

Automatisierung der Gewässerbeobachtung

Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Möglichkeiten, Grenzen und Wirtschaftlichkeit der Automatisierung.....	6
3	Grundsätze	8
3.1	Abgrenzung des Überwachungsraumes	8
3.2	Prognose der Zustandsänderung im Überwachungsraum	11
3.3	Planung der Mess- und Probennahmetermine	11
3.4	Planung von Messstellen.....	12
3.5	Eignungsprüfung von Messstellen.....	12
3.6	Automatisierungsentscheidung	12
3.7	Automatisierungskonzept und Automatisierungsgrad	13
3.8	Redundanz	14
3.9	Notwendigkeit einer automatisierten Probennahme	16
3.10	Auswahl der Messtechnik.....	16
4	Messung und Datenerfassung.....	18
4.1	Messstelle, Messort und Beobachtungsstelle	18
4.2	Messbereich und Messintervall	19
4.3	Messstellenüberwachung	20
4.4	Geräteeigenschaften	21
4.5	Messung von Wasserstand und Durchfluss	22
4.6	Messung der Wasserbeschaffenheit	23
4.7	Datenerfassung	25
4.8	Energieversorgung und Überspannungsschutz	25
5	Datenübertragung.....	27
5.1	Anforderungen an die Datenübertragung	27
5.2	Datenübertragungsverfahren.....	28
5.3	Kriterien für die Auswahl eines Datenübertragungsverfahrens	29
6	Datenaufbereitung und –archivierung	32
6.1	Aufgaben und Ziele der Datenaufbereitung.....	32
6.2	Alarmierung	33
6.3	Datenkontrolle	33
6.4	Datenkorrektur.....	35
6.5	Datendokumentation	36
6.6	Datenarchivierung	37

7	Qualitätssicherung.....	38
8	Oberirdische Gewässer und Quellen.....	40
8.1	Hydrologische Grundlagen.....	40
8.2	Wasserstand und Durchfluss.....	40
8.2.1	Ziele und Aufgaben.....	40
8.2.2	Messung des Wasserstands.....	41
8.2.3	Ermittlung der Wasserstand-Durchfluss-Beziehung.....	42
8.2.4	Messung der Fließgeschwindigkeit.....	42
8.3	Wasserbeschaffenheit.....	43
8.3.2	Spezifische Anforderungen im Messbetrieb.....	44
8.3.3	Einsetzbare Messsysteme.....	44
9	Grundwasser.....	47
9.1	Geohydrologische Grundlagen.....	47
9.2	Grundwasserdruckhöhe.....	49
9.2.1	Ziele und Aufgaben der Messung.....	49
9.2.2	Messparameter Grundwasserstand und Grundwasserdruckhöhe.....	50
9.2.3	Anwendungsbedingungen von Messverfahren.....	51
9.3	Grundwasserbeschaffenheit.....	53
9.3.1	Kontrollraum.....	53
9.3.2	Spezifische Anforderungen an Grundwassermessstellen.....	56
9.3.3	Einsetzbare Messsysteme.....	57
9.3.4	Möglichkeiten und Grenzen.....	58
10	Glossar.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
11	Literatur.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Einleitung

Die Beobachtung und der Schutz der Umwelt sind wesentliche Bestandteile staatlicher Daseinsfürsorge. Die Wasser-Rahmenrichtlinie der Europäischen Union, das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes, die Wassergesetze der Länder und viele Richtlinien fordern den Schutz der Gewässer und deren Ökosysteme vor Überbeanspruchung und Degradierung sowie deren nachhaltige Bewirtschaftung. Die Datengrundlage für diese Aufgaben liefern gewässerkundliche Messnetze unterschiedlichster Art und Größe. Sie werden betrieben von Bund, Ländern, Wasserversorgungsunternehmen, Industriebetrieben u.a.

Dem Erfordernis einer verstärkten Umweltbeobachtung stehen ihre technische Machbarkeit und der Zwang zu kosteneffizienter Durchführung gegenüber. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, Messnetze und Messverfahren zielorientiert zu planen, zu optimieren und ggf. zu beschränken. Insofern sind Messstellen und Messverfahren sorgfältig daraufhin zu untersuchen, inwieweit sie notwendig und geeignet sind, die benötigten Informationen in der erforderlichen Zuverlässigkeit zu liefern. Die begründet ausgewählten Messsysteme sind so zu betreiben, dass Daten in erforderlicher Menge und Qualität mit minimalem Aufwand erzeugt werden.

Die Automatisierung bietet im gewässerkundlichen Messwesen Möglichkeiten, auf andere Art nicht gewinnbare Informationen zu erlangen und kosteneffiziente, praktische Lösungen zu gestalten. Deshalb hat die LAWA den Auftrag erteilt, geeignete Vorgehensweisen und Verfahren zur Automatisierung im gewässerkundlichen Messwesen darzustellen.

Ob und in welchem Umfang eine Automatisierung zur Erhöhung des Informationsgehaltes von Messungen, zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit eines Messnetzes und zu Kosteneinsparungen führt, hängt im Wesentlichen von der Größe, Struktur und den Aufgaben des Messnetzes ab. Durch Automatisierung lassen sich der Informationsgehalt der Daten (durch engeren Messturnus), deren Aktualität (durch Datenfernübertragung), die Datenqualität und die Betriebssicherheit der Messeinrichtungen (durch redundante Messung, Messstellenfernüberwachung und automatische Plausibilitätskontrollen der Messwerte) verbessern. Alarmierungsaufgaben können durch Automatisierung gewöhnlich überhaupt erst effizient gelöst werden. Da die gewässerkundlichen Daten nicht wiederholbare Naturereignisse beschreiben, kommt der Betriebssicherheit auch unter extremen Bedingungen eine vorrangige Bedeutung zu.

Im Folgenden werden die Möglichkeiten und Grenzen einer Automatisierung beginnend bei der Messung über den Datentransport bis zur Datenaufbereitung beschrieben. Die Schrift beschränkt sich auf die zentralen Aufgaben der Gewässerkunde, die Beobachtung des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer hinsichtlich Menge und Beschaffenheit. Auf die auch für die Gewässerkunde bedeutsamen Messungen im wasserungesättigten Bodenraum und in der Atmosphäre wird nicht eingegangen. Auch die Datenbereitstellung, der Transport und die Analyse von Wasserproben im Labor sowie die Bewertung und Interpretation der Daten werden nicht behandelt. Da sich wegen der schnellen Entwicklung auf dem Markt der Mess- und Datenerfassungsgeräte, der Datenübertragungswege sowie der Software zur Datenbearbeitung im vorliegenden Leitfaden keine aktuelle und umfassende Marktanalyse darstellen lässt, wird, unter Verzicht auf technische Details, nur die grundsätzliche Eignung der Verfahren für eine Automatisierung der Gewässerbeobachtung dargestellt.

Die Schrift soll die Möglichkeiten und Grenzen der Automatisierung in der Gewässerbeobachtung aufzeigen und den damit Beauftragten praktische Hilfe bei der Umsetzung bieten. Da der wirtschaftlich sinnvolle Umfang einer Automatisierung immer von der konkreten Aufgabenstellung eines Mess- und Überwachungssystems abhängt, werden sowohl die Automatisierung von Teilaufgaben, als auch eine durchgängige Automatisierung von der Messung bis zur Datenaufbereitung behandelt. Die Schrift kann sowohl bei den flächendeckenden gewässerkundlichen Messnetzen des Bundes und der Länder als auch bei kleineren, regional oder lokal begrenzten Messnetzen Dritter Anwendung finden.

Neben der Automatisierung ist die Nutzung von Synergien im Messwesen ein weiteres wichtiges Element zur Rationalisierung der Gewässerbeobachtung. Der gemeinsame Betrieb der quantitativen und qualitativen Messnetze im Grundwasser und an oberirdischen Gewässern fördert nicht nur die fachliche Abstimmung der Messstandorte, er erlaubt auch eine rationellere Messstellenbetreuung, fördert das messtechnische Fachwissen und kann zu Kosteneinsparungen bei der Beschaffung und Betreuung der Datenerfassungsgeräte und Datenübertragungssysteme führen. Deshalb werden im Folgenden die gemeinsamen Grundsätze bei der Gewässerbeobachtung hervorgehoben. Trotz traditionell unterschiedlicher Praktik und Terminologie in den einzelnen Messnetzen sind sowohl methodische Grundsätze als auch gerätetechnische Lösungen weitgehend gleichartig. In den beiden Kapiteln 8 und 9 werden die grundsätzlichen Lösungen auf die unterschiedlichen Messaufgaben im Grundwasser und an oberirdischen Gewässern angewendet und konkretisiert.

2 Möglichkeiten, Grenzen und Wirtschaftlichkeit der Automatisierung

Die Automatisierung der Gewässerbeobachtung bietet Möglichkeiten zur Reduzierung des personellen Aufwandes, zur Verbesserung des Informationsgehaltes von Gewässermessungen, zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Gewässerbeobachtung und zur zeitnahen Verfügbarkeit der Messdaten. Die vielfältigen Möglichkeiten der Automatisierung bei der Gewässerüberwachung einerseits und die spezifischen Grenzen ihres Einsatzes andererseits erfordern im konkreten Fall stets eine sorgfältige Analyse der fachlichen Aufgabenstellung. Unter anderem ist zu prüfen, welche Informationen an welchen Messorten mit welcher Messgenauigkeit wann und wie oft zu ermitteln sind. Es ist zu prüfen und festzulegen, mit welcher Sicherheit und Zuverlässigkeit die Informationen ermittelt werden müssen und wie schnell und sicher diese an welcher Stelle verfügbar sein sollen. Bei der Analyse der Aufgabenstellung sind prioritäre und sekundäre Anforderungen abzugrenzen, um - ggf. den wirtschaftlichen Möglichkeiten entsprechend - zunächst wesentliche Zielstellungen zu verfolgen oder eine geplante Automatisierungslösung schrittweise zu realisieren.

Teilautomatisierte Lösungen können im Einzelfall wirtschaftlich effizienter oder auch betriebssicherer sein als vollautomatisierte Lösungen.

Die technischen Lösungen der Informationsgewinnung bei der Messung von Druck-, Durchfluss- und Beschaffenheitswerten im Grundwasser und in oberirdischen Gewässern sind sehr vielgestaltig und teils hoch spezialisiert. Deshalb ist die fachspezifische Planung von Automatisierungslösungen für den Maßnahmenerfolg unerlässlich.

Die verschiedenen Wege zur Lösung einer Automatisierungsaufgabe sind auf ihre fachlichen Vor- und Nachteile und hinsichtlich wirtschaftlicher Aspekte betreffend Kostenpositionen und Personaleinsatz eingehend zu analysieren und vor der Entscheidung sorgfältig abzuwägen.

Nicht unbeachtet bleiben darf dabei die Zukunftsfähigkeit der gewählten Lösung unter Einbeziehung des aktuellen Kenntnisstandes über technische Entwicklungstrends und künftige Personalstrukturen der mit Umweltüberwachungsaufgaben betrauten Einrichtungen.

Die Einführung automatisierter Informationsgewinnung und Datenübermittlung bewirkt oft gleichzeitig den Wegfall von bisher erforderlichen Tätigkeiten und Aufgabenbereichen (z. B. manuelles Messen, Daten erfassen und in Zusammenstellungen akkumulieren) und die Entstehung neuer Aufgabenbereiche (z. B. Geräte kontrollieren und instand halten). Insofern sind mit der Einführung umfangreicher Automatisierungslösungen die Organisation der durchführenden Institution und deren Personalfunktionspläne diesbezüglich zu prüfen und anzupassen. Die Qualifizierung des Personals zur Absicherung des Betriebes und zur Wartung und Pflege von Messgeräten und Datenübertragungseinrichtungen sind rechtzeitig vorzunehmen, damit automatisierte Überwachungslösungen möglichst störungsfrei eingeführt werden können.

Bei der Prüfung der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Automatisierung der Messungen und Messwertübermittlungen sind neben den oft aus vielen Einzelpositionen bestehenden Kosten auch nicht direkt quantifizierbare Vorteile der Automatisierung von Gewässerbeobachtungen, wie höhere Datenqualität und –sicherheit und schnellere Datenverfügbarkeit, zu bewerten. Verschiedene Daten sind nach Art und/oder Anzahl bzw. Messhäufigkeit ohne Automatisierungsmaßnahmen überhaupt nicht ermittelbar. Insbesondere für derartige Fälle gilt, dass die Angemessenheit der Kosten einer automatisierten Gewässerüberwachung nicht nur grundsätzlich, sondern vor allem im Hinblick auf den dadurch erzielbaren Informationsgewinn für den Ressourcen- und Katastrophenschutz beurteilt werden muss. Daraus folgt, dass gemäß dem in Kap. 3 enthaltenen Ablaufplan festgelegt werden muss, welcher Messwert mit welcher Genauigkeit in welchem Überwachungsraum automatisiert zu erfassen ist, um bestimmte Zielstellungen erreichen zu können. Die daraus resultierende Bedeutung des

automatisiert zu überwachenden Prozesses begründet die dafür erforderlichen materiellen Aufwendungen.

Die nachfolgende Liste nennt beispielhaft Möglichkeiten und Grenzen der Automatisierung.

Reduzierung des personellen Aufwands durch

- Wegfall manueller Messarbeiten einschließlich Wegezeiten, Datenerfassung, und –übermittlung
- Verminderung des Kontrollaufwandes an der Messstelle, deren Funktionsfähigkeit nicht automatisch geprüft und zentral gemeldet wird
- Wegfall sonst routinemäßig erforderlicher Kontrollen der Daten auf Fehler infolge menschlichen Versagens

Verbesserung des Informationsgehaltes von Messungen im Grundwasser und oberirdischen Gewässern durch

- automatisierte Messungen in beliebiger zeitlicher Auflösung
- Datenfernübertragung in beliebigem Zeittakt
- automatisierte Auslösung von Alarm und Betätigung von Stellgliedern in angeschlossenen Steuerungs- und Regeleinrichtungen
- automatisierte Messung von Indikatorparametern und zielgerichtete prozessabhängige Messung weiterer Parameter an auf Grundlage der Indikatorparametermesswerte vorausgewählten Zeitpunkten bzw. Prozesszuständen

Verbesserung der Betriebssicherheit automatisierter Messsysteme durch

- zielgerichtete Auswahl am Markt verfügbarer Messsysteme, die für unterschiedlichste Anforderungen und Einsatzbedingungen konfektioniert werden können (einheitlich optimale technische Lösungen gibt es nicht)
- redundante Ausrüstung der Messeinrichtung und/oder Datenübertragung und zusätzliche Datensicherung mittels Datenspeicherung an der Messstelle

Grenzen der Automatisierung und wirtschaftliche Aspekte ergeben sich aus

- den Milieubedingungen am Messort und der Störanfälligkeit der eingesetzten Geräte sowie dem erforderlichen Aufwand zu deren Beherrschung (z. B. Qualität der Geräteausführung, Umfang der Redundanz der technischen Lösung, Blitzschutzmaßnahmen)
- dem Aufwand zur regelmäßigen Kontrolle der eingesetzten Geräte, deren Kalibrierung und Versorgung mit Betriebsmitteln
- dem Aufwand zur regelmäßigen Qualifizierung des Personals für die Bedienung und Wartung automatisierter Messsysteme, die einer progressiven technischen Entwicklung unterliegen

3 Grundsätze

Eine Automatisierung setzt stets die Vorgabe einer Zielfunktion für das zu automatisierende System voraus. Um diese bestimmen zu können, muss die Ursache – Wirkungsbeziehung im zu betrachtenden System bekannt sein. Dementsprechend reichen Automatisierungsaufgaben von der automatisierten Reinigung eines Sensors bis zur Steuerung von Abflüssen. Dabei ist der Automatisierungsgrad festzulegen, der letztlich darüber entscheidet, wie viele der Aufgaben von der Informationsgewinnung bis zur Steuerung des Systems unabhängig vom Menschen durchgeführt werden.

Der Planung einer Automatisierung der Gewässerüberwachung muss stets eine Prüfung der fachlichen Notwendigkeit und der Wirtschaftlichkeit vorangehen. Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind nicht nur die Investitionskosten, die Abschreibung und die Kosten für Betrieb und Instandhaltung zu vergleichen, sondern auch ein möglicher Gewinn an Informationen durch einen engeren Messturnus, eine größere Aktualität durch Datenfernübertragung und automatisierte Datenaufbereitung sowie eine höhere Betriebssicherheit der Messeinrichtungen und damit eine Steigerung der Datensicherheit und –qualität.

Die Daten werden sowohl informations- als auch entscheidungsorientiert verarbeitet. Die informationsorientierte Datenverarbeitung dient vorrangig dem allgemeinen Erkenntnisgewinn, der Dokumentation der Entwicklung der Gewässer nach Menge und Beschaffenheit (z.B. Landesmessnetze) und der Beweissicherung. Demgegenüber stehen im Mittelpunkt der entscheidungsorientierten Datenverarbeitung die Überwachung von Prozessen und die daraus abzuleitenden Entscheidungen in Abhängigkeit von den erhaltenen Informationen, insbesondere von den sich ergebenden Soll-Ist-Abweichungen (z. B. Hochwasserschutz, Gefahrenabwehr infolge von Schadstoffeinträgen, Wasserhaltung bei Baumaßnahmen und Monitored Natural Attenuation). Häufig bilden die Ergebnisse aus der informationsorientierten Datenverarbeitung die Grundlage für die entscheidungsorientierte Datenverarbeitung.

Der in Abbildung 3-1 dargestellte Ablaufplan umfasst alle im Rahmen der Prüfung der fachlichen Notwendigkeit und Wirtschaftlichkeit einer Automatisierung der Gewässerüberwachung erforderlichen Bearbeitungsschritte. In der Abbildung 3-2 werden die zur Umsetzung der Automatisierung erforderlichen Schritte dargestellt. Beide sollen letztlich zur Beantwortung der folgenden Fragen dienen:

warum soll, was, wann, wo, womit und mit wem automatisiert werden?

Die Bearbeitungsschritte werden nachfolgend kurz erläutert, wobei zu beachten ist, dass der Ansatzpunkt dieser Schrift darin besteht, dass eine Automatisierung der Gewässerüberwachung als möglich und erforderlich entschieden wurde.

Alle folgenden Untersuchungen sind sorgfältig durchzuführen. Die Ergebnisse müssen belastbar und die Entscheidungen nachvollziehbar sein.

3.1 Abgrenzung des Überwachungsraumes

Die Abgrenzung des Überwachungsraumes ist von grundsätzlicher Bedeutung, da sie neben der räumlichen Ausdehnung des zu überwachenden Gewässers auch die Einleitungen und Einträge nach Menge und Beschaffenheit berücksichtigen muss. Diese können punktuell, linienförmig und / oder flächenhaft erfolgen. Damit dient dieser Bearbeitungspunkt der Verdeutlichung der Komplexität der Aufgabenstellung und somit der Beantwortung der Frage, warum welche Gewässer überwacht werden müssen, wobei über die Notwendigkeit einer gekoppelten Betrachtung von z. B. oberirdischen Gewässern und Grundwasser zu entscheiden ist.

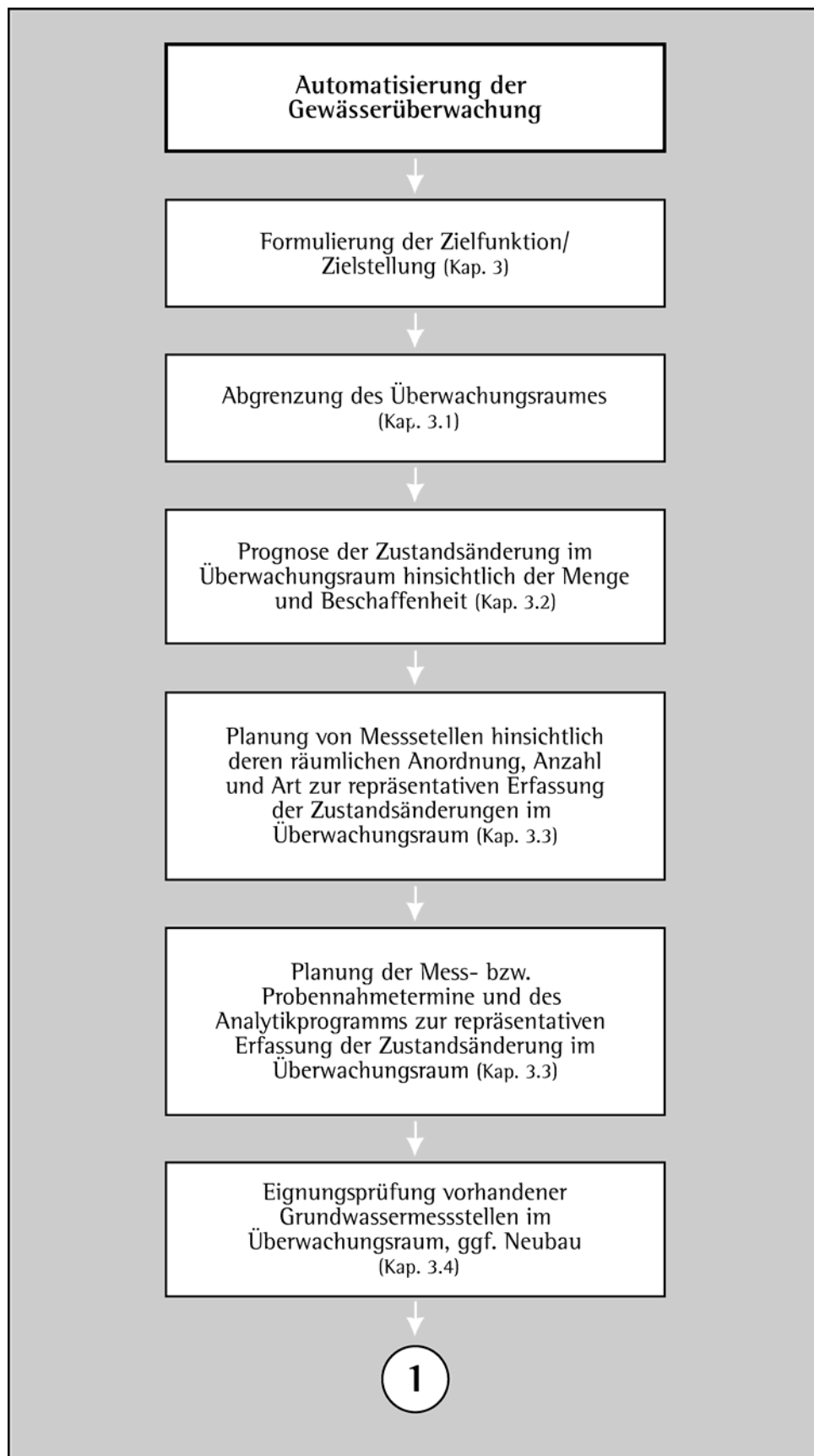


Abb. 3-1: Ablaufplan zur Prüfung der fachlichen Notwendigkeit und Wirtschaftlichkeit einer Automatisierung der Gewässerüberwachung

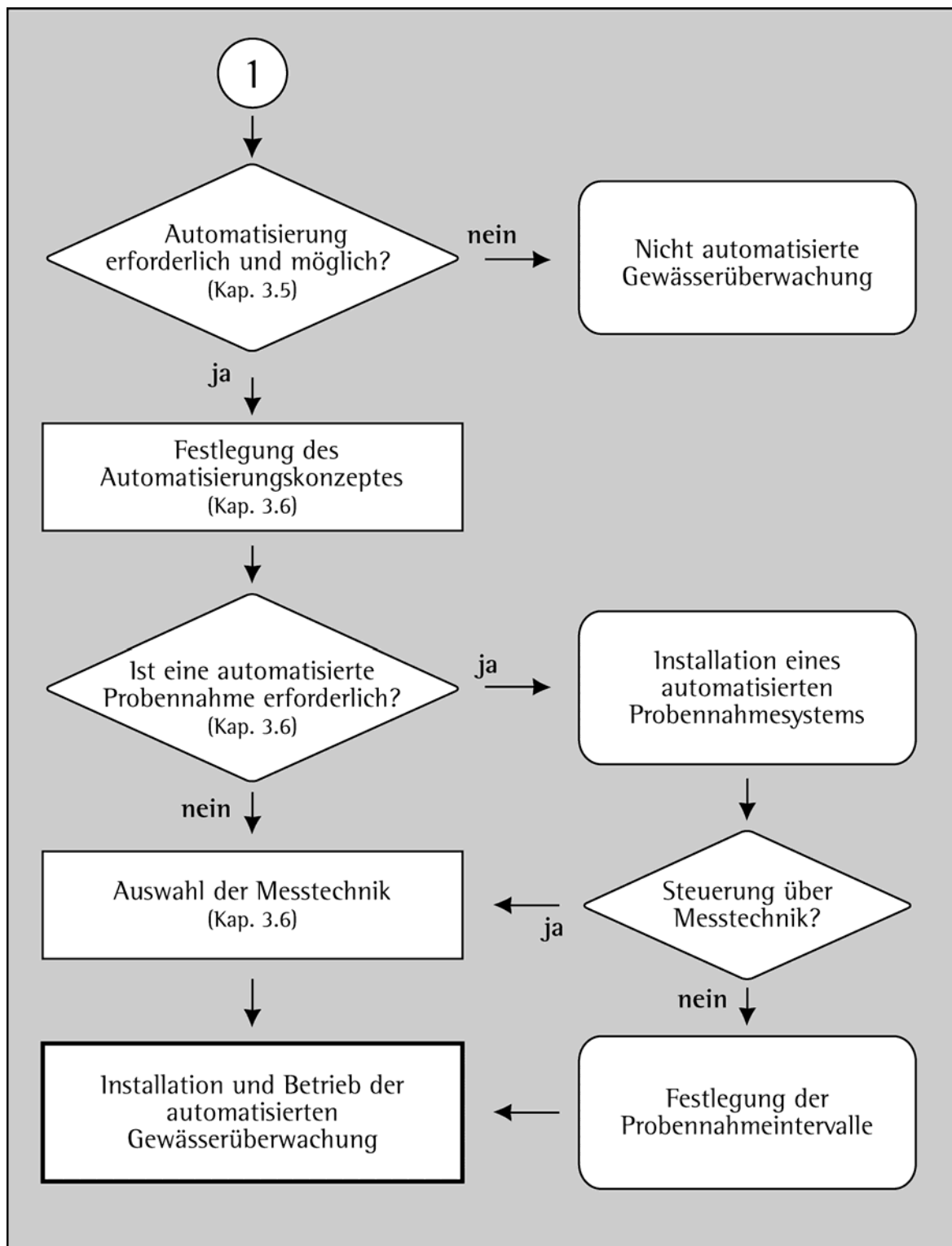


Abb. 3-2: Ablaufplan zur Umsetzung der Automatisierung

Die Abgrenzung des Überwachungsraumes erfolgt auf der Grundlage von Datenauswertungen, Voruntersuchungen (z. B. Längs-, Quer- und Tiefenprofile bei Fließgewässern), einfachster Modellvorstellungen (Wassereinzugsgebiet) über geologische Strukturmodelle bis zur Nutzung von digitalen Modellen zur Prognose der Mengen- und Güteveränderungen der im Überwachungsraum befindlichen Gewässer.

3.2 Prognose der Zustandsänderung im Überwachungsraum

Die Prognose der Zustandsänderung der im Überwachungsraum befindlichen, zu- und abströmenden Gewässer hinsichtlich Menge und Beschaffenheit dient vor allem der Feststellung der Art und Dynamik der Zustandsänderung. Die Zustandsänderung der ggf. gekoppelt wirkenden Gewässer kann kontinuierlich und/oder diskontinuierlich sein. Dementsprechend dient dieser Bearbeitungspunkt einer Vorentscheidung über die Notwendigkeit einer Automatisierung.

Die Prognose der Zustandsänderung sollte auf der Grundlage von geprüften Daten des zu betrachtenden Gebietes im Sinne einer Epignose durchgeführt werden. Darüber hinaus sollten auch zukünftige Änderungen im Überwachungsraum wie Nutzungs- und Klimaänderungen einbezogen werden.

Für die Prognose der Mengen- und Güteveränderungen der im Überwachungsraum befindlichen Gewässer haben sich verschiedene Ansätze von Voruntersuchungen bis zur Nutzung digitaler Modelle bewährt, die einzeln oder in Kombination angewendet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass jene Modellklassen zur Prognose verwendet werden, die der zur Verfügung stehenden Datengrundlage entsprechen. Erforderlichenfalls ist zu prüfen, ob die mit der nächsthöheren Modellklasse erzielbare Verbesserung der Prognose den dadurch bedingten erhöhten Aufwand bei der Datenbereitstellung rechtfertigt.

Sollten keine belastbaren Daten zur Verfügung stehen, so können Erwartungswerte unter Einbeziehung von Trendanalysen (aus den nicht belastbaren Daten) bzw. Erfahrungswerten aus Literatur und vergleichbaren Objekten unter Beachtung der Aussagenunschärfe fixiert werden.

3.3 Planung der Mess- und Probennahmeterminale

Die Planung der Mess- bzw. Probennahmeterminale und des Analytikprogramms zur repräsentativen Erfassung der Zustandsänderung im Überwachungsraum dient der Beantwortung folgender Fragestellungen:

- Ist die zu überwachende Kenngröße direkt messbar?
- Wie oft muss welche Kenngröße mit welcher Genauigkeit und womit ermittelt werden? (Sensitivitätsanalyse)
- Wodurch kann die Kenngröße verfälscht werden (einschließlich Matrixprobleme bzw. Querempfindlichkeit bei der Überwachung der Gewässerbeschaffenheit), welche Anforderungen resultieren daraus an die Verfahren und Techniken zur Messung, Probennahme und Analytik?
- Ist eine Probennahme notwendig? Das erforderliche Probenvolumen und die Probenpräparation sind zu klären. Das Analytik- bzw. Messprogramm ist hinsichtlich verschiedener Aufgabenstellungen abzustimmen. Zu nennen sind Basisprogramme für die eigentliche Überwachungsaufgabe, Zusatzprogramme bei bestimmten Änderungen der Einflussgrößen, wie der pH-Wertveränderung und bei Havarien sowie Qualitätssicherungsprogramme zur Überprüfung der Analysenfehler bzw. Messunsicherheiten.
- Über welchen Leit- bzw. Summenparameter ist die Änderung der zu überwachenden Kenngröße indirekt erfassbar und wie sensitiv reagiert dieser Summenparameter auf Änderungen der zu überwachenden Kenngröße?

Für die Beantwortung dieser Fragen haben sich verschiedene Ansätze von Voruntersuchungen bis zur Nutzung digitaler Modelle zur Prognose der Mengen- und Güteveränderungen der im zu betrachtenden Überwachungsraum befindlichen Gewässer bewährt (s. Abschnitt 3.2).

3.4 Planung von Messstellen

Die Planung von Messstellen (s. Abschnitt 4.1) zur repräsentativen Erfassung der Zustandsänderung nach Menge und Beschaffenheit erfolgt auf der Ergebnisgrundlage der Prognose der Zustandsänderung. Sie umfasst die räumliche Anordnung, Anzahl und Art der Messstellen. Hinsichtlich der Festlegung der zu verwendenden Messstellenart ist zusätzlich zu den unter Abschnitt 3.3 benannten Aspekten die Fragestellung nach der erforderlichen räumlichen Auflösung der Mess- und Probennahmestelle bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen.

Insbesondere für entscheidungsorientierte Messnetze muss die Messung oft strombahn- bzw. stromröhrenbezogen erfolgen, um zu jedem Zeitpunkt unter anderem:

- eine effiziente Gefahrenabwehr durchführen zu können,
- präventive Schutzmaßnahmen zu begründen und durchzusetzen,
- den Zustandsstörer eindeutig identifizieren zu können und
- die Prognosegenauigkeit durch eine ständige Anpassung der Prognoseparameter an die objektspezifischen Gegebenheiten erzielen zu können.

Neben der Messaufgabe sollten auch die Gegebenheiten vor Ort berücksichtigt werden. Hierzu zählen unter anderem:

- Erreichbarkeit der Messstelle,
- Energieversorgung und Telekommunikation und
- Schutzmöglichkeiten gegen Beschädigung bzw. Zerstörung (z.B. infolge Eisgang, Treibgut, Bewirtschaftung der Flächen, Hochwasser, Vandalismus).

Daraus resultierende Probleme können durch eine geschickte Standortwahl reduziert werden.

3.5 Eignungsprüfung von Messstellen

Nach der Entscheidung zur Automatisierung sollte stets geprüft werden, ob im Überwachungsraum bereits Messstellen existieren, die verwendet werden können. Nach einer Eignungsprüfung ist zu entscheiden, ob diese den Anforderungen einer Gewässerüberwachung genügen, gegebenenfalls die Eignung hergestellt werden kann oder ob die Messstelle zurückgebaut werden muss. Ein Rückbau einer nicht geeigneten Messstelle kann vor allem im Grundwasserbereich erforderlich sein, um die zukünftig zu erhebenden Messwerte nicht zu beeinflussen. Anschließend ist über den Bau neuer Messstellen zu entscheiden.

3.6 Automatisierungsentscheidung

Auf der Grundlage der vorangegangenen Bearbeitungsstufen ist über eine Automatisierung der Gewässerüberwachung hinsichtlich der Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit zu entscheiden. Eine Automatisierung ist insbesondere dort zweckmäßig, wo die Überwachung

- nur mit sehr hohem personellen Aufwand durchzuführen ist,
- zur Ermittlung von Zustandsstörern erforderlich ist,
- bei manueller Ausführung nicht den Qualitätsanforderungen genügt,
- in kürzerem Turnus fachlich notwendig ist,
- an Messstellen durchzuführen ist, die schlecht bzw. nur mit sehr hohem technischen Aufwand zu erreichen sind und
- der uneingeschränkten Alarmierung und direkten Entscheidungsfindung dient.

3.7 Automatisierungskonzept und Automatisierungsgrad

Bei der Erstellung des Automatisierungskonzeptes ist zu entscheiden, welche der im Rahmen der Automatisierung durchzuführenden Handlungen (einschließlich Probennahme) unabhängig vom Bearbeiter durchgeführt werden sollen. Dies ist ausgehend von den installierten Messsystemen bis hin zur Ableitung von Entscheidungen und deren Umsetzung festzulegen.

Wenn ein Messnetz automatisiert wird, ist es zweckmäßig auch die Organisation der Aufgabenerledigung sowie den Ort, an dem die Aufgaben erledigt werden, zu überdenken. Die Optimierung des Verfahrens der Aufgabenerledigung hängt ab von der Struktur und Art des Messnetzes, der Personalstruktur und der Organisationsstruktur des Messnetzbetreibers.

In der nachfolgenden Abbildung 3-3 werden drei unterschiedliche Automatisierungskonzepte in Bezug auf den Ort der Automatisierung dargestellt. Die dem Bereich der Messstelle bzw. der Zentrale zugeordneten Bearbeitungsschritte können auch einzeln automatisiert werden.

Konzeptbeispiele der Automatisierung	A	B	C
Messen und Speichern			
Übertragen			
Prüfen			
Verarbeiten			
Vergleich mit Maßnahmewerten			
Warnung / Alarm / Auslösung von Handlungen			
Übertragen			
Prüfen			
Ableitung weiterer Handlungen, ggf. Korrekturmaßnahmen			
Archivieren			

Messstelle	
Zentrale	

Abb. 3-3: Schematisierte Darstellung von drei unterschiedlichen Automatisierungskonzepten A, B und C

Bei der Festlegung des Automatisierungsgrades ist auch über die Betriebssicherheit von Messungen und Datenübertragungen zu entscheiden, die verbessert werden kann, wenn mit zwei voneinander unabhängigen Systemen gemessen wird (s. Abschnitt 3.8). Auch ist zu beachten, dass eine Prüfung der automatisiert ermittelten und übertragenen Daten höchstens teilautomatisiert erfolgen kann, um den fachkompetenten Bearbeiter von Routinearbeiten zu entlasten.

3.8 Redundanz

Die Redundanz bezeichnet das funktionsbereite Vorhandensein von mehr technischen Mitteln, als für die spezifische Nutzfunktionen des Systems benötigt werden. Redundanz beruht auf dem Prinzip, Systeme so zu konstruieren oder auszulegen, dass sie nach Auftreten von Fehlern einzelner Komponenten als Ganzes noch funktionsfähig sind. Das Ziel wird durch die Erhöhung der Komponentenanzahl erreicht, weil die erforderliche Funktion auch dann noch erbracht wird, wenn eine einzelne Komponente versagt oder fehlerhaft ist (ECHTERLE, K. 1990). Mit dieser „Fehlertoleranz“-Eigenschaft kann die Zuverlässigkeit eines Gesamtsystems über die seiner einzelnen Komponenten hinaus gesteigert werden. Die Redundanz ist bei der Gewässerbeobachtung insbesondere erforderlich, wenn die Erfassung und Übertragung der Werte auf Grund der Aufgabenstellung, z.B. für die Alarmierung bei Hochwasserereignissen, permanent zuverlässig zu gewährleisten sind. Dementsprechend ist es abhängig von der Aufgabenstellung, welche Komponenten in welchem Umfang und mit welcher Funktionalität mit Zusatzkomponenten abzusichern sind.

Bei der Definition der Redundanz wird zwischen einer homogenen Redundanz, mit gleichartigen Mitteln, und einer diversitären Redundanz, mit ungleichartigen Mitteln, unterschieden. Die homogene Redundanz wird im Allgemeinen eingesetzt, wenn zufalls- oder alterungsbedingte Fehler zu erwarten sind. Planungsfehler oder systematische Fehler der eingesetzten Verfahren oder Gerätetypen können nicht erkannt werden. Umfeldeinflüsse, wie Frost, Schwebstoffe, Stromausfall, wirken sich in gleicher Weise auch auf die redundanten Gerätekomponenten aus.

Bei allen Anlageteilen gewässerkundlicher Messeinrichtungen, den Messgeräten, den Datenerfassungs-, Datenspeicher- und -übertragungsgeräten sowie der Energieversorgung für diese Geräte kann daher die diversitäre Redundanz Anwendung finden. In diesem Fall werden unterschiedliche Komponenten gleicher Funktionalität eingesetzt. Die Verwendung von Komponenten mit jeweils verschiedenen physikalischen und konstruktiven Prinzipien macht ein gleichzeitiges Versagen sehr unwahrscheinlich. Bei der Messwerterfassung ist dabei darauf zu achten, dass die redundanten Komponenten sich möglichst auf dieselbe Beobachtungsstelle beziehen. Ist das nicht möglich, müssen die Beobachtungsstellen so gewählt werden, dass die Messwerte hoch korreliert sind.

Der Redundanzbegriff lässt sich auch noch nach dem Zeitpunkt der Aktivierung unterscheiden, in statische und dynamische Redundanz. Bei der dynamischen Redundanz oder Reserveredundanz wird erst im Versagensfall das redundante System aktiviert. Bei der statischen Redundanz, die im gewässerkundlichen Messwesen üblich ist, sind die Systeme während der gesamten Einsatzzeit aktiv. Die Verwendung redundanter Systeme ermöglicht einerseits die Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gewässerkundlicher Messdaten, sie erhöht aber andererseits die Komplexität des Systems und die Anzahl der Komponenten, wodurch sich nicht nur die Aufwendungen für die Gerätebeschaffung, sondern auch für Instandhaltung und Wartung erhöhen. Redundante Komponenten müssen dabei mit gleicher Sorgfalt betreut werden. Hierzu zählen auch die regelmäßige Funktionskontrolle und Datenprüfung. Nur so ist sichergestellt, dass die zweite (redundante) Komponente bei Ausfall der ersten deren Aufgabe übernehmen kann und die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems gewährleistet bleibt.

In den Abbildungen 3-4 bis 3-7 sind Varianten der Redundanz dargestellt, wie sie bei der Gewässerbeobachtung eingesetzt werden. Die Zweitkomponenten müssen dabei nicht unbedingt den gleichen Umfang an Funktionalität der Erstkomponenten aufweisen (s. o.). Die Redundanz in Bezug auf die Energieversorgung ist dabei nicht explizit berücksichtigt. Die Varianten in den Abbildungen 3-6 und 3-7 können auch kombiniert zum Einsatz kommen. Infolge der Komplexität derartiger Vernetzung kann die Störanfälligkeit des redundanten Systems diejenige des einfachen Systems übersteigen.

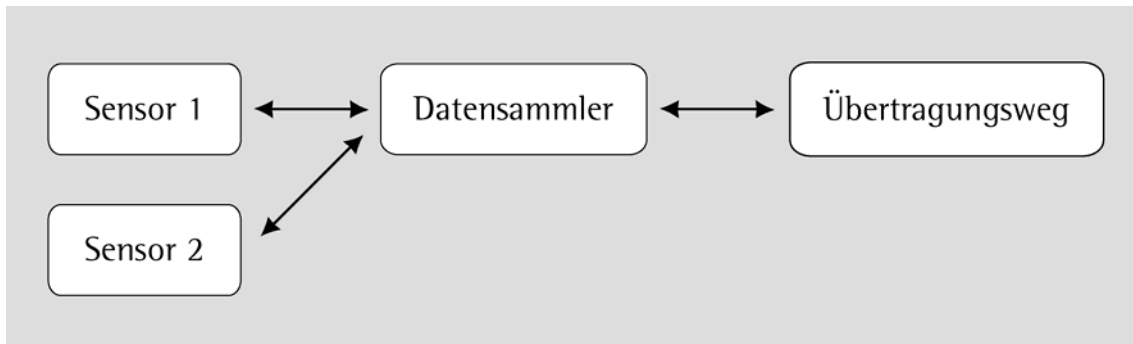


Abb. 3-4: Zwei Sensoren werden auf einen Datensammler aufgeschaltet. Bei Ausfall eines Sensors stehen die Messwerte des redundanten Sensors zur Verfügung.

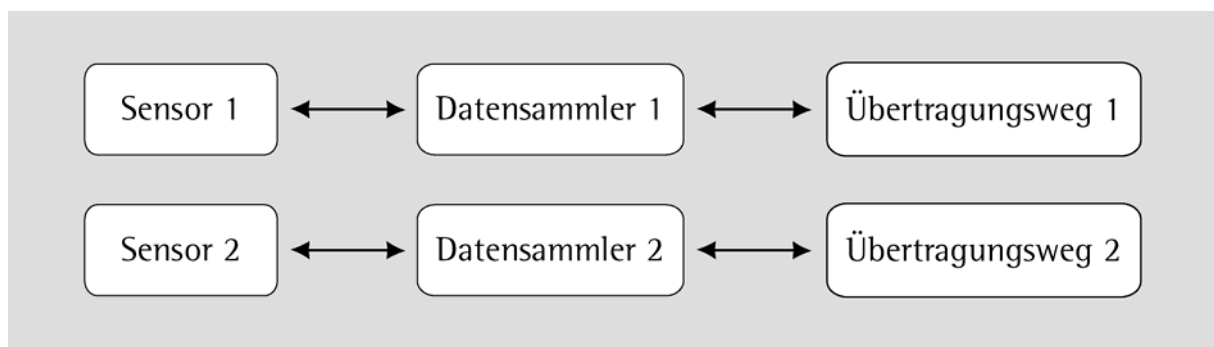


Abb. 3-5: Diese Variante bietet Sicherheit bei Ausfall einer gesamten Messkette einschließlich Datenübertragungsweg. Außerdem sind beide Messketten vollständig entkoppelt.

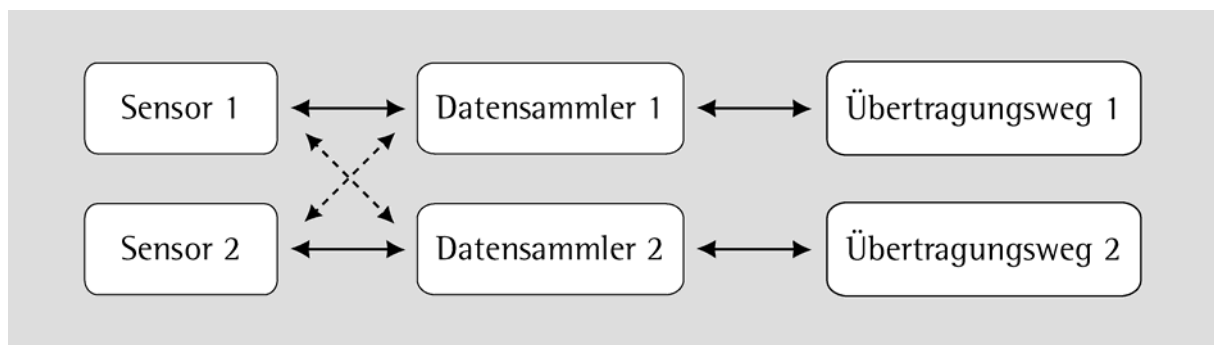


Abb. 3-6: Bei dieser Variante steigt die Flexibilität des Systems, da bei Ausfall eines Datensammlers der noch intakte Datensammler die Daten beider Sensoren verarbeiten kann. Durch die Vernetzung steigt allerdings auch die Anfälligkeit des Systems auf Störeinflüsse wie z. B. Überspannung oder Blitzeinwirkung, die dann in das andere System eingekoppelt werden können.

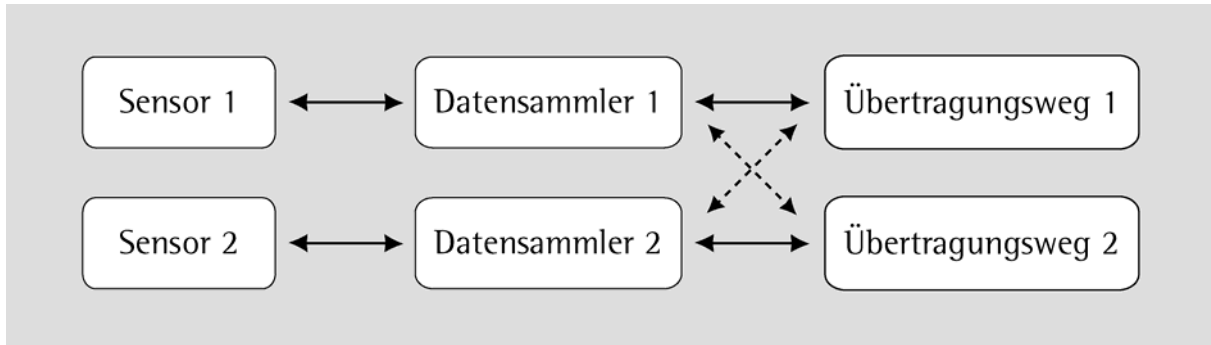


Abb. 3-7: Darstellung von zwei Messketten, deren Datenerfassungssysteme optional an zwei unabhängige Datenübertragungswege angeschlossen sind. Störungseinflüsse des einen Datenübertragungsweges können sich nachteilig auf den anderen auswirken.

3.9 Notwendigkeit einer automatisierten Probennahme

Ist auf Grund der in den vorangegangenen Abschnitten erarbeiteten Ergebnisse festzustellen, dass die zu überwachende Kenngröße nicht oder nur mit sehr hohem technischen und wirtschaftlichen Aufwand online, in situ oder on site (s. Abschnitt 4.1) zu ermitteln ist, so ist eine automatisierte Probennahme erforderlich. Diese kann entweder gradienten-, ereignisgesteuert oder zeitbezogen erfolgen.

Ist nur eine on site bzw. off site Lösung möglich, so sind die in Abschnitt 3.3 genannten Fragestellungen zu beachten und technisch gemäß Kapitel 8 und 9 umzusetzen. Dies wird teilweise neue technische Lösungen erfordern.

3.10 Auswahl der Messtechnik

Die bei der Auswahl der Messtechnik zu beachtenden Kriterien werden allgemein in den Abschnitten 4.5 bis 4.7 und gewässerbezogen in den Kapiteln 8 und 9 dargestellt.

Entscheidend bei der Auswahl von Geräten ist, dass diese geeignet sind, die ihnen zukommenden Aufgaben vollständig und zuverlässig zu erfüllen. Dabei sind auch die jeweiligen Umfeldbedingungen, unter denen die Geräte arbeiten müssen, und die Kompatibilität der Schnittstellen zu beachten.

Bei der Beurteilung der Kosten ist der Anschaffungspreis nur ein Faktor neben den Kosten für Justierung, Kalibrierung, Wartung, Instandhaltung sowie der von der Lebensdauer der Geräte abhängigen Abschreibung.

Dem Geräteanbieter sind die notwendigen Geräteeigenschaften und die Einsatzbedingungen bekannt zu geben. Nur so kann er für die Eignung seiner Geräte garantieren. Bei Geräten, mit denen der Anwender noch keine Erfahrung hat, kann es zweckmäßig sein, den Geräteherstellern auch mit der Gerätemontage, der Inbetriebnahme und einem Probetrieb zu beauftragen, der erst endet, wenn die Geräte bewiesen haben, dass sie die vom Anbieter garantierten Leistungen zuverlässig erbringen.

Zusätzlich zu den oben genannten Hinweisen und Forderungen sollte im Fall einer automatisierten Probennahme vor allem darauf geachtet werden:

- dass die Messgenauigkeit des zum Auslösen der automatisierten Probennahme einsetzbaren Systems den Anforderungen einer gradienten- oder ereignisgesteuerten Probennahme genügt. Dies betrifft vor allem die Fragestellung über welchen Leit- oder Summenparameter die Änderung der zu überwachenden Kenngröße indirekt er-

fassbar ist und wie sensitiv dieser Summenparameter auf Änderungen des zu überwachenden Parameters reagiert.

- dass die Schnittstellen zwischen dem zum Auslösen einer Probennahme einzusetzenden Messsystem und dem Probennahmesystem kompatibel sind.

4 Messung und Datenerfassung

Messung und Datenerfassung bilden die Grundlage für alle weiteren Verarbeitungsschritte. Fehler bei der Messung und Datenerfassung können in den folgenden Bearbeitungsschritten nicht oder nur eingeschränkt behoben werden. Bei einer Automatisierung ist daher darauf zu achten, dass keine Messverfahren zum Einsatz kommen, die unzuverlässige Daten liefern, die Messdaten verfälschen oder aus anderen Gründen nicht geeignet sind, dem angestrebten Messziel zu genügen. Die Automatisierung darf auch nicht zu einem Verlust an Information über das Zustandekommen der Messwerte führen. Eine einfache, durchschaubare Messkonzeption kann die Fehleranfälligkeit und den Wartungsaufwand vermindern und die Fehlerbehebung erleichtern.

Unabhängig davon, mit welchem Automatisierungsgrad die Datengewinnung durchgeführt wird, müssen die in den folgenden Abschnitten aufgezeigten Aspekte beachtet werden.

4.1 Messstelle, Messort und Beobachtungsstelle

Die Messstelle bezeichnet den geographischen Ort, an dem das Gewässer überwacht wird. Befinden sich dort umfangreiche feste Installationen, spricht man auch von einer Messstation.

Der Standort einer Messstelle muss gewährleisten, dass die Messaufgaben erfüllt werden können. Des Weiteren müssen bei der Einrichtung einer Messstelle die infrastrukturellen Erfordernisse berücksichtigt werden. Dazu gehören die Zugänglichkeit der Messstelle, ausreichende Platzverhältnisse für Installationen und Messeinrichtungen sowie, falls die Messeinrichtungen dies erfordern, Stromversorgung und Telefonanschluss oder die Eignung des Standortes für eine Funkübertragung. Die Kosten für die notwendige Infrastruktur sind bei der Standortwahl zu beachten.

Als Beobachtungsstelle wird im Folgenden die Stelle im Gewässer bezeichnet, auf die sich die Messung bezieht.

Der Messort, an dem der Messwert ermittelt wird, muss nicht mit der Beobachtungsstelle identisch sein. Zu unterscheiden ist zwischen einem Messort im Gewässer (in situ), am Gewässer (on site), z. B. in einem Messschacht oder einer Messhütte, oder im Labor (off site). Eine Messstelle kann somit mehrere Beobachtungsstellen und eine Beobachtungsstelle mehrere Messorte besitzen (Abb. 4-1).

Die Beobachtungsstelle kann durch die Messaufgabe (z. B. Beobachtung der Wasserbeschaffenheit in der Gewässermitte) zwingend vorgegeben sein. Der Messort wird entsprechend den technischen Möglichkeiten oder der Wirtschaftlichkeit so gewählt, dass der Bezug auf die gewünschte Beobachtungsstelle gewährleistet ist.

Wo immer es möglich ist, sind in situ Messverfahren vorzuziehen. Erfolgt die Messung an einem anderen Ort als im Gewässer selbst, ist sicherzustellen, dass eine dadurch bedingte, mögliche Veränderung der Messwerte berücksichtigt wird. Zu beachten sind nicht nur mögliche Veränderungen der Beschaffenheit von Wasserproben, sondern auch die Verfälschung von Messwerten, z. B. der Druckübertragung im Zulauf zum Pegelschacht, in der Pneumatikleitung oder der Luftdruckausgleich bei Druckmesssonden, sowie Verfälschungen von Messwerten in der Datenleitung zwischen Sensor und Datenerfassung.

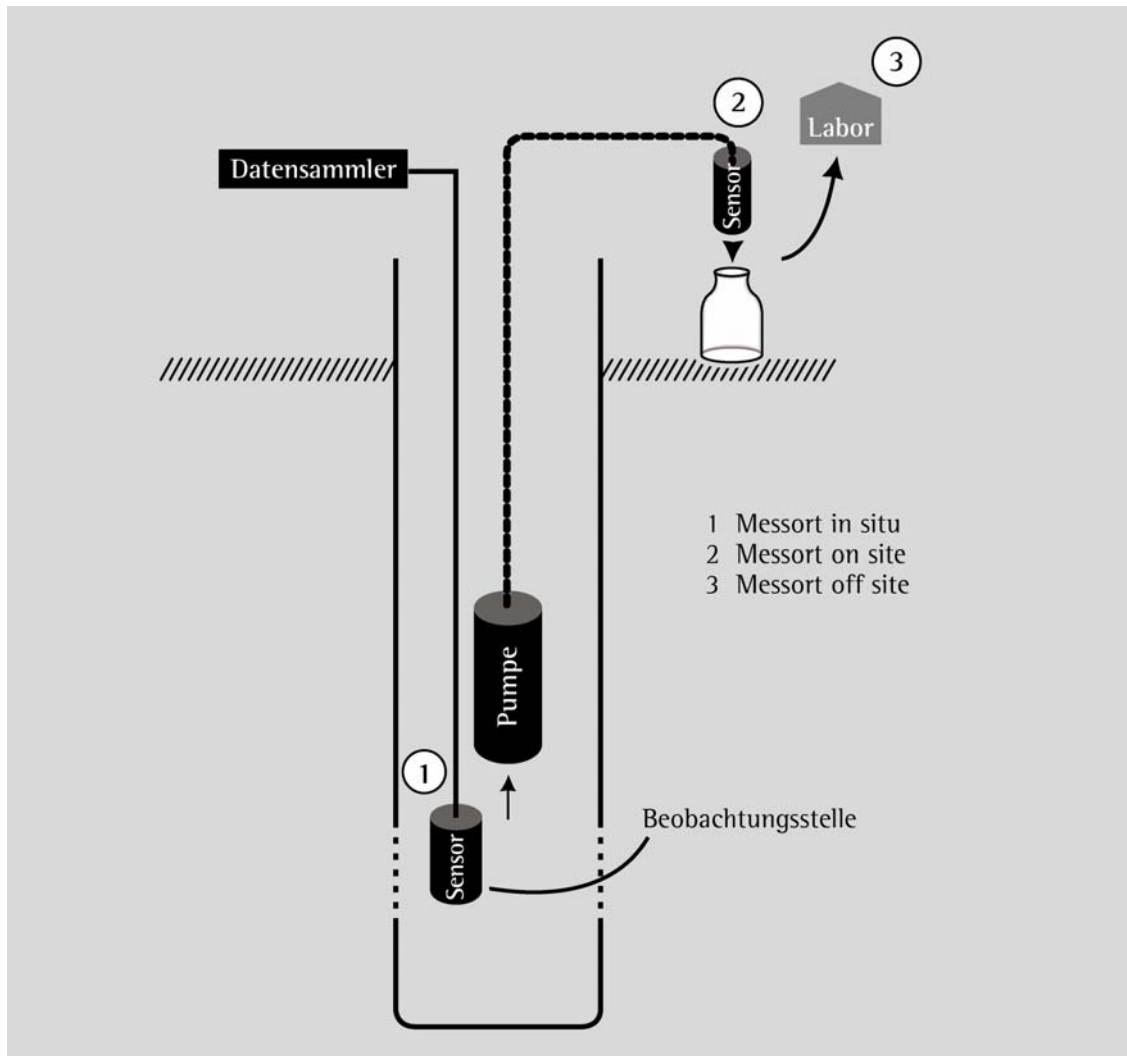


Abb. 4-1: Beobachtungsstelle und Messorte bei einer Grundwassermessstelle

4.2 Messbereich und Messintervall

Der Messbereich der eingesetzten Geräte und Sensoren ist so zu wählen, dass der zu messende Wertebereich der Messgröße einschließlich der Extremwerte mit der erforderlichen Messgenauigkeit vollständig erfasst werden kann.

Messwerte aus Einzelmessungen beschreiben den Zustand der Messgröße zu einem bestimmten Zeitpunkt. Durch Wiederholen von Einzelmessungen werden der Verlauf der Messgröße über die Zeit (Ganglinie) und extreme Zustände (Minima, Maxima) erfasst. Die Messintervalle sind dabei so zu wählen, dass der tatsächliche Gang der Messgröße in ausreichender Weise durch die gemessenen Einzelmesswerte nachgebildet werden kann (Abschnitt 8.2.2). Messgrößen, die sich schnell ändern, können kontinuierliche oder Messungen in kurzer Zeitfolge (quasikontinuierliche Messungen) notwendig machen. Im Hinblick auf künftig möglicherweise neue und höhere Anforderungen an die Messwerte sollte eher ein kurzer als ein langer Messtakt gewählt werden.

Abhängig von der Messaufgabe kann es andererseits sinnvoll sein, durch Mittelung (z. B. arithmetisches Mittel oder Median) die Fülle von Einzelmesswerten zu verdichten. In diesem Fall sollten zusätzlich zu dem Mittelwert, das Minimum und das Maximum und nach Möglichkeit die Varianz bereitgestellt werden. Wenn die Einzelwerte zufällig streuen (z. B. Wasserstandsmessung bei Wellenschlag), können repräsentative Messwerte gewonnen werden, indem die in sehr kurzem Turnus gemessenen Messwerte gemittelt werden. Die Mittelungs-

zeiträume sind dabei so zu wählen, dass die Mittelwerte, wie oben für die Einzelwerte gefordert, die Ganglinie ausreichend genau beschreiben und die Extremwerte erfassen.

Verschiedene biologische und chemische Größen lassen sich nicht oder nur mit unzulässiger Messunsicherheit kontinuierlich oder quasikontinuierlich messen. In diesen Fällen werden Wasserproben entnommen und im Labor untersucht. Durch integrierende Passivsammler und getriggerte Probennahmen erhält man Mischproben, aus denen dann entsprechende Mittelwerte gewonnen werden. Diese liefern jedoch keine Information über den Verlauf der Messgrößen und die Extremwerte innerhalb des Probennahmezeitraums. Hinweise auf den möglichen Verlauf der aus den Mischproben analysierten Messgrößen erhält man, wenn derartige Probennahmen durch eine kontinuierliche oder quasikontinuierliche Messung von Leit- oder Summenparametern ergänzt werden. Derartige Parameter können auch dazu dienen, die Probennahmezeiträume bei Überschreitung von Grenzwerten zu verändern (z. B. 2-stündige statt 24-stündigen Mischproben). Zur Ermittlung von Stofffrachten können durchflussrepräsentative Probennahmen notwendig sein, bei denen die Probenmengen in Abhängigkeit vom kontinuierlich ermittelten Durchfluss gesteuert werden. Außerdem kann mit einer dafür geeigneten Fernübertragung die Probenentnahme von einer Zentrale aus ferngesteuert werden.

4.3 Messstellenüberwachung

Ziel der Messstellenüberwachung ist die Vermeidung von Messlücken und Fehlmessungen. Hierzu müssen zeitnah Informationen über die Messstellen und deren technische Einrichtungen sowie zum Zustand des Gewässers bereitgestellt werden. Diese Informationen dienen neben der schnellen Fehlerbehebung auch der Datenaufbereitung und der Datenbewertung (s. Kapitel 6). Die Messstellenüberwachung erfordert entweder häufig wiederkehrende Kontrollen an der Messstelle oder eine Fernüberwachung durch eine Messnetzzentrale.

Um die Betriebssicherheit zu gewährleisten, müssen die Energieversorgung (z. B. Akkuladestand), der Wasserzufluss bei On-site-Messungen, die ausreichende Versorgung mit zur Messung notwendigen Stoffen (z. B. Gasversorgung bei Pneumatik-Wasserstandsmessgeräten) und die Funktionsfähigkeit der Datenübertragung überwacht werden.

Der Vergleich von Messdaten aus redundanten Messungen ermöglicht eine schnelle Kontrolle der Messsysteme auf Funktionsfähigkeit und messverfahrensbedingte Störeinflüsse. Ist eine Messstelle nicht mit redundanter Messtechnik ausgestattet, können ersatzweise Daten anderer Messstellen zum Vergleich hinzugezogen werden.

Eine Bildüberwachung kann Informationen zum Zustand der Messeinrichtungen (z. B. durch Überwachung der Wasserentnahmestelle bei Messungen in der Station) oder zum Zustand des Gewässers (z. B. Feststellung eines Gewässeraufstaus durch Treibzeug auf dem Messwehr) liefern.

Der Messgenauigkeit dienen regelmäßige Kalibriermessungen und Gerätejustierungen. Außerdem bedarf es in größeren Zeitabständen der örtlichen Zustandskontrolle der Messstelle und der Messeinrichtungen, erforderlichenfalls auch Untersuchungen des Gewässers.

Es ist zweckmäßig, die Ergebnisse der örtlichen Kontrollen zusammen mit den Informationen aus der Fernüberwachung abzuspeichern und sie auf diese Weise für die Datenaufbereitung und -bewertung verfügbar zu machen. Sofern die Möglichkeit besteht, sollten die Informationen in den Datensammler an der Messstelle eingegeben und mit den Messdaten zur Zentrale übertragen werden.

Automatische Mess-, Datenerfassungs- und -übertragungseinrichtungen ermöglichen die zeitnahe Übertragung von Messdaten zur Überprüfung in eine Messnetzzentrale. Die Überprüfung kann durch Sichtkontrolle der automatisch grafisch aufbereiteten Daten erfolgen, je nach Art der Daten auch automatisch. Die Bewertung der Prüfungsergebnisse wird erleichtert, wenn ausreichend Informationen über Gewässer, Messstelle und Messverfahren zur Verfügung stehen. Hilfreich sind Unterlagen zum Gewässer und der Messstelle, Statusinfor-

mationen von den Messeinrichtungen, Kontroll- und Kalibrierwerte sowie Vergleichswerte aus anderen Messstellen.

Datensammler, die in der Lage sind, bei niedrigem Akkuladestatus oder bei Überschreiten einer vorgegebenen Messwertedifferenz automatisch Alarmlösungen abzugeben, können ebenfalls zur Messstellenüberwachung verwendet werden.

Das Aufstellen von Wartungsplänen für Messstellen, die sämtliche Pflege-, Wartungs-, Kalibrierungs- und Justierungsaufgaben beinhalten, erleichtern und kontrollieren die Aufgabenerledigung. Statistiken lassen typische Schwachstellen erkennen, die sodann gezielt beseitigt werden können, wodurch der Aufwand für Wartung und Instandhaltung vermindert wird.

4.4 Geräteigenschaften

Der Betriebs- und Messsicherheit kommt im Hinblick auf die Automatisierung und Rationalisierung eine grundlegende Bedeutung zu, da nur zuverlässig funktionierende Komponenten einen automatisierten Betrieb zulassen. Im Folgenden werden allgemeine Grundsätze genannt, die nicht nur für Mess- und Registriergeräte, sondern entsprechend auch für andere für die Messung bedeutsame Einrichtungen gelten:

- Automatische Messungen im Gewässer stellen hohe Anforderungen an die eingesetzten Messsysteme und die Geräte zur Datenerfassung und -übertragung. Labor- und Bürogeräte sind für den Einsatz an einer Messstelle oft nicht geeignet. Vielmehr bedarf es robuster und an die örtlichen Bedingungen angepasster technischer Systeme, die gegenüber Umfedeinflüssen, Verschmutzung und anderen Störungen eine hohe Resistenz aufweisen. An Messstellen können Temperaturen von -20°C bis $+70^{\circ}\text{C}$ herrschen, teilweise verbunden mit heftigen Temperaturschwankungen im Tagesverlauf. Insbesondere in Grundwassermessstellen und Quellschächten können die Geräte einer Luftfeuchte bis nahe dem Sättigungswert, kondensierenden Bedingungen und der Gefahr von Vereisung ausgesetzt sein. Durch einen Probebetrieb, der sich über alle vier Jahreszeiten erstrecken sollte, kann die Eignung von Messsystemen getestet werden.
- Eine Voraussetzung für den störungsfreien Betrieb elektrischer und elektronischer Mess- und Datenerfassungsgeräten ist eine stabile Stromversorgung und ein ausreichender Schutz gegen Überspannungen, z. B. durch Blitzeinschläge (siehe Abschnitt 4.8). Auch die Ausstattung mit einer Autoresetfunktion im Falle von Systemabstürzen trägt zur Erhöhung der Betriebssicherheit bei.
- Die Messverfahren und -geräte müssen unempfindlich gegenüber Einflussgrößen sein, die nicht Gegenstand der Messung sind. Deshalb müssen die Messgeräte vor störenden Einflüssen des Gewässers (Eis, Treibgut, Geschiebe, Bewuchs, Versandung oder Verschlammung) geschützt sein. Auf die Möglichkeit derartiger Störeinflüsse ist auch bei der Wahl des Messortes zu achten. Erforderlichenfalls sind bauliche Schutzmaßnahmen zu treffen.
- Standardisierte Schnittstellen zwischen einzelnen Messkomponenten und zur Datenerfassung ermöglichen eine größere Flexibilität bei der Gerätewahl und erleichtern den Austausch einzelner Komponenten gegen besser geeignete.
- Eine Standardisierung der Messstellen innerhalb eines Messnetzes kann dazu beitragen, die Pflege und Unterhaltung der Mess- und Registriereinrichtungen rationeller zu gestalten.
- Eine Ergänzung der Geräte durch Komponenten zur Autokalibrierung kann den Betreuungsaufwand an der Messstelle vermindern. Eine Autokalibrierung ist insbesondere bei Messgeräten wirtschaftlich, die in kürzeren Zeitabständen kalibriert werden müssen. Sie kann im festen Turnus automatisch erfolgen oder durch ein Signal der Messnetzzentrale ausgelöst werden.

4.5 Messung von Wasserstand und Durchfluss

Für eine Automatisierung geeignet sind grundsätzlich alle Messverfahren und –geräte, die in der Lage sind, ein elektrisches oder elektronisches Messsignal zu liefern und die in Abschnitt 4.4 genannten Anforderungen zu erfüllen. Bezüglich der Anforderungen an die Energieversorgung und den Überspannungsschutz wird auf Abschnitt 4.8 verwiesen.

Zur automatisierten Messung des Wasserstands finden in der Hydrometrie insbesondere folgende Messverfahren Anwendung [LAWA (1988)]:

Schwimmer

Der Schwimmerdurchmesser ist maßgebend für die Messgenauigkeit. Kleine Schwimmer, wie sie teilweise in Grundwassermessstellen verwendet werden, besitzen oft zu geringe Stellkräfte. Bei Messung in Pegelschächten kann eine mangelhafte Verbindung zum Gewässer die Messung verfälschen. Messfehler können auch durch Festfrieren des Schwimmers, durch gegenseitiges Behindern von Schwimmer und Gegengewicht und durch Rutschen des Schwimmerseils entstehen.

Druckmesssonde

Bei Druckmesssonden, die den Wasserstand anhand einer Differenzdruckmessung zum Luftdruck ermitteln, können die mangelhafte Durchlässigkeit der Druckausgleichsleitung, z. B. durch Kondenswasser, [DVWK (1998)], Ablagerungen an der Sonde und deren Überdeckung durch Sedimente die Messung verfälschen. Bei stärkerer Anströmung der Sonde kann der Strömungsdruck als Störgröße wirken [LFU (2002-1)]. Die Messunsicherheit ist relativ zum Messbereich, weshalb die Sonde entsprechend den zu erwartenden Wasserstandsschwankungen zu wählen ist.

Pneumatische Druckmessung (Einperlverfahren)

Ähnlich wie bei der Druckmesssonde kann eine mangelhafte Druckübertragung infolge von Verstopfung der Druckleitung oder Sedimentüberlagerung der Druckaustrittsöffnung, sowie Strömungsdruck zu Messfehlern führen.

Radar-Abstandsmessung

Das über dem Gewässer, z. B. an einer Brücke, angebrachte Gerät ermittelt den Wasserstand aus der Laufzeit des vom Wasserspiegel reflektierten Radarsignals. Stehende Wellen, Eis und Treibgut können zu Messfehlern führen. Wegen der Streuung des Messsignals kann das Verfahren in Beobachtungsrohren nicht angewendet werden.

Ultraschall-Abstandsmessung

Das Messprinzip entspricht der Radar-Abstandsmessung, wobei jedoch die Geschwindigkeit eines Schallsignals temperaturabhängig ist. Eine Korrektur des Temperatureinflusses durch eine Referenzstrecke ist nur zielführend, wenn die Temperatur auf dem gesamten Signalweg gleich der auf der Referenzstrecke ist.

Zur direkten Durchflussermittlung wird bei offenen Gerinnen neben dem Wasserstand auch die Fließgeschwindigkeit gemessen. Anwendung finden hierbei Ultraschall-Messverfahren und Geschwindigkeitsradarmessungen. Bei dem an oberirdischen Gewässern üblichen Verfahren wird die Fließgeschwindigkeit aus der unterschiedlichen Schallgeschwindigkeit in und entgegen der Strömungsrichtung ermittelt. Luftblasen und Schwebstoffe können den Weg des Schallsignals stören und eine Messung verhindern [LFU (2002-9)]. Ein anderes Verfahren nutzt zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit die Frequenzverschiebung des Schalls durch die im Wasser mitgeführten Schwebstoffe. In voll gefüllten Rohren hat sich die magnetisch-induktive Durchflussermittlung bewährt, bei sehr kleinen Durchflüssen auch Wasserzähler (z. B. in Quelfassungen).

Die Messgeräte zur Durchflussmessung sind in der Pegelvorschrift, LAWA (1998) beschrieben.

4.6 Messung der Wasserbeschaffenheit

Bei der Automatisierung der Messung der Wasserbeschaffenheit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, Beschaffenheitsparameter direkt zu messen oder automatische Probensammler gekoppelt mit Analyseautomaten einzusetzen. Je nach Untersuchungsziel, wasserwirtschaftlicher Bedeutung und Dynamik (zeitliche Variabilität der Daten) ist zu entscheiden, welcher Automatisierungsgrad erforderlich ist. Je nach Automatisierungsgrad und der damit verbundenen Auswahl der Geräte wird maßgeblich die Größenordnung des Personal- und Kostenbedarfs festgelegt.

Vor diesem Hintergrund werden in der Praxis zur Automatisierung vor allem direktmessende Sonden eingesetzt. Die Kenngrößen spiegeln die dynamischen saisonalen Veränderungen sowie die Tagesschwankungen eines Gewässers wider und sind für die Interpretation von Messergebnissen aus Programmen zur Überwachung der Gewässergüte und zur Beurteilung des Gewässerzustandes essentiell. In der Regel ist es nicht möglich, allein durch die Verwendung dieser Gerätekombination eindeutig auf eine schädliche Gewässerverunreinigung zu schließen. Neben der Detektion von wassergefährdenden Veränderungen werden meist auch natürliche Gewässerveränderungen registriert (z. B. durch starke Regenfälle). Die Messsysteme werden häufig in einem Gerät integriert angeboten, die in der Regel wartungsarm, leicht zu bedienen und Platz sparend einzubauen sind.

Analysengeräte werden wegen großem Kosten- und Wartungsaufwand selten im Rahmen einer automatisierten Gewässerüberwachung eingesetzt. Die häufig genutzte Alternative ist der Einsatz von automatisierten Probennehmern oder auch die manuelle Probennahme an hierfür eingerichteten Messstellen und die anschließende Analyse der entnommenen Proben in einem Analytiklabor.

Durch den kombinierten Einsatz von Messsonden zur kontinuierlichen Messung der Leitparameter und einer zeitnahen Probennahme, ist es möglich, den optimalen Zeitpunkt für eine „ereignisgesteuerte“ Probennahme zu treffen, um eine gezielte chemische Analyse zu ermöglichen. Die Sicherstellung von Wasserproben für die anschließende Bewertung im Labor ist ein wesentlicher Bestandteil bei der Bewertung des Zustandes der betrachteten Gewässer. Messstationen, die mit automatischen Probensammlern ausgerüstet sind, bieten verschiedene Möglichkeiten einer automatisierten Probennahme. Sie kann als zeitgesteuerte und alarmgesteuerte Einzel- oder Mischprobennahme erfolgen. Die Steuerung kann automatisch über die Stationssteuerung erfolgen. Probennahmesysteme können nicht unmittelbar zur Alarmgebung eingesetzt werden.

Im Folgenden werden verschiedene Systeme zur automatisierten Messung der Wasserbeschaffenheit vorgestellt. Diese Systeme können einzeln bzw. kombiniert eingesetzt werden.

Direktmessung von Parametern mit Messsonden

Die Parameter Temperatur, pH, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoff und Trübung können in Messstationen mit moderatem Aufwand automatisch gemessen werden (DVWK 1994). Diese elektrometrisch zu messenden Parameter werden oft als Leitparameter oder Basiskenngrößen bezeichnet. In Multiparametersonden sind neben den genannten Leitparametern häufig optische Messverfahren integriert, was zusätzlich eine einfache automatisierte Erfassung von biologischen und chemischen Parametern ermöglicht. Folgende Parameter können durch die Integration von optischen Sensoren in Multiparametersonden erfasst werden: Chlorid, Ammonium, Nitrat durch den Einsatz ionenselektiver Elektroden, SAK und C-Verbindungen TOC, DOC, COD, BOD durch UV/VIS-Absorption, Cyanobakterien und Chlorophyll durch die Fluoreszenzmessung. Weitere sensorische Messverfahren zur automatisierten Direktmessung der Wasserbeschaffenheit sind als Einzelgeräte marktverfügbar bzw. derzeit in der Forschung und Entwicklung.

Die Vor-Ort-Analytik, die in der Altlastenbearbeitung zur Grundwasserüberwachung eingesetzt wird, bietet weitere Geräte zur Direktmessung von Beschaffenheitsparametern. Meist basieren diese auf physikalisch-chemischen oder faseroptischen Sensoren. Marktverfügba-

re und einsetzbare Geräte sind u. a. beschrieben bei LfUG, 1999, Barczewski et al. 2003, 2005.

Der Einsatz von Messsonden im Grundwasser stellt zusätzliche Anforderungen an die Geräte (enge Beobachtungsrohre, geringe Anströmung, höhere Wasserdrücke bei Einbau in größerer Tiefe). Es ist darauf zu achten, dass die Sonden gut angeströmt werden.

Einsatz von Analyseautomaten, mobilen Laborgeräten und Biotestgeräten

Für die Messung von Beschaffenheitsparametern, die nicht mit Messsonden direkt zu erfassen sind, können Analyseautomaten, mobile Laborgeräte und Biotestgeräte eingesetzt werden. Diese sind deutlich aufwändiger sowohl bei der Geräteausstattung als auch beim Betrieb (z. B. Klimatisierung, Gas- und Energieversorgung) und müssen zusätzlich meist mit automatisierten Probennehmern gekoppelt werden. Sie erlauben jedoch die Überwachung von wassergefährdenden Stoffen im Wasser mit annähernd laboranalytischer Qualität. Eingesetzt werden Geräte zur Bestimmung von Summenparametern, wie z. B. UV- oder IR-Absorptionsmessung, Fluoreszenzmessung, CKW-Monitor. Es gibt auch Geräte, die eine Einzelstoffanalytik erlauben, wie z. B. GC-M oder HPLC-MS. Weitere Gerätetechniken, die bei der Überwachung von oberirdischen Gewässern eingesetzt werden, sind in Tabelle 8-1 enthalten, Geräte zur Grundwasserüberwachung sind nachzulesen in LFUG 1999, BARCZEWSKI ET AL. 2003, 2005.

Der finanzielle Aufwand für Anschaffung und Unterhaltung der Geräte ist hoch. Die Komplexität der eingesetzten Geräte erfordert zudem gut geschultes Personal für Bedienung und Wartung. Der Zeitaufwand für die notwendige Qualifizierung ist meist erheblich. Der Einsatz von Analyseautomaten sollte sich auf Fälle beschränken, in denen der Verlauf eines nur mit derartigen Geräten messbaren Parameters quasi kontinuierlich erfasst werden muss.

Einsatz von Probennehmern

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Probennehmer die für unterschiedliche Überwachungsziele eingesetzt werden können (Weiss et al. 2005). Die Auswahl des einzusetzenden Probennehmers richtet sich nach den zu überwachenden Parametern. Leichtflüchtige Wasserinhaltsstoffe müssen z. B. unter konstantem Druck entnommen werden, während bei der Probennahme von schwerflüchtigen Wasserinhaltsstoffen keine besondere Vorgehensweise erforderlich ist. Außerdem richtet sich die Geräteauswahl nach der Art der gewünschten Probe in Abhängigkeit von der Fragestellung und der zu überwachenden Parameter (insbesondere der Lagerungsfähigkeit). Dabei können Einzelproben zu einem bestimmten Zeitpunkt oder Misch- bzw. Sammelproben über eine bestimmte Zeitspanne genommen werden.

Passivsammler sind Probennahmesysteme, bei denen sich entweder ein Probennahmegefäß aufgrund des Druckgefälles allmählich füllt (Entnahme einer Wasserprobe) oder in dem Wasserinhaltsstoffe aufgrund eines Konzentrationsgradienten angereichert werden. Bei Passivsammlern lässt sich nur die Einsatzzeit automatisieren. Passivsammler sind robuste technische Lösungen mit geringem technischen Aufwand und ohne Energieversorgung sowie einem geringen Kostenbedarf.

Die Entnahme von Sammelproben oder der Einsatz von Passivsammlern, der die zu untersuchenden Wasserinhaltsstoffe anreichert, spiegelt eine integrale Erfassung von Stoffmengen innerhalb eines Zeitraums wieder. Um diese in mittlere Konzentrationswerte zu transformieren, müssen die Volumenströme des Wassers bekannt sein, die durch den Reaktionsraum des Passivsammlers in der betreffenden Zeit geströmt sind. Diese zu quantifizieren ist oft schwierig.

Bei der Auswahl des Probennehmers sollte besonderes Augenmerk auf die Anbindungsmöglichkeit an den Stationsrechner gelegt werden. Der Probennehmer sollte ausführlich seine Aktionen, Funktionen und Fehlfunktionen protokollieren und dem Stationsrechner übermitteln. Automatische Probensammler haben gegenüber Analyseautomaten den Vorzug geringerer Anschaffungs- und Wartungskosten. Passivsammler haben darüber hinaus den Vorteil, keine externe Energieversorgung zu benötigen. Insbesondere, wenn Probennahmeort und

Probennahmestelle identisch sind, verursachen Passivsammler keine Verfälschung der Analysenwerte durch Druckänderungen bei der Probennahme. Auf die Möglichkeit, Proben-sammler mit Messgeräten zu koppeln, wurde im vorangegangenen Abschnitt (Einsatz von Analyseautomaten) hingewiesen.

Bei der Auswahl der Geräte sollte auf deren Eignung, wie in Abschnitt 4.4 beschrieben ist, geachtet werden. Weiterhin gilt, je aufwändiger die Technik, desto stör anfälliger ist sie.

Besonders problematisch sind Störungen der Messsysteme durch Verschmutzungen. Durch die relativ langen Standzeiten ist das Messsystem ständig dem zu untersuchenden Wasser ausgesetzt, wodurch sich ein Aufwuchs bzw. Ablagerungen bilden können. Diese sind meist hartnäckig und lassen sich nur aufwändig entfernen.

Bei der Automatisierung werden relativ hohe Ansprüche an die Standzeit der Messtechnik gestellt, d. h., an die störungsfreie Laufzeit eines Gerätes, ohne dass eine Wartung erfolgen muss. Der dauerhafte Einsatz mobiler Geräte in Messstationen ist nicht zu empfehlen, da die Standzeit der Sonden im stationären Dauerbetrieb zu gering ist.

4.7 Datenerfassung

Zur automatischen Registrierung von Messwerten haben sich digitale Datenerfassungsgeräte, sog. Datensammler, bewährt. Auf die früher zur Datenregistrierung verwendeten analogen Schreibgeräte wird daher nicht eingegangen.

Datensammler können, je nach Ausstattung, über die Messdatenerfassung hinaus weitere Funktionen erfüllen wie beispielsweise:

- Datenfernübertragung zur zeitnahen Datenbereitstellung und Messstellenüberwachung
- Erfassen von Eingaben des Betreuungspersonals
- Verarbeiten von Messwerten, z. B. Verdichten zu Mittelwerten und Grenzwertüberwachung
- Abgeben von Alarmmeldungen über Datenfernübertragung, SMS, Fax oder Telefonansage

Welche Funktionen ein Datensammler erfüllen muss, hängt vom Umfang der Messeinrichtungen, den Informationsverpflichtungen, wie Messwertansage und Alarmmeldungen, und der Betriebsweise der Messstelle ab. Einerseits sollten im Hinblick auf die Gerätebetreuung möglichst einheitliche Gerätetypen innerhalb eines Messnetzes verwendet werden. Andererseits sollten die Datensammler möglichst frei von unnötigen Funktionen sein. Wird die Messstelle in kürzeren Zeitabständen zur Wartung oder Kalibrierung aufgesucht, sollte der Datensammler über Anzeige und Tastatur zur Eingabe von Informationen verfügen. Wird die Messstelle nur seltener aufgesucht, ist es i. Allg. zweckmäßig, Datensammler ohne derartige Eingabe- und Anzeigemodule zu verwenden und mit dem Datensammler über ein mobiles Bediengerät oder einen Laptop zu kommunizieren.

4.8 Energieversorgung und Überspannungsschutz

Voraussetzung für den Betrieb automatisierter Messstellen ist eine zuverlässige Stromversorgung. Wegen des vielfach geringen Strombedarfs der Mess-, Datenerfassungs- und Datenübertragungsgeräte kann die Energieversorgung oft auch durch akkugepufferte Solaranlagen, Kleinstwasserkraftanlagen, Windräder oder Batterie bzw. Akku erfolgen. Durch Redundanzkombinationen, z. B. Stromnetzanschluss mit Akkupufferung, kann die Versorgungssicherheit erhöht werden. Der Energiebedarf, die Investitionskosten, die erforderliche Betriebssicherheit und der Betreuungsaufwand, z. B. für Batteriewechsel, sind Entschei-

dungskriterien bei der Wahl der Energieversorgung (LFU 2002-1). Bei Batteriebetrieb ist die Überwachung der Batterieladung wesentlich für die Betriebssicherheit. Eine Erfassung der Betriebsdauer ist nicht immer ausreichend.

Atmosphärische Störungen (z. B. Blitz), technische Anlagen (z. B. elektrifizierte Bahnlinien), statische Aufladungen sowie Kurzschlüsse und Schaltvorgänge im Stromnetz können zu Überspannungen in Strom-, Telefon- und Signalleitungen (z. B. bei Druckmesssonden) führen und so einen Ausfall oder die Zerstörung elektrischer und elektronischer Geräte verursachen. Daher ist zu prüfen, ob die Geräte mit Schutzeinrichtungen versehen sind. Zusätzlich kann es je nach Gefährdungspotential und angestrebter Betriebssicherheit notwendig sein, weitere Schutzmaßnahmen vorzusehen, die auch den Personen- und Gebäudeblitzschutz beinhalten sollten. Da ein fachgerechtes Blitzschutzkonzept die Baukonstruktion, die Geräteanordnung und den Verlauf der Kabeltrassen berücksichtigen muss, sollte der Blitzschutz zusammen mit dem Messstellenbau geplant werden. Ausführliche Beschreibungen zum Blitzschutz an Pegeln können den Arbeitsanleitungen zum Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg (LFU 2002-1) entnommen werden, Hinweise zum Blitzschutz an Grundwassermessstellen sind in den DVWK-Schriften, Heft 107 (DVWK1994) zu finden.

5 Datenübertragung

Die mit Sensoren oder Messwertgebern an den Messstellen ermittelten Daten müssen für die weitere Nutzung zunächst dort erfasst werden. Anschließend können sie per Datenübertragung einer Zentrale zur Datenaufbereitung oder Nutzern für operative Aufgaben bereitgestellt werden. Aktuell benötigte Daten müssen per Datenfernübertragung übermittelt werden. Um einen optimalen Automatisierungsgrad unter Berücksichtigung einer Kosten-Nutzen-Betrachtung zu realisieren, müssen vom Betreiber die an die Aktualität der Daten gestellten Anforderungen ermittelt werden. Diese resultieren z. B. aus der Verpflichtung zu Informations- und Meldediensten oder aus der Betriebsweise. Daraus ergeben sich unterschiedliche Ausstattungsvarianten der Messstelle.

Eine Datenfernübertragung kann insbesondere dann wirtschaftlich sein, wenn der Aufwand für die regelmäßige, örtliche Messstellenüberwachung aufgrund der langen Wege zur Messstelle hoch ist und durch die Fernüberwachung die Häufigkeit örtlicher Kontrollen reduziert werden kann. Auch fehlendes oder nicht ausreichend qualifiziertes Personal zur örtlichen Messstellenüberwachung kann eine Fernübertragung notwendig machen. Der Personaleinsparung bei der örtlichen Messstellenbetreuung stehen jedoch nicht nur die Kosten für Einrichtung und Betrieb der Datenfernübertragung gegenüber, sondern auch ein höherer Personalbedarf in der Zentrale.

5.1 Anforderungen an die Datenübertragung

Die Datenübertragung wird entweder von der Messnetzzentrale oder von der Messstation ausgelöst. Beim Datenabruf durch die Messnetzzentrale werden die Daten zu bestimmten vorgegebenen Zeiten von den Messstationen abgerufen, d. h., bei jeder Datenübertragung wird die Verbindung von der Messnetzzentrale aus aufgebaut. Diese Lösung ist erforderlich, wenn die Funktionalität einer Fernwirkung, z. B. Start eines Kalibrierzyklus, von der Zentrale aus benötigt wird. Die Datenübertragung kann von der Messstelle ausgehend ebenfalls zu bestimmten Zeiten ausgelöst werden. Sie eignet sich aber insbesondere für eine ereignisgesteuerte Übertragung der Daten.

Für die ausschließliche Datenübertragung kann auch eine Minimallösung zum Tragen kommen. Derartige Systeme bieten sich an, wenn keine ergänzenden Informationen wie Handmesswerte, Systemmesswerte und Notizen übertragen werden sollen und wenn an die Datenbearbeitung vor Ort nur geringe Anforderungen gestellt werden. Für alle Arten der Datenfernübertragung ist jedoch sicherzustellen, dass bei einer fehlerhaften Übertragung die ursprünglichen Daten für weitere Übertragungsversuche bzw. für andere Übertragungswege zur Verfügung stehen.

Ein ideales System erfüllt folgende Anforderungen:

- Die Geräte zur Fernübertragung müssen eine hohe Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit über mindestens ein Jahr aufweisen.
- Als redundantes Fernübertragungssystem sollte ein System vorgesehen werden, das eine andere Übertragungsinfrastruktur und einen anderen Datenfernübertragungsweg als das Hauptsystem nutzt.
- Eine zeitnahe Datenübertragung muss auch bei extremen Umweltbedingungen gewährleistet sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einer Datenfernübertragung mittels Funk die Antennen das Risiko eines Blitzeinschlages erhöhen können.
- Die Übertragungseinrichtungen müssen unabhängig von der Verfügbarkeit des Strom- und Telefonleitungsnetzes funktionieren, auch wenn großflächig um die

Messstelle die Stromversorgung ausfällt. Bei Einsatz eines GSM- oder GPRS-Netzes als Datenübertragungsweg ist auch hier der Stromausfall der Antennenanlagen des Anbieters relevant.

- Falls Messgeräte eine Eigenüberwachung haben und damit verbundene ergänzende Informationen wie z. B. Statusmeldungen ausgeben können, sollten diese auch erfasst, übertragen und ausgewertet werden können.
- Die einzelnen Komponenten wie z. B. Modems müssen sich selbständig aus unsicheren Betriebszuständen zurücksetzen.
- Über Fernwirktechnik müssen Parametrierungen und Konfigurationen möglich sein, ohne dass durch Fehlbedienungen oder zeitweise Unterbrechung der Datenverbindung ein Einsatz vor Ort notwendig wird.
- Das System muss gegebenenfalls Meldegrenzen aktiv melden können und Ansagedienste unterstützen.

5.2 Datenübertragungsverfahren

Im Folgenden werden verschiedene technische Lösungen vorgestellt. Die Datenübertragung per Datenauslesegerät oder Laptop oder gar das Transportieren von Registrierstreifen wird nicht angesprochen. Details zu den nachfolgend aufgeführten nicht leitungsgebundenen Verfahren sind in der Fachliteratur vorhanden (s. z. B. CHRIST, GMEINER UND SCHEFFE, 2003). Die folgenden Recherchen sind der genannten Quelle zum Teil entnommen.

Telefonfestnetz

Das Telefonfestnetz ist insbesondere in besiedelten Gebieten und an Verkehrswegen verbreitet. Es wurde bislang größtenteils für die Datenübertragung genutzt. Mit einem ISDN-Anschluss sind auch quasi-online Verbindungen möglich. In diesem Zusammenhang sei insbesondere auf die kostengünstige Option des D-Kanals hingewiesen.

Die Verfügbarkeit von Telefonfestnetzen ist in der Regel sehr hoch. In Extremsituationen kann das Netz jedoch überlastet bzw. können die oberirdischen Telefonleitungen beschädigt sein. Zudem sind Telefonleitungen durch Blitzeinwirkung gefährdet.

Mobiltelefonnetz (GSM, GPRS)

Das Mobiltelefonnetz, GSM-Netz (Global System for Mobile Communication), ist nahezu flächendeckend verbreitet. GPRS (General Paket Radio System) basiert auf GSM. Da sich der Ausbau der Mobiltelefonnetze aber an der Nutzung orientiert, könnte das Netz z. B. in wenig besiedelten Gebieten oder engen Tälern nicht verfügbar sein. Ggf. bewirken Richtantennen eine größere Flächendeckung. Bei der Planung der Nutzung von Mobiltelefonnetzen ist außerdem zu beachten, dass der Übergang vom Mobiltelefonnetz ins Festnetz i.d.R. nicht transparent ist.

Die auf GSM basierenden Systeme sind preiswert. Für die Datenübertragung können Datentarife gewählt werden. Modems mit GSM-Technik sind marktgängig. Die für das Netz erforderlichen Umsetzer sind z. T. mit einer Notstromversorgung ausgestattet. Nachteilig ist, dass zeitweise das Netz überlastet sein kann. Es ist zu prüfen, inwiefern Bevorrechtigungen vom Betreiber eingeräumt werden können. Bislang liegen diesbezüglich keine gesicherten Aussagen der Betreiber vor.

Satellitenfunk

In gewässerkundlichen Messnetzen kommen nur geostationäre Satelliten zum Einsatz, z. B. Wettersatelliten wie Meteosat. Für den Sender sind spezielle Geräte erforderlich, die verhältnismäßig teuer sind. Zudem ist eine Sendeleistung von 10 W erforderlich. Zum Satelliten ist

eine Sichtverbindung erforderlich, d. h., dass z. B. in bewaldeten Gebieten keine Verbindung zustande kommen kann.

Eigenes Funknetz

Ein eigenes Funknetz kann im Frequenzbereich von 30 MHz (oberhalb des Frequenzbereiches von Funkfernsteuerungen) bis 500 MHz (unterhalb des Frequenzbereiches von Fernsehsendern) betrieben werden. Für größere Entfernungen sind Relaisstationen erforderlich, da zwischen Sender und Empfänger eine Sichtverbindung vorhanden sein muss. Die Vorteile liegen in der vollkommenen Unabhängigkeit von Netzanbietern, in den geringen Antennenkosten und der kostenlosen Übertragung. Nachteilig ist die für den Betrieb erforderliche Lizenz, die beantragt werden muss. Darüber hinaus gibt es keine marktgängigen Schnittstellen zu hydrologischen Geräten. Der Leistungsbedarf liegt bei 10 W.

Betriebsfunk, Bündelfunk

Der Betriebsfunk ist möglich bei Entfernungen bis ca. 30 km. Eine eigene Frequenz kann auch auf Antrag nicht zugeteilt werden, d. h., ggf. muss die Frequenz mit anderen Nutzern geteilt werden, was zu Störungen führen kann. Dennoch kann diese Variante für kleinräumige Anwendungen zum Tragen kommen. Für den Betrieb fallen nur geringe laufende Kosten an, der Energiebedarf und die Antennenkosten sind gering. Der Nachteil liegt neben dem oben Genannten in der geringen Datenrate. Zudem stehen keine marktgängigen Schnittstellen zu hydrologischen Geräten zur Verfügung.

Der Bündelfunk ist vergleichbar mit dem Betriebsfunk. Typisch dafür ist, dass die Nutzung mehrerer Funkkanäle, ein Bündel von Funkkanälen, durch die Nutzer möglich ist. Wird ein Kanal benötigt, steht er während der Verbindungszeit exklusiv zur Verfügung. Damit ist das beim Betriebsfunk vorhandene Störpotenzial nicht vorhanden.

Sonderlösung LPD-Anwendung

Eine Reihe von Funkdiensten arbeitet in freien Frequenzbereichen. Die Geräte sind zulassungs- und gebührenfrei und zeichnen sich vor allem durch eine sehr geringe Sendeleistung aus (LPD-Anwendung: Low Power Device-Anwendung), was sie für gewässerkundliche Messnetze interessant macht. Der Vorteil liegt weiterhin in der Unabhängigkeit von Funknetzbetreibern und der Möglichkeit, kontinuierlich Daten zu übertragen. Nachteilig ist, dass u. U. mehrere erforderliche Basisstationen hohe Investitionskosten verursachen und standardisierte Schnittstellen fehlen.

5.3 Kriterien für die Auswahl eines Datenübertragungsverfahrens

Die technischen Entwicklungen im Bereich der Datenübertragungsverfahren unterliegen einer hohen Dynamik. Bei der Auswahl eines Datenübertragungsverfahrens spielen die örtlichen Gegebenheiten eine Rolle. Aus diesen Gründen ist keine allgemeingültige, vergleichende Bewertung der verschiedenen Verfahren möglich. Im Folgenden werden die Kriterien dargestellt, die bei der Auswahl eines Datenübertragungsverfahrens geprüft werden sollten.

Netzüberlastung, Datenverfügbarkeit

Bei Katastrophenfällen kann es durch Überlastung bzw. Ausfall des Datenübertragungssystems zu Einschränkungen bei der Datenverfügbarkeit kommen. In diesem Zusammenhang ist zu prüfen, inwiefern durch den Anbieter des Dienstes eine Priorität für die Datenübertragung eingeräumt werden kann und wie beim Auftreten von Unterbrechungen und Fehlern diese kurzfristig behoben werden können.

Redundanz

Falls für die permanente Gewährleistung der Datenverfügbarkeit ein redundantes System eingesetzt werden soll, sind die im Abschnitt 3.6.2 benannten Aspekte zu berücksichtigen. Bei der Planung redundanter Systeme ist darauf zu achten, dass bei der Auswahl verschiedener Verfahren bzw. Anbieter die Übertragungswege tatsächlich unabhängig sind. Z. B. nutzen ISDN und D-Kanal die gleichen Telefonleitungen und verschiedene Mobilfunkanbieter häufig gemeinsam Infrastrukturkomponenten wie Funkmasten und Stromversorgungen.

Leistungsfähigkeit

Bei der Auswahl eines Datenfernübertragungssystems sind die zu erwartenden Datenmengen zu berücksichtigen. Bildübertragungen, wie sie z. B. bei der Überwachung oberirdischer Gewässer eingesetzt werden (siehe z. B. Abschnitt 8.2.2), erfordern die Übertragung von wesentlich größeren Datenmengen als die Übertragung von Alarmmeldungen. Es kann deshalb zweckmäßig sein, zwei unterschiedlich leistungsfähige Datenfernübertragungssysteme parallel zu betreiben. So eignet sich beispielsweise für die Übermittlung von Alarmierungen und von Einzelwerten während Katastrophenfällen ein einfaches, robustes Zweitsystem als Ergänzung zu einem Bildübertragungssystem.

Witterungsunabhängigkeit

Die Qualität der Datenübertragung kann von Witterungs- und Umwelteinflüssen wie Regen, Schneefall, Eisbildung usw. abhängig sein. Dies gilt insbesondere für funkbasierte Verfahren. Des Weiteren besteht eine mögliche erhöhte Gefährdung der Übertragungseinrichtungen durch Blitzeinschlag.

Platz für Sendeeinrichtungen

Im Falle der Verwendung von Antennen sollte der Ort der Anlagen den Belangen des Schutzes vor Vandalismus und Blitzeinschlag und des Landschaftsschutzes genügen.

Sichtverbindung

Bei funkbasierten Verfahren ist zum Teil eine quasioptische Verbindung entlang des Übertragungsweges erforderlich. Bewuchs und topologische Bedingungen dürfen auf eine Sichtverbindung dann keinen Einfluss haben.

Sendeleistung, Stromversorgung

Die benötigte Sendeleistung und der gesamte Energiebedarf an den Messstellen sollten möglichst gering sein, damit die Messeinrichtungen auch über ein Solarpaneel oder einen Akku mit vertretbaren Wartungsintervallen betrieben werden können. Bei der Dimensionierung der Stromversorgung ist zu berücksichtigen, dass der Stromverbrauch der Datenübertragungseinrichtung von der Übertragungshäufigkeit, den Gerätefunktionen (z. B. Schlafmodus und Selbstkalibrierung) und bei Funkverbindungen auch von den Witterungsbedingungen abhängig sein kann.

Einheitlichkeit

Das Übertragungsverfahren sollte möglichst im ganzen territorialen Bereich des Messnetzes verfügbar sein, um ein einheitliches System verwenden zu können.

Marktgängigkeit, Standardschnittstellen

Das Datenübertragungssystem sollte marktgängig sein und über standardisierte Schnittstellen verfügen.

Dauerhaftigkeit

Das Datenfernübertragungssystem sollte die Gewähr dafür bieten, dass das System möglichst lange betrieben wird, d. h., es sollte sicher gestellt sein, dass der Dienst längere Zeit

verfügbar ist. Zumindest muss ein abwärtskompatibles Nachfolgesystem bereitgestellt werden.

Für einen gesicherten Betrieb über eine lange Zeit muss das Risiko, dass ein Anbieter oder Lieferant insolvent wird, minimiert werden. Dies ist vor allem wichtig, wenn hohe Investitionskosten erforderlich sind, die bei einer Insolvenz abgeschrieben werden müssen.

Abrufbarkeit von einer Zentrale aus

Sollen an der Messstelle über Fernwirktechnik Aktionen gestartet werden, wie z. B. den Start einer Probennahme, muss dieser Informationsweg vom Datenübertragungsverfahren unterstützt werden.

Zeitbedarf der Realisierung

Für die unterschiedlichen Datenübertragungsverfahren sind Einrichtungsarbeiten und/oder Genehmigungen erforderlich.

Kosten

Die Kosten müssen kalkulierbar sein und die Tarife längerfristig festgeschrieben werden können.

6 Datenaufbereitung und –archivierung

Unter Datenaufbereitung wird hier die routinemäßige Überprüfung und Korrektur der erfassten Daten und deren Bearbeitung oder Verdichtung in Form von deterministischen oder statistischen Werten verstanden. Auch die Darstellung der Daten in Form von einfachen Grafiken oder standardisierten Listen wird zur Datenaufbereitung gezählt.

6.1 Aufgaben und Ziele der Datenaufbereitung

Meist wird die Datenaufbereitung räumlich und zeitlich getrennt von der Datengewinnung und nach der Datenübertragung zu einer Zentrale bzw. zu einem zentralen Auswerteprogramm durchgeführt. Sie kann jedoch auch als Teilaufbereitung bereits bei der Datengewinnung beginnen, wenn z. B. Alarmfunktionen oder Mittelwertbildungen in die Systeme vor Ort integriert sind.

Im Einzelnen können folgende Aufgaben bei der Datenaufbereitung unterschieden werden:

- Teilaufbereitung bei der Datengewinnung
- Prüfung auf Vollständigkeit und Plausibilität der Messwerte
- Erkennen von Fehlfunktionen der Messsysteme
- Datenkorrektur und Schließung von Messlücken
- Erstellen von einfachen Grafiken und Datenlisten und die Anwendung von Verfahren zur Datenverdichtung
- Datendokumentation

Die Entscheidung, in wie weit die Datenaufbereitung automatisiert werden kann und muss sowie in welchem Umfang eine manuelle Bearbeitung notwendig ist, hängt vor allem vom Messnetz, den Messparametern und der jeweiligen Aufgabenstellung ab. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die Automatisierung der Datenaufbereitung mit der Größe des Messnetzes bzw. der Anzahl der Messdaten einerseits und der verlangten Aktualität der Daten andererseits zunimmt.

Auch bei einer weitgehend automatisierten Datenaufbereitung bzw. Fehlererkennung muss letztlich die Bewertung der Messdaten und die Durchführung einer eventuellen Datenkorrektur durch fachkundiges Personal vorgenommen werden. Es ist daher immer im Einzelfall zu entscheiden, welche Schritte der Datenaufbereitung automatisiert werden sollten. Dazu ist ein Konzept erforderlich, das Grundlagen, Aufgaben und Ziele sowie mögliche Ausbaustufen berücksichtigt und hinsichtlich der eingesetzten Hard- und Software die problemlose regelmäßige Einbeziehung technischer Weiterentwicklungen mit geringstem Aufwand erlaubt.

Eine weitergehende Datenbearbeitung und die Bewertung der Daten ist nicht Inhalt der Datenaufbereitung, sondern wird als Datenauswertung bezeichnet und hier nicht weiter behandelt. In der praktischen Umsetzung der Automatisierung von Gewässerbeobachtungen ist eine auf elektronischer Datenverarbeitung basierende Datenauswertung jedoch ein wesentlicher Bestandteil der Gesamtkonzeption. Teilautomatisierte Lösungen können hierbei auf der Grundlage verfügbarer Hard- und Software relativ unkompliziert eingeführt werden und die Effizienz der Automatisierung durch eine rationelle Auswertung von Messdaten steigern.

6.2 Alarmierung

Automatische Alarmfunktionen setzen eine Teilaufbereitung der erfassten Daten voraus. Der klassische und weit verbreitete Ansatz, besondere Ereignisse in den Messdaten automatisch zu erfassen und auf dieser Grundlage eine Alarmierung durchzuführen, basiert meist auf der Festlegung statischer Grenzwerte oder der Anwendung deterministischer Verfahren. Im Bereich der Grundwasser- und Pegelstandsmessungen werden festgelegte Alarmschwellen bei der Messwerterfassung kontinuierlich mit den aktuellen Werten verglichen. Beim Erreichen der Grenzwerte wird vom System eine Alarmierung z. B. einer Zentrale oder eines Bereitschaftsdienstes automatisch durchgeführt.

Im Bereich der Gewässerbeschaffenheit wird die Messergebnisbewertung über fest definierte Alarmierungsschwellen oft dadurch stark beschränkt, dass die typischen Monitoringparameter meist auch erheblichen natürlichen Schwankungen unterliegen, die in ihrem Ausmaß die durch „Störfälle“ im Gewässer erzeugten Veränderungen übertreffen können. Diese Schwankungen können jahreszeitlicher, tageszeitlicher oder z. B. spontan witterungsabhängiger Natur sein.

Die Lösung des Problems statischer Grenzwerte liegt in Methoden, Auffälligkeiten aus der „Dynamik“ des Messkurvenverlaufs zu interpretieren. Das sind statistisch-mathematische oder modellbasierende Verfahren, die den aktuellen Messwert unter Auswertung des Messdatenverlaufs in einem unmittelbar vorausgegangenem Zeitintervall daraufhin bewerten, ob er die Kriterien einer „Auffälligkeit“ erfüllt („dynamische Auffälligkeitserkennung“). Nur durch derartige Methoden, welche die Grenzwerte ständig der jeweiligen Situation anpassen, ist es möglich, automatisch Auffälligkeiten inmitten der normalen Schwankungen der Messwerte zu finden. Als dynamische Auffälligkeitsindikatoren haben sich in der Vergangenheit drei Verfahren bewährt. Dies sind Doppelsigmatest, Hinkley-Detektor und Steigungsoperatoren.

Die Erfahrung, dass in den meisten Fällen einer störfallbedingten Gewässerbeeinträchtigung gleichzeitige Veränderungen in mehreren Messgrößen festzustellen sind, hat im Rahmen des EASE-Projektes [Institut für Hygiene und Umwelt, 2004hyhHH] zur Entwicklung eines „Alarmindexes“ geführt. Durch diesen Alarmindex werden die Ergebnisse der Auffälligkeitstests verschiedener Messgrößen, wie z. B. UV-Absorption, elektrische Leitfähigkeit und Trübung in einer Station miteinander gekoppelt und zusammengefasst. Der Alarmindex wird aus allen registrierten Auffälligkeiten mit unterschiedlichen Wichtungen vom Stationsrechner ermittelt. Nach jeder erkannten Auffälligkeit steigt der Wert des Alarmindexes um eine - für jede Messgröße definierte - Anzahl an „Punkten“.

Der Alarmindex kann im Messbetrieb laufend automatisch neu berechnet werden und erlaubt somit die schnelle und sichere Erkennung von Ereignissen bzw. Störfällen.

Weitere Vorteile des Alarmindexes sind

- die zuverlässige Vermeidung von Fehlalarmen durch die Verknüpfung von Daten verschiedener unabhängiger Geräte,
- die geringe Beeinflussung der Alarmgebung durch Gerätestörungen oder Verschmutzungen sowie
- sichere und aussagekräftige Ergebnisse.

6.3 Datenkontrolle

Die Datenkontrolle dient der Bestandsaufnahme der erfassten Daten und sollte zeitnah durchgeführt werden, damit bei systembedingten Messfehlern oder Datenausfällen die Fehlerursachen möglichst schnell behoben werden können. Die Kontrolle der Messdaten umfasst folgende unterschiedliche Aspekte.

Datenaktualität

Die Datenaktualität ist abhängig vom Messgerät und der Art der Datenübertragung. Besondere Bedeutung hat die Überprüfung auf Datenaktualität bei einer Messdatenerfassung mit Datenfernübertragung. Diese Überprüfung kann hierbei durch die verwendeten Kommunikationsprogramme weitgehend automatisiert werden, indem übersichtliche Protokolle des erfolgten Datenabrufs bzw. der Datenübertragung erstellt werden. In Einzelfällen kann es auch notwendig sein, dass bei fehlerhafter Datenübertragung automatisch eine Warnmeldung an eine Zentrale oder einen Bereitschaftsdienst übermittelt wird. Werden Datensammler vor Ort ausgelesen, kann die Aktualität der ausgelesenen Daten je nach System bereits direkt vor Ort kontrolliert werden. Ist dies nicht möglich, muss sie nach der Datenübertragung auf den Rechner z. B. durch den Abgleich mit Handmesswerten oder Ausleseprotokollen vorgenommen werden.

Vollständigkeit

Eine Überprüfung auf Vollständigkeit der Messdaten ist notwendig, da hierdurch mögliche Ausfälle der Datenerfassung oder der Datenübertragung festgestellt werden können. Handelt es sich um periodisch erfasste Messwerte, kann die Überprüfung der Vollständigkeit durch einfache Datenbankabfragen auf die Anzahl der Messwerte weitgehend automatisiert werden. Bei einem variablen Messzyklus, z. B. einer ereignisorientierten Messwerterfassung, ist dies nicht möglich. In diesem Fall kann nur eine visuelle Prüfung der Zeitreihen durchgeführt werden. Hierbei muss der Sachbearbeiter die vom System angewandten Regeln der variablen Messwerterfassung genau kennen. Die erforderliche Prüfung kann softwareunterstützt teilautomatisiert erledigt werden.

Plausibilität

Für die Überprüfung der Plausibilität von Messdaten können automatisierte, statistische oder deterministische Prüfverfahren eingesetzt werden. Die Anwendung dieser Verfahren erbringt nicht automatisch einen Vorteil für die Datenkontrolle. Es ist immer eine Einzelfallprüfung für jede Messstelle durchzuführen. Allerdings ist mittels EDV-gestützter Verfahren sehr effizient eine Vorauswahl der auffälligen Messwerte möglich, für die anschließend eine weitergehende Prüfung durch Fachpersonal notwendig ist. Die auf diese Weise teilautomatisierte Aussonderung unauffälliger Messwerte impliziert eine erhebliche Aufwandsreduzierung. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Prüfroutinen ist die belastbar nachgewiesene Plausibilität des Altdatenbestandes.

Eine mögliche Kontrolle beruht z. B. auf dem Vergleich der eingelesenen Messwerte mit vorgegebenen Grenzwerten, Extremwerten bzw. einem zulässigen Wertebereich. Durch diese einfachen Abfragen können z. B. mögliche Ausreißer einer Messreihe oder eventuell falsch zugeordnete Messdaten automatisch erkannt werden. Eine weitere Möglichkeit ist der Vergleich der Messreihe mit einem vorgegebenen maximalen Gradienten.

Die Erstellung und die Programmierung komplex aufgebauter Prüfroutinen und –berichte zahlt sich besonders aus, wenn die Plausibilitätsprüfungen regelmäßig, über Jahre und vor allem an großen Datenbeständen durchgeführt werden müssen. Starke Messwertschwankungen infolge unvorhersehbarer Einflüsse können sehr unterschiedliche Charakteristiken von Zeitreihen bewirken und dadurch die Anwendung von statistischen und deterministischen Prüfverfahren erschweren. Deshalb ist die ausschließliche Anwendung automatisierter Prüfverfahren selten ausreichend. Eine manuelle Überprüfung durch qualifiziertes Fachpersonal, zumindest der als auffällig ausgesonderten Daten, lässt sich im Regelfall nicht vermeiden. Daher ist anhand der konkreten Aufgabenstellung zu entscheiden, ob und welche Prüfungen automatisiert und welche manuell durchzuführen sind. Hierbei sind Aspekte der Zeit- bzw. Arbeitersparnis und der Datensicherheit gleichermaßen zu beachten.

Ein wesentliches Ziel der Automatisierung muss es sein, dem Bearbeiter alle benötigten Informationen auf möglichst einfache und schnelle Art und Weise EDV-gestützt bereitzustellen, damit er z. B. folgende Aufgaben bearbeiten kann:

- Vergleich einer Zeitreihe mit redundant erfassten Zeitreihen
- Vergleich einer Zeitreihe mit den Zeitreihen von Vergleichsmessstellen
- Prüfung auf Differenzen zwischen manuellen Kontrollwerten und Systemwerten

Regelmäßige Kontrollmessungen vor Ort für alle automatisch erfassten Parameter sind hierbei ein äußerst wichtiges und unverzichtbares Hilfsmittel zur Bewertung der im Routinebetrieb aufgezeichneten Messdaten. Es ist daher besonders wichtig, dass die Erhebung dieser Kontrollwerte durch zuverlässiges und geschultes Personal korrekt durchgeführt und protokolliert wird. Eindeutige Kennzeichnungen an den Messstellen, gut vorbereitete Messunterlagen sowie ggf. GPS und Barcodes unterstützen die Ausführenden bei der Identifizierung der Messstelle.

Fehlern kann vorgebeugt werden, indem Messprotokolle und vorbereitete Eingabedateien zum Einsatz kommen, die an das Messnetz angepasst sind. Die Fachinformationssysteme bieten hierbei die Möglichkeit, Vorlagen für Protokolle und Eingabedateien automatisiert zu erstellen, so dass die Namen oder Identifikationsnummern der Messstellen eindeutig vorgegeben sind. Oft ist es sinnvoll, dass in den Protokollen auch die wesentlichen Stammdaten zur Identifikation der Messstellen und die Erwartungswerte der zu erhebenden Messdaten enthalten sind. Das Kontrollpersonal sollte angewiesen sein, Auffälligkeiten präzise schriftlich festzuhalten, da diese wichtige Hinweise für spätere Prüfungen und Datenkorrekturen darstellen.

6.4 Datenkorrektur

Die Datenkorrektur oder Datenergänzung ist die Grundlage für eine weitere Aggregation, Auswertung und Darstellung von Messdaten, vor allem wenn diese automatisiert vorgenommen werden.

Eine sachgerechte Datenkorrektur setzt die Kenntnis möglicher Fehlerursachen voraus. Um zu verhindern, dass es weiterhin zu falschen Aufzeichnungen kommt, sind Fehler unmittelbar nach der Datenkontrolle zu beseitigen.

Zur Fehlerkorrektur sind alle Informationen heranzuziehen, von denen angenommen werden kann, dass sie nicht fehlerbehaftet sind und den jeweils höchsten Informationsgehalt besitzen. Hierzu muss der Bearbeiter einen einfachen und schnellen Zugang zu allen Informationen besitzen, die ihm ein möglichst vollständiges Bild der Messstelle und der aktuellen Situation im Umfeld der Messstelle ermöglichen. So sind z. B. Kenntnisse über die erhobenen Kontrollwerte, Probennahmen oder hydrodynamische und hydrochemische Beeinflussungen von Messstellen ebenso wichtig, wie die Kenntnis über den Grundwasserleiter, Daten zum Ausbau von Messstellen und das Niederschlagsgeschehen.

Die Fehlerursachen sind verschiedenen Fehlertypen zuzuordnen. So können die Fehler durch das Messsystem oder dessen Einbau verursacht werden. Weitere Fehlerquellen sind falsch eingegebene Systemparameter, die Kalibrierung der Geräte oder die Datenübertragung. Die Fehler können sich daher auf den Messwert, seine zeitliche bzw. räumliche Zuordnung (Zeit- bzw. Messstellenfehler) oder auf die Konsistenz der Messreihe (Lücken, Störungen, Ausreißer) auswirken.

Ist die Ursache des Fehlers bekannt bzw. zumindest mit hinreichender Sicherheit zu vermuten, kann der Fehler entsprechend korrigiert werden. Hierbei ist es grundsätzlich von Vorteil und für verschiedene Fragestellungen bzw. Aufgabenstellungen unverzichtbar, dass die

durchgeführten Korrekturen nachvollzogen werden können und die Originalmessdaten erhalten bleiben.

Verschiedenste Fachprogramme können in vielfältiger Weise bei der Bearbeitung von Messdaten eingesetzt werden. Hierbei sollten die Zeitreihen nicht nur in graphischer Form dargestellt werden können, sondern vom Programmsystem auch entsprechende Werkzeuge zur direkten Datenbearbeitung bereitgestellt werden. Die notwendigen Verfahren zur Datenkorrektur sind hierbei abhängig von den erfassten Parametern und den eingesetzten Messgeräten. Die nachfolgenden Verfahren zur Datenkorrektur eines Messwertes oder einer selektierten Datenreihe stellen daher nur eine Auswahl dar.

- Direkte Korrektur eines Einzelwertes
- Addition oder Subtraktion eines konstanten Wertes oder einer Driftfunktion
- Multiplikation mit einem konstanten Wert
- Spiegelung der Messwerte an einer festen Achse
- Gleitende Korrektur von Messdaten

Sind für weitere Auswertungen oder Darstellungen lückenlose Messreihen erforderlich, müssen die Messdaten für Zeiträume, in denen keine oder völlig unsinnige Messdaten vorliegen, ergänzt bzw. ersetzt werden. Zum Schließen von Datenlücken können Interpolationsverfahren und leistungsfähige statistische Verfahren (z. B. „Wiener Filter“) eingesetzt oder redundante Messdaten bzw. Daten von Vergleichsmessstellen eingepasst werden.

Längere Datenlücken können durch den Vergleich mit einer oder mehreren Vergleichsmessstellen gefüllt werden. Diese Interpolationsverfahren setzen jedoch voraus, dass Messstellen vorhanden sind, deren Daten eine möglichst gute Korrelation aufweisen. Die so erstellten Messdaten müssen als generierte Messdaten gekennzeichnet werden. Bei sehr hohen Anforderungen an die Datensicherheit sollten redundante Messsysteme eingesetzt werden, die eine weitgehende Sicherheit gegen Datenlücken gewährleisten.

6.5 Datendokumentation

Die Dokumentation der Ursachen und der Art und Weise vorgenommener Datenkorrekturen ist grundsätzlich von Vorteil und für verschiedene Fragestellungen bzw. Aufgabenstellungen unverzichtbar. Der Umfang dieser Datendokumentation hängt sehr stark vom Messnetz bzw. der jeweiligen Aufgabenstellung ab.

Die Kennzeichnung der als unplausibel eingeschätzten Werte ist erforderlich, damit diese nicht in weitere Auswertungen einbezogen werden, wenn sie im Datenkollektiv erhalten bleiben sollen. Auch korrigierte, ergänzte, bekanntermaßen ungewöhnliche oder zeitweilige, z. B. durch Baumaßnahmen beeinflusste Werte sollten entsprechend gekennzeichnet und kommentiert werden.

Werden Daten im Rahmen von Beweissicherungsverfahren oder der staatlichen gewässerkundlichen Messnetze erhoben, müssen die Originaldaten im Falle von Korrekturen an entsprechender Stelle archiviert werden. Für die Überprüfung der Bewertungen bzw. der vorgenommenen Datenmanipulationen ist es zweckdienlich, entsprechende Kommentare mit dem Namen und ggf. der Dienststelle des Prüfers sowie dem Datum der Bearbeitung zu verfassen. Die Kommentare können messwert- oder datensatzbezogen oder als getrennt gespeicherte Informationen abgelegt werden. Eine eventuelle Neubewertung oder die Aufhebung der Kennzeichnung eines Messwertes sollte entsprechend nachvollziehbar kommentiert werden.

6.6 Datenarchivierung

Die erste Speicherung der automatisch erfassten Daten findet in vielen Fällen bereits vor Ort in den eingesetzten Datensammlern oder Rechnern statt. Diese Datenspeicher besitzen meist nur eine beschränkte Kapazität, müssen aber bei manueller Auslesung die zwischen den Kontroll- und Auslesezeitpunkten erfassten Daten zuverlässig zwischenspeichern. Auch beim Einsatz einer Datenfernübertragung sollten die Daten aus Sicherheitsgründen ebenfalls vor Ort gespeichert werden.

Zur langfristigen Speicherung, d. h. zur Archivierung der erfassten, kontrollierten und gegebenenfalls korrigierten Daten, sollten ausschließlich relationale oder objektorientierte Datenbanksysteme eingesetzt werden. Nur mit Hilfe dieser modernen Datenbanksysteme kann eine gut geordnete und strukturierte Archivierung und damit ein schneller Zugriff auf alle bei der automatisierten Messdatenerfassung gewonnenen Daten gewährleistet werden.

Moderne Datenbanksysteme erlauben die Verknüpfung der Messdaten mit allen für die Datenerfassung oder spätere Datenauswertung erforderlichen Stammdaten der jeweiligen Messstellen. Das Ziel muss es sein, die Stammdaten und alle an einer Messstelle anfallenden quantitativen und qualitativen Messdaten in einer Gesamtschau gegenüber stellen zu können. Dies schließt auch alle Daten mit ein, die weiterhin in Form von Listen oder Berichten erfasst und von Hand in die Datenbank eingegeben werden sollen.

Die digitalen Daten müssen in festgelegten, möglichst einfachen Formaten vorliegen, damit ein direkter Datenimport in die Datenbank möglich ist. Dies gilt ebenso für Messdaten, die über eine DFÜ übertragen werden. Grundsätzlich muss darauf geachtet werden, dass die Datenbank einen Import und Export aller Daten in die wichtigsten bzw. gängigsten Datenformate unterstützt. Damit ist es auch ohne großen Aufwand möglich, Daten aus unterschiedlichsten Messsystemen oder auch Fremddaten in eine Datenbank zu integrieren bzw. den Datenbestand in eine andere Datenbank zu transformieren. Diese Exportschnittstellen ermöglichen es auch, die weitergehende Datenauswertung durch Standardsoftware oder speziell entwickelte Zusatzprogramme vorzunehmen.

7 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung umfasst alle Maßnahmen, die geeignet und notwendig sind, die Messunsicherheit möglichst gering zu halten und Informationen zu deren Größe zu gewinnen. Sie soll sicher stellen, dass die Messunsicherheit die allgemeinen Vorgaben fachlicher Richtlinien bzw. die für die jeweilige Aufgabe tolerierbare Größe nicht überschreitet.

Fehlerhafte gewässerkundliche Daten können zu folgenschweren Fehlentscheidungen und Planungsfehlern führen. Zeitweise systematische Fehler können das Ergebnis von Trenduntersuchungen verfälschen. Der Qualitätssicherung kommt somit auch in der Hydrometrie eine zunehmende Bedeutung zu. Fachliche Richtlinien bestehen auf internationaler (WHO, 1980), wie auch auf nationaler Ebene (LAWA, 1997-1).

Die gewässerkundlichen Messdaten beschreiben einmalige, nicht wiederholbare Naturereignisse. Für gewässerkundliche Untersuchungen und wasserwirtschaftliche Planungen werden i. Allg. langjährige und lückenlose Messreihen benötigt. Fehlende Informationen über außergewöhnliche Ereignisse können den Wert langjähriger Messungen schmälern. Die Qualitätssicherung hat daher nicht nur für die Richtigkeit, sondern auch für die Vollständigkeit der Messergebnisse zu sorgen.

Nach DIN EN ISO 9000 ff. ist die Qualitätssicherung eine Aufgabe, die alle Verfahrensschritte betrifft. Sie erfordert

- eine ausreichende Schulung und Weiterbildung aller Beteiligten,
- eine klare Regelung der Vorgehensweisen und Entscheidungsgrundsätze sowie der Zuständigkeiten und der Organisation der Arbeitsabläufe,
- eine detaillierte Dokumentation der Entscheidungen und Transparenz der Verfahrensschritte,
- eine zumindest stichprobenhafte Überprüfung der Einhaltung der Regelungen und Handlungsanleitungen sowie der Qualität der Produkte und
- eine Fortschreibung der Regelungen und Handlungsanleitungen.

Die Qualitätssicherung bei der Gewässerbeobachtung bezieht sich auf alle damit verbundenen Teilaufgaben wie

- die Auswahl der Messstellenstandorte,
- die Konzeption und Planung der Messstellen, der Messeinrichtungen und der Sicherungsmaßnahmen gegen Überspannungen (Blitzschutz),
- die Auswahl der Messgeräte,
- die Baudurchführung und Abnahme der Leistung,
- die Einweisung des Betreuungspersonals,
- das Kalibrieren und Justieren der Geräte im erforderlichen Turnus,
- die Kontrolle und Wartung der Messstellen und deren Einrichtungen hinsichtlich Störeinflüssen und Funktionsmängeln,
- das Aufbereiten der Messdaten einschließlich der Bewertung der Messunsicherheit,
- die Datenkontrolle hinsichtlich Mängel der Messstellen und deren Einrichtungen und
- das Dokumentieren von Störeinflüssen und Datenkorrekturen, Erläuterungen und Begründungen.

Die Qualitätssicherung erfordert nicht nur klare Regelungen der Aufgabenerledigung, sondern auch deren Kontrolle. Sie ist eine wichtige Führungsaufgabe. Sie ist aber auch die Auf-

gabe aller Beteiligten, im Hinblick auf die Umsetzung der Regelungen und deren Weiterentwicklung durch Verbesserungsvorschläge.

Neben die fachliche Kontrolle tritt die Erfolgskontrolle. Diese beschränkt sich nicht nur auf die Kostenkontrolle. Vielmehr ist dem Aufwand jeweils auch der Erfolg gegenüber zu stellen, welcher sich auch in der Qualität der Daten äußert. Es ist daher notwendig, wiederholt die Datenqualität anhand objektiver Kriterien zu überprüfen. So lässt sich erkennen, auf welchen Sektoren vorrangig die Anstrengungen verstärkt, technische Instrumente modernisiert, die fachlichen Tätigkeiten und die Vorgehensweise bei der Aufgabenerledigung verbessert oder die Aufgabenverteilung und die Zuständigkeiten neu geordnet werden müssen. Die Überprüfungen helfen auch, Notwendigkeiten und Grenzen einer Automatisierung sowie Rationalisierungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

8 Oberirdische Gewässer und Quellen

8.1 Hydrologische Grundlagen

Die Fließgewässer und die stehenden Gewässer werden als oberirdische Gewässer bezeichnet. Bei den Quellen handelt es sich um austretendes Grundwasser. Weil an Quellen jedoch teilweise die gleichen Messtechniken zum Einsatz kommen wie bei oberirdischen Gewässern, werden die Messungen an Quellen hier behandelt.

Fließgewässer unterliegen dynamischen Prozessen. Wasserstände, Durchflüsse und Strömungsgeschwindigkeiten, der von der Größe des Durchflusses abhängige Transport von Geschiebe, Schweb- und Schwimmstoffen sowie die Wasserbeschaffenheit können sich schnell ändern. Die für eine lückenlose Erfassung der Gewässerdynamik erforderlichen kontinuierlichen oder kurzzeitig getakteten Messungen sind ein wesentlicher Grund für eine Automatisierung.

Die Messeinrichtungen in **Fließgewässern** sind vor Vereisung, Eisgang, Geschiebe, Versandung und Verschlammung sowie gegen eine biologische Besiedlung, z. B. durch Muscheln oder Algen, zu schützen. Wichtig ist auch ein ausreichender Schutz gegen Hochwasser, wobei nicht nur die Gefährdung der Messeinrichtung selbst, sondern auch deren Versorgung mit Strom und deren Anschluss an das Telefonnetz berücksichtigt werden muss. Um im automatisierten Messbetrieb eine ausreichend lange Betriebsdauer bei möglichst geringem Wartungsaufwand zu erreichen, müssen die eingesetzten Messinstrumente unempfindlich gegenüber Schwebstoffen und im Wasser gelösten Stoffen sein. Eine zu hohe Schwebstofffracht kann bestimmte Messverfahren wie zum Beispiel die Ultraschall-Durchflussmessung erheblich behindern.

Nur scheinbar bilden **stehende Gewässer** einen homogenen, bewegungslosen Wasserkörper. Tatsächlich können sich, insbesondere bei tiefen Seen, durch Unterschiede der Temperatur, des Chemismus oder der Schwebstoffbelastung Dichteschichten ausbilden. Wind, Zuflüsse und Dichteänderungen als Folge des jahreszeitlichen Temperaturgangs verursachen Strömungen und vielfach eine Umwälzung des Wasserkörpers. Kurzzeitige, i. Allg. windinduzierte Schwingungen des Wasserkörpers (Seiches) wirken sich vornehmlich auf die Schichtung im Wasserkörper aus. Zur Erfassung der Gewässerdynamik können deshalb auch bei stehenden Gewässern automatisierte Messungen in kürzerem Turnus geboten sein. Die Störungsquellen für die Messeinrichtungen sind, außer Eisgang und Geschiebetrieb, grundsätzlich die gleichen wie bei Fließgewässern.

Im Vergleich zu Fließgewässern ändern sich die Schüttung und Wasserbeschaffenheit von **Quellen** deutlich langsamer und weniger stark als an Fließgewässern, teilweise jedoch so schnell, dass, insbesondere bei fernab gelegenen Quellen, automatisierte Messungen zweckmäßig sein können. Karstquellen ähneln in ihrem Verhalten den Fließgewässern. Die im Vergleich zu Fließgewässern i. Allg. geringeren Abflüsse und die speziellen Umfeldbedingungen in Quellschächten erfordern zum Teil besondere Messtechniken und Vorkehrungen [ATV-DVWK-M 604].

8.2 Wasserstand und Durchfluss

8.2.1 Ziele und Aufgaben

Ziel quantitativer gewässerkundlicher Messungen an oberirdischen Gewässern ist es, kontinuierlich und lückenlos den Verlauf von Wasserständen und bei Fließgewässern und Quellen den Durchfluss in seiner gesamten Dynamik zu erfassen. Dazu gehören sowohl mittlere durchschnittliche Zustände als auch Extremsituationen (Hoch- und Niedrigwasser). Die zur Beurteilung des Wasserhaushalts bedeutsamen Hauptzahlen, statistischen Daten und Ab-

flussbilanzen können nur anhand lückenloser Messdaten ermittelt werden. Die Verwendung der Daten als Grundlage für wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Planungen stellt hohe Anforderungen an ihre Zuverlässigkeit. Für operationelle Zwecke, zur Hochwasseralarmierung, zur Niedrig- oder Hochwasservorhersage und zur Steuerung wasserbaulicher Anlagen werden die Daten aktuell benötigt.

Die Durchflussermittlung in offenen Gerinnen erfolgt im Regelfall auf der Basis kontinuierlich gemessener Wasserstände anhand einer sogenannten Abflusskurve, die einen Bezug zwischen Durchfluss und Wasserstand herstellt. Der Abfluss wird durch wiederholte Einzelmessungen ermittelt. Wegen möglicher Veränderungen der hydraulischen Gegebenheiten muss die Abflusskurve immer wieder überprüft und ggf. fortgeschrieben werden. Wenn die hydraulischen Bedingungen die Wasserstand-Durchfluss-Beziehung sehr schnell verändern (Verkrautung des Gewässers, wechselnder Rückstau durch bewegliche Wehre, Vorfluter oder Zuflüsse), muss zusätzlich zum Wasserstand auch die mittlere Fließgeschwindigkeit des Gewässers kontinuierlich gemessen werden.

8.2.2 Messung des Wasserstands

In Fließgewässern machen die schnellen Änderungen der Wasserstände und Durchflüsse kontinuierliche bzw. quasikontinuierliche Messungen erforderlich, damit der zeitliche Verlauf der Messwerte ausreichend exakt erfasst werden kann. Bei stehenden Gewässern und Quellen ändern sich die Wasserstände bzw. die Abflüsse im Allgemeinen langsamer, aber in vielen Fällen doch so schnell, dass auch dort eine kontinuierliche Messung geboten ist.

Für die kontinuierliche Messung der Wasserstände können Pegelschreibgeräte oder Datensammler mit entsprechenden Messwertgebern verwendet werden (siehe Kapitel 4). Die Datenerfassung mit Datensammlern hat den Vorzug, dass die digital erfassten Messwerte umgehend rechnergestützt weiterverarbeitet werden können. Für den Messbetrieb ist zu beachten, dass einige Datensammler über keine Messwertanzeige und über keine Möglichkeit verfügen, Kontrollwerte, Hinweise zur Messung oder andere Zusatzinformationen einzugeben.

Im Hinblick auf die angestrebte Diversität sollte mindestens eine zusätzliche Messung im Gewässer erfolgen (Abschnitt 3.8). Als Ergänzung zu einer vorhandenen Schwimmermessung im Pegelschacht oder einer Druckmessung bietet sich eine Radar-Abstandsmessung an. Kann diese nicht realisiert werden, können neben vorhandene Schwimmermessungen auch pneumatische Druckmessungen oder Druckmesssonden treten. Vorhandene Druckmessungen können durch ein zweites, vom ersten in seiner Funktions- oder Bauweise abweichendes Druckmessgerät ergänzt werden. Ungeachtet der unterschiedlichen Messorte sollten sich die Messwerte zu ihrer Vergleichbarkeit möglichst auf dieselbe Beobachtungsstelle beziehen (LfU BW, 2004) oder auf Beobachtungsstellen, deren Messdaten hoch korreliert sind. Dabei ist auch die Abflusssituation bei großem Hochwasser zu berücksichtigen, in der sich das Gefälle des Wasserspiegels örtlich erheblich ändern kann und es zu einer starken Wellenbildung, z. B. durch stehende Wellen, kommen kann.

Eine Redundanz der Datenerfassung (Abschnitt 3.8) durch Anschluss eines Pegelschreibgerätes an einen Datensammler erhöht die Sicherheit der Datenerfassung.

Wenn hohe Anforderungen an die Betriebssicherheit der Datenübertragung gestellt werden, ist es notwendig, auch diese redundant auszulegen. Derartige Notwendigkeiten stellen sich insbesondere bei operationellen Aufgaben, z. B. bei der Steuerung von Talsperren oder beim Hochwassermanagement, wo bei Ausfall von Telefonleitungen durch Überlastung oder Zerstörung der Informationsfluss gewährleistet sein muss (Kapitel 3 und 5).

Abflusshindernisse oder Vereisung, die das Gewässer aufstauen und die Wasserstand-Durchfluss-Beziehung verändern, können durch Bildüberwachung (Abschnitt 4.3) zeitnah erkannt und dokumentiert werden (WWA Hof, 2002). Die Bildüberwachung kann somit zusammen mit redundanten Messungen Aufgaben der örtlichen Messstellenkontrollen übernehmen und hat den Vorzug einer schnelleren Information der Zentrale. Darüber hinaus lie-

fert die Bildüberwachung Informationen zur Beurteilung der Messwerte bei der Datenaufbereitung und der fachlichen Datenbewertung.

8.2.3 Ermittlung der Wasserstand-Durchfluss-Beziehung

Die Einzelmessungen von Durchflüssen zur Aufstellung einer Abflusskurve lassen sich nicht voll automatisieren, wohl aber einzelne Teilaufgaben.

- Bei der Messung mit Messflügeln, können deren Messdaten von einem für den Feldeinsatz geeigneten Rechner digital erfasst und für die weitere Auswertung bereitgestellt werden.
- Zusatzgeräte zu Schwimmflügeln ermitteln automatisch die Tiefe des Messortes und die Strömungsrichtung und übertragen diese Daten zum angeschlossenen Rechner.
- Komfortable Auswerteprogramme, in denen auch Zusatzinformationen wie beispielsweise die Geometrie des Messquerschnitts, frühere Durchflussmessungen und Abflusskurven bereitgestellt werden, erleichtern und beschleunigen nicht nur die Datenauswertung, sondern können auch deren Qualität verbessern.
- Eine erhebliche Arbeitersparnis und Qualitätsverbesserung lässt sich durch eine rechnergestützte Aufstellung der Abflusskurven erreichen. Die Fachprogramme verwalten und analysieren die Durchflussmessergebnisse und unterstützen den Bearbeiter durch statistische und hydraulische Verfahren.

Arbeitserleichterungen lassen sich auch erzielen, wenn dort, wo die Verwendung von Messflügeln problematisch oder aufwändig ist, auf andere Messverfahren zurückgegriffen wird, z. B. auf Tracermessungen (LFU BW, 2002-6) bei sehr geringen Wassertiefen oder ADCP-Messungen bei großen Gewässern (ADLER 1994).

8.2.4 Messung der Fließgeschwindigkeit

Eine kontinuierliche Messung der Fließgeschwindigkeit und Ermittlung des Durchflusses bietet sich grundsätzlich bei Quellen an, deren Schüttung in voll gefüllten Rohrleitungen abgeleitet wird. Bei Messstellen an oberirdischen Fließgewässern, bei denen keine längere Zeit gültige Wasserstand-Durchfluss-Beziehung besteht, finden Ultraschall-Durchfluss-Messanlagen Anwendung. Wegen der mit derartigen Anlagen verbundenen Investitionskosten ist eine sorgfältige Standortprüfung anzuraten, die folgende Fragen klären sollte (LFU BW, 2002-9):

- Können Gasblasen, Schweb- und Schwimmstoffe oder andere Hindernisse den Weg des Schallsignals stören?
- Ändert sich der Durchflussquerschnitt durch Verlandung oder Erosion?
- Erfordern die Gewässertiefe oder variierende Strömungsverhältnisse Messungen in mehreren Messebenen?

Dreidimensionale Strömungsmodelle können bei der Beantwortung der letzten Frage helfen und die Umrechnung der gemessenen Fließgeschwindigkeit auf die mittlere Fließgeschwindigkeit im Durchflussquerschnitt verbessern.

Die Ermittlung der Durchflusswerte durch das Ultraschallmesssystem sollte transparent sein. Daher sollten neben den berechneten Durchflusswerten auch die ihnen zugrunde liegenden originalen Messwerte einschließlich Statussignalen bereitgestellt werden und der jeweilige Berechnungsalgorithmus bekannt sein. Nur so ist es möglich, die Anlage zu justieren, indem der Algorithmus der tatsächlichen Geschwindigkeitsverteilung im Durchflussquerschnitt angepasst wird. Außerdem können bei der Datenaufbereitung einzelne fehlende oder fehlerhafte Messwerte ersetzt und so Lücken oder Fehler in der Zeitreihe der Durchflüsse beseitigt werden.

8.3 Wasserbeschaffenheit

8.3.1 Einrichtung von Messstellen und Messstationen

Je nach Messaufgabe, wasserwirtschaftlicher Bedeutung und Dynamik (zeitliche Variabilität der Daten) ist zu entscheiden, ob der Einsatz von mobilen Messsystemen (Messsonden, Messbojen) bzw. die Installation einer einfachen Messstelle ausreicht oder ob die Einrichtung einer Messstation erforderlich ist.

In Messstationen werden nicht nur bestimmte Beschaffenheitsparameter kontinuierlich und automatisch gemessen, es sind außerdem in der Regel automatische Probennehmer sowie bei Bedarf Möglichkeiten für ein Biomonitoring oder weitere spezielle Messsysteme vorhanden.

Messstationen sind zusätzlich zu den Messgeräten mit Datensammlern ausgestattet. Messstationssteuerungen auf PC-Basis können die erhobenen Daten sammeln, auswerten und bewerten, Probenahmen und Alarme automatisch auslösen und die Daten online den zuständigen Stellen zur Verfügung stellen. Mehrere Messstationen können zu einem Messnetz verknüpft sein.

Mobile Messsonden

Bei der Aufnahme von Messprofilen, bei der Validierung stationärer Messsysteme oder bei der Planung von festen Messstationen werden mobile Messsysteme wie Multiparametersonden mit Datenloggern eingesetzt. Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Trübung sowie zusätzlich die Tauchtiefe der Sonde können kontinuierlich erfasst werden. Im Batteriebetrieb können die Sonden mehrere Wochen messen und Daten abspeichern. Durch den Anschluss zusätzlicher Auswerteeinheiten werden Luftdruckmessungen und eine Verortung der Daten mit GPS-Koordinaten ermöglicht, die Wartung und Kalibrierung der Sonde vereinfacht und weitere Möglichkeiten der Datenabspeicherung geboten.

Mobile Messbojen

Messbojen sind eine Erweiterung der mobilen Messsonden und zusätzlich mit einer Telefonieinheit ausgestattet, die den Abruf von Daten ermöglicht. Messbojen können mit Probennehmern ausgestattet werden und erreichen damit schon den Grundstandard einer Messstation.

Mobile Messsonden als auch Messbojen können bis zu einem Monat im Gewässer betrieben werden. Zeitlich begrenzender Faktor ist neben der Energieversorgung die Verschmutzung der Sonden durch die Wasserinhaltsstoffe.

Schwimmende Stationen

Häufig werden im tidebeeinflussten Bereich von Flüssen Messstationen als schwimmende Einrichtungen gestaltet. Neben der Flutsicherheit ist ein besonderer Vorteil dieser Bauweise, dass auch bei wechselnden Wasserständen immer konstante Förderhöhen der Pumpen bei verhältnismäßig geringen Transportwegen zu erreichen sind. Von Nachteil ist der allgemein schwierige Zugang über Brücken oder mit Booten. Auch die Installation von Ver- und Entsorgungsleitungen kann problematisch sein. Außerdem sollte die Station beispielsweise durch Pfähle gesichert werden.

Landgebundene Stationen

Die am meisten verwendete Bauart von Messstationen sind die landgebundenen Stationen. Sie bieten sich insbesondere dann an, wenn in Wassernähe bereits vorhandene Gebäude mitbenutzt oder bestehende ehemalige Betriebsgebäude umgewidmet werden können. Bei den landgebundenen Stationen ist ein Überflutungsschutz zu gewährleisten. Außerdem werden in einigen Fällen lange Rohrleitungen benötigt. Der Frostschutz ist daher insbesondere bei den Entnahmebauwerken aufwändig. Auch die Pumpen für diese Stationen sind wegen

der größeren Förderhöhen größer zu dimensionieren. Mögliche Veränderungen der Wasserbeschaffenheit durch den Pumpenbetrieb (z. B. Erwärmung) sind zu beachten. Ggf. sind Parallelmessungen im Gewässer empfehlenswert.

8.3.2 Spezifische Anforderungen im Messbetrieb

Während der relativ langen Standzeiten sind die Messsysteme ständig dem zu untersuchenden Wasser ausgesetzt. Die größten Störungen resultieren daher meist aus Verschmutzungen, die zwangsläufig im Messbetrieb auftreten. Der Hauptteil der regelmäßigen Arbeiten in den Stationen konzentriert sich daher auf Reinigungsarbeiten aller Teile, die mit dem zu untersuchenden Wasser in Berührung kommen. Die größten Probleme bereiten hierbei Verschmutzungen durch Aufwuchs (Biofilmbildung), der sehr hartnäckig ist und sich meist nur durch manuelles Reinigen beseitigen lässt. Versuche, diese Reinigungsschritte von automatischen Systemen verrichten zu lassen, sind in der Vergangenheit nur selten erfolgreich gewesen. Ein Problem besteht darin, dass die Reinigungssysteme immer auf das Messsystem beschränkt waren (z. B. automatische Wischer an optischen Messgeräten, Ultraschallreinigungssystem an der Trübungssonde), die Verschmutzungen sich aber auch in den zu- und abführenden Rohr- bzw. Schlauchleitungen befanden und diese nicht behoben wurden. Auch dieses Problem wurde vielfach versucht durch Rückspülungen o. Ä. zu lösen, was aber nur dann erfolgreich war, wenn sich kein Aufwuchs bildete und die Hauptverschmutzungsquelle mineralische Schwebstoffe waren. Die erforderlichen Reinigungsarbeiten werden wesentlich erleichtert, wenn die Messsysteme gut zugänglich eingebaut werden und eine ausreichende Anströmung gewährleistet ist.

8.3.3 Einsetzbare Messsysteme

Aus den vielfältigen Aufgaben und Anforderungen an Messstationen ergibt sich eine Reihe von Automatisierungspotenzialen.

Basiskenngrößen

Als Grundausstattung vieler bestehender Messstationen hat sich für die kontinuierliche Messung der Basiskenngrößen eine Messsystemkombination bewährt, welche sich aus den Messgrößen Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, pH-Wert, Wassertemperatur und Trübung zusammensetzt. Durch die Integration von optischen Messverfahren in Multiparametersonden können darüber hinaus weitere chemische und biologische Parameter automatisiert erfasst werden (s. Abschnitte 4.6.1 und 9.3.3).

Zusätzliche Kenngrößen

Für die nicht mit Messsonden direkt zu erfassenden Beschaffenheitsparameter sind leistungsfähige Geräte und Messsysteme verfügbar, die jedoch in Ausstattung und Betrieb deutlich aufwändiger sind (s. Abschnitte 4.6.2 und 9.3.3).

Zur Ermittlung der Giftwirkung von Wasserinhaltsstoffen auf verschiedene Wasserorganismen werden als biologische Frühwarnsysteme kontinuierlich arbeitende Biotestgeräte zur Schnellindikation plötzlich auftretender Schadstoffbelastungen eingesetzt. Dazu gehören: Daphnientoximeter, Algentoximeter, Muscheltoximeter, Bakterientoximeter und Fischtoximeter. Beim Biomonitoring wird „standardisiertes biologisches Material“ unter definierten Bedingungen in den Testeinrichtungen der Messstationen installiert. Durch spezifische automatisierte Registrierungseinrichtungen werden in den Testautomaten ständig stoffwechselphysiologische Größen oder Verhaltensparameter gemessen, ausgewertet und bewertet. Bei der Auswahl der Geräte müssen die z. T. erheblichen Unterschiede in der Sensitivität berücksichtigt werden. Es werden daher oft mehrere Tests parallel als sog. „Testbatterie“ eingesetzt.

Probennahmesysteme

Die Gewinnung von Wasserproben für die anschließende Bewertung im Labor kann manuell an eingerichteten Messstellen oder aber auch automatisch in entsprechend ausgerüsteten Messstationen realisiert werden. Selbstentleerende Probennehmer haben sich hier besonders bewährt.

Bestimmte Probenarten können außerdem über einen längeren Zeitraum gesammelt werden, um Schadstoffbelastungen verschiedenen Materials (Wasser, Schwebstoffe) später im Labor näher zu untersuchen. Folgende Probensammler werden hierfür eingesetzt: Mischprobennehmer, Zentrifugen, Sedimentationsbecken, Muschelbecken und künstliche Membranen zur Bioakkumulation.

Modularer Aufbau von Messstationen

Messstationen können je nach Erfordernis und finanziellen Mitteln schrittweise und mit aufeinander aufbauenden Modulen eingerichtet werden. Das im Rahmen des EASE-Projektes [Institut für Hygiene und Umwelt 2004] entwickelte Stufenkonzept zum Aufbau von Messstationen mit den Ausbaustufen

- Grundmessprogramm,
- erweitertes Grundmessprogramm und
- erweitertes Messprogramm

zeigt Abb. 8-1.

Die Geräteausstattung für das Grundmessprogramm umfasst die wichtigsten physikalisch-chemischen Grundgrößen und die Datenerfassung der Messwerte. Veränderungen in den Messreihen sind nur nachträglich und manuell von Experten zu bewerten, so dass eine zeitnahe automatische Erkennung von Ereignissen im Gewässer nicht möglich ist.

Mit dem erweiterten Grundmessprogramm wird sowohl eine automatische und zeitnahe Detektion von auffälligen Gewässerzuständen als auch eine automatische Entnahme von störfallrelevanten Gewässerproben ermöglicht.

Erweiterbar wird die Ausstattung durch in vielen Messstationen verwendete und nicht unmittelbar zur Alarmgebung einsetzbare Geräte und Probennahmesysteme, die jedoch die Ergebnisse aus den Messungen der vorherigen Stufen ergänzen.

Bezeichnung der Systeme		Bemerkungen
Grund-Messprogramm	Multiparametermesssystem Wassertemperatur Sauerstoffkonzentration pH-Wert Leitfähigkeit Trübung Einzelionen	Leitparameter für plötzliche Veränderungen im Gewässer. Neben der Detektion von schädlichen Einleitungen sprechen diese Messsysteme auch auf natürliche Gewässerveränderungen (z. B. starke Regenfälle) und unbedenkliche Gewässerveränderungen (z. B. Schleusentätigkeiten) an. Durch die Verwendung allein dieser Gerätekombination ist es in der Regel nicht möglich, eindeutig auf eine schädliche Gewässereinleitung zu schließen. Auffällige Befunde können lediglich dazu dienen, weitere Untersuchungen zu veranlassen.
	Datenerfassung durch Stationsrechner	Die Anbindung der Messgeräte an einen Stationsrechner erleichtert die Verwaltung und Auswertung der Daten erheblich.
Erweitertes Grundmessprogramm	Auffälligkeitserkennung und Alarmindex	Durch Auffälligkeitstest und Alarmindex kann eine automatische und zeitnahe Erkennung von Ereignissen realisiert werden.
	Ereignisgesteuerte Probennahme mit anschließender Laboruntersuchung automatische Probennahme durch selbstentleerende Probennehmer Ursachenermittlung und Bewertung durch Untersuchungen im Labor	Automatische Probennehmer ermöglichen die Sicherstellung von auffälligen Wasserproben für die anschließende Ursachenermittlung bzw. Bewertung im Labor. Aus der Art der Veränderungen der Messgrößen in der Messstation könnten sich Hinweise für die Analysen ergeben.
Erweitertes Grundmessprogramm	UV-Absorptionsmessung (SAK 254 nm)	Leitparameter für gelöste organische Stoffe. Organische Schadstoffbelastungen können registriert werden. Die Geräte sind eine kostengünstige und wartungsarme Alternative zu DOC-, BSB-Geräten etc.. Natürliche Ereignisse können ebenfalls zu erhöhten SAK-Werten führen, z. B. eingetragene Huminstoffe (Gelbstoffe) durch starke Regenfälle.
	UV/VIS-Sonden (T(D)OC/COD/BOD)	

	Bezeichnung der Systeme	Bemerkungen
Erweitertes Messprogramm	Kontinuierliche Biotestverfahren Daphnientoximeter Algentoximeter Muscheltoximeter Bakterientoximeter Fischtoximeter	Kontinuierliche Ermittlung der Giftwirkung von Wasserinhaltsstoffen auf verschiedene Wasserorganismen. Es können direkt Aussagen über das Gefährdungspotenzial einer Gewässerbelastung getroffen werden. Bei der Auswahl der Geräte müssen die z. T. erheblichen Unterschiede in der Sensitivität berücksichtigt werden.
	Standortangepasste Messsysteme Radioaktivitätsmessungen GC/MS HPLC/UV oder MS Öl-Detektoren Fluoreszenz-Messung (Tracer wie Rhodamin oder Uranin und Öl in Wasser)	Speziell an den Standort angepasste Messsysteme können bestimmte Belastungen gezielt registrieren. Mit einigen Geräten können direkt Aussagen über die Art und das Gefährdungspotenzial der Gewässerbelastung getroffen werden.
	Weitere Messverfahren kontinuierliche fotometrische Bestimmung von Gelbstoffen (Huminsäuren) Nährstoff-Analysatoren (Ammonium/Nitrat) CKW-Monitore TOC-Monitore Pegelstand (Abfluss)	Verschiedene Messverfahren zur Ermittlung von Summenparametern können die Analysen in den Messstationen ergänzen (z. B. Gelbstoffe: Plausibilisierung von Ergebnissen der o. gen. UV-Absorptionsmessung)
	Probensammler Mischprobennehmer Zentrifugen Sedimentationsbecken Muschelbecken Künstliche Membranen zur Bioakkumulation	Es können bestimmte Probearten über einen längeren Zeitraum gesammelt werden. Schadstoffbelastungen verschiedenen Materials (Wasser, Schwebstoffe) können im nachhinein näher im Labor untersucht werden.

Abb. 8-1: Vorschlag für ein Stufenkonzept zur Ausstattung von Messstationen (abgewandelt aus: EASE-Projekt, 2004)

8.3.4 Möglichkeiten und Grenzen

In der Regel sind Messstationen Unikate oder Kleinserien, was den Grad der Automatisierung einschränkt. Ein verlässlicher kontinuierlicher Betrieb und die Betriebssicherheit der eingesetzten Messsysteme sind Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche Automatisierung. Die eingesetzten Messsysteme sind zumeist soweit automatisiert, dass sie über einen Zeitraum von ca. ein bis zwei Wochen ohne manuelles Eingreifen ihren Betrieb in den Stationen verrichten. Einige Messsysteme speichern auch die produzierten Messdaten. Darüber hinaus liegen bei modernen Messgeräten sehr große zeitliche Abstände zwischen zwei Kalibrierungen. Die Geräte werden künftig noch weiter verbessert werden.

Wie Messstationen sind auch Messstationssteuerungen bislang keine Standardprodukte. Die Datenverarbeitung ist dabei der Teil, der in den Messstationen den größten Grad der Automatisierung erreicht hat. Stand der Technik ist heutzutage eine Lösung, die auf PC-Basis die Daten von den verschiedenen Geräten der Station einsammelt und in einer Datenbank speichert. Neben der reinen Messdatensammlung werden auch verschiedene Steuerungsaufgaben durch den Stations-PC realisiert, wie beispielsweise die Protokollierung automatischer und manueller Vorgänge. Eine in der Stationssteuerung integrierte Benutzerführung für Wartungsarbeiten ist üblich. Mehrere Messstationen können in Messnetzen vereinigt sein. Der Betrieb von Messnetzzentralen ist zwar organisatorisch und finanziell aufwändig, je mehr Messstationen jedoch von einer Zentrale betrieben werden, desto günstiger werden die Kostenanteile je Station, weil Redundanzen vermieden werden.

9 Grundwasser

9.1 Geohydrologische Grundlagen

Grundwasser ist eine wesentliche Erscheinungsform im natürlichen Kreislauf des Wassers. Seine Menge und Beschaffenheit sind abhängig von der natürlichen Neubildung aus versickernden Niederschlägen sowie natürlichen und anthropogen verursachten Zuflüssen und Abflüssen. Neubildung, Speicherung und Abfluss des Grundwassers sind geprägt von den Lagerungsverhältnissen, der hydraulischen Durchlässigkeit und den Speichereigenschaften der unterirdischen geologischen Gesteinsformationen, in denen es sich befindet und von denen es überdeckt ist. Hydrodynamisch sehr unterschiedlich verhalten sich poröse Lockergesteinsgrundwasserleiter und klüftige bzw. klüftig-poröse und verkarstete Festgesteinsgrundwasserleiter.

Die seit Millionen von Jahren ablaufenden geologischen Prozesse haben zu einem vielgestaltigen Bau des Untergrundes beigetragen und ein Gefüge von Wasser unterschiedlich gut leitenden Schichten erzeugt. Sie werden in der Hydrogeologie als Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer oder –stauer bezeichnet und begründen die Ausbildung hydraulisch zusammenhängender bzw. mehr oder weniger voneinander abgegrenzter Grundwassersysteme (s. Abb. 9-1).

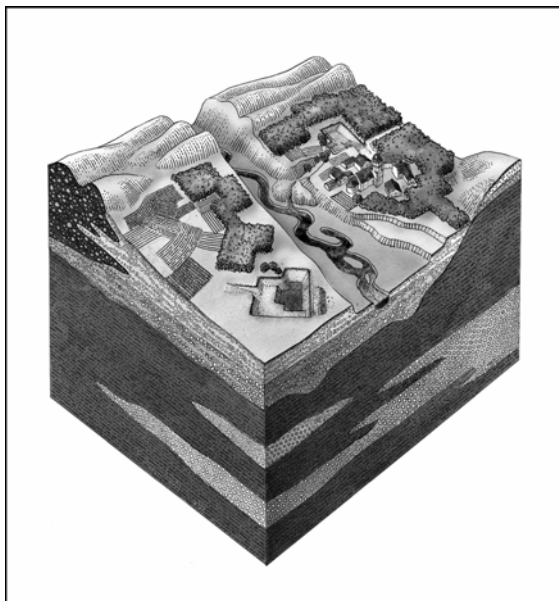


Abb. 9-1: Querschnitt eines Porengrundwasserleiters

Wie Grundwassersysteme bzw. Grundwasserleiter aufgebaut sind oder sich abgrenzen, kann gut über die Grundwasserdruckverhältnisse ermittelt werden. Die Grundwasserdruckverhältnisse beschreiben im Zusammenhang mit Gesteinsparametern und physikalischen Eigenschaften des Wassers dessen Abflussrichtung und Abflussgeschwindigkeit.

Maßgeblich für die geohydrodynamischen Verhältnisse in Grundwasserleitern sind neben deren hydraulischen Kommunikationen untereinander auch die hydraulischen Kontakte mit oberirdischen Gewässern, die infiltrierend oder exfiltrierend auf einen Grundwasserleiter wirken können. Dies hängt vom Druckunterschied zwischen oberirdischem Gewässer und Grundwasser ab und kann sich zeitlich verändern. Besonders ausgeprägt ist dies bei Hochwasserereignissen und in Niedrigwasserphasen an fließenden Gewässern sowie bei Tidenhub in durch Meerwasser beeinflussten Grundwasserleitern.

Entsprechend der DIN 4049-3 wird zwischen gespannten und freien (ungespannten) Grundwasserleitern unterschieden. Entsprechend den geologischen Lagerungsverhältnissen und der regionalen Erstreckung zusammenhängender Grundwassersysteme sowie dem Geländere relief und der hydraulischen Durchlässigkeit von Grundwasserüberdeckungen kann es zu Vernässungen an der Geländeoberfläche kommen oder zu artesisch gespannten Verhältnissen, wenn die Grundwasserdruckhöhe bis über Geländeniveau reicht. Ist die Grundwasserdruckhöhe bzw. der in einer Grundwassermessstelle gemessene Grundwasserstand höher

als die Grundwasseroberfläche, jedoch niedriger als die Geländeoberfläche, wird dies als gespanntes Grundwasservorkommen bezeichnet. In artesischen und gespannten Grundwassersystemen können sich Luftdruckschwankungen deutlich messbar auf die Grundwasserdruckverhältnisse auswirken. Die Speicherinhaltsänderung solch eines Grundwassersystems beruht auf der Kompressibilität der Gesteinsmatrix und des eingeschlossenen Wassers. Dem gegenüber verhalten sich ungespannte Grundwasserleiter hinsichtlich ihrer Druckleitfähigkeit eher träge. Deutlich anders verhalten sich oft klüftige oder verkarstete Grundwasserleiter, in denen relativ große durchflossene Kluft- oder Spaltquerschnitte auftreten. Auf heftige Niederschlagsereignisse reagieren sie oft eben so heftig, weil die Speicherräume vergleichsweise gering und die Transportgeschwindigkeit des Grundwassers hoch sind.

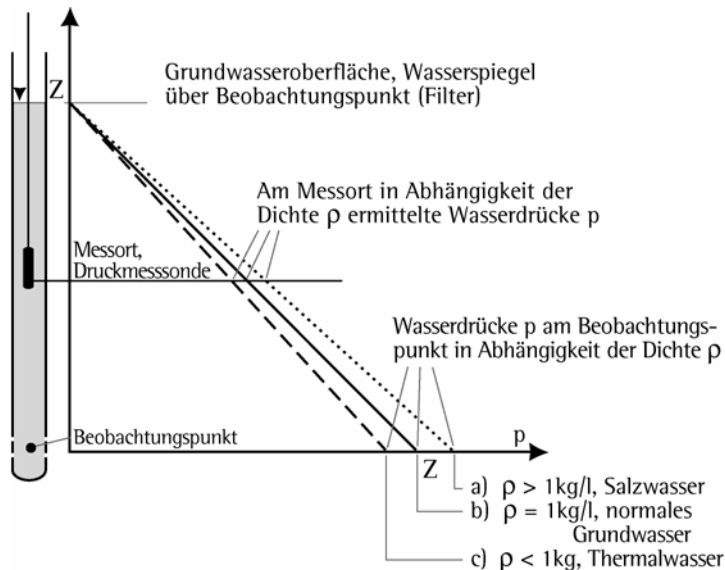


Abb. 9-2: Prinzipieller Zusammenhang zwischen Grundwasserdruckhöhe und Grundwasserstand in Abhängigkeit von der Temperatur und Mineralisation des Wassers (h : Höhe der Wassersäule über der Beobachtungsstelle; p : Wasserdruck im Beobachtungrohr)

Kompliziert sind Grundwasserdruckverhältnisse zu messen, wenn die Dichte des Grundwassers deutlich vom normalen Zustand (Dichte ca. 1 kg/l , Temperatur etwa 6 bis $16 \text{ }^\circ\text{C}$) abweicht. Ursachen hierfür sind geothermale Anomalien und saline Einflüsse. Beide Phänomene können natürlichen Ursprungs (Thermalquellen, geogen saline und marine Einflüsse) oder anthropogen (z. B. unterirdische Wärmespeicherung, Salzhalde aus Kalibergbau) verursacht sein. Während warme Wässer eine geringere Dichte aufweisen, bewirkt starke Mineralisation eine Dichte größer 1 kg/l . Deshalb darf die Dichteabhängigkeit des Zusammenhangs zwischen dem in m WS (Meter Wassersäule) über der Beobachtungsstelle messbaren Rohrwasserspiegels und dem tatsächlichem Druck an der Beobachtungsstelle nicht a priori vernachlässigt werden (s. Abb. 9-2).

Insofern entspricht dem in erwärmtem Grundwasser gemessenen Grundwasserstand ein geringerer Druck und dem in höher mineralisiertem Grundwasser gemessenen Grundwasserstand ein höherer Druck als derselbe Grundwasserstand im normal temperierten und mineralisierten Grundwasser anzeigen würde. Sollen die hydrodynamischen Verhältnisse in derartig beschaffenen Grundwassersystemen gemessen und bewertet werden, sind diese Phänomene zu beachten.

Das Grundwasser stellt quantitativ die wesentlichste und qualitativ die am besten beschaffene Ressource für die Trinkwasserversorgung dar. Deshalb gilt seiner Beschaffenheit besondere Aufmerksamkeit. Entsprechend den regional unterschiedlichen Neubildungsbedingungen und den physikalischen und chemischen Milieubedingungen der durchströmten Ge-

steinsformationen bewirken physikochemische und biochemische Prozesse innerhalb und zwischen der wässrigen, gasförmigen sowie festen Phase Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit. Sie ist gekennzeichnet durch die im Wasser gelösten und transportierten anorganischen und organischen Inhaltsstoffe.

Zu überwachen sind die natürlichen Beschaffenheitsmerkmale in ihrer Ausbildung und zeitlichen Kontinuität als Grundlage für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung. Daneben tritt die Messung anthropogen verursachter Verschmutzungen der Gewässer immer stärker in den Mittelpunkt der Daseinsvorsorge. Hierbei sind die lokal orientierten Stoffeinträge und ihre Wirkungen sowie entsprechende Überwachung in das Spektrum der Altlasten, der industriell bedingten Standortverschmutzungen und von Unfällen beim Transport wassergefährdender Stoffe u. Ä. einzuordnen. Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen erfordern stoffspezifische Messmethoden zur begleitenden Überwachung und Beweissicherung sowie ggf. aufgabenspezifische Messnetze und ein prozessspezifisches Monitoring.

Diffuse stoffliche Einträge persistenter anorganischer und organischer Schadstoffe wie luftgetragene organische Stoffe, Pflanzenschutzmittel aus der Landwirtschaft und Arzneimittel aus Kläranlagen in oberirdische Gewässer können in das Grundwasser einsickern und flächenhaft räumliche Verschmutzungen ganzer Grundwasserkörper verursachen. Die räumliche und zeitliche Erfassung dieser Verschmutzungen, einschließlich der Wirkung von Gegenmaßnahmen repräsentieren komplexe Aufgaben der Grundwasserbeschaffenheitsüberwachung. Zu ihrer Lösung sind aufgabenspezifisch geeignete Messstellen und Messverfahren erforderlich, um repräsentative Proben zu gewinnen und belastbare Analysen erstellen zu können.

9.2 Grundwasserdruckhöhe

9.2.1 Ziele und Aufgaben der Messung

Die Messung von Grundwasserständen in funktionsfähigen Grundwassermessstellen dient der Ermittlung der Grundwasserdruckverhältnisse als Basis zur Beschreibung der geohydrodynamischen Situation. Damit können Gefälleverhältnisse sowie unter Beachtung der geologischen Gegebenheiten Fließrichtungen, Fließgeschwindigkeiten und Fließzeiten längs betrachteter Fließwege ermittelt werden. Die in einer Grundwassermessstelle als Grundwasserstand gemessene Grundwasserdruckhöhe ist in der quantitativen Grundwasserhydrologie der wichtigste Parameter.

Die einer Beobachtungsstelle im Grundwasserleiter zugeordneten Messungen können als Ganglinie in Relation zu anderen Phänomenen und deren zeitabhängiger Entwicklung in Beziehung gesetzt und bewertet werden. Üblich und aufschlussreich ist die zusammenhängende Bewertung der Messungen an räumlich verteilten Messstellen in Form von Linien gleicher Grundwasserdruckwerte oder deren Differenzen in horizontal oder vertikal ebenen Schnittdarstellungen sowie auch räumlichen Potentialflächen.

Aufgaben und Ziele der Messungen bestimmen stark die räumliche Differenziertheit bzw. die zulässige regionale Schematisierung der Messergebnisse und die Zeitintervalle von Messreihen.

Derartige Untersuchungen sind Teil wasserwirtschaftlicher Systemanalysen zur Beschreibung und Bewertung der Situation und Änderung natürlicher Grundwasserressourcen über kurze, mittlere und lange Zeiträume. Sie sind Grundlage für Prognosen der Entwicklung des Wasserhaushaltes und der unterirdischen Wasserressourcen.

Die langzeitige Durchführung und fachgerechte Auswertung von Grundwasserstandsmessungen bzw. –druckhöhenmessungen liefern auch wichtige Informationen über die natürlichen Abflussverhältnisse im flurnahen Bereich und damit Grundlagen für die Einschätzung der Abhängigkeit ökologischer Systeme vom Grundwasser. Grundwasserstände und –

druckhöhen in Verbindung mit Niederschlagsdaten bzw. abgeschätzten Grundwasserneubildungsraten erlauben Aussagen über Reaktionen des Wasserhaushaltssystems in Abhängigkeit klimatischer hydrologischer Situationen und Veränderungen.

In der Nähe von oberirdischen Gewässern offenbaren Grundwasserstandsmessungen Art und Ausmaß der gegenseitigen Gewässerbeeinflussung, wie z. B. die Wirkung des Durchgangs von Hochwasserwellen in Flüssen auf hydraulisch angebundene Grundwasserleiter oder die Speisungscharakteristik und Wasserstände vom Grundwasser abhängiger Seen. Derartige Beobachtungen sind Grundlagen für die Planung von wasserwirtschaftlichen Steuerungs-, Schutz- und Vorsorgemaßnahmen.

Grundwasserstandsmessungen werden auch zur Abgrenzung der Einzugsgebiete von Grundwasserentnahmen, z. B. für die Trinkwasserversorgung, herangezogen. Bei Stauhaltungen oder Speichereinrichtungen in oberirdischen Gewässern zeigen Grundwasserstandsänderungen Auswirkungen auf benachbartes Grundwasser an. Baumaßnahmen im Grundwasserbereich, insbesondere mit Grundwasserhaltungen, deren Einflüsse Auswirkungen auf benachbarte Bausubstanz und vom Grundwasser abhängige ökologische Schutzgüter haben können, sind regelmäßig zu überwachen. Grundwasserstände sind i. Allg. periodisch wiederkehrenden Schwankungen unterworfen. Ansteigende Grundwasserstände in Siedlungsbereichen können Vernässungen und diesbezüglich Schäden an betroffener Bausubstanz hervorrufen.

In allen beispielhaft erwähnten Fällen erfolgt die

- Überwachung zur Beweissicherung der geplanten Eingriffe in das Grundwasser und der Einhaltung der erlaubten Auswirkungen auf das Grundwasser sowie
- die ggf. notwendige Festlegung von zielgerichteten korrigierenden Eingriffen in das gestörte Abflussgeschehen

auf Basis von Messungen der Grundwasserdruckverhältnisse.

Die unterschiedlichen Aufgabenstellungen für den Betrieb von Messnetzen charakterisieren diese als mehr informationsorientiert oder stärker entscheidungsorientiert. Daraus leiten sich unterschiedliche Möglichkeiten und Anforderungen für eine Automatisierung ab.

9.2.2 Messparameter Grundwasserstand und Grundwasserdruckhöhe

Die Grundwasserdruckhöhe wird als Höhe der Wassersäule im Messrohr ermittelt. Gemessen wird die unter atmosphärischem Luftdruck sich einstellende Wasserspiegellage im Messrohr. Sie wird als Höhenmaß in Bezug auf amtlich festgelegte Bezugspunkte in einem amtlichen Höhensystem, z. B. DHN 92, angegeben. Die in Grundwassermessstellen ermittelte Grundwasserdruckhöhe repräsentiert den in ihrem Filterbereich wirkenden hydrostatischen Druck (s. Abb. 9-2).

Wenn die Wassersäule im Messrohr normale physikalische Eigenschaften hat und auch das Grundwasser im Umfeld des Filters normale physikalischen Eigenschaften besitzt, kann die Druckhöhe einfach durch Messung der als Abstich bezeichneten Höhendifferenz zwischen dem Wasserspiegel im Rohr und dem Messpunkt am Messstellenkopf bestimmt werden. Der Rohrwasserspiegel entspricht dem atmosphärischen Druck und kennzeichnet die Lage der Grundwasseroberfläche bei freier Grundwasserströmung. Im gespannten Grundwasserleiter liegt der Rohrwasserspiegel über der Grundwasserdeckfläche und bei artesischen gespannten Druckverhältnissen über dem Gelände. In Abhängigkeit des Überstandes des Grundwasserbeobachtungsrohres über dem Gelände kann die Messung eines Abstichs unmöglich werden und es sind geeignete Messverfahren, z. B. mittels Druckmesssonde, anzuwenden.

Falls das Grundwasser im Bereich des Grundwasseraufschlusses (Filterlage) infolge thermischer und/oder salinärer Einflüsse deutliche Abweichungen der Dichte vom Normalwert 1 kg/l aufweist, sind die Rohrwasserspiegellagen entsprechend der Dichteverteilung im Messrohr umzurechnen. Besser ist es jedoch, die hydrostatischen Drücke im Filterbereich direkt durch entsprechende Druckmessgeräte zu ermitteln. Für die weitere Auswertung werden diese Drücke zweckmäßiger Weise wieder in Grundwasserstände bzw. Wassersäulenhöhen normal beschaffenen Grundwassers mit Dichte 1 kg/l überführt (s. Abb. 9-2) und können auf diese Weise räumlich in Beziehung zu anderen Messstellen bewertet werden. Schließlich ist noch die Tiefenlage der Beobachtungsstelle verschiedener Messstellen zu beachten, weil die vertikale Druckverteilung an einem Ort mit vorhandener Grundwasserbewegung nicht konstant ist.

Als physikalische Randbedingung sind bei der Messung der Grundwasserdruckhöhe auch Einflüsse von Luftdruckschwankungen bzw. der Luftdruck selbst wirksam und müssen bei entsprechenden Messverfahren, z. B. bei Druckmesssonden mittels Druckausgleichskapillare, berücksichtigt werden.

Messtechnische Besonderheiten ergeben sich auch bei Grundwassermessstellen mit artesisch gespannten Verhältnissen aus dem Ausbau der Messstelle. Besondere Anforderungen an die Auswahl des Messsystems können aus einem geringen Durchmesser des Messrohres, einem großen Abstand des Wasserspiegels im Rohr unter Messpunkt, einem nicht ausreichend lotrecht eingebauten Messrohr, einem stufenförmigen (abgesetzten) Ausbau der Messstelle oder nicht vollständig ausgebauten Messstelle, z. B. im Festgestein, resultieren.

Die Häufigkeit der Messungen an einer Messstelle hängt ab von der zeitlichen Änderung der Grundwasserdruckverhältnisse und von der erforderlichen zeitlichen Auflösung der zu erfassenden Grundwasserdruckganglinie. Messzeitintervalle reichen vom Sekundentakt bei Pumpversuchen in gespannten Grundwasserleitern bis zu Einzelmessungen im Abstand von mehreren Monaten in Grundwasserleitern mit langsamen Grundwasserstandsänderungen.

Aus der hydrologisch-wasserwirtschaftlichen Zielstellung leiten sich Argumente für eine manuelle, teilautomatisierte oder voll automatisierte Messung ab. Dabei sind Fragen nach der Art der Messung und der wirtschaftlichen Realisierbarkeit manueller und automatisierter Messungen zu klären. Diese Abwägung ist in jedem Einzelfall eines Messnetzbetriebes gesondert durchzuführen. Das Ergebnis ist vom jeweils aktuellen Stand der Technik und den wirtschaftlichen Randbedingungen bestimmt und ggf. unter sich ändernden Bedingungen zu überprüfen.

9.2.3 Anwendungsbedingungen von Messverfahren

Die Auswahl der für eine automatisierte Messung geeigneter Verfahren und entsprechender gerätetechnischen Lösungen ist von den konkreten Randbedingungen am Messort abhängig. Die Messung des Grundwasserstands in Grundwasserbeobachtungsrohren wird i. Allg. durch folgende Bedingungen an den Grundwassermessstellen bestimmt (DVWK 1994-1):

- Rohrdurchmesser von DN 50 bis DN 150
- hohe Luftfeuchte und Kondenswasserbildung im Grundwasserbeobachtungsrohr
- Temperaturen zwischen + 4 und + 16 °C im Grundwasser und –20 °C bis + 60 °C im Bereich des Messstellenkopfes
- Leitfähigkeit im Grundwasser von ca. 400 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ bis über 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$
- unterschiedlich große Grundwasserflurabstände bzw. Messtiefen unter Messpunkthöhe
- zu messende Druckhöhenunterschiede meist kleiner als 1 bar (bzw. kleiner als 10 m WS),

- Dichte und Temperatur des Grundwassers und des Standwassers im Grundwasserbeobachtungsrohr einschließlich deren zeitabhängigen Änderungen verhalten sich so, dass ihre Einflüsse bei der Umrechnung von Grundwasserstandswerten in Grundwasserdruckhöhen vernachlässigbar sind
- meist keine Anschlussmöglichkeit an ein Stromnetz

Besondere Umfeldbedingungen sind bei der Wahl des Messverfahrens unbedingt zu beachten, wenn

- die zu messenden Druckhöhenunterschiede bzw. Wasserspiegelschwankungen sehr groß werden können (bis etwa 3 bar),
- Dichte und Temperatur des Grundwassers und des Standwassers im Grundwasserbeobachtungsrohr einschließlich deren zeitabhängigen Änderungen sich nicht normal verhalten und bei der Umrechnung von Grundwasserstandswerten in Grundwasserdruckhöhen berücksichtigt werden müssen (in Salinar- und Thermalwässer),
- aufschwimmende fluide Phasen am Messort existieren (z. B. Grundwasserver- schmutzung durch Mineralölkohlenwasserstoffe) und
- bei (ggf. auch zeitweilig) artesisch gespannten Druckverhältnissen das Grundwasser im Messsystem einfrieren kann (Abb. 9-2).

Bei der Anwendung der in Abschnitt 4.5 erwähnten drei Messsysteme sind zur Ermittlung von Grundwasserdruckhöhen folgende Bedingungen und Grenzen zu beachten.

Das **Schwimmersystem** ist

- nur für normale Grundwassereigenschaften (bzgl. Dichte, Temperatur) einsetzbar (s. Abschnitt 9.1, Abb. 9-2),
- für artesische Druckverhältnisse meist nicht einsetzbar,
- für Rohre mit geringem Durchmesser meist ungeeignet (praktikabel ab ca. DN100),
- störanfällig in tiefen Rohren, die nicht lotrecht stehen und in Rohren die nicht durchgängig glatt sind, weil Schwimmer, Gegengewicht und Seile in ihrer freien Beweglichkeit durch Anhaften, Verhaken etc. nicht behindert werden dürfen, wobei mit tief abgehängtem Schwimmersystem (bis 100 m) dem entgegen gewirkt werden kann und
- im Messbereich begrenzt durch die Bewegungsbereiche von Schwimmer und Gegengewicht.

Das **Druckluftsystem** (so genannter pneumatischer Pegel)

- ist beim maximalen Messbereich sowie bei der maximalen Druckhöhe bislang auf 10 m WS bis 13 m WS beschränkt,
- erfordert bei nicht normalen Grundwassereigenschaften (Dichte, Temperatur) die Installation im Bereich der Beobachtungsstelle,
- kann in nicht lotrecht stehende und nicht gerade Rohre eingebaut werden, wenn die Durchgängigkeit des Sondenkörpers gegeben ist,
- sollte betreffend den Datensammler im frostfreien Bereich in die Grundwassermessstelle abgehängt werden,
- ist unempfindlich gegenüber einer möglichen Nullpunkt-Drift, da Atmosphärendruck und Wasserdruck getrennt gemessen werden und die Differenz ausgewertet wird,
- ist für Rohre mit geringem Durchmesser ab DN 25 einsetzbar,

- ist auch bei werkstoffaggressiven Wasserverschmutzungen einsetzbar und
- kann auch in größere Tiefen abgehängt werden.

Die Druckmesssonde

- ist auch für besondere Grundwassereigenschaften (Dichte, Temperatur, werkstoffaggressive Wasserverschmutzungen) einsetzbar, wenn geeignete Geräte verwendet werden und die Installation im Bereich der Beobachtungsstelle erfolgt,
- kann in nicht lotrecht stehende und nicht gerade Rohre eingebaut werden, wenn die Durchgängigkeit des Sondenkörpers gegeben ist.
- ist in Abhängigkeit von der maximal zu erwartenden Messwertschwankung hinsichtlich ihres Messbereiches auszuwählen, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Messunsicherheit vom Messbereich der Druckmesssonde abhängt,
- unterliegt einer physikalisch bedingten Temperatur- und Langzeitdrift, die teilweise bei der Wartung korrigiert werden kann,
- liefert fehlerbehaftete Messwerte, wenn Längungen der Drucksondenkabel mittels Nullpunktgleich nicht korrigiert werden,
- liefert fehlerbehaftete Messwerte, wenn Verschmutzungen der Messzelle mit Kalk, Schlick, Schmutz bei der Wartung nicht entfernt werden,
- kann betriebsunfähig werden, wenn Kondenswasser in der Druckausgleichskapillare infolge von Temperaturunterschieden und Feuchte an der oberen Öffnung der Druckausgleichskapillaren Vereisung und folglich Messunfähigkeit bewirken (Abhilfe z. B. mit ‚Silikagel‘; meist regelmäßige Wartung erforderlich),
- kann betriebsunfähig werden, wenn über die Drucksondenkabel durch Überspannungen Ströme (z. B. infolge Blitzeinwirkung) induziert werden (vor allem bei tiefen Messstellen).

9.3 Grundwasserbeschaffenheit

Zusätzlich zu den im Kapitel 3 formulierten Grundsätzen ist bei einer automatisierten Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit zu berücksichtigen, dass jede Grundwassermessstelle nur einen geringen Ausschnitt des zu überwachenden Kontrollraumes erfasst. Daraus folgt letztlich auch, dass die Vergleichbarkeit zwischen einer nach dem hydraulischen Abbruchkriterium gemäß DVWK-Merkblatt 245 (1997) entnommenen und anschließend im Labor analysierten Grundwasserprobe mit einem mittels in situ Sensortechnik direkt im Grundwasser ermittelten Wert nur unter bestimmten im Weiteren dargestellten Bedingungen gegeben ist (s. Abschnitt 9.3.2). Erst wenn die daraus resultierenden Anforderungen an die Grundwassermessstellen und Datenauswertung geklärt wurden, ist der technische und wirtschaftliche Aufwand einer automatisierten Grundwasserbeschaffenheitsüberwachung begründbar. Das Einsatzgebiet wird sich vor allem auf die entscheidungsorientierte Erfassung kurzzeitig schwankender Konzentrationen, wie sie z. B. in hydraulisch stark beeinflussten Grundwasserleitern, in der Nähe von Vorflutern oder bei in situ Sanierungsmaßnahmen zu erwarten sind, konzentrieren.

9.3.1 Kontrollraum

Der Kontrollraum entspricht der Beobachtungsstelle und bezeichnet den mittels einer Grundwasserprobe oder einer in situ Sensortechnik kontrollierbaren Grundwasserraum.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass der Kontrollraum einer repräsentativen Grundwasserprobe nicht mit dem einer in situ Sensortechnik identisch ist (s. Abb. 9-3). Der mit "Kontrollraum einer Grundwasserprobe = Beobachtungsstelle" bezeichnete und in der Abbildung 9-3 idealisiert dargestellte Ringraum betrifft den Kontrollraum, der mittels Grundwasserprobennahmetechnik gemäß DVWK-Merkblatt 245 (1997) beprobt und analysiert wurde. Dieser Ringraum ist der Kontrollraum, der das Grundwasser repräsentiert, das in den Probennahmegefäßen abgefüllt wurde¹. Wird jedoch ein in situ Sensor verwendet, so reduziert sich der Kontrollraum auf das an der Messfläche des Sensors vorbeiströmende Grundwasser.

Die aus den verschiedenen Kontrollräumen resultierenden Unterschiede in den Messwerten sind in Abbildung 9-4 am Beispiel einer mittels UV-Sensors in situ gemessenen UV-Zeitfunktion in einer vor allem mit PAK kontaminierten Grundwassermessstelle verdeutlicht (LFUG, 2001).

Beispiel:

Im mittleren Filterbereich einer über 2 m verfilterten Grundwassermessstelle wurde neben dem Sensor einer UV-Sonde eine Membranpumpe eingebaut (s. Abb. 9-5). Weiterhin wurde unmittelbar über der Filteroberkante ein Packer angeordnet, um eine durch den Lufteintrag verursachte Veränderung der Wasserbeschaffenheit in der Grundwassermessstelle und deren Abstrombereich zu verhindern. Der in Abbildung 9-4 zum Zeitpunkt 0 zu entnehmende Wert A der UV-Sonde hatte sich nach ca. 4 Wochen eingestellt. Anschließend wurde mittels der Membranpumpe das 1,5-fache Filtervolumen abgepumpt und eine Probe entnommen. Die während dieser Zeit mit einem UV-Sensor aufgenommenen Werte zeigen einen deutlichen und schnellen Anstieg (s. Abb.9-4). Der Wert B ist für den gemäß DVWK 245/1997 erzielten Kontrollraum repräsentativ (klassische Grundwasserprobe). Obwohl der UV-Sensor durch einen Packer von dem im Vollrohrbereich befindlichen Wasser getrennt wurde, ist bis ca. 90 Stunden eine signifikante Abnahme der Messwerte um ca. 12 % festzustellen (Wert C, bezogen auf Wert B), die sich im Weiteren dem Wert A annähern. Im Vergleich der Konzentrationswerte ergibt sich folgender Unterschied:

- Wert A: Σ PAK (EPA): 70 $\mu\text{g/L}$ Σ BTEX: 80 $\mu\text{g/L}$
- Wert B: Σ PAK (EPA): 163 $\mu\text{g/L}$ Σ BTEX: 165 $\mu\text{g/L}$

Die Ursachen der oben dargestellten Unterschiede zwischen einer Grundwasserprobennahme und einer in situ Messung führen zu den nachfolgend benannten Anforderungen beim Einsatz von in situ Sensortechnik in Grundwassermessstellen:

- Es ist zu prüfen, ob messstellenspezifische Effekte (biochemische Prozesse und Adsorption im Filterbereich) dazu führen, dass die tatsächliche Konzentration im Grundwasser nicht wiedergespiegelt wird. In diesem Falle ist zu klären, ob eine Relativwerterfassung die jeweilige Aufgabenstellung erfüllt.
- In jedem Fall sollte zur Vermeidung des Gasaustausches mit der Luft und den daraus resultierenden Beschaffenheitsveränderungen des Wassers in der Grundwassermessstelle ein Packer über dem Filterbereich angeordnet werden.
- Es sollte ausgeschlossen werden, dass vertikal verschiedene Stoffkonzentrationen im verfilterten Bereich die Repräsentativität der mit dem Sensor gemessenen Signale beeinträchtigen. Gegebenenfalls sollten Vorrichtungen zum Erzeugen einer Zwangsdurchmischung des in dem Messstellenfilterbereich befindlichen Wassers installiert werden.

¹ Bei einer Grundwassermessstelle mit 2 m Filterbereich und einem Bohrdurchmesser von 273 mm, die gemäß DVWK-Merkblatt 245 (1997) nach dem 1,5-fach abgepumpten Filtervolumen durch Abfüllen einer 1 L Probennahmeflasche beprobt wurde, beträgt dieser Ringraum ca. 2 bis 3 mm.

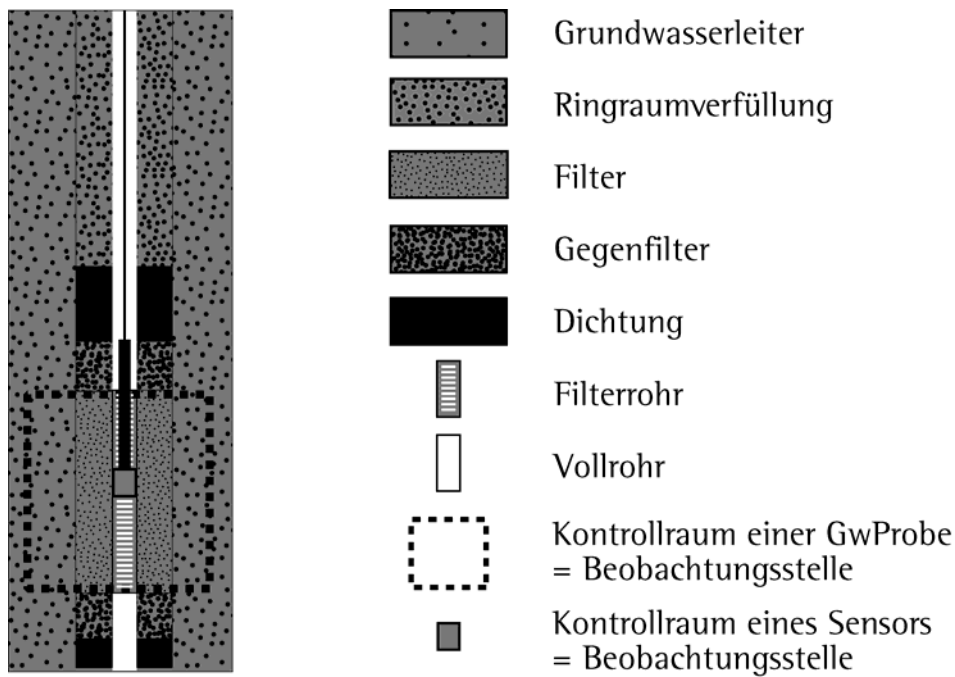


Abb. 9-3: Darstellung der unterschiedlichen Kontrollraumbereiche, die bei einer klassischen Grundwasserprobennahme und mittels in situ Sensortechnik erfasst werden

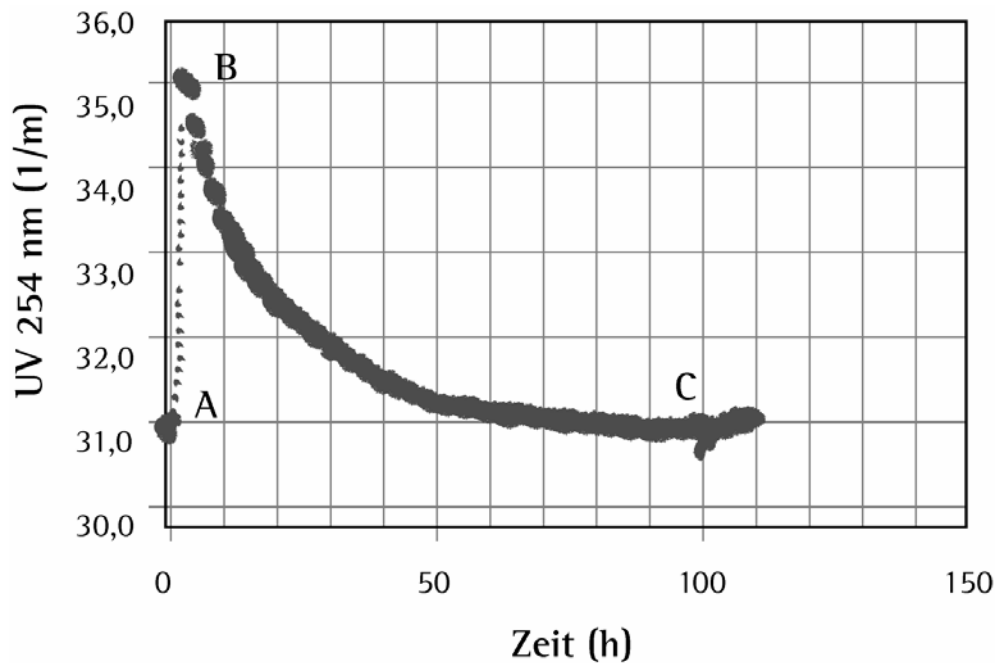


Abb. 9-4: Beispiel einer mittels UV-Sensors in situ gemessenen UV-Zeitfunktion, die mit einer Abpumpphase beginnt. Der Wert B ist für den gemäß DVWK 245/1997 erzielten Kontrollraum repräsentativ (klassische Grundwasserprobe), Wert C repräsentiert den ersten Bereich, in dem sich die Messwerte signifikant verringern; Wert A ist der sich in der Messstelle langfristig einstellende Messwert

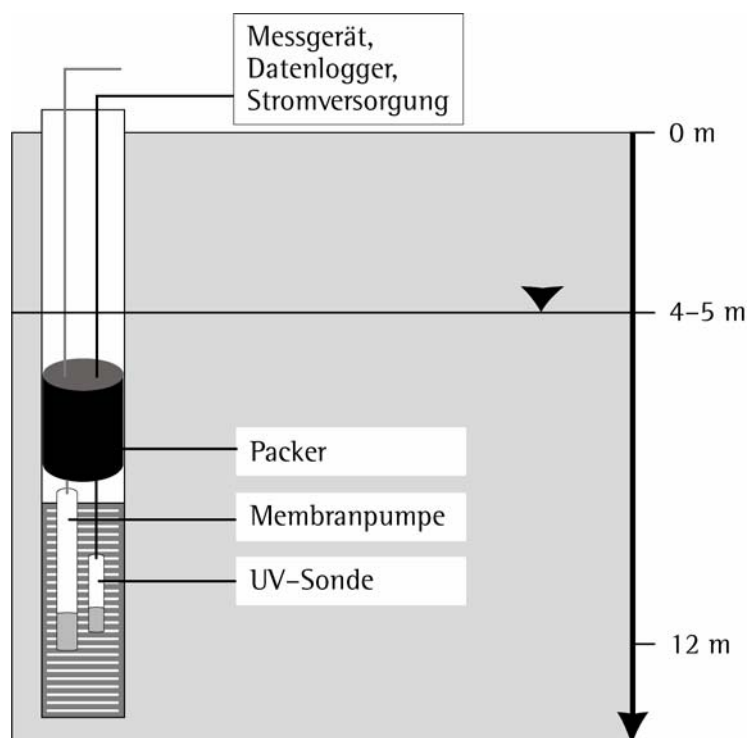


Abb. 9-5: Schematisierte Darstellung des Gesamtsystems

9.3.2 Spezifische Anforderungen an Grundwassermessstellen

Grundwassermessstellen, die mittels üblicher Grundwasserprobennahmen der Beschaffenheitsüberwachung dienen sollen, wurden entsprechend DVGW Regelwerk W 21 ausgebaut und sollen primär die Möglichkeit störungsfreier Grundwasserentnahmen dauerhaft gewährleisten. Insbesondere der Filterausbau orientiert sich an den für Brunnen üblichen Forderungen.

Dem gegenüber ist beim Einsatz von Sensoren zur in situ Messung von Grundwasserbeschaffenheitsmerkmalen im Grundwasserleiter ein möglichst inniger bzw. störungsfreier Kontakt zwischen dem natürlichen Grundwasserleiter an der Beobachtungsstelle und dem Sensor herzustellen. Deshalb sind nach sonst üblichen Kriterien und DVGW-Regelwerk ausgebaute Grundwassermessstellen für den Einsatz von in situ messenden Sensoren meist ungeeignet.

Von bestehenden Grundwassermessstellen, die im Rahmen einer automatisierten Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit verwendet werden sollen, sind vor allem solche besonders geeignet, die folgende Anforderungen erfüllen:

- Messstellengruppen mit kurzen Filterlängen bzw. Filterschüttungen (max. 2 m), die durch Dichtungen begrenzt sind
- geringe Ausbaudurchmesser ($\leq 4''$)
- geringe und konstante Bohrdurchmesser (Grundwassermessstellen, die in Spülbohrungen installiert wurden, erfüllen diese Forderung häufig nicht)
- Verschließbarkeit mittels Packer gegenüber Gasaustausch mit der Atmosphäre

Bei neu zu errichtenden Grundwassermessstellen, die für eine automatisierte Grundwasserüberwachung installiert werden, wird folgendes empfohlen.

- kleiner Ausbaudurchmesser (auf den Sensor bzw. die Reaktionszelle begrenzt)
- kurze Filterlänge (< 2 m)
- Ausbau ohne Filterschüttung
- konstanter Bohrdurchmesser im Filterbereich und nur unwesentlich größer als der Außendurchmesser des Messstellenausbaurohrs
- Verschließbarkeit mittels Packer gegenüber Gasaustausch mit der Atmosphäre

Gegenwärtig sind diese Anforderungen durch folgende technischen Lösungen erzielbar, wobei die Installationskosten unterhalb derjenigen von üblichen Grundwassermessstellen liegen.

- Verrohrte Bohrung mit einem Bohrdurchmesser von ca. Ausbaudurchmesser + ca. 60 mm; gezielte Abdichtung der Filterstrecke (< 2 m) durch Dichtungsdonuts (Geweberringe, die mit Quellon gefüllt sind und über das Ausbaurohr in die zu dichtende Tiefe geschoben werden)
- Ausbau von Drucksondierkanälen bzw. Bohrungen aus Rammkernsondierungen zu Grundwassermessstellen unter Verwendung von Dichtungsdonuts bzw. Verpressung von Dichtungssuspensionen in den entsprechenden Teufen

9.3.3 Einsetzbare Messsysteme

Grundsätzlich sind für eine automatisierte Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit folgende klassische Systeme der Vor-Ort-Analytik (LfUG, 1990) einsetzbar (vgl. auch Abschnitt 4.6):

- Elektrochemische Sensoren zur Bestimmung von Feldparametern und Einzelionen
- optische Messsonden zur Bestimmung von chemischen und biologischen Parametern
- IR-Geräte, vornehmlich zur MKW-Bestimmung
- Fluoreszenzspektrometer mit UV- bzw. Laseranregung zur PAK-Analytik
- Gaschromatographen, HPLC-Geräte
- Röntgenfluoreszenzgeräte zur Elementanalytik
- Passivsammler

Bei der Auswahl der im Rahmen der automatisierten Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit einzusetzenden Geräte sind zusätzlich zu den im Kapitel 3 genannten Kriterien die folgenden zu berücksichtigen:

- Matrixeffekte (insbesondere bei elektrochemischen Sensoren)
- hoher Wartungsaufwand
- Anforderungen an die Probenvorbereitung
- Messdauer
- Aufwand für die Qualitätssicherung (Kalibrierung, Reproduzierbarkeit der Messung und daraus resultierende Anzahl der Messungen / Bestimmungen; ggf. Kalibrierung in verschiedenen Messbereichen)

- Umfang der analytischen Voruntersuchungen, die notwendig sind, um mit der Auswahl des geeigneten Messprinzips und der Messgröße die Kontamination im Grundwasser sowohl hinsichtlich ihrer Konzentration als auch ihrer Zusammensetzung sensitiv kontrollieren zu können

Passivsammler sind eine fachliche und wirtschaftliche Alternative zu den oben genannten klassischen Systemen der Vor-Ort-Analytik (s. Abschnitt 4.6).

Nachteile ergeben sich aus der integralen Erfassung von Werten in Form von Stoffmengen innerhalb eines Zeitraums. Um diese in mittlere Konzentrationswerte zu transformieren, müssen die Wasservolumenströme bekannt sein, die durch den Reaktionsraum des Passivsammlers in der betreffenden Zeit geströmt sind. Daraus resultieren die bereits genannten Anforderungen an die Grundwassermessstellen (s. Abschnitt 9.3.2). Maximalkonzentrationen in Form von Konzentrationspeaks können nur entweder durch häufigeres Wechseln der Passivsammler oder indirekt durch eine modellgestützte Datenauswertung näherungsweise ermittelt werden (s. Abschnitt 9.3.4; Klärung der Frage: Welche Stoffströme müssen gewirkt haben, um die am Passivsammler analysierte Stoffmenge zu erzeugen?). Dies ist mit Hilfe numerischer Modelle zur epignostischen Auswertung der Mengen- und Beschaffenheitsveränderungen im Überwachungsraum möglich.

9.3.4 Möglichkeiten und Grenzen

Im Vergleich zur Automatisierung der Überwachung des Grundwasserstandes wird eine automatisierte Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit mit den klassischen Systemen der Vor-Ort-Analytik und Passivsammlern, nicht zuletzt auf Grund der Anforderungen an die Grundwassermessstellen, auf wenige Grundwassermessstellen begrenzt bleiben. Diese als „Leitsysteme“ zu bezeichnenden Grundwassermessstellen sind im Rahmen der Automatisierung mit numerischen Modellen zur Prognose der Mengen- und Güteveränderungen im zu betrachtenden Überwachungsraum (Grundwasserbereich) konzeptionell zu koppeln. Das Modell sollte stets auf der Grundlage einer Modellvalidierung, die an dem Überwachungsraum durchzuführen ist, ausgewählt werden. Dadurch wird eine belastbare und nachvollziehbare Übertragung (Transformation) der an einzelnen Grundwassermessstellen des „Leitsystems“ ermittelten Daten in den Überwachungsraum möglich. Auf dieser Grundlage sind z. B. folgende Informationen darstellbar bzw. Entscheidungen ableitbar.

- Stets aktuelle räumliche Darstellung der Beschaffenheitssituation im Überwachungsraum
- Entscheidungen zur Entnahme und Analyse von Grundwasserproben aus weiteren zum Überwachungsraum gehörenden Grundwassermessstellen
- Prognose der Beschaffenheitsentwicklung, u. a. zur Beantwortung der Fragestellungen:
 - Beschaffenheitstrend gemäß den Anforderungen aus der EU-Wasserrahmenrichtlinie / Wasserhaushaltsgesetz und den daraus resultierenden Maßnahmen (von der Bewirtschaftung bis zur Sanierung)
 - wann und wo eine Grenzwertüberschreitung zu erwarten und wie dieser entgegen zu wirken ist
 - wo mit einem zunehmenden Trend von Schadstoffen zu rechnen ist und welche Stoffe zu erwarten sind (maßgebend für die Auswahl von Messverfahren)
 - wie Maßnahmen zur Verminderung des Stoffeintrages in den Überwachungsraum (Grundwasserbereich) wirksam werden

10 Glossar

ADCP = (Acoustic Doppler Current Profiler)	Nach dem Dopplerprinzip arbeitendes Ultraschall-Messgerät zur Durchflussmessung bei größeren Wassertiefen. Das Gerät, das üblicherweise an einem Schiff montiert wird, misst vertikale Geschwindigkeitsprofile sowie seine Position im Durchflussquerschnitt.
Beobachtungsstelle	Stelle im Gewässer, auf die sich eine Beobachtung bezieht.
Diversität, diverse Redundanz	Nutzung unterschiedlicher Funktionsprinzipien, z.B. Messprinzipien, zur Vermeidung funktionspezifischen Fehlverhaltens.
Messort	Ort, an dem eine Messung erfolgt (in situ = im Gewässer, on site = beim Gewässer, off site = nicht beim Gewässer).
Messpunkt	Höhenmarke an einer Grundwassermessstelle, von der aus die Höhe der Grundwasseroberfläche ermittelt wird
Messstation	Messstelle, an der sich umfangreiche Messeinrichtungen befinden
Messstelle	Geografischer Ort, an dem ein Gewässer gemessen wird
Kontrollraum	Der mittels einer Grundwasserprobe oder einer In-situ-Messung kontrollierbare Grundwasserraum
Überwachungsraum	Räumliche Ausdehnung des zu beobachtenden Gewässers
Passivsammler	Integrierende Probennahmesysteme, bei denen sich entweder ein Probennahmegefäß aufgrund des Druckgefälles allmählich füllt oder bei dem Wasserinhaltsstoffe aufgrund eines Konzentrationsgradienten angereichert werden
Monitored Natural Attenuation (MNA)	Überwachung des natürlichen Selbstreinigungsvermögens im zu betrachtenden unterirdischen bzw. oberirdischen Gewässer
Epignose	Prozessbezogene Auswertung und Interpretation belastbarer Überwachungsdaten zum Zweck der Prozessidentifikation, Parameterermittlung und Modellverifikation (stochastische bzw. deterministische Modellansätze)
Zielfunktion	Die Zielfunktion (auch als Güte- oder Qualitätsfunktion bezeichnet) stellt die Implementierung des zu lösenden Problems dar. Sie ist eine zu optimierende Funktion, die von den Objektparametern abhängt, die zu quantifizieren sind. Im vorliegenden Fall ist die Zielfunktion die repräsentative Gewässerüberwachung, wobei die Objektparameter (wie Kontrollraum, zeitliche und räumliche Änderung der zu überwachenden Parameter und Kennwerte) im Grundwasserbereich andere als im Oberflächenwasserbereich sind.

11 Literatur

- ADLER, M (1994): „Messungen von Durchflüssen und Strömungsprofilen mit einem Ultraschall-Doppler-Gerät (ADCP), Deutsche Hydrographische Gesellschaft, Information, Heft Nr. 32.
- ATV-DVWK-M 604 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) (2002): Merkblatt ATV-DVWK-M 604 „Messeinrichtungen an Quellen“, Hennef.
- BARCZEWSKI, B., BATEREAU, K., FLACHOWSKY, J., FRANZIUS, V., HEMPEL, M. (2003): Vor-Ort-Analytik für die Erkundung von kontaminierten Standorten, Initiativen zum Umweltschutz, Band 54, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, Berlin 2003, ISBN: 3-503 – 07450 – 3.
- BARCZEWSKI, B., BATEREAU, K., FLACHOWSKY, J., HEMPEL, M., KLAAS, N. (2005): Vor-Ort-Messtechniken zur Standorterkundung – Trends 2004, Initiativen zum Umweltschutz, Band 62, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, Berlin 2005, ISBN: 3-503 – 08737 – 0.
- BAUR, H. (1995): „Feuchte- und Vereisungsprobleme – Vereisungsschutz von Grundwassermessstellen“, DVWK-Materialien Heft 4/1995, S. 71 bis 74, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH (WVGW), Bonn.
- BLW(Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft) (2003): Merkblatt 1.5/1 „Umfang einer „Chemisch-technischen Wasseranalyse“ für die Bearbeitung grund- und trinkwassertechnischer Belange“, München (2003).
- CHRIST, K.; GMEINER, L.; SCHEFFE, M. (2003): Steinbeis Transferzentrum – Industrielle Datenverarbeitung und Automation: Machbarkeitsstudie im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg „Ausfallsichere Datenerfassung und Datenübertragung an Pegeln im extremen Hochwasserfall“, nicht veröffentlichte Untersuchung im Auftrag der LfU, Karlsruhe.
- DIN 4049-3 (Deutsches Institut für Normung e.V.) (1994): Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 16086 (Deutsches Institut für Normung e.V.) (1992): Elektrische Druckmessgeräte; Druckaufnehmer, Druckmessumformer, Druckmessgeräte, Begriffe, Angaben in Datenblättern, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 9000 ff (2000): Qualitätsmanagementsysteme, Beuth Verlag, Berlin.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1994-1): DVWK-Schriften, Heft 107, Teil I. Grundwassermessgeräte zur Ermittlung physikalischer und physio-chemischer Parameter im Grundwasser, Teil II. Datensammler für Grundwassermessung, 241 Seiten, Bezug: <http://www.dvwk.de/>.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1994-2): Bewertung und Auswertung hydrochemischer Grundwasseruntersuchungen; DVWK Materialien 1/1994, Bonn.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1997):DVWK-Merkblatt 245. Tiefenorientierte Probennahme aus Grundwassermessstellen, 16 Seiten, Bonn.

- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1998): DVWK-Materialien 3/1998; Workshop Auswertung digital erfasster Grundwasserdaten – Strategien für die Erfassung, Prüfung, Korrektur und Aufbereitung von Messdaten aus Datensammlern.
- EU (Europäische Union) (2000): „Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften“ vom 22.12.2000.
- INSTITUT FÜR HYGIENE UND UMWELT; HAMBURG (2004): "Entwicklung von Alarmkriterien und Störfallerfassung in Messstationen im Elbeeinzugsgebiet für die internationale Gefahrenabwehrplanung (EASE)-Abschlussbericht zum UBA-Forschungsvorhaben FKZ 200 48 314/02-Teilvorhaben 2, Hamburg.
- JOPPICH; A.; SCHLAPPKOHL F. (1996): Computergestützte Fehlererkennung und Plausibilitätskontrolle bei Grundwasserstandsdaten, Fachliche Berichte HWW 15. Jg. Nr.2.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1987): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 2, Grundwassertemperatur; Woeste Druck und Verlag, Essen.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1988): Anlage A: Richtlinie für den Bau von Pegeln mit Anhang Pegelgeräte, Teil 2: Pegelgeräte; Vertrieb durch LAWA-Geschäftsstelle.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser), (1996): Empfehlungen zum Einsatz von kontinuierlichen Biotestverfahren für die Gewässerüberwachung; Vertrieb durch LAWA-Geschäftsstelle.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1997-1): Pegelvorschrift Stammtext; 4. Auflage; Vertrieb durch LAWA-Geschäftsstelle.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1997-2): Fließgewässer in der Bundesrepublik Deutschland - Empfehlung für die regelmäßige Untersuchung der Beschaffenheit der Fließgewässer in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland-LAWA-Untersuchungsprogramm in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1998): Pegelvorschrift (Empfehlungen), Pegelvorschrift, Anlage D, Anhang II: Messgeräte; Kulturbuchverlag Berlin.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2000): Einsatzmöglichkeiten des Biomonitorings zur Überwachung von Langzeit-Wirkungen in Gewässern.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2002): Arbeitsanleitungen Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg; Bezug: <http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>
- 1 Planung und Bau von Pegeln
 - 2 Pegelbetrieb
 - 3 Aufbereitung von Wasserstandsdaten
 - 4 Durchflussermittlung mit Messflügeln
 - 5 Programm "BIBER"
 - 6 Durchflussermittlung mit der Salzverdünnungsmethode
 - 7 Vom Wasserstand zum Durchfluss

- 8 Unsicherheit von Durchflusswerten
 - 9 Bau und Betrieb von Ultraschall-Durchflussmessanlagen
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2003): „Anlage Anforderungskatalog an Pegelgeräte, Elektroversorgung, Datenerfassung und -übertragung“. Landesanstalt für Umweltschutz (unveröffentlicht).
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2004): „Projekt HPM5: Regeln für die Sensorik und die Gerätemontage“. Landesanstalt für Umweltschutz (internes Projektdokument, unveröffentlicht).
- LfW (Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft) (2001): Grundwasser der unsichtbare Schatz, Reihe: Spektrum Wasser 2, 98 Seiten, Bezug: info@wwa-deg.bayern.de .
- LFUG (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (1999): Materialienband zur Altlastenbehandlung Nr. 1/99, „Vor-Ort-Analytik“, 70 Seiten; Dresden; Bezug: www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/documents/mza1_99.pdf
- LfUG (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (2001), Referat 13; Dresden: F/E-Studie „Messtechnische Überwachung von Altlasten mit Hilfe von in situ-Messungen unter Feldbedingungen auf sensorbasierten Systemen am Beispiel PAK“; bearbeitet von der BGD GmbH, Dresden unter wissenschaftlicher Begleitung der Universität Stuttgart – VEGAS.
- SKOWRONEK, F., GROSSMANN J. (1998): „Grundwasserstandsmessungen in Grundwassermessstellen mit Salzwassereinfluss“; in Fachliche Berichte Hamburger Wasserwerke GmbH, H. 2/1998, Seite 34 – 40.
- VETTER, C.W. (1994): Grundwasserstandsmessungen in Grundwassermessstellen mit Salzwassereinfluss; in Fachliche Berichte Hamburger Wasserwerke GmbH, H. 2/1998, Seite 34 – 40.
- WEISS, H., PTAK, T., BATEREAU, K., BUSCH, K. J., FLACHOWSKY, J. (2005): Innovative Mess- und Überwachungsmethoden (Grundwassermonitoring), Hrsg.: Altlastenforum Baden-Württemberg e.V., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 4/2005. - Nr.: 11 - Seiten: 32 - ISBN: 3-510-39011-3.
- WHO (World Meteorological Organisation) (1980): „Manual of stream gauging“, Vol.1, Field work; Genf.
- WWA Hof (Wasserwirtschaftsamt Hof, Bayern) (2002) Schlussbericht zum Pilotvorhaben für die Wasserstandsmessung an den Pegeln des WWA Hof und des WWA Schweinfurt (internes Projektdokument, unveröffentlicht).
- ZASCHE, W. (1995) : Tiefhängende Potentiometer sowie Winkelkodierer mit Schwimmer, DVWK-Materialien Heft 4/1995, S. 67 bis 70, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH (WVGW), Bonn.