

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE AUSSTATTUNG VON STAUMAUERN UND STAUDÄMMEN - EINFÜHRUNG IN DIE KAPITEL 6 UND 7 DES MERKBLATTS DWA-M 514

Dr.-Ing. Volker Bettzieche, Ruhrverband, Essen

1 EINLEITUNG

Das Merkblatt DWA-M 514 „Bauwerksüberwachung an Talsperren“ gibt in seinen Kapiteln 6 und 7 Empfehlungen für die Ausstattung von Staumauern und Staudämmen mit Messeinrichtungen. In den vorangegangenen Vorträgen wurden die Inhalte der Kapitel 1 bis 5 vorgestellt. Sie behandelten die Aufgabenstellung, die Verfahren und Messsysteme der Bauwerksüberwachung. Auch die Grundsätze der Auswertung und bautechnischen Beurteilung der Messergebnisse wurden erläutert.

In den Kapiteln 6 und 7 gibt das Merkblatt Empfehlungen zur Ausstattung von Staumauern und Staudämmen entsprechend ihrer verschiedenen Bauweisen. Hierbei werden 12 exemplarische Bauweisen behandelt.

In diesem Vortrag sollen nicht diese 12 verschiedenen Systeme vorgestellt werden. Vielmehr ist es Ziel, die grundsätzlichen Überlegungen, die zu diesen Ausstattungsempfehlungen führten, zu erläutern und Hinweise zur Anwendung am konkreten Absperrbauwerk zu geben.

2 GRUNDSÄTZE DER AUSSTATTUNGSEMPFEHLUNGEN

Die im Merkblatt enthaltenen Empfehlungen zur Ausstattung der Absperrbauwerke mit Messeinrichtungen sind keine festgelegten Vorschriften. Die Anwendung der Empfehlungen auf das Absperrbauwerk erfordert auf jeden Fall eine Anpassung der Empfehlungen an die spezifischen Anforderungen des Absperrbauwerks, da jede Staumauer und jeder Staudamm als Einzelbauwerk betrachtet werden muss.

Die Empfehlungen des Merkblatts beschreiben für die verschiedenen Bauweisen grundsätzlich vorgeschlagene Ausstattungen. Da jede Stauanlage hinsichtlich ihrer Lage und Konstruktion Besonderheiten aufweist, sind Abweichungen von den Empfehlungen nicht nur möglich, sondern sogar im Regelfall erforderlich. Bestehende Anlagen sollten anhand der Empfehlungen überprüft werden. Auch die nachträgliche Ausstattung von bestehenden Anlagen mit Messeinrichtungen erfordert einzelfallbezogene Lösungen.

Die Ausstattung von Staumauern und Staudämmen orientiert sich i.W. an den folgenden Aufgabenstellungen:

- Überwachung sicherheitsrelevanter Bauwerksteile sowie
- Überwachung potenzieller Schadensmechanismen.

3 POTENZIELLE SCHADENSMECHANISMEN UND ZUGEHÖRIGE MESSEINRICHTUNGEN

Mögliche Schadensmechanismen bei Staudämmen und Staumauern sind entsprechend der verschiedenen Bauweisen aus den langjährigen Betriebserfahrungen mit bestehenden Bauwerken bekannt. Bild 1 zeigt mögliche Schadensmechanismen, wie sie an Staudämmen bekannt sind.

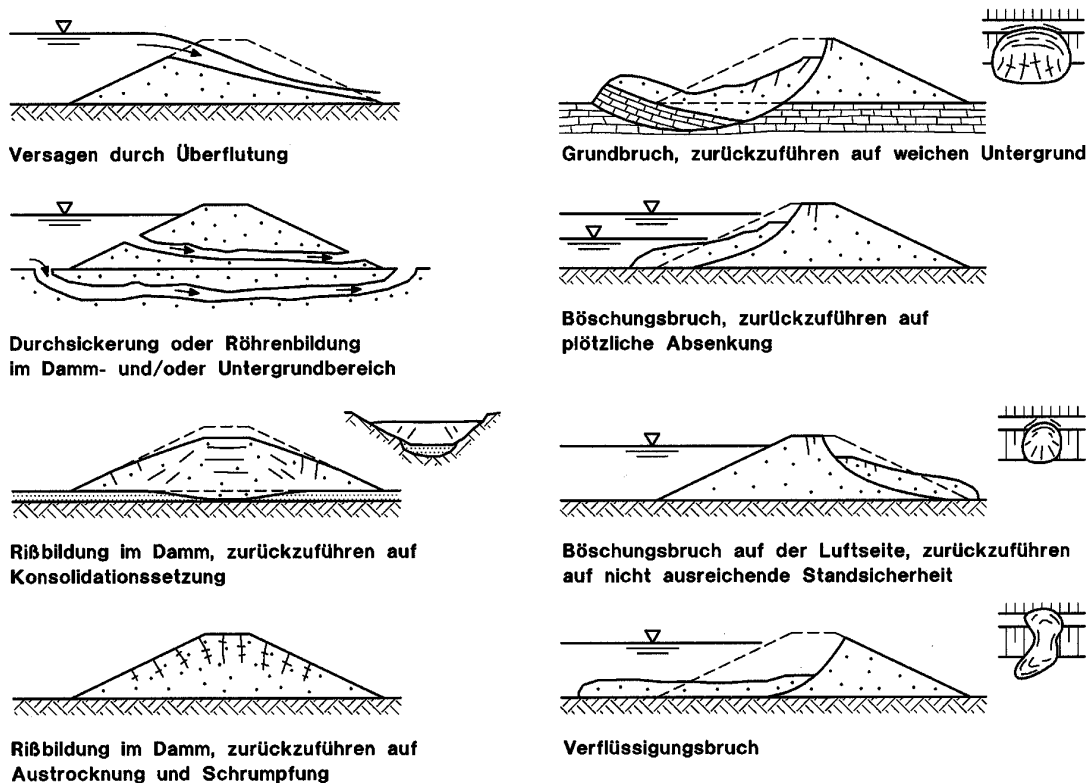
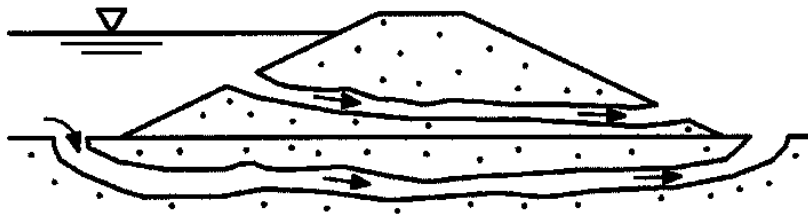


Bild 1: Die hauptsächlichsten Versagensarten bei Staudämmen (s. [1])

Exemplarisch soll hier die Überwachung einer potenziellen Röhrenbildung (Piping) im Damm und der entsprechende Schadensverlauf betrachtet werden. An einem homogenen Damm können sich im Schadensfall die in Bild 2a dargestellten Pipingeffekte bilden. Zur Kontrolle und zur Überwachung sowie zur frühzeitigen Erkennung einer sich anbahnenden Pipingentwicklung schlägt das Merkblatt die in Bild 2b dargestellte Ausstattung eines homogenen kleinen Staudammes (auf undurchlässigem Untergrund) vor. Sie besteht im dargestellten Querschnitt aus drei Bohrungen, die von der Dammkrone, von der Berme und vom Dammfuß in den Dammkörper reichen, sowie einem Längsfilter entlang des luftseitigen Dammfußes, der die Sickerwassermenge in einem Drän aufnimmt und kontrollierbar ableitet.



**Durchsickerung oder Röhrenbildung
im Damm- und/oder Untergrundbereich**

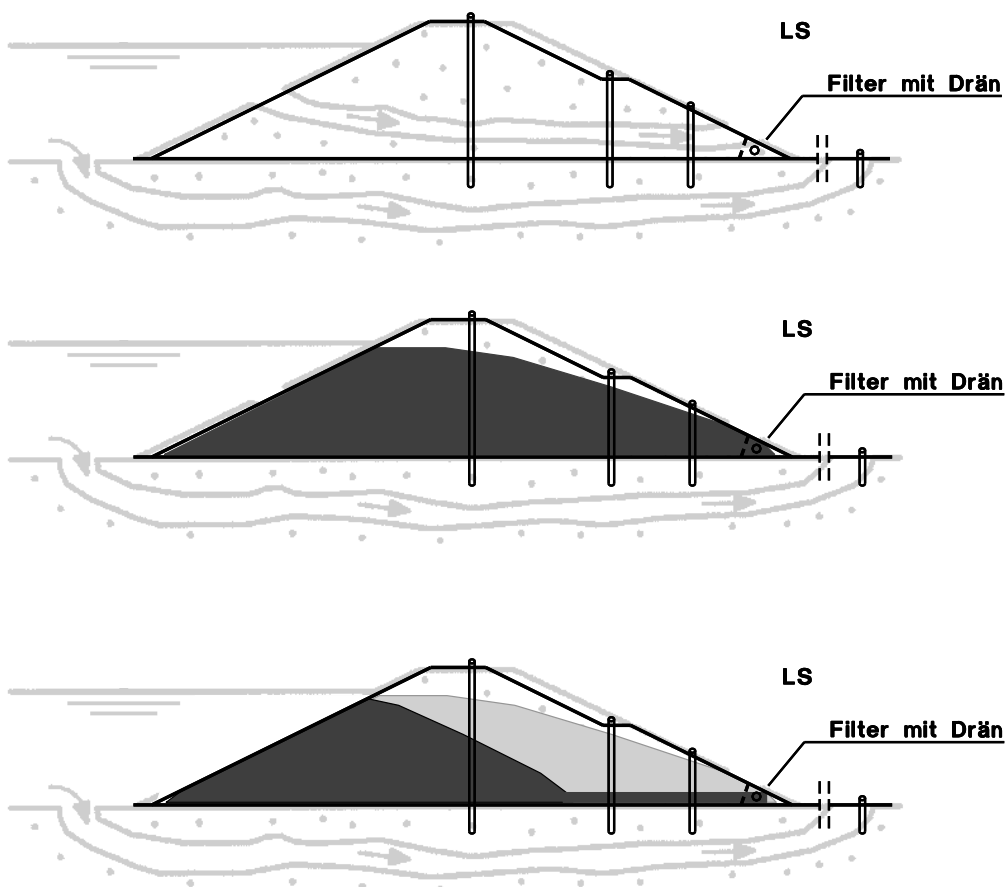


Bild 2: Schadensentwicklung beim Piping und Messausstattung eines homogenen Dammes – von oben nach unten: a) Schadensbild, b) Messausstattung, c) planmäßige Durchsickerung, d) Durchsickerung im Schadensfall Piping an der Aufstandsfläche

Bild 2c zeigt die planmäßige Durchsickerung eines homogenen Dammes mit Filter am luftseitigen Dammfuß. Die Sickerlinie fällt von der Wasserseite zur Luftseite des Dammes stetig ab und führt in den Bohrungen im Dammkörper zu entsprechenden

Wasserständen. Die Wasserstände nehmen von der Krone zur Luftseite hin ab, jedoch ist in jedem Pegel planmäßig ein Wasserstand zu verzeichnen.

Die in Bild 2d dargestellte Röhrenbildung führt dazu, dass sich die Sickerlinie absenkt und das Sickerwasser im luftseitigen Dammkörper durch die entstandene Röhre (Pipe) zum Filter hin abfließt.

Die gemäß der Ausstattungsempfehlung eingebauten Messeinrichtungen reagieren folgendermaßen:

- In den Bohrungen im Dammkörper ist ein Abfall des Wasserstandes zu erkennen, der letztendlich sogar bis zur Gründung des Dammes absinkt.
- Im Längsfilter entlang des luftseitigen Dammfußes macht sich das beginnende Piping durch steigende Mengen des Sickerwassers bemerkbar.

Die in der Ausstattungsempfehlung vorgesehene Messeinrichtung dient also mit Hilfe von zwei unabhängigen Messeinrichtungen zur Kontrolle der hydraulischen Situation im Dammkörper und ermöglicht das frühzeitige und eindeutige Erkennen eines beginnenden Pipings.

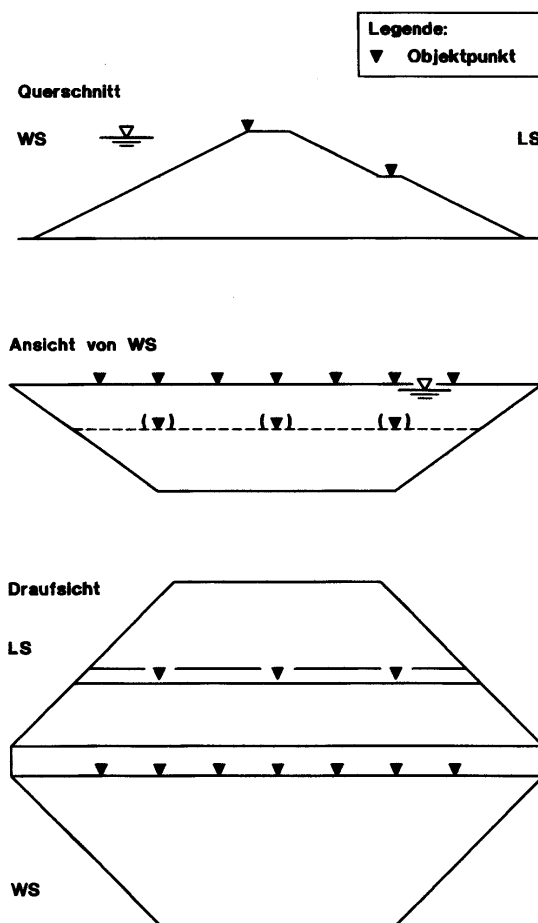
4 AUFBAU DER EMPFEHLUNGEN

Die Ausstattungsempfehlungen des Merkblattes behandeln wegen der Übersichtlichkeit insbesondere der grafischen Darstellungen die Messeinrichtungen in drei Gruppen:

- allgemeine Messeinrichtungen,
- die (Temperatur- und) Deformationsmessung und
- die Beobachtung der Durchsickerung.

Als allgemeine Messeinrichtungen werden im Merkblatt die Pegel zur Überwachung der Stauhöhe sowie die Pegel zur Kontrolle der Wasserstände im Bereich des Zuflusses und Abflusses der Talsperre aufgeführt. Zusätzlich gehört aus wasserwirtschaftlichen Gründen ein Niederschlagsschreiber oder ein Niederschlagsmesser zur Grundausstattung einer Talsperre. Unter besonderen Bedingungen kann es erforderlich sein, einen Seismographen zur Überwachung von Erdbebenbeschleunigungen im Absperrbauwerk vorzusehen.

Die Empfehlungen zur Überwachung der Deformation und Durchsickerung der Absperrbauwerke sind zur besseren Übersichtlichkeit kompakt auf jeweils ein oder zwei Seiten dargestellt. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Ausstattungsempfehlung zur Überwachung der Deformation an einem Staudamm über 15 m Höhe. Die Darstellung besteht zunächst aus einer prinzipiellen grafischen Darstellung des Absperrbauwerks mit seinen wichtigsten konstruktiven Elementen sowie den Messeinrichtungen im Querschnitt, in der Ansicht und in der Draufsicht.



Messziel:

Vertikal- und Horizontalverschiebung der Dammkrone, der Luft- und der Wasserseite

Ergänzende Hinweise:

Zur Beobachtung der Bewegungen von Oberflächendichtungen wird die Anordnung von Objektpunkten auf der Dichtung empfohlen.

Beim Neubau von Staudämmen ist die Erfassung von Vertikalverschiebungen im Dammkörper insbesondere zur Beurteilung des Tragverhaltens in der Bau- und Einstauphase sowie der ersten Betriebsphase erforderlich.

Beim Neubau von Staudämmen mit Innendichtung wird insbesondere zur Beobachtung von Sättigungssetzungen die Anordnung zusätzlicher Objektpunkte auf der wasserseitigen Böschung empfohlen.

Zusätzlich erforderliche Stützpunkte im Umfeld der Talsperre sind nicht dargestellt.

Messgröße	Messmethode/ Messinstrumente	Zahl der Messstellen	Häufigkeit der Messungen
Vertikalverschiebungen	geometrisches Präzisionsnivelement	mind. 3 bzw. alle 50 m eine Messstelle auf der Dammkrone	mind. jährlich
Horizontalverschiebungen	geodätische Lagebestimmung und/oder	mind. 3 bzw. alle 50 m eine Messstelle auf der Dammkrone und Ergänzung wichtiger Profile auf der Luftseite	mind. jährlich
	geometrisches Alignment	mind. 3 bzw. alle 50 m eine Messstelle auf der Dammkrone	

Bild 3: Beispiel einer Empfehlung zur Messausstattung

Seitlich neben der grafischen Darstellung erfolgt eine stichpunktartige Kurzbeschreibung der bauarttypischen Messziele. Ergänzende Hinweise erläutern diese Messziele oder Messeinrichtungen, die nicht in der Grafik dargestellt sind.

Abschließend folgt eine Tabelle mit einer Aufzählung der empfohlenen Messeinrichtungen. Diese Tabelle enthält neben der Beschreibung der Messgröße

Empfehlungen zur Messmethode bzw. zu den einzusetzenden Messinstrumenten. Weiterhin gibt sie Hinweise zur Wahl der Anzahl der Messstellen und zur Häufigkeit der Messungen.

5 EMPFEHLUNGEN FÜR TYPISCHE BAUWEISEN IN DEUTSCHLAND

Die im Merkblatt vorgestellten Empfehlungen umfassen typische Bauweisen der Absperrbauwerke in Deutschland. Mit Hilfe des Talsperrenregisters des Deutschen TalsperrenKomitees (DTK) konnte eine Übersicht der in Deutschland vorhandenen Bauweisen erarbeitet werden. Sonderbauweisen, die in Deutschland nur einmalig oder selten sind (wie z.B. die Pfeilerstaumauer der Oleftalsperre), werden vom Merkblatt nicht berücksichtigt. Für diese Talsperren sind die Empfehlungen sinngemäß zu übertragen.

Die im Merkblatt aufgeführten Empfehlungen umfassen:

- Homogene Staudämme
- Staudämme mit Innendichtung aus Erdstoffen ohne Kontrollgang
- Staudämme mit Innendichtung aus Erdstoffen mit Kontrollgang
- Staudämme mit künstlicher Innendichtung ohne Kontrollgang
- Staudämme mit künstlicher Innendichtung mit Kontrollgang
- Staudämme mit Oberflächendichtung ohne Kontrollgang
- Staudämme mit Oberflächendichtung mit Kontrollgang

- Betonmauern ohne Kontrollgang
- Betonmauern mit Kontrollgang
- Bruchsteinmauern mit Kontrollgang
- Bruchsteinmauern mit Außendichtung ohne Kontrollgang
- Bruchsteinmauern mit Außendichtung mit Kontrollgang

Bei den Staudämmen wird zudem zwischen großen Dämmen (größer als 15 m) und mittleren bzw. kleinen Dämmen unterschieden.

6 BEISPIELE FÜR EMPFEHLUNGEN

6.1 Empfehlung für einen Damm mit Innendichtung aus Erdstoffen mit Kontrollgang

Bild 4 zeigt für einen Staudamm mit einer Höhe von über 15 m und Erdkerndichtung und Kontrollgang die Empfehlung zur Ausstattung mit Messeinrichtungen zur Überwachung des Sickerwassers.

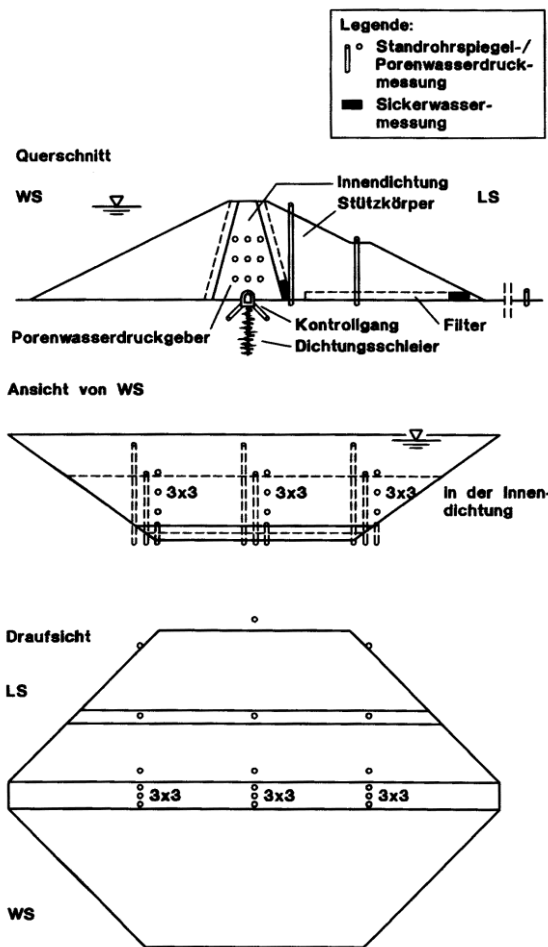
Als erstes Messziel ist die Beobachtung des Sickerwasserabflusses genannt. Zweites Messziel ist die Beobachtung des Potenzialabbaus im Kern. Als drittes Messziel ist die Beobachtung der Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper aufgeführt und an vierter Stelle die Beobachtung des Potenzialabbaus im Untergrund.

Die Beobachtung des Sickerwasserabflusses erfolgt mit Hilfe der Sickerwassermengenmessung im luftseitigen Kaminfilter am Fußpunkt sowie für die luftseitige Dammhälfte mit Hilfe der Sickerwassermengenmessung am luftseitigen Dammfuß.

Die Beobachtung des Potenzialabbaus im Kern erfolgt mit Hilfe von Porenwasserdruckgebern, die im breiten Erdkern eingebaut wurden.

Die Beobachtung der Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper erfolgt mit Hilfe von Standrohren bzw. Grundwasserpegeln, die im luftseitigen Stützkörper angeordnet sind. Es ist aus der Bauweise ersichtlich, dass hier im luftseitigen Stützkörper kein nennenswerter Grundwasserstand gemessen werden darf.

Die Beobachtung des Potenzialabbaus im Untergrund erfolgt mit Hilfe von Bohrungen, die vom Kontrollgang aus zur Luftseite und zur Wasserseite des hier vorhandenen Dichtungsschleiers abgeteuft wurden.



Messziele:

- Beobachtung des Sickerwasserabflusses
- Beobachtung des Potenzialabbaus im Kern
- Beobachtung der Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper
- Beobachtung des Potenzialabbaus im Untergrund

Ergänzende Hinweise:

Das im luftseitigen Kaminfilter anfallende Sickerwasser wird in den Kontrollgang abgeleitet und dort gemessen.

Im luftseitigen Vorland und in den Hangbereichen können weitere Messstellen zur Beobachtung der Potenzialverhältnisse erforderlich werden.

Messgröße	Messmethode/ Messinstrumente	Zahl der Messstellen	Häufigkeit der Messungen
Sickerwasserabfluss	Gefäßmessung, Messwehr oder andere	abschnittsweise (Talflanken und Talaue)	täglich/permanent
Porenwasserdruck in dem Kern	Porenwasserdruckgeber	3 Messquerschnitte in 3 Messebenen mit je 3 Gebern	wöchentlich
Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper	Messung mit Lichtlot / Druckgeber im Standrohr	3 Messquerschnitte	wöchentlich
Potenzialabbau im Untergrund	Messung mit Lichtlot / Manometer/Druckgeber (Verrohrung) oder mit Hilfe fest im Untergrund installierter Porenwasserdruckgeber	3 Messquerschnitte, jeweils Messstellen vor und hinter dem Dichtungsschleier	wöchentlich

Bild 4: Empfehlungen zur Messausstattung eines Dammes mit Innendichtung und Kontrollgang

6.2 Empfehlungen zur Messausstattung zur Kontrolle des Sickerwassers eines großen Staudamms mit Oberflächendichtung ohne Kontrollgang

Die für einen derartigen Staudamm vom Merkblatt beschriebenen Messziele sind:

- Beobachtung des Sickerwasserabflusses
- Beobachtung der Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper

Die Beobachtung des Sickerwasserabflusses erfolgt mit Hilfe einer Sickerwassermengenmessung am luftseitigen Dammfuß.

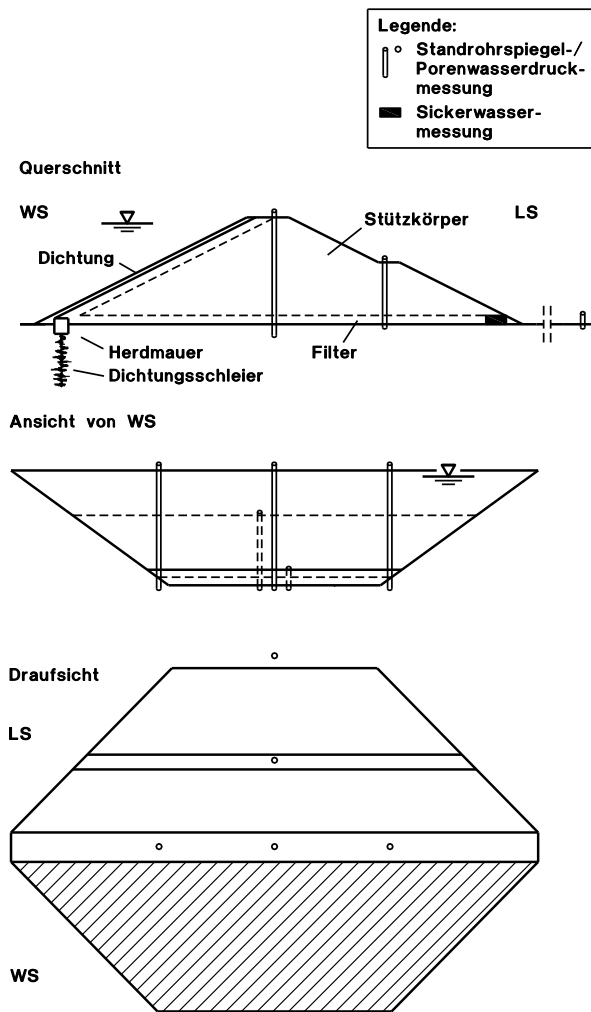
Die Beobachtung der Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper erfolgt mit Hilfe der Grundwasserpegel, die von der Dammoberfläche in den Dammkörper abgeteuft wurden.

Es ergibt sich aus der Bauart des Dammes, dass an der Sickerwasserabflussmessung am luftseitigen Dammfuß nur geringe Sickerwassermengen austreten dürfen, da die Oberflächendichtung den Dammkörper grundsätzlich trocken hält. Aus diesem Grunde darf sich im luftseitigen Stützkörper keine Sickerlinie ausbilden.

Die zugehörige Tabelle nennt die für einen oberflächengedichteten Damms erforderliche Ausstattungsempfehlung. Von besonderer Bedeutung ist hier die Sickerwasserabflussmessung durch die Oberflächendichtung. Diese Messung sollte abschnittsweise erfolgen, um die im Hangbereich zufließenden Wassermengen von denen im Talbereich unterscheiden zu können. Während im Hangbereich häufig Einflüsse aus Niederschlägen und Grundwasserzutritten die Sickerwassermengen beeinträchtigen, ist im Talbereich die Stauhöhe der Talsperre wesentlicher Faktor für die Sickerwassermenge.

Die Messung des Sickerwasserabflusses sollte grundsätzlich mit Hilfe einer täglich durchzuführenden manuellen Messung erfolgen. Die Einrichtung einer automatisierten Messung mit automatischer Alarmgebung ist wünschenswert.

Grund für die Forderung einer täglichen Messung sind die Erfahrungen, die mit Talsperrenschäden wie beispielsweise dem Bruch des Baldwin-Hill-Damms in den USA oder des Teton-Staudamms (s. z.B. [1]) gemacht wurden, bei denen mit einer zunächst geringen Steigerung des Sickerwassers sich ein beginnender Schaden ankündigte. Die weitere Schadensentwicklung erfolgte dann jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit des Sickerwasseranstieges, so dass davon ausgegangen werden muss, dass sich Schäden, die beispielsweise durch Erosion oder Piping hervorgerufen werden, innerhalb von wenigen Tagen, ggf. sogar Stunden, entwickeln können. Eine tägliche Überwachung des Sickerwassers ist daher an den Talsperren dringend erforderlich.



Messziele:

Beobachtung des Sickerwasserabflusses

Beobachtung der Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper

Ergänzende Hinweise:

Im luftseitigen Vorland und in den Hangbereichen können weitere Messstellen zur Beobachtung der Potenzialverhältnisse erforderlich werden.

Messgröße	Messmethode/ Messinstrumente	Zahl der Messstellen	Häufigkeit der Messungen
Sickerwasserabfluss	Gefäßmessung, Messwehr oder andere	abschnittsweise (Talflanken und Talaue)	wöchentlich/permanent
Sickerlinie im luftseitigen Stützkörper	Lichtlotmessung im Pegelrohr	3 Pegel auf der Dammkrone und Ergänzung wichtiger Profile auf der Luftseite und im Vorland	wöchentlich

Bild 5: Empfehlungen zur Messausstattung eines Dammes mit Oberflächendichtung ohne Kontrollgang

7 ABWEICHUNGEN VON DEN EMPFEHLUNGEN

Die Ausstattungsempfehlungen für die dargestellten Bauweisen von Staumauern und Staudämme sind grundsätzlicher Natur. Dämme und Mauern sind in ihren Proportionen und Bauelementen zudem nur schematisch abgebildet. Es können und sollen an dieser Stelle keine detaillierten und verbindlichen Regelausstattungen vorgeschrieben werden. Vielmehr ist der planende Ingenieur gefordert, aufgrund der individuellen Bedingungen eine Anpassung der Empfehlungen durchzuführen. Jedes Absperrbauwerk ist ein Einzelbauwerk, jede Umgebung ist geologisch und morphologisch unterschiedlich. Die Ausstattung der Absperrbauwerke muss daher unter Berücksichtigung der jeweiligen Gegebenheiten erfolgen. Eine Anpassung von den Empfehlungen des Merkblattes ist daher praktisch grundsätzlich bei jedem Bauwerk erforderlich.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Das Merkblatt DWA-M 514 – „Bauwerksüberwachung von Talsperren“ gibt in seinen Kapiteln 6 und 7 Empfehlungen für die Messausstattung von Staudämmen und Staumauern. Diese Empfehlungen orientieren sich an möglichen Schadensmechanismen und an den bauartbedingt grundsätzlich zu überwachenden Parametern. Die im Merkblatt gegebenen Empfehlungen haben nur exemplarischen Charakter und müssen an das konkrete Bauwerk angepasst werden. Abweichungen von den Ausstattungsempfehlungen sind nicht nur erlaubt, sondern notwendig. Der planende Ingenieur ist bei der Wahl der Messeinrichtungen gefordert. Der Betriebsingenieur muss während des Probetaus und im laufenden Betrieb ebenfalls die Richtigkeit der vom Planer gewählten Messausstattung überprüfen und diese ggf. anpassen.

9 LITERATUR

- [1] Rißler, P.: Talsperrenpraxis; Oldenburg Verlag; München; 1998