

Wasserverluste – nein danke!

Analyse von Verbrauchsganglinien zur Verlufterkennung

Die Themen Wasserverbrauch sowie die Digitalisierung beschäftigen die Fachleute am TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser bereits seit Jahren. Ein **Aspekt der Digitalisierung ist die Analyse großer Datenmengen** mit dem Ziel, neue Erkenntnisse daraus zu gewinnen und somit einen Mehrwert zu schaffen. Demgegenüber stehen der Wasserverbrauch und der **sorgsame Umgang mit Wasser als grundlegende Anforderung an den ordnungsgemäßen Betrieb** der Wasserversorgung, der u. a. die Ermittlung von Wasserverlusten beinhaltet. Gemeinsam mit den Wasserwerken Zwickau arbeitet das TZW daher am Thema einer digitalen Wasserverlustüberwachung, die auch Methoden des Maschinellen Lernens nutzt.

von: Dr. Martin Wagner (TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser) & Dr. Regina von Fircks (Wasserwerke Zwickau GmbH)

Im DVGW-Arbeitsblatt W 392 wird dargestellt, wie Wasserverluste ermittelt, eine Wasserbilanz erstellt sowie Kennzahlen und eine Überwachung durchgeführt werden können [1]. Die Wasserwerke Zwickau GmbH hat in

diesem Kontext eine Wasserbilanz für das Jahr 2017 durchgeführt. Diese beinhaltet die Bestimmung der Netzeinspeisung und der Netzabgabe (Summe in Rechnung gestellte Netzabgabe sowie nicht in Rechnung gestellte Netz-

abgabe). Die nicht in Rechnung gestellte Netzabgabe wird u. a. durch Löschwasser, Behälter- und Leitungsentleerungen sowie Hydranten- und Leitungsspülungen hervorgerufen. Aus der Differenz lässt sich der gesamte Wasser-



Quelle: Holger Schue/pixabay.com

verlust ermitteln, der in einen realen und scheinbaren Anteil differenziert wird. Der scheinbare Wasserverlust wird durch Mess-, Ablese- und Abgrenzungsfehler sowie Wasserdiebstahl hervorgerufen.

Neben der Wasserbilanz werden im DVGW-Arbeitsblatt W 392 Verfahren zur Überwachung des Wasserverlusts genannt. Ein Verfahren ist die Nachtmindestverbrauchsmessung, bei der der Wasserverbrauch in der verbrauchsarmen Zeit in der Nacht zwischen zwei und vier Uhr gemessen wird (Orientierungswert: $2 \text{ l}/(\text{h} \times \text{Einwohner})$). Dieses Verfahren wurde von dem Wasserversorgungsunternehmen eingesetzt, um Leckagen zu ermitteln und zu beheben. Trotz erfolgreicher Anwendung des Verfahrens konnte der gesamte Wasserverlust damit nur unzureichend erklärt werden. Die Differenz zwischen Einspeisung und Verkauf ist aufgrund folgender Punkte zum Teil schwer zu bilanzieren:

- Verbrauchsanomalien
- Messmittelungenauigkeiten
- nicht detektierbare Leckagen

Aus diesem Grund wurde in Zusammenarbeit mit dem TZW ein Projekt in einer ländlich geprägten Kleinstadt mit ca. 1.600 Einwohnern aufgesetzt. Neben Ein- und Mehrfamilienhäusern ist das Gebiet durch Gewerbe (Bäcker, Fleischer), einen Lebensmittelmarkt, ein Altersheim sowie durch Landwirtschaft geprägt. Das Gebiet wird in zwei Zonen unterteilt, deren Einspeisung in einer zeitlichen Auflösung von 30 Sekunden gemessen wird. Das Ziel der Arbeiten bestand in einer genaueren Charakterisierung des Verbrauchs durch eine detaillierte Auswertung der Verbrauchsganglinien.

Methodik

Das Untersuchungsgebiet besteht aus zwei Zonen, für die Zeitreihen der Einspeisung in einer zeitlichen Auflösung von 30 Sekunden für die Jahre 2017 und 2018 zur Verfügung gestellt wurden. Jede Zone wird mit einem durch das TZW entwickelten Verfahren analysiert. Dieses basiert auf Methoden des maschinellen Lernens (Machine Learning) und

besteht im Wesentlichen aus zwei Analyseschritten:

- Bestimmung des typischen Verbrauchsverhaltens und
- Bestimmung von Anomalien (Abweichungen vom normalen Verbrauchsverhalten)

Bestimmung des typischen Verbrauchsverhaltens

Im ersten Schritt wird durch ein Mustererkennungsverfahren das typische Verbrauchsverhalten ermittelt. Das dahinterstehende Prinzip wird in **Abbildung 1** skizziert. Der Verbrauch eines Tages weist prinzipiell immer die gleiche Charakteristik auf: Nachts ist der Verbrauch gering, der Morgen und der Abend ist jeweils durch eine Verbrauchsspitze gekennzeichnet, während sich tagsüber der Bedarf auf einem mittleren Niveau befindet. Dennoch sind nicht alle Tage gleich. So gibt es feine Unterschiede hinsichtlich der Höhe und der Uhrzeit der Bedarfsspitzen. Mithilfe einer Mustererkennung werden Verbrauchstypen identifiziert. In der Zone 1 wurden hier genau zwei verschiedene Typen ermittelt. Verbrauchstyp 1 entspricht einem typischen Werktag, Verbrauchstyp 2 einem typischen freien Tag (Wo-

chenende, Ferien bzw. Feiertag). Beide Typen unterscheiden sich hinsichtlich des Zeitpunkts und der Höhe der Morgenspitze.

Mithilfe der Mustererkennung ist es möglich, schnell einen Überblick über das Verbrauchsverhalten innerhalb einer Zone zu erlangen.

Bestimmung von Anomalien

Ausgehend von dem Normalverhalten werden in einem zweiten Analyseschritt Abweichungen ermittelt, die als Verbrauchsanomalien ausgegeben werden. Das Verfahren des TZW differenziert dabei zwischen vier verschiedenen Typen von Anomalien:

- Basislinien-Anomalien (vergleichbar mit dem Nachtmindestverbrauch)
- Nacht-Anomalien
- Tages-Anomalien
- Profil-Anomalien

In **Abbildung 2** sind die vier verschiedenen Typen anhand einzelner Beispiele aus dem Untersuchungsgebiet dargestellt. Die gemessenen Verbrauchsprofile sind schwarz markiert, das erwartete Profil orange. Anomalien werden entweder als rote Linien ▶

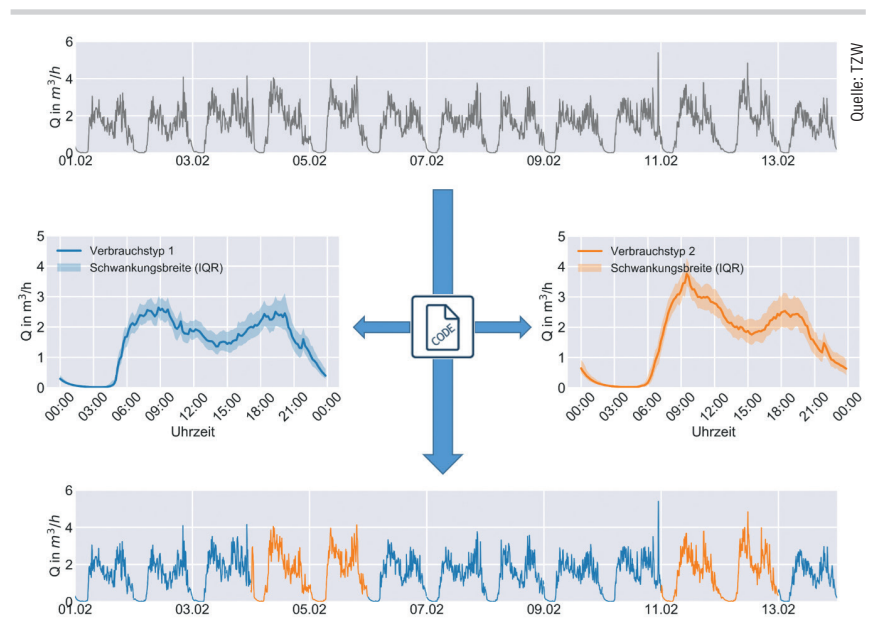


Abb. 1: Mittels Mustererkennung werden aus einer Zeitreihe typische Verbrauchsmuster identifiziert. Verbrauchstyp 1 entspricht einem typischen Werktag, Verbrauchsmuster 2 einem Wochenende. Die dargestellten Profile entstammen aus Zone 1. IQR (Interquartilsabstand)

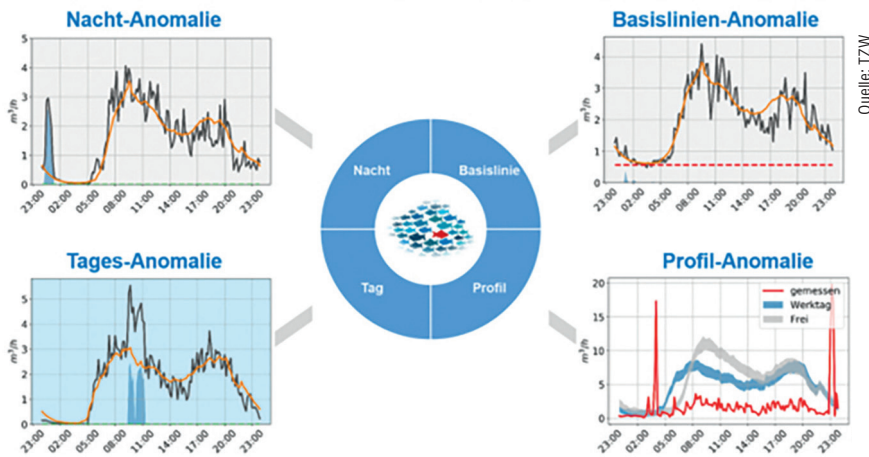


Abb. 2: Das Analyseverfahren des TZW differenziert zwischen vier verschiedenen Arten von Anomalien.

oder blaue Schattierungen gekennzeichnet. Eine Tages-Anomalie wird durch eine ungewöhnlich hohe Bedarfsspitze während des Tages charakterisiert, eine Nacht-Anomalie wird analog durch eine ungewöhnlich hohe Bedarfsspitze während der Nachtstunden ermittelt. Sie ist nicht mit dem Nachtmindestverbrauch zu verwechseln. Eine Tag- oder Nachtanomalie kann beispielsweise durch betriebliche Tätigkeiten wie Netz- oder Behälterspülungen hervorgerufen werden oder aber auch durch Bewässerung und Löschwasserbedarf. Ungewöhnliche hohe Nachtmindestverbräuche werden als Basislinien-Anomalie bezeichnet. Hier weist das Verbrauchsprofil eine ganz normale Form auf, besitzt jedoch einen ungewöhnlich hohen Offset, der in Abbildung 2 als rote gestrichelte Linie dargestellt ist.

Eine Profil-Anomalie ist durch ein Tagesprofil gekennzeichnet, das sich völlig von normalen Verbrauchsprofilen unterscheidet. Das ist z. B. der Fall, wenn Zähler nicht mehr korrekt arbeiten oder es zu Problemen bei der Datenübertragung kommt. Für eine gegebene Zeitreihe einer Bilanzzone wird für jeden Tag bestimmt, ob eine oder mehrere der vier Anomalietypen vorliegt und die durch die Anomalie hervorgerufene Wassermenge quantifiziert. Im Ergebnis können diese anschaulich in Form mehrerer Zeitreihen dargestellt werden. In **Abbildung 3** sind die ermittelten Anomalien für Zone 2 dargestellt.

Nicht jede Anomalie ist ein signifikantes Event – Es erfolgt daher die automatische Segmentierung der Zeitreihen, um echte Events identifizieren zu können. Das Ergebnis einer solchen Segmentierung ist am Beispiel von Zone 2 in **Abbildung 4** dargestellt.

In einem letzten Schritt erfolgt schließlich eine Plausibilisierung der ermittel-

ten Events; diese wird halbautomatisch vorgenommen. Findet ein Event in mehreren Zonen gleichzeitig statt, so handelt es sich wahrscheinlich nicht um ein Event. Ansonsten erfolgt die Auswertung im Gespräch mit dem Wasserversorgungsunternehmen, bei dem eine Einordnung von Events erfolgt:

- betriebliche Tätigkeiten (Standrohrentnahmen, Netzspülungen, Behälterspülungen)
- externe Tätigkeiten (Kundenverhalten, Feuerwehr, Baumaßnahmen)

Nach der Plausibilisierung erfolgt abschließend eine Bilanzierung, bei der eine Summierung der durch alle Events hervorgerufenen Wassermengen erfolgt.

Ergebnisse

Für das Jahr 2017 lag für das Untersuchungsgebiet eine Abrechnungsdifferenz von ca. 5.600 m³ vor, bzw. von ca. 4.900 m³ nach Abzug des Eigenbedarfs. Der Eigenbedarf in Form von beispiels-

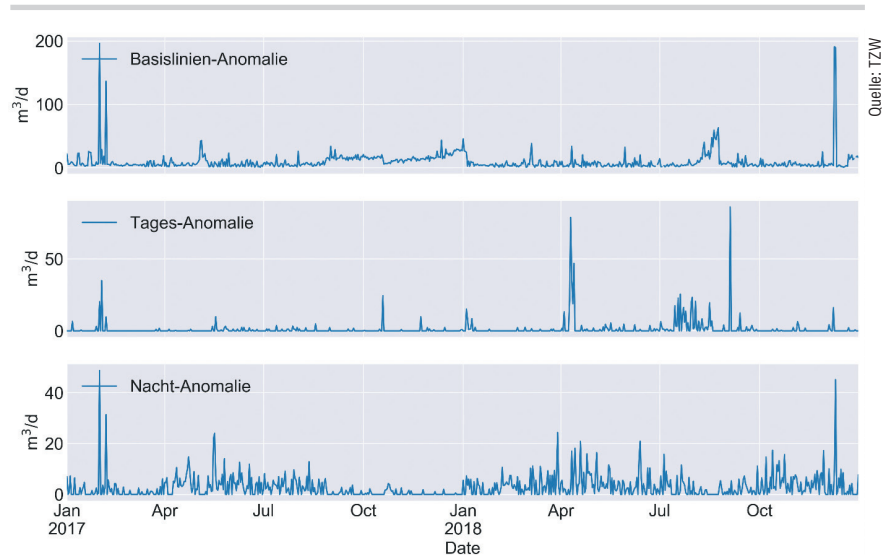


Abb. 3: Ermittelte Anomalien für die Jahre 2017 und 2018 in Zone 2

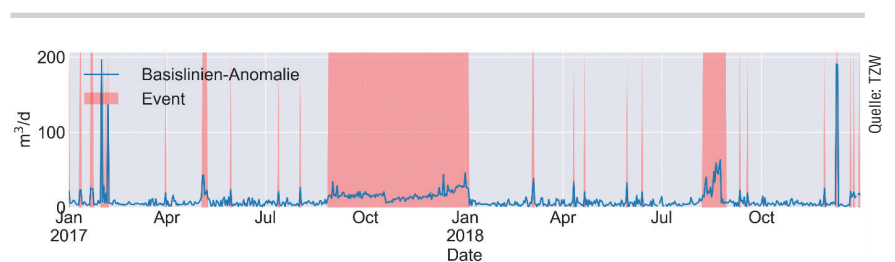


Abb. 4: Signifikante Events in der Zeitreihe der Basislinien-Anomalie von Zone 2

weise Netz- und Behälterspülungen wurde durch die Datenanalyse als Events erfasst (Abb. 5). Diese werden als plausible Events eingeordnet.

Demgegenüber wurden auch echte Leckagen in Form von Basislinien-Anomalien erfasst, dargestellt in Abbildung 6. Anhand der Fläche unterhalb der Basislinie kann der Gesamtverlust in Kubikmetern berechnet werden.

Überraschenderweise wurden in Zone 2 zahlreiche Nacht-Anomalien identifiziert, die bisher noch nicht plausibilisiert werden konnten. Sie sind durch vergleichsweise hohe Entnahmen in relativ kurzer Zeit (30 Minuten bis zwei Stunden) gekennzeichnet. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Bedarfsspitzen sind für die Charakteristik des Untersuchungsgebietes ungewöhnlich (hohe Mengen in kurzer Zeit) und treten ganzjährig mit variierender Intensität auf. Eine Ursache konnte bisher noch nicht identifiziert werden.

Von der Abrechnungsdifferenz in Höhe von ca. 5.600 m³ im Jahr 2017 können insgesamt 52 Prozent als Anomalie (Basislinie, Tag, Nacht) erklärt werden. Weitere 19 Prozent der Menge wurde als plausible Anomalie eingestuft (keine Wasserverluste), 33 Prozent als nicht plausible Anomalie (Wasserverluste). Demgegenüber steht ein Rest von 48 Prozent, der nicht erklärt werden konnte.

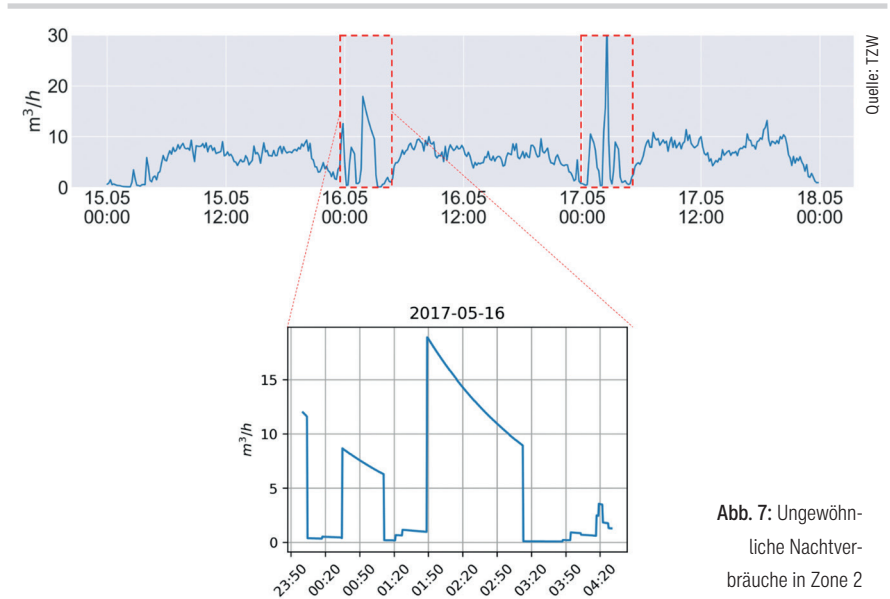


Abb. 7: Ungewöhnliche Nachtverbräuche in Zone 2

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein vom TZW entwickeltes Verfahren für die Analyse von Verbrauchsganglinien vorgestellt, welches sowohl eine umfassende Charakterisierung als auch die Identifizierung von Anomalien (z. B. Wasserverluste) ermöglicht. Das Verfahren erlaubt zunächst die Charakterisierung des Normalverhaltens durch die Differenzierung verschiedener Bedarfsprofile (Werktag, Wochenende). Darüber hinaus werden Abweichungen vom Normalverbrauch als Anomalien erfasst, wobei zwischen vier verschiedenen Typen von Anomalien differenziert werden kann. Gegenüber etablierten Methoden wie beispielsweise der

Nachtmindestverbrauchsmessung ist damit eine detailliertere Auswertung von Verbrauchsganglinien möglich.

Diese Analysenmethode ist ein wesentlicher Baustein für die Überwachung von Wasserverlusten. Die Weiterentwicklung der Methode, beispielsweise für das Aufspüren zielgerichteter und ungemessener Entnahmen, ist wünschenswert.

Literatur

[1] DVGW-Arbeitsblatt W 392: Wasserverlust in Rohrnetzen; Ermittlung, Wasserbilanz, Kennzahlen, Überwachung. Bonn 2017.

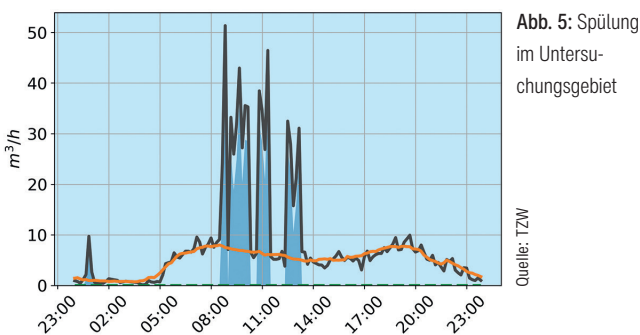


Abb. 5: Spülung im Untersuchungsgebiet

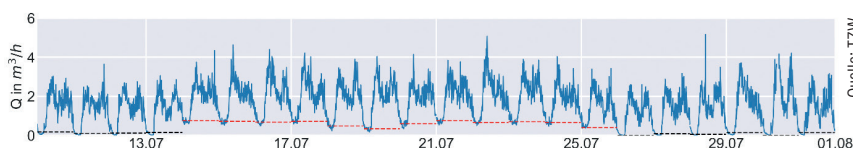


Abb. 6: Leckage in Zone 1 im Sommer 2017

Die Autoren

Dr. Martin Wagner ist Sachgebietsleiter Digitalisierung in der Abteilung Wasserverteilung beim TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser in Dresden.

Dr. Regina von Fircks ist Bereichsleiterin Betrieb Trink- und Abwasseranlagen bei der Wasserwerke Zwickau GmbH.

Kontakt:

Dr. Martin Wagner
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser
Wasserwerkstr. 2
01326 Dresden
Tel.: 0351 85211-56
E-Mail: martin.wagner@tzw.de
Internet: www.tzw.de