

Qualitätssicherung von Messungen in Entwässerungssystemen

Mathias Uhl¹⁾, Dieter Sitzmann²⁾, Erik Ristenpart³⁾, Gebhard Weiß⁴⁾

¹ Fachhochschule Münster, Institut für Wasser-Resources-Umwelt (IWARU), Corrensstr. 25, D-48149 Münster

² Hochschule Coburg, Fakultät Design/Bauingenieurwesen, Am Hofbräuhaus 1a, D-96450 Coburg

³ ifs Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Stiftstr. 12, D-30159 Hannover

⁴ UFT Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH, Steinstraße 7, D-97980 Bad Mergentheim

* Email des korrespondierenden Autors: uhl@fh-muenster.de

Kurzfassung: Der Erfolg von Messkampagnen und von Dauermessstellen in der Siedlungsentwässerung steht und fällt mit der Qualität der ermittelten Daten. Eine umfassende und durchgängige Qualitätssicherung während der Phasen der Planung einer Messstelle oder –kampagne, der Installation und des Betriebes der Messeinrichtungen sowie schließlich beim Datenmanagement ist unabdingbar. Wichtig ist die Datenprüfung auf Konsistenz, Richtigkeit, Plausibilität, Homogenität und Repräsentativität, für die einige Kriterien vorgestellt werden.

Schlagwörter: Messkampagne, Messdaten, Qualitätssicherung, Entwässerungssystem

1 EINLEITUNG

Messdaten aus Entwässerungssystemen dienen zur Betriebsüberwachung und -dokumentation, zur Anlagensteuerung, zur Kalibrierung und Validierung von Kanalnetz- und Schmutzfrachtmodellen sowie zur Erforschung siedlungshydrologischer Prozesse. Die Anforderungen an die Qualität der Daten hängen von ihrem Anwendungsbereich ab. Wichtige Basisdaten sind Wasserstände, Durchflüsse und Niederschläge. Gütedaten werden derzeit vornehmlich im Forschungsbereich erhoben. Die erforderliche Qualität der Messdaten kann nur durch Maßnahmen zur Qualitätssicherung in den Bereichen Planung, Durchführung und Auswertung stadthydrologischer Messungen in einem konsistenten Gesamtkonzept erzielt werden. In diesem Beitrag fassen die Autoren ihre langjährigen Erfahrungen aus Messkampagnen und –programmen zusammen. Sie haben auch Eingang in das Merkblatt DWA-M 181 gefunden und mögen zu einem professionell hohen Qualitätsniveau von Messungen in der Praxis und der Forschung beitragen.

2 QUALITÄTSSICHERUNG ALS BEGLEITPROZESS VON MESSPROJEKTEN

Messprogramme können durch rechtliche Verpflichtungen sowie betriebliche, planerische und wissenschaftliche Anlässe begründet sein. Die Messaufgaben werden durch Dauer-, Langzeit-, Kurzzeit- oder Einzelmessungen erfüllt. Messprojekte gliedern sich in die Phasen 1) Planung und Auftragsvergabe, 2) Installation und Inbetriebnahme, 3) Betrieb sowie 4) Datenmanagement und -auswertung. Ein Qualitätssicherungskonzept verfolgt das Ziel, die für die Anwendung erforderlichen Qualitätseigenschaften des Datenmaterials sicherzustellen und zu erhalten. Die Qualitätssicherung begleitet diese vier Phasen eines Messprojektes. Neben der Messgenauigkeit sind bei siedlungshydrologischen Messprojekten die Ausfallrate und Bilanzfähigkeit von besonderer Bedeutung. Die Abflussprozesse sind niederschlagsbedingt und somit nicht reproduzierbar. Die systematische Qualitätssicherung im Messbetrieb und in der frühen Datenprüfung tragen zu lückenarmem und genauem Messdatenmaterial bei.

3 PLANUNG

Die Planungsphase ergibt detaillierte, projektspezifische Ausführungen zu (i) Zielsetzungen der Messungen, (ii) Messgebiet, -orte und -bauwerke, (iii) Messgrößen, (iv) Messverfahren und -technik, (v) Energieversorgung, (vi) Kalibrierung von Messstellen und –geräten, (vii) Genauigkeit und Zuverlässigkeit, (viii) Messbetrieb sowie (ix) Datenmanagement.

Die Messeinrichtungen, speziell solche für Abflussmessungen, müssen mit stadthydrologischen, mess- und elektrotechnischen, hydraulischen, bautechnischen und kanalbetrieblichen Fachkenntnissen sorgfältig geplant werden. Die potenziellen Messstellen werden zweistufig bewertet. Eine Erstbeurteilung anhand

von Planunterlagen ermöglicht den frühzeitigen Ausschluss hydraulisch ungünstiger Randbedingungen. Die Detailbeurteilung erfolgt zunächst anhand von Ortsbegehungen hinsichtlich (i) Ablagerungen, (ii) baulichem Zustand und Abmessungen, (iii) hydraulischen Besonderheiten und (iv) der Zugänglichkeit. Zusätzlich kann die hydrologische und hydraulische Situation an den geeigneten Messstellen mit Hilfe zeitlich begrenzter Orientierungsmessungen und ggf. erster hydrodynamischer Simulationsrechnungen analysiert werden.

4 AUSWAHL VON MESSENSOREN

Der ideale Messsensor für eine Abflussmessung, der unabhängig von der Messaufgabe und der Messstelle für alle Anwendungsfälle optimale Ergebnisse liefert, existiert nicht, zumal auch die aktuelle technische Entwicklung in diesem Bereich sehr rege ist. Das geeignete Messprinzip hängt von den Qualitätsanforderungen der Messergebnisse ab. Unter sorgfältiger Einbeziehung der spezifischen örtlichen Randbedingungen und mit einer Wichtung der nachfolgend aufgeführten Anforderungen ist der bestgeeignete Messwertaufnehmer zu bestimmen:

- keine Beeinträchtigung der Funktion durch Abwasserinhaltsstoffe
- keine Beeinträchtigung des Fließquerschnitts
- Explosionsschutz
- gegen Abwasserinhaltsstoffe und mechanische Beanspruchung beständige Sensoren und Kabel
- überflutungssicherer Messumformer
- geringer Wartungsaufwand
- Selbsterkennung von Funktionsfehlern
- ausreichender Messbereich mit guter Genauigkeit
- langzeitstabile Kennlinie
- Kompensation von Temperatur und anderen Fremdeinflüssen

5 INSTALLATION UND INBETRIEBNAHME

Die Einrichtung der Messstellen und der sachgerechte Einbau der Sensoren tragen maßgeblich zu ausfallarmen und genauen Messdaten bei. Neben den lokalen Beanspruchungen der Sensoren durch Fest- und Faserstoffe sowie Strömungseinflüsse spielen die Möglichkeiten zur Kalibrierung der Sensoren und der Messstellen sowie die betrieblichen Belange eine wesentliche Rolle. Ein präzises Aufmaß sowie die Erstkalibrierung der Messstelle sind obligatorisch. Als „Einfahrphase“ sollte ein ausreichend langer Probetrieb vorgesehen werden, einschließlich mindestens eines aussagekräftigen stärkeren Regenereignisses. In dieser Zeit ist eine intensive Betreuung durch den Messdienstleister notwendig. Der Zeitabstand für die Messstellenwartung im laufenden Betrieb richtet sich nach den Erfahrungen der Einfahrphase.

6 MESSBETRIEB

Die Aufgaben des Messbetriebes sind Inspektion, Instandhaltung, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung des Messsystems. Detaillierte Kontroll- und Wartungsaufgaben für verschiedene Messverfahren können beispielsweise DWA-M 181 (2011) entnommen werden. Im Sinne der Qualitätssicherung gehören zur guten betrieblichen Praxis:

- eine Betriebsanweisung mit detaillierter Checkliste der Arbeiten für jede Messstelle und -einrichtung
- regelmäßige Durchführung von Kontrollmessungen und Kalibrierungen vor Ort
- eine systematische, sorgfältige Dokumentation der Arbeiten und Befunde im Betrieb, insbesondere Ergebnisse solcher Kontrollmessungen und Kalibrierungen, Zeitabgleiche, Reinigungsarbeiten, Wartungen oder Eingriffe an Messgeräten
- frühzeitige Hinweise auf Fehler und Verbesserungsmaßnahmen
- schneller Ersatz defekter Sensoren und Geräte
- geschultes, zuverlässiges Personal mit guter Einweisung in das Messsystem und -projekt

Der Messbetrieb wird in der Planungsphase konzipiert und später fortgeschrieben, um den Eigenheiten der Messstellen, den Erfahrungen des Betriebspersonals und den Erkenntnissen aus der Datenprüfung Rechnung zu tragen. Wichtige Prüfschritte während des Messbetriebes sind:

- Plausibilitätsprüfungen (Kontrollen gemäß Betriebsanweisung, Sichtkontrollen der Daten auf Lücken, Sprünge, Drift und andere Auffälligkeiten)
- Richtigkeitsprüfungen (mittels Kalibrierung (Einzelmessungen) oder Redundanz (Dauer-, Langzeit- oder Kurzzeitmessung))

7 DATENMANAGEMENT

7.1 Art und Qualität von Datenmaterial

Folgende Datenarten sind Bestandteil des Datenmanagements und der Qualitätssicherung:

- Systemdaten (Einzugsgebiet, Kanalnetz, Bauwerke, Hydraulik, Messsystem)
- Betriebsdaten (des Entwässerungssystems und des Messsystems)
- Prozessdaten (die eigentlich gemessenen Größen: Niederschläge, Wasserstände, Abflüsse, Güteparameter)

Die Prozessdaten werden zweckmäßig abhängig von der Bearbeitungsstufe unterschieden in

- Rohdaten (direkt von den Messgeräten erfasste Daten)
- Primärdaten (aus Rohdaten mit Gerätekenmlinien und/oder hydraulischen Beziehungen umgerechnete Daten, z.B. Abflüsse aus gemessenen Wasserständen und Geschwindigkeiten)
- Sekundärdaten (aus Primärdaten nach Datenprüfungen, -korrekturen und -ergänzungen gewonnene Daten)
- Tertiärdaten (aus Sekundärdaten errechnete aggregierte Daten wie Summen, statistische Kenndaten u.a., z.B. Niederschlags- und Abflusssummen, Stofffrachten, mittlere Schmutz- und Fremdwasserganglinien)

Die Qualität des Datenmaterials kann anhand von vier Eigenschaften beschrieben werden:

Konsistenz bezeichnet die Eigenschaft von Daten, in sich logisch, d. h. widerspruchsfrei zu sein. Mögliche Ursachen für Inkonsistenzen sind Gerätedefekte ohne Totalausfall, (zeitweiliges) Messen außerhalb der Anwendungsgrenzen des Messverfahrens, Wechsel von Messgeräten und -methoden, Wechsel von Betreuungs- oder Beobachterpersonal, Querschnittsänderung durch Ablagerungen im Gerinne, Ablese-, Übertragungs- und Auswertefehler sowie Softwarefehler.

Richtigkeit bezeichnet die Eigenschaft der Daten, einer nach Regeln der Technik korrekten Ausführung der Messaufgabe zu entstammen. Mögliche Ursachen für Unrichtigkeit sind die Verwendung einer unzutreffenden Kennlinie der Messeinrichtung, der ständige Betrieb eines Messgerätes außerhalb seines Messbereiches, die fehlerhafte Bedienung eines Messgerätes oder die Durchführung von Messungen abweichend von der Betriebsvorschrift.

Plausibilität bezeichnet die Eigenschaft der Daten, bekannte oder erwartete Eigenschaften eines Prozesses oder Objektes in der erwarteten, nachvollziehbaren Größenordnung wiederzugeben. Beispiele für Unplausibilitäten sind Messwerte außerhalb eines zu erwartenden Minimal- oder Maximalwertes, sehr schnelle oder sehr langsame Änderungen von Messwerten, Unstimmigkeiten in den Ganglinien von Niederschlag und Abfluss eines Ereignisses sowie Lücken in kontinuierlichen Messdatenreihen.

Homogenität bezeichnet die Eigenschaft des Datenmaterials, gleichartige Randbedingungen und Eigenschaften des Systems und des Prozesses aufzuweisen. Beispiele für Inhomogenitäten sind: Wandel des Niederschlagsverhaltens, Änderungen im Einzugsgebiet sowie Änderungen im Entwässerungssystem.

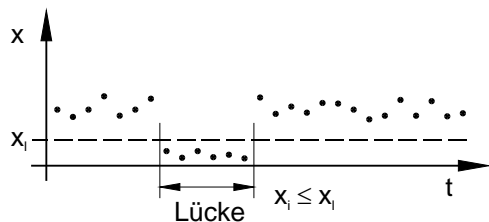
Repräsentativität bezeichnet die Eigenschaft der Daten, die Prozesse örtlich und zeitlich ausreichend abzubilden im Sinne der Problemstellung und der statistischen Eigenschaften der Stichprobe. Repräsentativitätsfehler lassen sich oftmals nur schwer nachweisen. Sie können auch bei hochpräzisen Messverfahren auftreten.

7.2 Datenprüfung

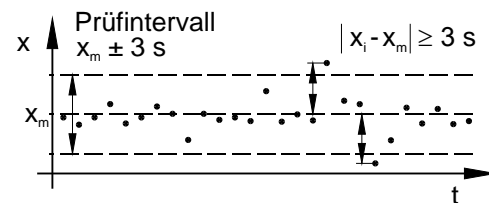
Die Datenprüfung hat die Ziele, (i) Mängel im Messsystem, an Messstellen, -geräten oder -verfahren zu identifizieren, (ii) die Konsistenz, Richtigkeit, Plausibilität, Repräsentativität und Homogenität der Daten zu beurteilen, (iii) die Brauchbarkeit der Daten für die vorgesehene Anwendung zu beurteilen und (iv)

beobachtete und nicht beobachtbare Datenmängel zu dokumentieren. Vielfältige Hinweise hierzu gibt das DWA-Merkblatt M 181. Die vorgesehene Datenprüfung wird bereits in der Planungsphase konzipiert und im Projektverlauf fortgeschrieben. Sie gibt Auskunft zur Qualität des Datenmaterials für die weitere Verwendung. Die Ursachen von Auffälligkeiten und Fehlern werden aufgeklärt und Gegenmaßnahmen ergriffen, die zu einer Verbesserung der Datenqualität führen.

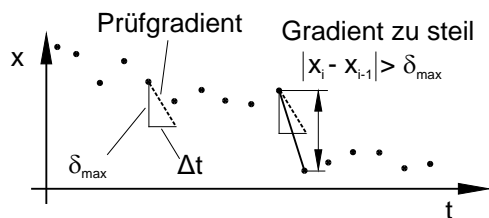
Das aktuelle Datenmaterial wird zeitnah in einem ersten Prüfschritt auf Plausibilität geprüft. Das kann durch einen Vergleich mit Kontrollmessungen des Messbetriebes geschehen. Bild 1 zeigt, dass hierzu die visuelle Kontrolle der Ganglinien und im Bedarfsfall eine numerische Prüfung der Ganglinienverläufe herangezogen werden können.



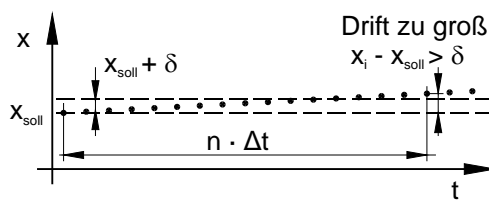
Prüfung auf Lücken



Prüfung auf Ausreißer



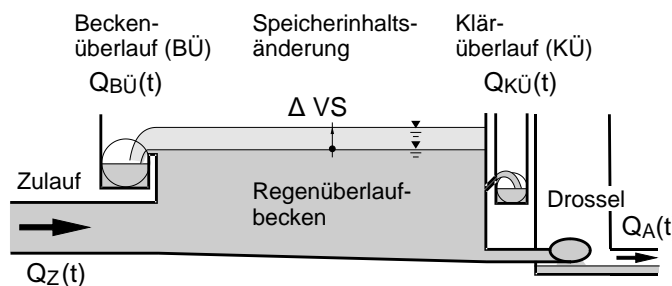
Prüfung auf Gradienten



Prüfung auf Drift

Bild 1: Kriterien für Plausibilitätsprüfungen von Ganglinien (DWA-M 181 Tabelle 7 (Auszug))

Der zweite Prüfschritt widmet sich der Konsistenz und Richtigkeit von Einzelereignissen. Hierzu können Vergleiche mit Redundanz- oder Kalibrierungsmessungen herangezogen werden. An Bauwerken lassen sich gemessene Abflüsse anhand der Kontinuitätsbedingung prüfen (Bild 2). Eine Prüfung von Abflusskurven (Bild 3) ist ggf. auch anhand von Wasserspiegellagenberechnungen möglich.



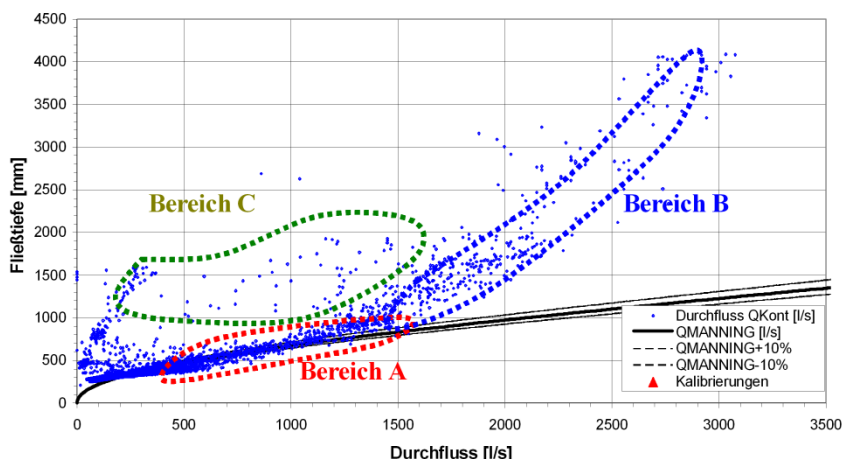
$$Q_Z(t) - Q_A(t) - Q_{KÜ}(t) - Q_{BÜ}(t) - \frac{dVS}{dt} = 0$$

mit

Zufluss Q_Z , Abfluss Q_A , Klärüberlauf $Q_{KÜ}$,
Beckenüberlauf $Q_{BÜ}$, Speichervolumen VS

Bild 2: Volumenbilanz (Kontinuitätsbedingung) an einem Durchlaufbecken

Ein dritter Prüfschritt widmet sich den Daten längerer Zeitreihenabschnitte. Hier können verschiedene Bereiche der Zeitreihe auch untereinander verglichen werden, außerdem können periodische Abflussvorgänge auftreten. Zur Untersuchung der Konsistenz und Richtigkeit von Durchflussganglinien bieten sich dann verschiedene Anhaltspunkte an, z.B. die Streuung der Abflusskurven, die Plausibilität eines rückgerechneten Strickler-Rauheitswerts (k_{st} -Wert) bei nicht rückstau-behafteten Abflusszuständen, die Abflussbilanz des Schmutz- und Fremdwasserabflusses, die tägliche oder wöchentliche Periodizität des Schmutzwasserabflusses, schließlich auch der jahreszeitliche Verlauf der Fremdwasserganglinien sowie eine Niederschlag-Abflussbilanz. Die Homogenitätsprüfung des Datenmaterials erfolgt durch Untersuchungen von Systemänderungen (Einzugsgebiet, Entwässerungssystem, Betrieb) sowie von Belastungsänderungen (Zuflüsse, außergewöhnliches Wettergeschehen etc.).



Bereich A: rückstaufreier Bereich

Bereich B: Abflussminderung durch baulich bedingte hydraulische Verhältnisse in der Kanalstrecke unterstrom (systembedingter Rückstau)

Bereich C: Abflussminderung durch ereignisweise veränderliche hohe hydraulische Auslastung in unterstrom liegenden Kanalnetzteilen (ereignisbedingter und –abhängiger Rückstau)

Bild 3: Abflusskurve einer Messstelle bei einem Starkregenereignis (DWA-M 181)

7.3 Datenergänzung und -korrektur

Datenlücken und fehlerhafte Daten sind bei Zeitreihendaten besonders störend. Sie sollten in den Primär- und Sekundärdaten in geeigneter Weise gekennzeichnet werden. Kürzere betroffene Zeitabschnitte können durch Interpolation, Regression, Simulationsmodelle oder Expertenschätzung ergänzt oder korrigiert werden (Tabelle 2) und erhalten ebenfalls eine Kennzeichnung. Das Verfahren zur Datenergänzung sollte anhand lückenfreier Datenabschnitte zuvor getestet werden.

Tabelle 1: Verfahren zur Datenergänzung und -korrektur

Interpolation	lineare Interpolation, Splines (z.B. Akima-Splines)
Regression	lineare Regression, nichtlineare Regression, multiple Regression
Prozessmodell	Niederschlag-Abflussmodell, Kanalnetzmodell, Wasserspiegellagenmodell

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Eine umfassende und durchgängige Qualitätssicherung während aller Phasen einer Messung (Planung, Installation, Betrieb der Messeinrichtungen und Datenmanagement) ist Voraussetzung für belastbare Messdaten und setzt eine weitreichende Qualifikation des Planers und auch des Betreibers der Messungen voraus. Für jede Phase können konkrete Hinweise gegeben werden, wie vorhersehbare Ausfälle, Unrichtigkeiten, systematische Fehler vermieden oder zumindest kurzfristig entdeckt werden können. Eine zeitnahe und kritische Datenauswertung ist wesentlich dafür, eine Archivierung reicht nicht aus. Die Datenprüfung auf Konsistenz, Richtigkeit, Plausibilität, Homogenität und Repräsentativität schafft eine verlässliche Grundlage für aus den Messdaten gewonnene ingenieurmäßige Aussagen.

9 REFERENZEN

DWA-M 181 (2011): Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen. DWA-Merkblatt. Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.