

# Verbundvorhaben

## Bewertung und Prognosen der Standsicherheit von Hochwasserschutzdeichen durch Monitoring mittels Time Domain Reflectometry (TDR)

### Motivation



**Bild 1:** Historisch gewachsener Deich mit willkürlichem, u.U. heterogenem Aufbau

Langanhaltende Hochwasserereignisse führen u.U. zu einer vollständigen Durchfeuchtung von Deichen.

Insbesondere Altdeiche mit einem nicht planmäßig zonalen Aufbau sind im Falle einer vollständigen Durchsickerung i.d.R. nicht standsicher.

Die Sanierung von Altdeichen ist i.d.R. teuer und zeitaufwändig.

Der geotechnischen Bewertung von Altdeichen sowie der Prognose ihres Verhaltens kommt vor diesem Hintergrund eine wesentliche Bedeutung zu.

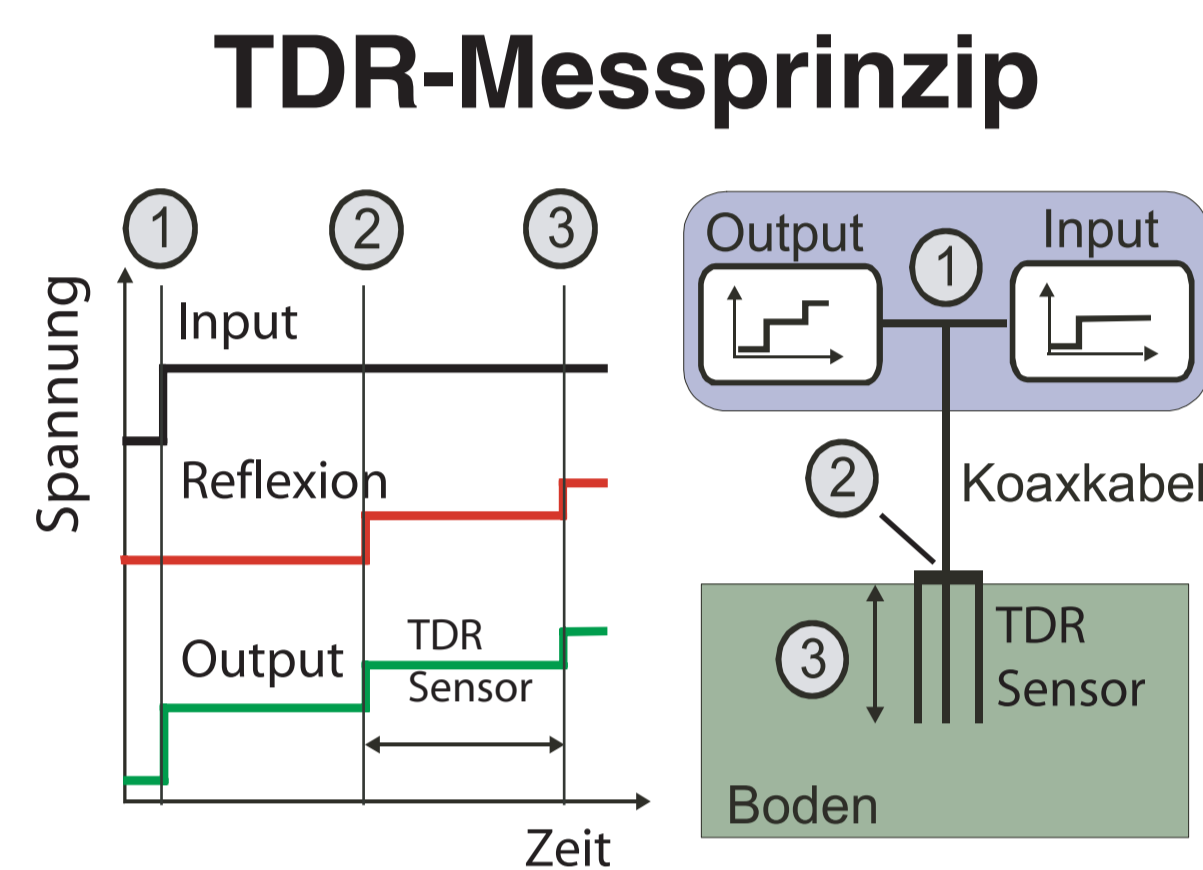


**Bild 2:** Deichbruch bei Seegrehna (Landkreis Wittenberg) während des Hochwassers 2002 an der Elbe

### Zielsetzung

Das Ziel des Projektes ist die **Entwicklung eines Monitoringmesssystems auf Basis der Time Domain Reflectometry (TDR) zur Prognose und Bewertung der Standsicherheit von Altdeichen**, die dem aktuellen Stand der Technik nicht entsprechen.

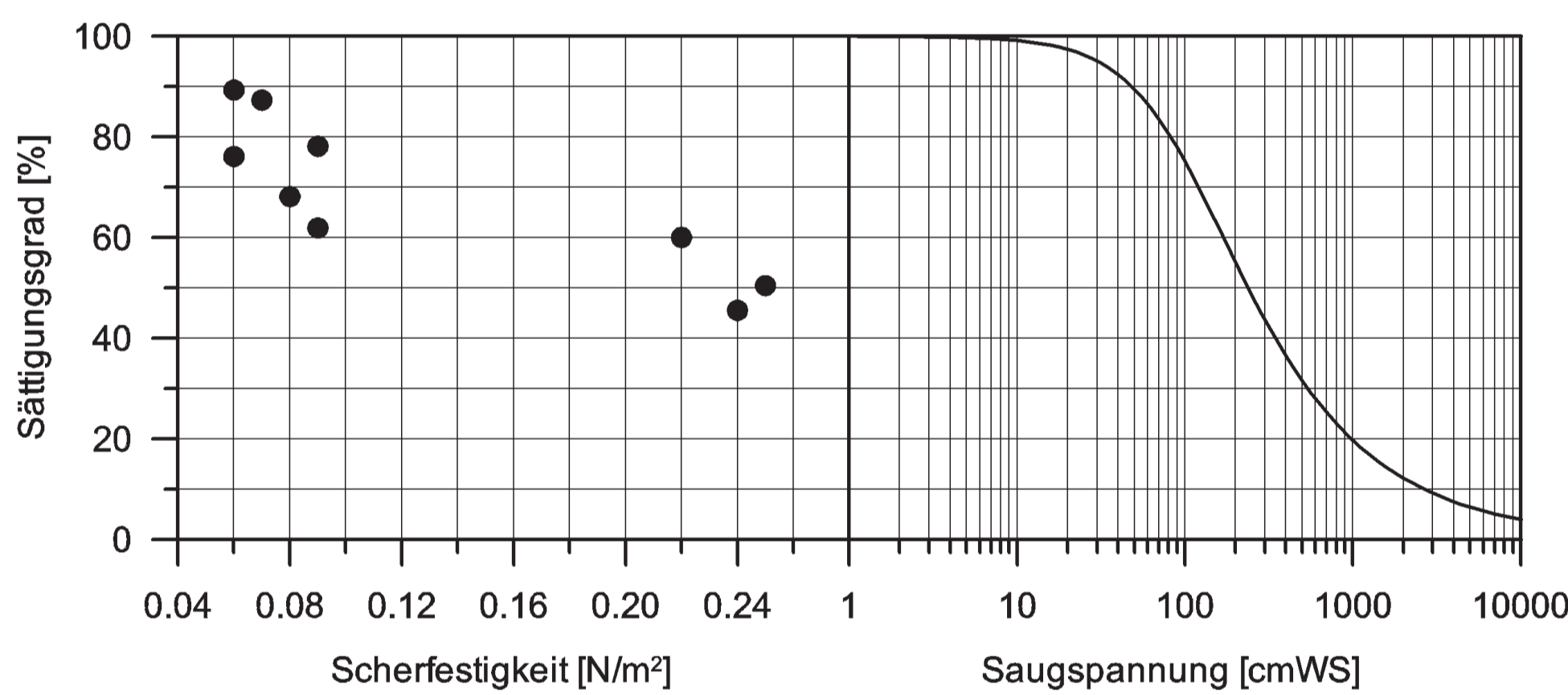
**Bild 3 (rechts):** Konventionelle TDR-Messung und Bestimmung der Laufzeit zur Messung der Feuchte.



Das Messprinzip der Time Domain Reflectometry ist in Bild 3 schematisch dargestellt. Ein Pulsgenerator sendet einen steilflankigen elektromagnetischen Impuls aus (1), der sich entlang des Koaxialkabels ausbreitet. Ein Teil dieser Welle wird am Wellenwiderstandssprung (2) reflektiert. Der transmittierte Teil der Welle läuft bis zum Ende des TDR-Sensors (z.B. Flachbandkabel) (3) und erfährt dort eine Totalreflektion. Die benötigte Laufzeit ist direkt abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Bodens (z.B. der Feuchte entlang des Sensors).

## Koordinierte und interdisziplinäre Vorgehensweise zwischen Geotechnik und Messtechnik (vgl. Bild 4)

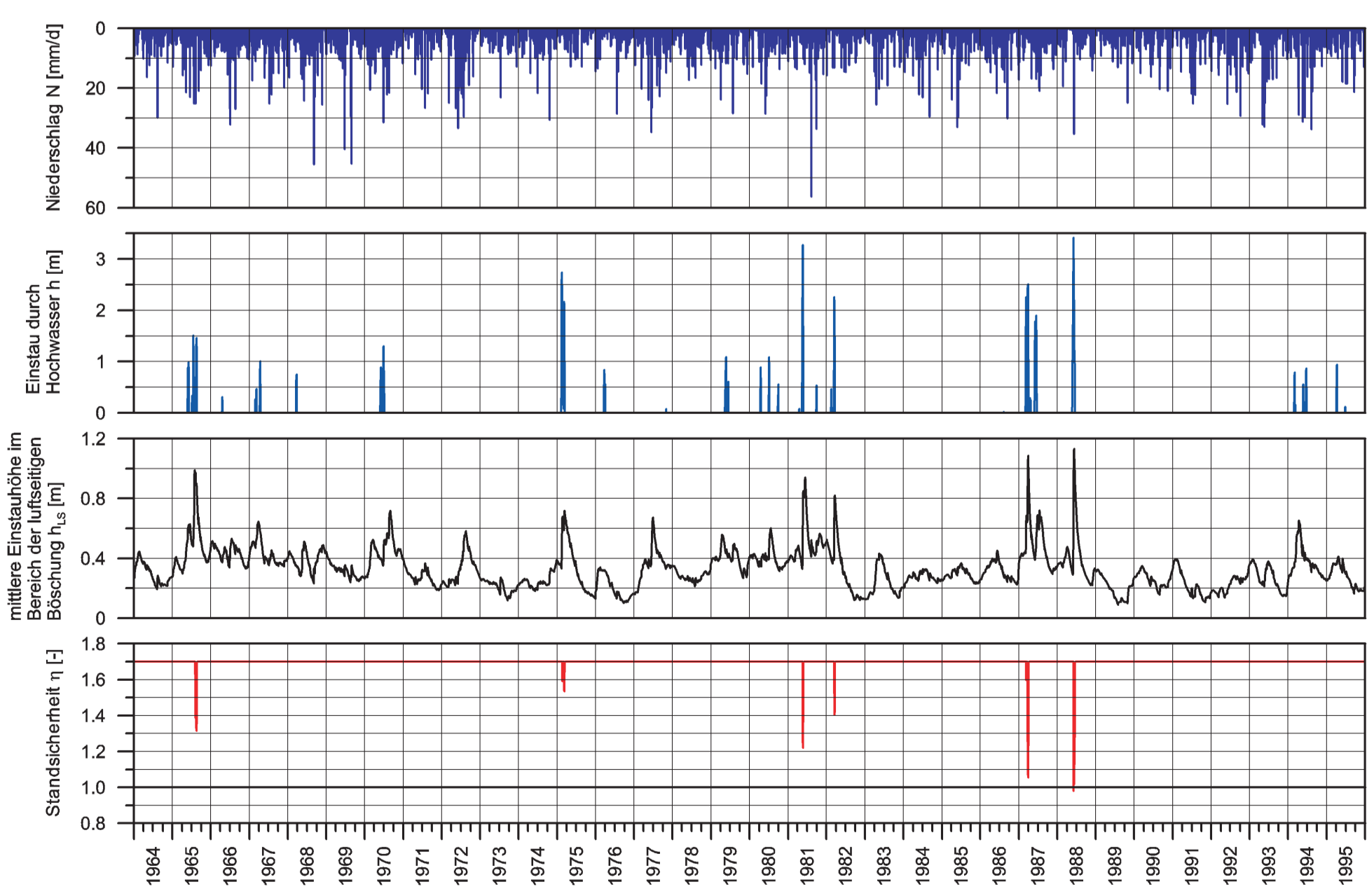
### Geotechnik



**Bild 5:** Hydraulische und bodenmechanische Eigenschaften eines Lehms (exemplarisches Beispiel)

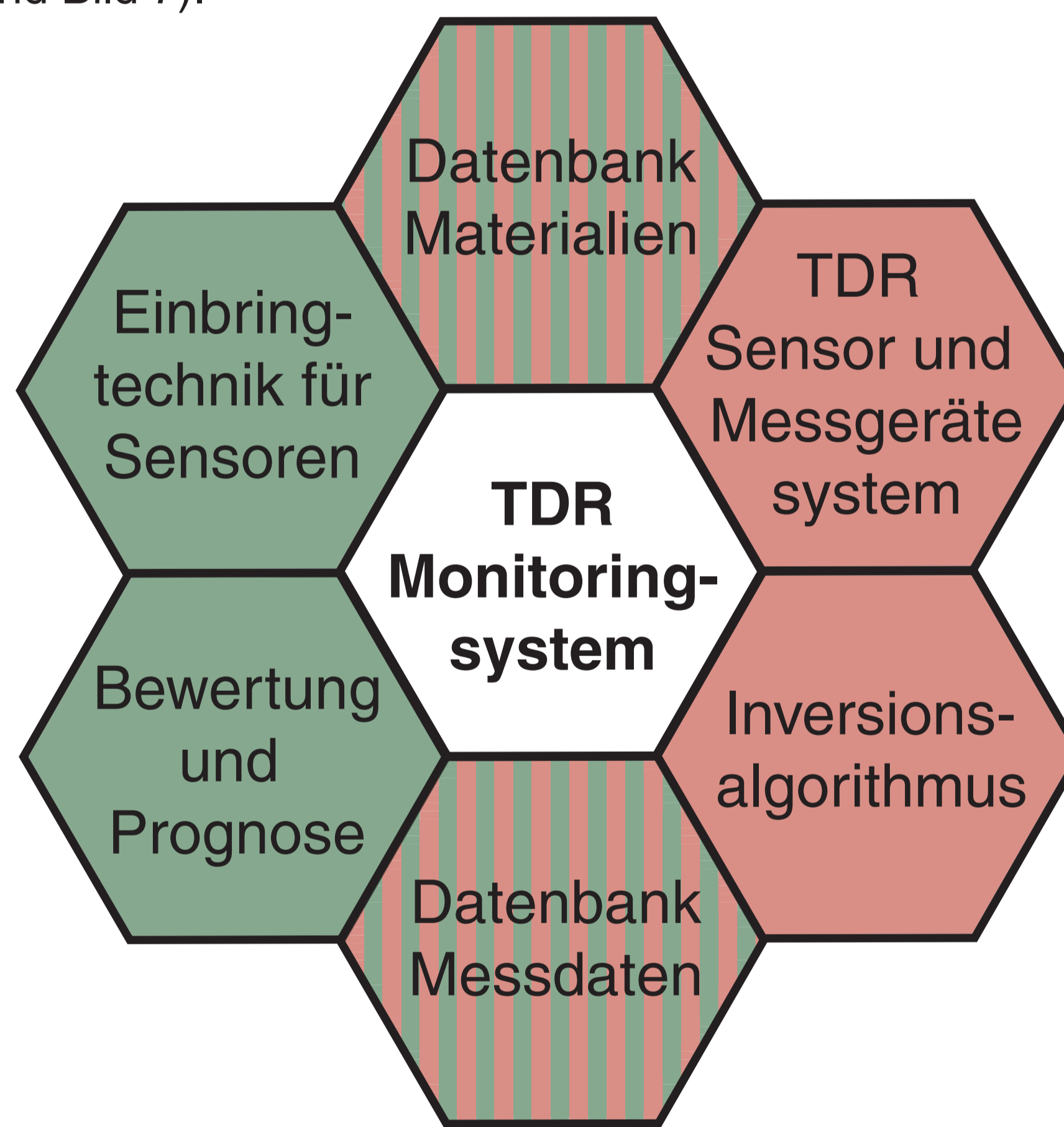
Für die Verwendung von flexiblen Flachbandkabeln in bestehenden Altdeichen wird eine **Eindringtechnik** entwickelt. In Hinsicht auf TDR-Messungen muss ein guter Kontakt zwischen Boden und Sensor hergestellt werden.

Auf Basis der Feuchtemessungen während eines Hochwasserfalles wird mit Hilfe eines **Bewertungs- und Prognosemodelles** in Abhängigkeit des prognostizierten Hochwasserlaufes ein Versagensrisiko für den Deich ermittelt. Hierzu sind umfangreiche numerische Simulationen erforderlich (vgl. Bild 6), die mit Hilfe von Methoden der stochastischen Bemessung ausgewertet werden.

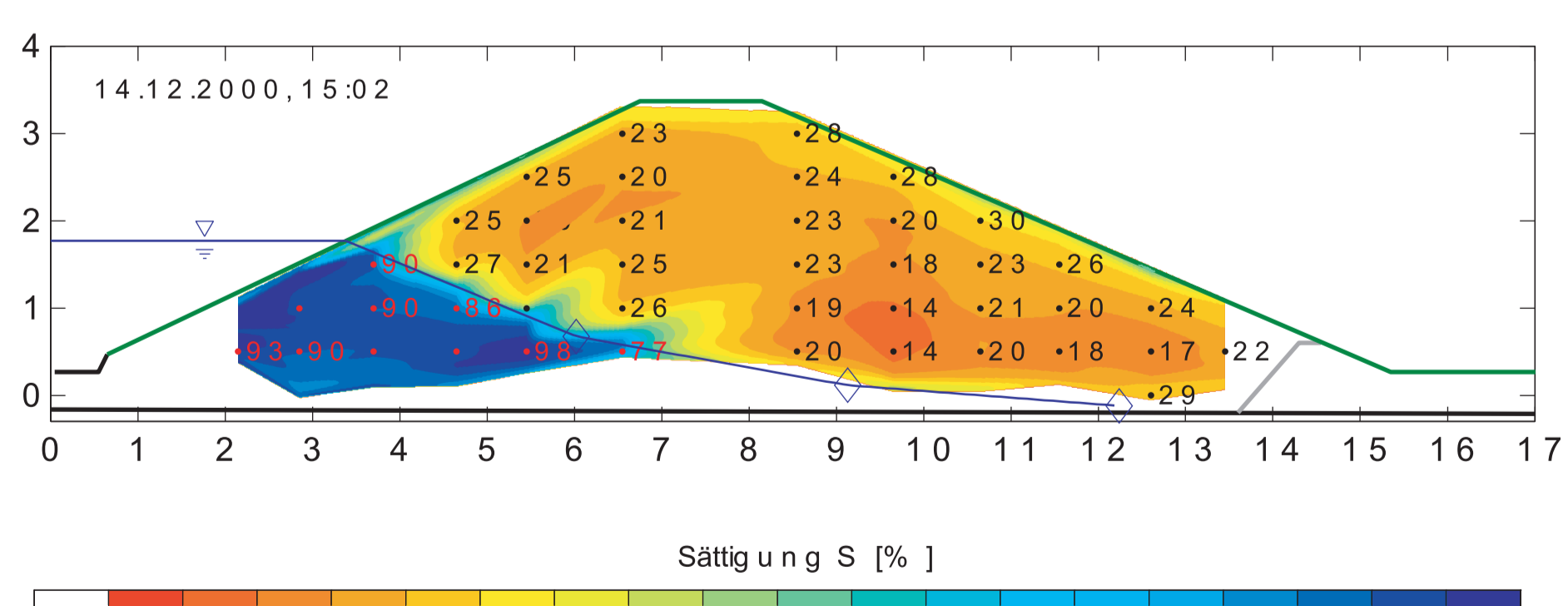


**Bild 6:** Ergebnis einer Langzeitsimulation mit gemessenen Abfluss- und Meteorologiedaten für einen fiktiven Deich an der Elbe

Im Rahmen des Verbundprojektes wird eine **Materialdatenbank** aufgebaut, in der dielektrische, hydraulische und mechanische Eigenschaften von Böden für spätere Anwendungen verfügbar gemacht werden (vgl. Bild 5 und Bild 7).

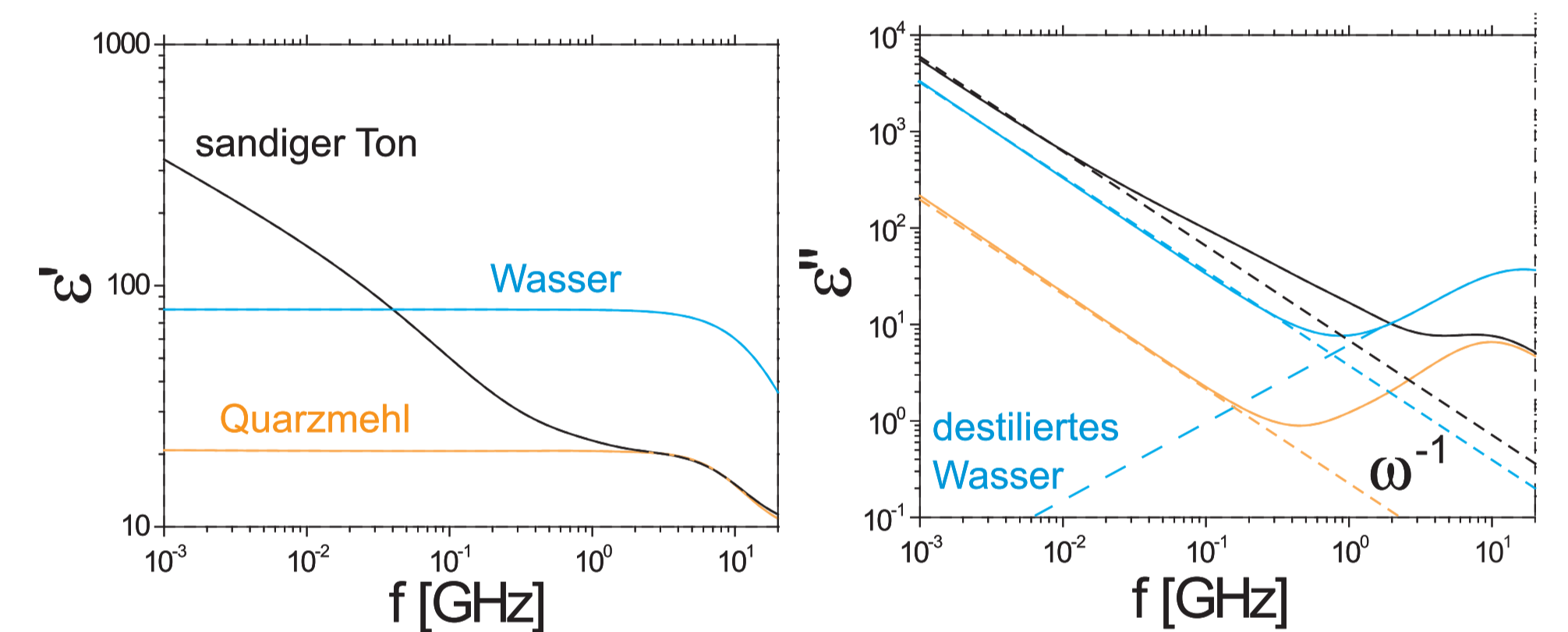


**Bild 4:** Zu bearbeitende Module aus den Bereichen Geotechnik und Messtechnik für die Entwicklung des Monitoringsystems



**Bild 10:** Feuchtemessung an einem naturmaßstäblichen Deichmodell auf dem Gelände der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe während eines Einstauversuches

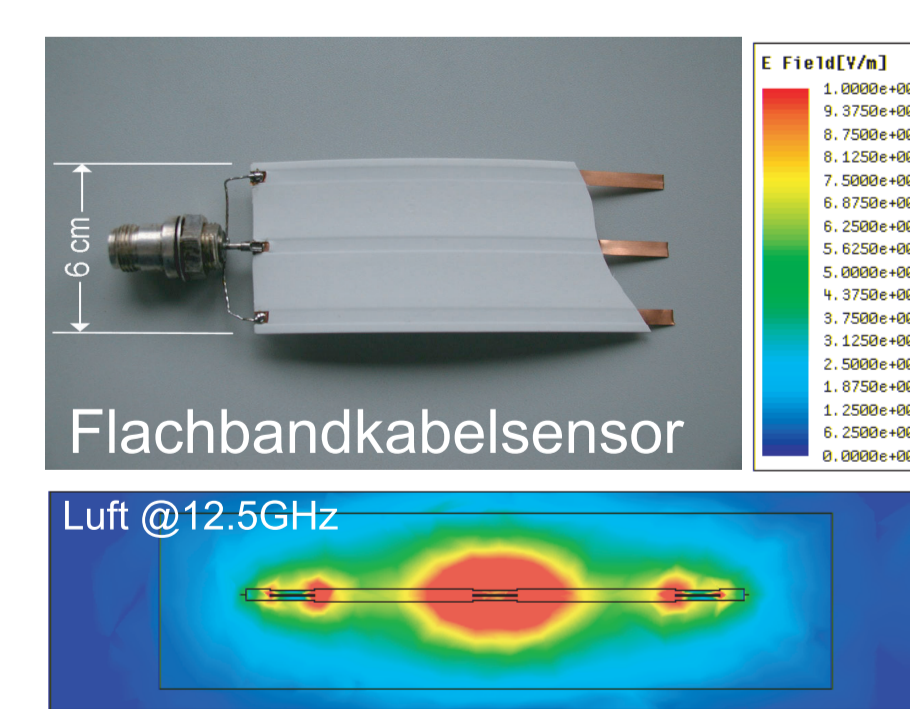
### Messtechnik



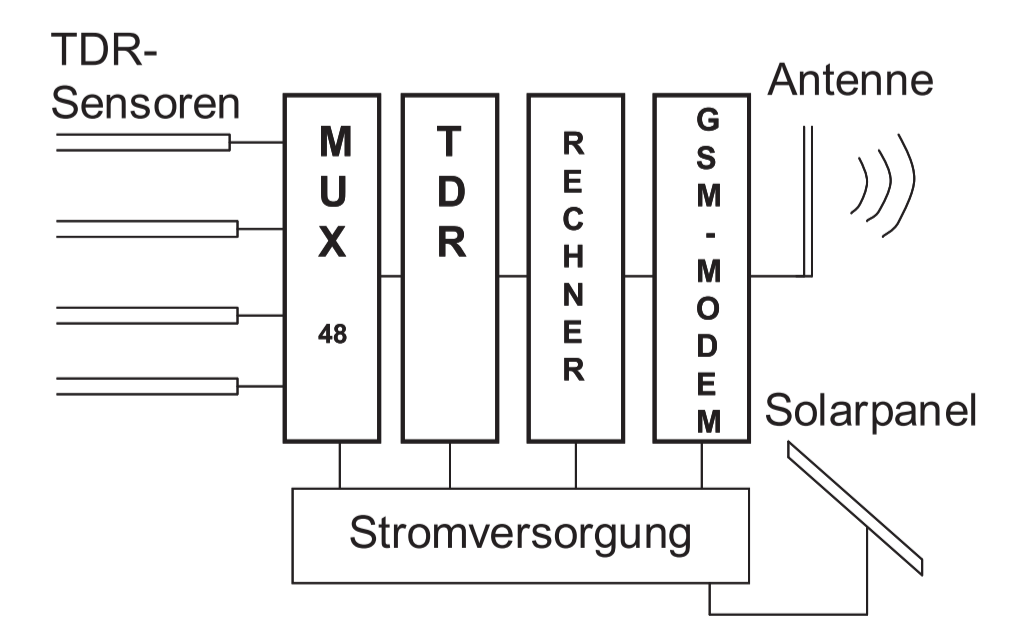
**Bild 7:** Bestimmung der dielektrischen Materialeigenschaften (Dielektrizität und Verlustfaktor in einem Frequenzbereich von < 10 MHz bis ca. 10 GHz)

Als **TDR-Sensor** wird ein dreiadriges Flachbandkabel eingesetzt. Zur Sensoroptimierung werden in Kombination mit Laboruntersuchungen 3D-Simulationen mit finiten Elementen unter Berücksichtigung frequenzabhängiger dielektrischer Eigenschaften durchgeführt (vgl. Bild 8).

Bei den Feldmessungen kommt ein **Messgerätesystem** zum Einsatz (vgl. Bild 9), das automatisiert TDR-Messungen an mehreren Sensoren durchführt, die Messwerte über Datenübertragung an einen Zentralrechner weiterleitet und in einer **Datenbank für Messdaten** ablegt. Dort werden mittels eines **Inversionsalgorithmus** örtliche Feuchteverteilungen berechnet, die eine Information über den Zustand des Deiches liefern (vgl. Bild 10). Auf diesen Informationen basierend wird eine Prognose für den weiteren Durchfeuchtungsverlauf sowie für die Standsicherheit ermittelt.



**Bild 8:** Flachbandkabel (oben) mit elektrischer Feldstärkenverteilung bei Messung in Luft (unten)



**Bild 9:** Messgerätesystem für TDR-Feuchtemessungen im Feld (schematische Darstellung)