Prognose des kurzfristigen Wasserbedarfs: ein wichtiges Werkzeug für den Betrieb

Dr. Martin Wagner, Tobias Martin

DVGW | TZW Technologiezentrum Wasser

DVGW Technologiezentrum Wasser

Karlsruhe-Hagsfeld

- Geschäftsleitung
- Wasserversorgung
- Wasserchemie
- Wassermikrobiologie
- Finanzen, Personal, Infrastruktur

Karlsruhe Durlacher Wald

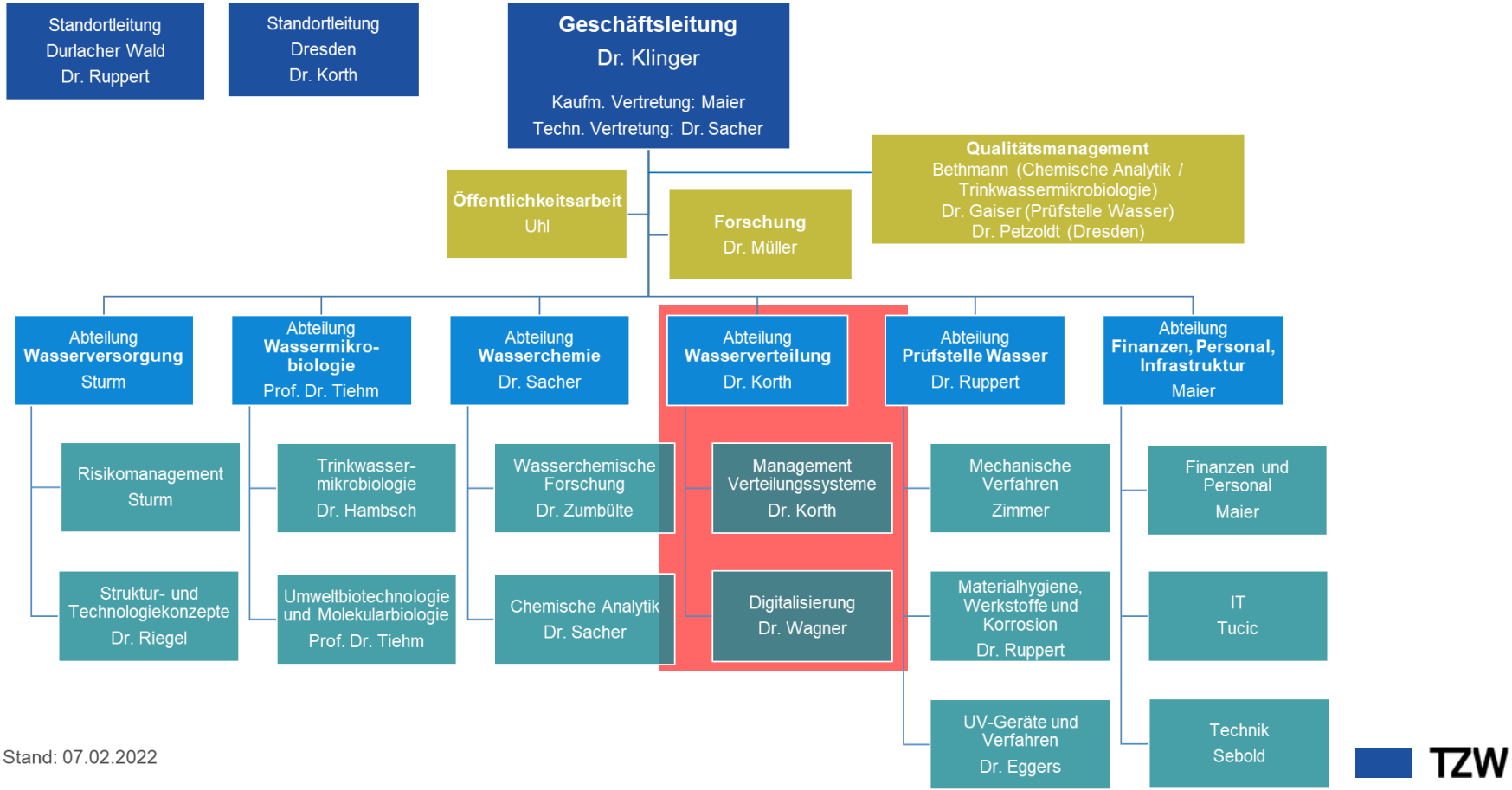
- Prüfstelle Wasser

Dresden

- Wasserverteilung

TZW

DVGW Technologiezentrum Wasser



Stand: 07.02.2022

TZW

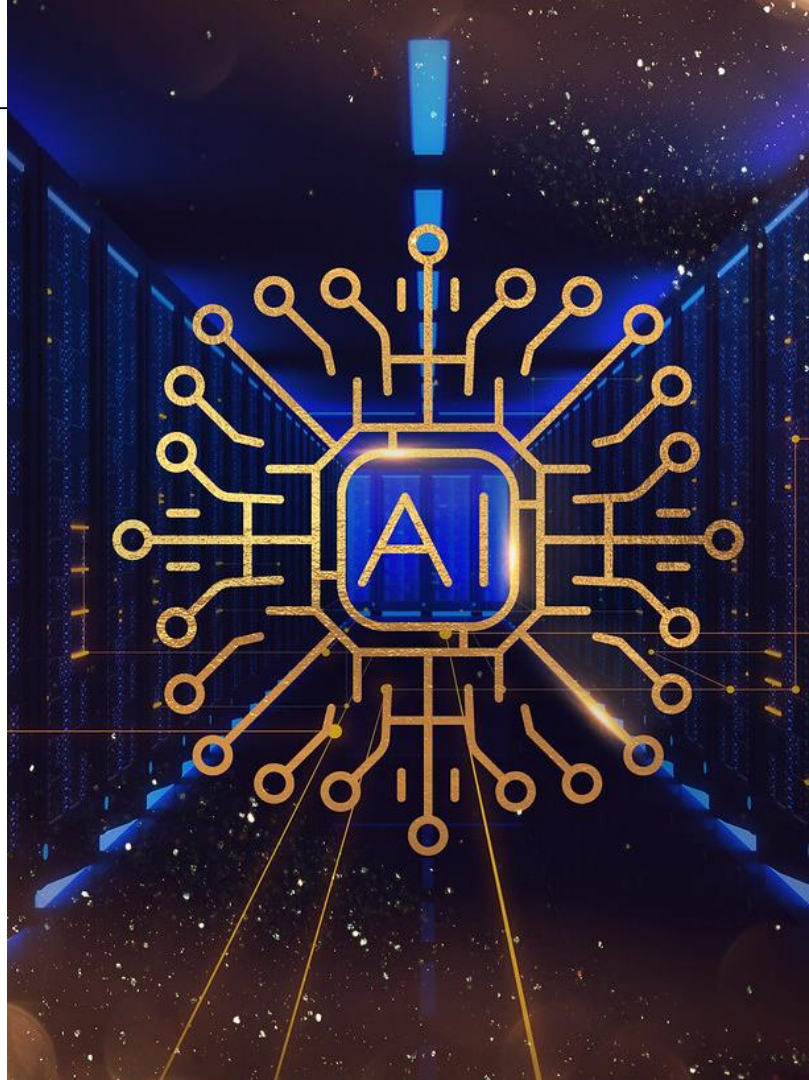
Wasserverteilung

- Planung und Betrieb von Netzen, um Verkeimungen zu vermeiden
- Optimierte Spülkonzepte und Betriebsstrategien für Netze, um Braunwasser nachhaltig zu beseitigen und vermeiden
- Leistungsfähigkeit von Korrosionsinhibitoren
- Spülverfahren für Trinkwasserleitungen
- Rehabilitationsmaßnahmen
- Optimierung der Netzstruktur

TZW

Exkurs: Maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz

Mythen und Wahrheiten



Terminologie

Machine Learning - künstliche Intelligenz

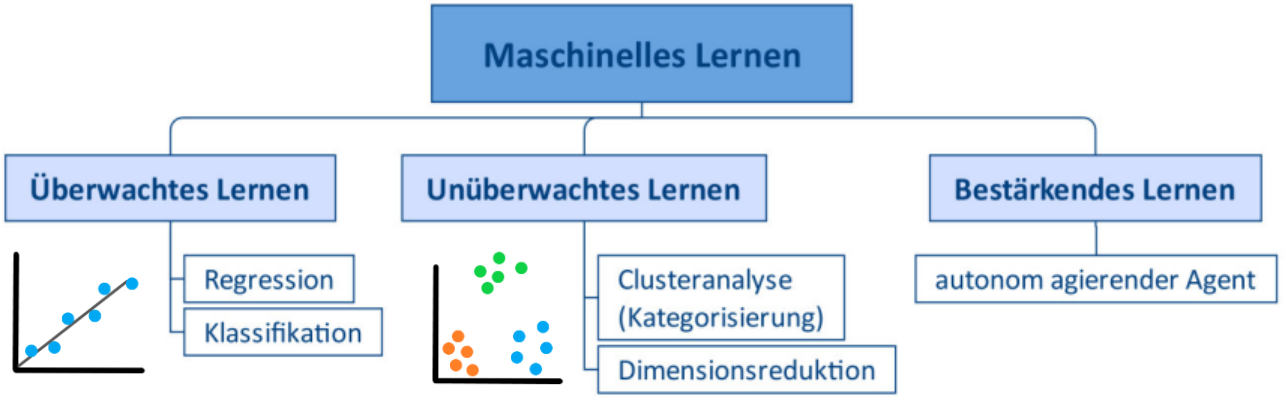
Langjährige Forschungsfelder im Bereich Mathematik,

Datenwissenschhaften und Informatik

- Jedoch: Begriffe werden „inflationär“ benutzt
  - Wo immer auch etwas berechnet wird, wird der Begriff „Machine Learning“ verwendet
  - Universale Lösung für Alles

Terminologie

- Machine Learning = datengetrieben („selbstlernend“)
- Big Data: **4V** – Volume, Velocity, Variety, Value



DeepL

Perfekt sprechende Computer

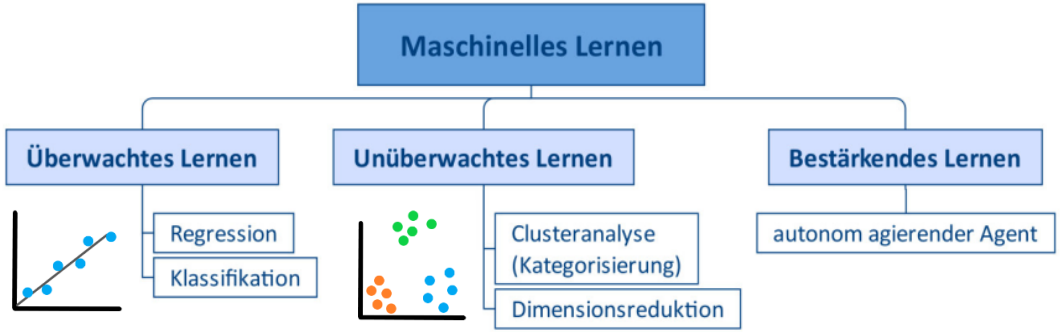
Der Google Assistant ruft im Restaurant an - und keiner merkt es

TZW

Anwendungen

Smartphones:

- Vorschläge Wort-/Satzvervollständigung
- Extraktion Text aus Bildern



Perfekt sprechende Computer

Der Google Assistant ruft im Restaurant an – und keiner merkt es

Webanwendungen

- Übersetzungen (DeepL, Google Translate)
- Bildgeneratoren
- Chat-Bots
- Produktempfehlungen (Amazon, Instagram, …)

DeepL

Weitere Anwendungen

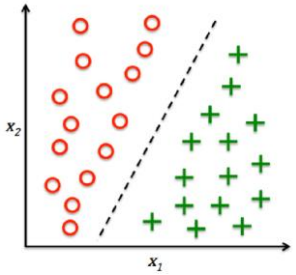
- Gesichtserkennung
- Spam-Filter
- Betrugserkennung (Kreditkartenmissbrauch)
- Medizin

TZW

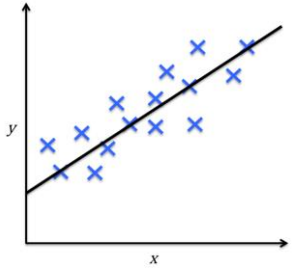
Überwachtes Lernen

- **Ziel:** Darstellung einer oder mehrerer Zielgrößen basierend auf unabhängigen Faktoren.

Zielgröße bekannt



Klassifikation



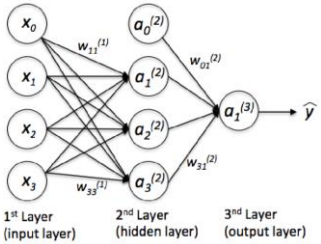
Regression

- **Methoden**

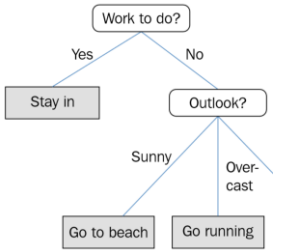
Uni-/Multivariate Regression

$$y = ax + b$$

Neurale Netze



Entscheidungsbäume



TZW

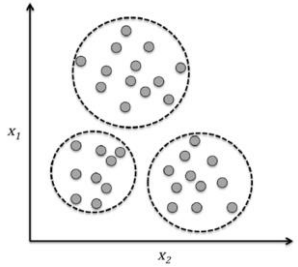
Unüberwachtes Lernen

- **Ziel:** Finden von zugrunde liegenden Strukturen, Visualisierung hochdimensionaler Daten. Keine Zielgröße vorhanden.

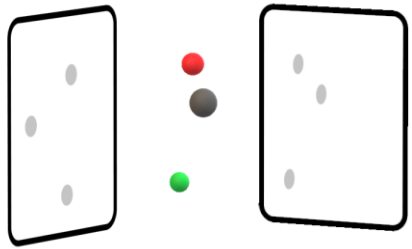
Zielgröße unbekannt

- **Methoden**

Clustering



Dimensionsreduktion



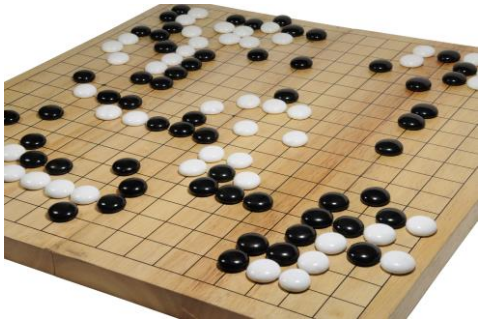
Event/Anomaly Detection

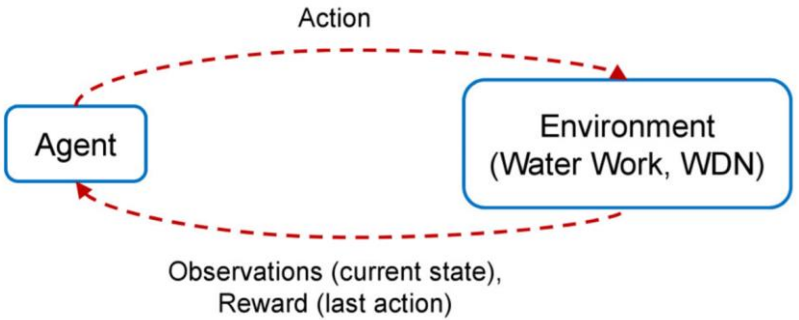
0.2152	0.2029	0.5897	0.7952
0.8695	0.0642	0.9790	0.0256
0.4909	1.9453	0.6548	0.7052
0.2293	0.8640	0.8661	0.3919
0.5911	0.2086	0.1198	0.8971
0.0705	0.3238	0.8296	0.7671
0.6311	0.6265	0.1958	0.8070
0.8121	0.3203	0.1184	0.8849
0.2388	0.8048	0.6022	0.5166
0.2688	0.5129	-1.2340	0.0006

TZW

Bestärkendes Lernen

- „Agent“, der auf Basis von Informationen aus seiner Umwelt **Entscheidungen** trifft
- Prinzip „Kindererziehung“ (ja, nein, gut, schlecht)
- Rasante Fortschritte (DeepMind) – Beispiel Brettspiel „Go“





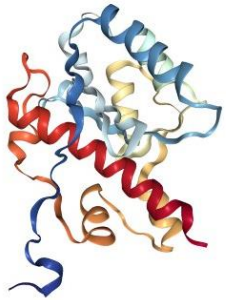
TZW

„Learning und Deep Learning“

- Künstliche Intelligenz ist ein Teilbereich des maschinellen Lernens
- „Deep Learning“ steht für die Verwendung von großen neuronalen Netzen

Entwicklungen der letzten 10 Jahre:

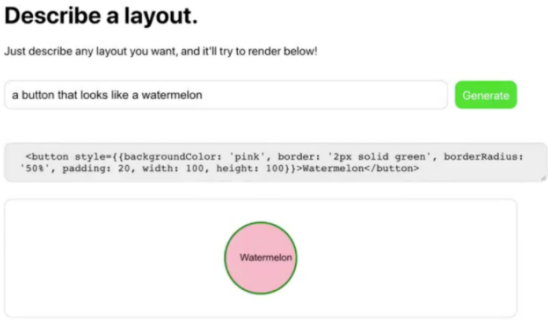
- 200x: Handschriftenerkennung & Deep Learning
- 2012: ImageNet-Wettbewerb & AlexNet & GPU
- 2016: AlphaGo
- 2019: AlphaFold (Proteinstruktur)
  - 98 Teams: 25/43; 3/43
- 2020: GPT-3
- November 2022: ChatGPT (Microsoft)
- Februar 2023: Bard (Google)

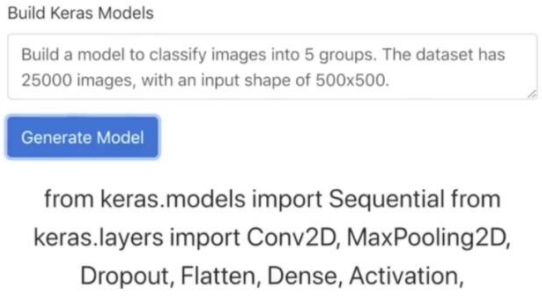


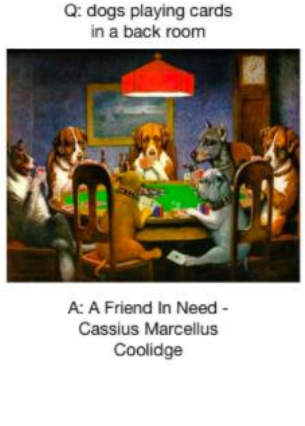
TZW

GPT-3

- Generative Pre-trained Transformer (GPT), NLP-Modell
- Bisher: Stimmungsanalyse von Texten, Bewertung von Filmen (überwachtes Lernen)
- GPT: unüberwachtes Training, anschließend Training für bestimmte Aufgabe mit sehr wenigen Samples
- Skills: Schreiben von Texten, SQL-Abfragen, Quellcode







… soweit so gut zum Exkurs… aber was ist mit der Wasserwirtschaft?

… Machine Learning in der Wasserwirtschaft?

Wasserwirtschaft = kritische Infrastruktur = konservativ

Aktuelle Anwendungen

- Wasserverfügbarkeitsprognose
- Wasserverluste
- Predictive Maintenance
- Social Media Auswertung
- Wasserbedarfsprognose
- Überwachung Wasserqualität
- Aufbereitung

… soweit so gut zum Exkurs… aber was ist mit der Wasserwirtschaft?

… Machine Learning in der Wasserwirtschaft?

Wasserwirtschaft = kritische Infrastruktur = konservativ

Aktuelle Anwendungen

- Wasserverfügbarkeitsprognose
- Wasserverluste
- Predictive Maintenance
- Social Media Auswertung
- Wasserbedarfsprognose
- Überwachung Wasserqualität
- Aufbereitung

TZW

Wasserbedarfsprognose

TZW

Warum Prognosen?

Kurzfristige Prognosen

- Trinkwasserproduktion (Vergleichmäßigung Betrieb)
- Behälter- und Pumpenmanagement
- Klimawandel & Spitzenbedarf
- Asset Management (Behälterspülungen)
- Wasserbilanz → Anomaliedetektion
- Wasserdargebot (Entnahmerecht)

Treiber: Schere zwischen Grund- und Spitzenlast

Mittel- und langfristige Prognosen

- Strategische Entwicklung, Planung, Dimensionierung
- Wasserdargebot (Entnahmerecht)

Wasserbedarf (Referenzprojekte)

- Forschungsprojekte zum Thema Wasserbedarf

2010

WatERP

EU: 2012 - 2015

SERVING

2015 - 2019

DVGW: 2012 - 2016

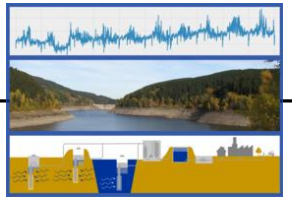
Verbrauchsganglinien

DVGW: 2017 - 2020

Kurzzeitprognosemodelle

DVGW: 2018 - 2021

Spitzenfaktoren



2022 – 2024

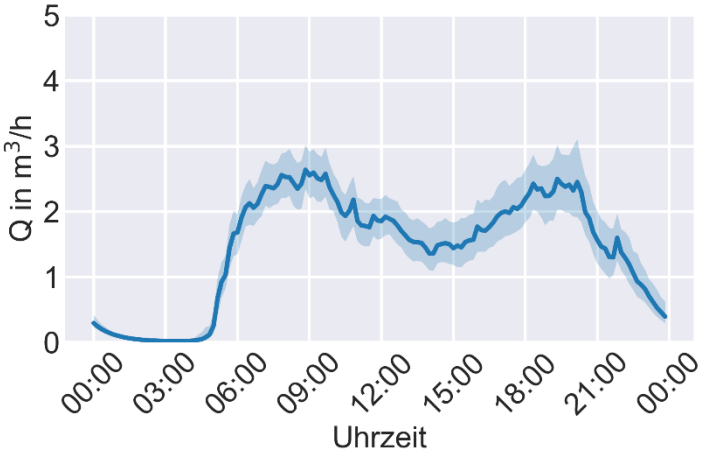
TrinkXtrem

heute

TZW

Wasserbedarfsprognose

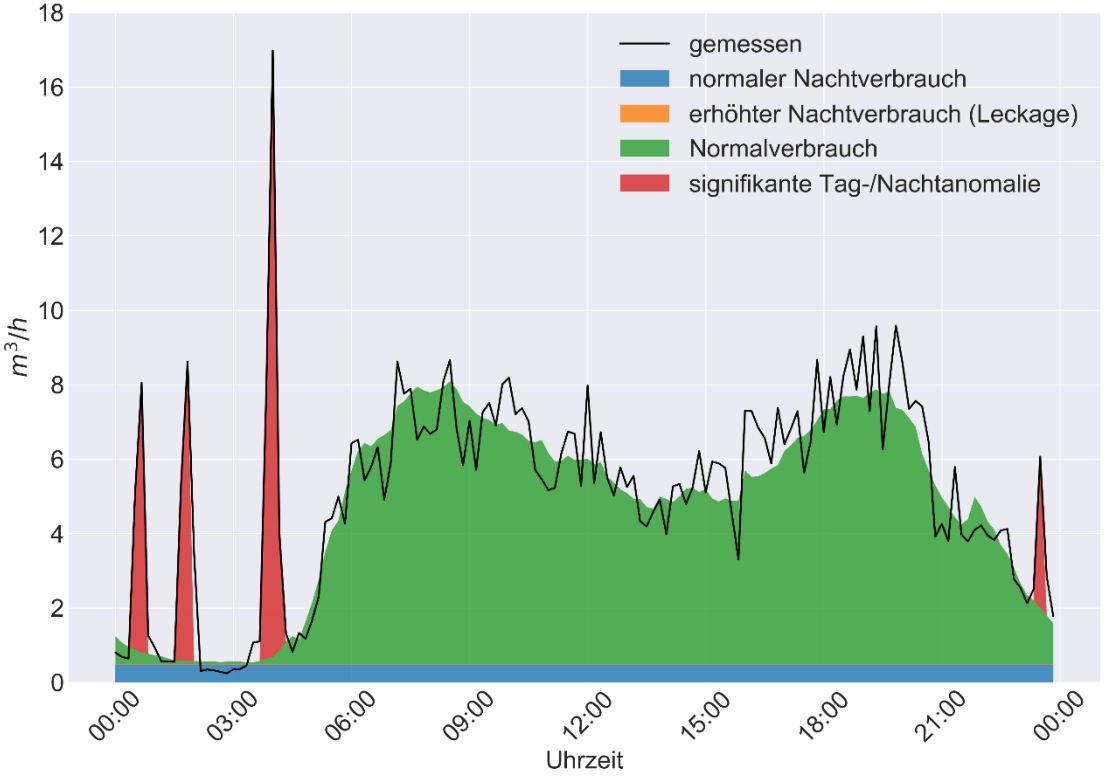
- Voraussetzung für die Prognose des Wasserbedarfs ist das Verständnis über den bisherigen Wasserbedarf
- Erster Schritt ist die Charakterisierung des Wasserverbrauchs



TZW

Analyse zeitaufgelöster Ganglinien

- Erfassung typischer Verbrauchsmuster
- Erfassung Anomalien
  - Eigenbedarf
  - Löschwasser
  - Nicht erklärbare Verbräuche
- Bilanzierung aller Komponenten

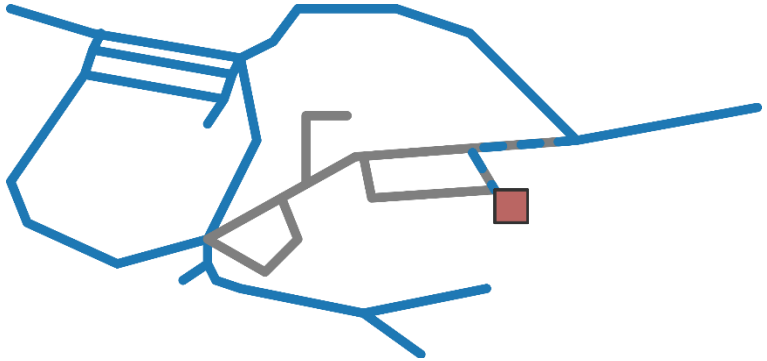


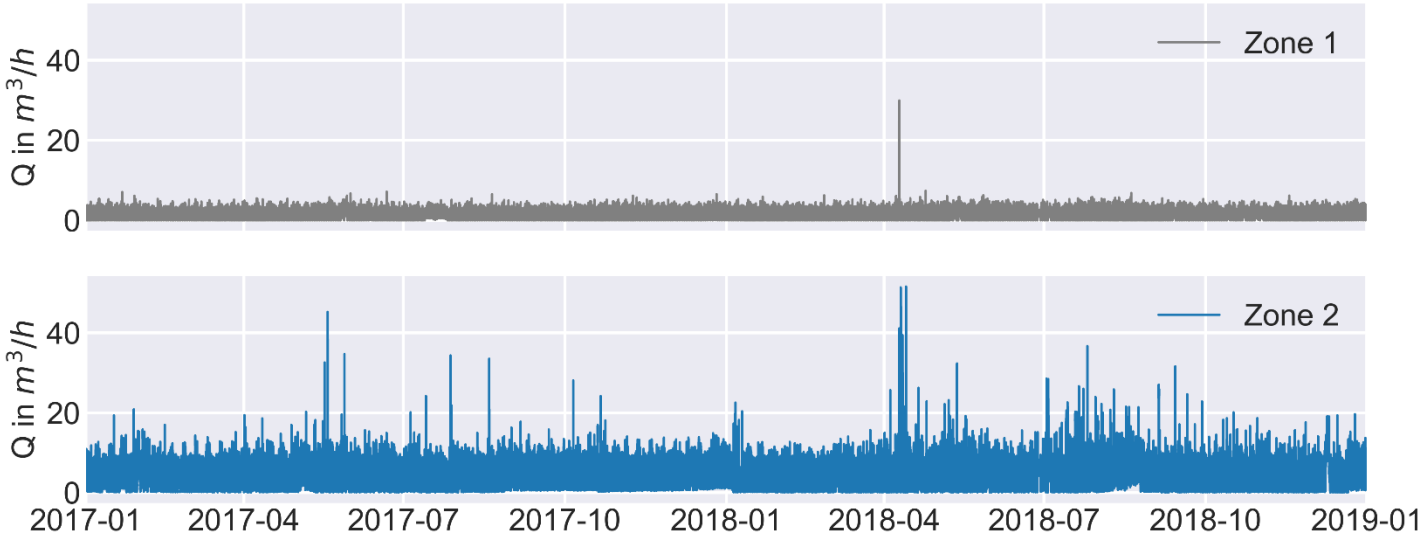
>>> Beispiel für unüberwachtes Lernen

TZW

Datengrundlage

- Einspeisung in zwei Zonen in einer Auflösung von 30 Sekunden
- Zeitraum von zwei Jahren (2017 & 2018)

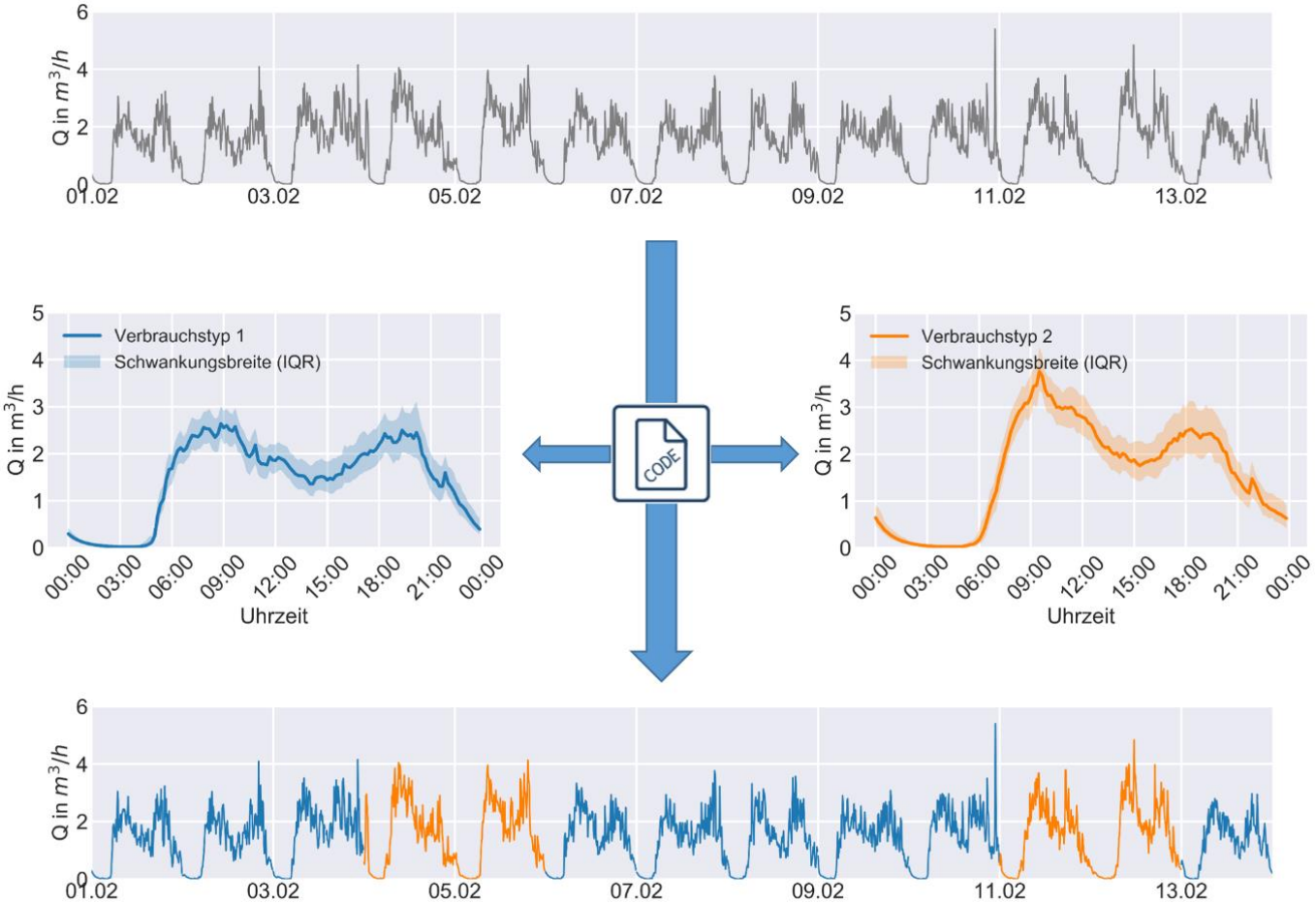




TZW

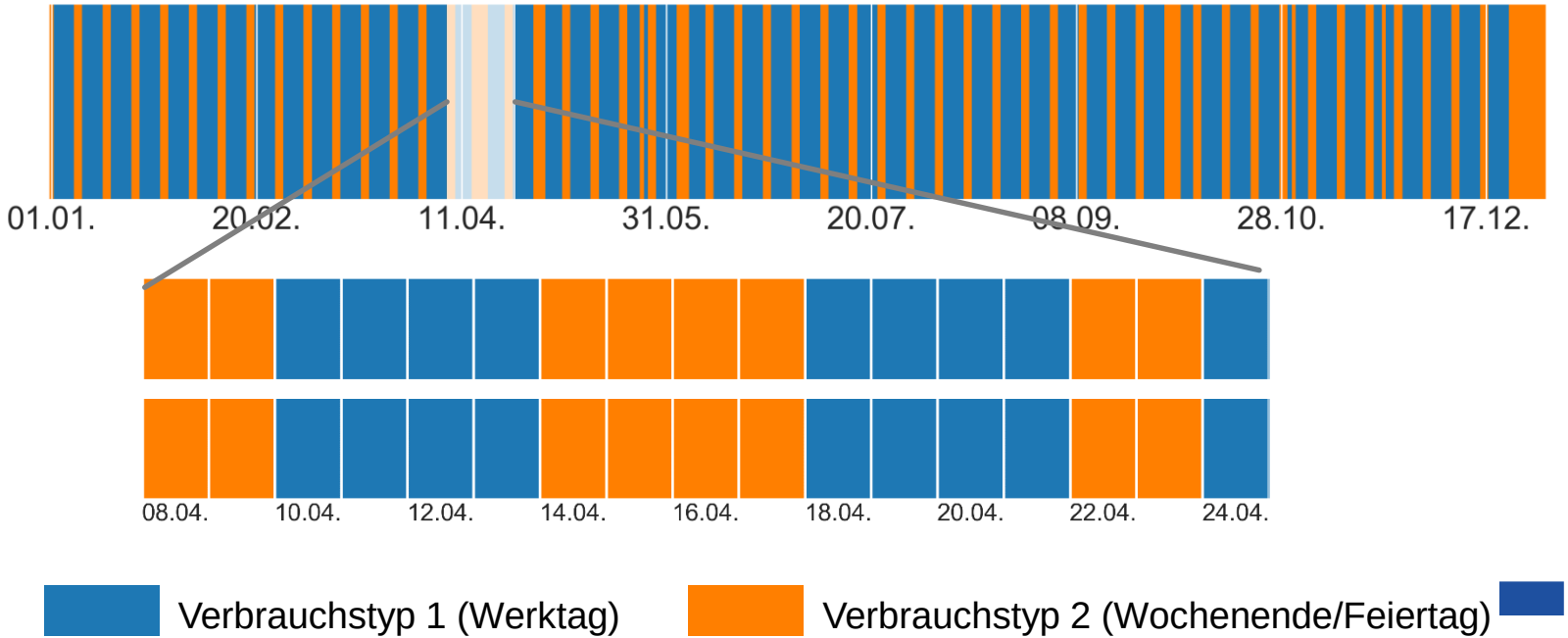
Methodik

- Mustererkennung
- Identifizierung typischer Tagesprofile



Ergebnis Zustandsanalyse

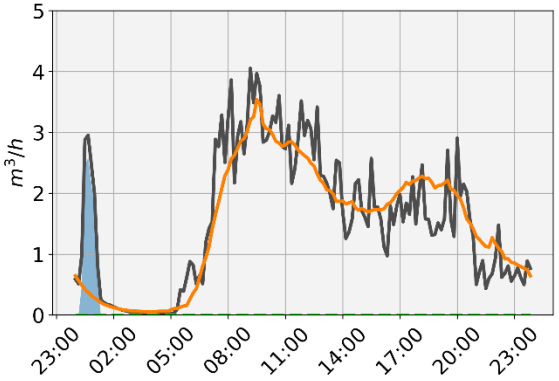
- Visualisierung des Verbrauchsverhaltens **einer Zone**
- einfacher Vergleich des Verbrauchsverhaltens **verschiedener Zonen** möglich



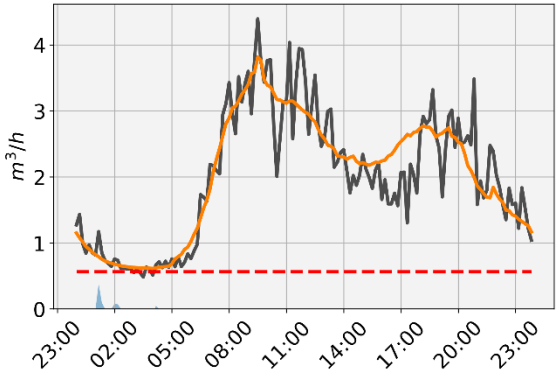
TZW

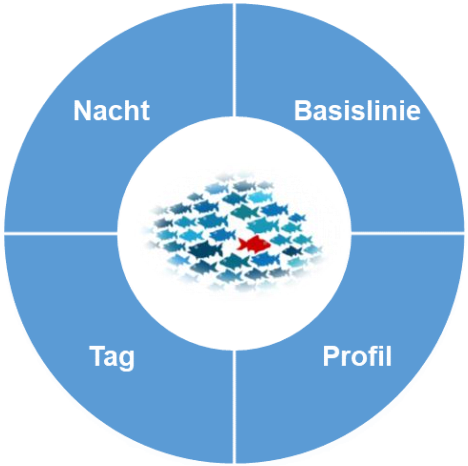
Detektion von Anomalien

Nacht-Anomalie

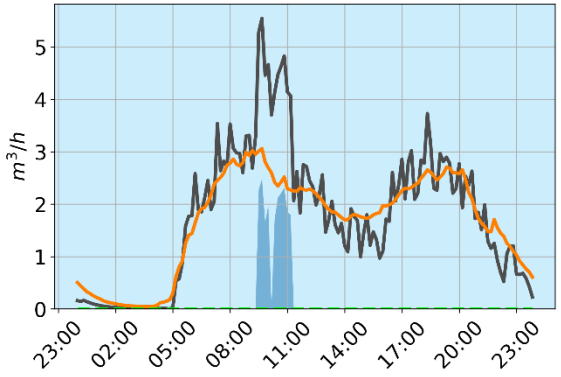


Basislinien-Anomalie

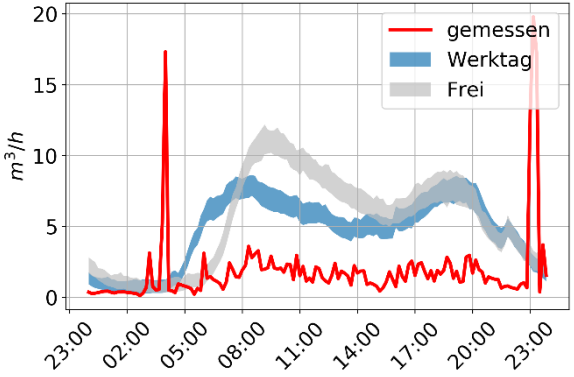




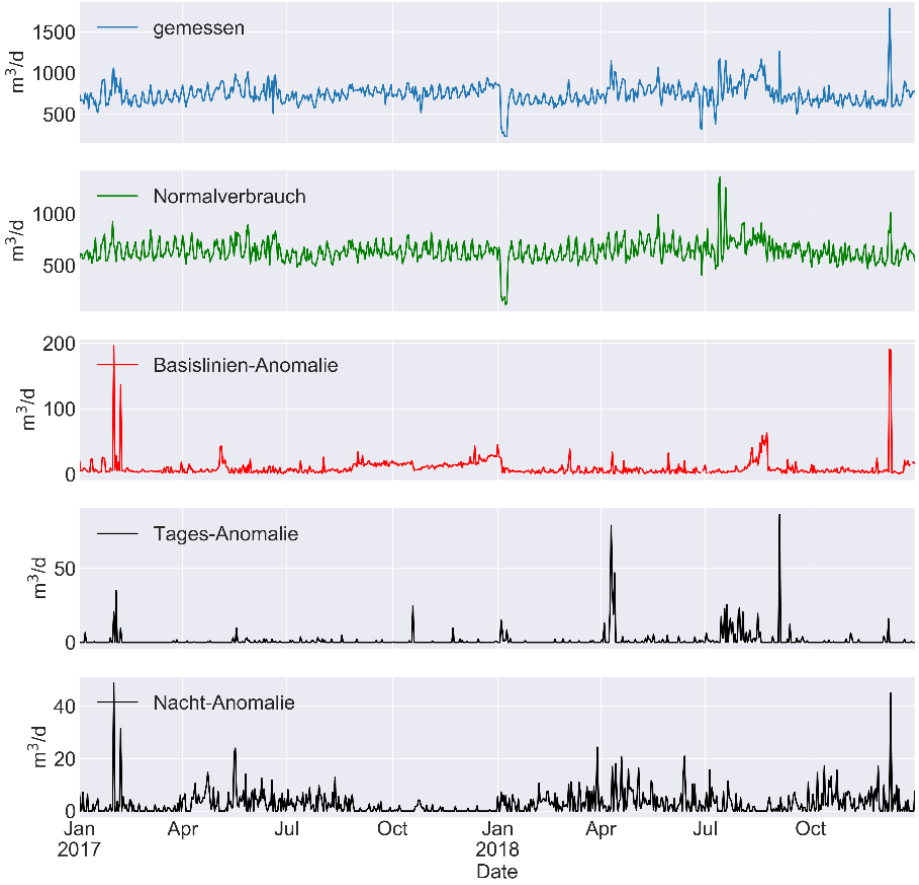
Tages-Anomalie



Profil-Anomalie



Ergebnis



Einspeisung

Normalverbrauch = in Rechnung gestellt

Basislinie =
- Leckage
- Normaler Nachtverbrauch

Tages-Anomalie =
- kurzfristige Leckagen
- in Rechnung gestellt (Bewässerung)
- Eigenbedarf, Löschwasser, etc.

Nacht-Anomalie =
- kurzfristige Leckagen
- in Rechnung gestellt (Bewässerung)
- Eigenbedarf, Löschwasser, etc.

TZW

Wasserbedarfsprognose

- Nach Charakterisierung erfolgt die Erstellung eines

  Prognosemodells

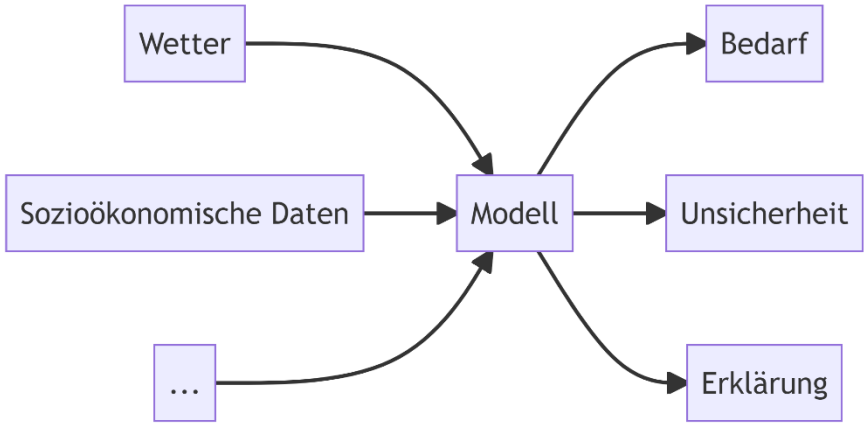
Entwicklungen am TZW

Produktentwicklung

- 24/7-Service für WVU
- Bedarfsprognose für die kommenden 14 Tage
- Vergleichbar mit einer Wetter-App
- Prognose des Wasserbedarfs in Form von
  - Tageswerten oder
  - Stundenwerten
- Prognose für
  - Gemeinde
  - einzelne Zonen

Innovation TZW

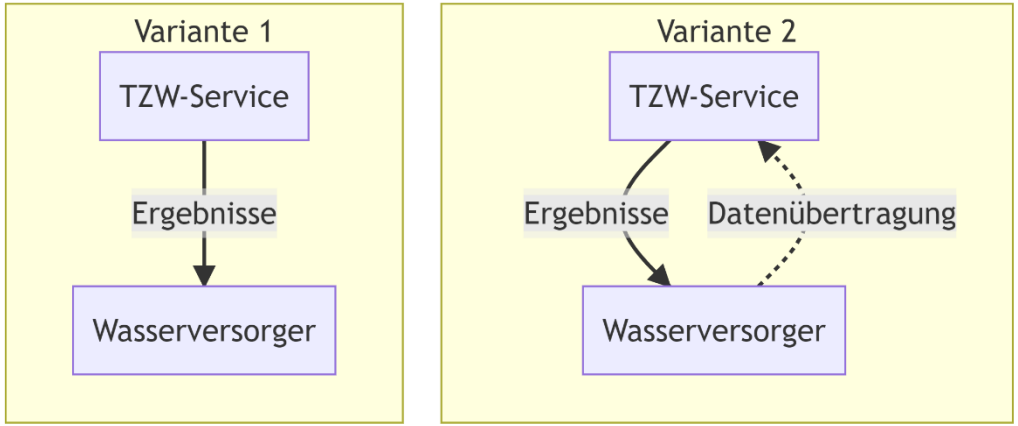
- Wasserbedarfsprognose basiert auf künstlicher Intelligenz
- Anwendung von
  - State of the Art Technologien aus dem Bereich des maschinellen Lernens und künstlicher Intelligenz
  - Frei verfügbarer Datenquellen



TZW

Innovation TZW

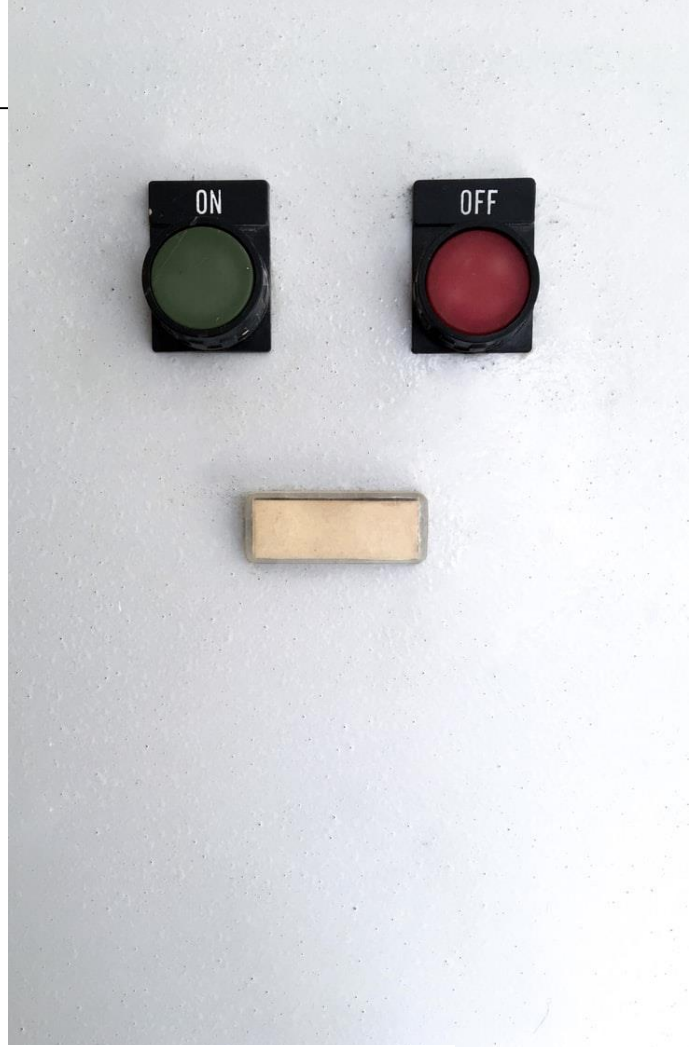
- Unterschied zu vergleichbaren Produkten:
  - Prognose = f(Wetter, …, aktuelle Verbrauchsdaten)
  - Prognose = f(Wetter, …) ← Prognose erfolgt ohne Live-Daten WVU



Anwendungsbeispiel

Praxisanwendung bei einem

Wasserversorgungsunternehmen



Bildrechte: https://unsplash.com/photos/IU0K4L7c6do

Anwendungsbeispiel

Städtisches Wasserversorgungsunternehmen (ca. ½ Million Einwohner)

- Prognose des Wasserbedarfs
- Tägliche Prognose um 04:00 Uhr in der Nacht
- Prognosehorizont: kommende 10 Tage
- Prognose des Bedarfs für zwei Zonen
- Prognose von Tageswerten

Testphase

- Reporting per E-Mail
- csv- und html-Bericht

TZW

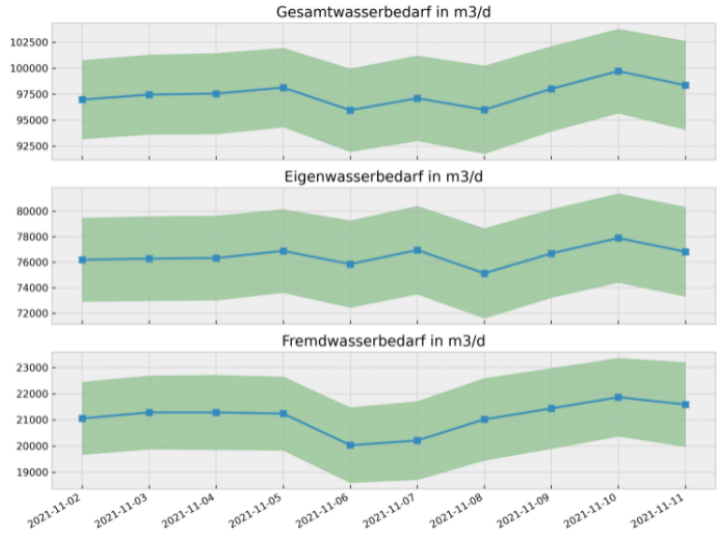
Anwendungsbeispiel

Ergebnisse (rechts: Auszug aus html-Bericht)

- Prognose des
  - Täglichen Wasserbedarfs in m³/d
  - Angabe Unsicherheit in m³/d
- Quellen von Unsicherheit
  - Modellfehler
  - Unsicherheit in Eingangsdaten (z. B. Unsicherheit in Wetterprognosen)

TZW Wasserbedarfsprognose

Prognose vom 2021-11-01 04:01:00



Bedarf

	Gesamtwasserbedarf in m3/d	Eigenwasserbedarf in m3/d	Fremdwasserbedarf in m3/d
vorhergesagter Tag			
2021-11-02	96981	76188	21060
2021-11-03	97458	76281	21284
2021-11-04	97556	76327	21286

Anwendungsbeispiel

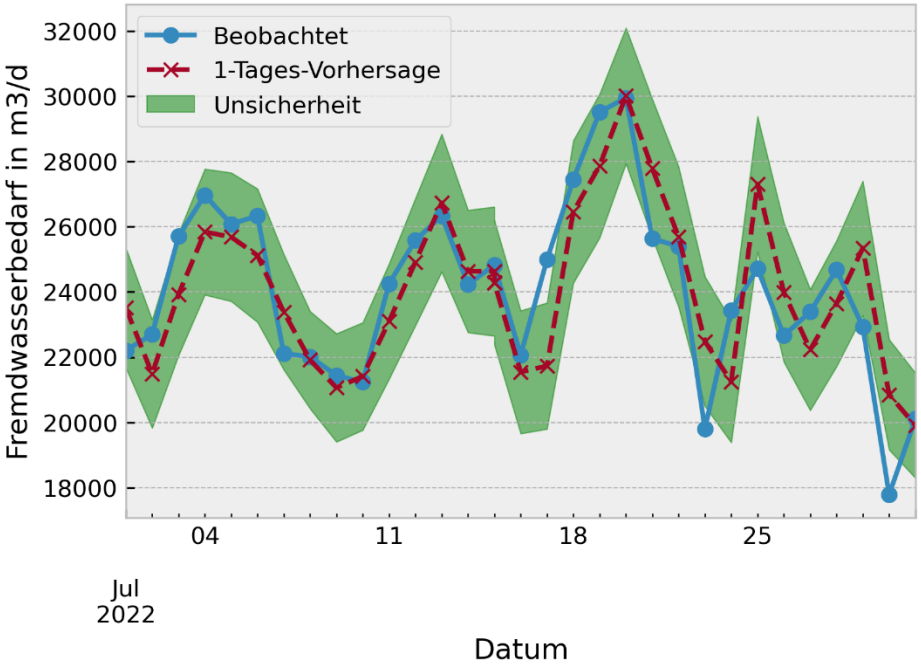
Anwendung von zwei Modellen

- Modell **ohne Berücksichtigung** des Vortagesverbrauchs
  - Prognosen werden unabhängig vom WVU erstellt
  - Kein ständiger Datenaustausch (Übermittlung Vortagesverbrauch an TZW) notwendig
- Modell **mit Berücksichtigung** des Vortagesverbrauchs
  - Für Erstellung der Prognose muss täglich der Vortagesverbrauch des WVU an das TZW übermittelt werden
- **Zielstellung:** Vergleich der Prognosegenauigkeit zwischen beiden Ansätzen (mit/ohne Berücksichtigung Vortagesverbrauch)

Anwendungsbeispiele

Testphase mit einem WVU (ca. 1/2 Million Einwohner)

- Vergleich beobachtet/prognostiziert im **Juli 2022, Fremdwasserzone**



Prognose

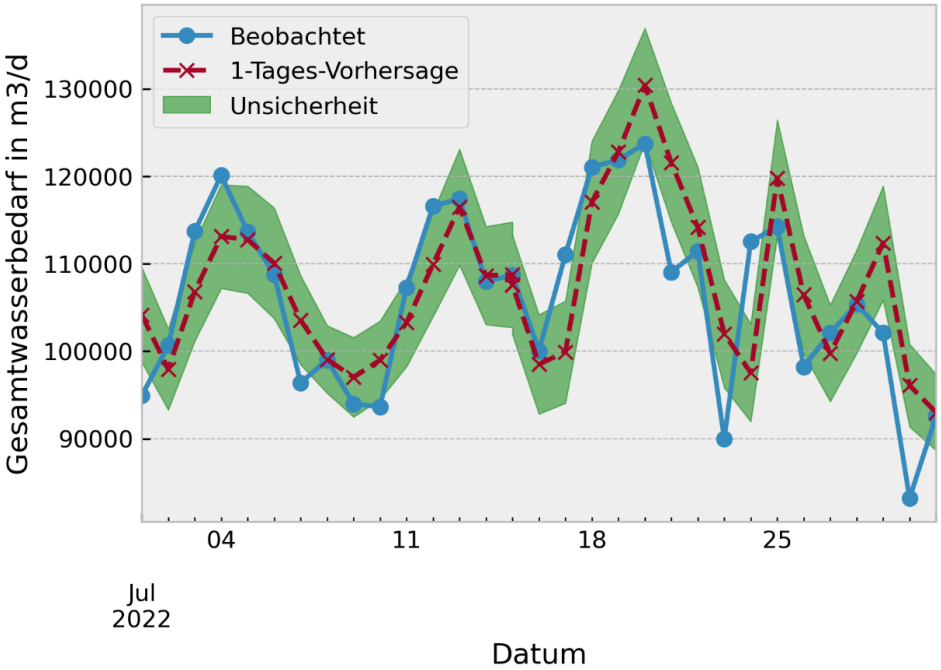
- so einfach wie Abruf Wettervorhersage
- Prognosen ohne Verwendung von Vortageswerten
- Fehler: 4,8 %

TZW

Anwendungsbeispiele

Testphase mit einem WVU (ca. 1/2 Million Einwohner)

- Vergleich beobachtet/prognostiziert im **Juli 2022, Gesamtbedarf**



Prognose

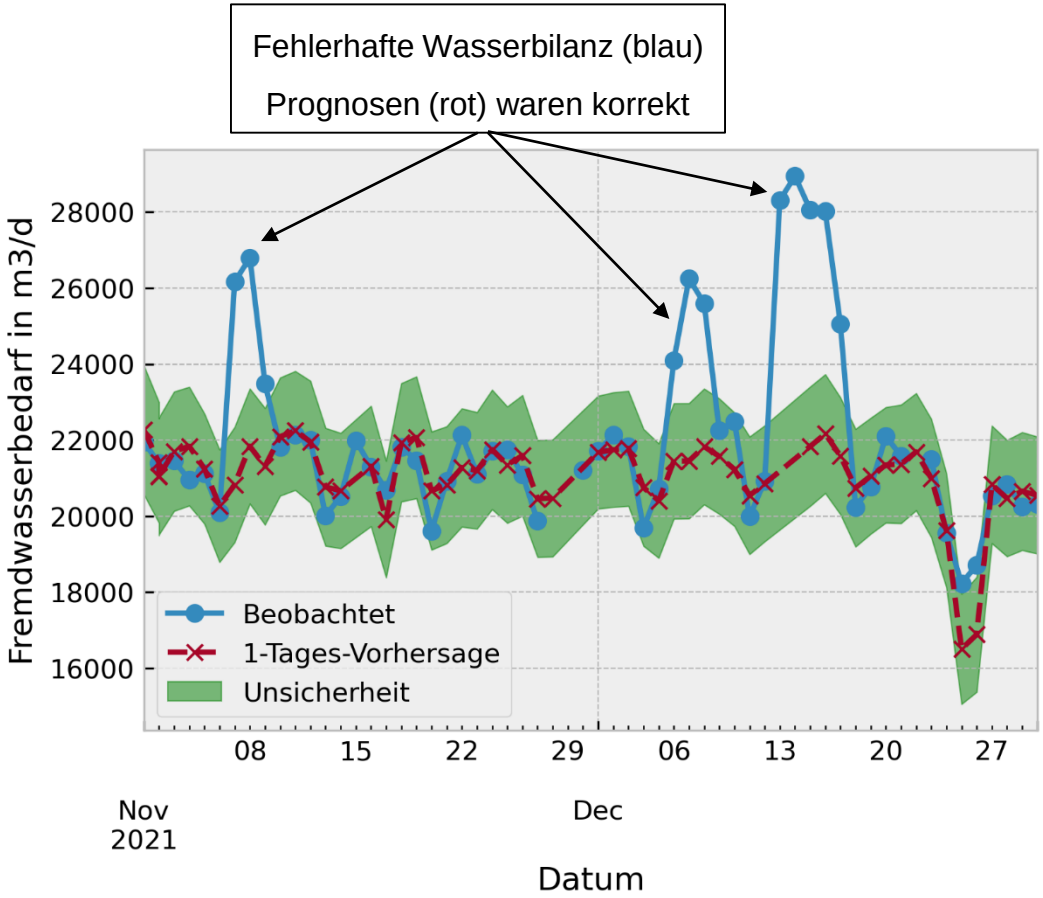
- so einfach wie Abruf Wettervorhersage
- Prognosen ohne Verwendung von Vortageswerten
- Fehler: 4,6 %

TZW

Anwendungsbeispiele

Identifikation von Anomalien/Fehler durch Prognosen

- Prognose dient auch zur Korrektur der internen Wasserbilanz bzw. deren Plausibilisierung
- Im Nov./Dez. 2021 wurde die Wasserbilanz 3x vom WVU falsch berechnet (Zuweisung Eigen- und Fremdwasserbedarf)



Wasserbedarfsprognose

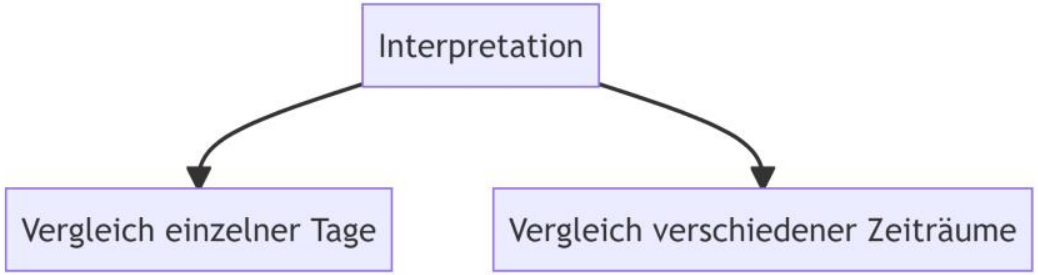
- Aber: Prognose allein ist nicht ausreichend
- Die Prognose dient der Entscheidungsfindung für den Betrieb von Anlagen
- Die Ergebnisse eines Modells müssen nachvollziehbar, erklärbar und vertrauenswürdig sein um akzeptiert zu werden.

- TZW-Prognosemodelle sind transparent
- Ausgabe der Faktoren, die für eine Bedarfsveränderung ausschlaggebend sind.

Erklärbarkeit

Erklärende Modelle:

1. Welche Faktoren sind im Allgemeinen für den Bedarf des Versorgungsgebietes wichtig?
2. Welche Faktoren sind für die **Änderung** des Bedarfs verantwortlich?

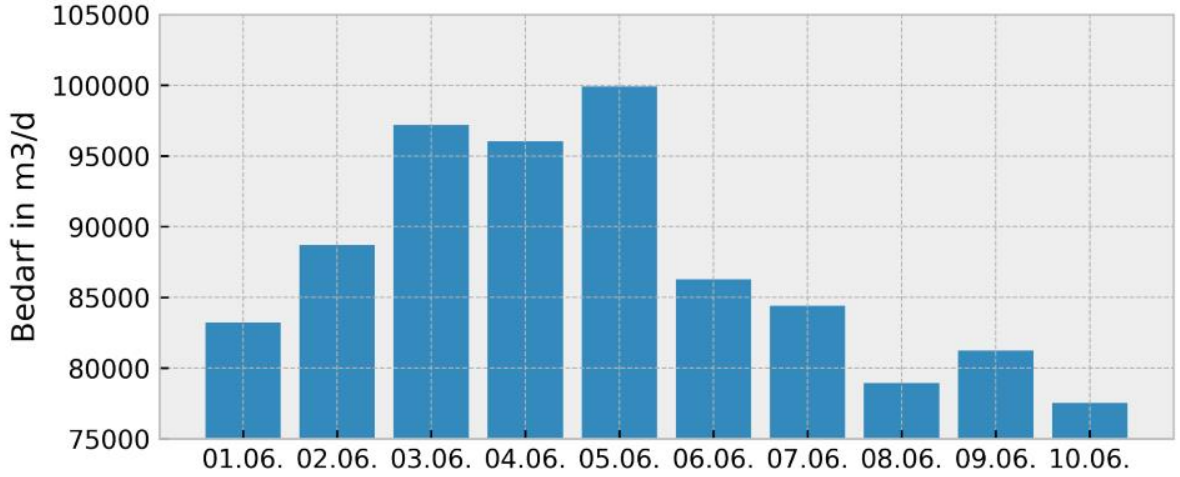


Bildrechte: https://unsplash.com/photos/ocAo7MwGfHY

Erklärbarkeit

Vergleich einzelner Tage

Frage: Warum erfolgt eine Reduktion des Bedarfs von 100.000 m^3/d am 05.06. auf 80.000 m^3/d am 08.06.?

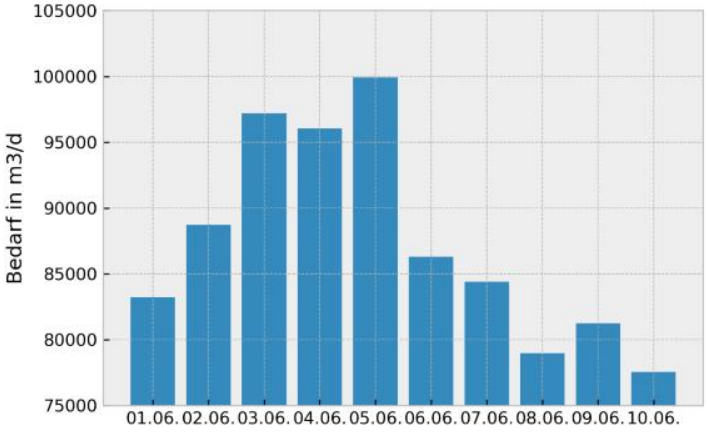


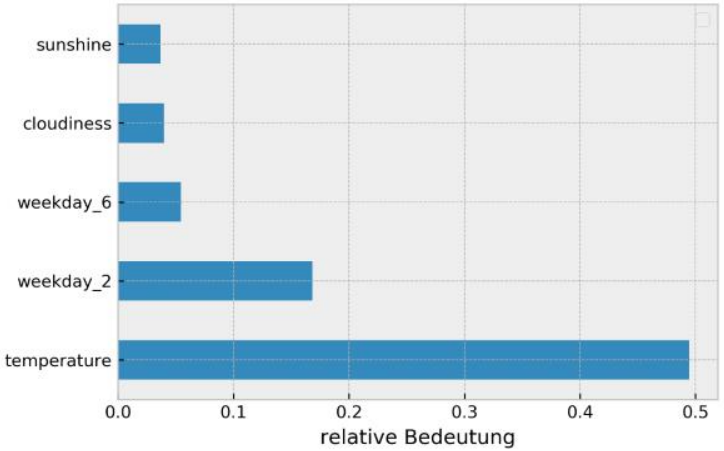
Bildrechte: https://unsplash.com/photos/ocAo7MwGfHY

Erklärbarkeit

Vergleich einzelner Tage

Antwort: Treiber sind die Temperatur (fallend) und der Wechsel von Werktag auf Wochenende.



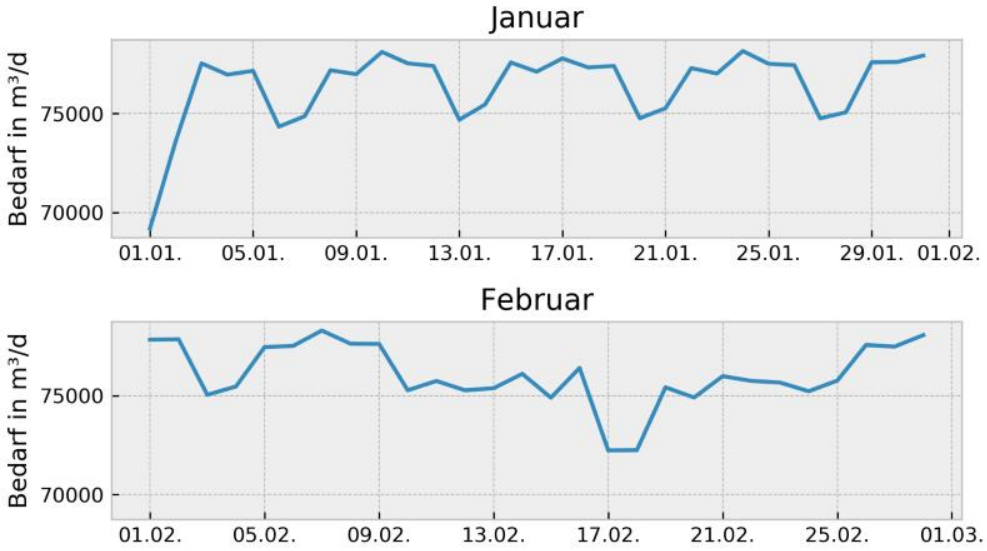


Bildrechte: https://unsplash.com/photos/ocAo7MwGfHY

Erklärbarkeit

Vergleich verschiedener Zeiträume

Frage: Warum gibt es Unterschiede zwischen Januar und Februar?

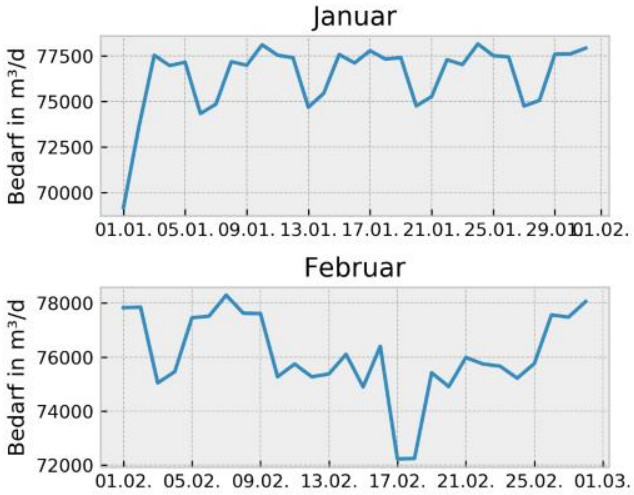


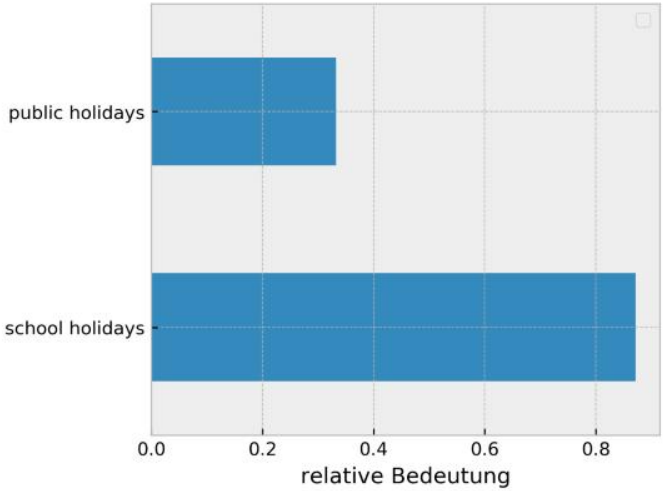
Bildrechte: https://unsplash.com/photos/ocAo7MwGfHY

Erklärbarkeit

Vergleich verschiedener Zeiträume

Antwort: Treiber sind Schulferien (Winterferien im Februar) und Feiertage (Neujahr).





Bildrechte: https://unsplash.com/photos/ocAo7MwGfHY

Robustheit des Systems

Betrieb muss auch **ohne vollständige Eingangsdaten** gewährleistet sein.

Bildrechte: https://unsplash.com/photos/7RfP8lLkHwI

Robustheit des Systems

Betrieb muss auch **ohne vollständige Eingangsdaten** gewährleistet sein.

Szenarien:

- Ausfall einzelner Sensoren an einer Wetterstation
- Ausfall einer vollständigen Wetterstation (Unwetter)
- fehlende Informationen über z. B. Feiertage, etc.

Bildrechte: https://unsplash.com/photos/7RfP8lLkHwI

Robustheit des Systems

Betrieb muss auch **ohne vollständige Eingangsdaten** gewährleistet sein.

Szenarien:

- Ausfall einzelner Sensoren an einer Wetterstation
- Ausfall einer vollständigen Wetterstation (Unwetter)
- fehlende Informationen über z. B. Feiertage, etc.

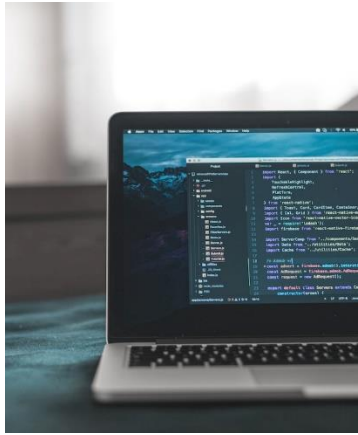
Gegenmaßnahmen:

- Wetterstationen: Nutze Daten der nächstgelegenen Station
- sonstige Daten: Nutze letzte bekannte Daten
- Berechnung Unsicherheit/Vertrauensintervall

Bildrechte: https://unsplash.com/photos/7RfP8lLkHwI

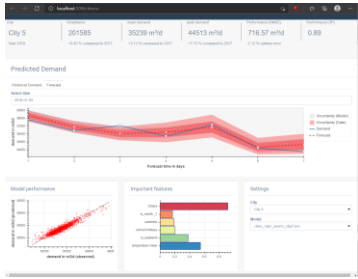
Umsetzung der Wasserbedarfsprognose

- **Schritt 1: Machbarkeitsanalyse**
  - WVU stellt historischen Datensatz zur Verfügung (letzte 5 Jahre)
  - Welches Modell ist für die Prognose geeignet?
  - Wird die geforderte Genauigkeit erfüllt?



https://unsplash.com/photos/zE007SNgcdE

- **Schritt 2: Implementierung und Testphase**
  - Variante 1: Abrufen der Prognosen vom TZW
  - Variante 2: Lokale Installation bei WVU



- **Schritt 3: Inbetriebnahme**
  - Leistungsüberwachung und Wartung (TZW)

TZW

Ihre Ansprechpartner für Fragen zum Thema Wasserbedarf und Digitalisierung

Quelle: www.pexels.com

Tobias Martin

TZW: DVGW
Technologiezentrum Wasser
Außenstelle Dresden

+49 351 852 11 12
tobias.martin@tzw.de

Dr. Martin Wagner

TZW: DVGW
Technologiezentrum Wasser
Außenstelle Dresden

+49 351 852 11 56
martin.wagner@tzw.de