

# TaMiS – das Talsperren-Monitoring-System für das Sicherheitsmanagement von Talsperren

## *TaMiS – The Dam Monitoring System for the Safety Management of River Dams*

Verena Kirstein, Christian Malewski, Karl-Heinz Spies

Wupperverband, Wuppertal · vkn@wupperverband.de

**Zusammenfassung:** Das Talsperren-Monitoring-System (TaMiS), übernimmt neben dem Sicherheitsmanagement von Talsperren auch die Bündelung und die personalisierte Verteilung von sicherheitstechnischen Informationen für alle Ebenen im Unternehmen. Dabei verarbeitet es zusätzlich externe Informationsdienste. Die Vorhersage von sicherheitsrelevanten Prozessen in TaMiS zielt auf eine weitere Reduktion des zunehmenden Restrisikos ab, welches an diesen kritischen Infrastrukturen besteht. TaMiS erreicht somit einen hohen Erweiterungs- und Übertragbarkeitsgrad auch für andere Betreiber von Stauanlagen.

**Schlüsselwörter:** kritische Infrastrukturen, Talsperren, Sicherheitsmanagement, Sensor Web, Digitalisierung

*Abstract:* The river dam monitoring system (TaMiS) addresses not only the safety management of dams but also bundles and distributes personalized safety-related information for all levels within the company. In addition, it also processes external information services. Through forecasting of threatening processes, TaMiS further reduces the residual risk associated with these critical infrastructures. TaMiS therefore reaches a high degree of extension and transferability also with regard to other operators of dams.

**Keywords:** Critical infrastructure, River dams, safety management, sensor web, digitization

## 1 Motivation

Talsperren sind eines der wirkungsvollsten Instrumente zur Regulierung und Vermeidung aufkommender Hochwasserrisiken oder zur Niedrigwasseraufhöhung. Der Aspekt der Niedrigwasseraufhöhung tritt vor dem Hintergrund des Klimawandels gegenwärtig spürbar in den Vordergrund. Des Weiteren leisten Talsperren als Trink- und Brauchwasserspeicher einen großen Beitrag, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Talsperren wird ein erhebliches Risikopotenzial zugesprochen, und sie fallen deshalb ab einer bestimmten Größe unter die kritischen Infrastrukturen<sup>1</sup>.

Der Prototyp des Talsperren-Monitoring-Systems (TaMiS), welcher im gleichnamigen Forschungsvorhaben „Entwicklung eines Talsperrenmess- und informations-Systems“ (TaMiS)

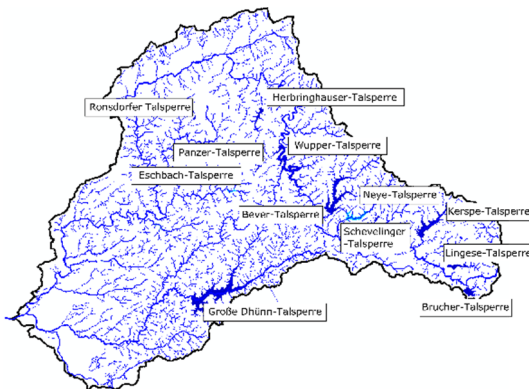
---

<sup>1</sup> Im Sinne der EU-Richtlinie 2008/114/EG ist eine „kritische Infrastruktur“ eine Anlage, ein System oder ein Teil davon, die von wesentlicher Bedeutung für die Aufrechterhaltung wichtiger gesellschaftlicher Funktionen, der Gesundheit, der Sicherheit und des wirtschaftlichen oder sozialen Wohlergehens der Bevölkerung ist und deren Störung oder Zerstörung erhebliche Auswirkungen hätte, da ihre Funktionen nicht aufrechterhalten werden könnten (Wikipedia, 2018).

entworfen und entwickelt wurde, wurde von Malewski & Spies (2017) detailliert beschrieben. Ziel ist die Bereitstellung von Entscheidungshilfen für das Sicherheitsmanagement. Um der Anforderung einer bestmöglichen Kompatibilität und Datenintegrität gerecht zu werden, integriert die modular aufgebaute Prototyp verschiedene Daten- und Webdiensttypen, welche möglichst offene Standards aus der digitalen Geographie implementieren (Bröring, 2011; OGC, 2008). Die offenen Standards werden vom OGC (Open Geospatial Consortium) definiert, einer Organisation mit ca. 530 Mitglieder, von denen über 200 aus Europa kommen. Die für den TaMiS-Nutzer zentrale Webanwendung interagiert mit diesen Webdiensten und visualisiert geographische und Zeitreihendaten sowie Grenzwertüberschreitungs- und Unwettermeldungen. Bei Bedarf werden vorkonfigurierte Vorhersagemodelle angestoßen.

Die Anwendung wird in enger Zusammenarbeit mit operativen als auch den übergeordneten Ebenen konzipiert. So wird neben einer hohen Praktikabilität auch die Weiterverarbeitung der Daten und Informationen in dem System sichergestellt. Um Fragestellungen weiterer Nutzergruppen aber auch anderer Talsperrenbetreiber zu bedienen, ist die Webanwendung modular konzipiert und kann je nach Anwendungsfall angepasst werden.

Seit Ende des Forschungsprojekts im November 2017 werden die prototypisch entwickelten Komponenten im operativen Betrieb getestet, um zusätzliche Module ergänzt und auf weitere Talsperren ausgeweitet (Abb. 1).



**Abb. 1:**  
TaMiS wird iterativ auf die weiteren Talsperren des Wupperverbandes erweitert

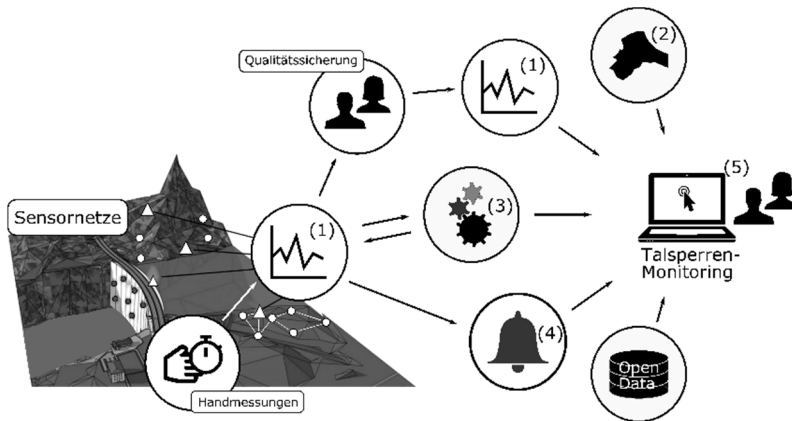
## 2 Das Talsperren-Monitoring-System

Das Talsperren-Monitoring-System (TaMiS) ist ein webbasiertes Informationssystem und führt relevante aktuelle und historische Messdaten aus den Bereichen Hydrologie, Meteorologie und der Bauwerksüberwachung zusammen.

Während im Systementwurf des Prototyps der Fokus auf der Visualisierung von In-situ-Messungen und statischen Geodaten lag, ist die Anforderungsliste an das System gewachsen und der Bedarf an weiteren Modulen sichtbar geworden. TaMiS wurde um die zwei zusätzlichen Module Messdatenerhebung und Berichtswesen erweitert. Ersteres erleichtert durch den regelbasierten Abgleich mit automatischen Messungen die Erhebung der regelmäßig durchzuführenden Kontrollmessungen. Durch das zweite Modul ist das System in der Lage, automatisiert ein personalisiertes oder rollenbasiertes Berichtswesen für alle Fach- und Führungs-

ebenen abzusetzen. In Entwicklung befinden sich derzeit zwei weitere Module: das Satellitenfernerkundungs-Modul sowie das SensorThings-Modul.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die vorhandenen Module. Die oben erwähnten Erweiterungen werden im Folgenden ausgeführt.

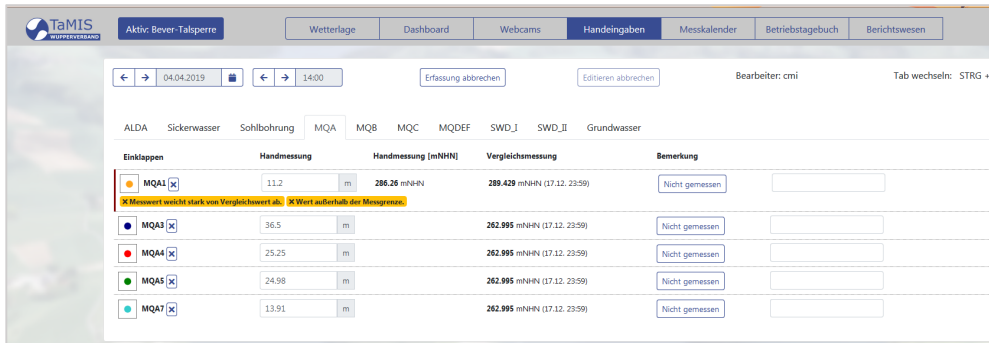


**Abb. 2:** TaMiS ist modular aufgebaut und lässt sich so einfacher erweitern. Neben den im Prototyp entwickelten Modulen Zeitreihen-Modul (1), Geodaten-Modul (2), Analyse-Modul (3) und Alarmierungs-Modul (4), wurden Module für die Integration von Handmessungen und weitere Open-Data-Plattformen integriert.

## Das Messdatenerhebungs-Modul

Zur Funktions- und Plausibilitätsüberprüfung der automatischen Messeinrichtungen am Dammbauwerk sind regelmäßige händische Kontrollmessungen seitens der Aufsichtsbehörden vorgeschrieben. Die erhobenen Messdaten werden derzeit über Drittsysteme in die Messdatenbank eingespielt. Hierdurch mangelt es an Datenintegrität, weil die eingesetzten Drittsysteme proprietäre Schnittstellen implementieren.

Durch die bei der Prototypentwicklung geleisteten Vorarbeiten sind diejenigen automatischen Messdaten, deren Funktionalität überprüft werden soll, standardisiert abrufbar. Dieser Umstand wurde sich im Messdatenmodul zu Nutze gemacht. Mittels konfigurierter Messabweichungsfenster können bei der Eingabe der manuellen Kontrollmesswerte durch Vergleich mit den automatischen Werten unmittelbar und automatisch Hinweise generiert werden, die auf fehlerhafte Eingabe oder Unregelmäßigkeiten hindeuten und so die Datenqualität steigern (Abb. 3).



Einklappen	Handmessung	Handmessung [mNHN]	Vergleichsmessung	Bemerkung
MQA1	11.2 m	286.26 mNHN	289.429 mNHN (17.12. 23:59)	Nicht gemessen
MQA3	36.5 m		262.995 mNHN (17.12. 23:59)	Nicht gemessen
MQA4	25.25 m		262.995 mNHN (17.12. 23:59)	Nicht gemessen
MQA5	24.98 m		262.995 mNHN (17.12. 23:59)	Nicht gemessen
MQA7	13.91 m		262.995 mNHN (17.12. 23:59)	Nicht gemessen

**Abb. 3:** Das Messdatenerhebungs-Modul vergleicht die automatischen Messwerte mit den manuell eingegebenen Messdaten und gibt Hinweise, sofern Plausibilitätsgrenzen überschritten sind

## Berichtswesen-Modul

Vor dem Hintergrund des Berichtswesens müssen regelmäßig Zustände, wie Tages-, Monats- oder Jahresberichte digital oder analog dokumentiert werden. Die Zusammenstellung dieser Berichte bedeutet die Analyse der Messwerte und die vorlagengestützte Dokumentation. Während beim ersten Arbeitsschritt erhebliches Fachwissen erforderlich ist, kann der zweite Schritt insofern automatisiert werden, als dass zugrunde liegende Gangliniengraphen oder gleichbleibende Textpassagen auf Basis der verfügbaren Daten generiert werden. Die generierten Dokumente müssen dann um die fachspezifischen Analyseergebnisse der verantwortlichen Fachexperten ergänzt werden.

Im Gegensatz zu den anderen Modulen, weist dieses Modul einen hohen Spezialisierungsgrad auf und macht sich die Interoperabilität der Eingangsdaten zu Nutze. Bei den generierten Dokumenten handelt es sich um proprietäre Dokumentarten.

## Das Satellitenfernerkundungs-Modul

Durch die Schaffung eines freien Zugangs zu hochauflösenden zeitlichen und räumlichen Daten der Fernerkundung kann heutzutage ein verbessertes kleinräumiges Monitoring wasserwirtschaftlicher Flächen erfolgen.

Mit der Verwendung von flächenbezogenen Daten kann ein Gesamtbild des überwachten Bereichs mit einer relativ hohen Auflösung im Raum erreicht werden. Durch die Nutzung von Satellitendaten können Wasserverfärbungen wie Algenblüten oder Sedimente dargestellt und analysiert werden. Über eine Kombination von In-situ- und Fernerkundungsdaten kann eine zeit- und kosteneffiziente großflächige Überwachung erreicht werden, die genaue Schätzungen der Wasserqualität in einem kleinen Gebiet liefert (Govender et al., 2007).

Technische Herausforderungen sind vor allem die Bereitstellung eines webbasierten Zugriffs auf Rasterprodukte sowie die Weiterverarbeitung dieser Datensätze im laufenden Betrieb. Eine weitere technische Herausforderung ist der hohe Speicherbedarf an Fernerkundungsdaten im Backend auch im Hinblick auf historische Zwecke und deren effiziente Bereitstellung in der Webanwendung. Der zukünftige Produktspeicher muss in der Lage sein, mit großen

Mengen an multidimensionalen Datensätzen zu arbeiten, sollte aber auch geografische Web-services und die Integration von In-situ-Daten unterstützen.

Gängige Serverlösungen für geografische Webdienste sind THREDDS, GeoServer oder Rasdaman (Wagemann et al., 2018). Da Rasdaman die Arbeit mit beliebigen dimensional Arrays ermöglicht und auch die OGC-Standardisierung unterstützt, scheint es das am besten geeignete Datenmanagementsystem zur Abschätzung eines Einsatzes von Array-Datenbanken in einer serverbasierten Architektur in betrieblichen Umgebungen zu sein. Darüber hinaus implementiert es das modulare Servicemodell, die Web Coverage Service Suite von Standards für Coverages. Die Funktionalität dieser Web-API reicht vom flexiblen Datenwürfelzugriff und -substitution bis hin zur komplexen Geodatenwürfelanalyse mit der Datenwürfelsprache Web Coverage Processing Service (WCPS) (Baumann, 2018).

Die geplante Architektur für die Verteilung und Visualisierung von multidimensionalen Datensätzen soll daher einerseits aus einem serverbasierten multidimensionalen Array-Produktspeicher mit standardisierten Schnittstellen bestehen. Und zum anderen aus einer Webanwendung, die die Datensätze standardisiert als Bilddaten bzw. als Rasterrohdaten zur Weiterverarbeitung erhält. Die Endprodukte werden über OGC Web Map Services (WMS), Web Feature Services (WFS) und Web Coverage Services (WCS) geliefert. Diese Dienste werden vom Web-Client aufgerufen und anschließend visualisiert.

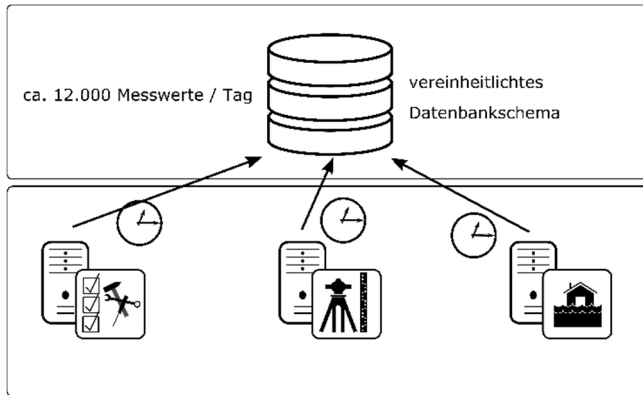
Eine Infrastruktur zur automatisierten Verarbeitung und Bereitstellung der Ergebnisauswertungen von Satellitendaten in einem Datenmanagementsystem wird zurzeit in dem vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Forschungsprojekt Wasserwirtschaftliche Copernicus-Dienste zur Bestimmung von Stoffeinträgen in Talsperren und Gewässern (WaCoDiS) geschaffen und implementiert.

Zur Visualisierung der Fernerkundungsdaten wird eine Ansicht zum Aufdecken von Veränderungen in die Webanwendung integriert. Diese bietet die Möglichkeit verschiedene Datenprodukte bzw. zeitlich unterschiedliche Ergebnisse gleicher Datenprodukte auf planarer Basis zu vergleichen. Darüber hinaus sind On-the-fly-Berechnungen geplant, wie z. B. die Differenzen zweier Datenprodukte oder die Berechnung des Vegetationsindex.

Der Vergleich der Datenprodukte kann zum einen durch die Überlagerung von Bildern verschiedener Zeitstempel mithilfe eines Schiebereglers erfolgen. Andererseits können zwei einzelne synchronisierte Karten dargestellt werden, um Veränderungen durch den Vergleich desselben Raumausschnitts auszuwerten. Beide Möglichkeiten sollen angeboten werden, um den unterschiedlichen Anforderungen der Anwender gerecht zu werden.

## **Das SensorThings-Modul**

Die Sensorweb-Dateninfrastruktur des Wupperverbandes wurde beim Aufbau in die bestehende Dateninfrastruktur integriert. Die Integrationslogik bestand darin, die Daten aus den verschiedenen Fachsystemen auch in einer Sensorweb-Datenbank, einer homogenen Datenstruktur, vorzuhalten (Abbildung 4). Die Sensorweb-Datenbank wird durch regelmäßige Importmechanismen aktualisierter Datensätze synchronisiert. Die Entwicklungen des Internet of Things (IoT) (Bullinger et al., 2007) und die in diesem Kontext eingesetzten Standards wie das Message-Queuing-Telemetry-Transfer-Protokoll (MQTT) (Banks & Gupta, 2014) wurden von der OGC Sensor Web Enablement Initiative adaptiert und 2016 im OGC SensorThingsAPI Standard (Liang et al., 2016) mit den klassischen Sensor Web Patterns verknüpft.



**Abb. 4:** Die Sensorweb-Dateninfrastruktur wurde in eine bestehende IT-Infrastruktur integriert. Die Datenkommunikationsstrategie war hierbei, durch regelmäßige Importlogiken die Sensorweb Datenbank synchron zu halten.

Das SensorThings-Modul stellt einen MQTT-Broker zur Verfügung, welcher auf einem im Vorfeld definierten Satz von MQTT-Kanälen nach neuen Daten horcht. Die Daten der an der Talsperre installierten Sensoren werden über ein IoT Gateway mittels MQTT-Protokoll an diesen Broker geschickt und in der Sensor Web Datenbank gespeichert. So wird der Umweg über die Fachsysteme vermieden und die Daten sind fortan über die Webdienste des Messdatenerhebungs-Moduls abrufbar.

### 3 Diskussion und Ausblick

Der bis 2018 entwickelte Prototyp des TaMiS-Systems befindet sich derzeit in einer operativen Testphase und wird im Hinblick auf Robustheit und Performanz untersucht und weiterentwickelt. Durch seine modulare Struktur ist es möglich, TaMiS neue Module und Funktionalitäten durch alle Softwareschichten hindurch hinzuzufügen. TaMiS folgt drei Kernaspekten der Digitalisierungsstrategie im Kontext der Wasserwirtschaft 4.0, welche vergleichbar zur Industrie 4.0 die Automatisierung und Digitalisierung im Kontext Wasser in den Vordergrund stellt. Die drei Kernaspekte sind die Überführung analoger Daten in digitale, die Automatisierung von Betriebsprozessen und die Schaffung einer Datenintegrität.

Die Überbrückung analoger bzw. manueller Intervention mit den Messsystemen wird in den beiden Modulen zur Eingabe der Kontrollmessungen und dem SensorThings-Modul verfolgt. Werden einige Kontrollmessungen bisher mit Papier und Stift erhoben, so soll in Zukunft die Schnittstelle zu den digitalen Daten durch mobile Endgeräte näher zu den Messsystemen gebracht werden.

Über das Berichtswesen-Modul kann das in Deutschland vorgeschriebene Berichtswesen erheblich vereinfacht werden, weil Textblöcke und Diagramme automatisch generiert werden können. Auch die behördenübergreifende Kommunikation kann durch den vereinfachten Zugang zu den Daten erleichtert werden. Dies zielt auf den zweiten Aspekt der Automatisierung von Betriebsprozessen ab.

TaMiS ergänzt zudem die Funktionalität von Prozessleitsystemen (PLS), welche für die Steuerung und Überwachung von Absperrbauwerken eingesetzt werden. PLS sind in der Regel so konzipiert, dass sie möglichst eng mit den Steuerungseinheiten und Messgebern vor Ort gekoppelt sind, um im Gefährdungsfall die entsprechenden Steuerungsmechanismen bereitzustellen. Dabei kontrollieren sie Parameter, wie den Sohlenwasserdruck und Grundwasserstand, zur Überwachung der Standsicherheit und Abdichtung der Dammbauwerke. Durch TaMiS lassen sich die gemessenen Parameter effizient auswerten, visualisieren und nachträgliche Kontrollmessungen besser integrieren.

TaMiS erlaubt so einen gesamtheitlichen Blick auf Talsperrensysteme und stellt Entscheidungshilfen für das Sicherheits- und Wasserressourcenmanagement von Talsperrensystemen bereit. Auf diese Weise kann die wasserwirtschaftliche Rolle einer Talsperre oder mehrerer Talsperren in einem Talsperrensystem genauer bestimmt werden. Dies resultiert in einer exakteren Ausschöpfung der Potenziale, die Betriebsregeln bieten, sodass Abgaben aus der Talsperre optimiert und der Speicherinhalt intelligenter bewirtschaftet werden kann. Letztlich kann die Versorgungssicherheit mit Trink- und Brauchwasser einer Region besser bewertet werden. In Zeiten des Klimawandels und trockener Sommer zunehmend bedeutsame Aspekte.

Die nächsten Schritte bestehen darin, das System im Produktivbetrieb mit den diversen Komponenten hinsichtlich der Prognosen zu validieren und auf die übrigen Talsperren des Wuppertalverbands zu übertragen. Auch der Vertrieb des TaMiS für Talsperren anderer Betreiber steht auf dem Programm.

Durch seine Verfügbarkeit im Web und die Institutions-übergreifende Datennutzung fügt sich TaMiS als weiterer Baustein in die Wasserwirtschaft 4.0 ein. Somit rückt die Vision eines digitalen Zwillings durch die Repräsentation eines realen Objekts in der digitalen Welt näher. Daten, Algorithmen und Prozesse sind mit den Sensoren der realen Welt gekoppelt und stellen für die Verfahren im Sinne einer noch genau zu definierenden Wasserwirtschaft 4.0 die Basis dar.

## Danksagung

Die Entwicklung des Prototyps für ein Talsperren-Monitoring-System wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Sonderprogramm „Geotechnologien“ unter der Kennung 03G0854B gefördert.

## Literatur

- Banks, A., & Gupta, R. (2014). MQTT Version 3.1. 1. *OASIS standard*, 29, 89.
- Baumann, P. (2018). *OGC Public Wiki*. Retrieved Nov 12, 2018, from [http://external.openeospatial.org/twiki\\_public/CoveragesDWG](http://external.openeospatial.org/twiki_public/CoveragesDWG).
- Bröring, A., Echterhoff, J., Jirka, S. et al. (2011). New Generation Sensor Web Enablement. *Sensors*, 11(3), 2652–2699.
- Bullinger, H. J., & Hompel, M. (Eds.) (2007). *Internet der Dinge: www.internet-der-dinge.de*. Heidelberg/Berlin/New York: Springer.

- Govender, M., Chetty, K., & Bulcok, H. (2007). A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA*, 33(2), 145–150.
- Liang, S., Huang, C. Y., & Khalafbeigi, T. (2016). OGC SensorThings API part 1: Sensing. *OGC R Implementation Standard*. Retrieved Apr 14, 2018, from <http://docs.openeospatial.org/is/15-078r6/15-078r6.html>.
- Malewski, C., & Spies, K. H. (2017). TaMiS – ein flexibles System für das Sicherheitsmanagement von Talsperren. *AGIT Journal für Angewandte Geoinformatik*, (3), 326–331
- Open Geospatial Consortium (2006). *OpenGIS Web Map Service*. Version 1.3.0.
- Wagemann, J. et al. (2018). Geospatial web services pave new ways for server-based on-demand access and processing of Big Earth Data. *International Journal of Digital Earth*, 11(1), 7–25.
- Wikipedia (2018). *Kritische Infrastrukturen*. Retrieved Jan 30, 2019, from [https://de.wikipedia.org/wiki/Kritische\\_Infrastrukturen](https://de.wikipedia.org/wiki/Kritische_Infrastrukturen).