

Dam Monitoring 4.0

Industrie 4.0 beschreibt den Letzten von vier Schritten der technischen Entwicklung im industriellen Bereich vom Anfang der Industrialisierung bis heute und prognostiziert hieraus eine Zukunft. Dam Monitoring 4.0 führt zur Verzahnung der Bauwerksüberwachung über moderne Informations- und Kommunikationstechnik mit vernetzten Systemen. Mit ihrer Hilfe soll eine weitest möglich automatisierte und selbstorganisierte Bauwerksüberwachung möglich werden. Die Prinzipien sind Vernetzung, Informationstransparenz, technische Assistenz und dezentrale Entscheidungen.

Volker Bettzieche

1 Einführung

Industrie 4.0 ist ein Schlagwort, das 2011 erstmals auf der Hannover Messe auftauchte [1]. Es beschreibt den Letzten von vier Schritten der technischen Entwicklung im industriellen Bereich vom Anfang der Industrialisierung bis heute und prognostiziert hieraus eine Zukunft. Die Zahl 4 steht für vier industrielle Revolutionen, die grob vier Jahrhunderten zugeordnet werden können:

1. von 1700–1800 wasser- und dampfgetriebene Produktion,
 2. von 1800–1900 Massenproduktion,
 3. von 1900–2000 Automatisierung,
 4. seit 2000 digitaler Wandel oder zweite Phase der Digitalisierung.
- Schaut man auf die Talsperrenüberwachung, so können ebenfalls vier Schritte in der Entwicklung identifiziert werden, von denen insbesondere der dritte und vierte Schritt deutliche Parallelen zu Industrie 4.0 aufweisen. Die Schritte ergaben sich durch deutliche Entwicklungssprünge in der Bauwerksüberwachung (**Bild 1**).

Als Ausgangspunkt sollen neuzeitliche Talsperren, also der Talsperrenbau seit Prof. Intze, ab 1900 betrachtet werden [2]. In diesen vergangenen rund 120 Jahren hat sich auch die Bauwerksüberwachung wesentlich entwickelt. Schon Prof. Intze sah an seinen Staumauern Sickerwassermessungen mit Gefäßen und Verschiebungsmessungen durch ein Kronenalignement vor. Im Grundsatz sind die Messungen dieser beiden Parameter auch heute noch das Herz der messtechnischen Bauwerksüberwachung.

Diese Phase der klassischen Bauwerksüberwachung mit manuellen Messungen kann als Dam Monitoring 1.0 benannt werden.

Ähnlich der industriellen Revolution hat sich die Überwachung der Talsperren mit der Entwicklung neuer technischer

Möglichkeiten weiterentwickelt. Gemeinhin wird der Bruch des Teton-Dammes in den USA im Jahr 1976 [3] als Geburtsstunde der modernen Bauwerksüberwachung gesehen. In Nordrhein-Westfalen wurde 1979 im Landeswassergesetz verankert, dass Talsperren nach dem Stand der Technik zu betreiben und zu überwachen sind. Zur gleichen Zeit entdeckte man Defizite an den alten Intzestaumauern, was Bauwerksuntersuchungen, -überwachungen und letztlich Sanierungen auslöste. Erste Stauanlagen wurden mit elektronischen Messwertgebern ausgerüstet.

Normen und Regelwerke, die den Stand der Technik für Talsperren formulierten, wurden erarbeitet. Für die Bauwerksüberwachung an Talsperren sind im Besonderen zu nennen:

- 1982: TGL 21239: Talsperren, Bauwerksüberwachung
 - 1991: DVWK-M 222: Mess- und Kontrolleinrichtungen zur Überprüfung der Standsicherheit von Staumauern und Staudämmen
 - 1995: DVWK-M 231: Sicherheitsbericht Talsperren – Leitfaden
- In dieser Zeitspanne von 1976 bis 1997 entwickelte sich Dam Monitoring 2.0.

In Mittweida wurde 1997 der Talsperrentag ins Leben gerufen, der im zweijährlichen Rhythmus die Fachgruppe der Talsperrenüberwachungsfachleute zusammenruft. Anhand der Vorträge lässt sich die Entwicklung der Messtechnik und Bauwerksüberwachung verfolgen. Maßgebliche Themen waren beispielsweise [4]:

- 2000: Faseroptische Temperaturmessungen und GPS-basiertes Kontrollsystem,
- 2010: GIS-basierte Stauanlagenüberwachung,
- 2018: Plausibilitätsprüfung und dynamische Alarmierung automatischer Messdaten.

Die Jahre von 1997 bis heute stehen für eine sensorbasierte Stauanlagenüberwachung, Dam Monitoring 3.0.

Kompakt

- Dam Monitoring 4.0 führt zur Verzahnung der Bauwerksüberwachung über moderne Informations- und Kommunikationstechnik.
- Eine weitest möglich automatisierte und selbstorganisierte Bauwerksüberwachung wird möglich durch Vernetzung, Informationstransparenz, technische Assistenz und dezentrale Entscheidungen.

2 Bauwerksüberwachung

Was kann die Bauwerksüberwachung nun aber aus Industrie 4.0 lernen?

Seit der Einführung des DWA M-514 zur Bauwerksüberwachung von Talsperren in 2011 hat sich methodisch nicht mehr viel in der Bauwerksüberwachung entwickelt. Datenerfassung, -bewertung und Methoden zur Verarbeitung der Messergebnisse scheinen durch das Merkblatt zementiert zu sein. „Mehr brauchen wir nicht“

© Ruhrverband

| | |
|------|---|
| 1900 | Beginn des Baus „moderner Talsperren“ Dam Monitoring 1.0 , manuelle Messungen |
| 1976 | Bruch des Teton Damms, USA Dam Monitoring 2.0 , Regelwerke, elektronische Messungen |
| 1997 | 1. Talsperrentag in Mittweida Dam Monitoring 3.0 , EDV-gestützte Bauwerksüberwachung |
| 2019 | 18. Deutsches Talsperrensymposium des DTK Dam Monitoring 4.0 , Digitalisierung, vernetzte Systeme |

Bild 1: Die vier Schritte des Dam Monitorings 4.0

ist eine oft zu hörende Meinung, denn Talsperren gehören sicher zu den bautechnisch am besten überwachten Bauwerken.

Ein Blick auf die Entwicklung von Autos zeigt, dass hier Möglichkeiten verschenkt werden.

Ein PKW ist unzweifelhaft ein sicherheitsrelevantes Objekt. Niemand würde mit der Familie die Urlaubsreise antreten, wenn er nicht von der Sicherheit seines Autos überzeugt wäre. Dabei verlässt man sich auf die vielfältigen Diagnose- und Analyse-systeme des Autos. Reifendruckkontrolle, Gurtwarner, Stabilitätskontrolle usw. „garantieren“ eine sichere Fahrt. Niemand kontrolliert diese Dinge manuell. Den aktuellen Status projiziert das Multifunktionsdisplay auf die Frontscheibe.

Warum treiben wir dann an unseren Talsperren noch einen so großen manuellen Aufwand? Warum nutzen wir nicht die Intelligenz technischer Systeme wie beim Auto?

Hier sollten die Möglichkeiten genutzt werden, die hinter Industrie 4.0 stehen. Die umzusetzenden Prinzipien sind nach [1]:

- **Vernetzung:** Maschinen, Geräte, Sensoren und Menschen können sich miteinander vernetzen und über das Internet der Dinge oder das Internet der Menschen kommunizieren.
- **Informationstransparenz:** Sensordaten erweitern Informationssysteme digitaler Fabrikmodelle, um so ein virtuelles Abbild der realen Welt zu erstellen.
- **Technische Assistenz:** Assistenzsysteme unterstützen den Menschen mit Hilfe von aggregierten, visualisierten und verständlichen Informationen. So können fundierte Entscheidungen getroffen und auftretende Probleme schneller gelöst werden. Außerdem werden Menschen bei anstrengenden, unangenehmen oder gefährlichen Arbeiten physisch unterstützt.
- **Dezentrale Entscheidungen:** Cyberphysische Systeme sind in der Lage, eigenständige Entscheidungen zu treffen und Aufgaben möglichst autonom zu erledigen. Nur in Ausnahmefällen, zum Beispiel bei Störungen oder Zielkonflikten, übertragen sie die Aufgaben an eine höhere Instanz.

Was bedeutet dies konkret für die Bauwerksüberwachung und wie weit sind wir vielleicht schon auf diesem Weg?

2.1 Vernetzung

Jeder Neubau eines Einfamilienhauses erhält mittlerweile ein Smart-Home-System, mit dem Rollläden und Heizung gesteuert werden können und die Überwachungsbilder an den Hauseigentümer liefern. Maschinen (Rollladenmotor), Geräte (Rollläden

und Sensoren (Sonnenlichtsensor) können mit den Menschen (Hauseigentümer) über das Internet kommunizieren.

Die genannten Elemente sind im Grundsatz auch an unseren Talsperren Stand der Technik. Sensordaten stehen nicht nur auf dem Büro-PC, sondern per Internet überall zur Verfügung. Sensoren melden Messwertüberschreitungen direkt an die Betriebsbereitschaft oder auch an weitere zuständige Stellen [5]. Kameras liefern Überwachungsbilder.

Die Vernetzung ist bei der Bauwerksüberwachung an den Talsperren Realität. Messergebnisse der Bauwerksüberwachung können via Smartphone jederzeit und überall abgerufen werden (**Bild 2**). Für die Zukunft sind weitere Entwicklungen denkbar, wie z. B. Sprachsteuerung der Benutzeroberfläche.

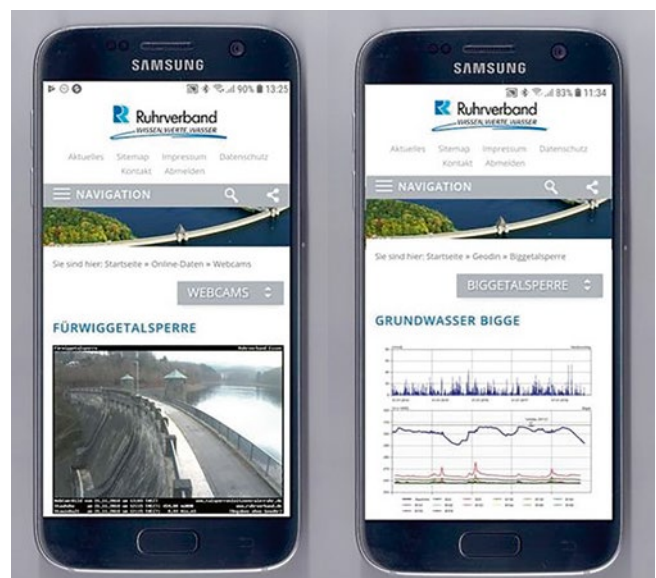
2.2 Informationstransparenz

Die mit Hilfe der Vernetzung heute verfügbaren Informationen sind in ihrer Form und Darstellung meist nichts anderes als Grafiken, wie sie schon seit Langem angefertigt werden. Sie ergeben allerdings kein wirkliches Bild einer Staumauer oder eines Staumdamms, sondern nur einzelne Informationen, die der Anwender zueinander in Bezug setzen muss.

Zudem hat die optische Kontrolle, also die visuelle Kontrolle, in der Bauwerksüberwachung immer noch eine Schlüsselrolle. Allerdings ist es hierzu notwendig, dass sich das Anlagenpersonal zum Bauwerk begibt und dieses in Augenschein nimmt. Oft werden die Ergebnisse dann noch handschriftlich notiert und im höchsten Falle mit Fotos dokumentiert.

Stereo-Bildkameras verbunden mit Robotik oder gar virtuelle Realitäten können hier die körperliche Anwesenheit von Personal zumindest temporär ersetzen und so personellen Aufwand sparen.

Mit Hilfe von Virtual-Reality-Brillen kann das Personal vom Büroarbeitsplatz über vor Ort installierte Kameras einen optischen Eindruck von der Anlage gewinnen. Zusätzlich können virtuelle Elemente eingeblendet werden, so dass eine gemischte Realität entsteht. Hier blickt der Anwender bei-



© Ruhrverband

Bild 2: Dam Monitoring per Smartphone

spielsweise mit der Kamera in einen Kontrollstollen einer Stau-
 mauer. An der Sickerwassermesssstelle, die er im Bild sieht,
 wird der Wert der aktuellen Messung angezeigt und mit einem
 Ampelsignal zur Bewertung dargestellt. Bilder und Daten
 werden optimal verknüpft.

2.3 Technische Assistenz

Assistenzsysteme stehen der Bauwerksüberwachung von Tal-
 sperren durchaus schon zur Verfügung, werden jedoch meist
 nur ungekoppelt verwendet. Vertrauensbereiche der Messwerte,
 Alarmwerte usw. werden heute schon mit Hilfe von Finite-Ele-
 mente-Modellen oder statistischen Regressionsmodellen ermit-
 telt (Bild 3). Dies geschieht aber getrennt von der laufenden
 Überwachung im Rahmen von umfangreicheren Analysen, wie
 sie z. B. bei vertieften Überprüfungen durchgeführt werden.

Die Echtzeitkopplung von Messwertdatenbanken mit
 Analysemodellen kann helfen, Messergebnisse schneller und
 fundierter zu beurteilen. Ein effizientes Management von Mess-
 fehlern ist letztlich nur mit diesen Systemen möglich. Fehl-
 alarme können durch Analysen vermieden werden. Letztlich
 können lernfähige Systeme Parameter vergleichen und automa-
 tisch Wissen generieren.

Mit diesen Analyseergebnissen, die weit über bisher übliche
 Kurvendarstellungen der Messwerte hinausgehen, kann dann das
 verantwortliche Betriebspersonal der Talsperre unterstützt
 werden.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt im Kontext des Bauwerks.
 Relevante Messstellen werden miteinander verknüpft, die
 Ergebnisse von Messungen und Analysen im Ganzen darge-
 stellt. So können fundierte und dokumentierte Entscheidungen

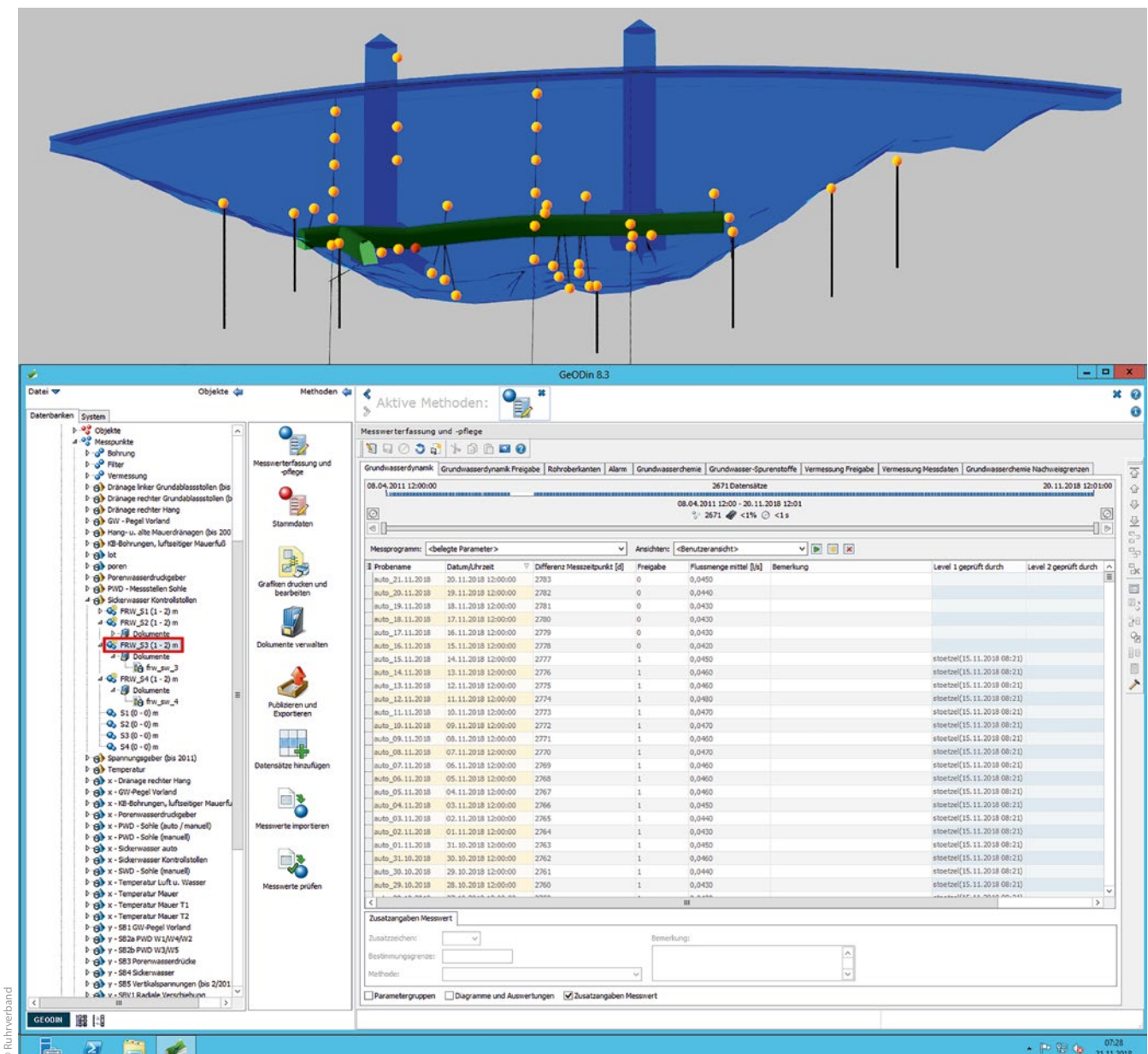


Bild 3: Technische Assistenz durch Visualisierung von Messergebnissen

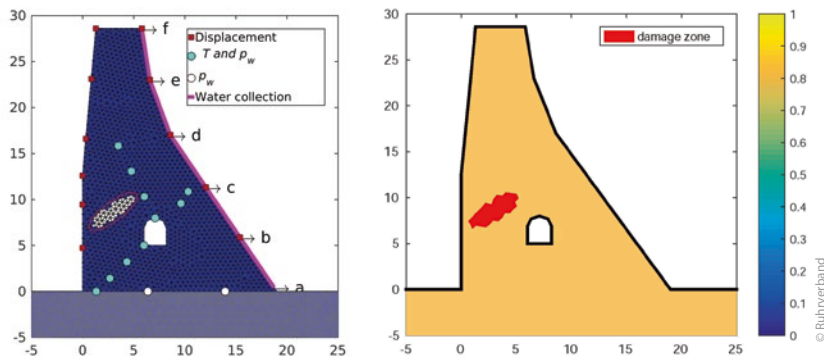


Bild 4: Inverse FEM-Modellierung: Schadenserkennung anhand von Messwerten nach [6]

getroffen werden und unter Umständen Probleme schneller gelöst werden.

2.4 Dezentrale Entscheidungen

Industrie 4.0 führt zu Systemen, die in der Lage sein sollen, eigenständige Entscheidungen zu treffen und Aufgaben möglichst autonom zu erledigen. Nur in Ausnahmefällen übertragen sie die Aufgaben an eine höhere Instanz.

Dies muss auch die Zukunft der Bauwerksüberwachung sein. Monitoringsysteme bewerten auf der Grundlage von Modellen selbstständig die Datenlage und leiten gegebenenfalls Maßnahmen ein. Dies können zusätzliche Messungen, weitere Analysen, z. B. Finite-Elemente-Fehler-Berechnungen (**Bild 4**) oder gar betriebliche Maßnahmen, wie Alarmierung von Talsperrenpersonal, Feuerwehr usw., oder Auslösung von Warnsystemen und Fail-Safe-Mechanismen sein.

Fehlmessungen könnten durch diese Systeme früh genug erkannt und Fehlalarme weitgehend vermieden werden.

3 Ausblick

Dam Monitoring 4.0 führt zur Verzahnung der Bauwerksüberwachung über moderne Informations- und Kommunikationstechnik mit vernetzten Systemen, z. B. DMS, BIM, Asset Management [7]. Mit ihrer Hilfe soll eine weitest möglich automatisierte und selbstorganisierte Bauwerksüberwachung möglich werden: Stauwärter, Messeinrichtungen, Analysensysteme und Betriebs-einrichtungen kommunizieren und kooperieren bei Dam Moni-

toring 4.0 direkt miteinander. Durch die Vernetzung soll es möglich werden, nicht nur die Sicherheit zu erhöhen, sondern auch die Kosten zu senken.

Dam Monitoring 4.0 wird Bestandteil der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft werden.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Volker Bettzieche
Ruhrverband
Kronprinzenstr. 37
45128 Essen
vbe@ruhrverband.de

Literatur

- [1] Wikipedia: Industrie 4.0 (https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Industrie_4.0&oldid=182511609, Abruf 16.11.2018).
- [2] Bettzieche, V.: 100 Jahre technische Entwicklung des Talsperrenbaus in Deutschland. In: WasserWirtschaft 100 (2010), Heft 1.
- [3] Idel, K. H.: Bruch des Tetondammes. In: Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau (Hrsg.): Baugrundtagung 1978. Essen, 1979.
- [4] N. N.: Talsperrentag in Mittweida (<http://talsperrentag.de>, Abruf 16.11.2018).
- [5] Demisch, G.: Plausibilitätsprüfung und dynamische Alarmierung automatischer Messdaten in der GeODin-Datenbank. In: WasserWirtschaft 108 (2018), Heft 10.
- [6] Nguyen-Tuan, L.; Könke, C.; Lahmer, T.; Bettzieche, V.: Uncertainty Assessment in the Results of Inverse Problems - Applied to Damage Detection in Masonry Dams. In: International Journal of Reliability and Safety (2018), Vol. 12.
- [7] Jardin, N.; Lensch, S. D.; Hennerks, J.: Herausforderung Digitalisierung: Wie die Abwasserwirtschaft in die Zukunft geht; In: Pinnekamp, J. (Hrsg.): GWA - Gewässerschutz, Wasser & Abwasser (2018), Band 247.

Volker Bettzieche

Dam Monitoring 4.0

Industry 4.0 describes the last of four steps in technical development of the industrial sector from the beginning of industrialization up to today and predicts a future. Dam Monitoring 4.0 leads to the integration of monitoring via modern information and communication technology with networked systems, i.e. DMS, BIM, Asset Management. With their help, automated and self-organized monitoring of structures is possible: craftsmen, measuring equipment, analysis systems and operating equipment communicate and cooperate directly with each other at Dam Monitoring 4.0. The principles are networking, information transparency, technical assistance and decentralized decisions.

 SpringerProfessional.de

Digitalisierung Wasserwirtschaft 

Falkenreck, Chr.: Einleitung – Die erweiterte Wertschöpfungskette. In: Digitalisierungsprojekte erfolgreich planen und steuern. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019.
www.springerprofessional.de/link/16406556

Müller-Czygan, G.: Digitalisierung kommunaler Strukturen am Beispiel der Wasserwirtschaft – Kommunal 4.0. In: WASSER UND ABFALL, Ausgabe 12/2017. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
www.springerprofessional.de/link/15307888