



Zustandsmonitoring von Dammbauwerken

Leitfaden zur Festlegung der Erfordernisse hinsichtlich Überwachung, Kontrolle und Prüfung

Fassung Juni 2011



Medieninhaber und Herausgeber:

BM für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft

Redaktion:

Ingenieure Öhlinger + Partner ZT-Ges.m.b.H
Dipl.-Ing. Christoph Öhlinger

Wissenschaftliche Beratung:

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c.mult. Heinz Brandl

Layout:

Davor Markovic

Titelfotos:

HW Dürnkrot - © BMLFUW
HW-Schutz Mittersill - © Rita Newmann

© BMLFUW, Wien, Juni 2011

Leitfaden »Zustandsmonitoring von Dammbauwerken«

Leitfaden zur Festlegung der Erfordernisse hinsichtlich Überwachung Kontrolle und Prüfung

Einleitung - Zielsetzung:

Der Leitfaden dient als praktikablen Anleitung für Verantwortliche von Dammbauwerken, die Funktionstüchtigkeit festzustellen und diese gegebenenfalls mittels geeigneten Monitoringsystemen auf Bestandsdauer zu überwachen. Der Leitfaden soll ebenso Informationen und Entscheidungshilfen für die allenfalls notwendige Konsultation von Sachverständigen (Sonderuntersuchungen, etc.) geben und Empfehlungen für eine geordnete regelmäßige Überwachung der Bauwerke im Sinne der RVS 13.03 Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten begründen.

Zur Beurteilung des Erhaltungszustandes werden Methoden und Hinweise für das Dammaufsichtspersonal zusammengefasst, die es gestatten, gefährdete Dammbereiche zu orten, zu kontrollieren und Meßeinrichtungen zu bedienen, um allenfalls Indikatoren zur Dammstabilität autark zu verfolgen.

Die Ausarbeitung ist als knappe, möglichst praktikable Zusammenfassung zahlreicher Veröffentlichungen zum Thema »Hochwasserschutzdämme - Wartung - Überwachung - Zustandsmonitoring« angelegt, die die Lektüre und das Verständnis der umfangreichen Beiträge und Arbeiten zu diesem Thema erleichtern soll.

Neuere Erkenntnisse und Untersuchungen sind daher nicht erfasst, die verwendeten Unterlagen aus den Jahren 2003 bis Anfang 2011 sind auf der nachfolgenden Seite angeführt:

Verwendete Unterlagen:**Autor bzw. Herausgeber:**

- | | |
|--|---|
| 1 Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 - FloodRisk II (Synthesebericht 2004) | BM f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) |
| 2 Sicherungen von Dämmen und Deichen - Handbuch für Theorie und Praxis (2003 und 2006) | Dr.-Ing. Herrmann / Dr.-Ing. Jensen
Uni Siegen |
| 3 Überwachung von Hochwasserschutzdämmen in Zusammenhang mit Kraftwerksbauten (2007) | Dipl.-Ing. Hans Schimpf |
| 4 Deichquerschnitte (Hochwasserschutzdämme) Empfehlungen für die Ausbildung - Fassung 2007 | BMLFUW |
| 5 Hochwasserschutzdämme - Überwachung und Verteidigung bei Hochwasser (2008) | Amt der NÖLR - Gruppe Wasser |
| 6 Betrieb von Hochwasserschutzanlagen - Pflichtenheft (2008) | Amt der NÖLR - Gruppe Wasser |
| 7 Informationsveranstaltung »Dampfpflichtenheft und NGP für Gemeinden und Wasserverbände« (2008) | Amt der NÖLR - Gruppe Wasser |
| 8 Geotechnische Aspekte bei der Planung und Ausführung von Hochwasserschutzdämmen (2009) | Dipl.-Ing. Dr. Stefan Blovsky |
| 9 FloodRisk II - Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement - Synthesebericht (2009) | BMLFUW |

- | | |
|--|---|
| 10 FloodRisk II - Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement - Workpackage Hochwassermanagement
TP 7.1 Instandhaltung von Dämmen - Modell für ein Zustandsmonitoring und Sicherheitskonzept (2009) | Institut für Grundbau und Bodenmechanik TU Wien
O.Univ. Prof. Dr. H. Brandl, Dipl.-Ing. Dr. Blovsky,
Dipl.-Ing. Szabo |
| 11 Wartung und Betrieb von Hochwasserschutzanlagen (ÖWAV-Kurs 2010)
Beitrag »Technische Grundlagen für Hochwasserschutzdämme«
Beitrag »Wartung des Hochwasserschutzdammes im Normalfall« | ÖWAV
Dipl.-Ing. Rubey, Dipl.-Ing. Scheuringer
Dipl.-Ing. Rubey |
| 12 Grundlagen für die Standardisierte Ermittlung von Prioritäten für die Sanierung/
Ertüchtigung von HWSD (2010) | BMLFUW
Wasser NÖ - Ökoreal |
| 13 »Hochwasserschutzdämme« im Rahmen der Vorlesung Grundbau und Bodenmechanik II (2006 - 2011) mit Fotobeiträgen von Dr. S. Jacobs,
Dipl.-Ing. M. Stracke | O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien |
| 14 Geotechnische Gutachten zur Sanierung des Hochwasserschutzsystems
March-Thaya (2006 - 2011) | O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien, erstattet an die
via donau, Österreichische Wasserstraßen-GmbH |
| 15 »Geotechnik bei Altlasten und neuen Deponien«: Vorlesungsunterlagen (1993
- 2011) | O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien |
| 16 Bodenmechanische Stellungnahme zu den Dampfpflegemaßnahmen an den
Dämmen entlang der Donau (2008) | O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien
erstattet an Verbund - AHP |

Inhaltsübersicht

Der »Leitfaden Zustandsmonitoring von Dammbauwerken« gliedert sich in folgende sechs Kapitel:

A	Grundlagen - Vorbemerkungen	5
B	Voraussetzungen und Methoden/Verfahren für projektbezogenes Zustandsmonitoring von Dämmen	9
C	Schadensbilder - Erkundung und Beurteilung - »Monitoringmethode Ortsbegehung«	25
D	Empfehlungen zur Anwendung geeigneter Prüfverfahren (Monitoringmethoden)	33
E	Praktikable Anleitung für den Entwurf von Monitoringeinrichtungen	41
F	Kalkulatorische Ansätze - Budgetierung Monitoringaufwand	54
	<i>Autorenverzeichnis</i>	<i>55</i>
	<i>Bildverzeichnis</i>	<i>56</i>
	<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>57</i>

A Grundlagen - Vorbemerkungen

Begriffsdefinitionen:

Rückstaudämme sind in der Fließrichtung verlaufende künstlich aufgeschüttete Bauwerke im Rückstauraum von Flußkraftwerken, die zumeist permanent beaufschlagt sind.

Rückhaldedämme sind Staudämme die während eines Hochwasserereignisses das anströmende Wasser zurückhalten und es zeitverzögert wieder abgeben, um die Hochwasserauswirkungen im Unterland zu reduzieren.

Hochwasserschutzdämme sind Dämme aus Erdbaustoffen an Fließgewässern zum Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser. Sie werden im Gegensatz zu Rückstaudämmen nur zeitweilig eingestaut.

Hochwasserschutzdämme und Rückhaldedämme sind so konstruiert, dass sie nur über einen relativ kurzen Zeitraum oder periodisch wiederkehrend von Wasserlasten beaufschlagt werden. Damit der Damm seine Standsicherheit behält, ist es meist nötig, daß das Bauwerk eine ausreichend lange Austrocknungsphase zwischen den Wasserereignissen hat. Diese Ausarbeitung beschäftigt sich ausschließlich mit dieser Art von Dämmen [10].

Deich ist die in Deutschland verwendete Bezeichnung für das in Österreich gebräuchliche Wort Hochwasserschutzdamm.

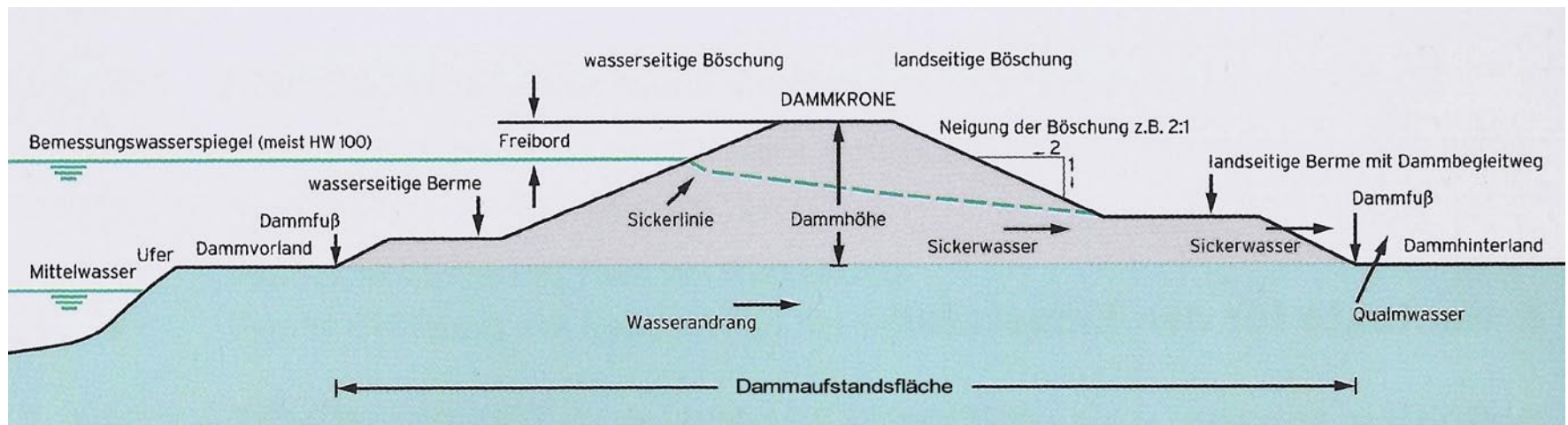


Abb. 1: Begriffsdefinitionen [5]

Einordnung der Aufgabe in die übergeordnete Konzeption »integrierter Hochwasserschutz«

Ausgangspunkt der nachstehenden Zusammenstellungen und Empfehlungen werden einerseits durch die generellen Festlegungen im Synthesebericht »FloodRisk II« [9] gebildet, andererseits sind diese durch die Vorschriften des Pflichtenheftes [6] zum Betrieb von Hochwasserschutzanlagen begründet:

Flood Risk II (2009) [9]:

ist die Fortführung und Vertiefung der Aussagen aus Flood Risk (2004).

Im Abschnitt »Ausgewählte Empfehlungen« wird für das Hochwassermanagement insbesondere auf eine Zustandserhebung und regelmäßige Beobachtung der Dammbauwerke hingewiesen:

»Planungen für Sofortmaßnahmen sollten vor HW-Ereignissen a priori zur Verfügung stehen, um im Anlassfall auf bestehende Projekte aufzubauen und damit den Zeitraum der Umsetzung wesentlich zu verringern« (= > etwa Einreichverfahren, UVE / UVP)

- Da **Schutzbauwerke**, wie alle technischen Bauwerke, eine beschränkte Lebensdauer besitzen und sich im Laufe der Zeit abnutzen, ist die Funktionserfüllung **vom Zustand des Bauwerkes** abhängig. Um diesen auf einem akzeptablen Niveau zu halten, müssen die Bauwerke regelmäßig überwacht und instand gesetzt werden. Die normative Regelung der Bauwerkserhaltung (z.B. ONR 24803) stellt dabei eine wichtige Grundlage für die Erhaltungsverpflichteten dar.
- Eine systematische **Zustandserhebung** von bestehenden **Hochwasserschutzdämmen** ist als Basis für die Bewertung des Ist-Zustandes unumgänglich. Ebenso sind Vorkehrungen gegen unkontrolliertes Überströmen von Hochwasserschutzdämmen zu treffen.
- Bereits vor Hochwasserereignissen sollten Planungen für mögliche **Sofortmaßnahmen** a priori zur Verfügung stehen, um im Anlassfall auf bestehenden Projekten aufzubauen und damit den Zeitraum der Umsetzung wesentlich zu verringern.

Abb. 2: Textausschnitt [9]

Im Abschnitt »Hochwassermanagement« wird unter **Pkt. 7.2.8 Instandhaltung von Dämmen – Modell für ein Zustandsmonitoring und Sicherheitskonzepte (TP 7.1) konkret auf die Notwendigkeit von regelmäßigen Überprüfungen der Anlagen hingewiesen.**

»... Einerseits die wechselnde Zusammensetzung der verfügbaren Materialien und andererseits der seinerzeit begrenzte technische Wissensstand haben dazu geführt, dass die Dämme in ihrem Aufbau und ihrer Verdichtung nicht dem heutigen Stand der Technik und vor allem den erhöhten Hochwasserabflüssen entsprechen. Mehrere technische Mängel sowie Defizite in der Dammverteidigung und vor allem in der langzeitlichen Dammüberwachung wurden erst durch die unmittelbare Gefahr während und nach Hochwasserereignissen deutlich.

Um die Standfestigkeit und Funktionsfähigkeit solcher Schutzanlagen zu gewährleisten, müssen diese in regelmäßigen Abständen instand gehalten und überwacht werden. Diese Überprüfungen im Sinne einer permanenten oder periodischen Zu-

standsüberwachung werden auch als Zustandsmonitoring bezeichnet. Hierbei ist jedoch zwischen einer erstmaligen Zustandsbewertung des Hochwasserschutzdammes und dessen Untergrundes und einem weiteren Monitoring zu unterscheiden. Eine Zustandsbewertung erfolgt meist ohne genauere Kenntnis über die Damm- und Untergrundeigenschaften, während ein Zustandsmonitoring auf einer regelmäßigen Erfassung und Beobachtung von Veränderungsprozessen aufbaut.«

Die Vorgangsweise für die **Vorerkundung** und **Haupterkundung** insbesondere im Hinblick auf die geotechnischen Eigenschaften wird im Absatz 7.2.8.1 erläutert, der das Grundgerüst für die gegenständlichen Ausarbeitung bildet.

Die systematische Prüfung der Funktionsfähigkeit von HWS-Einrichtungen wird auch im Kapitel 12. »Umsetzungsstrategien aus FloodRisk I und II« unmißverständlich als »empfohlene Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Strategien des integrierten Hochwassermanagements« angeführt.

7.2.8.1 Erkundung und Zustandsbewertung von Hochwasserschutzdämmen

Einsatz geotechnischer Erkundungsmethoden

Die geotechnische Erkundung umfasst in der Regel eine **Vorerkundung** und eine **Haupterkundung** (siehe Abbildung 7-23). Im Falle einer Sanierung bzw. eines Neubaus von Hochwasserschutzdämmen werden während der Bauausführungsphase auch baubegleitende Untersuchungen durchgeführt. Zum Zweck einer Überprüfung von Bauwerken sind nach deren Fertigstellung Untersuchungen z. B. zur Bauwerksüberwachung oder Abnahmekontrollen erforderlich.

Abb. 3: Textausschnitt [9]

- Systematische Prüfung der Funktionsfähigkeit von bestehenden Hochwasserschutzanlagen (Dämme, Rückhaltebecken, Sperrbauwerke, Hochwasserentlastungseinrichtungen bei Kraftwerken etc.), Betriebsordnungen; organisatorische Regelung von Kontrolle und Wartung.

Abb. 4: Textausschnitt [9]

Betrieb von Hochwasser-Schutzanlagen - PFLICHTENHEFT [6]

Zur Erzielung einer funktionstüchtigen Hochwasser-Schutzanlage ist die Kenntnis der Plan- und Bedienungunterlagen der gesamten HWS-Anlage für die unterschiedlichen Lastfälle bzw. Betriebszustände eine wesentliche Voraussetzung.

Die dafür notwendige »Aktualisierung sämtlicher Unterlagen« umfasst neben der Überprüfung der maschinellen Ausrüstung auch die »Dichtheitsprüfung« des Dammes (Konsistenz, Oberfläche, Tiergänge) und »Querschnittsänderungen« (Rutschungen, Höhenlage der Dammkrone, etc.), was im Lastfall 1 »Trockenwetterfall« die Hauptaufgabe darstellt.

Der »Trockenwetterfall« ist daher der sinnvolle »Lastfall« für sämtliche Erkundungen bei der Vorbereitung der Monitoringeinrichtungen bzw. für die Umsetzung der Datenerfassung.

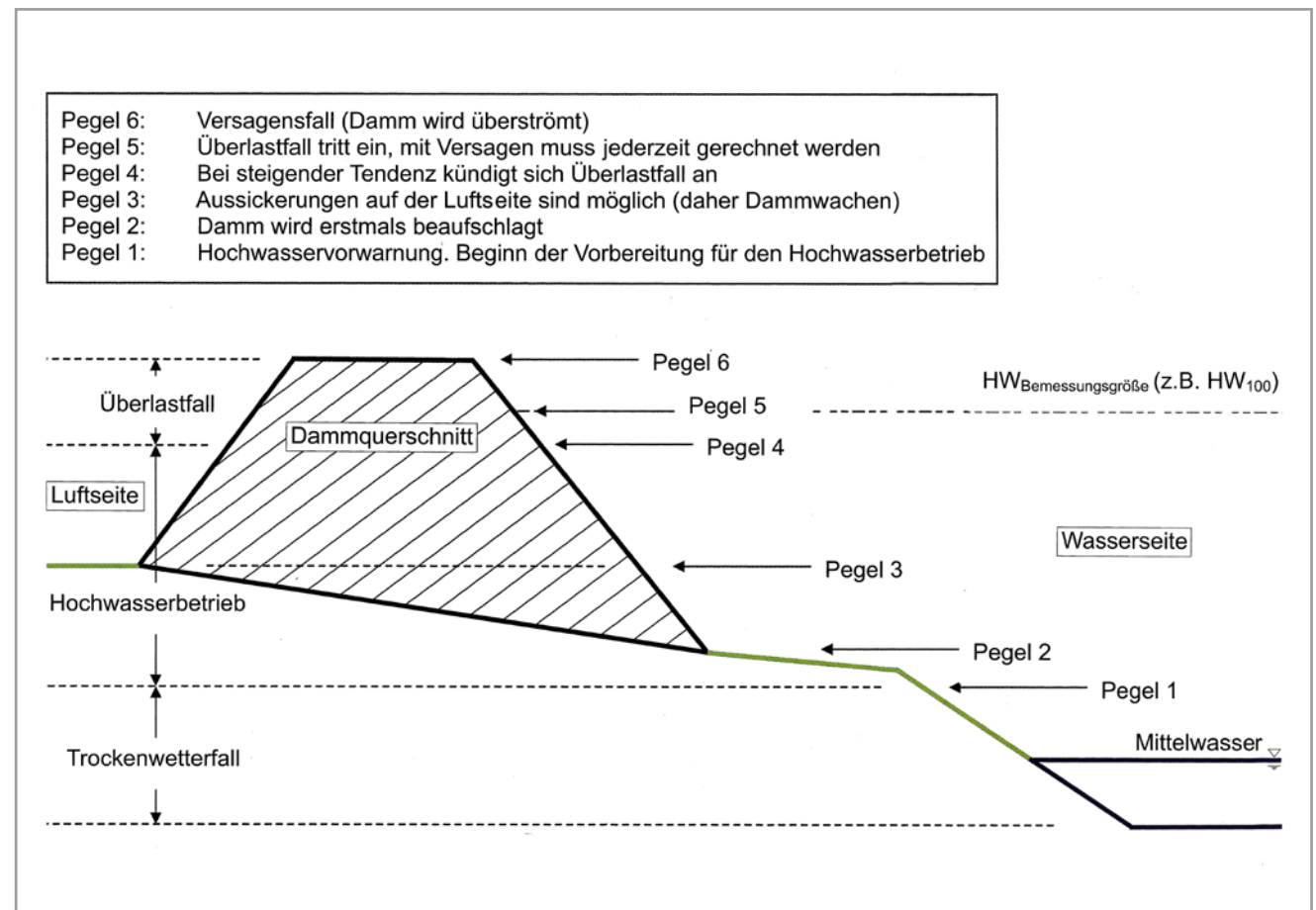


Abb. 5: Lastfälle und Pegel 1-6, HW₁₀₀ = Bemessungswasserstand [6]

B Voraussetzungen und Methoden/ Verfahren für projektbezogenes Zustandsmonitoring von Dämmen

Vorerkundung:

Zielsetzung:

Kenntnis über die Bauweise der Konstruktion und deren technische, wasserbauliche und funktionale Randbedingungen

Die nachstehende Aufzählung dient als Hilfestellung (Checkliste) bei der Zusammenstellung der Unterlagen für die Hochwasserschutzanlage, wobei damit die Zusammenführung aller verfügbaren Unterlagen, Bescheide, Dokumente, etc. sowie Erfahrungsberichte seit Bestehen der Anlage erreicht werden soll. Im Wesentlichen zielen die Basisinformationen auf die Topographie, Funktionalität, die geotechnischen und hydrologischen Grundlagen, Wasserstände, Kunstbauwerke, Leitungen, ... usw. ab.

Checkliste Basisinformationen - Vorerkundung	Unterlagen vorhanden	nicht vorhanden	Aussagekraft der Unterlagen	
			ausreichend	nicht ausreichend
geodätische Vermessungen	X		X	
Luftbildaufnahmen		X		
Bautechnisches Archivmaterial, Baupläne, Bescheide	X			X
geologische Karten - geotechnische Vorerkundungen - bestehende	X			X
Kenntnisse über die Bauweise (Einsatz von Geotextilien, etc.)		X		
Befestigung der wasserseitigen Böschung		X		
Entwässerungssysteme, Pumpwerke, Siele, etc.	X		X	
Querungsbauwerke, Durchlaßbauwerke, etc.		X	X	
aktuelle hydraulische Berechnungen (Wasserspiegellagen)		X		
Freibordhöhe, Böschungsneigungen, Bermen, usw.	X		X	
Befahrbarkeit von Böschungen, Dammkronen, Rampen, Überfahrten	ja			
Querung von Leitungen - Absperrvorrichtungen		X		
Betriebsordnung - Hochwasserentlastung - Polder	X		X	
Vorgaben Landschaftsplanung, Ökologie		keine		
Bepflanzung, Oberflächenbefestigung, Abwehr gegen Wühltiere	ja			
Angaben über möglichen Befall durch Biber, Wühlmäuse, etc.		keine		
Bewirtschaftung der Böschungen/Art der Instandhaltung		nein		
Dokumentationen über Dammverteidigungsmaßnahmen, Relikte etc.		X		
Dokumentationen über spezielle Örtliche Erfahrungen		X		

Haupterkundung:**Zielsetzung:****Bewertung der Erkenntnisse aus der Vorerkundung****Festlegen eines Untersuchungsprogramms zur Zustandsbewertung der Dämme**

Nach der Sichtung der verfügbaren Unterlagen der Voruntersuchung sollten diese (allenfalls unter Beziehung von sachkundigen Fachleuten) auf Vollständigkeit und hinsichtlich der notwendigen Aussagekraft bewertet werden. Allfällige Defizite sind aufzuzeigen, fachlich zuzuordnen und in ein zielgerichtetes Untersuchungsprogramm aufzunehmen. Aus dem Ergebnis

dieser ergänzenden Untersuchungen sollten die Eigenschaften und die Funktionen des Bauwerks vollständig ablesbar sein, sodaß für die weitere Überwachung und Instandhaltung der Hochwasserschutzanlage die notwendigen Informationen eindeutig dokumentiert sind. Neben den Angaben und Erkenntnissen zu den funktionalen Aufgaben und Einrichtungen der Anlage wie z.B. Pumpwerke, Siele, Querungsbauwerke, Durchlaßbauwerke, Querung von Leitungen, etc. sowie Abgleich mit der dementsprechenden Betriebsordnung sind die entscheidenden Angaben zur Standsicherheit und Funktionstüchtigkeit der Dammbauwerke selbst kritisch zu durchleuchten. Diese Analyse zielt auf die Eigenschaften der langgestreckten Dammbauwerke ab und ist der dominierende Gegenstand des Leitfa-

dens für das »Zustandsmonitoring von Dämmen«. Für die unmittelbare Zustandsbewertung der Dämme kann daher in der Regel die Checkliste für die Hauptprüfung auf folgende Punkte konzentriert werden, was gleichzeitig auch als Mindestanforderung (»vorhanden« und »Aussagekraft der Unterlagen ausreichend«) anzusehen ist:

Checkliste Zustandsbewertung Dammstrecke - Hauptprüfung	vorhanden	nicht vorhanden	Aussagekraft der Unterlagen	
			ausreichend	nicht ausreichend
geodätische Vermessungen	X		X	
Luftbilddaufnahmen		X		
Bautechnisches Archivmaterial, Baupläne, Bescheide	X			X
geologische Karten - geotechnische Vorerkundungen - bestehende Aufschlüsse		X		
Ergebnisse aus bodenphysikalische Laboruntersuchungen		X		
Kenntnisse über die Bauweise (Einsatz von Geotextilien, etc.)		X		
Kenntnisse über die Befestigung der wasserseitigen Böschung		X		
Kenntnisse über die Entwässerungssysteme	X		X	
aktuelle hydraulische Berechnungen (Wasserspiegellagen)	X		X	
Kenntnisse über die Befahrbarkeit von Böschungen, Dammkronen, Rampen, Überfahrten	ja			
Betriebsordnung	X		X	
Dokumentationen über spezielle Örtliche Erfahrungen		X		

Stabilitätsuntersuchung des Dammbauwerks - Geotechnisches Gutachten

Fehlende oder unzureichend aussagekräftige Unterlagen oder Angaben sind zu beschaffen, sodaß die Voraussetzungen für eine statische Nachrechnung der Standsicherheit des Dammes, Böschungsbruch, Durchsickerungsberechnung, etc. erfolgen kann und damit eine Aussage über die globale Stabilität der Konstruktion abgegeben werden kann (Geotechnisches Gutachten).

Im Wesentlichen sind dazu die Dammgeometrie, die möglichen Betriebszustände und vor allem die Eigenschaften des Dammmaterials von Bedeutung. In der Regel sind hinsichtlich der Beschaffenheit des Materials nur unzureichende Unterlagen verfügbar, weshalb diese Informationen durch ein gezieltes **geotechnisches Untersuchungsprogramm** erarbeitet werden müssen. Im Zuge der Haupterkundung kommen dafür unterschiedliche Methoden in Frage, die entsprechend der vorhandenen Grundlagen und Vorinformationen auszuwählen sind.

Der Ablauf der Vor- und Haupterkundung bis zur Erstellung eines **Geotechnischen Gutachtens** geht aus

dem Flußdiagramm Seite 12 hervor. Bei den geotechnischen Aufschlußmethoden werden »direkte« (z.B. Bohrungen) und »indirekte« Verfahren unterschieden, die in den nachfolgenden Kapiteln erläutert werden.

Flächenerkundungen - Anomalien - lokale Phänomene

Ergänzend zu den geotechnischen Erkundungen können **geophysikalische Erkundungsmethoden** eingesetzt werden (z.B. Geoseismik, Geoelektrik), die insbesondere für flächige Aufnahmen der Schichtung, Grundwasserstauer, Sickerlinie, usw. brauchbare Informationen liefern können. Auch wenn das Dammbauwerk Anomalien aufweist (Leckagen im Dichtungskörper, schwache Deckschicht, innere Erosion, Leckagen im Dichtungskörper, unzureichende Anbindung an Kunstbauten, Wühl-tierbefall, etc.) sind geophysikalische Erkundungen zielführend, wie in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

Der Ablauf der Vor- und Haupterkundung bis zur Erstellung eines **Geophysikalischen Berichtes** geht aus dem Flußdiagramm Seite 13 hervor.

Jedes dieser Verfahren setzt jedoch die Kenntnis und die fachliche Beurteilung der technischen und funktionalen Gegebenheiten am Bauwerk selbst voraus, womit der Ortsbegehung höchste Bedeutung zukommt, womit diese als eine der »Monitoringmethoden« anzusehen ist.

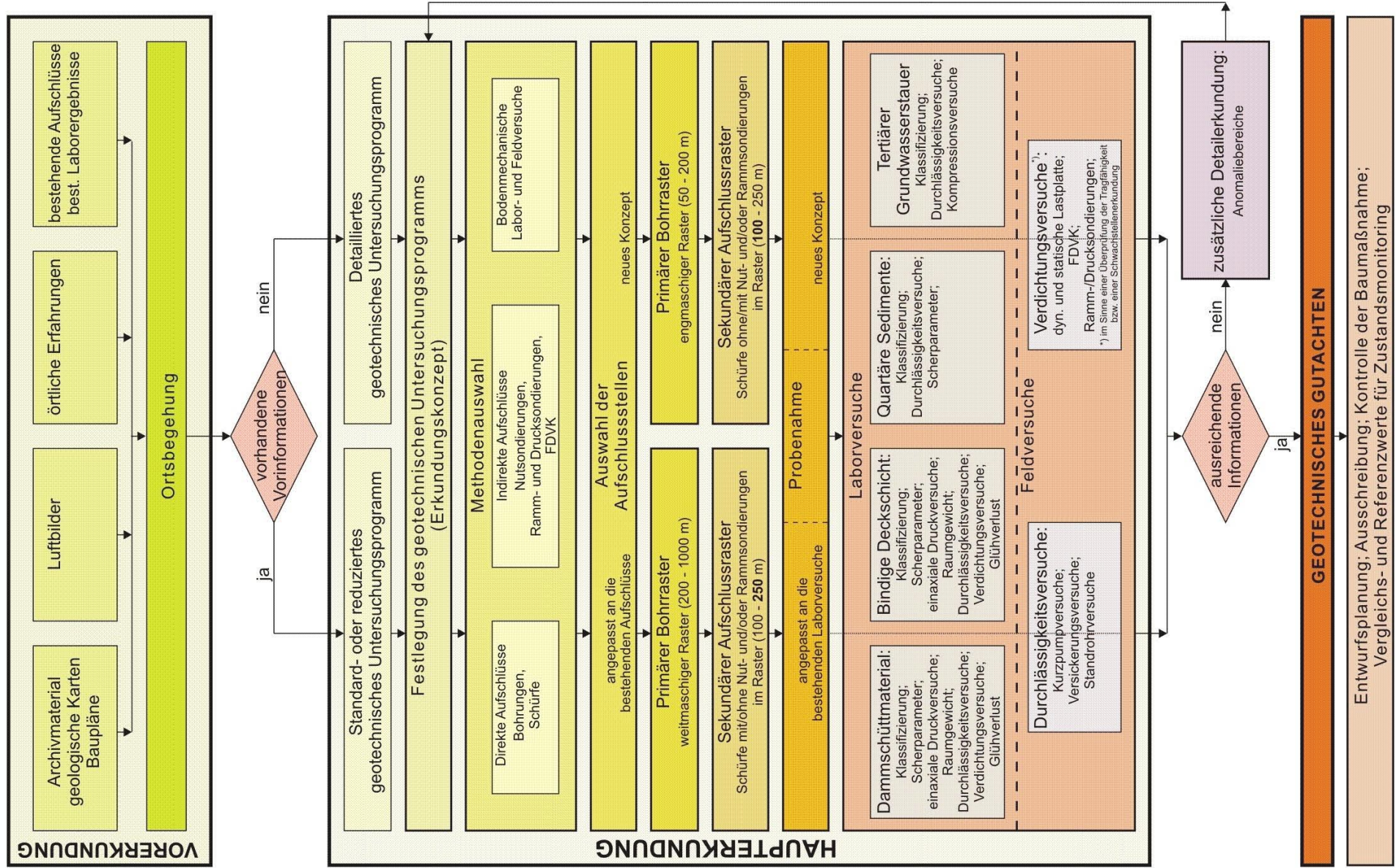


Abb. 6: Flussdiagramm: Vorgehensweise bei der geotechnischen Erkundung von Hochwasserschutzdämmen [10]

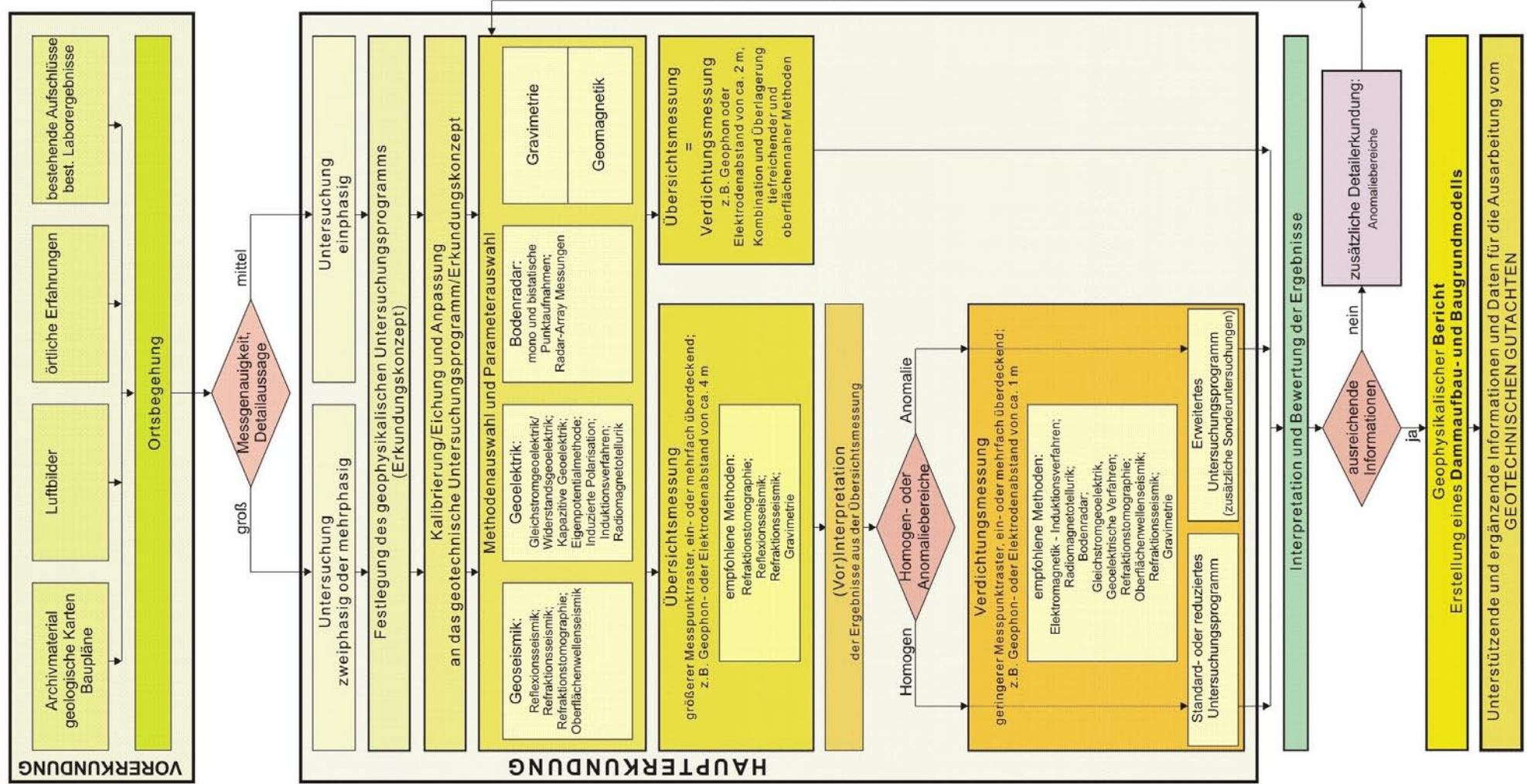


Abb. 7: Flussdiagramm: Vorgehensweise bei der geophysikalischen Erkundung von Hochwasserschutzdämmen [10]

Schlußfolgerungen aus der Hauptuntersuchung:

Die Hauptuntersuchung schließt mit der Dokumentation sämtlicher erforderlicher Unterlagen und Erkenntnisse, die letztendlich in einem Geotechnischen Gutachten zusammengefasst werden und die statische Nachrechnung des Bestandes hinsichtlich der Standicherheit, Böschungsbruch, Durchsickerung etc. erlaubt.

Anhand dieser Erkenntnisse kann die Erstellung von Sanierungsprojekten bzw. die Evaluierung notwen-

diger Sanierungsmaßnahmen erfolgen, die dann unter Bedachtnahme auf die damit verbundenen Kosten lokal oder abschnittsweise zugeordnet werden können. Zuletzt ist anhand einer gesonderten Risikobewertung unter Einbeziehung des Gefährdungspotentials, Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Schadens etc. eine konkrete Prioritätenreihung für die notwendigen Maßnahmen vorzunehmen. Dabei kann zukünftig auch auf die Gefahren- und Risikokarten entsprechend der EU-Hochwasserrichtlinie [7] zurückgegriffen werden.

Werden bei der Hauptprüfung spezifische Eigenschaften (Schwachstellen) der Dammkonstruktion erkannt, die bis zum Zeitpunkt der Sanierung oder dauerhaft eine regelmäßige Beobachtung erfordern, ist ein »Kosten/Nutzen-optimiertes« Monitoringsystem zu entwickeln.

Überblick und Kurzcharakterisierung der Erkundungsmethoden gemäß [10]

Direkte geotechnische Aufschlußmethoden:

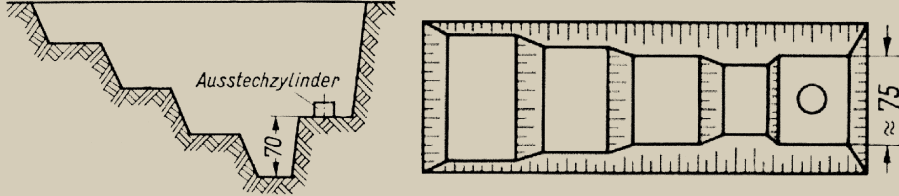

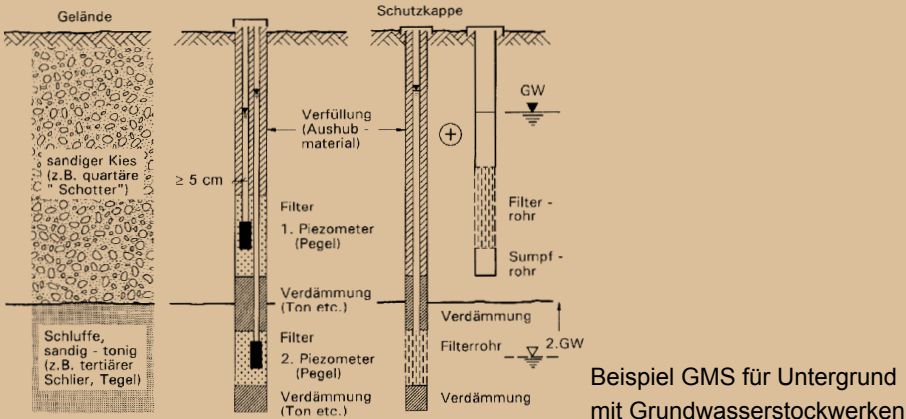
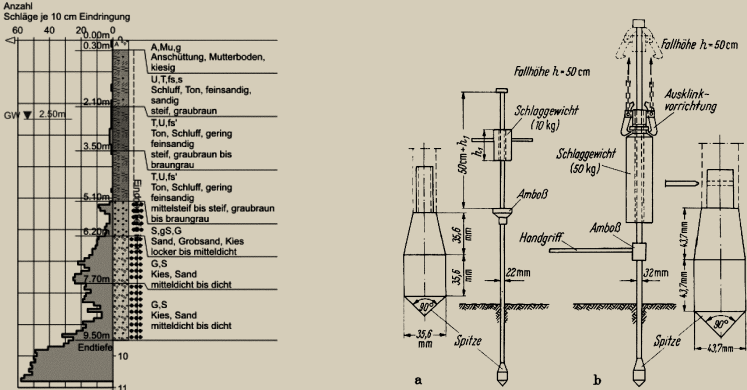
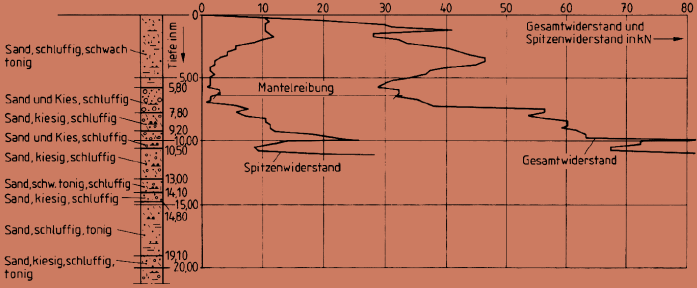

Methode	Illustration	Ergebnisse, Bemerkungen
Schürfe		visuelle Begutachtung des Untergrundes einfache Probenentnahme In-Situ-Versuche möglich Schichtverlauf, Verwitterungszonen gut erkennbar begrenzte Tiefe
Bohrungen Drehbohrungen bzw. Rotationskernbohrungen Rammkernbohrungen Kleinbohrverfahren	Bohrkerne in Kisten gelagert 	Aufschlüsse bis in große Tiefen vollständiges Bodenprofil Kerngewinnung ungestörter Proben möglich (Rotationskernbohrungen), In-Situ-Versuche, Ausbau als Brunnen- oder für Grundwassermessstellen möglich
Grundwassermessstellen (GMS) Pegel Mehrfachpegel		Aufschlüsse bis in große Tiefen vollständiges Bodenprofil Kerngewinnung ungestörter Proben möglich (Rotationskernbohrungen), In-Situ-Versuche, Ausbau als Brunnen- oder für Grundwassermessstellen möglich

Abb. 8: direkte geotechnische Aufschlußmethoden [10]

Indirekte geotechnische Aufschlußmethoden:

Methode	Illustration	Ergebnisse, Bemerkungen
<p>Sondierungen</p> <p>Rammsondierungen</p> <p>Fallgewichte: leichte Rammsonde 10 kg mittelschwere RS 20 kg schwere Rammsonde 50 kg Fallhöhe 50cm</p>	 <p>Anzahl Schläge je 10 cm Eindringung</p> <p>GW 2.50m</p> <p>0.30m 2.10m 3.50m 5.10m 6.20m 7.0m 9.50m Endtiefe</p> <p>A Mu g Anschließung, Mutterboden, kiesig U, T, fs a Schluff, Ton, feinsandig, sandig steif, graubraun T, U, fs Ton, Schluff, gering feinsandig steif, graubraun bis braungrau T, U, fs Ton, Schluff, gering feinsandig mittelsteif bis steif, graubraun bis braungrau S, G, S, G Sand, Grobsand, Kies locker bis mitteldicht G, S Kies, Sand mitteldicht bis dicht G, S Kies, Sand mitteldicht bis dicht</p>	<p>Anhand der Schlagzahl je 10 cm Eindringtiefe können Rückschlüsse auf die Lagerungsdichte, Rammigenschaften, Konsistenz bei bindigen Böden gewonnen werden; kurzfristig durchführbar, doch nicht ohne Schlüsselbohrungen zur Nachprüfung von Verdichtungsarbeiten geeignet</p>
<p>Drucksondierungen</p>	 <p>0 10 20 30 40 50 60 70 80</p> <p>Gesamtwiderstand und Spitzwiderstand in kN</p> <p>Mantelreibung</p> <p>Spitzwiderstand</p> <p>Gesamtwiderstand</p> <p>Tiefe (m)</p> <p>0 5,80 7,80 9,20 10,30 13,00 14,10 15,00 16,80 19,10 20,00</p> <p>Sand, schluffig, schwach tonig Sand und Kies, schluffig Sand, kiesig, schluffig Sand und Kies, schluffig Sand, kiesig, schluffig Sand, schw. tonig, schluffig Sand, kiesig, schluffig Sand, schluffig, tonig Sand, kiesig, schluffig, tonig</p>	<p>Messung des Eindringwiderstandes bei statischer Kraft und konstanter Vortriebsgeschwindigkeit getrennte Messung Mantelreibung und Spitzwiderstand möglich Lage der tragfähigen Schichte/Lagerungsdichte feststellbar Messung Porenwasserdruck, pH-Wert, Temperatur und Wassergehalt möglich</p>
<p>Nutsondierungen</p>	 <p>GOK</p> <p>0.00m 0.50m 2.00m 2.90m 3.70m 6.50m 7.30m 7.80m Final depth</p> <p>sa Mu sandiger Mutterboden Cl Ton steif, graubraun bis dunkelbraun sa Cl sandiger Ton mittelsteif bis steif, graubraun cl ei Sa toniger schluffiger Sand locker, graubraun bis grau Sa Gr Sand Kies locker bis mitteldicht cl⁺ F Sa stark toniger Feinsand locker bis mitteldicht, blaugrau fs Cl feinsandiger Ton sehr steif, blaugrau</p>	<p>Rammung Gestänge mit Längsnut 10 - 15 mm Material dringt in das Gestänge ein und liefert jeweils einen ca. 1,0 m langen »Kern«. »gezielte Probenentnahme« Tiefenbegrenzung 12 - 15 m infolge Rammbarkeit und Größtkorn erfordert besonders sachkundiges Personal</p>

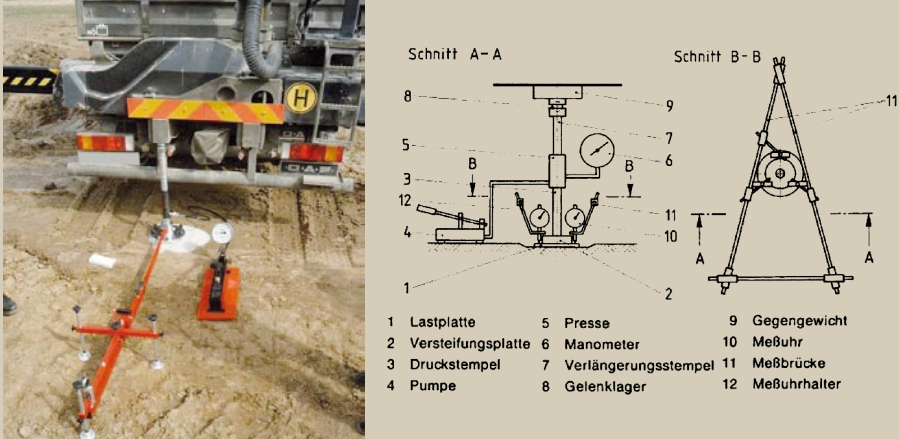
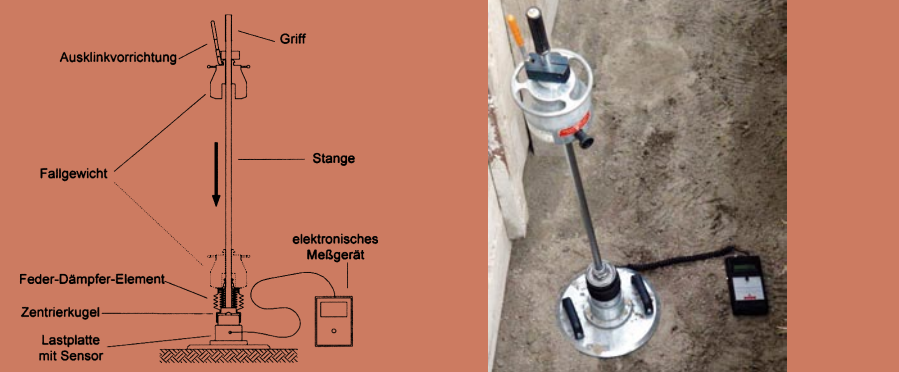
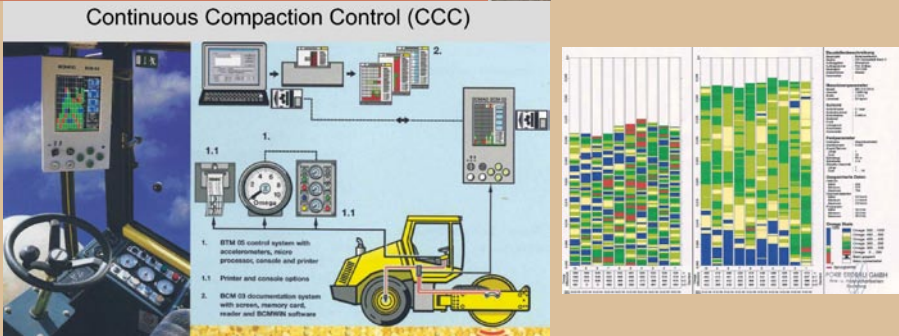
Methode	Illustration	Ergebnisse, Bemerkungen
<p>statische Lastplattenversuche</p>	 <p>Schnitt A-A Schnitt B-B</p> <p>1 Lastplatte 5 Presse 9 Gegengewicht 2 Versteifungsplatte 6 Manometer 10 Meßuhr 3 Druckstempel 7 Verlängerungstempel 11 Meßbrücke 4 Pumpe 8 Gelenklager 12 Meßuhrhalter</p>	<p>Erkundung des Verformungsverhaltens Tragfähigkeit - Spannungs-Setzungsdiagramm mittels Messuhren und Manometer dokumentiert Druckplatte 30 x 30 cm stufenweise Lastaufbringung und Entlastung der Verformungsmodul wird aus den Verformungsmoduli Ev1 (Erstbelastung) und eventuell Ev2 (Zweit- belastung) bestimmt. Ergebnisse liegen sofort vor Tiefenwirkung ca.60 cm, zeitaufwendig, Zufahrt von schwerem Gerät notwendig, daher nicht für beengte Verhältnisse geeignet</p>
<p>dynamische Lastplattenversuche</p>	 <p>Ausklinvorrichtung Griff Fallgewicht Stange elektronisches Meßgerät Feder-Dämpfer-Element Zentrierkugel Lastplatte mit Sensor</p>	<p>Erkundung des Verformungsverhaltens und der Tragfähigkeit mittels Fallgewicht und Messung der Verschiebung/ Beschleunigung bei drei Meßstößen liefert den charakteristischen Meßwert Evd. Kurze Versuchsdauer, für beengte Verhältnisse geeignet Ergebnisse hängen wie bei Ev von Kornverteilung und Wassergehalt ab; Kalibrierung mit statischem Lastplatten- versuch ist empfehlenswert</p>
<p>walzenintegrierte Flächendeckene Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK) bzw. Roller-integrated Continuous Compaction Control (CCC)</p>	<p>Continuous Compaction Control (CCC)</p>  <p>1. RTM 02 control system with accelerometer, micro processor, console and printer 1.1 Printer and console options 2. BCM 03 documentation system with sensor, memory card reader and BCM03 software</p>	<p>Durch Beschleunigungsmessungen an der Bandage der Vibrations-Verdichtungswalze werden Rückschlüsse auf die relative Steifigkeit des Bodens gewonnen und auto- matisch dokumentiert. Zerstörungsfreie und flächenhafte Überprüfung z.B. der Dammkronen hinsichtlich Gleichmäßigkeit der Verdichtung. Kalibrierung durch Lastplattenversuche erforderlich Messtiefe 2 - 3 m</p>

Abb. 9: indirekte geotechnische Aufschlußmethoden [10]

Geophysikalische Untersuchungen [10]

Geoseismik

Das Prinzip aller seismischen Untersuchungsmethoden basiert auf einer gezielten Anregung elastischer Wellen zur Durchschallung des Untergrundes. Die Aufzeichnungen verschiedener elastischer Wellen und der daraus berechneten Ausbreitungsgeschwindigkeiten lassen Rückschlüsse auf den strukturellen Bodenaufbau und die Baugrundbeschaffenheit zu. Bei der seismischen Messung werden künstliche Erschütterungen

durch unterschiedliche Typen von Impulsgebern (z.B. Hammerschlag, Vibrator, Sprengungen, usw.) erzeugt und das seismische Wellenfeld gleichzeitig von mehreren flächenhaft oder in einer Linie aufgestellten Geophonen aufgezeichnet. Geophone sind auf dem elektrodynamischen Prinzip arbeitende Aufnehmereinheiten zur Registrierung von Erschütterungen im Untergrund bzw. im Bauwerk selbst.

Ziel aller seismischen Methoden ist es, aus der Beobachtung und Analyse der seismischen Wellenausbreitung auf die Verteilung der seismischen

Geschwindigkeit(en) im Untergrund zu schließen. Die seismisch erfassbaren Materialparameter (Ausbreitungsgeschwindigkeiten) korrelieren gut mit anderen geomechanisch wichtigen Kennwerten (z.B.: Dichte, E-Modul, Schermodul) und können daher spezifischen Bodeneigenschaften, Schichtungen sowie Lage des Grundwasserspiegels mit guter Genauigkeit abbilden. Die folgende Abbildung veranschaulicht sehr schematisch das Wellenausbreitungsprinzip:



Abb. 10: geophysikalische Methoden [10], [13]

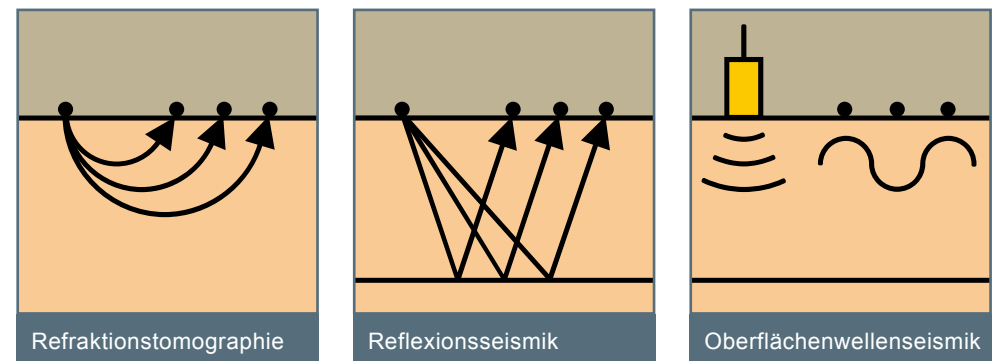


Abb. 11: Wellenausbreitungsprinzip ausgewählter geoseismischer Verfahren [10]

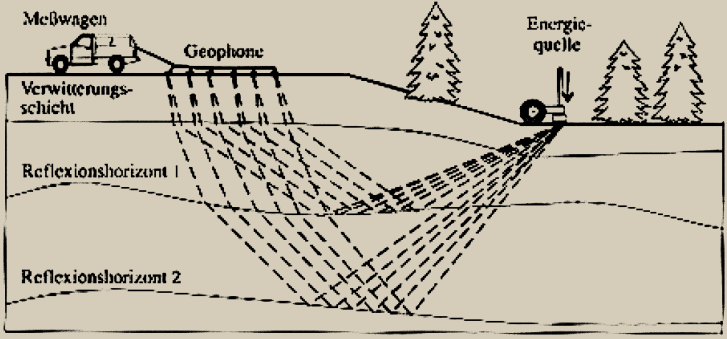
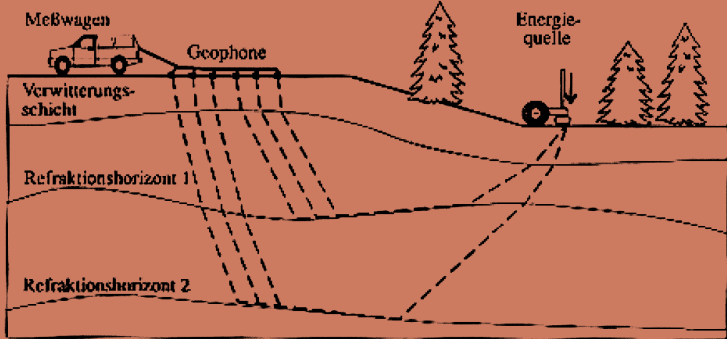
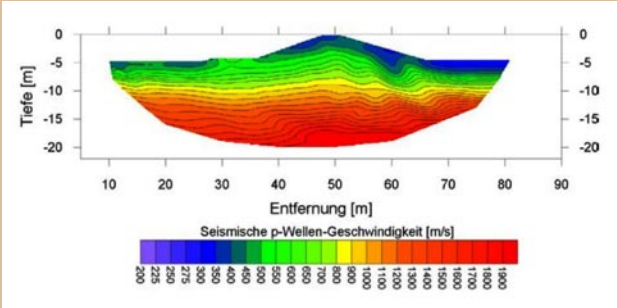
Methode	Illustration	Ergebnisse, Bemerkungen
Geoseismik		
Reflexionsseismische Verfahren		<p>Das Auflösungsvermögen ist bei dieser Methode wesentlich besser als bei anderen geophysikalischen Methoden. Allerdings ist dieses Verfahren für oberflächennahe Schichten aufgrund der sehr kurzen Laufzeiten nur bedingt geeignet. Unter bestimmten Voraussetzungen kann ein tieferliegender Grundwasserspiegel (>10 m) oder auch ein Grundwasserstauer (>10 m) gut dargestellt werden.</p>
Refraktionsseismische Verfahren		<p>Mit der Refraktionsseismik können praktikabel 4-5 untereinander liegende Schichten sowie deren Mächtigkeit erkundet werden. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass die Wellenrefraktion nur dann stattfinden kann, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle mit der Tiefe bei Schichtwechsel ansteigt. Bei Dämmen kann der Verlauf von internen Schichtgrenzen im Damm, seichte Grundwasserspiegel und unter bestimmten Bedingungen auch Grundwasserstauer gut dargestellt werden.</p>
Refraktionsseismische Verfahren		<p>Das Ergebnis der Refraktionstomographie ist ein kontinuierliches Bild der Geschwindigkeitsstrukturen im Untergrund. Damit können Einlagerungen von Fremdmaterialien, Findlinge, Verwitterungen sowie Hohlräume im Untergrund erkannt werden, wenn sie eine ausreichende Größe besitzen. Außerdem findet diese Methode ihre Anwendung bei der Beschreibung und Darstellung von Böden mit nicht deutlich ausgeprägten Schichtverläufen.</p>

Abb. 12: geoseismische Verfahren [10]

Geoelektrik und Elektromagnetik

Das **elektrische Verfahren** verwendet Gleichstrom bzw. alternierenden Gleichstrom und beschränkt sich auf die Messung von elektrischen Potentialdifferenzen. Im einfachsten Fall werden zwei galvanische Elektrodenpaare in genau definierten Abständen zueinander in den Boden gesteckt. Während der Messung wird über ein Elektrodenpaar Strom in den Untergrund eingespeist und über das andere dabei die Potentialdifferenz gemessen. Durch die beiden elektrischen Größen lässt sich der Widerstand errechnen. (Brauns / Bieberstein, 2003)

Die **elektromagnetischen Verfahren** beruhen auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion. Dabei werden zeitabhängige periodische oder impulsartige Anregungen in den Untergrund eingekoppelt und elektromagnetische Felder gemessen. Das primäre elektromagnetische Feld wird von einer (Primär)spule

erzeugt. Folge dieser Anregung ist die Entstehung von Sekundärfeldern, deren Intensität von einer (Sekundär)spule empfangen wird. Daraus lässt sich das elektromagnetische Verhalten des Untergrundes ableiten.

Diese beiden beschriebenen Verfahren gehören zu den schnellsten und einfachsten Aufschlussmethoden.

Dies ist einerseits bedingt durch den geringen Material- und Personalaufwand. Andererseits durch die einfache Versuchsanordnung. Nachteilig erweist sich die durch den Grundwasserspiegel begrenzte Tiefenwirksamkeit. Ferner kann es durch Kunstbauten im Untergrund zur Verzerrung der elektrischen/elektromagnetischen Felder kommen.

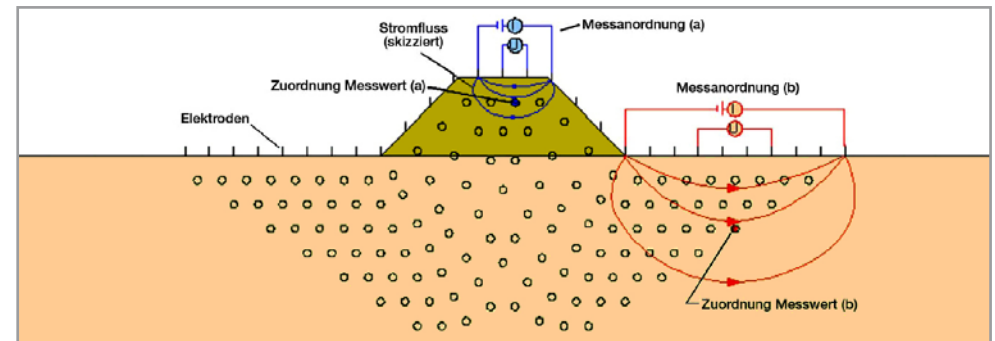


Abb. 13: Messprinzip der geoelektrischen Messung an einem Hochwasserschutzdamm [10]

Methode	Illustration	Ergebnisse, Bemerkungen
Geoelektrik		
Gleichstromgeoelektrik/ Widerstandsgeoelektrik	<p>Vertikalschnitt des elektrischen Widerstandes für das Querprofil eines Hochwasserschutzdammes</p> <p>... mit interpretiertem Schichtaufbau des Dammes</p>	<p>Basierend auf dem gemessenen spezifischen Widerstand liefern die Ergebnisse eine lagetreue Darstellung der Leitfähigkeitsstrukturen im Untergrund.</p> <p>Im Dammbau setzt man die Gleichstromgeoelektrik zwecks Auffindens von undichten Stellen in Dammkörpern und in der bindigen Deckschicht ein.</p> <p>Basierend auf der Tatsache, dass diese Stellen mit konzentriertem Wasserdurchfluss einen geringeren Widerstand in diesen Bereichen aufweisen.</p> <p>Weiterhin kann dieses Verfahren zur Bestimmung der Teufenlage und Mächtigkeit von Grundwasserleitern und Stauern dienen.</p>

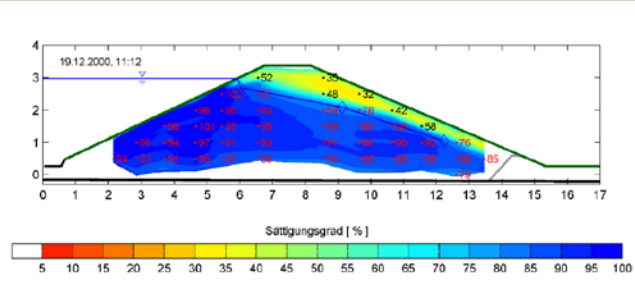
Methode	Illustration	Ergebnisse, Bemerkungen
Kapazitive Geoelektrik	<p>Ähnlich wie bei der Geoelektrik wird auch hier ein elektrisches Feld dem Boden aufgeprägt, nur mit dem Unterschied, dass Wechselstrom für die Erzeugung des Feldes verwendet wird. Bei diesem Verfahren, das quasi kontinuierlich angewandt werden kann, werden nur geringe Erkundungstiefen bis ca. 6 m erreicht, was aber kein Hindernis für den Einsatz als Kontrollverfahren von Hochwasserschutzdämmen darstellt.</p> <p>Durch die Messung der spezifischen Widerstände im Boden kann ein zwei- oder dreidimensionales und sehr genaues Abbild der elektromagnetischen Eigenschaften des Untergrunds erstellt werden.</p>	<p>Die für diese Ergebnisse nötigen Auswertungsmethoden überprüfen beziehungsweise berücksichtigen Fehlmessungen und Ausreißer, Fremdeinwirkungen sowie Ungenauigkeiten in der räumlichen Geometrie der Versuchsanordnung.</p> <p>Dieses Verfahren ist schnell und einfach in der Handhabung und somit für die Überprüfung von Dämmen gut einsetzbar.</p>
Eigenpotentialmethode	<p>Die Eigenpotentialmethode ist ein passives geoelektrisches Verfahren, mit dem das natürliche elektrische Spannungsfeld des Untergrundes erfasst wird. Die Ursache für die Eigenpotentiale sind die elektrochemischen und elektrokinetischen Vorgänge. Die Messung erfolgt mittels zwei unpolarisierbaren Sonden, verbunden über ein Kabel mit dem Voltmeter. Als Bezugspunkt wird eine Sonde in einem elektrisch ungestörten Gebiet gesetzt und die zweite auf Profilen über die Untersuchungsfläche bewegt. Dabei wird die Eigenpotentialdifferenz zwischen beiden Sonden gemessen.</p>	<p>Die Eigenpotentialmethode eignet sich zur Leckagedetektion an Erddämmen, weil die Störungs-potentiale auf die wasserführenden Zonen/Stellen hinweisen können.</p> <p>In diesem Sinne lässt sich teilweise die Dichtigkeit von Dämmen nachweisen.</p>
Induzierte Polarisation	<p>Die induzierte Polarisation ist eine Erweiterung der Gleichstrommethode. Mit Hilfe dieser Methode werden weitere materialspezifische elektrische Parameter gemessen. Für die Messung lassen sich die in der Gleichstromgeoelektrik üblichen Vierpunktanordnungen verwenden, jedoch mit dem Unterschied, dass die Aufzeichnung der abklingenden Spannung erst nach dem Abschalten des Quellstromes durchgeführt wird.</p>	<p>Mit dieser Methode lassen sich die einzelnen Kontaktbenen von bindigen Deckschichten (Ton/Schluff) zu den rolligen Böden (Sand/Kies) deutlich abgrenzen.</p>
TRD Time-Domain-Reflectometry	<p>Mittels TDR-Kabelsonden an einem Dammmodell gemessene Sättigungsverteilung während eines Einstauversuches</p> 	<p>Mittels dieser Reflexionsmessung lassen sich Rückschlüsse auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle ziehen und damit die Dielektrizitätszahl bestimmen.</p> <p>Aus dieser wiederum kann z.B. der Wassergehalt im Boden ermittelt werden.</p>

Abb. 14: geoelektrische Verfahren [10]

Bodenradar

Das Bodenradar ist ein elektromagnetisches Impulsverfahren, das auf ähnlichen Prinzipien wie die Reflexionsseismik basiert, wobei die Messung mittels Sonar und Radar stattfindet. Diese Methode nutzt kurze elektromagnetische Impulse, die von der Oberfläche über Antennenkonstruktionen in den Untergrund abgestrahlt werden. Die Impulse breiten sich entsprechend der gesteinsspezifischen Geschwindigkeit aus und werden nach der Reflexion an Schichtgrenzen, Einlagerungen oder anderen Diskontinuitäten wieder mit Empfangsantennen empfangen. Aufgezeichnet werden dabei die Amplitude und Laufzeit des Signals zwischen Sender

und Empfänger. Diese Tatsache ist für die Dammerkundung bzw. Beurteilung eine wesentliche Hilfe, und zwar bei der Beobachtung der Sickerlinie in eingestauten Dämmen oder bei der Ermittlung der Lage von Grundwasserhorizonten. Die Wasseroberfläche bildet in diesem Sinne eine ausgeprägte Reflexionsebene, die in den Radargrammen deutlich erkennbar ist. Infolge der hohen Pulsfolge der Signale lässt sich das quasikontinuierliche Messprofil während der Messung in Echtzeit auf einem Bildschirm anzeigen. Ein weiterer Vorteil liegt in den großen Längen bzw. Flächen, die innerhalb von einem Messtag erkundet werden können sowie in der hohen horizontalen und vertikalen Auflösung.

Durch Variation der Frequenzen kann man Messtiefen bis zu 30 m (bei niederfrequenten Radarwellen) erreichen.

Die Anwendungen von Radarmessungen sind vielfältig und werden in der Geotechnik, bei der Erkundung von Altlasten im Untergrund, bei der Ortung der verschiedensten Objekte aber auch bei der gezielten Untersuchung des gewachsenen oder geschütteten, oberflächennahen Untergrundes angewandt. Das Verfahren zeigt seine Grenzen bei einer gut leitfähigen Oberfläche aus feuchten Tönen, Schluffen, ferner wenn Wasser mit Salzfracht o.ä. vorkommen.

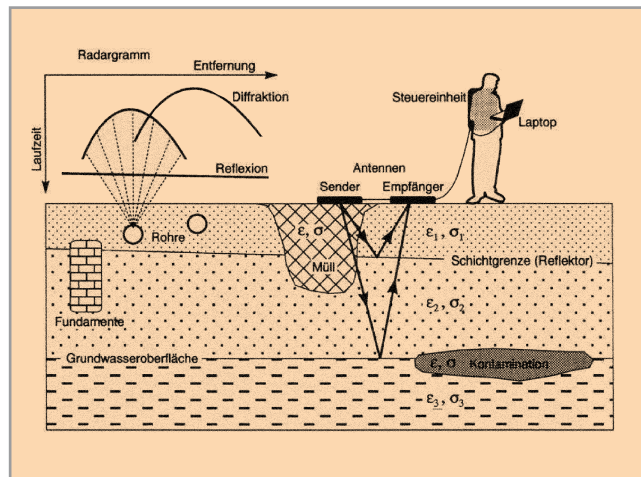


Abb. 15: Prinzip der Radarmessung [10]

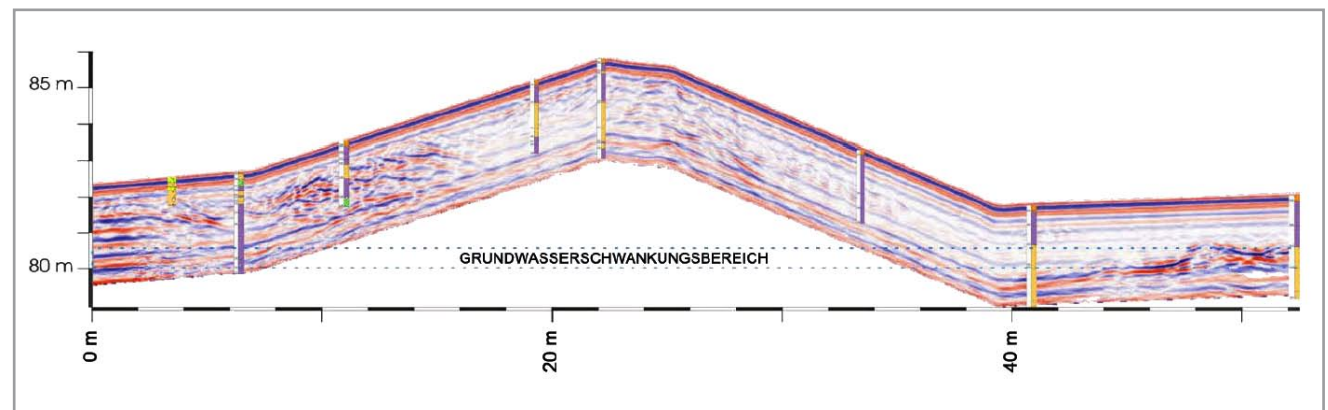


Abb. 16: Radargramm eines Hochwasserschutzdammes mit Kalibrierungsbohrungen [10]

Geothermik

Bei einer konstanten Wärmestromdichte verursachen Bereiche (Fehlstellen) mit anomaler Wärmeleitfähigkeit Temperaturanomalien. Das Prinzip der Geothermik basiert auf der Temperaturmessung des Bodens bzw. des durch den Boden durchsickernden Wassers. Hierbei werden in Abhängigkeit von der Zeit die Temperaturdifferenzen für einen festgelegten Flächenbereich des zu erkundeten Untergrundes gemessen. Das infolge von Erosionsvorgängen oder Hohlräumen im Dammkörper oder im Untergrund deformierte Temperatur- bzw. Wärmestromfeld wird erfasst und mit der Temperatur des umgebenden temperaturstabilen Halbraumes verglichen. Diese Unterschiede sind jedoch erst ab einer bestimmten Durchlässigkeit ($> 10^{-6}$ m/s) des Bodens erkennbar, wobei auch andere bodenphysikalische Kennwerte (Bodenart, Dichte, Porenraum) den Einsatz dieses Verfahrens beeinflussen. Da dieses Verfahren hauptsächlich für **Leckageortungen bei Dammbauwerken** verwendet wird, spielt

der Mechanismus der (Grund)wasserströmung eine wesentliche Rolle bei der Messung.

Anhand der gemessenen Temperaturen lassen sich strukturelle Aussagen über den Damm bzw. Untergrund sowie über die Grundwasserströmungen ableiten. Der Anwendungsbereich erstreckt sich über die Feststellung von Sickerwasseraustritte bis zur Abgrenzung von verdeckten Altlasten und Deponien.

Die Temperaturmessverfahren können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Zum einen wird direkt die In-situ-Temperatur gemessen und zum anderen die Oberflächentemperatur bestimmt, d.h. es wird die Temperaturverteilung an der Oberfläche aufgezeichnet.

Konventionelle Temperaturmessung

Die In-situ-Temperatur wird mit der konventionellen Methode mittels Temperaturfüllern gemessen, welche in Grundwassermessstellen (Piezometer) oder Bohrungen eingebaut sind. Bei dieser Art von Messungen besteht jedoch beim Einbringen der Messensoren in

das Bohrloch die Gefahr der Verwirbelungen. Dies kann zu unerwünschten Verfälschungen der Ergebnisse führen.

Um diese Effekte zu vermeiden, können statt der Bohrlöcher verschraubte Hohlbohrgestänge in den Untergrund eingerammt werden. Diese besitzen im Inneren eine Messkette von Sensoren. Auf diese Weise lassen sich dann Temperaturprofile für verschiedene Tiefenniveaus darstellen. Eine ganze Serie aus mehreren nebeneinander in einer Linie eingebauten Messstäben ermöglicht sowohl eine gute laterale als auch vertikale Eingrenzung des durchströmten Flächenbereiches.

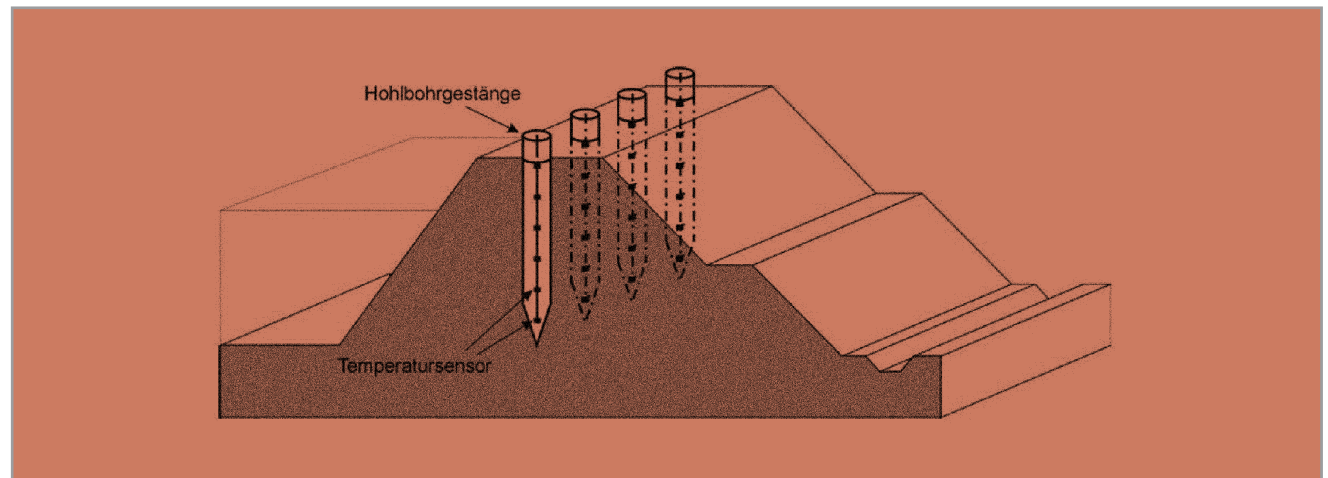


Abb. 17: konventionelle Temperaturmessung mittels in Hohlbohrgestängen eingebauten Temperaturmessfühlern [10]

Faseroptische Temperaturmessung

Bei den faseroptischen Temperaturmessungen wird durch einen Laser ein optisches Signal in die Glasfaser geschickt. Dabei wird an der Innenwand des Faserlichtwellenleiters ein Streulicht reflektiert und daraus ein bestimmter Bereich des Lichtspektrums herausgefiltert. Das Streulichtspektrum korreliert an jedem Messpunkt mit der Temperatur. Außer dieser physikalischen Größe lässt sich aus der Laufzeit der Lichtanteile zusätzlich die Entfernung zum Messpunkt ermitteln. Dieses Verfahren **eignet sich besonders gut für Langzeitüberwachung von Wasserbauwerken** (Dammbauwerke, Dichtungssysteme von Dämmen, Pipelines usw.). Aufgrund der linienhaften Messung lassen sich kontinuierliche Temperaturprofile mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2^\circ\text{C}$ erstellen. Die Positionsgenauigkeit ergibt sich aus den geräteabhängigen Messwertabständen entlang der Leitung und beträgt meistens zwischen 0,25 bis zu 1,0 m. Im Hinblick auf die Anwendung dieser Methode zum Zweck der Leckageortung werden zwei Verfahren, die Gradienten- (passive Temperaturmessmethode) und die Aufheizmethode unterschieden.

Gradientenmethode: Für die Erfassung des Durchflusses und des zeitlichen Verlaufes der Durchsickerung können die Kabel in regelmäßigen Abständen quer zur Dammachse eingebaut werden. Die daraus ermittelten zeitabhängigen Temperatur-Weg-Diagramme liefern Informationen über das **Sickerverhalten**.

Aufheizmethode: Durch das Aufheizen vom Messkabel entsteht eine Temperaturdifferenz zur ungestörten Ausgangstemperatur. In Bereichen, wo Sickerwasserströmung (Leckagen) auftreten, wird die Wärme durch die Porenwasserströmungen abgetragen. Aus

mehrfacher Wiederholung des Versuches mit Variation der Aufheizgeschwindigkeit und anschließendem Abgleichen der Messwerte, kann die **Filtergeschwindigkeit** im Boden in der Umgebung des Messkabels ermittelt werden.

Oberflächentemperaturmessung

Dieses Verfahren stellt eine indirekte Temperaturmessung mittels Infrarotscanner dar. Berührungslos mittels einer Art Strahlungsthermometer werden die Oberflächen von Dämmen oder anderen Bauwerken aufgenommen. Damit man großflächige Bereiche erfassen kann, werden die Scanner und Wärmebildkameras meistens an Flugzeugen, seltener an Fahrzeugen montiert. Die dabei aufgenommenen Infrarotbilder haben keine Tiefenwirkung und werden stark von den örtlichen Gegebenheiten sowie den Einstrahlungseffekten beeinflusst. Aus diesem Grund können sie nur für bestimmte geotechnische und wasserbauliche Problemstellungen eingesetzt werden. Hierzu gehört in erster Linie die **Ortung von Sickerwasseraustritten** an der luftseitigen Böschung während der Einstauperiode.

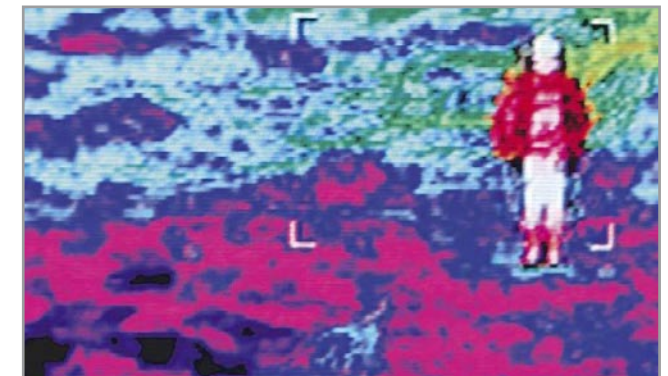


Abb. 18: Wärmebildaufnahme während eines Hochwasserereignisses (Stracke) [10]

C Schadensbilder - Erkundung und Beurteilung - »Monitoringmethode Ortsbegehung«

Das Versagen oder die Funktionsuntauglichkeit der Dämme kann durch verschiedene Phänomene ausgelöst werden, die durch ein entsprechendes Monitoring zeitgerecht erkannt werden sollten. Sowohl bei der Vorerkundung als auch für die langfristige Überwa-

chung der Anlage bietet die Ortsbegehung den Ausgangspunkt für das Erkennen insbesondere lokaler Schwachstellen, die von punktuellen Messeinrichtungen nicht erfasst werden können.

Voraussetzung für eine zielgerichtete Begehung einer Dammkonstruktion ist die Kenntnis und Erfahrung über mögliche Schwachstellen und Phänomene sowie das Wissen über die möglichen Ursachen, die nachstehend skizziert werden:

Auslöser für das Versagen von Dämmen

Damit es zum Versagen eines Dammes kommt, tritt in der Regel eine Kette von Versagensursachen ein, an deren Beginn ein spezifischer Auslöser steht. Will man ein Dammbauwerk in seiner Funktion schützen, muss es das Ziel des Betreibers oder des Nutznießers sein, die Auslöser für das Versagen zu erkennen und zu unterbinden beziehungsweise zumindest einzuschränken.

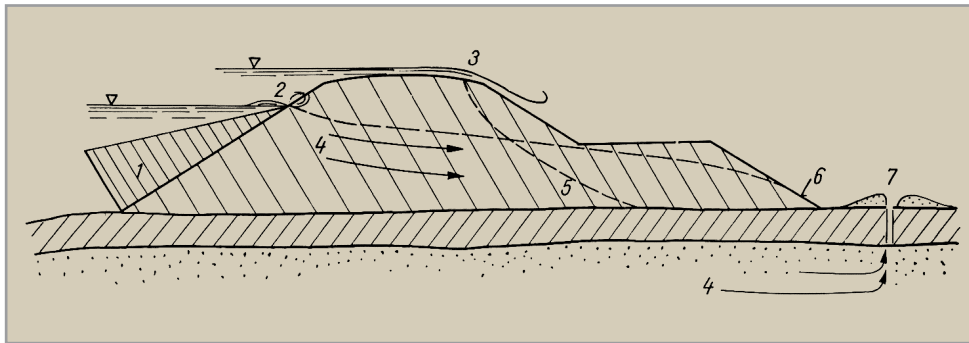


Abb. 19: Übersicht über die Versagensformen: 1 statischer Wasserdruck, 2 Wellenschlag, 3 Überströmung, 4 Durchsickerung und/oder Unterströmung, 5 Böschungs- oder Geländebruch, 6 Materialausspülung, 7 hydraulischer Grundbruch, (Kézdi, 1976) [10]

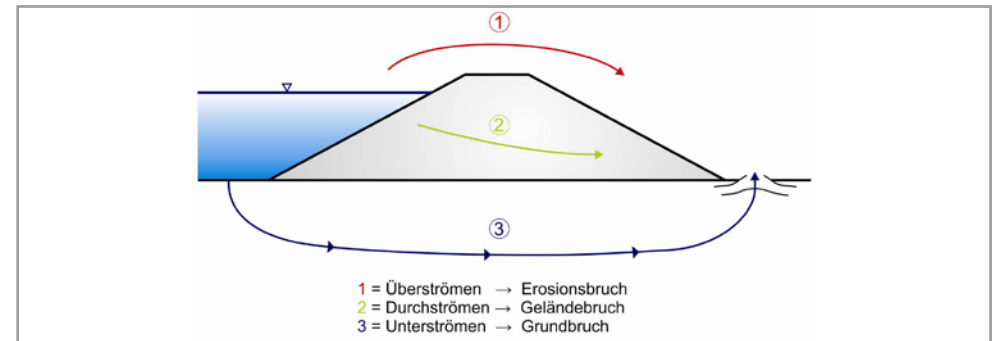


Abb. 20: dominierende Versagensformen [13]

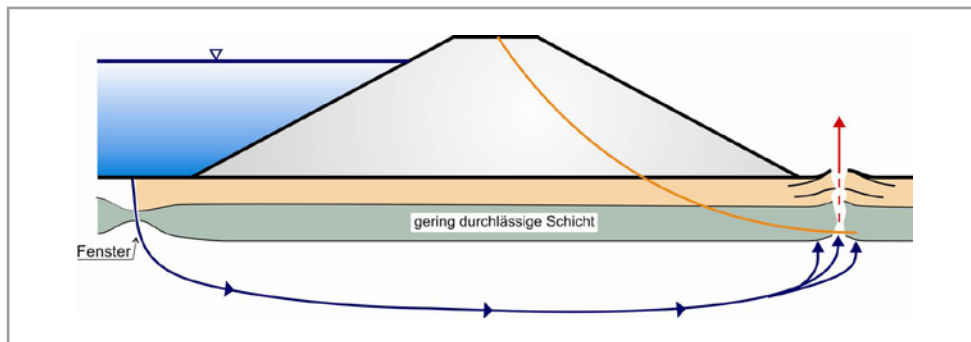


Abb. 21: Hydraulischer Grundbruch infolge Auftrieb (»Aufschwimmen«) [13]

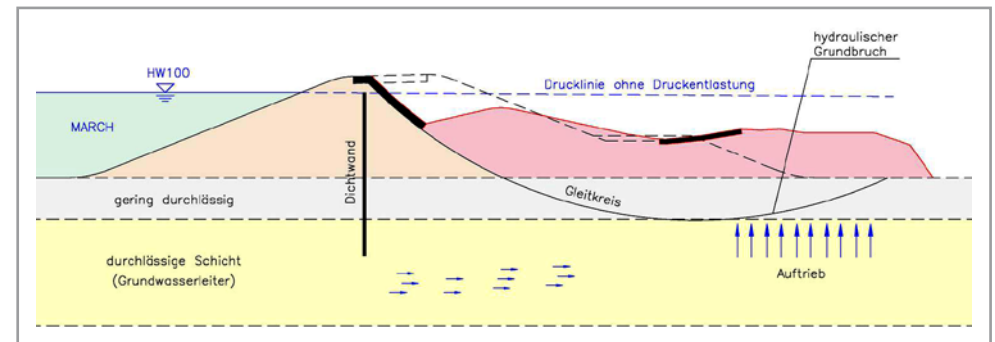


Abb. 22: Mechanismus Geländebruch infolge hydraulischen Grundbruchs [13]

Erosion

Der wesentliche Faktor für die Zerstörung der Struktur durch Erosion ist die Schleppkraftwirkung des Wassers, die von der Fließgeschwindigkeit, von der Wassertiefe und der bereits mitgeführten Fracht sowie von Korndurchmesser und Dichte der zu bewegenden Teilchen abhängig ist.

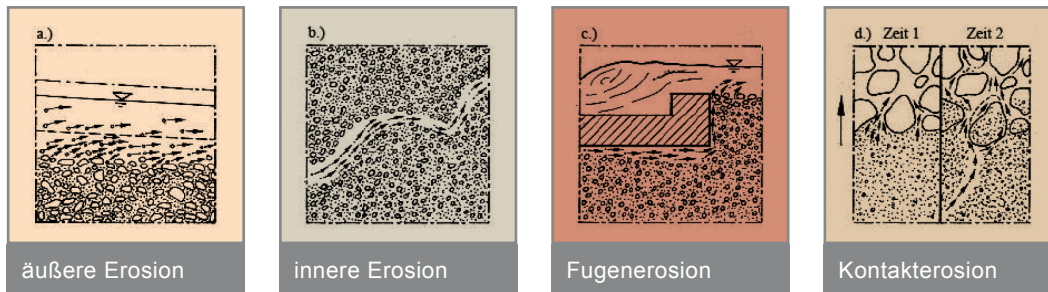


Abb. 23: Erscheinungsformen Erosion [10]

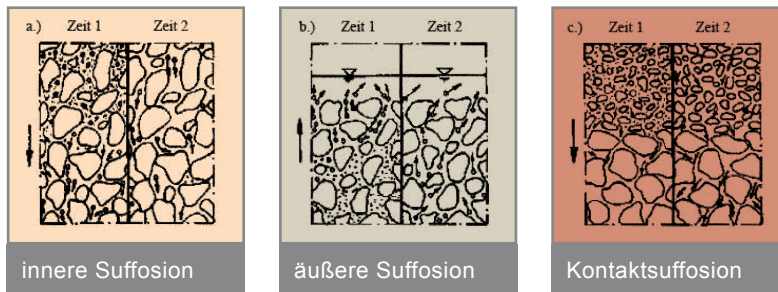


Abb. 24: Erscheinungsformen Suffosion [13]



Abb. 26: »Kochen« = »Boiling« [13]

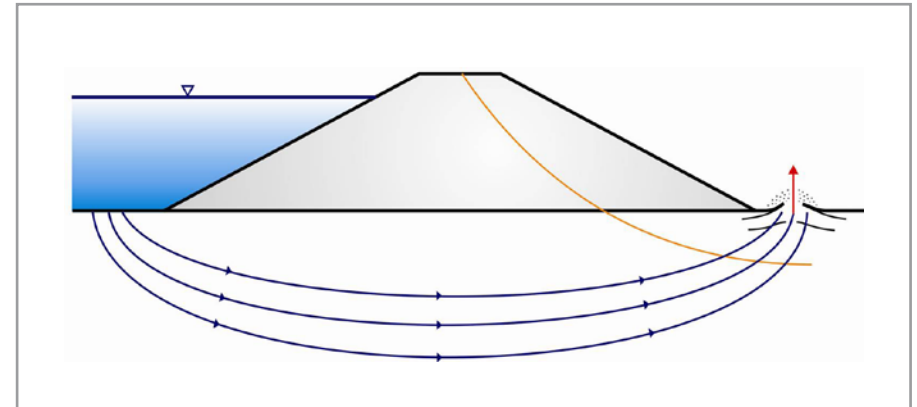


Abb. 25: Hydraulischer Grundbruch infolge innerer Erosion (Ausspülen Feinteile) [13]



Abb. 27: hydraulischer Grundbruch infolge innerer Erosion (Jacobs) [13]

Versagensmechanismen

Sowohl im Fall des Überströmens als auch beim Piping, die zusammen 80% der Schadensfälle ausmachen,

sind die Art der Konstruktion und die Genauigkeit bei der Erhaltung, der Kontrolle, der Instandhaltung und der Bewirtschaftung die wesentlichen Faktoren, um den Schaden zu begrenzen. Das Ausweiten von Röh-

ren kann zu einem Kollabieren des gesamten Dammbauwerkes führen, wenn sich die innere Erosion nicht stabilisiert.

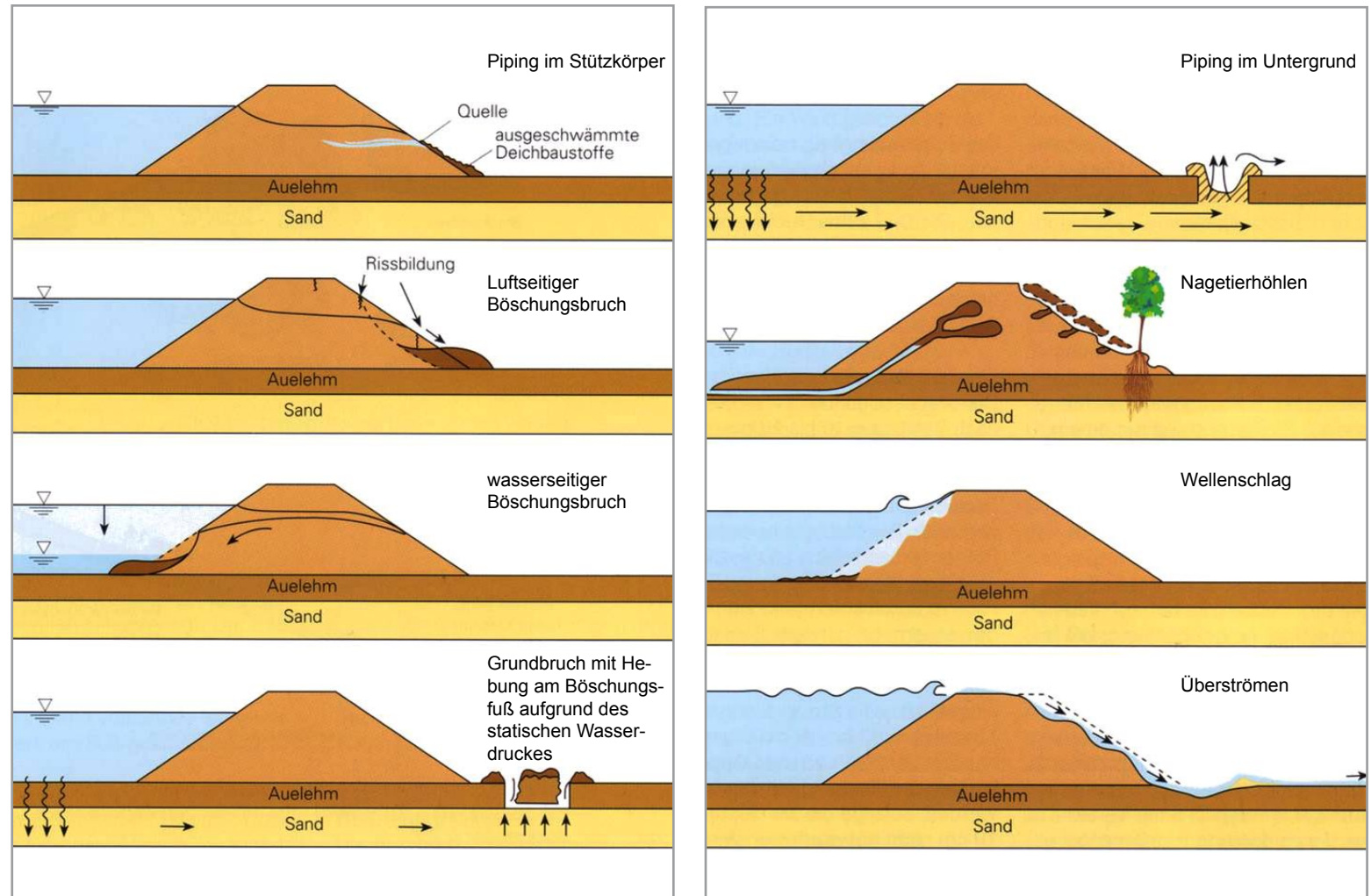


Abb. 28: Versagensmechanismen (Müller, 2006) [13]

Übersichtstabelle

»Phänomene - mögliche Ursachen« von Schadensbildern bei Hochwasserschutzdämmen

Die nachstehende Übersicht zeigt globale Zusammenhänge zwischen häufig auftretenden Phänomenen an schadhaften Dammstrecken und deren mögliche hydrologische, hydraulische, geologische/bodenmechanische, statische oder dynamische Ursachen.

Phänomen	mögliche Ursachen
Überströmen	Setzung, Erosion, Abflußberechnung/Freibord nicht mehr aktuell
Geländebruch, Rutschungen	unzureichende Bodenkennwerte, innere Erosion, Gleitfugen, Strömungsdruck
Setzungen	Material, Verdichtung, Auswaschungen, innere Erosion, Tiergänge
Wasseraustritte	Leckagen im Dichtungskörper, innere Erosion, fortgeschrittene Suffosion
Böschungsbruch landseitig	Durchsickerung, innere Erosion, Folge eines hydraulischen Grundbruchs
Böschungsbruch wasserseitig	rasches Absinken Wasserspiegel, Böschung instabil, Baumbewuchs
hydraulischer Grundbruch infolge Unterströmen/Suffosion/Erosion	unzureichende Einbindung, zu kurzer Sickerweg, undichte Schmalwand, etc.
hydraulischer Grundbruch durch Aufschwimmen (»Kochen«)	(zu) schwache/geringe Deckschicht
Materialaustrag durch landseitige »Quellen«	hydraulischer Grundbruch, versagende Deckschicht Nähe Dammfuß
Erosion wasserseitige Böschung	durch Wellenschlag, Eis, Treibgut, Schiffsanprall
Erosionsbruch Dammkrone	infolge Überströmen, mangelhafte Befestigung der Krone
Fugenerosion	Sickerströmung entlang Kunstbauwerk (unzureichende Anbindung der Dammdichtung an Kunstbauten)

Im Zuge der regelmäßigen Dammüberwachung bzw. bei den Ortsbegehungen der Hochwasserschutzdämme im Rahmen eines Monitoring-Programms sind die luft- und wasserseitigen Böschungen, die Kronen und Fußbereiche sowie allfällige Einbauten (Rohrdurchlässe, etc.) vorzusehen. Dabei ist die Kenntnis über generelle Schwachstellen von Dämmen sehr zweckmäßig, wie diese in der nachstehenden Übersicht zusammengefasst sind [11].

Kreuzungsbauwerke

Unterführungen-Düker, Rohrleitungen
Überführungen (Straßen, Bahnen)



Dammeinbauten

Entnahmebauwerke
Durchlassbauwerke
Einleitungsbauwerke
Leitungen



Inhomogenitäten des Untergrundes (historisch)

weiche/lockere Auböden
Durchwurzelung
Anschüttungen (z.B. alte Nebenarme, Ablagerungsstätten)



Inhomogenitäten bei der Herstellung

ungeeignetes Dammbaumaterial
mangelhafte Anschlüsse bei Materialwechsel

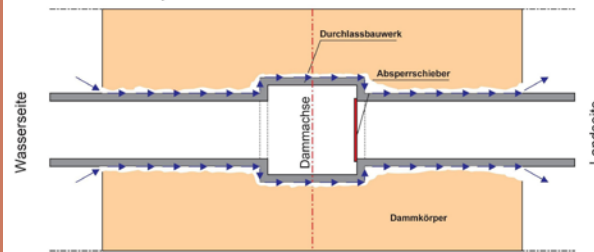


Bauwerksübergänge zu Dämmen

Durchlässe
Anbindung an Objekte

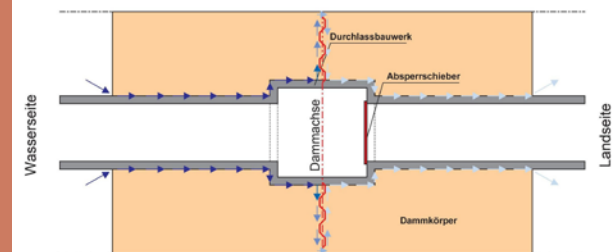
Schadensfall „Fugenerosion“

- Damm mit Durchlassbauwerk im Grundriss
- Material wird ausgeschwemmt, Erosionskanäle vergrößern sich, Dammbruch möglich
- Wasser sickert entlang immer vorhandener Fugen zwischen Bauwerk und Dammkörper



Funktion der Sickerwegverlängerung

- Damm mit Durchlassbauwerk im Grundriss
- Sickerweg wird verlängert, Sickerwassermenge sinkt stark ab
- Einbindung des Bauwerkes mittels Spundwand
- Kein Materialaustrag, Damm bleibt standicher



Verbindung/Anbindung von Dichtelementen

Anbindung an Objekte
Anschlüsse bei Materialwechsel

Mangelhafte Instandhaltung

fehlende Grasnarbe,
beschädigte Dammkrone

**Beschädigung des Dammes an der Luftseite**

Böschungsversteilung
Vortreiben von Dückern
Dammfußbeschädigungen
Kronenbeschädigung

**Beschädigung des Dränsystems**

Durchwurzeln

Beschädigung des Dichtungssystems

mechanisches Versagen oder Erosionsschäden einer Dichtwand,
Erosion des Dichtungsmaterials

Ehemalige Bruchstellen

nicht fachgerechte Sanierung
mangelhafte Verzahnung



Horizontalstöße von der Wasserseite

Anströmung
Totholz
Schiffsanprall
Anprall losgerissener Stege
Eisstoß

**Bewuchsprobleme**

Lebendbewuchs
Totbewuchs

**Tierbefall**

sowohl an der Wasserseite als auch
an der Luftseite
Wühltiere (Biber, Bisam, Wühlmäuse,
Maulwurf, etc.)



Abb. 29: generelle Schwachstellen von Dämmen [11]

D Empfehlungen zur Anwendung geeigneter Prüfverfahren (Monitoringmethoden)

Sollten bei der Hauptprüfung spezifische Eigenschaften (Schwachstellen) der Dammkonstruktion erkannt werden, die bis zum Zeitpunkt der Sanierung oder dauerhaft eine regelmäßige Beobachtung erfordern, so ist

ein „Kosten/Nutzen-optimiertes“ Monitoringsystem zu entwickeln, das sich an den lokalen Gegebenheiten orientiert. Neben den optischen Kontrollen bzw. Ortsbegehungen/Geländebegehungen stehen verschiedene Methoden zur Abschätzung bzw. Ermittlung von relevanten Dammparametern zur Verfügung, wie in der nachstehenden Übersicht zusammengefasst:

Übersicht der überprüfbaren Dammparameter - wesentliche Aufschlussmethoden

Dammparameter	Aufschlussmethoden				
Oberfläche, äußere Erosion	Geländebegehung	FDVK	Lastplattenversuch	geod. Vermessungen	Luftbildaufnahmen
Schichtung	(Klein-)Bohrungen	Nutsondierung	Rammsondierung	Geoseismik	Bodenradar
	Schürfe	Drucksondierung		Geoelektrik	(Gravimetrie)
Grundwasserstauer	Bohrungen	Rammsondierungen	Nutsondierung	Drucksondierung	Geoseismik
Bodenkennwerte (Auswertung durch bodenphysikalische Laborversuche)	Schürfe Probenentnahmen	(Klein-)Bohrungen Probenentnahmen	Geoseismik	Gravimetrie	
	Rammsondierung	Drucksondierung	Geoelektrik	TDR - Time-domain-Reflectometry	
Sickerlinie	Geländebegehung	GW-Messstellen	Geoelektrik	TDR-Time-dom.-Refl.	Geothermik
Fremdkörper, Einschlüsse	(kapaz.) Geoelektrik	Bodenradar	FDVK	(Geomagnetik)	(Gravimetrie)
Leckagen, innere Erosion	Geländebegehung	TDR-Time-dom.-Refl.	Eigenpotentialmethode	Geothermik	
	kapazitive Geoelektrik	induz. Polarisation	Bodenradar	Gravimetrie	

Auswahl von geeigneten Erkundungs- und Aufschlussmethoden als Verfahren für das Zustandsmonitoring von Dämmen [10]

Nach der Ortung von Schwachstellen von Dammbauwerken sind jene möglichen Dammparameter zu be-

stimmen, die über den Zustand der Konstruktion die notwendigen Erkenntnisse bringen und durch regelmäßige spezielle Untersuchungen als entsprechende Monitoring-Methoden implementiert werden. Die nachfolgend angeführten geotechnischen und geophysikalischen Prüfmethode werden nach folgenden Ge-

sichtspunkten zusammengefasst:

- überprüfbare Dammparameter
- Qualität der Ergebnisse
- Einschränkung der Verfahren
- Eignung als Verfahren für Monitoring (grün hinterlegt!)

Übersicht Geotechnische Prüfmethode für Dammparameter		Überprüfbare Dammparameter							Eignung als Verfahren für Monitoring	
		Oberfläche äußere Erosion	Schichtung	Grundwasser Stauer (je nach dessen Tiefenlage)	Bodenkennwerte	Sickerlinie (Verfahren nur im eingestauten Zustand sinnvoll)	Fremdkörper Einschlüsse	Leckagen innere Erosion (Verfahren nur im eingestauten Zustand sinnvoll)		
Direkte geotechnische Aufschlussmethoden	Geländebegehungen	detailliert überprüfbar	-	-	-	Sickerlinie bei luftseitigem Austritt deutlich abbildbar	-	Ortung bestehender Leckagen möglich	periodisches Prüfverfahren	
	Schürfe	-	Schichtverlauf darstellbar	-	direktes Aufschlußverfahren Laboruntersuchungen	-	-	-	periodisches Prüfverfahren	
	Kleinbohrung	-	Detailauflösung des Schichtverlaufs	eingeschränkt erkennbar	indirektes Aufschlußverfahren Rückschlüsse	-	-	-	-	
	Bohrungen	-	Detailauflösung des Schichtverlaufs	erkennbar	direktes Aufschlußverfahren Laboruntersuchungen	-	-	-	-	
	Grundwassermessstellen	-	-	-	-	Sickerlinie kann deutlich abgebildet werden	-	teilweises Aufspüren von Leckagen möglich	permanentes Prüfverfahren	
Indirekte Aufschlussmethoden	Rammsondierungen	leicht	-	Schichtverlauf darstellbar	eingeschränkt erkennbar	indirektes Aufschlußverfahren, Rückschlüsse auf Kennwerte durch Vergleich mit geeichten Werten	-	-	periodische Prüfverfahren	
		mittelschwer	-	Schichtverlauf darstellbar	eingeschränkt erkennbar		-	-		
		schwer	-	Schichtverlauf darstellbar	erkennbar		-	-		
		überschwer	-	Schichtverlauf darstellbar	erkennbar		-	-		
	Nutsondierungen	-	Detailauflösung des Schichtverlaufs	erkennbar	-		-	-	-	-
	Drucksondierungen	-	Schichtverlauf darstellbar	erkennbar	-		-	-	-	periodisches Prüfverfahren
	Statische Lastplattenversuche	teilweise überprüfbar	-	-	-		-	-	-	zusätzliche periodische Prüfverfahren
	Dynamische Plattendruckversuche	teilweise überprüfbar	-	-	-		-	-	-	zusätzliche periodische Prüfverfahren
	Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK)	überprüfbar	-	-	-		-	Aufschluss über ungefähre Lage	-	periodisches Prüfverfahren

Tabelle 1: Übersicht Geotechnische Dammparameter

Übersicht Geophysikalische Prüfmethoden für Dammparameter			Überprüfbare Dammparameter							
			Oberfläche äußere Erosion	Schichtung	Grundwasser Stauer (je nach dessen Tiefenlage)	Bodenkennwerte	Sickerlinie (Verfahren nur im eingestauten Zustand sinnvoll)	Fremdkörper Einschlüsse	Leckagen innere Erosion (Verfahren nur im eingestauten Zustand sinnvoll)	
Indirekte Aufschlussmethoden	Geophysikalische Untersuchungen	Geoseismik	Refraktionsseismische Verfahren	-	Detailauflösung des Schichtverlaufs	erkennbar	indirektes Aufschlußverfahren, Rückschlüsse auf Kennwerte durch Vergleich mit geeichten Werten	-	lokale Störung nicht genauer bestimmt	-
			Refraktionstomographie	-	Detailauflösung des Schichtverlaufs	eingeschränkt erkennbar		-	lokale Störung nicht genauer bestimmt	-
			Reflexionsseismische Verfahren	-	Detailauflösung des Schichtverlaufs	erkennbar		-	-	-
		Oberflächenwellenseismik	teilweise überprüfbar	Schichtverlauf darstellbar	-	-	-	lokale Störung nicht genauer bestimmt	teilweises Aufspüren von Leckagen möglich	
	Geoelektrik und Elektromagnetik	Gleichstromgeoelektrik/ Widerstandsgeoelektrik	teilweise überprüfbar	Schichtverlauf darstellbar	eingeschränkt erkennbar	indirektes Aufschlußverfahren, Rückschlüsse auf Kennwerte durch Vergleich mit geeichten Werten	Verlauf der Sickerlinie kann deutlich abgebildet werden	Aufschluss über ungefähre Lage	erlaubt Ortung bestehender sowie beginnender Leckagen	
		Kapazitive Geoelektrik	teilweise überprüfbar	Detailauflösung des Schichtverlaufs	eingeschränkt erkennbar			genauer Aufschluss über Lage, Größe und phys. Eigenschaften	Ortung bestehender Leckagen möglich	
		Eigenpotentialmethode	teilweise überprüfbar	-	eingeschränkt erkennbar			erlaubt Ortung bestehender sowie beginnender Leckagen		
		Induzierte Polarisation	teilweise überprüfbar	Schichtverlauf darstellbar	eingeschränkt erkennbar	-	Verlauf der Sickerlinie kann bereichsweise abgebildet werden	Aufschluss über ungefähre Lage	Ortung bestehender Leckagen möglich	
		Induktionsverfahren	-	mögl. Schluß auf Schichtung	-	-	-	Aufschluss über ungefähre Lage	teilweises Aufspüren von Leckagen möglich	
		Radiomagnetotellurik	-	mögl. Schluß auf Schichtung	-	-	-	lokale Störung nicht genauer bestimmt	-	
		TDR Time-domain-Reflectometry	-	-	-	-	-	neben Sickerlinie auch Feuchteverteilung und Filtergeschwindigkeit im Stützkörper meßbar	-	Ortung bestehender Leckagen möglich

Tabelle 2: Übersicht Geophysikalische Dammparameter (1)

Übersicht Geophysikalische Prüfmethoden für Dammparameter			Überprüfbare Dammparameter						
			Oberfläche äußere Erosion	Schichtung	Grundwasser Stauer (je nach dessen Tiefenlage)	Bodenkennwerte	Sickerlinie (Verfahren nur im eingestauten Zustand sinnvoll)	Fremdkörper Einschlüsse	Leckagen innere Erosion (Verfahren nur im eingestauten Zustand sinnvoll)
Indirekte Aufschlussmethoden	Geophysikalische Untersuchungen	Bodenradar	teilweise überprüfbar	Detailauflösung des Schichtverlaufs	eingeschränkt erkennbar	-	-	genauer Aufschluss über Lage, Größe und phys. Eigenschaften des Fremdkörpers	Ortung bestehender Leckagen möglich
		Gravimetrie	teilweise überprüfbar	Detailauflösung des Schichtverlaufs	eingeschränkt erkennbar	indirektes Aufschlußverfahren, Rückschlüsse auf Kennwerte durch Vergleich mit geeichten Werten	-		Ortung bestehender Leckagen möglich
		Geomagnetik	-	-	-	-	-	-	-
	Geothermik	Konventionelle Temperaturmessungen	-	-	-	-	Verlauf der Sickerlinie kann deutlich abgebildet werden	-	erlaubt die Ortung bestehender sowie beginnender Leckagen
		Faseroptische Temperaturmessungen	-	-	-	-	neben Sickerlinie auch Feuchteverteilung und Filtergeschwindigkeit im Stützkörper meßbar	-	
		Oberflächentemperaturmessung	-	-	-	-	Verlauf der Sickerlinie kann bereichsweise abgebildet werden	-	

Tabelle 3: Übersicht Geophysikalische Dammparameter (2)

Übersicht Geotechnische Prüfmethoden Ergebnisse		Ergebnisse			Eignung als Verfahren für Monitoring		
		Ortsgenauigkeit der Ergebnisse	Zeitaufwand für die Auswertung (Vorbereitung - Endergebnis)	Art des Ergebnisses			
Direkte geotechnische Aufschlussmethoden	Geländebegehungen		<0,3m bzw. detailliert	Ergebnis kurz nach Durchführung	Überblick	periodisches Prüfverfahren	
	Schürfe		<0,3m bzw. detailliert	es werden mehrere Tage bis zur Vorlage des Endergebnisses benötigt	Ungestörte Probe, Schichtung, Punkt	periodisches Prüfverfahren	
	Kleinbohrung		<0,3m bzw. detailliert		Gestörte Probe; Schichtung, Punkt	-	
	Bohrungen		<0,3m bzw. detailliert		Ungestörte Probe; Schichtung, Punkt	-	
	Grundwassermessstellen		<0,3m bzw. detailliert		Wasserspiegel, Punkt	permanentes Prüfverfahren	
Indirekte Aufschlussmethoden	indirekte geotechnische Aufschlussmethoden	Rammsondierungen	leicht	<0,6m bzw. ausreichend	es werden wenige Tage bis zur Vorlage des Endergebnisses benötigt	Schichtung, Punkt	periodische Prüfverfahren
			mittelschwer				
			schwer				
			überschwer				
	Nutsondierungen		<0,3m bzw. detailliert	Ergebnis kurz nach Durchführung	Tragfähigkeit, Punkt	-	
	Drucksondierungen		<0,6m bzw. ausreichend			periodisches Prüfverfahren	
	Statische Lastplattenversuche		<0,6m bzw. ausreichend	Ergebnis kurz nach Durchführung	Tragfähigkeit, Punkt	zusätzliche periodische Prüfverfahren	
	Dynamische Lastplattenversuche		<0,6m bzw. ausreichend			periodisches Prüfverfahren	
	Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK)		<0,6m bzw. ausreichend	wenige Tage	Verdichtung, Räuml.	periodisches Prüfverfahren	

Tabelle 4: Übersicht Geotechnische Prüfmethoden - Ergebnisse

Übersicht Geophysikalische Prüfmethoden Ergebnisse				Ergebnisse			Eignung als Verfahren für Monitoring
				Ortsgenauigkeit der Ergebnisse	Zeitaufwand für die Auswertung (Vorbereitung - Endergebnis)	Art des Ergebnisses	
Indirekte Aufschlussmethoden	Geophysikalische Untersuchungen	Geoseismik	Refraktionsseismische Verfahren	<0,6m bzw. ausreichend	es werde mehrere Tage bis zur Vorlage des Endergebnisses benötigt	Schichtung (räuml.); Grundwasser; geomechanische Kenngrößen	-
			Refraktionstomographie	<0,6m bzw. ausreichend			-
			Reflexionsseismische Verfahren	<1,0m bzw. gering			-
			Oberflächenwellenseismik	<0,6m bzw. ausreichend			zusätzliches periodisches Prüfverfahren
		Geelektrik und Elektromagnetik	Gleichstromgeoelektrik/ Widerstandsgeoelektrik	<0,6m bzw. ausreichend	es werden mehrere Tage bis zur Vorlage des Endergebnisses benötigt	Elektromagnetischer Widerstand, Schichtung (räuml.), Tongehalt, Grundwasser	periodische Prüfverfahren
			Kapazitive Geoelektrik	<0,3m bzw. detailliert			zusätzliches periodisches Prüfverfahren
			Eigenpotentialmethode	<0,6m bzw. ausreichend			-
			Induzierte Polarisation	<0,6m bzw. ausreichend			-
			Induktionsverfahren	<1,0m bzw. gering	Ergebnis kurz nach Durchführung	-	
			Radiomagnetotellurik		wenige Tage	-	
			TDR Time-domain-Reflectometry		wenige Tage	permanentes Prüfverfahren	
			Bodenradar	<0,6m bzw. ausreichend	wenige Tage	Schichtung, (räuml.)	periodisches Prüfverfahren
		Gravimetrie	<0,6m bzw. ausreichend	wenige Tage	Stoffdichte; Schichtung, (räuml.)	periodisches Prüfverfahren	
		Geomagnetik	<0,3m bzw. detailliert	wenige Tage	Magnetfelder - Fremdkörper	-	
		Geothermik	Konventionelle Temperaturmessungen	<0,3m bzw. detailliert	Ergebnis kurz nach Durchführung	Temperatur, Punkt/Linie	permanente Prüfverfahren
			Faseroptische Temperaturmessungen		wenige Tage	Temperatur, Filtergeschw. Linie	
			Oberflächentemperaturmessung		Ergebnis kurz nach Durchführung	Oberflächentemperatur	

Tabelle 5: Übersicht Geophysikalische Prüfmethoden - Ergebnisse

Übersicht Geotechnische Prüfmethoden Einschränkung der Verfahren Besondere Vor- und Nachteile		Einschränkungen der Verfahren						Besondere Vor- und Nachteile		
		Aufschlusstiefe [m]	Grundwasser-Empfindlichkeit	Fremdeinfluss-Empfindlichkeit	Fremdkörper-Empfindlichkeit	Erreichbarkeit (Eignung der Zufahrt für..)	Bodenspezifische Einschränkungen			
Direkte geotechnische Aufschlussmethoden	Geländebegehungen		nur oberflächlich	-	-	-	-	-		
	Schürfe		5	Fehlmessungen bei hohem Wassergehalt	-	-	schweres Baugerät	Nicht standfeste Böden	-	
	Kleinbohrung		15	-	-	gegeben, kann aber gänzlich kompensiert werden	PKW	Verhältnis Größtkorn zu Bohrl Lochdurchmesser	-	
	Bohrungen		30	-	-	-	LKW	-	-	
	Grundwassermessstellen		-	-	-	-	LKW	-	Fix installiert, kann versanden	
Indirekte Aufschlussmethoden	indirekte geotechnische Aufschlussmethoden	Rammsondierungen	leicht	5	-	-	erheblich, kann aber größtenteils kompensiert werden	-	mit steigender Lagerungsdichte bzw. Steifigkeit (und je leichter das Gerät) sinkt die Einsetzbarkeit	Tragbar
			mittelschwer	20	-	-	gegeben, kann aber gänzlich kompensiert werden	PKW		-
			schwer	-	-	-		LKW		-
			überschwer	-	-	-				-
		Nutsondierungen		15	nur bis GW-Spiegel messbar	-	gegeben, kann aber gänzlich kompensiert werden	LKW	Verh. Größtkorn zu Nutweite, Nicht standfeste Böden	Probenentnahme (gestört)
		Drucksondierungen		15	-	-			halb feste Böden, nicht locker gelagerte Sande und Kiese	-
		Statische Lastplattenversuche		0,6	nur bis GW-Spiegel messbar	-	-	-	-	-
		Dynamische Lastplattenversuche		0,6	nur bis GW-Spiegel messbar	-	-	LKW	-	Tragbar
		Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK)		2	-	-	-	schweres Baugerät	Unbefestigte Dammkrone	benötigt Ebenes Planum

Tabelle 6: Übersicht Geotechnische Prüfmethoden - Einschränkung der Verfahren/besondere Vor- und Nachteile

Übersicht Geophysikalische Prüfmethoden Einschränkung der Verfahren Besondere Vor- und Nachteile		Einschränkungen der Verfahren						Besondere Vor- und Nachteile		
		Aufschlussstiefe [m]	Grundwasser-Empfindlichkeit	Fremdeinfluss-Empfindlichkeit	Fremdkörper-Empfindlichkeit	Erreichbarkeit (Eignung der Zufahrt für..)	Bodenspezifische Einschränkungen			
Indirekte Aufschlussmethoden	Geoseismik	Refraktionsseismische Verfahren	30	-	gegeben, kann aber gänzlich kompensiert werden	-	-	Dünne Schichten werden nicht erkannt	Messtiefe ab ca. 20 Meter abwärts	
		Refraktionstomographie	20	-		-	-		Messtiefe ab ca. 20 Meter abwärts	
		Reflexionsseismische Verfahren	30	-	-	-	-			
		Oberflächenwellenseismik	20	ab GW-Spiegel drastisch absinkende Qualität	externer Einfluß kann großteils kompensiert werden	-	-	-		
	Geoelektrik und Elektromagnetik	Gleichstromgeoelektrik/ Widerstandsgeoelektrik	20	nur bis GW-Spiegel messbar	gegeben, kann aber gänzlich kompensiert werden	erheblich, kann aber großteils kompensiert werden	-	-	-	
		Kapazitive Geoelektrik	6			-	-	-	-	
		Eigenpotentialmethode	10			-	-	-	-	
		Induzierte Polarisation	7		ext. Einfluß kann großteils kompensiert werden	-	-	-	Tonminerale deutlich erkennbar	
		Induktionsverfahren	5		Einfluß externer. elmag. Felder erheblich, kaum kompensierbar	erheblich, kann aber großteils kompensiert werden	-	-	-	Tragbar
		Radiomagnetotellurik	3			erheblich, kann kaum kompensiert werden	-	-	-	Tragbar
		TDR Time-domain-Reflectometry	-		ab GW-Spiegel drastisch absinkende Qualität	-	-	-	-	-
	Bodenradar	20	-	-		-	-	-	Tragbar	
	Gravimetrie	20	Fehlmessungen bei hohem Wassergehalt	-	erheblich, kann aber großteils kompensiert werden	PKW	-	-		
	Geomagnetik	20	-	-	-	-	-	-	Tragbar	
	Geothermik	Konventionelle Temperaturmessungen	-	-	gegeben, aber gänzlich kompensierbar	-	-	-	-	Fix installiert
		Faseroptische Temperaturmessungen	-	-	-	-	-	-	-	Fix installiert
		Oberflächentemperaturmessung	-	-	gegeben, aber gänzlich kompensierbar	-	-	-	-	Tragbar (Fahrzeug, Flugzeug)

Tabelle 7: Übersicht Geophysikalische Prüfmethoden - Einschränkung der Verfahren/besondere Vor- und Nachteile

E praktikable Anleitung für den Entwurf von Monitoringeinrichtungen

Ausgehend von den jährlichen Kontrollen am Bauwerk bzw. von Kontrollen nach jedem Hochwasserereignis durch das Dammaufsichtspersonal ist als erste Stufe

zur Einführung eines Monitoringsystems eine globale und systematische Bestandsaufnahme der vorhandenen Dokumente und Daten vorzunehmen (»Vorerkundung«), gefolgt von der »Haupterkundung«, die letztlich die notwendigen Grundlagen für den Entwurf von Monitoringeinrichtungen liefern soll.

Schritt 1 - Vorerkundung:

Zielsetzung:

Basisinformationen über Topographie, Funktionalität, die geotechnischen und hydrologischen Grundlagen, Wasserstände, Kunstbauwerke, etc.

Checkliste Basisinformationen - Vorerkundung	Unterlagen vorhanden	nicht vorhanden	Aussagekraft der Unterlagen	
			ausreichend	nicht ausreichend
geodätische Vermessungen				
Luftbilddaufnahmen				
Bautechnisches Archivmaterial, Baupläne, Bescheide				
geologische Karten - geotechnische Vorerkundungen - bestehende Aufschlüsse				
Kenntnisse über die Bauweise (Einsatz von Geotextilien, etc.)				
Kenntnisse über die Befestigung der wasserseitigen Böschung				
Kenntnisse über die Entwässerungssysteme, Pumpwerke, Siele, etc.				
Querungsbauwerke, Durchlaßbauwerke, etc.				
aktuelle hydraulische Berechnungen (Wasserspiegellagen)				
Freibordhöhe, Böschungsneigungen, Bermen, usw.				
Befahrbarkeit von Böschungen, Dammkronen, Rampen, Überfahrten				
Querung von Leitungen - Absperrvorrichtungen				
Betriebsordnung - Hochwasserentlastung - Polder				
Vorgaben Landschaftsplanung, Ökologie				
Bepflanzung, Oberflächenbefestigung, Abwehr gegen Wühltiere				
Angaben über möglichen Befall durch Biber, Wühlmäuse, etc.				
Bewirtschaftung der Böschungen/Art der Instandhaltung				
Dokumentationen über Dammverteidigungsmaßnahmen, Relikte etc.				
Dokumentationen über spezielle Örtliche Erfahrungen				
Dokumentationen über Geländebegehungen				

Schritt 2 - Haupterkundung:**Zielsetzung:**

Bewertung der Erkenntnisse aus der Vorerkundung - Aufzeigen allfälliger Defizite, fachliche Zuordnung und Festlegen eines zielgerichteten Untersuchungsprogramms zur Zustandsbewertung der Dämme (allen-

falls unter Beiziehung von sachkundigen Fachleuten), protokollierte Geländebegehungen durchsachkundige Fachkräfte.

Aus dem Ergebnis dieser ergänzenden Untersuchungen sollten die Eigenschaften und die Funktionen des Bauwerks vollständig ablesbar sein, sodaß für die weitere Überwachung und Instandhaltung der Hoch-

wasserschutzanlage die notwendigen Informationen eindeutig dokumentiert sind.

Mindestanforderung an Informationen als Basis für den Entwurf von Monitoringeinrichtungen:

Checkliste Zustandsbewertung Dammstrecke - Hauptprüfung	vorhanden	nicht vorhanden	Aussagekraft der Unterlagen	
			ausreichend	nicht ausreichend
geodätische Vermessungen				
Luftbilddaufnahmen				
Bautechnisches Archivmaterial, Baupläne, Bescheide				
geologische Karten - geotechnische Vorerkundungen - bestehende Aufschlüsse				
Ergebnisse aus bodenphysikalische Laboruntersuchungen*)				
Kenntnisse über die Bauweise (Einsatz von Geotextilien, etc.)				
Kenntnisse über die Befestigung der wasserseitigen Böschung				
Kenntnisse über die Entwässerungssysteme				
aktuelle hydraulische Berechnungen (Wasserspiegellagen)				
Kenntnisse über die Befahrbarkeit von Böschungen, Dammkronen, Rampen, Überfahrten				
Betriebsordnung				
Dokumentationen über spezielle Örtliche Erfahrungen				
Dokumentationen über Geländebegehungen				

*) Anforderungen siehe nächste Seite

Schritt 3 - Geländebegehung:**Wesentliche Anforderungen an die Aussagekraft der Geländebegehungen**

Anhand von Geländebegehungen sollten zu nachstehenden Phänomenen nachvollziehbare (lokal zugeordnete) Aufzeichnungen erfolgen, die allenfalls durch eine geeignete Fotodokumentation zu hinterlegen wären.

Checkliste Zustandsbewertung Dammstrecke - Hauptprüfung		vorhanden	nicht vorhanden
	Erosion (Anrisse, Abbrüche, Ausspülungen, Spalten, ...)		
	Feuchtstellen oder Vernässungen (Auftreten Nässe anzeigender Pflanzen)		
	Setzungen der Dammkrone		
	Wasseraustritte		
	ausgeschwemmtes Dammmaterial		
	beschädigte Dammkrone		
	fehlende Grasnabe		
	Schädigungen durch Bewuchs (große Bäume, Tiefwurzler)		
	Wühltierbefall generell (Biber, Bisam, Wühlmäuse, Maulwurf, etc.) - insbesondere => Tierbauten (Gänge, Löcher)		
	Verformungen an Böschungen oder Krone (Mulden, Sackungen)		
	angeschwemmtes Treibgut		
Phänomene an Kunstbauwerken im/am Damm oder durch den Damm			
	klaffende Fugen an Einbauten		
	Setzungen oder Verkantungen von Einbauten		
	Feuchtstellen oder Vernässungen (Auftreten Nässe anzeigender Pflanzen)		
	Wasseraustritte neben Kunstbauten		
	behinderte Vorflut in Ableitungsgräben (einschließlich Rechenanlagen)		
	Setzungen		
	Verformungen		
	Verkantungen (Schiefstellungen)		
	Beschädigungen (Risse, Abplatzungen)		
	Beschädigung des Dränsystems		
	angeschwemmtes Treibgut - Verkläungsgefahr		

Schritt 4 - Festlegung des bodenphysikalischen Untersuchungsprogramms:**Wesentliche Anforderungen an die Aussagekraft der bodenphysikalischen Kennwerte**

Sollten nur unzureichende Angaben zu den bodenphysikalischen Kennwerten vorhanden sein, die eine statische Nachrechnung der Standsicherheit des Dammes, Böschungsbruch, Durchsickerungsberechnung, etc. nicht erlauben, so ist ein gezieltes Erkundungsprogramm zu erarbeiten, sodaß die Voraussetzungen für eine Aussage über die globale Stabilität der Konstruktion abgegeben werden kann (Geotechnisches Gutachten).

Das Untersuchungsprogramm sollte die geeigneten Proben (gestört bzw. ungestört) zu Tage fördern, die dann durch Laborversuche hinsichtlich verwertbarer bodenmechanischer Kennwerte analysiert werden und

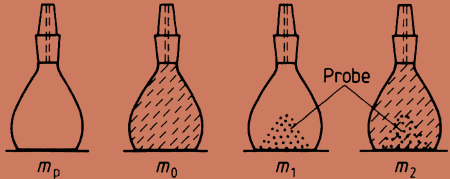
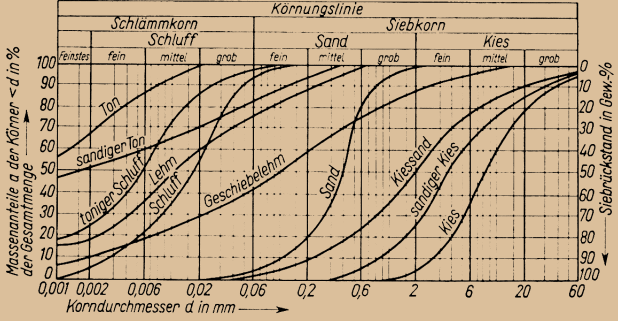
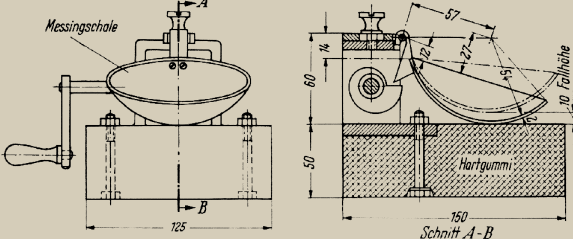
schließlich bei den erdstatischen Untersuchungen als Eingangswerte dienen:

Auswertung von Bodenproben durch bodenphysikalische Laborversuche [10]

Bestimmung der Eigenschaften der Proben hinsichtlich:

- **Wassergehalt**
- **Korndichte**
- **Kornverteilung**
- **Konsistenzgrenzen**
- **Schrumpfgrenze**
- **Druckfestigkeit**
- **Raumgewicht**
- **Zusammendrückbarkeit**
- **Wasserdurchlässigkeit**
- **Scherfestigkeit**

In der nachfolgenden Zusammenstellung wird ein Überblick über die Verfahren und Ergebnisse solcher Laborversuche gegeben [10], [13].

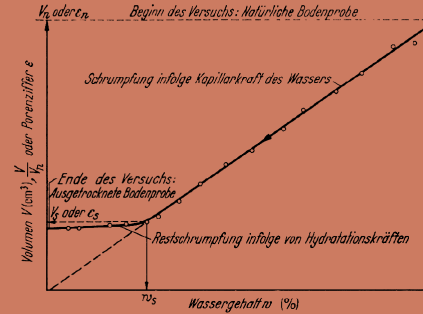
bodenmechanischer Kennwert	Verfahren [10], [13].	Ergebnis
Wassergehalt	Wägung - feucht/trocken	W_n [%]
Korndichte	Kapillarpyknometer (schematisch) 	ρ_s [kN/m ³]
Kornverteilung	Siebeanalyse Schlammanalyse 	Bodenklassifizierung bindige und nichtbindige Böden
Bestimmung von Konsistenzgrenz Fließgrenze	Fließgrenzengerät nach A. Casagrande (Schultze/Muhs, 1967) 	Wassergehalt w_f [%] Schließen genormter Furche nach best. Anzahl Schlägen
Plastizitätsgrenze (Ausrollgrenze) davon abgeleitet Plastizitätszahl I_p Konsistenzzahl I_c	Die Plastizitätsgrenze ist durch denjenigen Wassergehalt definiert, bei dem die 3 mm dicken Bodenröllchen beginnen zu zerbröckeln. Kennzeichnend für die Einbaubarkeit, Verdichtungsfähigkeit	Wassergehalt Ausrollgrenze W_p [%] (früher W_a) $I_p = (w_f - w_a)$ $I_c = (w_f - w) / I_p$

bodenmechanischer Kennwert

Schrumpfgrenze

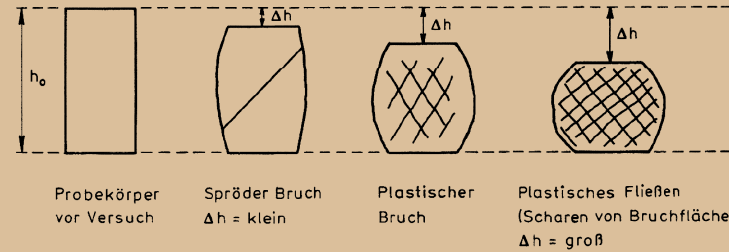
Verfahren [10], [13].

Ermittlung der Schrumpfgrenze w_s (Schultze/Muhs, 1967)



einaxialer Druckversuch

zylindrische Probe (Regelfall: $h : d = 1 : 2$)
konstante Verformungsgeschwindigkeit
zentrisch in vertikaler Richtung belastet.



Ergebnis

Wassergehalt w_s [%]

bindiger Boden - keine weitere Volumenänderung durch Austrocknung

Der Höchstwert der einaxialen Druckspannung = Quotient der Druckkraft zur maßgeblichen Querschnittsfläche der Probe.

Raumgewicht

Dichte ρ [kN/m³]
Wichte γ [g/cm³]

Bodenart		Verfahren	
		gut geeignet	ungeeignet
bindige Böden	ohne Kieskorn	Ausstechzylinder-Verfahren	keine
	mit Kieskorn	alle Ersatz- und Meßkörper-Verfahren	Ausstechzylinder-Verfahren
nicht bindige Böden	Fein- bis Mittelsande	Ausstechzylinder-Verfahren	Meßkörper-Verfahren
	Kies-Sand-Gemische	alle Ersatz-Verfahren	Ausstechzylinder- und Meßkörper-Verfahren
	sandarme Kiese	alle Ersatz-Verfahren (nach flacher Mühlde)	
Böden mit Steinen und Blöcken		Schürfruben und Schüttkörper-Verfahren	alle anderen Verfahren

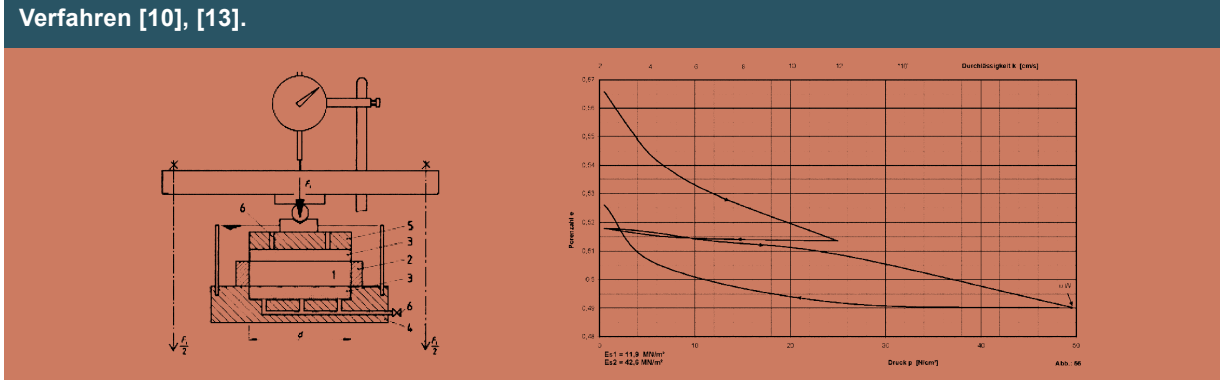
Anmerkung: Die Anwendbarkeit der Verfahren bei weichen bindigen Böden und bei locker gelagerten nicht bindigen Böden kann in Frage gestellt sein.

Dichte des feuchten Bodens [kN/m³]
Bestimmung der Wichte [g/cm³]

bodenmechanischer Kennwert

Zusammendrückbarkeit

Kompressionsversuch (Ödometer)



Ergebnis

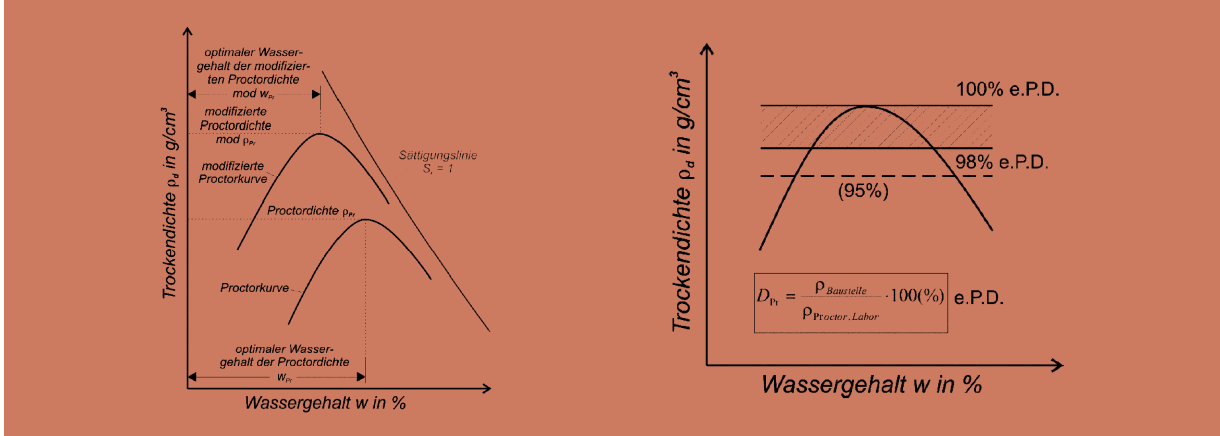
Veränderung der Größe der Zusammendrückung

Ableitung von:
 Steifemodul.
 Zeit-Setzungslinien
 Sackungs- und Schwellungsverhalten
 Durchlässigkeit.

Verdichtbarkeit - Proctorversuch

einfacher Proctorversuch:
 $W = 0,6 \text{ MNm/m}^3$

volumenbezogene Verdichtungsarbeit modifizierter Proctorversuch:
 $W = 2,75 \text{ MNm/m}^3$



stufenweise Steigerung der Feuchtigkeit ergibt die maximale Lagerungsdichte

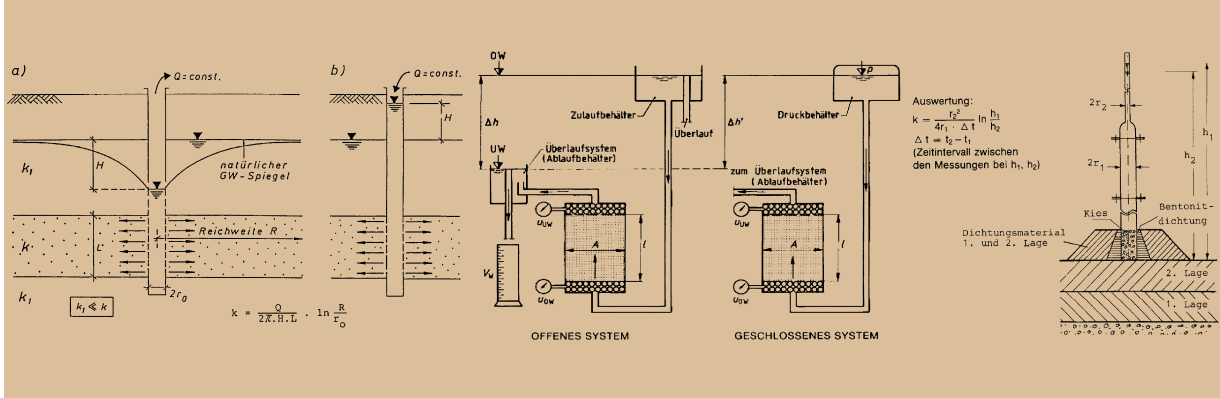
$\gamma_{\text{opt}} = 100\% \text{ Proctor}$

Nachweis der Eignung z.B. für das Dammmaterial

Wasserdurchlässigkeit der Böden

Labormethoden, Feldmethoden

Pumpversuche, Versickerungsversuche [15]



hydraulisches Gefälle $i = h/l$ [1]

Durchlässigkeitsbeiwert k [m/s]

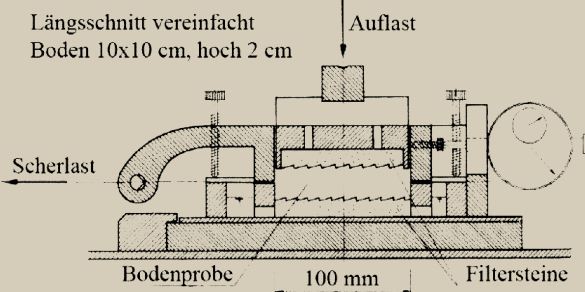
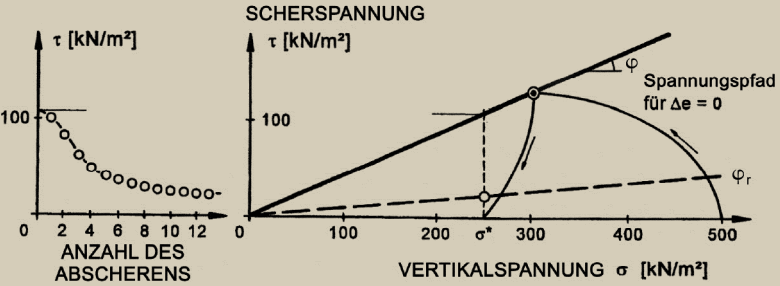
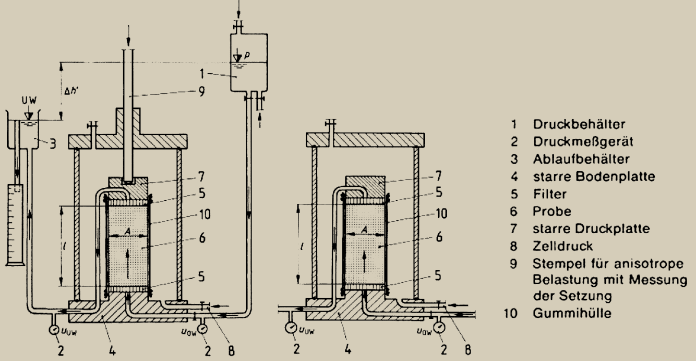
bodenmechanischer Kennwert	Verfahren [10], [13].	Ergebnis
<p>Scherfestigkeit</p> <p>Rahmenschersversuch drainiert oder undrainiert, schnell oder langsam an ungestörten oder gestörten Proben (homogenisiert)</p>	 <p>Längsschnitt vereinfacht Boden 10x10 cm, hoch 2 cm</p> <p>Auflast</p> <p>Scherlast</p> <p>Bodenprobe 100 mm</p> <p>Filtersteine</p>	<p>Bestimmung des Reibungswinkels φ</p>
<p>Wiener Routineschersversuch</p> <p>langsamer Scherversuch schneller Scherversuch (mehrmaliges Hin- und Herscheren)</p>	 <p>SCHERSPANNUNG</p> <p>τ [kN/m²]</p> <p>ANZAHL DES ABSCHERENS</p> <p>VERTIKALSPANNUNG σ [kN/m²]</p> <p>Spannungspfad für $\Delta e = 0$</p> <p>φ</p> <p>φ_r</p>	<p>Bestimmung des Reibungswinkels φ und des Restscherswinkels φ_r (Restscherfestigkeit)</p>
<p>Triaxialversuch</p> <p>Untersuchung von feinkörnigen Bodeproben im ungestörten Zustand mit allseitigem Druck belastet drainiert oder undrainiert konsolidiert oder unkonsolidiert</p>	 <ol style="list-style-type: none"> 1 Druckbehälter 2 Druckmeßgerät 3 Ablaufbehälter 4 starre Bodenplatte 5 Filter 6 Probe 7 starre Druckplatte 8 Zeldruck 9 Stempel für anisotrope Belastung mit Messung der Setzung 10 Gummihülle 	<p>Bestimmung des Reibungswinkels φ und der Kohäsion [kN/m²]</p>

Abb. 30: Verfahren und Ergebnisse Laborversuche [10], [13]

Schritt 5 - Festlegung adäquater Monitoringeinrichtungen

5.1 Kritische Beurteilung der Ergebnisse und Erfahrungen aus den Erkundungen

Nach Absolvierung der Schritte 1 bis 4, nämlich

- Schritt 1 - Vorerkundung
- Schritt 2 - Haupterkundung (geotechnische/geophysikalische Untersuchungen)
- Schritt 3 - Geländebegehung - Dokumentation Schadensbilder
- Schritt 4 - Auswertung der bodenphysikalischen Untersuchungen

erfolgt das kritische Sichten sämtlicher Ergebnisse, wobei auch die Erkenntnisse aus dem Einsatz der Prüfmethode bei den spezifischen Untersuchungen für die Auswahl der zukünftigen Monitoringverfahren ausschlaggebend sind (Relevanz der Ergebnisse, Verfügbarkeit der Instrumentarien bzw. des Fachpersonals, Kosten im Vergleich zur Aussagekraft, etc.).

5.2 Festlegung der fachlichen Betreuung

Um die Ergebnisse der Hauptuntersuchungen (Geotechnisches Gutachten mit entsprechenden Empfehlungen) weiter zu verarbeiten, sollte ein Fachmann zu Rate gezogen werden, der auch zukünftig die geotechnische und hydrologische Betreuung und die Interpretation der Daten und Erkenntnisse wahrnehmen kann und wird. Speziell die Fragen zur Dammschadensstabilität setzen ein hohes Maß an Ortskenntnis und Erfahrung mit dem gegenständlichen Bauwerk voraus, sodaß ein (häufiger) Wechsel dieses Fachmannes als nicht zweckdienlich anzusehen ist.

Dieser kundige Fachmann kann zumeist auch in Sonderfragen Entscheidungshilfen für die notwendige Konsultation von Sachverständigen oder Fachfirmen oder Instituten für Sonderuntersuchungen etc. vorbereiten und die zielgerichteten Angaben bzw. Anfragen formulieren.

5.3 Festlegung des Umfangs und der Art der Beobachtungen

Die Festlegung des Umfangs und der Art der Beobachtungen (lokal, terminlich, spartenweise etc.) ist anhand der Empfehlungen des Geotechnischen Gutachtens gemeinsam mit dem »Begutachtenden Fachmann« vorzunehmen. Die Reihenfolge der Maßnahmen ist einerseits von der Einschätzung des bestehenden Risikos für das Bauwerk einschließlich dem damit verbundenen Schadenspotential abhängig, andererseits erlauben die zur Verfügung stehenden budgetären Mittel oft nur eine etappenweise Instandsetzung des mangelhaften Dammbauwerks.

Die Dringlichkeitseinstufung (unter Beachtung von Gefahren- und Risikokarten, soweit verfügbar) der notwendigen Maßnahmen ist daher im Einvernehmen mit dem geotechnischen Gutachter und den Verantwortlichen für die Funktionstüchtigkeit der Anlage (»Erhaltungsverpflichtete«) vorzunehmen. Dafür wird es auch notwendig sein, eine möglichst exakte Kostenvorschau über die individuellen Bau- bzw. Sanierungsmaßnahmen zu erstellen, was allenfalls durch einen gesonderten Projektierungsauftrag samt Grobkostenschätzung abgedeckt werden sollte.

Die auf den Zeitplan der möglichen Realisierung von Sanierungsprojekten abgestimmte lokale, terminliche und inhaltliche Definition der regelmäßigen Untersu-

chungen (»Zustandsmonitoring«) sollte dabei in einem Balkendiagramm (»Prüfplan«) sowie im Übersichtslageplan systematisch festgehalten werden.

5.4 Mindestanforderungen an die Dammbesichtigungen

Als Mindestanforderungen für die Dammbesichtigungen kann auf die Regelungen der RVS für die »Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten« (RVS 13.03. insbesondere Brücken, Ankerwände, etc.) zurückgegriffen werden, die eine laufende Überwachung bzw. regelmäßige Kontrollen (alle 2 Jahre) durch Vertreter des Erhaltungsverpflichteten und eine periodische Prüfung (spätestens alle 6 Jahre) durch einen unabhängigen Fachmann vorsehen:

Das zeitliche Intervall für die laufende Überwachung bzw. die regelmäßigen Kontrollen sollten wie folgt gewählt werden:

- **Hochwasserschutzdämme sollten mindestens einmal im Jahr begangen werden**
- **darüber hinaus sind nach jedem Hochwasser Kontrollen durchzuführen**

Ergänzend hierzu wäre die Vorgangsweise der RVS hinsichtlich der Prüfung durch einen unabhängigen Fachmann nach spätestens 6 Jahren zu empfehlen, ebenso eine Prüfung nach Hochwasserereignissen mit substantiellen Schadensfolgen. Hierbei wäre zeitgleich eine Kontrolle der Höhenlage der Dammkrone durch ein Nivellement zweckmäßig. Sinnvollerweise sollte die Prüfung samt Interpretation der Ergebnisse durch den »berufenen Fachmann«, der mit der Anlage vertraut ist, vorgenommen werden.

Die RVS sieht vor, daß die Feststellungen bei der Prüfung in einem abschließenden Befund (Gutachten) zusammengefasst und Aussagen zu folgenden Kriterien vorgelegt werden:

- die Funktionsfähigkeit und Belastbarkeit des Objektes im bisherigen Umfang (lt. Konsens)
- erforderliche Maßnahmen aus Gründen der Sicherheit (mit Terminangabe)
- erforderliche Maßnahmen aus Gründen der Dauerhaftigkeit (mit Terminangabe)
- empfohlene Maßnahmen
- besondere Prüfanweisungen für die Kontrolle
- durchzuführende Sonderprüfungen
- Jahr der nächsten Prüfung

Voraussetzung für alle Kontrollen und Prüfungen ist die ordnungsgemäße Wartung der Anlagen, insbesondere die Rodung und das Mähen der Dammlächen vor dem Prüfeinsatz.

5.5 Für das Monitoring von Dämmen geeignete Verfahren [10]

In den nachstehenden Übersichten werden jene geotechnischen und geophysikalischen Prüfmethode zusammengefasst, die für ein Monitoring von Dämmen geeignet sind.

Bei der Auswahl der Methoden ist wie folgt zu unterscheiden:

»permanente« - »periodische« - »zusätzliche periodische« Prüfmethode

Die »**Monitoringmethode Ortsbegehung**« steht allgemein über den speziellen Untersuchungsformen und wird hier nicht näher behandelt (siehe Kapitel C).

Übersicht Geotechnische und Geophysikalische Prüfmethode für Dammparameter			Eignung als Verfahren für Monitoring		
Indirekte Aufschlussmethoden	Direkte geotechnische Aufschlussmethoden	Geländebegehungen	periodisches Prüfverfahren		
		Schürfe	periodisches Prüfverfahren		
		Grundwassermessstellen	permanentes Prüfverfahren		
	Indirekte Aufschlussmethoden	indirekte geotechnische Aufschlussmethoden	Rammsondierungen	leicht	periodische Prüfverfahren
				mittelschwer	
				schwer	
				überschwer	
			Drucksondierungen	periodisches Prüfverfahren	
			Statische Lastplattenversuche	zusätzliche periodische Prüfverfahren	
		Dynamische Plattendruckversuche	periodisches Prüfverfahren		
Geophysikalische Untersuchungen		Geoelektrik und Elektromagnetik	Gleichstromgeoelektrik/Widerstandsgeoelektrik	periodische Prüfverfahren	
			Kapazitive Geoelektrik		
		Eigenpotentialmethode			
	Induzierte Polarisation	zusätzliches periodisches Prüfverfahren			
Geothermik	Geoelektrik und Elektromagnetik	TDR Time-domain-Reflectometry	permanentes Prüfverfahren		
		Bodenradar	periodisches Prüfverfahren		
		Gravimetrie	periodisches Prüfverfahren		
		Konventionelle Temperaturmessungen	permanente Prüfverfahren		
Faseroptische Temperaturmessungen					
Oberflächentemperaturmessung					

Tabelle 8: Übersicht Geotechnische und Geophysikalische Prüfmethode für Dammparameter

permanente Prüfmethode für Dammparameter			Eignung als Verfahren für Monitoring	
Indirekte Aufschlussmethoden	Geophysikalische Untersuchungen	Geoelektrik und Elektromagnetik	Grundwassermessstellen	permanente Prüfverfahren
		Geoelektrik und Elektromagnetik	TDR Time-domain-Reflectometry	
			Konventionelle Temperaturmessungen	
			Faseroptische Temperaturmessungen	
		Oberflächentemperaturmessung		

periodische Prüfmethode für Dammparameter			Eignung als Verfahren für Monitoring	
Indirekte Aufschlussmethoden	Direkte geotechnische Aufschlussmethoden	Geländebegehungen	periodische Prüfverfahren	
		Schürfe		
	indirekte geotechnische Aufschlussmethoden	Rammsondierungen		leicht
				mittelschwer
				schwer
				überschwer
	Drucksondierungen	periodisches Prüfverfahren		
	Geophysikalische Untersuchungen	Geoelektrik und Elektromagnetik		Gleichstromgeoelektrik/Widerstandsgeoelektrik
				Kapazitive Geoelektrik
				Eigenpotentialmethode
Bodenradar				
Gravimetrie				

zusätzliche periodische Prüfmethode für Dammparameter			Eignung als Verfahren für Monitoring
Indirekte Aufschlussmethoden	indirekte geotechnische Aufschlussmethoden	Statische Lastplattenversuche	zusätzliche periodische Prüfverfahren
		Dynamische Plattendruckversuche	
	Geoelektrik und Elektromagnetik	Oberflächenwellenseismik	
		Induzierte Polarisation	

Tabelle 9: Zusammenfassung permanente - periodische und zusätzliche periodische Prüfmethode

permanente Prüfmethode

Wie aus der zusammenfassenden Übersicht erkennbar, bleiben neben der Beobachtung von **Grundwassermessstellen** als geotechnische Prüfmethode insgesamt vier Methoden der Geophysik zur Disposition. Mit den Methoden der **Geophysik** kann im wesentlichen eine **gezielte lokale Beobachtung der Sickerlinie und allfälliger Leckagen** erzielt werden.

periodische Prüfmethode

Wie aus der zusammenfassenden Übersicht erkennbar, sind als »permanente« Prüfmethode neben der **»Monitoringmethode Ortsbegehung«** noch **Schürfe, Rammsondierungen und Drucksondierungen** von Relevanz für anlaßbezogene lokale Erkundungen des Dammkörpers. Mit Hilfe der fünf Methoden der **Geophysik** können im wesentlichen gezielte Beobachtungen der **Sickerlinie**, allfälliger **Leckagen** und im Anlaßfall die **Ortung von Fremdkörpern** im Dammkörper durchgeführt und/oder **lokale Erkenntnisse über den Schichtverlauf** gewonnen werden.

zusätzliche periodische Prüfmethode

Die beiden **geotechnischen Verfahren** dienen im Wesentlichen zur Untersuchung des Dammkörpers im Hinblick auf **oberflächennahe Erosion**, die beiden **geophysikalischen Methoden** können als Ergänzung/Abgleich der sonstigen Verfahren zum **Aufspüren von Erosionen, Schichtverlauf, lokale Störungen und Leckagen** herangezogen werden.

5.6 Auswahl von geeigneten Verfahren für das Monitoring von Dämmen [10]

Die Aussagegenauigkeit von Erkundungen und Monitoringmaßnahmen kann - je nach den Anforderungen im Rahmen einer Prioritätenreihung - mittels einer Kombination von punktuellen und flächenhaften geotechnischen und geophysikalischen Verfahren festgelegt bzw. stufenweise gesteigert werden, um die Kosten zu optimieren. Eine Beratung durch einen sach- und ortskundigen Fachmann ist dabei dringend zu empfehlen (siehe Pkt. 3.2).

Je nach Fragestellung zu den beobachteten Schwachpunkten am Bauwerk sind die geeigneten Aufschlußverfahren hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit auszuwählen, wobei wieder unter den Kategorien »permanente« - »periodische« - und »zusätzliche periodische« Verfahren zu unterscheiden ist. Einerseits ist dabei auf die Qualität der Ergebnisse im Hinblick auf die erzielbare Aussagekraft, die Ortsgenauigkeit und auf den Zeitaufwand für die Auswertung Bedacht zu nehmen, andererseits sind die Verfahren oft aus verschiedenen Aspekten heraus nur in eingeschränktem Umfang einsetzbar. Diesbezügliche Angaben finden sich in den Tabellen Abschnitt D, wo auch die besonderen Vor- und Nachteile der Verfahren angeführt sind.

In der nachstehenden Übersicht werden die wesentlichen Verfahren und deren Einsatzmöglichkeiten den Fragestellungen signifikant gegenübergestellt.

Wesentliche Aufschlussverfahren für spezifische Fragestellungen am Dammbauwerk

Legende:

permanentes Verfahren	periodisches Verfahren	zusätzliches periodisches Verfahren	vornehmlich Vor- und Haupterkundung
-----------------------	------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Erkundungen zur Frage	Aufschlussverfahren				
	permanentes Verfahren	periodisches Verfahren	zusätzliches periodisches Verfahren	vornehmlich Vor- und Haupterkundung	vornehmlich Vor- und Haupterkundung
Oberfläche, äußere Erosion	Geländebegehung	FDVK*)	Lastplattenversuch	geod. Vermessungen	Luftbildaufnahmen
Schichtung	(Klein-)Bohrungen	Nutsondierung	Rammsondierung	Geoseismik	Bodenradar
	Schürfe	Drucksondierung	Geoelektrik	(Gravimetrie)	
Grundwasserstauer	Bohrungen	Rammsondierungen	Nutsondierung	Drucksondierung	Geoseismik
Bodenkennwerte (Auswertung durch bodenphysikalische Laborversuche)	Schürfe - Probenentnahmen	(Klein-)Bohrungen - Probenentnahmen	Geoseismik	Gravimetrie	
	Rammsondierung	Drucksondierung	Geoelektrik >	TDR - (Time-domain-Reflectometry)	
Sickerlinie	Geländebegehung	GW-Messstellen	Geoelektrik >	TDR	Geothermik
Fremdkörper, Einschlüsse	(kapaz.) Geoelektrik	Bodenradar	FDVK	(Geomagnetik)	(Gravimetrie)
Leckagen, innere Erosion	Geländebegehung	TDR.	Eigenpotentialmethode	Geothermik	
	kapazitive Geoelektrik	induz. Polarisation	Bodenradar	Gravimetrie	

*) Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle

F Kalkulatorische Ansätze - Budgetierung Monitoringaufwand [10]

Die nebenstehend angeführten Kosten sind grobe Richtgrößen, die inklusive der umgelegten Baustelleneinrichtung angesetzt wurden (Preisbasis 2009). Der genaue Preis ist im Wesentlichen abhängig von dem konkreten Umfang der zu erbringenden Leistung, den An- und Zufahrtsmöglichkeiten sowie der Positionierung der Aufschlußstellen im Gelände etc.

Nicht angegebene Kosten sind entweder direkt bei Fachfirmen anzufragen oder gegebenenfalls durch gezielte Preisanfragen am Markt zu ermitteln, wobei auch hier die Beratung durch einen sach- und ortskundigen Fachmann Zeit und Kosten sparen helfen kann (siehe Pkt. 5.2).

Für einzelne geotechnische Prüfverfahren besteht die Möglichkeit, die Erkundungsarbeiten durch eigenes Personal bzw. eigene Gerätschaft des Erhaltungsverpflichteten durchzuführen, wofür jedoch eine dementsprechende Unterweisung durch einen Fachmann vorauszusetzen ist.

Darunter fallen normalerweise die regelmäßigen Begehungen des Geländes im Rahmen der Kontrollen, Ablesung von Grundwassermessstellen, Temperaturmessungen, allenfalls auch Schürfe.

Selbst dynamische Lastplattenversuche als Prüfinstrumente sind in dieser Hinsicht zur Verfolgung oberflächennaher Phänomene nach entsprechender Einschulung einsetzbar.

Übersicht Bandbreite Kosten Geotechnische und Geophysikalische Prüfmethode für Dammparameter				Eignung als Verfahren für Monitoring	Bandbreite der Kosten [€] pro Einheit	
Direkte geotechnische Aufschlußmethoden	Geländebegehungen			periodisches Prüfverfahren		
	Schürfe			periodisches Prüfverfahren	60-90 Stk.	
	Grundwassermessstellen			permanentes Prüfverfahren	35-45 (ohne Bohrung) lfm.	
Indirekte Aufschlußmethoden	Indirekte geotechnische Aufschlußmethoden	Rammsondierungen	leicht	periodische Prüfverfahren	20-35 lfm.	
			mittelschwer			
			schwer			
			überschwer			
	Drucksondierungen			periodisches Prüfverfahren	35-45 lfm.	
	Statische Lastplattenversuche			zusätzliche periodische Prüfverfahren	100-150 Stk.	
	Dynamische Plattendruckversuche			periodische Prüfverfahren	30-50 Stk.	
	Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK)			periodisches Prüfverfahren		
	Geophysikalische Untersuchungen	Geo-seismik	Oberflächenwellenseismik		zusätzliches periodisches Prüfverfahren	10-25 lfm.
		Geoelektrik und Elektromagnetik	Gleichstromgeoelektrik/Widerstandsgeoelektrik		periodische Prüfverfahren	6-15 lfm.
			Kapazitive Geoelektrik			
			Eigenpotentialmethode			
Induzierte Polarisation			zusätzliches periodisches Prüfverfahren			
TDR Time-domain-Reflectometry			permanentes Prüfverfahren			
Bodenradar			periodisches Prüfverfahren			
Gravimetrie			periodisches Prüfverfahren			
Geothermik	Konventionelle Temperaturmessungen		permanente Prüfverfahren			
	Faseroptische Temperaturmessungen					
	Oberflächentemperaturmessung					

Tabelle 10: Bandbreite der Kosten

Autorenverzeichnis:**verwendete Unterlagen:**

- 1 Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 - FloodRisk II (Synthesebericht 2004)
- 2 Sicherungen von Dämmen und Deichen - Handbuch für Theorie und Praxis (2003 und 2006)
- 3 Überwachung von Hochwasserschutzdämmen in Zusammenhang mit Kraftwerksbauten (2007)
- 4 Deichquerschnitte (Hochwasserschutzdämme) Empfehlungen für die Ausbildung - Fassung 2007
- 5 Hochwasserschutzdämme - Überwachung und Verteidigung bei Hochwasser (2008)
- 6 Betrieb von Hochwasserschutzanlagen - Pflichtenheft (2008)
- 7 Informationsveranstaltung »Dampfpflichtenheft und NGP für Gemeinden und Wasserverbände« (2008)
- 8 Geotechnische Aspekte bei der Planung und Ausführung von Hochwasserschutzdämmen (2009)
- 9 FloodRisk II - Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement - Synthesebericht (2009)
- 10 FloodRisk II - Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement - Workpackage Hochwassermanagement TP 7.1 Instandhaltung von Dämmen - Modell für ein Zustandsmonitoring und Sicherheitskonzept (2009)
- 11 Wartung und Betrieb von Hochwasserschutzanlagen (ÖWAV-Kurs 2010)
Beitrag »Technische Grundlagen für Hochwasserschutzdämme«
Beitrag »Wartung des Hochwasserschutzdammes im Normalfall«
- 12 Grundlagen für die Standardisierte Ermittlung von Prioritäten für die Sanierung/Ertüchtigung von HWSD (2010)
- 13 »Hochwasserschutzdämme« im Rahmen der Vorlesung Grundbau und Bodenmechanik II (2006 - 2011)
mit Fotobeiträgen von Dr. S. Jacobs, Dipl.-Ing. M. Stracke
- 14 Geotechnische Gutachten zur Sanierung des Hochwasserschutzsystems March-Thaya (2006 - 2011)
- 15 »Geotechnik bei Alllasten und neuen Deponien«: Vorlesungsunterlagen (1993 - 2011)
- 16 Bodenmechanische Stellungnahme zu den Dampfpflegemaßnahmen an den Dämmen entlang der Donau (2008)

Autor bzw. Herausgeber:

- BuMin f. Land- und Forstwirtschaftu
Dr.-Ing. Herrmann / Dr.-Ing. Jensen Uni Siegen
Dipl.-Ing. Hans Schimpf
BuMin f. Land- und Forstwirtschaft
Amt der NÖLR - Gruppe Wasser
Amt der NÖLR - Gruppe Wasser
Amt der NÖLR - Gruppe Wasser
Dipl.-Ing. Dr. Stefan Blovsky
BuMin f. Land- und Forstwirtschaft

Institut für Grundbau und Bodenmechanik TU Wien
O.Univ. Prof. Dr. H. Brandl, Dipl.-Ing. Dr. Blovsky,
Dipl.-Ing. Szabo
ÖWAV
Dipl.-Ing. Rubey, Dipl.-Ing. Scheuringer
Dipl.-Ing. Rubey
BuMin f. Land- und Forstwirtschaft / Wasser NÖ - Ökoreal
O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien

O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien, erstattet an die via donau
O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien
O.Univ.-Prof. Dr. H. Brandl, TU Wien, erstattet an Verbund - AHP

Bildverzeichnis:

	Quelle
Abbildung 1 Begriffsdefinitionen	[5]
Abbildung 2 Textausschnitt	[9]
Abbildung 3 Textausschnitt	[9]
Abbildung 4 Textausschnitt	[9]
Abbildung 5 Lastfälle und Pegel 1-6, HW100 = Bemessungswasserstand	[6]
Abbildung 6 Flussdiagramm: Vorgehensweise bei der geotechnischen Erkundung von Hochwasserschutzdämmen	[10]
Abbildung 7 Flussdiagramm: Vorgehensweise bei der geophysikalischen Erkundung von Hochwasserschutzdämmen	[10]
Abbildung 8 direkte geotechnische Aufschlußmethoden	[10]
Abbildung 9 indirekte geotechnische Aufschlußmethoden	[10]
Abbildung 10 geophysikalische Methoden	[10], [13]
Abbildung 11 Wellenausbreitungsprinzip ausgewählter geoseismischer Verfahren	[10]
Abbildung 12 geoseismische Verfahren	[10]
Abbildung 13 Messprinzip der geoelektrischen Messung an einem Hochwasserschutzdamm	[10]
Abbildung 14 geoelektrische Verfahren	[10]
Abbildung 15 Prinzip der Radarmessung	[10]
Abbildung 16 Radargramm eines Hochwasserschutzdammes mit Kalibrierungsbohrungen	[10]
Abbildung 17 konventionelle Temperaturmessung mittels in Hohlbohrgestängen eingebauten Temperaturmessfühlern	[10]
Abbildung 18 Wärmebildaufnahme während eines Hochwasserereignisses	[10]
Abbildung 19 Übersicht über die Versagensformen (Kézdi, 1976)	[10]
Abbildung 20 dominierende Versagensformen	[13]
Abbildung 21 Hydraulischer Grundbruch infolge Auftrieb (»Aufschwimmen«)	[13]
Abbildung 22 Mechanismus Geländebruch infolge hydraulischer Grundbruch	[13]
Abbildung 23 Erscheinungsformen Erosion	[10]
Abbildung 24 Erscheinungsformen Suffosion	[13]
Abbildung 25 Hydraulischer Grundbruch infolge innerer Erosion (Ausspülen Feinteile)	[13]
Abbildung 26 »Kochen« = »Boiling«	[13]
Abbildung 27 hydraulischer Grundbruch infolge innerer Erosion	[13]
Abbildung 28 Versagensmechanismen (Müller, 2006)	[13]
Abbildung 29 generelle Schwachstellen von Dämmen	[11]
Abbildung 30 Verfahren und Ergebnisse Laborversuche	[10], [13]

Tabellen zum Zustandsmonitoring von Dämmen [10]:

Tabelle	1	Übersicht Geotechnische Dammparameter
Tabelle	2	Übersicht Geophysikalische Dammparameter (1)
Tabelle	3	Übersicht Geophysikalische Dammparameter (2)
Tabelle	4	Übersicht Geotechnische Prüfmethode - Ergebnisse
Tabelle	5	Übersicht Geophysikalische Prüfmethode - Ergebnisse
Tabelle	6	Übersicht Geotechnische Prüfmethode - Einschränkung der Verfahren/besondere Vor- und Nachteile
Tabelle	7	Übersicht Geophysikalische Prüfmethode - Einschränkung der Verfahren/besondere Vor- und Nachteile
Tabelle	8	Übersicht Geotechnische und Geophysikalische Prüfmethode für Dammparameter
Tabelle	9	Zusammenfassung permanente - periodische - zusätzliche periodische Prüfmethode
Tabelle	10	Bandbreite der Kosten