die akustischen Verfahren. Bild 9 zeigt das Ergebnis von Widerstandsmessungen und Eigenpotentialmessungen an einem Damm mit einem Auslaßbauwerk. Man erkennt den Bereich der hohen negativen Eigenpotentiale in Bauwerksnähe, die von starken Unter- und Umströmungen des Bauwerks herrühren. Mit Hilfe der Widerstandsmessungen konnte der Bereich eingegrenzt werden, in dem das Kernmaterial des Dammes entweder gar nicht oder nur unvollständig eingebaut worden war.

Die Gruppe IV, nach den in Punkt 4.1 ausgeführten Äußerungen als Sonderfall der Gruppe II eingestuft, umfaßt im wesentlichen hydraulische Messungen an fest eingebauten Dränsystemen (Querdämme mit Kontrollgängen, Bild 4) oder Seitengrabensystemen (Längsdämme von Stauhaltungen). Bei Staudämmen könnten Wassermengenmessungen in Dränabläufen und Seitengräben als das beste Kontrollverfahren angesehen werden, da es auch die Eingrenzung von Leckagen auf einen engen Bereich ermöglicht. Bei Kanaldämmen mit den großen Längenerstreckungen sollten solche Dränsysteme aufgrund der unzulänglichen Ausführungen bei Schadensfällen der Vergangenheit nicht angewendet werden. Eine nicht sachgemäße Ausführung der Dräns kann die zu ortende Leckage sogar hervorrufen. Daraufhin wurden in den letzten Jahren vorhandene Dränsysteme unter Dammdichtungen von Seitendämmen verpreßt, der Bau solcher Dräns bei neuen Dämmen wird in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung nicht mehr zugelassen. Da Dränagen u.U. aber auch die Funktion von Grundwasserabsenkungen übernehmen, ist sowohl bei der Interpretation von Dränwassermengen als auch beim Verpressen sehr sorgfältig vorzugehen.

4.2 Meßsysteme ohne Eingriff in den Damm

Diese Verfahren sind in der Tabelle 6 unter den Nummern 3 bis 8 zusammenfassend charakterisiert. Allen Verfahren ist gemeinsam, daß zur Interpretation der Meßwerte zumindest ein Aufschluß aus dem Verfahren der Gruppe III vorhanden sein sollte oder der Aufbau des Dammes zumindest an einem Punkt genau bekannt sein muß. An diesem Punkt, der innerhalb des Meßfeldes liegen muß, wird das Meßverfahren "geeicht", d.h. alle Meßwerte sind Relativwerte.

Die seismischen Messungen und die Widerstandsmessungen ermöglichen auch Angaben über den Damm in vorgebbaren Tiefen. Akustische Messungen mit Hilfe der sogenannten Schallemissionsanalyse (SEA) und die Eigenpotentialmessungen sind noch nicht ausgereift genug, um die Meßwerte eindeutig Ereignissen in bestimmter Tiefe zuzuordnen. Die Messungen der Oberflächentemperatur sind Relativmessungen und bedürfen weiterer Untersuchungen beim Auffinden von Anomalien, die radiologischen Messungen mit der Aufsatzsonde geben Aussagen nur für die obersten Dezimeter des Dammes.

Das gebräuchlichste und best abgesichertste Verfahren dieser Gruppe ist die Messung der Widerstände, sehr gute Erfolge werden z.Zt. auch mit der Auswertung von Eigenpotentialmessungen erzielt. Dieses Verfahren ist allerdings ebenso noch in Entwicklung wie die akustischen Verfahren. Bild 9 zeigt das Ergebnis von Widerstandsmessungen und Eigenpotentialmessungen an einem Damm mit einem Auslaßbauwerk. Man erkennt den Bereich der hohen negativen Eigenpotentiale in Bauwerksnähe, die von starken Unter- und Umströmungen des Bauwerks herrühren. Mit Hilfe der Widerstandsmessungen konnte der Bereich eingegrenzt werden, in dem das Kernmaterial des Dammes entweder gar nicht oder nur unvollständig eingebaut worden war.

Die Gruppe IV, nach den in Punkt 4.1 ausgeführten Äußerungen als Sonderfall der Gruppe II eingestuft, umfaßt im wesentlichen hydraulische Messungen an fest eingebauten Dränsystemen bzw. Grabensystemen. Die Wassermengenmessung in Dränabläufen und die Wasserstandsmessungen in den zugehörigen Kontrollschächten können als das beste Kontrollverfahren angesehen werden, vor allem bei Dämmen mit Dichtungssystemen (Bild 4). Es ermöglicht auch die Eingrenzung von Leckagen auf einen engen Bereich, ist aber aufgrund von unzulänglichen Ausführungen der Dränsysteme bei Schadensfällen der Vergangenheit stark in die Diskussion geraten. Eine nicht sachgemäße Ausführung der Dräns kann die zu ortende Leckage sogar hervorrufen, so daß in den letzten Jahren vorhandene Dränsysteme unter Dammdichtungen verpreßt wurden. Da Dränagen in Kanalbereichen mit Anschnitten u.U. aber auch die Funktion von Grundwasserabsenkungen übernehmen, ist sowohl bei der Interpretation von Dränwassermengen als auch beim Verpressen sehr sorgfältig vorzugehen.

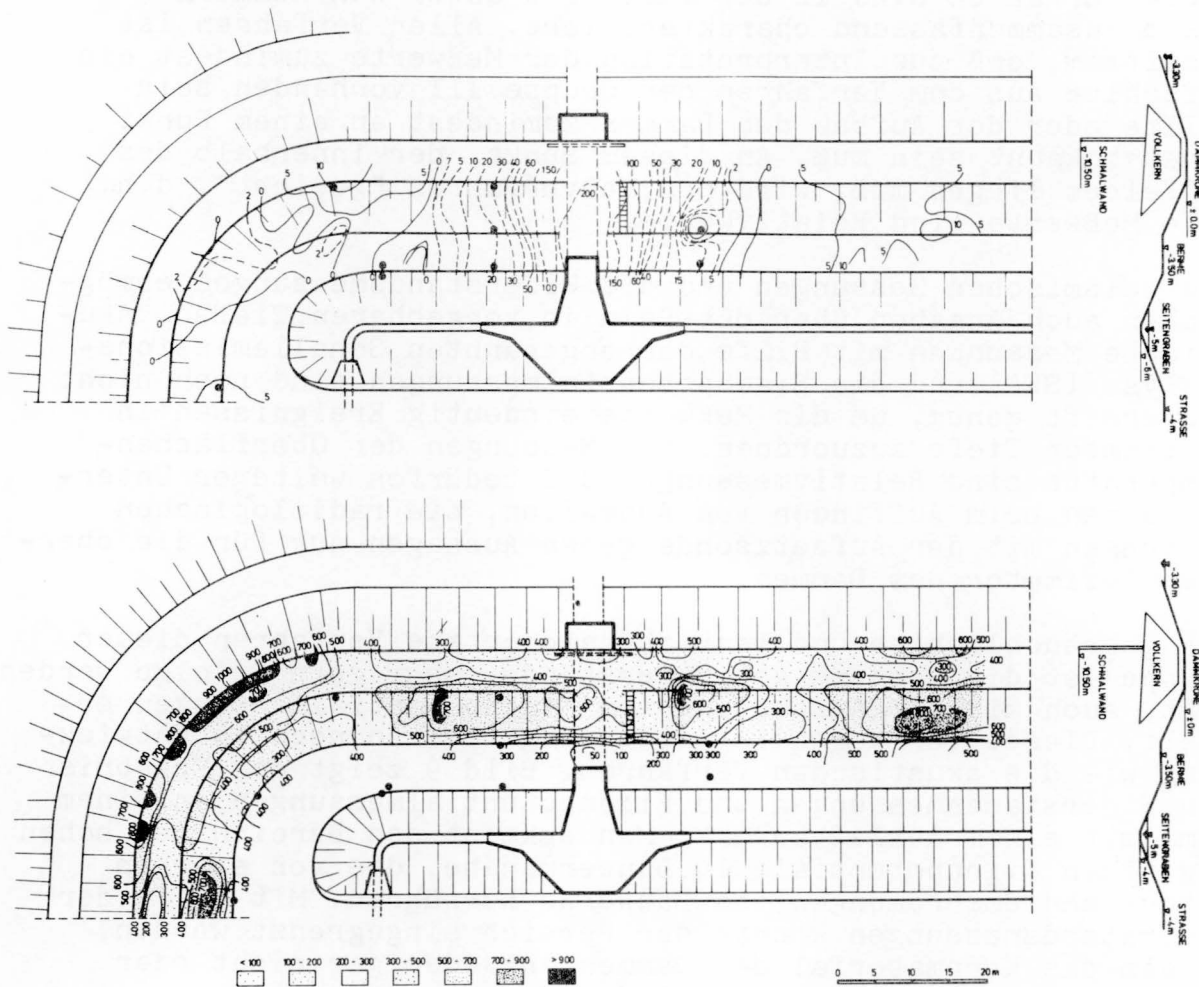


Bild 9 Geoelektrische Messungen an einem Damm mit Bauwerk
 Bild oben: Eigenpotentiale in mV, negative EP sind gestrichelt

Bild unten: Widerstandsmessungen mit Anordnung der Elektroden nach WENNER ($a = 2,5 \text{ m}$)

4.3 Meßsysteme mit Eingriff in den Damm

Diese Verfahren sind in der Tabelle 6 unter den Nummern 9 bis 13 zusammenfassend charakterisiert. Allen Verfahren ist gemeinsam, daß entweder nachträglich in ein bestehendes System eingegriffen wird, wodurch Verfälschungen der Situation bzw. zusätzliche Gefahren auftreten oder daß von Beginn an Inhomogenitäten im Bauwerk aufgrund der Meßsysteme (Punkt 2) vorhanden sind.

Der Eingriff in den Damm wird vorgenommen:

- a) Bei Schürfen durch das Freilegen von Dammteilen. Dieses Vorgehen stellt häufig ein Sicherheitsrisiko dar aufgrund der Querschnittsveränderung des Dammes, diesem kann aber durch entsprechende Zusatzmaßnahmen begegnet werden. Das Freilegen von Sickerbereichen am Dammfuß ermöglicht oft eine Angabe zur bevorzugten Richtung der Sickerströmung und zu geohydraulischen und bodenmechanischen Parametern (Schichtung, Kornverteilung, Durchlässigkeit, Herkunft von ausgespültem Material etc.)
- b) Bei Sondierungen durch das Einbringen der Meßsonde mittels Rütteln, Schlagen oder Rammen. Dabei werden u.U. natürliche oder künstliche Abdichtungen durchfahren, außerdem können durch dynamische Vorgänge und durch die notwendigen Lasten der Geräte die Standsicherheiten vermindert werden.

Im allgemeinen füllt das Meßgerät das entstandene Loch so aus, daß die Messung genau oder annähernd genau den einzig interessierenden Zustand des Dammes vor Einsatz des Meßgerätes wiedergibt (Isotopensonde, Temperatursonde, Rammpegel), beim Rückbau muß aber auch bei relativ kleinen Löchern auf die einwandfreie Versorgung geachtet werden. In manchen Fällen empfiehlt sich das Belassen der Sonde im Damm.

Bei den Drehflügel-, Ramm- und Drucksondierungen erfolgt die Messung während des Einbringens des Meßgerätes und damit im ungestörten Zustand des Dammes. Die entstehenden größeren Löcher müssen, wenn möglich, nach dem Ziehen der Sonde analog den Vorschriften für Bohrlöcher verfüllt werden.

Mit Rammkern- und Schlitzsondierungen werden mit Einschränkungen direkte Bodenaufschlüsse erhalten. Vor allem die Schlitzsonde ist ein gutes Gerät zum schnellen Beurteilen von oberflächennahen Schichten.

In allen Fällen muß wenigstens beim Ausbau des Gerätes eine Aussage zum Wasserstand im Sondierloch getroffen werden. Diese Aussagen sind allerdings nicht in jedem Fall ausreichend für die Beurteilung des hydraulischen Potentials im Damm (s. Punkt 2.4). Ein Beispiel für den Einsatz von Temperatur-Sondierungen im Boden zeigt das Bild 10. Hier wurde eine Dammflanke über 600 m Länge mit Bodenthermometern untersucht, wobei die Temperaturen in 1 bis 4 m Tiefe bei einem Rasterabstand von 25 m gemessen wurden.

- c) Bei allen anderen Meßverfahren durch das Einsetzen von Meßgeräten in vorgebohrte Löcher (in Sonderfällen auch vorgerammt). Dabei wird meist ein größerer Eingriff in das Damm- und Abdichtsystem vorgenommen. Außerdem müssen beim Bohren oft erhebliche Lasten gefahrlos abgetragen werden können. Der Einsatz dieser Verfahren setzt eine gründliche Planung zum Bau und Rückbau voraus. Die Bohrung ergibt den universellsten Aufschluß über den Boden und die hydraulischen Verhältnisse. Im Bohrloch können eine Reihe von Messungen in unterschiedlichen Höhenlagen während der Bohrung durchgeführt werden (z.B. Wasserstandsmessungen während der Bohrung, Standard-Penetrations-Tests, Wasserabpreßversuche etc.).

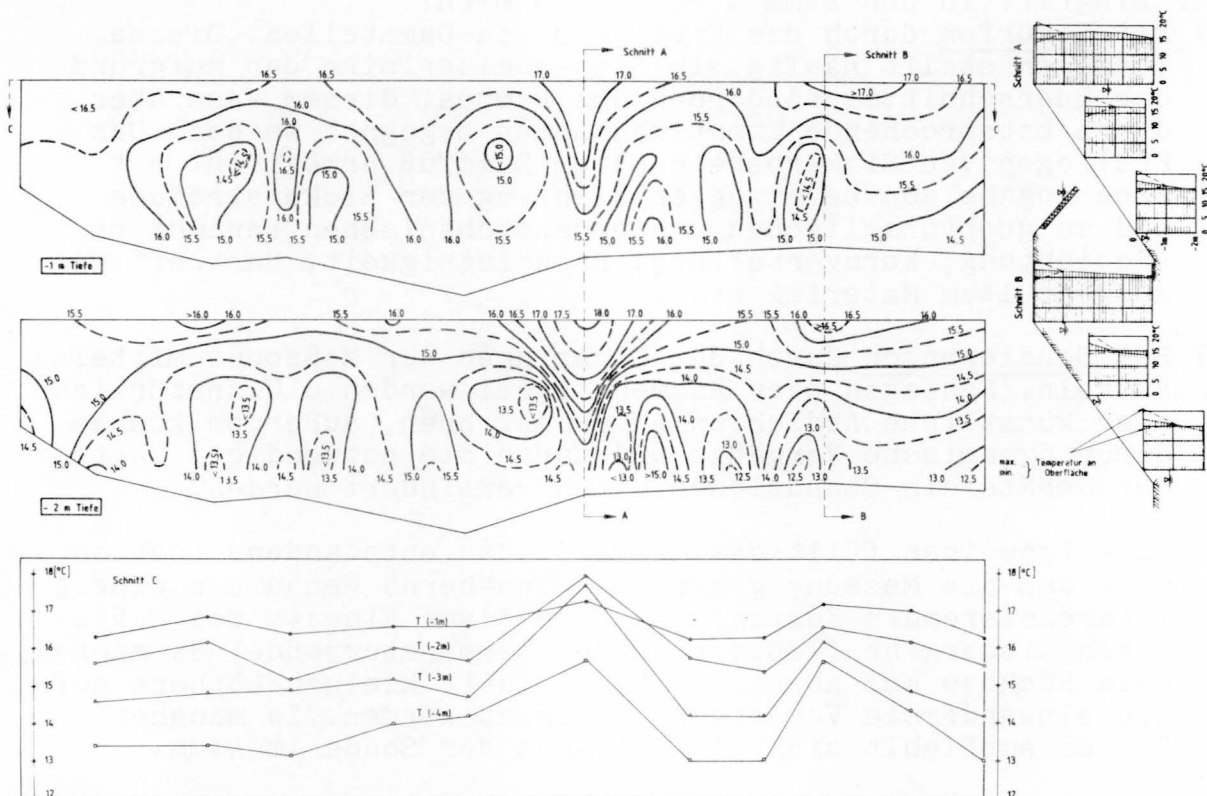


Bild 10 Thermische Messungen an einem Damm (aus /1/)

Im verrohrten Bohrloch (und z.T. auch im unverrohrten) können eine Reihe von Messungen vorgenommen werden, je nach Bohrverfahren und Ausbau der Bohrung (z.B. Eigenpotentialmessungen, Widerstandsmessungen, Radiologische Messungen, Flowmetermessungen, Ultraschallmessungen etc.). Aus den entnommenen Proben (Boden, Wasser) können zusätzliche Erkenntnisse gewonnen werden.

Der Ausbau der Bohrungen zu Meßstellen muß sorgfältig geplant werden (Bewegungsmessungen, Druckmessungen, Temperaturmessungen, chemisch-physikalische Messungen, hydraulische Messungen, Strukturmessungen). Die durch die Bohrung gestörten Verhältnisse müssen, soweit überhaupt möglich, in den ursprünglichen Zustand versetzt werden.

Beispiele für den Einsatz von Bohrungen als Mehrfachmeßstellen zeigen die Bilder 11 und 12. Im Bild 11 sind eine Reihe von Beobachtungsrohren im Abstand von 25 m am Dammfuß dargestellt, in denen Wasserstände, Temperaturen und die chemische Zusammensetzung des Wassers gemessen wurden. Alle Messungen ergaben die Länge einer Anomalie im Dichtungssystem des Längsdamms (Rohr 1 bis 11). In den Bildern 12 ist die Temperaturverteilung in einem Querdamm gezeigt, dessen Dichtungssystem (Asphalt über Schlitzwand) unterströmt wird.

Mit dem Bau jeder Meßstation muß außer der Meßart auch ein Meßzeitplan vorherbestimmt werden, wobei allerdings Änderungen kurzfristig möglich sein müssen.

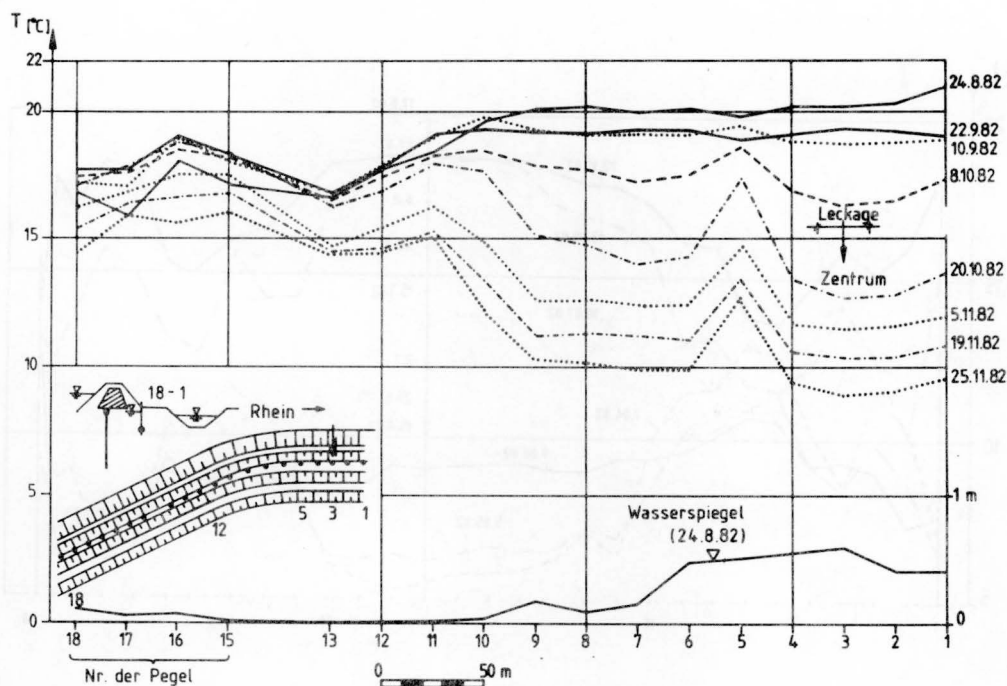


Bild 11 Temperaturen und Wasserstände in 2 m Tiefe längs des Dammfußes eines Seitendammes

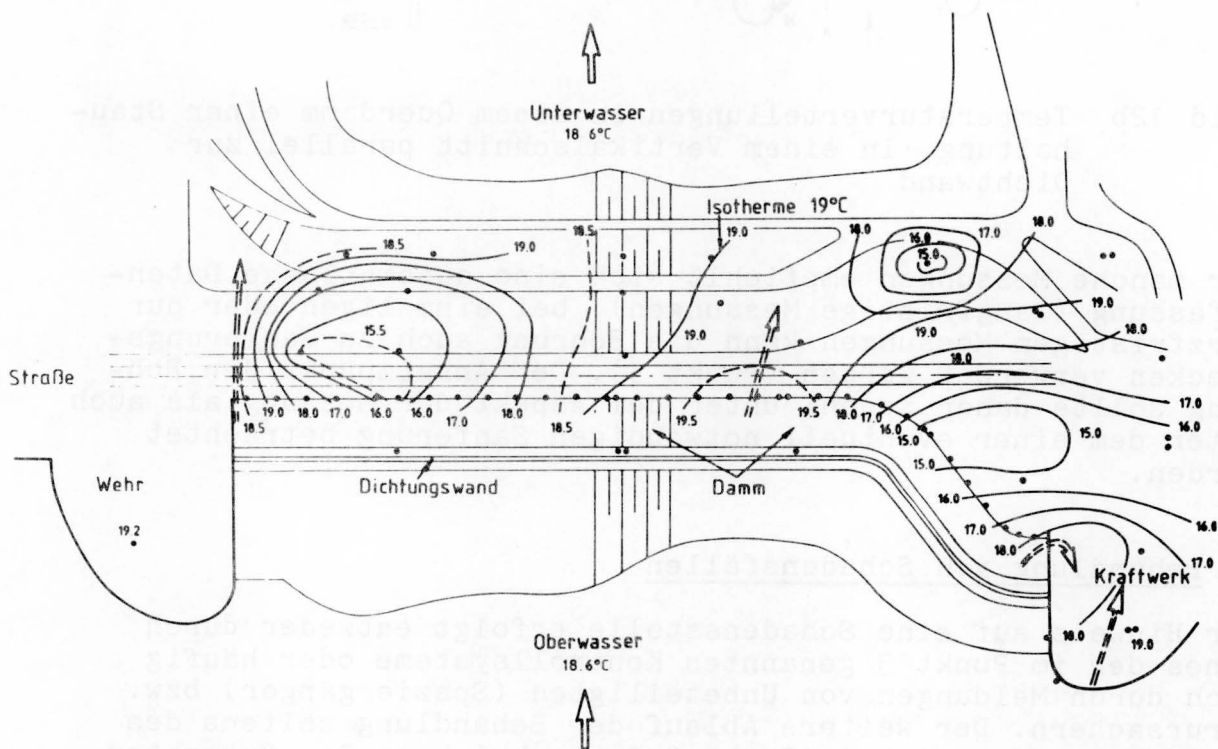


Bild 12a Temperaturverteilungen in einem Querdamm einer Stauhaltung, in einem Horizontalschnitt 20 cm unter der freien Oberfläche, 15 m unter Dammkrone

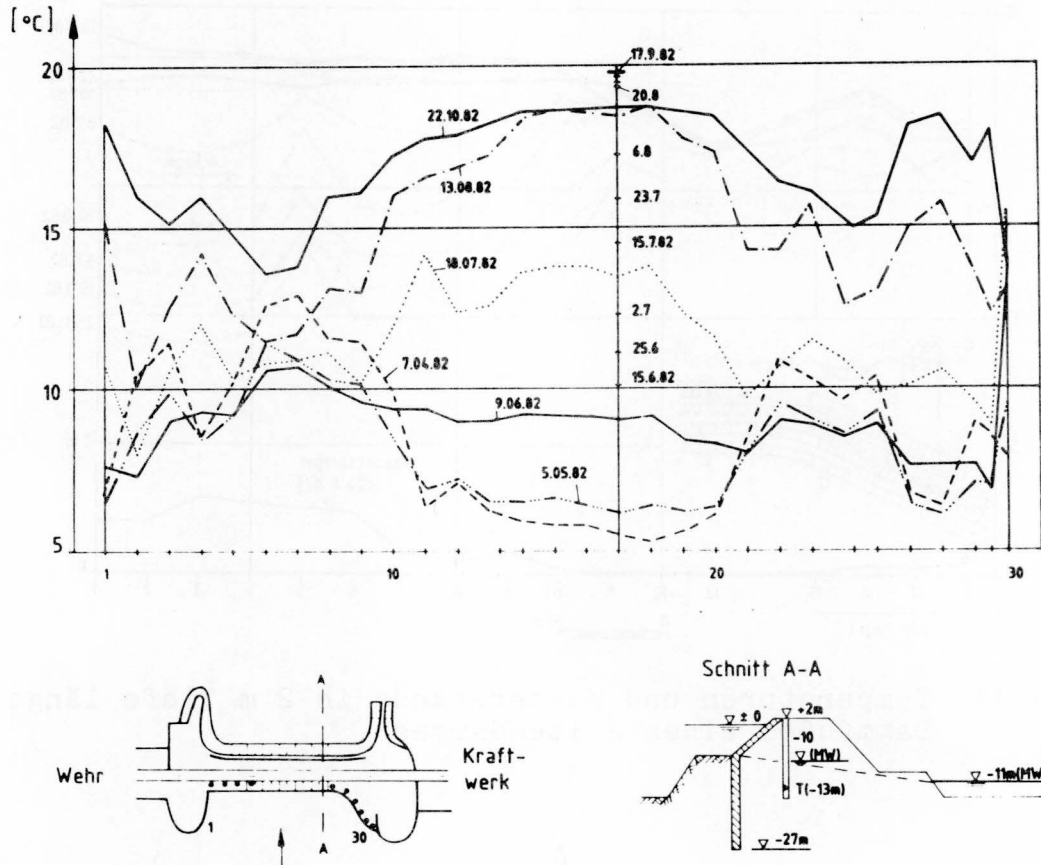


Bild 12b Temperaturverteilungen in einem Querdamm einer Stauhaltung, in einem Vertikalschnitt parallel zur Dichtwand

Für manche Messungen empfiehlt sich eine automatische Datenerfassung (langfristige Messungen), bei einmaligen oder nur kurzfristigen Messungen kann die Bohrung auch zu Sanierungszwecken verwendet werden (Punkt 5). Der Ansatzpunkt der Bohrung sollte daher sowohl unter dem Aspekt der Messung als auch unter dem einer eventuell notwendigen Sanierung betrachtet werden.

5 Behandlung von Schadensfällen

Der Hinweis auf eine Schadensstelle erfolgt entweder durch eines der im Punkt 3 genannten Kontrollsysteme oder häufig auch durch Meldungen von Unbeteiligten (Spaziergänger) bzw. Verursachern. Der weitere Ablauf der Behandlung seitens des zuständigen Amtes ist im Punkt 3.1 beschrieben. Der Gutachter muß versuchen, die Untersuchungen so schnell wie möglich, aber auch so vollständig wie möglich durchzuführen. Die Art der Untersuchung hängt von der zur Verfügung stehenden Zeit ab. In der Tabelle 7 wird eine Einteilung vorgeschlagen, die sich auf den Zeitpunkt der Untersuchung bezieht.

Tabelle 7 Vorschlag für die Einteilung von Untersuchungen an Dämmen

Name der Untersuchungsart	Zeitpunkt	Meßarten u. Meßgeräte	Ergebnisse
Eiluntersuchung (EU)	sofort bei akuter Gefahr	Beobachtungen , einfache Messungen	Sofortmaßnahme bestimmen, Entscheiden über weitere Untersuchungen und Sanierungen
Verkürzte Untersuchung (VU)	wenn vorliegende Gefahr verringert oder für absehbare Zeit vorüber ist	Beobachtungen , einfache Messungen , erweiterte Messungen	vorläufige Sanierungsmaßnahme bestimmen endgültige Maßnahme planen , RU einleiten
Routineuntersuchung (RU)	wenn Gefahr vorläufig oder endgültig beseitigt ist	Beobachtungen , einfache Messungen , erweiterte Messungen , volles Meßprogramm	Klärung technischer und juristischer Probleme Kontrolle von Sanierungen

Bei jeder Untersuchung eines Schadens sollten folgende 4 Gesichtspunkte beachtet werden:

1. Es sind Beobachtungen, Messungen und Ortungsverfahren durchzuführen, die sich auf den Zustand des Schadens beziehen. Danach ist die Art des Schadens festzustellen und zu entscheiden, welche sicherheitstechnischen Konsequenzen aus dem Schaden gezogen werden müssen. In manchen Fällen fällt die Entscheidung sofort vor Ort, in anderen erst nach Standortsicherheitsberechnungen.
2. Es sind Untersuchungen zur Ursache des Schadens zu führen, um technische, juristische und finanzielle Fragen zu klären. Hier erstrecken sich die Recherchen auf die vollständige Historie des Damms und des Untergrunds. Zur Beweisführung sind auch hier oft Berechnungen notwendig, möglicherweise auch Vergleichsmessungen der Art von Punkt 1. an anderen Dammbereichen.
3. Es sind Untersuchungen zur Art der Sanierung (Berechnungen) und Messungen während der Sanierung durchzuführen. Sanierungen in Dammsystemen befassen sich nahezu immer mit dem Abdichten von Imperfektionen im natürlichen oder künstlichen Dichtungssystem, um gefährliche hydraulische Gefälle oder Wasserverluste zu verhindern. Eine Sanierung bedeutet damit eine Änderung des hydraulischen Feldes, d.h. eine Änderung des Drucks, der Wassermenge, der Freien Oberfläche, der Potentiale an einem Punkt, der Wassergehalte, der Höhenlage der Austrittsstellen, des Auftriebs auf Bauwerke, der chemischen Zusammensetzung von Wässern etc..

Außerdem kann die Sanierung zu Änderungen führen, die durch Trockenlegung wassergesättigter oder feuchter Bereiche bzw. durch Bewässerung von vorher trockenen Bereichen entstehen (Setzungen, Sackungen, Pflanzenbewuchsänderungen etc.). Jegliches Sanierungskonzept muß die Auswirkungen der Sanierung einplanen, alle Messungen sind entsprechend zu planen.

4. Es sind Untersuchungen nach der Sanierung durchzuführen. Als Meßverfahren zur Kontrolle von Sanierungen kommen vorwiegend diejenigen in Betracht, die auf Änderung des hydraulischen Feldes reagieren. Dies sind aus den Meßverfahren der Tabelle 6:

- bei der Gruppe I: Beobachtungen, die sich auf Wassermengen, Wasseraustritte, Feuchtstellen und Pflanzenbewuchs beziehen;
- bei der Gruppe II: Messungen der Oberflächentemperatur, radiologische Messungen und vor allem geoelektrische Messungen;
- bei der Gruppe III: Temperaturmessungen, physikalisch-chemische Messungen der Wasserzusammensetzung, Feuchtmessungen und vor allem jede Art von hydraulischen Messungen;
- bei der Gruppe IV: Abfluß- bzw. Sickerwassermengenmessungen.

Bei einem vorhandenen Kontrollsystem läßt sich im allgemeinen eine gelungene Sanierung relativ einfach nachweisen. Auf folgende Punkte muß gesondert geachtet werden:

- a) Die zu sanierende Stelle sollte möglichst voll erschlossen sein (Leckgröße, Lecklage, Leckursache).
- b) Der Sanierungsvorgang muß genau beschrieben sein (z.B. Injektionsdrücke, Injektionsmaterial, Art der Verklappung).
- c) Messungen müssen im ausreichenden Maße vor und nach der Sanierung vorliegen.
- d) Das Beobachtungssystem für den Dammbereich mit Leckage reicht möglicherweise nicht aus für die Kontrolle der Sanierungsmaßnahme.
- e) Die Sanierung darf das Kontrollsystem nicht zerstören (Pegel oder Dränagen werden z.B. zugesetzt durch Injektionen) oder es muß ein neues geschaffen werden.
- f) Das neue Kontrollsystem sollte schon vor der Sanierung angelegt werden, um ausreichende Vorlaufwerte zu besitzen.

6 Zusammenfassung

Durch den Ausbau der Wasserstraßen entstanden Kanaldichtungen und Flußhaltungen mit Hunderten von Kilometern Seitendämmen. Deren Höhe beträgt im Gegensatz zu Dämmen der Wasser- oder Energieversorgung zwar selten mehr als 10 m, dennoch könnte ein Bruch dieser Dämme ebenfalls verheerende Folgen haben. (Dies gilt analog für Deiche für den Hochwasserschutz).

Der vorliegende Aufsatz beschäftigt sich zunächst allgemein mit Meßsystemen und dann mit den Möglichkeiten, diese langen Dämme zu überprüfen, um gefährliche Stellen frühzeitig zu erkennen. Dabei werden sowohl die Routinekontrollen von Dammbeobachtern erläutert, die Dammsituationen ohne Meßinstrumente beurteilen, als auch die fest installierten Kontrollsysteme von Querdämmen. Für Längsdämme, die nur an wenigen Stellen feste Meßinstallationen besitzen, gibt es Meßsysteme, die bei Verdacht die Ortung von Leckagen ermöglichen, und zwar entweder durch Eingriff in den Damm oder ohne Eingriff. Diese Systeme, die auch für die Kontrolle von Sanierungen Verwendung finden, werden vorgestellt, außerdem wird speziell auf die Infrarotthermographie als flächendeckendes Frühwarnsystem eingegangen.

7 Literatur

- /1/ Armbruster/Merkler (1982): Möglichkeiten der Leckstellen-
ortung an Erddämmen, Geotechnik 1982/1
- /2/ Armbruster/Merkler (1983): Measurement of subsoil flow
phenomena by thermic and geoelectrical methods,
Bulletin IAEG, No. 26-27, Paris
- /3/ Armbruster, H.: Messungen von thermischen Feldern zur
Überwachung von Dämmen, DGEG-Symposium "Meßtechnik im
Erd- und Grundbau", München 1983
- /4/ Armbruster, H. (Lehrgangsgleiter): Deiche und Erddämme
für Stauhaltungen, Lehrgänge an der Technischen Akade-
mie Eßlingen von 1984 - 1985
- /5/ BAW (1982): Gutachten der Bundesanstalt für Wasserbau,
Abt. Erd- und Grundbau "Pilotprojekt Thermographie",
unveröffentlicht
- /6/ Bentz, A. (1961): Lehrbuch der angewandten Geologie,
F. Enke-Verlag, Stuttgart, Beitrag von O. Kappelmeyer
- /7/ Blind, H.: Kontrollmaßnahmen in Stauanlagen, Mitteilun-
gen des Instituts für Wasserbau der TU Berlin, Heft 100
- /8/ Brauns, J. (1976): Wirksamkeit unvollkommener Abdich-
tungswände im Untergrund, Vorträge Baugrundtagung 1976,
Eigenverlag der DGEG, Essen
- /9/ Brauns, J. (1978): Wasserverluste und Durchsickerung
bei Leckagen in schmalen Dammdichtungen, Wasserwirt-
schaft 68 (1978), H. 12
- /10/ Davidenkoff, R.: Deiche und Erddämme, Werner-Verlag,
Düsseldorf, 1964
- /11/ DGEG: Symposium Meßtechnik im Erd- und Grundbau,
München 1983. Beiträge von Behr/Exler/Bösinger, Schwarz,
Huber/Blümel, Buchmann/Hilmer, Nowack, Glötzl/Thut/List,
Sadgorski/Kast, Blinde
- /12/ DGEG: 1. Nationales Symposium Geotextilien im Erd- und
Grundbau, Mainz 1984, Beitrag von F. List
- /13/ Kappelmeyer/Haenel (1974): Geothermics with Special
Reference to Application, Geoexploration Monographs,
Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart
- /14/ Koerner/Reif/Burlingame (1979): Detection Methods of
Location of Subsurface Water and Seepage, Journal of
the geotechnical engineering division, 11/1979

Armbruster: Messungen, Inspektion und Kontrolle an Dämmen

- /15/ List, F.: Das Projekt des Staudammes Mauthaus, Schriftenreihe Bayr. Landesamt für Wasserwirtschaft, Heft 18, 1982
- /16/ Rouvé/Sowers/Hager/Gilg: Beiträge zum Seminar 1977 "Talsperren und Dammschäden", Ursachen und Sanierungen", abgedruckt in Heft 4 des Instituts Grundbau der RWTH Aachen
- /17/ Schultze/Muhs: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten, Springer-Verlag, 2. Auflage 1967
- /18/ von Soos (Lehrgangsleiter): Beiträge zum Seminar "Messungen im Erd- und Grundbau" der Techn. Akademie Wuppertal, 1978, Beiträge von Gruber/v.Soos/Müller/Hilmer/Schade/Henke
- /19/ VV-WSV 2301: Damminspektion (Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes) herausgegeben vom BMV, 1981
- /20/ Weber, H. (Lehrgangsleiter): Thermographie im Bauwesen, Lehrgänge an der Techn. Akademie Eßlingen, abgedruckt im Band 81, Kontakt und Studium, Expert Verlag Grafenau

