

---

# Untersuchung zur Steigerung der Versorgungssicherheit durch Etablierung eines Online Monitoring Systems zur Echt- zeitüberwachung der Wasser- qualität im Verteilungsnetz

---

Investigation on the improvement of the security of supply through the establishment of an  
online monitoring system for real-time water quality monitoring in the distribution network

Masterthesis von Tobias Kröger

12. Januar 2012



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Endress+Hauser   
People for Process Automation

---

Untersuchung zur Steigerung der Versorgungssicherheit durch Etablierung eines Online Monitoring Systems zur Echtzeitüberwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz.

Investigation on the improvement of the security of supply through the establishment of an online monitoring system for real-time water quality monitoring in the distribution network.

Masterthesis von Tobias Kröger

Matrikel-Nr.: 1690163

Beckstr. 78

64287 Darmstadt

E-Mail: t-kroeger@gmx.net

Eingereicht am 12.01.2012

Technische Universität Darmstadt

Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie

Institut IWAR

Fachgebiet Wasserversorgung und Grundwasserschutz

In Kooperation mit der Fa. Endress + Hauser Conducta GmbH & Co. KG

Siemensstr. 2

64823 Groß-Umstadt

Erstgutachter: Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Wilhelm Urban

Betreuer: Dr.-Ing. Alexander Sonnenburg

---

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Trinkwassergüte und Kontrolle</b> .....	<b>3</b>
2.1. Eigenschaften von Wasser .....	3
2.2. Anforderungen an Trinkwasser .....	4
2.3. Strategien zur Gewährleistung der Trinkwasserqualität.....	5
2.3.1. Probenahme mit Laboruntersuchung.....	6
2.3.2. Water Safety Plan der WHO .....	7
2.4. Online Überwachung im Verteilungsnetz.....	9
<b>3. Anforderungen an die Technologie</b> .....	<b>10</b>
3.1. Erkennen von Kontaminationsereignissen .....	10
3.2. Der US-amerikanische Ansatz.....	12
3.2.1. Aufbau des Warnsystems.....	13
3.2.2. Auswahl der Messparameter .....	14
3.2.3. Das Programm CANARY.....	16
3.2.3.1. Funktionsweise von CANARY.....	16
3.2.3.2. Zuverlässigkeit der Vorhersagen .....	19
3.2.3.3. Leistungsfähigkeit von CANARY.....	21
3.2.4. Kontrolle der Übereinstimmung mit Qualitätsmustern.....	22
3.2.5. Verknüpfung der Ergebnisse mehrerer Messstationen.....	23
3.2.6. Die Software TEVA-SPOT .....	24
3.3. Das Projekt EASE .....	25
3.3.1. Dynamische Auffälligkeitstests .....	26
3.3.2. Der Doppelsigmatetest .....	27
3.3.3. Der Hinkley-Detektor .....	29
3.3.3.1. Der adaptive Hinkley-Detektor.....	30
3.3.3.2. Driftabzug.....	31
3.3.4. Die Steigungsoperatoren-Methode .....	32
3.3.5. Alarmindex .....	34
3.3.6. Bewertung der Auffälligkeitstests .....	34
3.3.7. Offline Modul zur Validierung der Einstellparameter (AI-Viewer) .....	35
3.4. Das SecurEau Projekt .....	36
3.5. Softwarelösungen privater Unternehmen .....	37
3.5.1. BlueBox™ der Firma WhiteWater Security (WWS).....	38
3.5.2. moni::tool™, vali::tool™ & ana::tool™ der Firma s::can .....	40

3.6. Messtechnik .....	43
3.6.1. Anforderungen an Sonden .....	43
3.6.2. Online Multiparametersonden .....	44
<b>4. Versuchsdurchführung .....</b>	<b>48</b>
4.1. Versuchsaufbau .....	48
4.2. Getestete Verunreinigungen .....	49
4.2.1. Huminstoffe .....	49
4.2.2. Oberflächenwasser .....	50
4.2.3. Abwasser .....	51
4.2.4. Eisen(III)-chlorid .....	51
4.3. Versuchsablauf .....	52
4.4. Darstellung der Ergebnisse .....	53
4.4.1. Huminsäure .....	56
4.4.2. Oberflächenwasser .....	58
4.4.3. Abwasser .....	59
4.4.4. Eisen(III)-chlorid .....	61
4.5. Bewertung der Versuchsergebnisse .....	62
<b>5. Auffälligkeitsuntersuchung mit der Software IT SEES .....</b>	<b>64</b>
5.1. Bestimmung der Einstellparameter für die Auffälligkeitstests .....	64
5.2. Qualitätsdaten der Versuchsdurchführung .....	65
5.2.1. Auffälligkeitsuntersuchung für die Trübung .....	65
5.2.2. Auffälligkeitsuntersuchung für den SAK-Wert bei 254 nm .....	67
5.2.3. Auffälligkeitsuntersuchung für die Leitfähigkeit .....	68
5.2.4. Auffälligkeitsuntersuchung für das Redoxpotential .....	70
5.2.5. Bewertung der Ergebnisse .....	71
5.3. Qualitätsdaten der Wasserversorgung Bayerischer Wald (WBW) .....	73
5.3.1. Beschreibung der Messstelle .....	74
5.3.2. Verlauf der aufgenommenen Parameterwerte .....	74
5.3.3. Simulation von Verschmutzungsereignissen .....	77
5.3.4. Ergebnisse der Auffälligkeitserkennung für die simulierten Ereignisse .....	79
5.4. Bewertung des Programms IT SEES .....	81
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>85</b>
Anhang A: Produktdatenblatt Huminsäure Natriumsalz der Fa. Carl Roth .....	88
Anhang B: Sicherheitsdatenblatt Eisen(III)-chlorid .....	89
Anhang C: Ergebnisse der Trinkwasseranalyse aus Groß-Umstadt vom 19.10.2010 ...	95
Anhang D: Ergebnis der Trinkwasseranalyse der TWA Flanitz vom 14.06.2011 .....	98
Anhang E: Übersichtslageplan des Versorgungsgebietes der WBW mit Darstellung des Fließweges zum HB Rathsmannsdorf .....	105

---

Literaturverzeichnis.....	106
Erklärung zur Masterthesis gemäß § 23, Abs. 7 APG.....	112

---

---

## Abbildungsverzeichnis

---

Abb. 2.1:	Größenstruktur der Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland (Stand 2007) mit Angabe der routinemäßig zu untersuchenden Proben im Jahr (Werte in Klammern geben die Menge der umfassenden Untersuchungen an), verändert nach [2] und [14]..	6
Abb. 3.1:	natürliche Hintergrundschwankungen der Wasserqualität (blau) mit Überlagerung eines Kontaminationsereignisses (violett), übersetzt nach [69] .....	11
Abb. 3.2:	Schematische Darstellung der Veränderungen drei verschiedener Wasserqualitätsparameter über die Zeit (gestrichelte Linie repräsentiert die Grenzwerte zur Alarmauslösung), übersetzt nach [69].....	11
Abb. 3.3:	Änderung der Wasserqualität durch Änderung der Betriebsbedingungen [69].....	12
Abb. 3.4:	Aufbau des Contamination Warning System (CWS) der US-EPA, übersetzt nach [71] ....	14
Abb. 3.5:	Einzelschritte der Ereignisuntersuchung durch CANARY mit 1) Abschätzung, 2) Vergleich, 3) Differenzbeurteilung und 4) Wahrscheinlichkeitsberechnung, übersetzt nach [69].....	17
Abb. 3.6:	Gemessener (blaue Linie) und erwarteter (rosa Linie) Chlorgehalt einer Überwachungsstation für einen Zeitraum von 6 Stunden (180 Zeitschritte, Intervalllänge 2 Minuten), übersetzt nach [69]. .....	20
Abb. 3.7:	Gemessener (blaue Linie) und erwarteter Chlorgehalt (rosa Linie) sowie Residuen (graue Linie) in normalisierter Form, übersetzt nach [69].....	20
Abb. 3.8:	Fließschema der TEVA-SPOT Software, übersetzt nach [67] .....	24
Abb. 3.9:	Auffälligkeitserkennung durch den Doppelsigmatest für eine Messreihe (Trübung); graue Punkte: Einzelmesswerte; graue Linie: Fitkurve; rosa Linie: untere Sigmagrenze; orange Linie: obere Sigmagrenze; oranger Bereiche auf der Fitkurve: Überschreitung der oberen Sigmagrenze [35].....	28
Abb. 3.10:	Auffälligkeitserkennung durch den Doppelsigmatest für eine Messreihe der Trübung, grüne Linie: Mindestabweichung [35]. .....	29
Abb. 3.11:	Prinzip des Hinkley-Detektors nach [35].....	30
Abb. 3.12:	Beispiel eines Driftabzugs; die obere Kurve zeigt eine steigende, mit einer Sinusfunktion überlagerte Form. In der unteren Kurve wurde die langsame Drift herausgerechnet, der sinusförmige Anteil bleibt bestehen (in vergrößertem Maßstab). Der Driftabzug verursacht bei diesem Beispiel eine leichte Phasenverschiebung [35]. ....	32
Abb. 3.13:	Datenreihe mit berechneter Regressionsgerade (rote Linie), um langfristige Veränderungen zu detektieren; dunkel unterlegter Teil: betrachtetes Intervall für die Berechnung der Steigung; grüne Gerade c: Steigungsgrenze zum Erkennen langsamer Veränderungen (Steigungsgrenze 2), nach [35] .....	33
Abb. 3.14:	Datenreihe mit berechneter Regressionsgerade (rote Linie), um kurzfristige Veränderungen zu detektieren; dunkel unterlegter Teil: betrachtetes Intervall für die Berechnung der Steigung; violette Gerade a: Steigungsgrenze zum Erkennen kurzfristiger Veränderungen (Steigungsgrenze 1), nach [35].....	33
Abb. 3.15:	Darstellung eines Ereignisses mit dem AI-Viewer mittels Doppelsigmatest (AI: Alarmindex; TB: Trübung; pH: pH-Wert; O2: Sauerstoffgehalt; LF: elektrische Leitfähigkeit) nach [35]. .....	35
Abb. 3.16:	Aufbau des SecurEau Projekts, übersetzt nach [58].....	37

Abb. 3.17: Häufigkeitsverteilung der Punktabstände im betrachteten Zeitfenster, übersetzt nach [55].	39
Abb. 3.18: Häufigkeitsverteilung der neuen Punktabstände im Vergleich zum vergangenen Zeitfenster (keine Auffälligkeit), übersetzt nach [55].	40
Abb. 3.19: Häufigkeitsverteilung der neuen Punktabstände im Vergleich zum vergangenen Zeitfenster (festgestelltes Ereignis), übersetzt nach [55].	40
Abb. 3.20: Oberfläche des moni::tools <sup>TM</sup> des Herstellers s::can (links: Darstellung der Parameterwerte [52]; rechts: Überblick des Stationsstatus [72])	41
Abb. 3.21: Untersuchungsumfang zur Validierung der Rohdaten beim vali::tool <sup>TM</sup> des Herstellers s::can Messtechnik GmbH, übersetzt nach [72]	41
Abb. 3.22: Arten der Auffälligkeitsuntersuchung beim ana::tool <sup>TM</sup> des Herstellers s::can Messtechnik GmbH, übersetzt nach [53]	42
Abb. 3.23: Marktübersicht von chemischen online Multiparametersonden (Stand: Oktober 2010) nach [48].	44
Abb. 4.1: Aufbau des Testpanels in Groß-Umstadt	49
Abb. 4.2: Zeitliche Entwicklung des Rohrmaterialbestandes, verändert nach [46]	52
Abb. 4.3: Qualitätsdaten des Trinkwassers aus Groß Umstadt (Auszug für zwei Tage)	54
Abb. 4.4: Änderung der Qualitätsdaten während des gesamten Versuchszeitraums	54
Abb. 4.5: Berechnung der mittleren Änderungen infolge der Schadstoffzugabe (idealisierte Darstellung der an den Sensoren vorbeiströmenden Schadstoffwelle).	55
Abb. 4.6: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Huminsäure (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Huminsäure an)	57
Abb. 4.7: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Oberflächenwasser (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Oberflächenwasser an) ...	59
Abb. 4.8: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Abwasser (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Abwasser an)	60
Abb. 4.9: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Eisen(III)-chlorid (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Eisen(III)-chlorid an).....	62
Abb. 5.1: Anwendung des Hinkley-Detektors für die Trübung bei Zugabe von Eisen(III)-chlorid zum Trinkwasser aus Groß-Umstadt (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Oberflächenwasser an, rot umkreiste Bereiche wurden nicht erkannt).....	66
Abb. 5.2: Anwendung des Hinkley-Detektors für den Parameter SAK 254	68
Abb. 5.3: Anwendung des driftbereinigten Doppelsigmatests für die Leitfähigkeit der Versuchsdaten aus Groß-Umstadt (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Oberflächenwasser an; rot umkreister Bereich wurde nicht erkannt).....	69
Abb. 5.4: Anwendung des Hinkley-Detektors für das Redoxpotential der Versuchsdaten aus Groß-Umstadt (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Abwasser an)	70
Abb. 5.5: Lage des Versorgungsgebietes WBW innerhalb Bayerns [74].	73
Abb. 5.6: Aufbau des Testpanels im HB Rathsmannsdorf	74

---

Abb. 5.7: Verlauf der im HB Rathsmannsdorf aufgenommenen Parameterwerte (Darstellung mit Hilfe der Software IT SEES; die Trübungswerte wurden durch den Faktor Hundert dividiert) .....	76
Abb. 5.8: Ermittlung von $p(t)$ als Indikator für die Stärke eines Ereignisses zur Abbildung einer zu- und abfließenden Schadstoffwelle.....	78
Abb. 5.9: Anwendung der Software IT SEES (Hinkley-Detektor) auf die simulierten Ereignisse im Simulationszeitraum (eine Woche) .....	81
Abb. 5.10: Anzeige von Fehlstellen bei der Software IT SEES am Beispiel der Leitfähigkeit.....	83

---

---

## Tabellenverzeichnis

---

Tab. 2-1: Inhaltsstoffe natürlicher Wässer [46] .....	3
Tab. 3-1: Kontaminationsklassen der US-EPA, übersetzt nach [71] .....	15
Tab. 3-2: Bewertung der abgebildeten Parameter von verfügbaren chemischen online Multiparametersonden, übersetzt nach [48]. .....	45
Tab. 3-3: Bewertung der Anschaffungskosten und der Installationstiefe von verfügbaren chemischen online Multiparametersonden, übersetzt nach [48]. .....	45
Tab. 3-4: Gesamtergebnis der untersuchten chemischen online Multiparametersonden, übersetzt nach [48]. .....	46
Tab. 4-1: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Huminsäure .....	56
Tab. 4-2: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Oberflächenwasser .....	58
Tab. 4-3: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Abwasser .....	60
Tab. 4-4: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Eisen(III)-chlorid .....	61
Tab. 5-1: Ergebnisse der Auffälligkeitsuntersuchung für die Trübung .....	66
Tab. 5-2: Ergebnisse der Auffälligkeitserkennung für den Parameter SAK 254 .....	67
Tab. 5-3: Ergebnisse der Auffälligkeitsuntersuchung für die Leitfähigkeit .....	69
Tab. 5-4: Ergebnisse der Auffälligkeitsuntersuchung für das Redoxpotential .....	70
Tab. 5-5: Gesamtergebnis der Auffälligkeitsuntersuchung für die Qualitätsdaten der Versuchsdurchführung in Groß-Umstadt .....	71
Tab. 5-6: Anwendung der dynamischen Auffälligkeitstests des Programms IT SEES für die Versuchsdaten aus Groß-Umstadt (grün unterlegte Änderungen wurden von dem jeweiligen Test erkannt, rot unterlegte Änderungen wurden nicht erkannt, weiße Bereiche haben zu keiner Reaktion des entsprechenden Parameters geführt). .....	72
Tab. 5-7: Mittelwerte und eingestellte Maximalwerte bei der Simulation .....	78
Tab. 5-8: Gewählte Einstellparameter des Hinkley-Detektors für die modifizierten Qualitätsdaten des HB Rathsmannsdorf. ....	79
Tab. 5-9: Ergebnisse der Anwendung des Hinkley-Detektors für die simulierten Ereignisse, (grün unterlegte Änderungen wurden erkannt, rot unterlegte Änderungen nicht) .....	80
Tab. 5-10: Anforderungen an eine Software zur automatisierten Auswertung von Messdaten für die online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz und Überprüfung der Umsetzung in gegenwärtig bestehenden Softwarelösungen .....	84

---

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

a. a. R. d. T.	Allgemein anerkannte Regeln der Technik
CWS	Contamination Warning System der US-EPA
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
E+H	Fa. Endress + Hauser Messtechnik GmbH & Co. KG
GSM	Art der kabellosen Datenübertragung (Global System for Mobile Communication)
HB	Hochbehälter
SAK 254	Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TOC	Gehalt organischen Kohlenstoffs (Total Organic Carbon)
TWA	Trinkwasseraufbereitungsanlage
US-EPA	Umweltbehörde (Environment Protection Agency) der Vereinigten Staaten von Amerika
WBW	Wasserversorgung Bayerischer Wald
WCEC4	4. Konferenz zum Thema Sicherheit in der Wasserversorgung (Water Contamination Emergeny Conference) vom 11. – 13.10.2010 in Mühlheim an der Ruhr
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation) der Vereinten Nationen
WVU	Wasserversorgungsunternehmen
WWS	WhiteWater Security Ltd. (Unternehmen in Israel)

---

## 1. Einleitung

---

Die Versorgung der Bevölkerung mit ausreichend sauberem Trinkwasser ist seit jeher eine der wichtigsten Aufgaben der Daseinsvorsorge. Anders als andere Versorgungsgüter ist Wasser dabei eine Verbindung, die mit dem Großteil aller Stoffe auf der Erde reagieren oder diese lösen kann. So liegt Wasser in der Natur nie chemisch rein vor, sondern enthält immer auch gewisse Anteile verschiedenster Substanzen. Zur Eignung als Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch sind die meisten Inhaltsstoffe jedoch in engen Grenzen zu halten, sodass in der Regel eine Aufbereitung erforderlich ist. Zur Gewährleistung einer im Sinne der Qualität zu jeder Zeit sicheren Trinkwasserversorgung sind in der Vergangenheit verschiedene Vorschriften, Regelungen und Empfehlungen entwickelt worden. Sie beinhalten neben technischen Anforderungen an Betriebe auch Haftungsfragen sowie die Aufstellung von Managementplänen zur Risikoanalyse und –beherrschung im Versorgungsgebiet. Aufgrund der umfangreichen Regelungen und des hohen Stands der Technik sind Katastrophen im Trinkwasserbereich, zumindest in Industrienationen heute glücklicherweise selten. Wenn sie jedoch auftreten sind die gesundheitlichen und finanziellen Konsequenzen meist von großem Ausmaß. Aus diesem Grund tragen die Versorgungsunternehmen bei der Gewährleistung der Qualität eine große öffentliche Verantwortung. Das Ziel sollte folglich darin bestehen durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung aller Prozesse das Entstehen jedweder Katastrophen zu verhindern. Damit mögliche Gefahren erfolgreich abgewehrt werden können ist dabei stets schnelles und rechtzeitiges Handeln erforderlich. Voraussetzung hierfür ist zunächst die Erkennung des Störfalls, die Ermittlung des Ausmaßes sowie die Benachrichtigung der zuständigen Stellen.

Die Überwachung der Wasserqualität basiert heute im Wesentlichen auf einem System, welches dem Versorger auferlegt anhand von Wasseranalysen (Probenahme mit Laboruntersuchung) die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben nachzuweisen. Ein großes Problem bei dieser Art der Überwachung ist, dass die Endproduktkontrolle keinen Frühwarncharakter aufweist. So wurde aufgrund der aufwendigen und zum Teil langwierigen Analyseverfahren bereits viel Wasser getrunken, wenn die Messergebnisse vorliegen. Trotz detaillierten und zumindest in Industrienationen dem aktuellen Stand der Technik kontinuierlich angepassten Regelungen sind in der Vergangenheit wiederholt Menschen durch verunreinigtes Trinkwasser krank geworden oder sogar gestorben, weil die Verunreinigungen erst zu spät festgestellt wurden. Dies ist z. B. Ende März 1993 in der US-amerikanischen Stadt Milwaukee (403.000 Erkrankte, 104 Todesopfer), im Mai 2000 in der kanadischen Stadt Walkerton (mehr als 2.500 Erkrankte, 7 Todesopfer) oder im November 2007 in der finnischen Stadt Nokia (mehr als 8.000 Erkrankte) geschehen [18, 20, 47]. Die Geschichte zeigt also, dass neben bestehenden Regelungen zur Gewährleistung der Trinkwasserqualität erweiterte Kontroll- und Überwachungsansätze notwendig sind, die im Falle einer Verunreinigung noch ausreichend Zeit bieten den Endverbraucher effektiv zu schützen. Das Ziel solcher Ansätze sollte folglich darin bestehen die Zeit zwischen dem Entstehen von Störfällen und deren Erkennung zwecks Einleitung entsprechender Gegenmaßnahmen zu verkürzen.

Die Gefahr für die Versorgungssicherheit ließe sich durch ein vernetztes System zur automatischen Identifizierung von Verunreinigungen in Echtzeit wesentlich reduzieren. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll aus diesem Grund untersucht werden, inwieweit der Aufbau von Monitoringstationen mit einer online Überwachung der Wasserqualität im Versorgungsnetz dieser Aufgabe gerecht werden kann. Dabei handelt es sich grundsätzlich um ein System, das

---

durch automatische Messungen Auffälligkeiten zunächst erkennen kann, diese im Folgenden als natürlich oder ereignisbehaftet bewertet und abschließend eine Alarmentscheidung trifft. Das Ziel ist somit die Ermittlung eines Alarmwertes und nicht die Kenntnis der genauen Wasserqualität.

Die Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel. Abschnitt zwei behandelt zunächst allgemeine Grundlagen über die Eigenschaften von Wasser, die Anforderungen an Trinkwasser sowie die gegenwärtig bestehenden Strategien zur Gewährleistung der Trinkwasserqualität. In Kapitel drei werden anschließend die Anforderungen an die Technologie sowie der aktuelle Stand der Forschung und Entwicklung in diesem Bereich beschrieben. Hierzu erfolgt eine Vorstellung bisher durchgeführter nationaler wie internationaler Projekte und deren Ergebnisse im Zuge der Technologieentwicklung. Ziel ist neben der Erkennung von Voraussetzungen auch das Aufzeigen des momentanen Weiterentwicklungsbedarfs, damit sich das System erfolgreich am Markt etablieren kann. Nach diesem Überblick wird ein Aspekt der Technologie, nämlich die automatische Analyse und Interpretation der Messdaten näher betrachtet. Hierzu werden im Abschnitt vier anhand von Versuchen zunächst gezielt Verunreinigungen zum Trinkwasser beigegeben und die sich ändernden Parameter bestimmt. Anschließend erfolgt in Kapitel fünf die Anwendung einer kommerziell verfügbaren Software zur Datenanalyse. Deren Leistungsfähigkeit wird einerseits anhand der zuvor ermittelten Versuchsdaten und andererseits anhand von Qualitätsverläufen eines großen deutschen Wasserversorgers bestimmt. Aufgrund dieser Untersuchung ist es schließlich möglich die betrachtete Software hinsichtlich ihrer Eignung zur online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz zu bewerten und einen Anforderungskatalog an derartige Programme zu erarbeiten. Kapitel sieben fasst die Ergebnisse abschließend zusammen.

## 2. Trinkwassergüte und Kontrolle

### 2.1. Eigenschaften von Wasser

Wasser ist allgemein eine chemische Verbindung, die aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen besteht. Geometrisch stehen die Wasserstoffatome in einem Winkel von etwa  $105^\circ$  zueinander. Durch diesen nicht zentralsymmetrischen Aufbau fallen die Schwerpunkte der beiden positiven und negativen elektrischen Ladungen nicht zusammen und es entsteht ein permanenter Dipol. Auf diesem Dipolcharakter beruht die ausgeprägte Neigung des Wassers mit anderen Stoffen zu reagieren. Für viele Substanzen wie Salze, Flüssigkeiten oder Gase ist Wasser damit ein hervorragendes Lösungsmittel. Auch mit sich selbst reagiert Wasser zu einem geringen Teil durch Aufspaltung des Wassermoleküls in Hydronium- und Hydroxidionen (Eigendissoziation des Wassers).

Tabelle 2-1: Inhaltsstoffe natürlicher Wässer [46]

Lösungssystem	echte Lösung				kolloide Lösung	Suspension
Lösungsform	molekular dispers				kolloid dispers	grob dispers
häufigster Teilchendurchmesser	$10^{-10}$ bis $10^{-8}$ m				$10^{-9}$ bis $10^{-7}$	$> 10^{-7}$
	Elektrolyte		Nichtelektrolyte			
	Kationen	Anionen	Gase	sonstige		
<b>Hauptinhaltsstoffe</b> häufig > 10 mg/l	Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> Mg <sup>2+</sup> Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	O <sub>2</sub> N <sub>2</sub> CO <sub>2</sub>	Kieselsäure SiO <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O		Tone, Feinsande, organische Bodenbestandteile
<b>Begleitstoffe</b> meist < 10 mg/l häufig > 0,1 mg/l	Fe <sup>2+</sup> Mn <sup>2+</sup>  NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup> AlOH <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup> , J <sup>-</sup> Br <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> HBO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S NH <sub>3</sub>  CH <sub>3</sub> He	Organische Verbindungen (Stoffwechselprodukte), Huminstoffe	Oxidhydrate von Metallen, z. B. von Fe, Mn; Kieselsäure u. Silicate, Huminstoffe	Oxidhydrate von Fe u. Mn, Öle, Fette, sonstige organische Stoffe
<b>Spurenstoffe</b> häufig < 0,1 mg/l	Li <sup>+</sup> , Ba <sup>2+</sup> Cu <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> Zn <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup>	HS <sup>-</sup> Arsenat	Rn			und sonstige anorganische und organische Spurenstoffe

Aufgrund der besonderen Lösungseigenschaften des Wassermoleküls kommt chemisch reines Wasser in der Natur nicht vor. Die Hauptinhaltsstoffe mit Konzentrationen von 10 bis 100 mg/L bilden dabei die Kationen Natrium Na<sup>+</sup>, Kalium K<sup>+</sup>, Calcium Ca<sup>2+</sup> und Magnesium Mg<sup>2+</sup> sowie die Anionen Hydrogenkarbonat HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Chlorid Cl<sup>-</sup>, Nitrat NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und Sulfat SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Vereinzelt können Stoffe wie Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Eisen Fe (II und III), Mangan Mn (II), Barium Ba<sup>2+</sup> und Bromid Br<sup>-</sup> in Konzentrationsbereichen von mg/L vorkommen. Alle anderen anorganischen Stoffe treten in der Regel in Konzentrationen von µg/L oder darunter auf. Oberflächennahe Gewässer enthalten darüber hinaus hohe Anteile an gelösten Bestandteilen der Luft (Stickstoff N<sub>2</sub>, Sauerstoff O<sub>2</sub> und Kohlensäure CO<sub>2</sub>) sowie feine Feststoffe (mineralische Partikel, Algen, Plankton). Wässer aus tieferen Schichten sind hingegen meist sauerstoffarm und

---

weisen höhere Konzentrationen an Eisen und Mangan sowie gegebenenfalls an Ammonium und Schwefelwasserstoff auf. In alten Gebirgen ist zudem häufig mit Radon zu rechnen, welches jedoch leicht ausgast. Die organischen Inhaltsstoffe, gemessen als organischer Kohlenstoff, betragen in der Summe meist einige mg/L, wobei die einzelnen Verbindungen selbst im  $\mu\text{g/L}$ -Bereich vorliegen. Tabelle 2-1 zeigt eine Übersicht der in natürlichen Wässern vorkommenden Inhaltsstoffe.

Von besonderer Bedeutung sind gegenwärtig Inhaltsstoffe wie halogenierte Kohlenwasserstoffe (erfasst als AOX), hydrophile organische Schwefelverbindungen IOS, Pestizide (Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel) sowie Nitrat (hauptsächlich aus der landwirtschaftlichen Düngung). Auch Arzneimittel, Hormone und Kosmetika sind zunehmend in den öffentlichen Fokus geraten, nachdem messbare Rückstände in Gewässern nachwiesen wurden. So können in stark durch Abwässer belasteten Gewässern Konzentrationen bis in den  $\mu\text{g/l}$ -Bereich vorkommen, wobei im Trinkwasser vereinzelt Spuren im ng/l-Bereich (ohne gesundheitliche Relevanz) gemessen wurden [46].

## 2.2. Anforderungen an Trinkwasser

Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel für den Menschen und kann anders als die meisten anderen Güter durch nichts ersetzt werden. Von daher gehört es, zumindest in Deutschland, zu den am besten überwachten und in Bezug auf den Verbraucherschutz sichersten Lebensmitteln [54]. Als Trinkwasser wird allgemein ein Wasser bezeichnet, das für den menschlichen Gebrauch geeignet ist. Es soll unbedenklich ein Leben lang trinkbar sein. Aufgrund der hervorragenden Lösungseigenschaften von Wasser sind jedoch oft Stoffe vorhanden bei deren Genuss eine Schädigung der menschlichen Gesundheit einhergeht. Aus diesem Grund ist vor der Verwendung als Trinkwasser meist eine Aufbereitungsstufe zur Entfernung unerwünschter Inhaltsstoffe erforderlich. Zu beachten ist jedoch, dass destilliertes Wasser auf der anderen Seite für den Menschen ebenso ungeeignet ist wie kontaminiertes Wasser, da es den Körper auf lange Sicht entmineralisiert. Insofern sind Menschen physiologisch auf ein Wasser angewiesen, das gewisse Anteile an gelösten Inhaltsstoffen enthält.

Heute sind in der Natur kaum Wässer vorhanden, die für eine Trinkwasserversorgung ohne Aufbereitung verwendet werden können. Eine Aufbereitung kann dabei einerseits aus gesundheitlichen bzw. hygienischen Aspekten (Fremdstoffe, Schadstoffe, mikrobiologische Belastung) und andererseits aus ästhetischen Gründen (fremde Gerüche, Geschmacksstoffe, Färbungen) notwendig werden. Darüber hinaus ist eine Aufbereitung sinnvoll, wenn Stoffe enthalten sind, die sich auf die weitere Verwendung nachteilig auswirken (z.B. hohe Härtegrade, Eisen- und Mangangehalte) oder sekundäre Verunreinigungen (Korrosion) hervorrufen. Grundsätzlich hat die Wasseraufbereitung Einsatz- und Leistungsgrenzen. Sie soll zudem nicht die Aufgabe des Umwelt- und Gewässerschutzes ersetzen. Aus diesem Grund gilt in Deutschland das Prinzip des vorsorgenden Grundwasser- und Gewässerschutzes (Wasserhaushaltsgesetz und Europäische Wasserrahmenrichtlinie).

Zur Gewährleistung einer für den Menschen ungefährlichen Trinkwasserqualität wurden gesetzliche Bestimmungen erlassen, die die maximale Konzentration von Inhaltsstoffen regeln und überwachen. In der europäischen Union dient die „Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ [29] als Grundlage für nationale Trinkwasserregelungen. Deren Umsetzung stellt in Deutschland die

---

„Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001“ [9] dar. Diese wurde durch die am 1. November 2011 in Kraft getretene „Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung“ [14] erstmalig novelliert. Allgemein werden in der TrinkwV Anforderungen über die Beschaffenheit und Aufbereitung von Wasser, die Pflichten der Wasserversorger sowie die Überwachung des Trinkwassers detailliert geregelt. In die seit dem 01.11.2011 geltenden neuen TrinkwV sind neben neuen Definitionen zur Beseitigung bestehender Unklarheiten vor allem neueste wissenschaftliche Erkenntnisse eingeflossen. Erstmals wird dabei ein Grenzwert für Uran im Trinkwasser mit 0,01 mg/L festgelegt. Deutschland ist damit das einzige Mitgliedsland innerhalb der europäischen Union mit einem Grenzwert für Uran sowie der Staat mit dem weltweit schärfsten Grenzwert [15]. Neu sind auch die umfassenden Regelungen für Legionellen in der Hausinstallation. Hierfür wird ein sogenannter technischer Maßnahmenwert (100 Legionellen je 100 Milliliter Trinkwasser) eingeführt und im Bedarfsfall sind eine Ortsbesichtigung sowie eine Gefährdungsanalyse vorgeschrieben. Zudem wird die neue Verordnung für gewerbliche Vermieter und Betreiber von öffentlichen Gebäuden wesentlich schärfer. So droht bei Nichtbeachtung der Vorschriften ein Bußgeld und sofern dadurch Krankheitserreger im Sinne des Infektionsschutzgesetzes verbreitet werden hat dies sogar strafrechtliche Konsequenzen. Bei den chemischen Parametern wurden weitestgehend keine Änderungen vorgenommen, allerdings erfolgten für Cadmium, die elektrische Leitfähigkeit sowie für Sulfat geringfügige Anpassungen [15].

### **2.3. Strategien zur Gewährleistung der Trinkwasserqualität**

Zur Gewährleistung einer im Sinne der Qualität zu jeder Zeit sicheren Trinkwasserversorgung bestehen heute verschiedene Vorschriften, Regelungen und Empfehlungen. Diese betreffen zunächst den Aufbereitungsprozess selbst sowie die mit Wasser in Kontakt stehenden technischen Einrichtungen wie Rohrleitungen und Armaturen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass einerseits das aufbereitete Wasser den gesetzlichen Anforderungen genügt und andererseits keine nachteiligen Veränderungen durch zeitliche oder qualitative Wechselwirkungen auf dem Weg zum Endverbraucher entstehen. Grundlage hierfür sind in Deutschland die bereits angesprochene Trinkwasserverordnung sowie die von den Wasserverbänden erarbeiteten allgemein anerkannten Regeln der Technik als Maßstab für technisch korrektes Handeln (vgl. § 4, Nr. 1, Satz 3 TrinkwV [14]). International bestehen ähnliche Vorschriften, wobei deren Ausprägung in der Regel vom finanziellen Reichtum und Entwicklungsstand des jeweiligen Landes abhängig ist. In diesem Zusammenhang sind z. B die Leitlinien der Weltgesundheitsorganisation (Guidelines for Drinking-water Quality) zu nennen. Diese stellen die Basis für internationale Standards dar und sollen Ländern als Grundlage für die eigene Gesetzgebung dienen.

Neben technischen Regelungen bestehen heute im Wesentlichen zwei Ansätze bzw. Strategien zur Gewährleistung einer sicheren Trinkwasserversorgung: Einerseits die Qualitätsüberwachung durch Probenahme und anschließende Laboruntersuchung und andererseits das risiko-basierte und prozessorientierte Managementsystem (Water Safety Plan) der Weltgesundheitsorganisation WHO.

### 2.3.1. Probenahme mit Laboruntersuchung

Die Wasseranalytik mit Probenahme und Laboruntersuchung ist seit jeher das wichtigste Instrument zur Beurteilung und Überwachung der Wasserqualität. In Deutschland sind die gesetzlichen Bestimmungen zu deren Umfang und Häufigkeit innerhalb der Trinkwasserverordnung im Abschnitt 4 sowie in der Anlage 4 geregelt. Demnach sind hauptsächlich die Betreiber von Versorgungsanlagen für die Sicherstellung und Überwachung der Trinkwasserqualität verantwortlich (vgl. § 14 TrinkwV), wobei deren Kontrolle durch die zuständigen Behörden erfolgt (vgl. § 18 TrinkwV). In der novellierten Trinkwasserverordnung wird dabei grundsätzlich zwischen routinemäßigen und umfassenden Untersuchungen unterschieden. Routinemäßige Untersuchungen sind häufiger vorzunehmen als umfassende Untersuchungen, wobei sich deren Umfang auf insgesamt 14 Parameter (z. B. Escherichia coli, Koloniezahl, Trübung etc.) beschränkt. Alle anderen in der Trinkwasserverordnung geregelten, aber nicht explizit in Anlage 4 aufgeführten Parameter sind Bestandteil der umfassenden Untersuchung [14].

Als Maßstab für die Häufigkeit der Wasseranalysen dient in Deutschland die Menge des im Versorgungsgebiet produzierten und abgegebenen Wassers. Für routinemäßige Untersuchungen schwanken diese zwischen 1 Probe im Jahr (bei einer Abgabe  $\leq 10$  m<sup>3</sup>/d) bis 4 Proben im Jahr (bei einer Abgabe zwischen 10 bis 1.000 m<sup>3</sup>/d). Pro weitere 1.000 m<sup>3</sup>/d Abgabemenge sind zusätzlich 3 Proben im Jahr zu untersuchen. Für umfassende Untersuchungen sind zwischen 1 Probe im Jahr bei einer Abgabe  $\leq 1.000$  m<sup>3</sup>/d bis 10 Proben im Jahr bei einer Abgabe  $> 100.000$  m<sup>3</sup>/d (zuzüglich 1 Probe im Jahr pro weitere 25.000 m<sup>3</sup>/d) erforderlich. Im Ergebnis bedeutet dies, dass ein großer Versorger mit einer täglichen Abgabemenge von 100.000 m<sup>3</sup> Wasser insgesamt 301 Untersuchungen im Jahr vornehmen muss (von denen 12 umfassender Natur sind) oder im Mittel alle 1,2 Tage bzw. 29 Stunden zur Analyse einer Probe verpflichtet ist. Pro 1.000 m<sup>3</sup>/d Abgabe, was rund 8.200 Verbrauchern bei einem mittleren Wasserverbrauch von 122 Liter am Tag [2] entspricht, sind 3 Proben im Jahr zu untersuchen. Abbildung 2.1 zeigt die Größenstruktur der deutschen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) mit einer Zuordnung des Untersuchungsumfangs gem. TrinkwV. Demnach sind 82,5 % der WVU, was einem Wasseraufkommen von 14,8 % entspricht [2], zur Untersuchung von weniger als einer Probe im Monat verpflichtet. Dies verdeutlicht, dass das bestehende System durch Probenahme und Laboruntersuchung lediglich zur Überwachung langfristiger Veränderungen bzw. zur Abbildung von Trends geeignet ist.

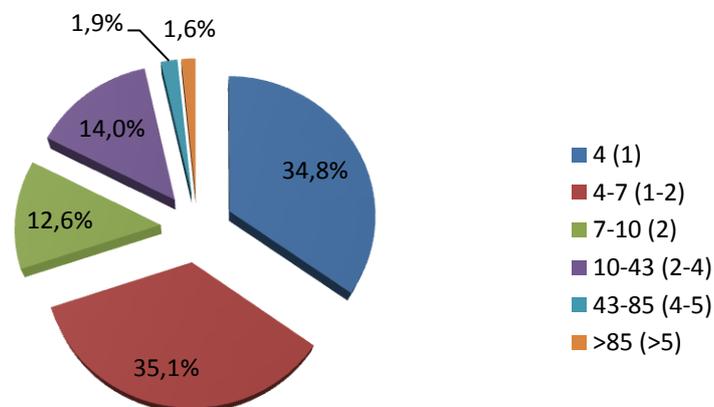


Abbildung 2.1: Größenstruktur der Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland (Stand 2007) mit Angabe der routinemäßig zu untersuchenden Proben im Jahr (Werte in Klammern geben die Menge der umfassenden Untersuchungen an), verändert nach [2] und [14]

---

Als Ort der Probenahme ist nach § 8 der TrinkwV der Austritt aus denjenigen Zapfstellen, die zur Trinkwasserentnahme dienen, festgelegt [14]. Da für mögliche Güteveränderungen innerhalb der Hausinstallation der Hausbesitzer selbst verantwortlich ist, ist dies im Regelfall die Übergabestelle zur Hausinstallation. Alternativ können jedoch für bestimmte Parameter auch Proben innerhalb des Versorgungsgebietes oder in den Aufbereitungsanlagen entnommen werden, sofern daraus nachweislich keine nachteiligen Veränderungen beim gemessenen Wert entstehen (vgl. § 19 Abs. 2 Satz 4 TrinkwV). Damit soll sichergestellt werden, dass die Trinkwasseranalyse auch repräsentativ für das beim Verbraucher tatsächlich ankommende Wasser ist. Grundsätzlich definiert die Trinkwasserverordnung also die erforderliche Trinkwassergüte am Ort der Entnahme. Die Zahl der Probenahmen sollte dabei im Hinblick auf Zeit und Ort gleichmäßig verteilt sein.

Für die meisten Parameter sind Messverfahren inzwischen genormt. Gewisse Untersuchungsverfahren schreibt die Trinkwasserverordnung in der Anlage 5 vor, wobei jedoch auch Abweichungen bei Nachweis der Gleichwertigkeit möglich sind (§ 15 Abs. 1 TrinkwV). Zur Probenahme selbst sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten (§14 Nr. 3 TrinkwV). Damit soll gewährleistet werden, dass sich die Probe nicht durch eine falsche Entnahme, ungeeignete oder unsaubere Gefäße oder den Transport nachteilig verändert. Die Messwerte werden sodann unterschieden in mikrobiologische Parameter, allgemeine Güte-merkmale (z. B. Farbe, Geruch, elektrische Leitfähigkeit), Einzelsubstanzen (z. B. Metalle), Summenparameter (z. B. DOC, TOC) und Gruppenparameter (z. B. AOX, SAK 254).

### **2.3.2. Water Safety Plan der WHO**

In der im September 2004 veröffentlichten 3. Auflage der Leitlinien für Trinkwasserqualität (Guidelines for Drinking Water Quality) der Weltgesundheitsorganisation WHO ist erstmals die Rede von einem sogenannten Water Safety Plan (Trinkwassersicherheitskonzept). Dabei handelt es sich um ein risikobasiertes und prozessorientiertes Qualitätsmanagementsystem, welches über die reine Produktkontrolle hinaus versucht den gesamten Prozess zu steuern und zu kontrollieren. Das Ziel des Water Safety Plan (WSP) ist die Gewährleistung einer für den Menschen sicheren Trinkwasserqualität vom Einzugsgebiet über die Aufbereitung und Verteilung bis hin zum Zapfhahn der Verbraucher, wobei gesundheitliche Aspekte im Vordergrund stehen [45]. Der WSP beinhaltet verschiedene Elemente des sogenannten HACCP-Konzeptes (Hazard Analysis and Critical Control Points, zu Deutsch: Gefahrenanalyse und kritische Kontrollpunkte). Dieses Konzept wird in der Lebensmittelindustrie bereits seit langem erfolgreich zur Sicherstellung der Produktqualität eingesetzt.

Die Vorgehensweise zur Erstellung eines WSP umfasst zunächst die Beschreibung und Bewertung aller Risiken im Versorgungsgebiet anhand einer Gefährdungsanalyse und Risikoabschätzung. Anschließend werden für die identifizierten Risiken Maßnahmen zu deren Überwachung, Beherrschung oder Minderung (Managementsysteme, Betriebspläne, Verfahrensanweisungen) entwickelt sowie die Wirksamkeit der entwickelten Maßnahmen verifiziert. Zudem sollen die Ergebnisse dokumentiert werden und eine periodische Wiederholung der Arbeitsschritte erfolgen. Bisherige Erfahrungen bei der Einführung eines risikobasierten und prozessorientierten Managementsystems (z. B. in der Lebensmittelindustrie) haben gezeigt, dass der Nutzen sich einerseits in kurzfristigen und andererseits in mittel- bis langfristigen Verbesserungen auswirkt [21]. Als kurzfristiger Nutzen ist hauptsächlich die Identifikation

---

von bisher übersehenen Risiken zu nennen, die glücklicherweise noch keine konkreten Konsequenzen nach sich gezogen haben. Mittel- und langfristige Verbesserungen wären in diesem Zusammenhang die dauerhafte und langfristige Verringerung von Risiken in der Wasserversorgung anhand der systematischen und periodischen Vorgehensweise. Darüber hinaus führt die Methode langfristig dazu, dass vorhandenes Wissen über betriebliche Prozesse im Unternehmen ausgetauscht und fortlaufend aktualisiert wird. Dadurch konzentriert sich dieses Wissen nicht bei einigen wenigen Mitarbeitern und einer gewissen „Betriebsblindheit“ kann vorgebeugt werden. Auch führt die Implementierung durch den klaren Aufbau und die Zuweisung von Verantwortlichkeiten in der Regel zur Steigerung der Organisationssicherheit im Unternehmen. Die regelmäßige Revision sorgt ferner dafür, dass Verbesserungspotenziale in der betrieblichen Praxis erkannt und umgesetzt werden können.

Allgemein dienen die „Guidelines for Drinking Water Quality“ der WHO der Festsetzung einheitlicher Qualitätsstandards im Bereich der Trinkwasserversorgung auf Basis von Empfehlungen. Sie wenden sich an die in den Ländern für Trinkwasser verantwortlichen Personen in der Legislative, also an Politiker und deren Berater. Demnach stellen die WHO-Richtlinien keine gesetzliche Verpflichtung, sondern Hilfestellungen bei der Entwicklung eigener Qualitätsstandards dar. Die europäische Kommission beispielsweise nutzt die Leitlinien als wissenschaftliche Basis für die Anpassung ihrer eigenen Vorschriften. Andere Staaten, vor allem Entwicklungsländer, übertragen diese hingegen meist direkt oder indirekt in nationale Gesetze.

In Deutschland wurde der WSP-Ansatz überwiegend positiv aufgenommen und hat dazu geführt, dass von Seiten des DVGW in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Gesundheit (BMG), dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) sowie dem Umweltbundesamt (UBA) ein Gesamtkonzept zur „Sicherheit in der Trinkwasserversorgung“ entwickelt wurde [16]. Einer Untersuchung zufolge waren zu diesem Zeitpunkt bereits ca. 50 – 80 % der Elemente des WSP in europäischen Richtlinien, nationalen Vorschriften und technischen Regelwerken verankert [57]. Als Ergebnis der deutschen Bemühungen wurden im Jahr 2008 die DVGW Hinweise W 1001 „Sicherheit in der Trinkwasserversorgung - Risikomanagement im Normalbetrieb“ und W 1002 „Organisation und Management im Krisenfall“ eingeführt. Dabei wurde der rein gesundheitsbezogene Ansatz des WSP um zusätzliche Elemente der Versorgungssicherheit (Qualität, Menge, Druck und Kontinuität) erweitert. Die Hinweise W 1001 und W 1002 stellen damit eine Ergänzung des bisherigen Managementsystems, dem sogenannten Technischen Sicherheitsmanagement (TSM) auf Grundlage des DVGW-Arbeitsblattes W 1000 „Anforderungen an die Qualifikation und Organisation von Trinkwasserversorgern“ aus dem Jahr 2005 dar. Seit dieser Weiterentwicklung besteht in Deutschland ein umfassendes Gesamtkonzept zur innerbetrieblichen Analyse und Beherrschung von Risiken in der Trinkwasserversorgung. Dadurch kann neben der reinen Endproduktkontrolle durch Probenahme und Laboruntersuchung eine fortlaufende Steigerung aller Teilprozesse erzielt und so die Versorgungssicherheit insgesamt gesteigert werden.

Voraussetzung für die Entwicklung effektiver Maßnahmen zur Überwachung, Beherrschung oder Minderung von im Versorgungsgebiet festgestellten Risiken ist zuallererst das Vorliegen entsprechender Werkzeuge. Gefahren können in ihren Auswirkungen nur begrenzt werden, wenn deren frühzeitiges Erkennen ermöglicht wird und so genügend Zeit zur Einleitung entsprechender Gegenmaßnahmen besteht. Die vollständige Vermeidung bzw. Beherrschung aller Risiken ist dabei sicher nie möglich, was sich z. B. an dem Zwischenfall im Atomkraftwerk in Fukushima (2011) gezeigt hat. Allerdings sollte zumindest das Ziel darin bestehen

---

alle möglichen Gefahren, seien sie noch so unrealistisch, zu beherrschen. Für die Trinkwasserversorgung bedeutet dies vor allem Maßnahmenpläne für alle Eventualitäten zu entwickeln und vorzuhalten. Darüber hinaus bedarf es umfangreicher Überwachungssysteme, die für den Fall einer stattgefundenen Verunreinigung deren frühzeitiges Erkennen ermöglichen. Der Aufbau von Monitoringstationen mit einer kontinuierlichen Überwachung der Wasserqualität im Versorgungsnetz könnte dieser Aufgabe gerecht werden.

## 2.4. Online Überwachung im Verteilungsnetz

Unter einer online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz versteht man allgemein die kontinuierliche Ermittlung von Qualitätsdaten an mehreren Stellen im Versorgungsnetz und deren Auswertung in Echtzeit. Ziel dabei ist nicht die Bestimmung der genauen Wasserqualität, sondern das Erkennen ungewöhnlicher Änderungen in der Zusammensetzung, um dadurch Rückschlüsse auf mögliche Verunreinigungen ziehen zu können. Ohne ein solches System ist die Möglichkeit für Wasserversorgungsunternehmen (WVU) auf Verunreinigungen rechtzeitig und angemessen reagieren zu können begrenzt. Der Nutzen eines solchen Systems ist insofern vielfältig. Einerseits besteht die Möglichkeit den unbeabsichtigten Gebrauch von kontaminiertem Trinkwasser zu verhindern und so die Versorgungssicherheit zu steigern. Dies hat wiederum positive Effekte auf das Vertrauen der Bürger zum Produkt Trinkwasser. Andererseits ermöglicht der erweiterte Monitoringansatz direkt Kosten zu sparen. So könnten die zusätzlichen Informationen beispielsweise zur gezielten Steuerung des Aufbereitungsprozesses verwendet werden (z. B. zur Optimierung der korrosionstechnischen Eigenschaften des Trinkwassers) oder betriebliche Entscheidungen unterstützen helfen, die sich kostenmindernd auswirken. Darüber hinaus ermöglicht eine Früherkennung von Verunreinigungen im Versorgungsnetz die Ausbreitung der Schadstoffwelle zu begrenzen. Dadurch können nicht nur materielle Vermögenswerte wie Leitungen und Armaturen nachhaltig vor Schäden geschützt, sondern auch der Einsatz von Dekontaminationsmitteln reduziert werden.

Die Trinkwasserverordnung berücksichtigt eine laufende Aufzeichnung von Messwerten indem diese, sofern es sich dabei um einen der insgesamt 14 routinemäßig zu bestimmenden Parameter handelt, bei der Laboranalytik entfallen können (vgl. Anlage 4 TrinkwV [14]). Dies hat wiederum eine geringfügige Senkung der Kosten für routinemäßige Untersuchungen zur Folge. Da die Untersuchungspflichten gemäß Trinkwasserverordnung regelmäßig wiederkehrende Leistungen darstellen, können sich die Anschaffungskosten für die Technologie so schnell amortisieren. Dies ist bei großen Versorgern aufgrund der Kopplung der Untersuchungshäufigkeit mit der abgegebenen Wassermenge schneller möglich als bei kleinen Versorgern (vgl. Kapitel 2.3.1).

---

### 3. Anforderungen an die Technologie

---

Grundsätzlich sind verschiedene Voraussetzungen notwendig, damit sich die Technologie erfolgreich am Markt etablieren kann. Dies betrifft zum Einen den Bereich der Messtechnik zur Qualitätserfassung und zum Anderen den Bereich der Datenauswertung. Nur wenn kostengünstige, angepasste und intelligente Lösungen in beiden Bereichen entwickelt werden ist die Anwendung der Technologie in Zukunft denkbar. Andernfalls wird das weltweit etablierte System der Stichprobenuntersuchung zur Überprüfung der Wasserqualität vermutlich bestehen bleiben.

Wichtig zu bedenken ist, dass die Aufzeichnung von Online-Messdaten zu einer enormen Informationsflut führt, die von den Mitarbeitern eines WVU unmöglich alleine zu bewältigen ist. Damit der Bedarf an Fachkräften und somit die Kosten nicht unnötig steigen ist eine automatisierte Auswertung und Interpretation der Daten zwingend erforderlich.

Um einen Überblick bisheriger Erfolge bei der Technologieentwicklung sowie den aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung zu erlangen, werden nachfolgend die Ergebnisse bisheriger Projekte zur (Weiter-)Entwicklung der Technologie vorgestellt.

#### 3.1. Erkennen von Kontaminationsereignissen

Die einfachste Möglichkeit der Datenauswertung ist ein Vergleich mit vordefinierten Grenzwerten. Sobald die Messung also ergibt, dass der Wert eines Parameters außerhalb des erlaubten Schwankungsbereiches liegt wird ein Alarm ausgelöst. Wenn beispielsweise der pH-Wert unter 6,5 sinkt oder über 9,5 steigt werden die Vorgaben der Trinkwasserverordnung nicht mehr eingehalten und eine Auffälligkeit liegt vor. Alternativ können neben den gesetzlichen Grenzwerten auch für den Betrieb sinnvolle Sollwerte vom Wasserversorger selbst vorgegeben werden, die möglicherweise in engeren Grenzen liegen als die Vorgaben der Trinkwasserverordnung.

Abgesehen von Störfällen, die eindeutig zu Über- bzw. Unterschreitungen gesetzlicher Grenzwerte bei einzelnen Qualitätsparametern führen, können auch Kontaminationsereignisse vorliegen, die zwar signifikante Veränderungen der Wasserqualität aufweisen, bei denen die Werte jedoch innerhalb des natürlichen Schwankungsbereiches liegen [69]. Abbildung 3.1 zeigt dies beispielhaft für einen derartigen Fall. Die blaue Linie repräsentiert dabei den Verlauf der Messwerte eines Sensors, welche aufgrund von Änderungen des Anlagenbetriebs natürlichen Schwankungen unterworfen sind. Die violette Linie zeigt ein Kontaminationsereignis, das mittels Grenzwertanalyse nicht entdeckt worden wäre. So ist zwar ein signifikanter Anstieg der Messwerte erkennbar, allerdings überschreiten diese nicht das natürliche bzw. betriebsbedingte Schwankungsverhalten des Parameters. Das Ereignis würde folglich unerkannt bleiben. Aus diesem Grund muss der Ansatz zur Datenauswertung erweitert werden. Von Interesse sind nicht nur Änderungen im absoluten Wert eines Parameters, sondern auch Veränderungen bezogen auf die an dem Ort und der Zeit zu erwartenden Werte. Die Auswertung von Online-Messdaten bedarf neben der Festlegung von Grenzwerten folglich statistisch-mathematischer Analysemethoden, die Auffälligkeiten aus der Dynamik des Messkurvenverlaufs erkennen können. Dies ermöglicht darüber hinaus eine Trendanalyse, wodurch Ereignisse erkannt werden können noch bevor sie die Grenzwerte bei einzelnen Qualitätsparametern über- bzw. untersteigen.

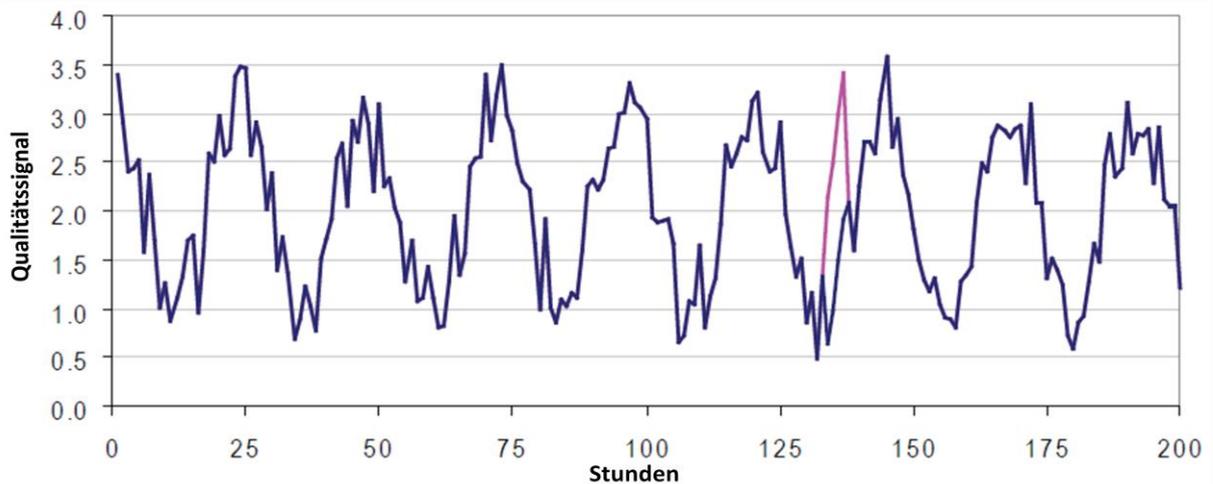


Abbildung 3.1: natürliche Hintergrundschwankungen der Wasserqualität (blau) mit Überlagerung eines Kontaminationsereignisses (violett), übersetzt nach [69]

Der Einsatz von mehreren Sensoren in einer Online Messstelle verdeutlicht eine weitere Schwäche reiner Grenzwertvergleiche zur Ermittlung von Kontaminationsereignissen. Wie beispielhaft in Abbildung 3.2 dargestellt beeinflusst ein die Wasserqualität veränderndes Ereignis deutlich alle drei Signale, jedoch wird der Grenzwert dabei lediglich bei Signal 1 überschritten. Im Ergebnis würde die Qualitätsänderung nur von dem ersten Sensor festgestellt werden. Die relativ ausgeprägten Reaktionen in Signal 2 und 3 würden nicht registriert und könnten somit keine zusätzlichen Informationen zur besseren Analyse des Hintergrunds der Qualitätsänderung bereitstellen. Das Ziel einer Software zur Datenauswertung muss folglich auch darin bestehen, relative Änderungen im Verlauf eines Parameters zu erkennen sowie die Ergebnisse mehrerer Parameter miteinander zu verknüpfen.

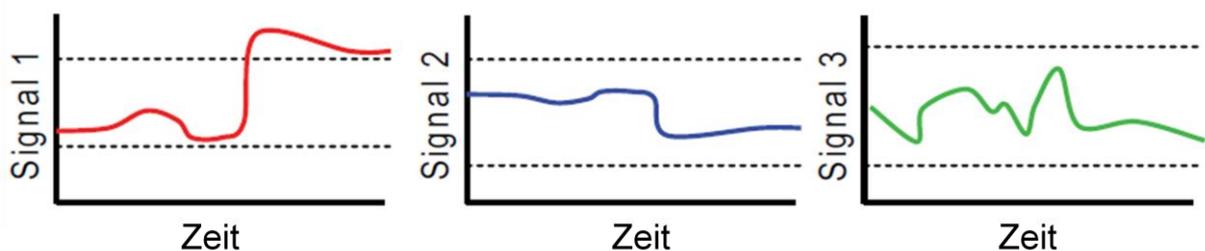


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung der Veränderungen drei verschiedener Wasserqualitätsparameter über die Zeit (gestrichelte Linie repräsentiert die Grenzwerte zur Alarmauslösung), übersetzt nach [69]

Der Verlauf von Qualitätsdaten im Trinkwasserbereich ist zum Teil erheblichen Schwankungen unterworfen. Hierfür können vielerlei Gründe verantwortlich sein, wie Veränderungen im hydraulischen Betrieb, Mischungen verschiedener Wasserquellen aufgrund erhöhter Nachfrage, Rekalibrierungen von Sensoren, fehlende oder fehlerhafte Daten, unerwartete Störfälle der Infrastruktur (Leitungsbrüche, Ausfall einer Pumpstationen) sowie Fehlverhalten von Sensoren [69]. Abbildung 3.3 zeigt beispielhaft den Verlauf zweier Sensordaten für die Monitoringstation eines großen Verteilungsnetzes. Dabei wurden der pH-Wert sowie der Gehalt an freiem Chlor in einem Intervall von zwei Minuten für insgesamt 5.000 Messungen (das entspricht rund 7 Tagen) bestimmt. Während dieser Zeit sind keine Kontaminationsereignisse bekannt, sodass die Daten das natürliche Schwankungsverhalten der Parameter widerspie-

geln. Der Chlorgehalt weist dabei einen relativ langen (etwa 200 Zeitschritte bzw. 400 Minuten) Anstieg von rund 0,25 mg/L auf, wobei insgesamt sieben dieser Änderungen innerhalb des betrachteten Zeitraums vorliegen. Der pH-Wert verhält sich zeitlich ähnlich, führt jedoch in der ersten Hälfte der Woche zu einer Messwertabnahme und in der zweiten Hälfte zu einem Anstieg von rund 0,1 Einheiten. Abbildung 3.3 verdeutlicht damit das Ausmaß der Qualitätsänderungen, die durch wechselnde Betriebsbedingungen hervorgerufen werden können. In dem dargestellten Fall sind Pumpen, die je nach Bedarf an- und ausgeschaltet wurden für die Schwankungen verantwortlich [69]. Damit die Software zur Datenauswertung nicht bei jeder betriebsinternen Änderung einen Alarm anzeigt, muss die Möglichkeit geschaffen werden den Algorithmus zu trainieren. Dieses Training soll gewährleisten, dass normale bzw. regelmäßig wiederkehrende Parameteränderungen von der Software erkannt und die Anzeige von Alarmen während derartiger Abschnitte vermieden werden.

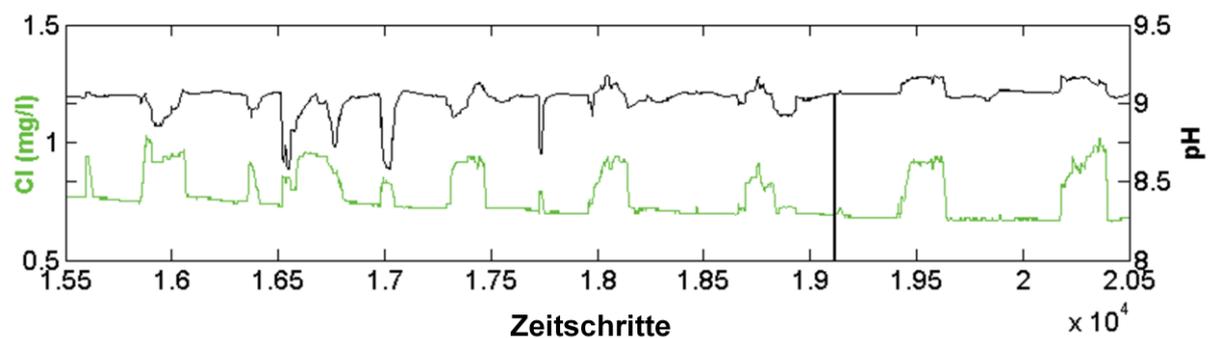


Abbildung 3.3: Änderung der Wasserqualität durch Änderung der Betriebsbedingungen [69]

### 3.2. Der US-amerikanische Ansatz

In den Vereinigten Staaten von Amerika wird bereits seit Jahren intensiv über das Thema online Monitoring der Wasserqualität im Verteilungsnetz diskutiert und geforscht. Hintergrund sind die Anschläge des 11. September 2001, als deren Folge die Erhöhung der Sicherheit der nationalen Trinkwasserinfrastruktur in den öffentlichen Fokus geriet. So hat eine von Seiten der US-amerikanischen Regierung durchgeführte Befragung von Experten im Bereich der Wassersicherheit ergeben, dass die Verteilungssysteme aufgrund ihrer hohen Anzahl an Zugangspunkten, der oft leichten Zugänglichkeit sowie der Unmöglichkeit Verunreinigungen zeitnah festzustellen eine der verwundbarsten Komponenten der Trinkwasserversorgung sind [64]. Daraufhin wurden die Richtlinien HSPD-7 (Homeland Security Presidential Directive) im Dezember 2003 und HSPD-9 im Januar 2004 erlassen. Mit der Richtlinie HSPD-7 wurde eine Strategie eingeführt, wonach die staatlichen Ministerien und Behörden kritische Infrastrukturen identifizieren, priorisieren und vor terroristischen Anschlägen schützen sollen. Die darauf aufbauende Richtlinie HSPD-9 konkretisiert die notwendigen Entwicklungen zum Schutz der Bereiche Landwirtschaft und Nahrung vor terroristischen Anschlägen. Sie richtet sich an die US-EPA (Umweltbehörde der USA) und andere bereits bestehende Behörden. Der Fokus liegt dabei auf bewusst vorgenommenen Verunreinigungen anhand chemischer, biologischer und radioaktiver Substanzen. Konkret sollen die vorhandenen Überwachungsprogramme ausgebaut und erweitert werden, sodass einerseits ein frühes Aufspüren möglicher Verunreinigungen und andererseits die Erkennung von Krankheiten, Pest oder giftigen Stoffen ermöglicht wird [71]. Die US-EPA ist dabei im Bereich der Wassersicherheit als führende Bundesbehörde tätig.

---

### 3.2.1. Aufbau des Warnsystems

Vor dem Hintergrund der neuen Gesetzeslage hat die US-EPA im März 2004 einen Aktionsplan erarbeitet, welcher wichtige Anforderungen hinsichtlich der Steigerung der Wassersicherheit identifiziert sowie Forschungs- und Entwicklungsbedarf aufzeigt um diese Ziele zu erreichen. Hierzu wurde eine Liste mit notwendigen Projekten erarbeitet und darüber hinaus verschiedene Produkte benannt, deren Entwicklung zur Steigerung der Trinkwassersicherheit beitragen könnte.

Der entscheidende Faktor um effektiv auf Gefahren reagieren zu können besteht darin die Zeit zwischen dem Erkennen von Kontaminationsereignissen und der Umsetzung entsprechender Gegenmaßnahmen zur Reduktion der Auswirkungen zu minimieren. Dies soll in den USA durch ein mehrere Elemente umfassendes, sogenanntes *Contamination Warning System* (CWS) sichergestellt werden. Dabei ist einerseits zu differenzieren zwischen Maßnahmen zum frühzeitigen Erkennen möglicher Verunreinigungen und andererseits zwischen den notwendigen Handlungsplänen um die gesundheitlichen und ökonomischen Auswirkungen zu minimieren. Zum Aufspüren möglicher Verunreinigungen bedient sich der US-amerikanische Ansatz fünf unterschiedlicher Überwachungsbestandteile [71]. Diese umfassen:

#### **Online Monitoring der Wasserqualität**

Die kontinuierliche Ermittlung von Standard-Qualitätsparametern wie Chlorgehalt, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübung etc. soll dazu dienen eine Datenbank mit den zu erwartenden Basis- bzw. Grundwerten der Parameter sowie deren Schwankungsbereich aufzubauen. Jede ungewöhnliche Abweichung von diesen Basiswerten ist ein Anzeichen für mögliche Verunreinigungen.

#### **Probenahme und Auswertung**

Eine regelmäßige Probenahme mit anschließender Auswertung im Labor ist aus zweierlei Gründen vorgesehen. Einerseits sollen dadurch die normalen Basiswerte von speziellen, besonders wichtigen Schadstoffen ermittelt werden und andererseits im Falle eines Alarms durch das online Monitoring-System oder andere Informationsströme die möglicherweise unbekannt Substanz identifiziert werden.

#### **Erweitertes Sicherheits-Monitoring**

Durch die Überwachung und Dokumentation von Sicherheitsverstößen, Zeugenberichten und Anzeigen von Tätern, Medien oder der Polizei soll die bestehende Sicherheitspraxis erweitert werden. Dieser Aspekt des CWS hat das Potential eine Manipulation bereits im Entstehungsprozess aufzudecken und so gegebenenfalls die Einleitung eines Schadstoffes ins Trinkwasser zu vermeiden.

#### **Überwachung von Verbraucherbeschwerden**

Verbraucherbeschwerden wie z. B. ein ungewöhnlicher Geschmack, Geruch oder Aussehen des Trinkwassers werden in der Regel den Versorgungsunternehmen gemeldet, welche ihrerseits die Berichte dokumentieren und zur Auffindung von Qualitätsproblemen nutzen. Da die Verbraucher jedoch häufig das Gesundheitsamt oder eine allgemeine Informationsnummer der Stadt kontaktieren, werden Beschwerden mitunter den lokalen Behörden anstatt dem Versorger gemeldet [71]. Das Ziel der Komponente besteht darin, die Informationen der Verbraucher so zu sammeln und zu verfolgen, dass das Versorgungsunternehmen diese mit den anderen Daten der CWS-Komponenten nutzen kann. Alle Datenströme zusammen sollen helfen ungewöhnliche Trends, die auf eine Verunreinigung hindeuten können, zu identifizieren.

## Überwachung der öffentlichen Gesundheit

Die Überwachung von Krankheitsbildern durch den öffentlichen Gesundheitssektor einschließlich Angaben über Verkaufszahlen von Medikamenten sowie Berichten von Notfall-Sanitätsdiensten, Notrufen und Vergiftungshotlines soll zusätzlich als Warnhinweis vor möglichen Verunreinigungen dienen. Damit diese Informationen in das CWS integriert werden können soll eine zuverlässige Schnittstelle zwischen dem öffentlichen Gesundheitssektor und den Wasserversorgungsunternehmen geschaffen werden.

Abbildung 3.4 fasst den Aufbau und die Funktionsweise des Contamination Warning System (CWS) zusammen. Grundsätzlich besteht der Hauptzweck des CWS in den USA darin, Kontaminationsereignisse – seien sie unbeabsichtigt oder vorsätzlich – aufzuspüren. Der durch eine Implementierung einhergehende Nutzen für Versorgungsunternehmen ist dabei nur sekundär von Bedeutung.

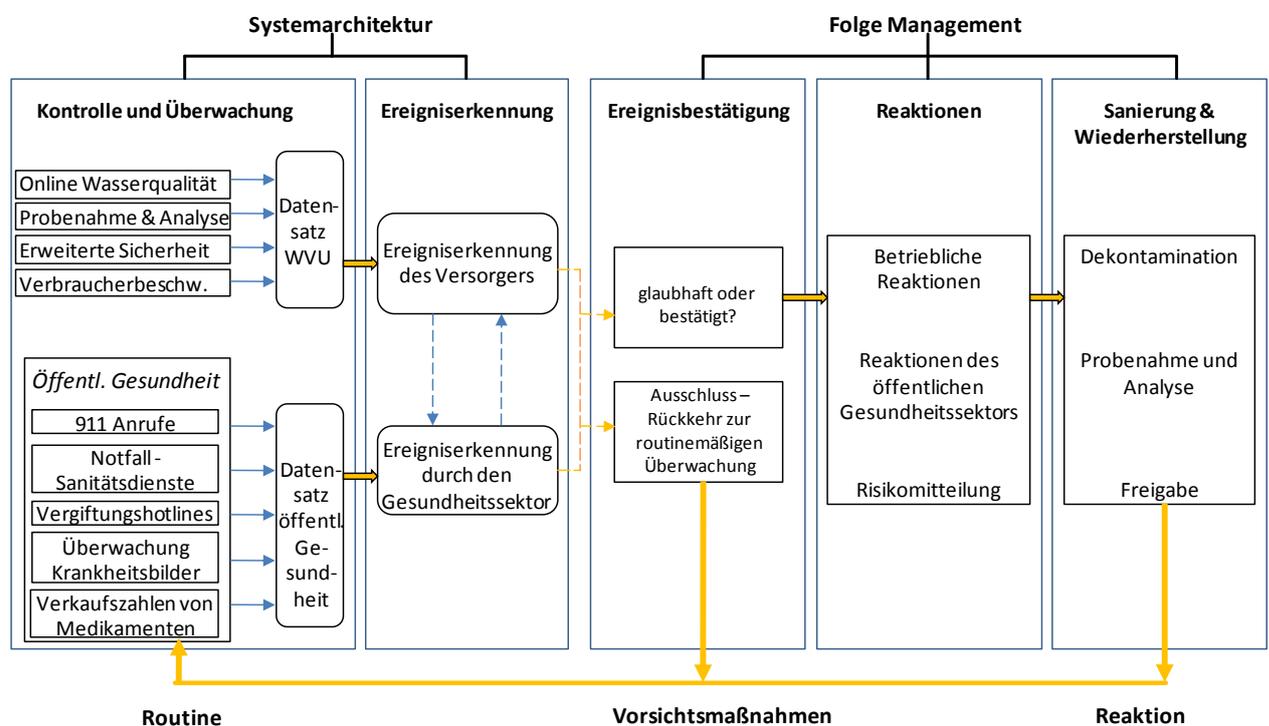


Abbildung 3.4: Aufbau des Contamination Warning System (CWS) der US-EPA, übersetzt nach [71]

### 3.2.2. Auswahl der Messparameter

Aufgrund der Vielzahl an chemischen, biologischen und radioaktiven Schadstoffen für eine mutwillige Verseuchung von Trinkwassernetzen ist der Einsatz von substanzspezifischen Überwachungsgeräten unter technischen und finanziellen Aspekten unmöglich. Aus diesem Grund wurde von der US-EPA untersucht, ob gewisse Qualitätsparameter für eine Vielzahl von Verunreinigungen als Indikatoren fungieren können. Die Strategie besteht darin mit standortspezifischen Feldtests und/oder Probenahmen mit Laboruntersuchung die konkrete Verunreinigung im Detail festzustellen, sobald das System eine Unregelmäßigkeit in der Wasserqualität feststellt. Hierzu wurde zunächst eine Liste mit 80 Schadstoffen erarbeitet, welche hinsichtlich eines terroristischen Anschlags von besonderer Bedeutung sind. Zur Auswahl wurden dabei Kriterien wie der Preis, die Verfügbarkeit von Stoffen, die Handhabbarkeit, die

Transport- und Lagerbedingungen sowie der Aggregatzustand (flüssige Substanzen lassen sich besser im Wasser verteilen) angesetzt [71]. Von dieser Prioritätenliste wurden in einem nächsten Schritt 33 Stoffe für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Diese 33 Substanzen wiederum wurden je nach ihrer Fähigkeit durch die fünf Kontroll- und Überwachungskomponenten des CWS (vgl. Kapitel 3.2.1) aufgespürt zu werden, in 12 Klassen gruppiert. Tabelle 3-1 zeigt die Unterteilung dieser Kontaminationsklassen.

Tabelle 3-1: Kontaminationsklassen der US-EPA, übersetzt nach [71]

Kontaminationsklasse	Beschreibung
1	Erdölprodukte
2	Pflanzenschutzmittel (Chlorreaktiv)
3	Anorganische Verbindungen
4	Metalle
5	Pflanzenschutzmittel (Chlorresistent)
6	Chemische Kampfstoffe
7	Radionuklide
8	Bakteriologische Giftstoffe
9	Pflanzengifte
10	Pathogene mit einzigartigen Krankheitsbildern
11	Pathogene mit geläufigen Krankheitsbildern
12	Persistente chlorhaltige organische Verbindungen

Anhand der zuvor für einen potentiellen terroristischen Anschlag identifizierten Kontaminationsklassen wurden in einem nächsten Schritt Schadstoffe, die repräsentativ für eine Vielzahl von biologischen und chemischen Verunreinigungen sind, dem Trinkwasser in unterschiedlichen Konzentrationen beigegeben. Hierzu wurden zwei Testapparaturen aufgebaut (ein geschlossenes System mit Rezirkulation und ein offenes System mit Zu- und Abfluss) und herkömmliche, kommerziell verfügbare online Sensoren installiert [65]. Im Ergebnis der Untersuchung hat zeigte sich, dass der Gehalt an freiem Chlor sowie der Gesamtchlorgehalt am empfindlichsten auf den Großteil der getesteten Substanzen reagierten. Zur Bewertung der Empfindlichkeit wurde dabei eine Änderung von kleiner 10 % als „geringfügig signifikant“, zwischen 10 – 50 % als „signifikant“ und größer 50 % als „in hohem Maße“ signifikant festgelegt [70]. Die getesteten Konzentrationen waren dabei meist ein bis zwei Größenordnungen kleiner als die tödliche Dosis. So wurden viele Substanzen bereits bei Konzentrationen um 1 mg/l erkannt, während die zugehörigen tödlichen Konzentrationen zwischen 10 bis 100 mg/l schwanken [71]. Signifikante Änderungen des Parameters TOC deuteten im Wesentlichen auf organische und biologische Verunreinigungen hin. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Leitfähigkeit ein recht stabiler Qualitätsparameter ist, der zwar auf die dosierten Schadstoffe reagiert, aber nur geringfügig ausschlägt. Der Parameter Trübung zeigte sich als empfindlich gegenüber Verunreinigungen, wies jedoch insgesamt ein hohes Schwankungsverhalten auf, sodass dieser wegen seiner Variabilität nicht als zuverlässiger Indikator für Schadstoffe empfohlen wird [65, 70, 71].

Zusammenfassend hat sich im Rahmen der Untersuchungen durch die US-EPA gezeigt, dass der Chlorgehalt und der TOC-Wert für das Aufspüren der getesteten Verunreinigungen als

---

Indikatoren am geeignetsten sind. Von den insgesamt 33 Schadstoffen wurden allein 28 von diesen beiden Parametern erkannt. Gemeinsam mit der Leitfähigkeit konnte so das Vorliegen von 10 der insgesamt 12 Kontaminationsklassen durch konventionelle Wasserqualitätsparameter nachgewiesen werden. Basierend auf dieser Untersuchung werden von der US-EPA der Chlorgehalt und der TOC-Wert als erste Indikatoren für eine mögliche Verunreinigung, das Redoxpotential, der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Trübung als untergeordnete Indikatoren, die bei der Interpretation von Alarmen helfen können, für die Einbindung in das CWS empfohlen [71].

### **3.2.3. Das Programm CANARY**

Die Software CANARY ist allgemein ein Programm zur automatisierten Analyse und Auswertung von Messdaten in Echtzeit. Es wurde in Zusammenarbeit und unter Finanzierung des NHTSC (National Homeland Security Research Center der US-EPA) in den Sandia National Laboratories (USA) entwickelt. Ziel der Entwicklung war einerseits die Überprüfung inwieweit statistisch-mathematische Algorithmen zur Zeitreihenanalyse Auffälligkeiten in der Wasserqualität erkennen können sowie andererseits die Entwicklung derartiger Programme bei privaten Unternehmen anzustoßen. CANARY ist eine kostenlose und frei zugängliche Software, die erstmals im April 2008 beim Water Security Congress der AWWA (American Water Works Association) öffentlich vorgestellt wurde. Zur Datenauswertung sind dabei statistische Algorithmen implementiert, die einen zu erwartenden Wert der Wasserqualität für jeden Parameter abschätzen, diesen mit dem tatsächlich gemessenen Wert vergleichen und die Differenz zwischen gemessenem und prognostiziertem Wert beurteilen. CANARY ist so konstruiert, dass bestehende oder neue Algorithmen leicht verändert bzw. hinzugefügt werden können und das Programm dadurch insgesamt erweiterbar ist. Die Software wird seit mehreren Jahren bereits in einer ersten Testanlage eines großen Wasserversorgers (Greater Cincinnati Water Works, GCWW) eingesetzt. Andere Versorger in den USA planen ebenfalls die Implementierung der Software in naher Zukunft [69].

CANARY ist so konzipiert, dass die Daten von jedem Sensor für jede Art von Messung sowie jede beliebige Anzahl von Sensoren analysiert werden können und ist somit herstellerunabhängig. Die Datenanbindung erfolgt dabei entweder direkt über das Prozessleitsystem oder über eine zwischengeschaltete Schnittstelle [69].

#### **3.2.3.1. Funktionsweise von CANARY**

Die Datenauswertung in CANARY basiert auf dem Prinzip bzw. der Annahme, dass der vergangene Verlauf der Wasserqualität zur genauen Vorhersage der zukünftigen Wasserqualität unter normalen Bedingungen genutzt werden kann. Dabei passen sich die Algorithmen kontinuierlich den Merkmalen dieser vorausgegangenen Kennlinien an und lernen entsprechend davon. Da allerdings nicht alle vorangegangenen Daten nützliche Informationen enthalten, werden durch lineare Filter zusätzliche Gewichtungen vorgenommen. Grundsätzlich kann die Ereignisfeststellung in CANARY als Untersuchung eines Signals hinsichtlich seiner Einzelbestandteile beschrieben werden. So besteht der Messwert eines Sensors zunächst aus dem Wert der normalen Wasserqualität, der Abweichung von dieser Zusammensetzung aufgrund von ungewöhnlichen Ereignissen (z. B. einer Verunreinigung in Anströmrichtung) sowie dem Ei-

genauschen des Überwachungssystems. Das Ziel der Analyse ist die Erkennung und Zuordnung der einzelnen Datenbestandteile und die Auslösung eines Alarms bei der Feststellung von Ungewöhnlichkeiten.

Die Ereignisfeststellung in CANARY ist insgesamt aus vier Einzelschritten zusammengesetzt: 1) Abschätzung der zukünftigen Parameterwerte; 2) Vergleich der Vorhersage mit den gemessenen Werten sobald diese verfügbar sind sowie Berechnung der Differenz zwischen prognostizierten und gemessenen Werten; 3) Verflechtung der Differenzen aller Qualitätssensoren innerhalb einer Überwachungsstation; 4) Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses für jede Messzeit und jede Überwachungsstation anhand der Differenzwerte [69]. Diese Einzelschritte sind in Abbildung 3.5 schematisch dargestellt und werden nachfolgend genauer beschrieben.

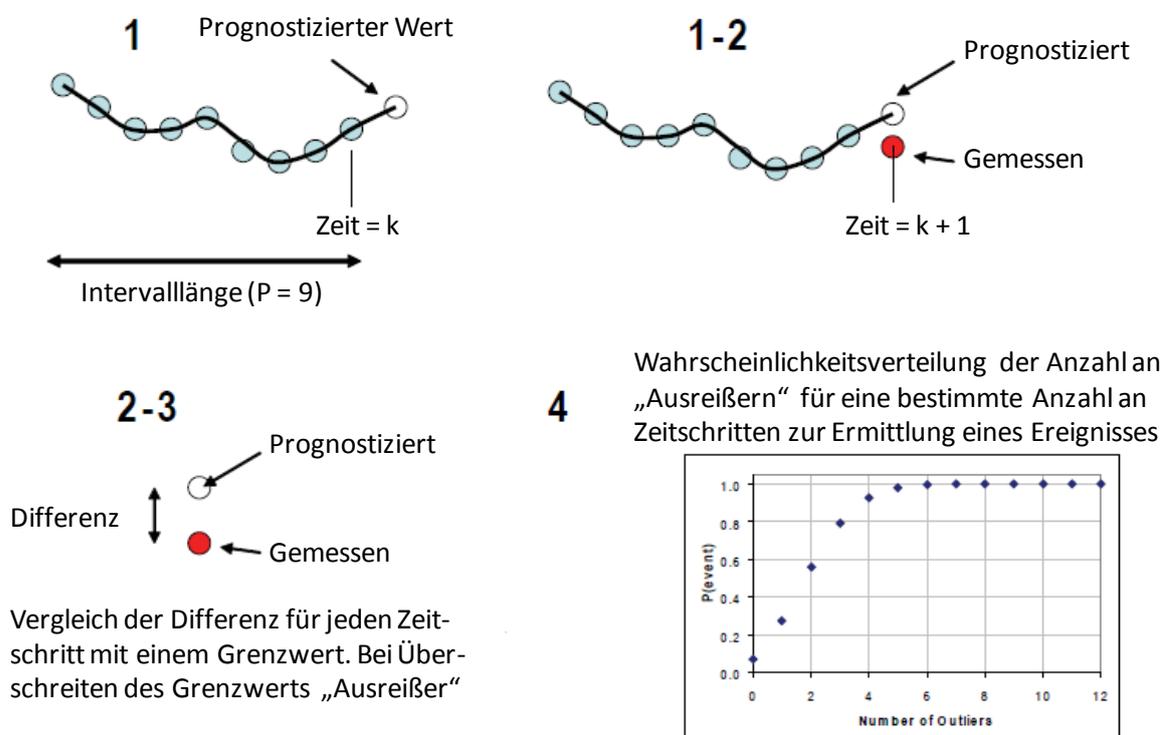


Abbildung 3.5: Einzelschritte der Ereignisuntersuchung durch CANARY mit 1) Abschätzung, 2) Vergleich, 3) Differenzbeurteilung und 4) Wahrscheinlichkeitsberechnung, übersetzt nach [69]

### Schritt 1: Prognose

CANARY betrachtet für jede Datenreihe eines Sensors eine vorher festgelegte Menge an vorangegangenen Messwerten und gebraucht dieses Datenintervall zur Vorhersage des Werts im nächsten Zeitschritt. Zunächst werden hierzu die Messwerte im betrachteten Datenintervall normalisiert, sodass der Mittelwert „null“ und die Standardabweichung „eins“ beträgt. Dadurch können die zum Teil erheblich unterschiedlichen Maßeinheiten entfernt und die Signale später leichter kombiniert werden. Insgesamt sind zwei unterschiedliche Methoden zur Abschätzung der erwarteten Parameterwerte in CANARY verfügbar: Lineare Filter und multivariate Nächster-Nachbar-Interpolation.

*Lineare Filter:* Hierbei werden für jeden Zeitschritt Gewichtungen anhand der zuvor gemessenen und standardisierten Beobachtungen eines jeden Signals festgelegt. Diese Gewichtungen

---

werden automatisch durch eine Kovarianz-Funktion für jedes Signal berechnet und ermöglichen eine Bewertung der Bedeutung vorangegangener Messwerte für die Vorhersage des zukünftigen Messwerts, unabhängig davon wie weit der Wert in der Vergangenheit zurückliegt. So hat zum Beispiel der Chlorgehalt bei Tanks, die nachts gefüllt und am Tag wieder entleert werden, 24 oder sogar 48 Stunden vorher oft eine größere Bedeutung zur Vorhersage des aktuellen Chlorgehalts als vier bis sechs Stunden zuvor. Wenn der Verlauf der Wasserqualität vollkommen erfasst ist, sich die Kennlinien zeitlich nicht ändern (z. B. keine saisonalen Schwankungen vorliegen) sowie das Rauschen im System null beträgt wäre der Algorithmus in der Lage den Messwert für jeden neuen Zeitschritt perfekt vorherzusagen. In einer solchen idealen Situation könnte die normale Wasserqualität komplett aus dem Datenverlauf herausgefiltert werden, sodass jede Abweichung davon leicht sichtbar wäre.

*Nächster-Nachbar-Betrachtung:* Die zweite Methode zur Abschätzung der Parameterwerte verwendet ebenfalls die Werte vorangegangener Zeitschritte. Indem die Werte von  $n$  verschiedenen Signalen für eine Überwachungsstation zusammen gruppiert werden (z. B. bei Messung von freiem Chlor, pH und Leitfähigkeit ist  $n = 3$ ), entsteht für jeden Zeitschritt ein Punkt im  $n$ -dimensionalen Raum. Alle Daten vorangegangener Zeitschritte können so als Punkte in diesem Raum abgebildet und der Abstand zwischen ihnen bestimmt werden. Für jeden neuen Zeitschritt wird entsprechend ein neuer Punkt im  $n$ -dimensionalen Raum erzeugt und dessen „nächster Nachbar“ bzw. dichtester Punkt dient als Vorhersagewert für den folgenden Zeitschritt.

### **Schritt 2: Vergleich**

Sobald die Messdaten für den betrachteten Zeitschritt durch das Prozessleitsystem verfügbar werden, erfolgt zunächst eine Normalisierung wie bei den vorangegangenen Datenreihen. Diese normalisierten Messdaten werden dann mit den prognostizierten Werten verglichen und die sich ergebenden Residuen (Differenz zwischen Vorhersage und Messung) als Zahl der Standardabweichung berechnet. Der Prozess wiederholt sich für jedes Signal der Überwachungsstation, sodass im Ergebnis jeweils ein Residuum bzw. eine Standardabweichung für die Entfernung des prognostizierten vom gemessenen Werts je Qualitätsparameter und Zeitschritt vorliegt. Da bei der multivariaten Nächsten-Nachbar-Methode die Residuen innerhalb des  $n$ -dimensionalen Raums bestimmt werden, entsteht hierbei lediglich ein Differenzwert unabhängig davon wie viele verschiedene Qualitätsparameter eingesetzt werden.

### **Schritt 3: Differenzbeurteilung**

Bei der Differenzbeurteilung wird das maximale Residuum innerhalb der Signale einer Überwachungsstation für den betrachteten Zeitschritt mit einem durch den Anwender definierbaren Grenzwert (als Zahl der Standardabweichung) verglichen. Wenn der maximale Differenzwert diesen Grenzwert überschreitet, wird die Wasserqualität für diesen Zeitschritt als „Ausreißer“ eingestuft und von den zur Vorhersage des nächsten Zeitschritts verwendeten Messdaten ausgeschlossen. Andere Methoden zur Verknüpfung von Residuen wie z. B. deren Aufsummierung oder Mittelung wurden im Rahmen der Softwareentwicklung ebenfalls untersucht, jedoch konnten die besten Ergebnisse durch einen Vergleich der Grenzwerte mit den maximalen Residuen erreicht werden [69].

### **Schritt 4: Wahrscheinlichkeitsberechnung**

Um die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses in dem betrachteten Zeitschritt für die jeweilige Überwachungsstation zu bestimmen, wird abschließend die sich ergebende Anzahl an „Ausreißern“ ausgewertet. Erfahrungen bei der kontinuierlichen Überwachung der Wasserqualität

---

in verschiedenen Verteilungsnetzen haben gezeigt, dass Ausreißer selbst bei einwandfreier Qualität mit einer gewissen Regelmäßigkeit entstehen können. Verantwortlich hierfür sind beispielsweise geänderte Mischverhältnisse verschiedener Rohwasserquellen (z. B. Grund- und Oberflächenwasser) aufgrund erhöhter Nachfrage, Fehler in der Sensorfunktion oder auch Probleme innerhalb des Prozessleitsystems. Auffälligkeiten in der Wasserqualität aufgrund von Fehlfunktionen oder geänderten Betriebsbedingungen dauern in der Regel nur wenige Zeitschritte an. Aus diesem Grund „zählt“ CANARY die Anzahl an Ausreißer, die innerhalb eines vom Anwender definierbaren Zeitfensters auftreten. Anhand einer Binomialverteilung wird sodann die zeitliche Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ( $P_{\text{event}}$ ) entsprechend  $P_{\text{event}} = 1 - P_{\text{backgrd}}$  (mit  $P_{\text{backgrd}}$  als Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Ausreißers bei normaler Wasserqualität) bestimmt. Zum Beispiel wäre bei Betrachtung von 12 Zeitschritten und einer angenommenen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Ausreißern innerhalb dieser einzelnen Zeitschritte von 20%, die Wahrscheinlichkeit insgesamt 8 Ausreißer festzustellen extrem gering. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese bei normaler Wasserqualität aufgrund von Fehlfunktionen oder Betriebsänderungen ausgelöst wurden, kann anhand der Binomialverteilung untersucht werden. Für das betrachtete Beispiel wäre  $P_{\text{backgrd}} = 0,0005$  und  $P_{\text{event}}$  somit 0,9995. In anderen Worten ist also die Wahrscheinlichkeit 8 Ausreißer bei 12 Zeitschritten festzustellen so gering, dass dies zu beinahe 100% auf eine reale Verunreinigung hindeutet. Die Kurve in Abbildung 3.5 veranschaulicht wie  $P_{\text{event}}$  mit der Anzahl an Ausreißern innerhalb der 12 Zeitschritte unter der Annahme einer Binomialverteilung steigt.

Anhand der binomischen Ereignisfeststellung von CANARY wird die Verbindung der Ergebnisse verschiedener Zeitschritte in eine zeitliche Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ermöglicht. Dabei ist  $P_{\text{event}}$  eine Funktion der Anzahl an „Ausreißern“ innerhalb des betrachteten Intervalls, der Länge des Intervalls selbst sowie der Wahrscheinlichkeit eines Ausreißers bei normaler Wasserqualität. Diese für die Ereignisfeststellung wesentlichen Parameter können durch den Anwender individuell festgelegt und so die Empfindlichkeit des Systems den jeweiligen Bedingungen angepasst werden. Der wesentliche Nachteil bei der Betrachtung mehrerer Zeitschritte in der beschriebenen Weise besteht darin, dass eine zusätzliche Verzögerung zwischen dem Beginn eines Ereignisses und dessen Feststellung durch CANARY auftritt. Diese Verzögerung ist wiederum von der Zeit, die zur Erreichung von  $P_{\text{event}}$  anhand der Binomialverteilung notwendig wird abhängig und kann beeinflusst werden. Im Rahmen von Untersuchungen bei mehreren Wasserversorgern wurde jedoch festgestellt, dass dieser Nachteil durch den gleichzeitigen Vorteil einer geringeren Anzahl falscher Alarme erheblich überwogen wird [69].

### 3.2.3.2. Zuverlässigkeit der Vorhersagen

Zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der von CANARY auf Grundlage vergangener Parameterwerte vorgenommenen Vorhersagen wurden durch die US-EPA historische Wasserqualitätsdaten betrachtet. Abbildung 3.6 zeigt beispielhaft einen Vergleich der gemessenen mit den erwarteten Werten des Chlorgehalts einer Überwachungsstation. Im Ergebnis dieser Untersuchung kann den Algorithmen eine hohe Genauigkeit in der Vorhersage des nächsten Parameters bescheinigt werden [69]. So entsprechen trotz des Anstiegs im Chlorgehalt von etwa 0,35 ppm (das entspricht rund 30%) über einen Zeitraum von drei Stunden die erwarteten Werte größtenteils genau den gemessenen Werten. Auch die relativ schnelle Chlorabnahme um 0,3 ppm bei etwa 17 Uhr wird nahezu identisch abgebildet. Als größte Differenz zwischen gemessenen und erwarteten Werten stellen sich ungefähr 0,07 ppm am Ende der Chlorabnahme ein.

Grundsätzlich werden die Messreihen in CANARY zur Datenauswertung normalisiert, sodass der Mittelwert null und die Standardabweichung eins beträgt. Abbildung 3.7 zeigt für das vorangegangene Beispiel eine Betrachtung im normalisierten Maßstab. Dabei wurden der Mittelwert und die Standardabweichung über eine bewegliche Fenstergröße von 1440 Zeitschritten berechnet, also weit mehr als die dargestellten 180 Intervalle. Aufgrund der normalisierten Betrachtung schwankt der Chlorgehalt zwischen negativen Werten (an beiden Enden des dargestellten Ausschnitts) und positiven Werten (in der Mitte der Datenreihe).

Abbildung 3.7 zeigt ebenfalls die Werte der berechneten Residuen (Differenz zwischen Messung und Vorhersage) als Einheit der Standardabweichung. Diese Residuen werden zur Ereignisfeststellung mit einem durch den Anwender definierbaren Grenzwert, der üblicherweise 1,0 Standardabweichungen beträgt verglichen. Insgesamt sind in dem betrachteten Zeitfenster mit einem Höchstwert von -0,83 bei etwa 17:00 Uhr alle Residuen kleiner als dieser Grenzwert. Demzufolge liegen hier keine Auffälligkeiten vor und die Schwankungen im Chlorgehalt können natürlichen Ursprüngen zugewiesen werden.

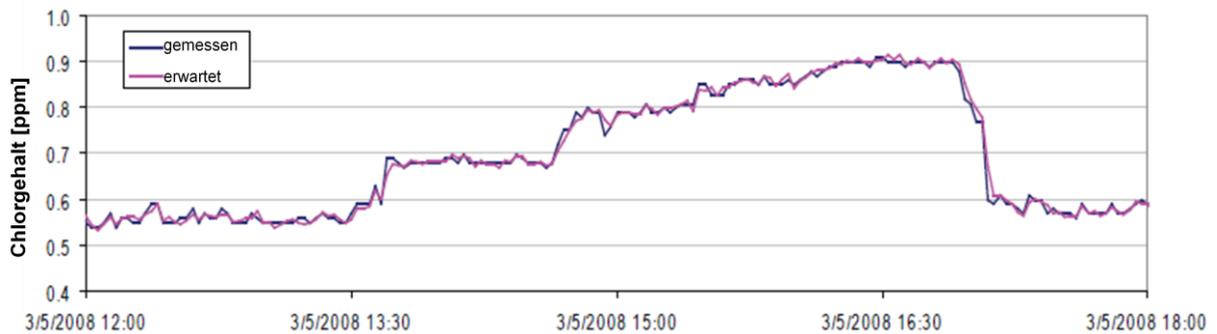


Abbildung 3.6: Gemessener (blaue Linie) und erwarteter (rosa Linie) Chlorgehalt einer Überwachungsstation für einen Zeitraum von 6 Stunden (180 Zeitschritte, Intervalllänge 2 Minuten), übersetzt nach [69]

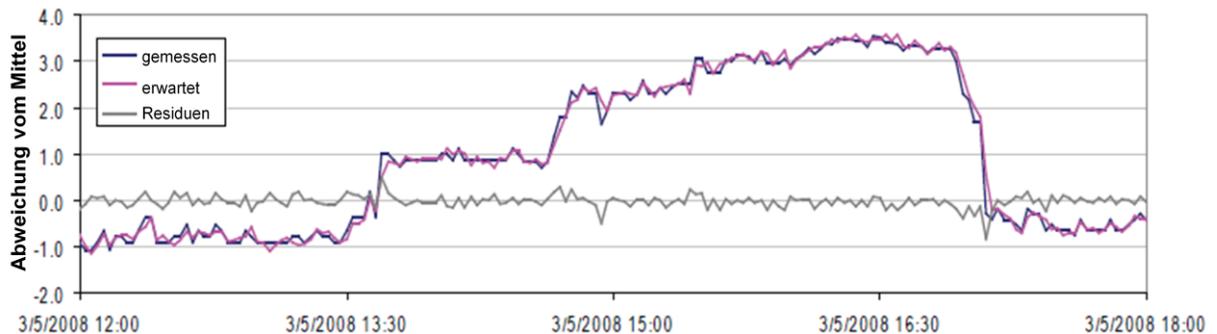


Abbildung 3.7: Gemessener (blaue Linie) und erwarteter Chlorgehalt (rosa Linie) sowie Residuen (graue Linie) in normalisierter Form, übersetzt nach [69]

Darüber hinaus ermöglichen die Residuen, indem diese aufsummiert und gemittelt werden eine Überprüfung der Einstellparameter als Ganzes. Für die Datenreihe der Abbildung 3.6 und Abbildung 3.7 beträgt der durchschnittliche Vorhersagefehler 0,094 Standardabweichungen. Unter der Annahme einer natürlichen Schwankung der normalen Wasserqualität von 1,0 Standardabweichungen bedeutet dieses Ergebnis einen durchschnittlichen Vorhersagefehler von weniger als 0,1 Standardabweichungen der Hintergrundschwankungen bzw. eine Genauigkeit von mehr als 90%. Diese Untersuchungen zeigen, dass CANARY nicht nur in der Lage ist wesentliche Trends in der Wasserqualität abzubilden, sondern ebenfalls geringere Schwankungen innerhalb dieser Trends hinreichend vorherzusagen [69].

---

### 3.2.3.3. Leistungsfähigkeit von CANARY

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Ereigniserkennung durch CANARY wurde im Rahmen der Softwareentwicklung eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen wurden hierzu deutlich unterschiedliche Daten von drei Überwachungsstationen ausgewählt. Ziel war es anhand des natürlichen Schwankungsverhaltens der Parameter aufgrund veränderter Betriebsbedingungen ein weites Spektrum an Qualitätsdaten abzubilden und so die Repräsentativität der Untersuchung für alle denkbaren Messdaten (starkes bzw. geringes Signalrauschen) sicherzustellen [69]. Diese drei Datenreihen wurden sodann in Trainingsdaten ohne bekannte Ereignisse und Prüfungsdaten mit simulierten Ereignissen aufgeteilt.

Grundsätzlich kann die Funktion bzw. Sensitivität von CANARY durch zwei Einstellparameter wesentlich beeinflusst werden: einerseits durch die zur Vorhersage betrachtete Intervalllänge/Fenstergröße und andererseits durch den Grenzwert (als Zahl der Standardabweichung) zur Bestimmung eines Ausreißers. Beide Parameter wurden anhand der Trainingsdaten (ohne simulierte Ereignisse) jeweils für die Lineare Filter- und Nächster-Nachbar-Methode bestimmt. Das Ergebnis dieser Untersuchung war, dass zwar mit steigender Fenstergröße die Qualität der Vorhersagen grundsätzlich verbessert werden kann, jedoch gleichzeitig auch ein erhöhter Rechenaufwand erforderlich wird. Erfahrungen bei anderen Überwachungsstationen und Wasserversorgern haben gezeigt, dass Fenstergrößen von ein bis zwei Tagen in der Regel ausreichen um brauchbare Vorhersagen zukünftiger Parameterwerte zu erzielen [69]. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass Grenzwerte in Höhe von einer Standardabweichung die Anzahl an Ausreißern auf ein akzeptables Maß reduzieren ohne dabei wesentlich die Empfindlichkeit des Systems zu verschlechtern. Anhand dieser Erkenntnisse im Rahmen der Untersuchung für die Trainingsdaten wurde eine Fenstergröße von 48 Stunden (1440 Zeitschritte á 2-Minuten-Intervalle) und ein Grenzwert von einer Standardabweichung für die weitere Untersuchung gewählt.

In den Prüfungsdaten wurden anschließend mit Hilfe einer sogenannten Ereignis-Simulierungsmethode verschiedene Änderungen in der Wasserqualität erzeugt und so die Zugabe einer geringen Menge potentieller Verunreinigungen simuliert. Die simulierten Ereignisse entsprechen dabei einer Stoßbelastung über 34 Zeitschritte mit einer viereckigen Grundform, die zusätzlich an den Ecken geglättet wurde um den natürlichen Konzentrationsverlauf an einer Messstation bei Durchlaufen einer Schadstoffwelle nachzubilden [69]. Zur Überprüfung der Sensitivität von CANARY wurden verschiedene Änderungsspitzen in Form eines Vielfachen der Standardabweichung des jeweiligen Parameters simuliert. Konkret wurden aufgrund der Erfahrung, dass relevante Schadstoffe hauptsächlich den Chlor- und TOC-Gehalt beeinflussen (vgl. Kapitel 3.2.2) die Änderungen bei diesen beiden Indikatorparametern vorgenommen.

Im Ergebnis der Untersuchung konnten bei allen Messreihen mehr als 90% der simulierten Ereignisse mit einer Intensität von 1,5 Standardabweichungen der normalen Wasserqualität (das entspricht etwa einer Änderung von 0,25 mg/l beim Chlor- und TOC-Signal) aufgespürt werden. Mindestens 80% der Ereignisse konnten noch bei einer Intensität von 1,0 – 1,5 Standardabweichungen (das entspricht einer Änderung von etwa 0,15 bis 0,20 mg/l im Chlor- und TOC-Signal) festgestellt werden [69]. Vor dem Hintergrund der natürlichen Schwankungen dieser Parameter von zum Teil 0,5 mg/l verdeutlicht das Ergebnis die Fähigkeit von CANARY sich unterschiedlichen Datenverläufen anzupassen und Auffälligkeiten darin zu erkennen.

---

Darüber hinaus konnte im Rahmen der Funktionsuntersuchung festgestellt werden, dass eine Verzögerung zwischen dem Beginn einer Verunreinigung und deren Deklaration durch CANARY auftritt. Verantwortlich hierfür ist der Binomialverteilungs-Algorithmus, wonach eine gewisse Anzahl an Ausreißern (hier 18) notwendig wird bevor ein Alarm ausgelöst wird. Für die betrachteten Datenreihen bedeutet dies eine Verzögerung von 18 Zeitschritten oder 36 Minuten. Auch konnte beobachtet werden, dass dadurch ein Ereignis von CANARY ungefähr 10 Zeitschritte länger als solches identifiziert wird als dies tatsächlich gegeben ist. Durch Änderung der Parameter der Binomialverteilungsfunktion ließe sich die Verzögerung bis auf sechs Zeitschritte und damit die falschen Ereignisfeststellungen entsprechend reduzieren, allerdings steigen dadurch zugleich die falschen Ergebnisse an anderer Stelle [69].

CANARY ist derzeit noch im Entwicklungsstadium. Zwar kann das Programm seit 2008 kostenlos heruntergeladen werden und wird auch bereits von einigen US-amerikanischen Wasserversorgern eingesetzt, allerdings dient dies hauptsächlich dem Aufzeigen von Schwächen und einem zusätzlichen Weiterentwicklungsbedarf. Hierzu finden regelmäßig sogenannte Webinare (online Seminare) statt, bei denen von den Teilnehmern Fragen gestellt und Anregungen gegeben werden können.

### 3.2.4. Kontrolle der Übereinstimmung mit Qualitätsmustern

Bisherige Erfahrungen bei der Einführung von automatisierten Erkennungsverfahren durch die US-EPA haben gezeigt, dass falsche Alarmer oft durch routinemäßige Änderungen des hydraulischen Betriebs einer Versorgungsanlage entstehen. So haben während eines sechsmonatigen Einsatzes beispielsweise das Öffnen oder Schließen von Ventilen, die Entleerung von Behältern oder die Änderung des Pumpenbetriebs vielfach Fehlalarme produziert [69]. Zu deren Reduzierung sind grundsätzlich zwei Vorgehensweisen möglich: 1) Überwachungsstationen in Bereichen stabiler Wasserqualität weit entfernt von der Beeinflussung durch Behälter oder Pumpen platzieren und 2) Algorithmen integrieren, die Schwankungen in der Wasserqualität aufgrund von Änderungen des hydraulischen Betriebs zuverlässig erkennen. Im Rahmen der US-amerikanischen Entwicklung hat man sich für die zweite Variante entschieden.

Eine Methode zur Reduzierung der durch geänderte Betriebsbedingungen hervorgerufenen falschen Alarmer besteht darin zusätzliche Informationen über den Anlagenbetrieb in die Auffälligkeitserkennung einzubinden. Das Hauptproblem dabei ist jedoch, dass betriebliche Änderungen meist fernab der Überwachungsstationen auftreten. Eine Vorhersage über das genaue Ausmaß sowie die zeitliche Verzögerung an einem bestimmten Ort sind dadurch schwierig, wenn nicht aufgrund der nahezu unbegrenzten Kombinationsmöglichkeiten gar unmöglich. Zudem ist die Methode anlagenspezifisch und kann nicht problemlos für alle Versorger verallgemeinert werden. Aus diesem Grund wurde ein neuer Ansatz, die sogenannte Trajektorie<sup>1</sup> Häufung oder Kurvenzusammenlagerung (englisch: trajectory clustering) eingeführt, welche regelmäßig wiederkehrende Muster in den Änderungen der Qualitätsparameter erkennen kann [69]. Die Methode zur Reduzierung falscher Alarmer umfasst dabei folgende zwei Hauptschritte: 1) Erstellung einer Bibliothek aus Qualitätsmustern stattgefundenere Ereignisse anhand historischer Daten und 2) Vergleich der aktuellen Qualitätssignale mit den Einträgen der Bibliothek. Anhand dieser Mustervergleiche ist es möglich wiederkehrende Messwertänderun-

---

<sup>1</sup> In der Mathematik wird als Trajektorie allgemein eine Bahnkurve bezeichnet, die z. B. bei der Lösung einer Differentialgleichung entsteht.

---

gen, die keiner Verunreinigung zugewiesen werden können als betriebsbedingt zu klassifizieren und so die Anzahl falscher Alarme zu reduzieren. Ein weiterer Vorteil von Mustervergleichen besteht darin, dass Messwertänderungen einer möglichen Verunreinigung direkt zugeordnet werden können noch bevor durch Laboranalysen der genaue Schadstoff verifiziert wird. Hierzu bedarf es jedoch zunächst dem Aufbau von Datenbanken mit Hinterlegung der genauen Änderungen von Indikatorparametern bei Zugabe verschiedener Schadstoffe.

Im Rahmen der Implementierung des neuen Algorithmus in CANARY wurde anhand zweier Beispieldaten untersucht, welche Auswirkungen ein Musterabgleich auf die Qualität der Auffälligkeitserkennung hat. Für den ersten Datensatz konnte dabei die Zahl falscher Alarme von ursprünglich 65 auf 14 (Reduktion um 79 %) gesenkt werden. Beim zweiten Datensatz, der regelmäßige Änderungen des Chlorgehalts um 0,2 mg/l sowie des pH-Werts um 0,3 aufwies betrug die Verringerung 70 % [69]. Eine derartige Steigerung der Sensitivität hätte zudem den Vorteil, dass für den Fall der Überwachung des Auslasses einer Aufbereitungsanlage die Erkennung von Schwankungen im Anlagenbetrieb möglich wäre. Dadurch könnten die Ergebnisse von CANARY zusätzlich als Rückmeldung für eine erweiterte Anlagenkontrolle und -optimierung im Routinebetrieb dienen [69].

Gegenwärtig wird von der US-EPA anhand weiterer Anwendungen untersucht, welche Verbesserungen bei der Trajektorie Häufung und dem Musterabgleich erzielt werden könnten. Dies betrifft zum Einen die Optimierung des Datenvergleichs mit den Qualitätsmustern der Bibliothek und zum Anderen den Aufbau einer effizienteren Musterbibliothek. In der momentanen Ausführung werden die Messwerte lediglich zum Zeitpunkt von festgestellten Ereignissen mit den Qualitätsmustern in der Bibliothek verglichen. Ziel ist jedoch deren Gegenüberstellung zu jedem Zeitpunkt, was die Zuverlässigkeit bei der Musterkontrolle steigern würde [69]. Daneben ist angedacht einen effektiveren Weg beim Aufbau der Musterbibliothek zu erreichen. Hierzu sind gegenwärtig mehrere Monate an Messdaten notwendig, bei denen ein Experte für jedes von CANARY festgestellte Ereignis eine Entscheidung bezüglich der Einbeziehung in die Musterbibliothek treffen muss. Das Ziel der Weiterentwicklung besteht darin die hierzu notwendige Menge an Daten auf solche Tage zu beschränken, die tatsächlich relevante Ereignisse enthalten [69].

### **3.2.5. Verknüpfung der Ergebnisse mehrerer Messstationen**

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Ausprägungen von Verunreinigungen in der Trinkwasserversorgung zu unterscheiden: einerseits Ereignisse bei denen die resultierende Schadstoffwelle im Vergleich zur räumlichen Dichte der Sensoren klein ist und andererseits Ereignisse bei denen die Schadstoffwelle zu zeitlich versetzten Parameteränderungen bei mehreren Überwachungsstationen führt. Das Programm CANARY dient der Erkennung von Auffälligkeiten bei einer einzigen Überwachungsstation mit einem oder mehreren Sensoren. Dies erfolgt unter der Annahme, dass die festgestellten Ergebnisse einer Überwachungsstation unabhängig von den Resultaten einer anderen sind. Für den Fall der gegenseitigen Beeinflussung ist jedoch ein weiterführender Ansatz notwendig, der die Verknüpfung aller Messergebnisse miteinander ermöglicht. Eine solche Methode könnte nicht nur die Zahl falscher Alarme oder verpasster Ereignisse reduzieren, sondern auch die Quelle der Verunreinigung genau bestimmen helfen [69]. Zudem ist eine Verfolgung der Verunreinigung durch das Versorgungsnetz mit exakter Bestimmung des verschmutzten Bereiches wichtig für die Auswahl geeigneter Gegen-

maßnahmen und Dekontaminierungsverfahren. Auch könnte dies bei der Festlegung möglicher Probenahmestellen zur weiteren Charakterisierung der Schadstoffe helfen.

Die Entwicklung einer derartigen Methode ist momentan Gegenstand diverser Forschungen bei der US-EPA und wurde bisher noch nicht abschließend im CANARY-Algorithmus umgesetzt.

### 3.2.6. Die Software TEVA-SPOT

Das wesentliche Ziel bei der Einführung eines online Monitoringsystems besteht darin mögliche Verunreinigungen rechtzeitig zu erkennen und so das Risiko für die öffentliche Gesundheit sowie die ökonomischen Konsequenzen zu reduzieren. Hierbei hat die Lage der Sensoren im Verteilungsnetz entscheidenden Einfluss auf den späteren Nutzen. Aus diesem Grund wurde von der US-EPA ergänzend zur eigentlichen Auffälligkeitsuntersuchung durch CANARY die Software TEVA-SPOT entwickelt, welche als Entscheidungshilfe bei der Auswahl und Optimierung möglicher Sensorstandorte dient. Die Software setzt sich dabei aus drei Hauptmodulen entsprechend Abbildung 3.8 zusammen. Im ersten Modul erfolgt zunächst die Simulation möglicher Ereignisse und deren Zusammenstellung in einer Gefährungsdatenbank. Das zweite Modul umfasst die Ermittlung wahrscheinlicher Konsequenzen für die zuvor simulierten Ereignisse. Im dritten Modul werden abschließend die Sensorstandorte optimiert.

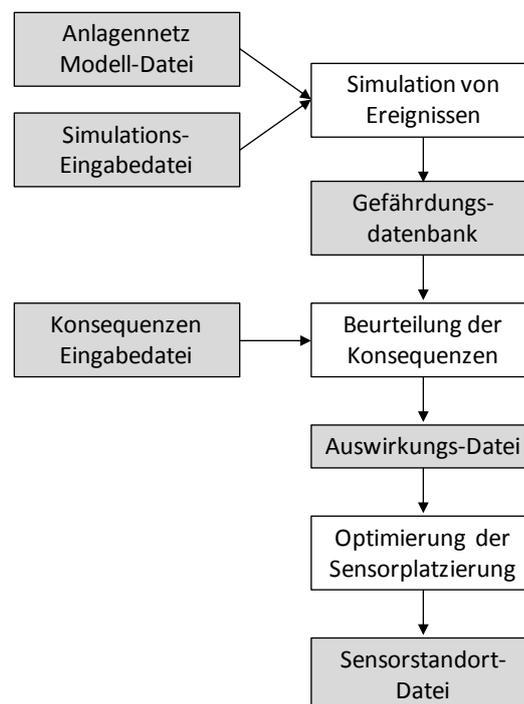


Abbildung 3.8: Fließschema der TEVA-SPOT Software, übersetzt nach [67]

Nachfolgend wird die wesentliche Funktionsweise der Software TEVA-SPOT zusammengefasst. Weiterführende Informationen, speziell zu den angewendeten Algorithmen sowie zur allgemeinen Vorgehensweise bei der Standortwahl, sprengen den Rahmen dieser Arbeit und können im Abschlussbericht der US-EPA nachgelesen werden [67].

---

## Beurteilung der Konsequenzen

Bei Vorliegen eines entsprechenden Netzwerkmodells ist TEVA-SPOT in der Lage die Folgen relevanter Verschmutzungsereignisse auf das Verteilungsnetz direkt zu ermitteln. Hierzu bedarf es zunächst der Aufstellung von Störfällen (sogenannter Bemessungsgefährdungen), die von den Sensoren erkannt werden sollen. TEVA-SPOT untersucht dabei Verschmutzungsereignisse, die an jedem Knotenpunkt im Netzwerkmodell entstehen können. Anschließend erfolgt eine Abschätzung der Auswirkungen bezogen auf Leistungsziele wie die Anzahl infizierter Menschen oder die Länge verschmutzter Leitungen. Zur Ermittlung der Auswirkungen dient die lizenzfreie Software EPANET, welche ursprünglich zur hydraulischen Modellierung und Analyse von Wasserversorgungsnetzen seitens der US-EPA entwickelt wurde.

## Optimierung

Für die meisten Anwendungsbereiche wurde TEVA-SPOT bisher so eingesetzt, dass die durchschnittlichen Auswirkungen für ein gegebenes Ziel minimiert werden (gemittelt über die Gesamtheit aller Verschmutzungsereignisse [66]). Diese Vorgehensweise entspricht der Annahme, dass jede Verunreinigung die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit aufweise und somit gleich bedeutend für die Auswahl möglicher Sensorstandorte sei. Alternativ können vom Anwender jedoch auch Gewichtungen vorgenommen werden und so Bereiche mit höherem Verschmutzungsrisiko bzw. mit einer höheren Wahrscheinlichkeit terroristischer Anschläge bevorzugt werden. Derartige Informationen liegen aber in den seltensten Fällen mit absoluter Gewissheit vor. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit eine Art Sensitivitätsanpassung in TEVA-SPOT vorzunehmen, indem die maximal möglichen Auswirkungen in ihrer Höhe begrenzt werden können.

## Mehrdimensionale Zielanalyse

Grundsätzlich existieren viele verschiedene Gestaltungsziele bei der Auswahl möglicher Sensorstandorte wie z. B. die Anzahl infizierter Menschen, die Länge verschmutzter Leitungen oder die notwendige Zeit für das Aufspüren von Verunreinigungen. TEVA-SPOT kann dabei nur ein Teilziel auf einmal optimieren. Dem Anwender wird sodann ermöglicht Alternativen zwischen verschiedenen Sensorstandorten zu untersuchen und anhand von Nebenbeschränkungen den besten Kompromiss zur Erreichung aller Teilziele zu erarbeiten. Im Ergebnis dieser mehrdimensionalen Optimierung ist die Bestimmung von Sensorstandorten mit den geringsten Auswirkungen anhand der zuvor definierten Gestaltungsziele möglich.

Die Software TEVA-SPOT kann auf der Internetseite der US-EPA kostenfrei heruntergeladen werden und besteht sowohl aus einer Bibliothek mit Funktionen und ausführbaren Befehlszeilen als auch aus einer grafischen Benutzeroberfläche. Bisherige Einsätze bei mehreren mittleren und großen Wasserversorgern in den USA haben gezeigt, dass mit Hilfe des Programms wesentlich bessere Resultate im Vergleich zur Standortwahl durch reines Expertenwissen erzielt werden können [67].

### 3.3. Das Projekt EASE

Das Projekt EASE ist ein vom Institut für Hygiene und Umwelt (HU) der Behörde für Wissenschaft und Gesundheit (BWG) der Freien und Hansestadt Hamburg im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführtes Forschungsvorhaben. EASE ist dabei die Abkürzung für „Entwicklung von Alarmkriterien und Störfallerfassung in Messstationen im Elbeinzugsgebiet für die internationale Gefahrenabwehrplanung“. Das Projekt wurde im Jahr 2004 abgeschlos-

---

sen. Es baut formal als zweites Teilprojekt auf die Ergebnisse des tschechischen Abschlussberichtes „Störfall-Erfassung im Elbeinzugsgebiet und Entwicklung von Alarmkriterien für die internationale Gefahrenabwehrplanung, Abschlussbericht 2000 – 2001“ auf und entwickelt diese weiter [35].

Die Notwendigkeit des Projekts resultiert aus dem bisher geltenden Prinzip der Warn- und Alarmpläne der großen Flussgebiete Europas, wonach der Verursacher (Schadstoffemittent) einen Störfall unverzüglich nach dessen Eintreten mit allen relevanten Daten den zuständigen Stellen anzeigen muss. Sofern dies absichtlich oder aus Unwissenheit unterbleibt besteht die große Gefahr irreparabler Schäden [35]. Zur Minimierung dieser Gefahr untersucht das EASE-Projekt den Nutzen von sinnvoll über den Gewässerlauf verteilten Messstationen. Diese sollen mit einer Technologie ausgestattet sein, welche durch automatische Messungen im Wasser zunächst Auffälligkeiten erkennt, sie als „natürlich“ oder „störfallbedingt“ identifiziert und im Zuge einer Relevanzbewertung abschließend eine Alarmentscheidung trifft. Zudem könnte ein solches System zur Aufklärung der Belastungsursache beitragen und so die vermutete hohe Anzahl illegaler Einleitungen reduzieren helfen [35].

Das Umweltbundesamt hat zu diesem Zweck zwei Teilprojekte beauftragt. Das erste Teilprojekt beinhaltet eine Bestandsaufnahme und Bewertung „klassischer physikalisch-chemischer Gewässerparameter und deren Eignung für eine immissionsorientierte Alarmierung“ [35]. Das zweite Teilprojekt (EASE) befasst sich mit der konkreten technischen Umsetzung eines immissionsorientierten automatischen Alarmsystems sowie dessen Einbindung in die bestehenden Warn- und Alarmpläne. Als besonderes Projektanliegen sollen darüber hinaus die Ergebnisse auch anderen Flussgebietsgemeinschaften zugänglich gemacht werden.

Zu beachten ist jedoch, dass Oberflächenwasser generell eine erheblich andere Zusammensetzung als Trinkwasser aufweist. Dies betrifft sowohl die gelösten Stoffe wie auch das natürliche Schwankungsverhalten dieser Parameter. Insofern sind die Ergebnisse der Studie nicht unmittelbar auf den Trinkwasserbereich übertragbar. Allerdings hat das Projekt zur Entwicklung einer Software geführt, deren Einsatz ebenfalls zur Überwachung von Trinkwassernetzen geeignet ist. Nachfolgend wird die Funktionsweise dieser Software genauer beschrieben.

### **3.3.1. Dynamische Auffälligkeitstests**

Aufgrund der Stoffvielfalt kommt das EASE-Projekt wie auch der US-amerikanische Ansatz zu dem Ergebnis die kontinuierliche Messung auf solche Parameter zu beschränken, die sich als Folge von Störfällen pauschal ändern. Hierbei sind die klassisch chemisch-physikalischen Parameter wie Trübung, pH-Wert, Leitfähigkeit, UV-Absorption, Sauerstoffgehalt usw. zu nennen, die durch Kombination mit aufwändigeren Verfahren wie kontinuierliche Biotestgeräte (sogenannte Biomonitore) ergänzt werden sollen. Das Problem in der Bestimmung klassischer Monitoringparameter besteht jedoch darin, dass diese im Gewässer meist erheblichen natürlichen Schwankungen unterliegen. Diese Schwankungen wiederum können jahreszeitlicher, tageszeitlicher oder auch witterungsbedingter Natur sein und das Ausmaß der durch Störfälle erzeugten Veränderungen bei Weitem übertreffen. Aus diesem Grund ist die Verwendung statischer Alarmschwellen selbst bei an die periodischen Veränderungen angepassten Grenzwerten (Sommer/ Winter, Tag/ Nacht) nicht geeignet alle Störfälle zu erkennen. So kommt das erste Teilprojekt bereits zu dem Ergebnis, dass statische Alarmschwellen zur Störfallerkennung im Gewässer in den meisten Fällen ungeeignet sind [35].

---

Zur Lösung des Problems sind statistisch-mathematische Methoden notwendig, die Auffälligkeiten unabhängig von statischen Grenzwerten aus der Dynamik des Messkurvenverlaufs erkennen. Für die Auswertung von Biomonitoring wie z. B. des dynamischen Daphnientests haben sich in der Vergangenheit drei verschiedene Verfahren bewährt: der Doppelsigmatest, der Hinkley-Detektor und die Steigungsoperatoren-Methode. Der Doppelsigmatest wird bereits seit 1995 von der Fa. ELEKTRON für die Datenauswertung ihrer Biomonitoring verwendet und seit 1997 auch zur Bewertung anderer Messergebnisse eingesetzt [35]. Nachfolgend wird die Funktionsweise dieser Algorithmen beschrieben.

### 3.3.2. Der Doppelsigmatest

Beim Doppelsigmatest werden zunächst der Mittelwert sowie die Standardabweichung der Messwerte eines definierbaren unmittelbar zurückliegenden Zeitintervalls ermittelt. Der aktuelle Messwert wird dann im nächsten Schritt mit dem Mittelwert verglichen und die sich ergebende Differenz bestimmt. Eine Auffälligkeit liegt vor, wenn diese Differenz bei zwei aufeinanderfolgenden Messwerten (doppelsigma) ein festlegbares Vielfaches der Standardabweichung überschreitet [35]. Somit erfolgt beim Doppelsigmatest eine Berechnung von dynamischen oberen und unteren Sigmagrenzen, deren Höhe jeweils vom individuellen Messkurvenverlauf abhängig ist und nicht von festen Alarmschwellen. Die Sigmagrenzen lassen sich für jeden Messwert wie folgt berechnen:

$$\text{obere Sigmagrenze} = x + F \cdot s$$

$$\text{untere Sigmagrenze} = x - F \cdot s$$

Dabei steht „ $x$ “ für den arithmetischen Mittelwert eines definierbaren Zeitintervalls (z. B. der letzten 27 Messwerte), „ $F$ “ für einen vom Anwender frei einstellbaren Skalierungsfaktor als Maß der Sicherheit und „ $s$ “ für die Standardabweichung [35]. Grundsätzlich gilt, dass mit steigendem Skalierungsfaktor  $F$  eine Grenzwertüberschreitung unwahrscheinlicher und damit die Empfindlichkeit des Doppelsigmatests geringer wird. Kleine Werte erhöhen hingegen die Empfindlichkeit. Demnach läge bei z. B.  $F = 2$  die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wert außerhalb der Sigmagrenzen auftritt bei 4,55 %, für  $F = 3$  bei entsprechend 0,05 % [35]. Da dies jedoch nur bei einer Normalverteilung der Messwerte gilt ist das Maß an Sicherheit bzw. Zuverlässigkeit bei der Auffälligkeitserkennung nicht generell auf den Trinkwasserbereich übertragbar.

Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 3.9 den Verlauf der oberen und unteren Sigmagrenzen (sogenannte Sigmahüllkurve) sowie der berechneten Mittelwerte (Fitkurve) für eine Messreihe der Trübung. Die dynamischen Grenzen passen sich bei diesem Verfahren automatisch den Veränderungen bzw. dem Rauschen im Kurvenverlauf an und stellen das System gewissermaßen selbständig „scharf“. So liegt der Sigmaschlauch im linken schwarzen Fenster aufgrund des geringen Rauschverhaltens sehr eng an den Messwerten. Mit deren Anstieg verändert sich jedoch die Form des Sigmaschlauches dahingehend, dass der Abstand zwischen unterer und oberer Grenze vergleichsweise groß wird (rotes Fenster). Der orangefarbene Bereich auf der Fitkurve in diesem Abschnitt gibt an, dass die obere Sigmagrenze durch mindestens zwei aufeinanderfolgende Messwerte (Doppelsigmatest) überschritten wurde. Ein plötzlicher Anstieg von Messdaten wird in diesem Fall vom System registriert und führt zu einer Kennzeichnung

durch den Auffälligkeitstest. Mit Abnahme der zeitlichen Veränderung der Messwerte verringert sich der Abstand beider Sigmaschläuche wieder (vgl. rechtes schwarzes Fenster) und das System stellt sich wieder selbständig „scharf“ [35].

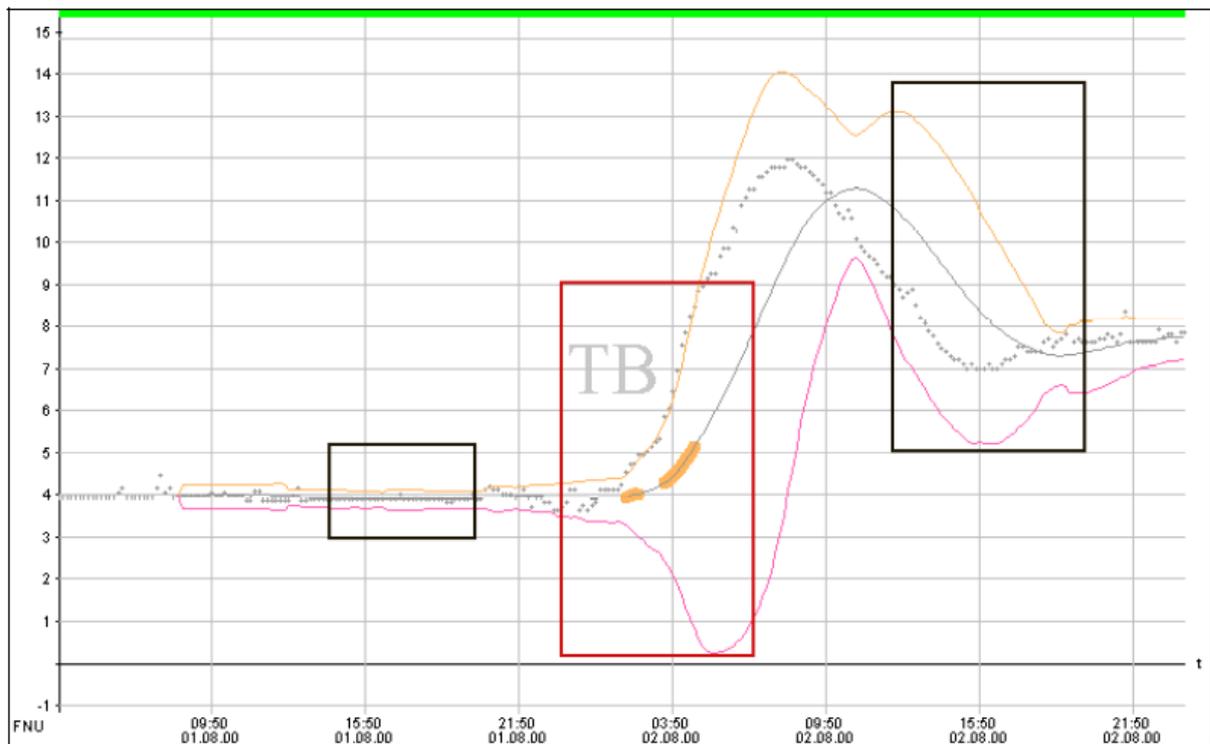


Abbildung 3.9: Auffälligkeitserkennung durch den Doppelsigmatest für eine Messreihe (Trübung); graue Punkte: Einzelmesswerte; graue Linie: Fitkurve; rosa Linie: untere Sigmagrenze; orange Linie: obere Sigmagrenze; oranger Bereiche auf der Fitkurve: Überschreitung der oberen Sigmagrenze [35]

Ein besonderes Problem in der Auffälligkeitserkennung durch den Doppelsigmatest besteht darin, dass die Sigmagrenzen bei Messreihen mit geringem Rauschverhalten sehr eng an der Fitkurve verlaufen. Verantwortlich hierfür ist die geringe Standardabweichung in einem solchen Fall. Dadurch wird das System insgesamt sehr empfindlich und es würden bereits kleinste Abweichungen eines Messwertes genügen um eine Auffälligkeit zu erzeugen. Zur Vermeidung von Fehlalarmen besteht daher zusätzlich die Möglichkeit eine „Mindestabweichung vom Mittelwert“ zu definieren [35]. Das bedeutet zwei aufeinanderfolgende Messwerte gelten erst dann als auffällig, wenn sie sowohl die Grenze des Sigmaschlauches als auch die vorher festgelegte Mindestabweichung vom Mittelwert überschreiten.

Abbildung 3.10 zeigt die definierbaren „Mindestabweichungen vom Mittelwert“ als grüne Kurven exemplarisch für eine Messreihe der Trübung. Im vergrößerten Bereich sind zwei aufeinanderfolgende Messwerte dargestellt, die zwar außerhalb der oberen Sigmagrenze liegen, jedoch den Bereich der Mindestabweichung nicht überschreiten. Aus diesem Grund erkennt das System keine Auffälligkeit und die Werte werden als innerhalb des tolerierbaren Schwankungsbereiches bewertet.

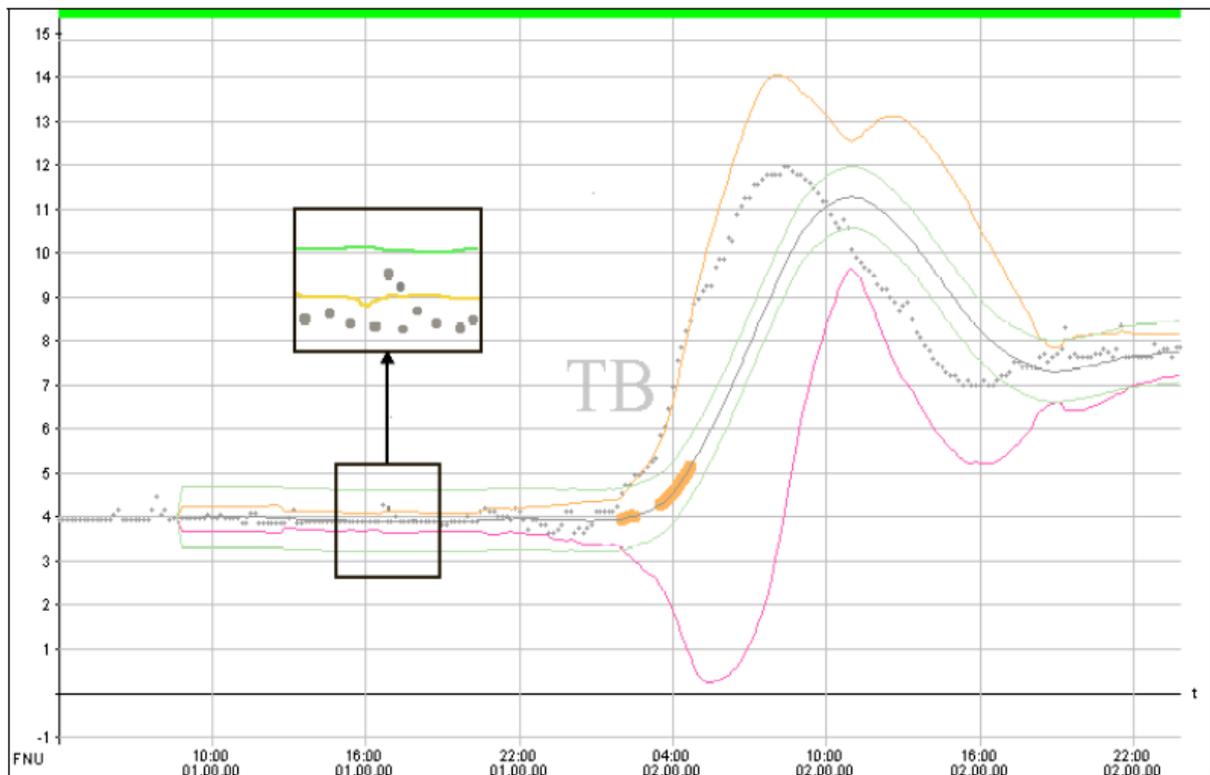


Abbildung 3.10: Auffälligkeitserkennung durch den Doppelsigmatest für eine Messreihe der Trübung, grüne Linie: Mindestabweichung [35]

### 3.3.3. Der Hinkley-Detektor

Der Hinkley-Detektor ist ein mathematisches Verfahren mit dem Messwert-Zeitreihen auf Sprünge untersucht werden können. Es wurde 1971 von D. H. Hinkley entwickelt. Das Funktionsprinzip zur Sprungerkennung bilden dabei folgende Formeln:

$$g(t) = g(t - 1) + z(t) - \frac{\mu_1 + \mu_0}{2}$$

$$g(t) = \begin{cases} g(t) & \text{wenn } g(t) \geq 0 \\ 0 & \text{wenn } g(t) < 0 \end{cases}$$

$$\text{Alarm wenn } g(t) \geq \lambda$$

**$g(t)$**  : Hinkley-Summe  
 **$z(t)$**  : Messwert zum Zeitpunkt  $t$   
 **$\mu_0$**  : Ausgangsniveau  
 **$\mu_1$**  : Sprungniveau  
 **$(\mu_1 + \mu_0)$**  : Hinkleysumme  
 **$\lambda$**  : Hinkley-Grenze

Diese drei Formeln werden für jeden neuen Messwert  $z(t)$  zum Zeitpunkt  $t$  nacheinander abgearbeitet. Dabei wird vorausgesetzt, dass  $\mu_0$ ,  $\mu_1$  und  $\lambda$  z. B. durch eine optische Analyse der Gesamtdaten bekannt sind [35].

Abbildung 3.11 verdeutlicht die Funktionsweise des klassischen Hinkley-Detektors. Dabei sind durch den dargestellten Sprung der Messdaten das Ausgangsniveau mit  $\mu_0 = 10$  sowie das Sprungniveau mit  $\mu_1 = 14$  gekennzeichnet. Innerhalb der ersten 19 Messpunkte ist die Hinkley-Summe  $g(t)$  lediglich zum Zeitpunkt  $t = 10$  größer Null, da der Messwert das halbe Hinkley-Niveau  $(\mu_1 + \mu_0) / 2 = 12$  überschreitet. Ab  $t = 20$  überschreitet jeder Messwert das halbe Hinkley-Niveau und liefert so einen Beitrag zur Hinkley-Summe  $g(t)$ . Dieser Beitrag ist um das halbe Hinkley-Niveau kleiner als der eigentliche Messwert. Zum Zeitpunkt  $t = 20$  liegt

der Messpunkt nur geringfügig über dem halben Hinkley-Niveau und liefert so nur einen kleinen Beitrag zur Hinkley-Summe  $g(t)$ . Dieser Beitrag ist zum Zeitpunkt  $t = 21$  aufgrund der Höhe des dort vorliegenden Messwertes entsprechend größer. Wenn ein Messpunkt betragsmäßig kleiner als das halbe Hinkley-Niveau ist wird die Hinkley-Summe auch wieder kleiner und zwar um den Differenzbetrag zwischen Messwert und halber Hinkley-Summe. Ein Sprung gilt als solcher identifiziert, sobald die Hinkley-Summe die Hinkley-Grenze erreicht (hier bei  $t = 24$ ).

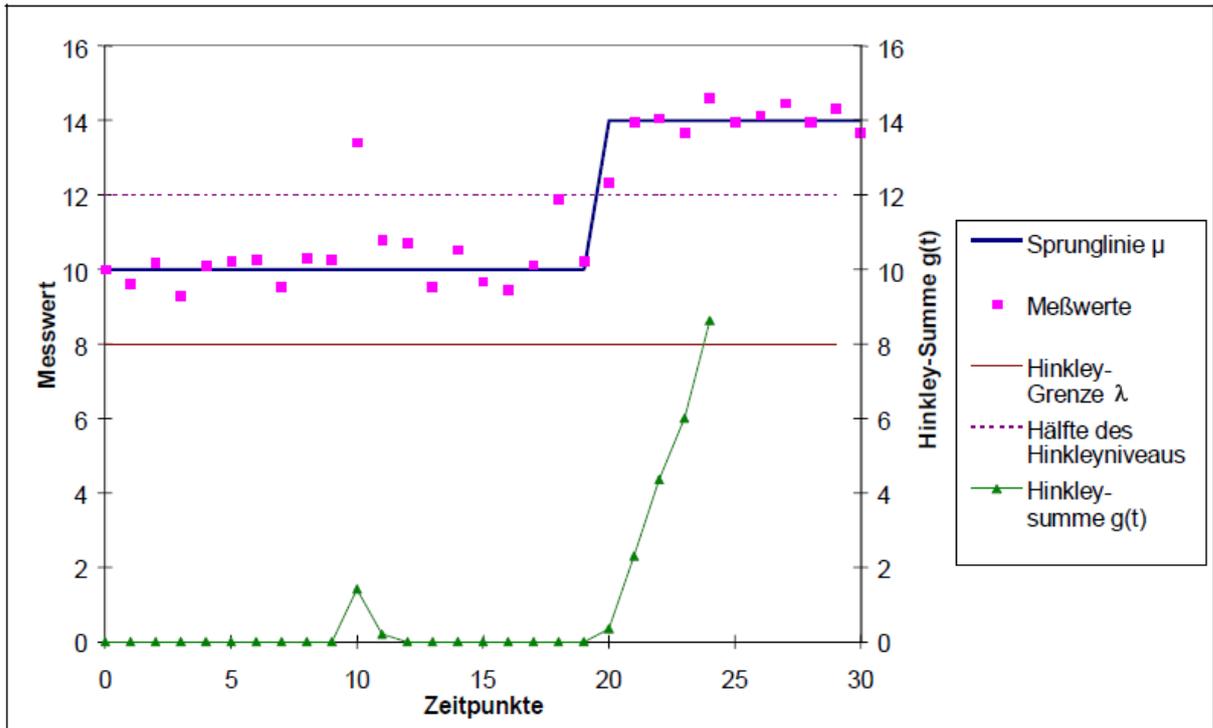


Abbildung 3.11: Prinzip des Hinkley-Detektors nach [35]

### 3.3.3.1. Der adaptive Hinkley-Detektor

Da das Ausgangsniveau  $\mu_0$  sowie das Sprungniveau  $\mu_1$  weder konstant noch bekannt sind ist die zuvor beschriebene Form des Hinkley-Detektors in dynamischen Systemen größtenteils unbrauchbar. Zur Lösung des Problems bedarf es einer mathematischen Erweiterung, die für das Ausgangsniveau in der Einführung eines Driftabzugs (vgl. Kapitel 3.3.3.2) besteht [35]. Durch diesen Driftabzug wird erreicht, dass die Messwertkurve nur noch um den Nullpunkt schwankt und somit  $\mu_0 = 0$  wird. Das Sprungniveau  $\mu_1$  lässt sich allerdings nicht derart auf einen festen Wert festlegen und muss entsprechend berechnet werden. Als Berechnungsgrundlage soll dabei das Sprungverhalten bzw. Rauschen (Sigma) der vorangegangenen Werte dienen. Das Sprungniveau kann dann als Abhängigkeit der Standardabweichung der Messpunkte eines definierbaren Vorgängerintervalls und einer durch den Anwender wählbaren Sprunghöhe (zur Beeinflussung der Empfindlichkeit) wie folgt berechnet werden [35]:

$$\mu_1 = k \cdot \sigma \cdot \text{Sprunghöhe}$$

$\mu_1$	:	Sprungniveau
$k$	:	Proportionalitätskonstante
$\sigma$	:	Standardabweichung
<b>Sprunghöhe</b>	:	vom Anwender wählbar

Durch diese mathematische Definition soll verhindert werden, dass die Hinkley-Summe bei zunehmendem Rauschen proportional zu den Messwerten steigt und dadurch Fehlalarme auslöst. Dies wird dadurch gewährleistet, dass bei jeder Berechnung der Hinkley-Summe  $\mu_1/2$  subtrahiert wird und so selbst bei ansteigendem Sigma die Alarmgrenze lediglich bei Vorliegen eines signifikanten Sprungs erreicht wird [35].

Die Alarmgrenze  $\lambda$  ist in der Weiterentwicklung des Hinkley-Detektors als Funktion der Proportionalitätskonstanten  $k_\lambda$  mit dem Wert 200 und des Hinkleyfaktors wie folgt definiert [35]:

$$\lambda = k_\lambda \cdot \text{Hinkleyfaktor} \quad \begin{array}{ll} \lambda & : \text{Hinkley-Grenze} \\ k_\lambda & : \text{Skalierungsgröße} \end{array}$$

Durch die Adaption des Hinkley-Detektors anhand der Funktionen  $\mu_1$  und  $\lambda$  soll sichergestellt werden, dass dieser für jede Form von Daten gleich gut funktioniert. Insbesondere bei einem Anstieg des Rauschens oder einer Steigerung der mittleren Messwerte bei zugleich konstantem Signal-Rausch-Verhältnis, soll die Güte der Alarmaufspürung nicht beeinflusst werden [35]. Die Weiterentwicklung führt somit zu einem System, welches adaptiv zu den Rauschverhältnissen arbeitet und wird als adaptiver Hinkley-Detektor bezeichnet. Die Empfindlichkeit des Systems kann vom Anwender anhand der veränderbaren Größen „Sprunghöhe“ und „Hinkley-Faktor“ individuell beeinflusst und den jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

### 3.3.3.2. Driftabzug

Unter einer Drift versteht man allgemein den langsamen An- bzw. Abstieg einer Messwertreihe. Für die Untersuchung wirkt sich dies grundsätzlich erschwerend aus. Der Driftabzug soll eine einfachere Auswertung von Daten ermöglichen, indem einer Drift überlagerte Veränderungen deutlicher erkennbar gemacht werden können. Dazu wird die Drift abschnittsweise durch eine Funktion beschrieben und von der Messwertkurve subtrahiert. Als Ergebnis schwanken die so driftbereinigten Kurven nur noch um den Nullpunkt und kurzzeitige Veränderungen sind dadurch leichter feststellbar [35].

Abbildung 3.12 zeigt zur Verdeutlichung das Prinzip eines Driftabzugs. Dabei wird jedem Messwert  $z_i$  ein Schätzwert  $s_i = f(z_i)$  zugewiesen, wobei dieser Schätzwert sich aus dem vorangegangenen Messkurvenverlauf ergibt [35]. Hierzu wird eine möglichst optimal den Messwerten angepasste Kurve durch eine gewisse Anzahl der dem Messwert  $z_i$  vorangegangenen Werte gelegt. Die Anzahl der Messpunkte zur Kurvenbestimmung heißt Anzahl der Fitnesspunkte. Den einfachsten Fall einer angepassten Kurve stellt dabei eine Gerade dar, die ähnlich der linearen Regression  $r_{xy}$  für die Messwerte  $z_i - \text{Anzahl der Fitnesspunkte}$  bis  $z_i$  berechnet wird. Diese Gerade lässt sich im Punkt  $s_j$  anhand folgender Gleichung beschreiben [35]:

$$s_j = a_i t_j + b_i \quad \begin{array}{ll} s_j & : \text{Schätzwert} \\ a_i & : \text{Steigungskoeffizient} \\ t_j & : \text{Zeitpunkt} \\ b_i & : \text{Offset} \end{array}$$

Der Schätzwert  $s_{j=i+1}$  stellt somit das gefittete Element der Kurve dar und „schätzt“ aus dem reinen Driftverhalten des Datensatzes den Messwert  $z_{i+1}$ . Für jeden Zeitpunkt  $i$  wird dieser

Schätzworgang wiederholt und dadurch eine aus den Elementen  $s_i$  bestehende Schätzwertkurve gebildet. Abschließend werden der Messwert  $z_i$  und der Schätzwert  $s_i$  für jeden Zeitpunkt  $t_i$  voneinander subtrahiert. Im Ergebnis entsteht eine nur noch um den Nullpunkt schwankende Kurve [35].

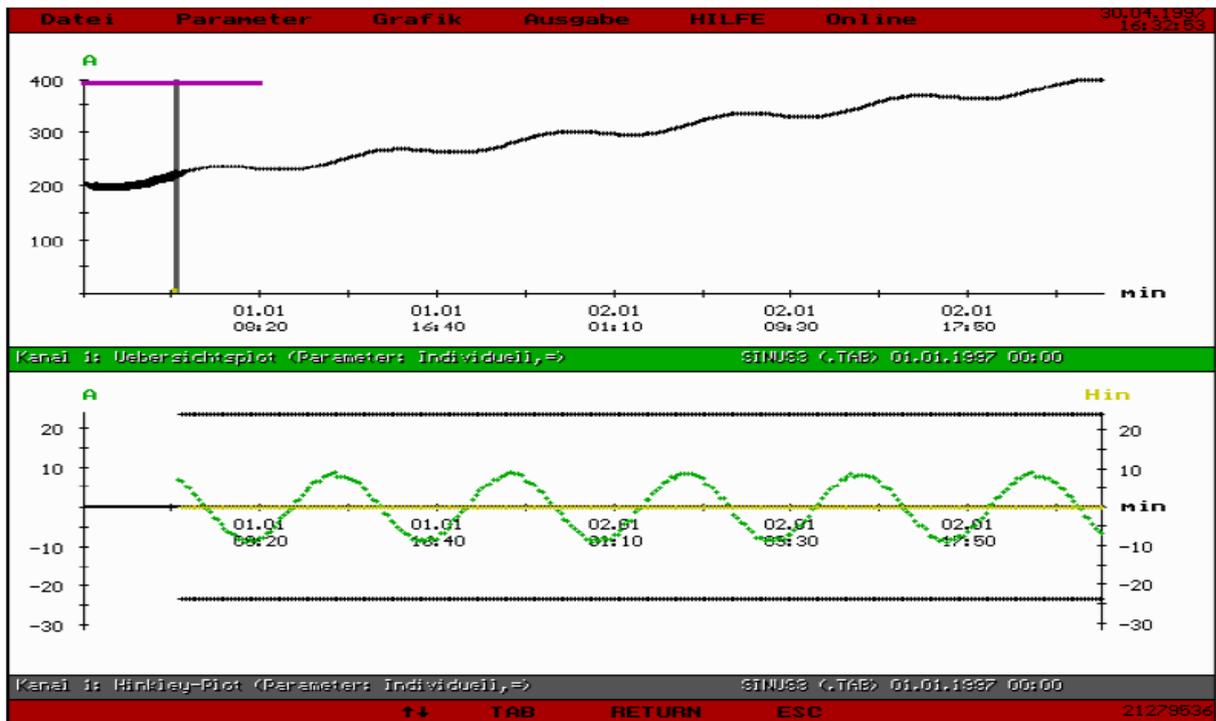


Abbildung 3.12: Beispiel eines Driftabzugs; die obere Kurve zeigt eine steigende, mit einer Sinusfunktion überlagerte Form. In der unteren Kurve wurde die langsame Drift herausgerechnet, der sinusförmige Anteil bleibt bestehen (in vergrößertem Maßstab). Der Driftabzug verursacht bei diesem Beispiel eine leichte Phasenverschiebung [35]

### 3.3.4. Die Steigungsoperatoren-Methode

Bei der Steigungsoperatoren-Methode wird zunächst durch eine definierbare Anzahl zurückliegender Messpunkte eine Regressionsgerade gelegt. Anschließend wird diese Gerade hinsichtlich ihrer Steigung untersucht und der Wert mit einer vorher vom Anwender festgelegten Steigungsgrenze verglichen. Ist die Steigung der Regressionsgeraden größer als diese Grenzsteigung gilt der Messwert als auffällig und ein Steigungsalarm wird ausgelöst [35].

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Arten von Grenzwerten bei der Methode zu differenzieren. Einerseits ein auf kurzfristige Steigungsänderungen ausgelegter Grenzwert und andererseits ein Grenzwert, der längerfristige Veränderungen erfassen kann. Im ersten Fall ist die Betrachtung von kurzen Intervallen zurückliegender Einzelmesswerte notwendig, im zweiten Fall die eines längeren Messintervalls. Sobald einer der Grenzwerte überschritten wird liegt eine Auffälligkeit vor und der Steigungsalarm wird ausgelöst [35].

Abbildung 3.13 und Abbildung 3.14 verdeutlichen den Unterschied bei der Bestimmung von kurz- bzw. langfristigen Veränderungen durch die Steigungsoperatoren-Methode. Der dunkel unterlegte Bereich in Abbildung 3.13 markiert das zur Ermittlung der Steigung betrachtete Intervall. Die rote Linie  $b$  stellt die resultierende Regressionsgerade durch dieses Intervall dar. Um langsame Veränderungen erfassen zu können werden in diesem Fall die letzten 43 Mess-

werte zur Auffälligkeitserkennung herangezogen. Im Ergebnis ist die Steigung der berechneten Regressionsgeraden  $b$  größer als die festgelegte Steigungsgrenze  $c$ , sodass eine Auffälligkeit vorliegt [35].

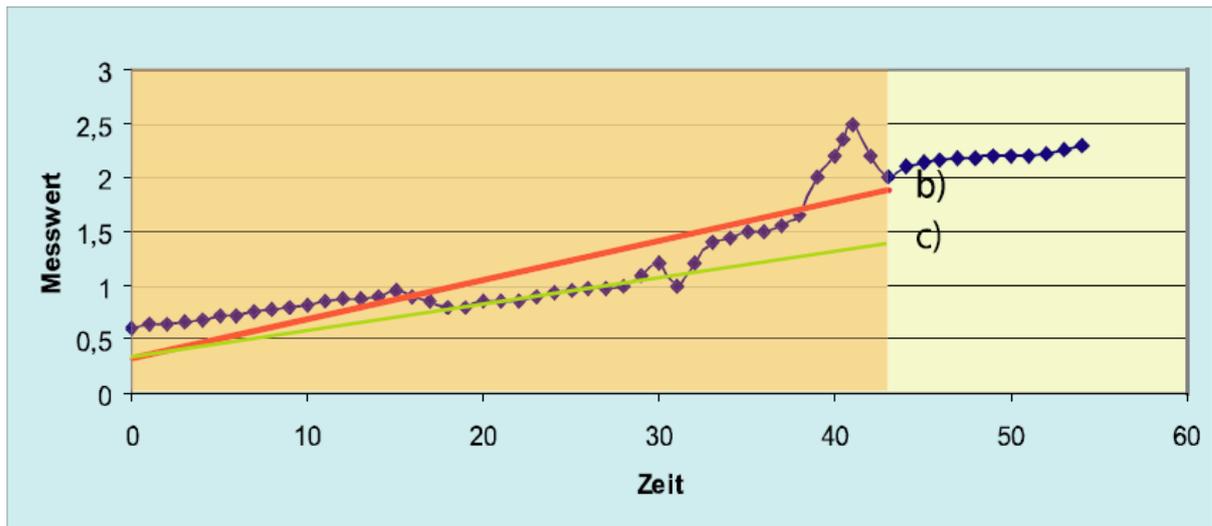


Abbildung 3.13: Datenreihe mit berechneter Regressionsgerade (rote Linie), um langfristige Veränderungen zu detektieren; dunkel unterlegter Teil: betrachtetes Intervall für die Berechnung der Steigung; grüne Gerade  $c$ : Steigungsgrenze zum Erkennen langsamer Veränderungen (Steigungsgrenze 2), nach [35]

Zur Erfassung kurzfristiger Veränderungen in Datenreihen bedarf es der Betrachtung von kürzeren Intervallen für die Steigungsberechnung. Abbildung 3.14 zeigt dies beispielhaft für die gleiche Datenreihe der Abbildung 3.13. Das betrachtete Intervall ist dabei wesentlich kleiner und ermöglicht so das Aufspüren von temporär bedeutend kürzeren Auffälligkeiten [35]. In dem vorliegenden Beispiel ist die Steigung der Regressionsgerade  $b$  größer als die Steigungsgrenze  $a$ , sodass ein Alarm vorliegt.

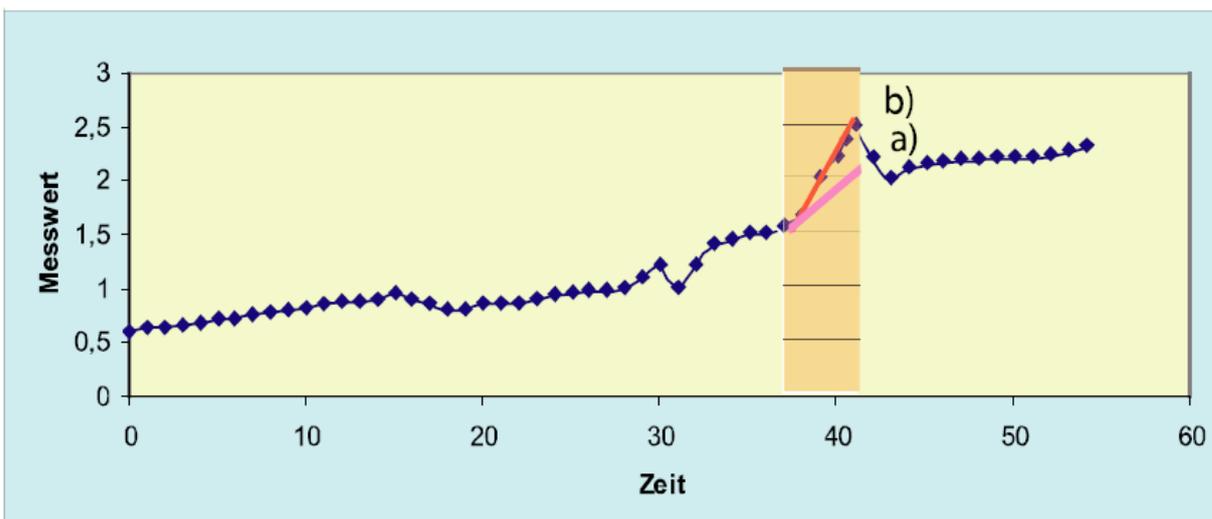


Abbildung 3.14: Datenreihe mit berechneter Regressionsgerade (rote Linie), um kurzfristige Veränderungen zu detektieren; dunkel unterlegter Teil: betrachtetes Intervall für die Berechnung der Steigung; violette Gerade  $a$ : Steigungsgrenze zum Erkennen kurzfristiger Veränderungen (Steigungsgrenze 1), nach [35]

Damit Veränderungen in Datenreihen mit der Steigungsoperatoren-Methode hinreichend erkannt werden können ist zusammenfassend die Verwendung von zwei unterschiedlichen Stei-

---

gungsgrenzen, einerseits für kurzfristige und andererseits für langfristige Änderungen notwendig.

### 3.3.5. Alarmindex

Die Untersuchungen zur online Überwachung der Qualität von Oberflächenwasser haben gezeigt, dass bei Störfällen in den meisten Fällen Veränderungen gleich mehrerer Messgrößen zu beobachten sind [35]. Zwar sind diese oft gering und würden bei separater Betrachtung der Parameter kaum auffallen, in der Gesamtheit ist jedoch eine Beeinträchtigung häufig erkennbar. Folglich ließe sich die Alarmierungssicherheit deutlich erhöhen, wenn mehrere Messgrößen gleichzeitig miteinander verglichen und bewertet werden. Aus diesem Grund wurde im EASE-Projekt der sogenannte Alarmindex (AI) eingeführt, welcher sich anhand unterschiedlicher Gewichtungen aus allen registrierten Auffälligkeiten bei den einzelnen Parametern berechnet. Wird von den dynamischen Auffälligkeitstests bei einem Messparameter ein Ereignis festgestellt, erhöht sich der Wert des Alarmindex um einen für die entsprechende Messgröße festgelegten Betrag [35]. Jede Messgröße wird so je nach ihrer Bedeutung für die Trinkwasserqualität gewichtet und zur Berechnung der Gesamtfährdung verwendet.

Es können insgesamt drei Schwellen im Alarmindex definiert werden (gelb, orange und rot). Beim Überschreiten der ersten beiden Schwellen erfolgt eine stationsinterne Warnung, beim Überschreiten der dritten Schwelle entsprechend ein roter Stationsalarm mit der Notwendigkeit zu handeln. Die unterschiedlichen Beiträge zur Berechnung des Alarmindex sind darüber hinaus mit einer „Verfallszeit“ versehen. Dies soll verhindern, dass zeitlich weit auseinanderliegende Ereignisse zu einem Anwachsen des AI führen. Somit sinkt der Alarmindex bei Ausbleiben weiterer Auffälligkeiten wieder auf den Wert null [35].

### 3.3.6. Bewertung der Auffälligkeitstests

Am Doppelsigmatest haben verschiedene Experten wiederholt bemängelt, dass dieser den arithmetischen Mittelwert sowie die zugehörige Standardabweichung zur Auffälligkeitserkennung verwendet, obwohl deren Einsatz nur bei voneinander unabhängigen Stichproben und normalverteilten Daten erlaubt ist [35]. Die zu untersuchenden Messreihen weisen jedoch häufig keine Normalverteilung auf und auch die einzelnen Messwerte sind nicht unabhängig voneinander. Um zu überprüfen, ob diese Einwände berechtigt sind wurde die statische Gültigkeit von einem unabhängigen Gutachter untersucht. Im Ergebnis bestätigt das Gutachten grundsätzlich die Eignung des Doppelsigmatests für die Gewässerüberwachung [35].

Prinzipiell kann mit dem adaptiven Hinkley-Detektor mit Driftabzug eine etwas sicherere Auffälligkeitserkennung als mit dem Doppelsigmaverfahren erreicht werden [35]. Allerdings erfordert die Anpassung an die jeweiligen Messbedingungen einen erhöhten Programmieraufwand. Auch ist viel Erfahrung zur Optimierung und Validierung der vom Anwender veränderbaren Variablen beim Hinkley-Detektor notwendig. Da der Doppelsigmatest einfacher zu realisieren ist hat man sich im Rahmen des EASE-Projekts in Hamburg nach mehrjährigem Testbetrieb verschiedener dynamischer Auffälligkeitstests zunächst für die Verwendung des Doppelsigma-Detektors entschieden. Erfahrungen im Vergleichsbetrieb haben gezeigt, dass

Ereignisse, die einen Hinkley-Alarm auslösten, in beinahe allen Fällen auch zu einem Doppelsigma-Alarm führten [35].

Abschließend kann festgehalten werden, dass sich der Auffälligkeitstest und der Alarmindex im Rahmen zweijähriger Untersuchungen zum Gewässermonitoring durch das EASE-Projekt im routinemäßigen Betrieb bewährt haben.

### 3.3.7. Offline Modul zur Validierung der Einstellparameter (AI-Viewer)

Im Ergebnis des EASE-Projektes wurde die sogenannte Software „AI-Viewer“ entwickelt, welche zur Simulation, Überprüfung und Validierung der verschiedenen Auffälligkeitstests sowie des Alarmindexes dient [35]. Insofern handelt es sich um eine Software zur automatisierten Analyse und Bewertung von Messreihen hinsichtlich Auffälligkeiten. Aufgrund der übersichtlichen graphischen Oberfläche können die Ergebnisse des Doppelsigmatests, des Hinkley-Detektors und der Steigungsalarme so schnell miteinander verglichen werden. Dadurch ist es möglich geeignete Einstellparameter für den Online-Betrieb anhand historischer Messreihen bzw. Störfalldaten schneller zu ermitteln. Das Programm AI-Viewer ist mittlerweile sowohl als online wie auch als offline Modul verfügbar und wird vom Hersteller *bbe Moldaenke GmbH* unter dem Namen „IT SEES“ vertrieben.

Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 3.15 beispielhaft die Ermittlung des Alarmindexes mit dem AI-Viewer anhand eines Doppelsigmatests.

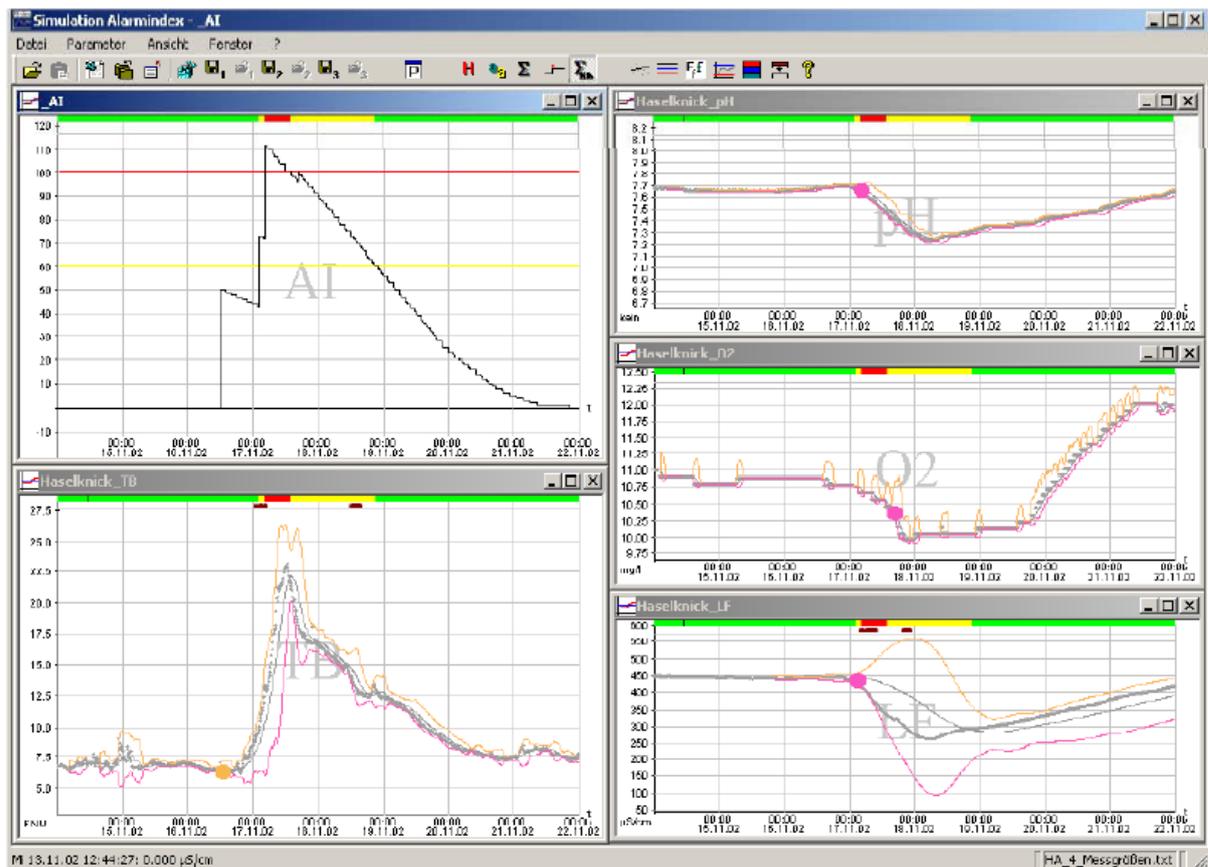


Abbildung 3.15: Darstellung eines Ereignisses mit dem AI-Viewer mittels Doppelsigmatest (AI: Alarmindex; TB: Trübung; pH: pH-Wert; O2: Sauerstoffgehalt; LF: elektrische Leitfähigkeit) nach [35]

---

Bei jeder aufgenommenen Messgröße können in Abbildung 3.15 erhebliche Änderungen etwa im mittleren Bereich beobachtet werden. Die ebenfalls dargestellten orange- und magentafarbenden Linien repräsentieren die obere bzw. untere Grenze der berechneten Sigmahüllkurve. Jeder erkannte Doppelsigma-Alarm wird bei einer Überschreitung der oberen Sigmagrenze als orangefarbener Bereich (Trübung) auf der Fitkurve und bei einer Unterschreitung der unteren Sigmagrenze entsprechend als magentafarbener Bereich (pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit) auf der Fitkurve dargestellt. Nacheinander führen die so erkannten Auffälligkeiten zu einem Anstieg des Alarmindex, wobei zuerst der gelbe Schwellenwert und anschließend der rote Schwellenwert überschritten wird. Damit zeitlich weit entfernte Auffälligkeiten nicht zu einem steten Anwachsen des Alarmindex führen ist dieser mit einer Art Verfallszeit versehen, d. h. die Alarmindex-Punkte eines Ereignisses werden innerhalb eines vom Anwender definierbaren Zeitraums schrittweise wieder auf den Wert null zurückgeführt (vgl. hierzu den Verlauf des Alarmindex nach dem erkannten Ereignis in Abbildung 3.15).

### 3.4. Das SecurEau Projekt

Das SecurEau Projekt ist ein von der europäischen Kommission im Zuge des siebten Rahmenprogramms (2007) finanziertes, gegenwärtig laufendes internationales Forschungsvorhaben unter Beteiligung von 14 verschiedenen europäischen Institutionen. Konkret sind die Länder England (Veolia Water, University of Southampton etc.), Deutschland (IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung), Finnland (National Institute for Health and Welfare, STUK), Frankreich (Université Henri Poincaré, CNRS, Veolia Environnement, Cemagref etc.), Lettland (Riga Technical University) und Portugal (Department of Chemical Engineering) mittels unterschiedlicher Aufgabenbereiche daran beteiligt [58].

Das Hauptziel von SecurEau besteht darin Verfahren einzuführen, die eine rasche Verwendung von Trinkwassernetzwerken nach einer vorsätzlichen Verunreinigung ermöglichen. Als Teilziele werden dabei angegeben [58]:

- Entwicklung von Methoden zur Bestimmung neuer relevanter Schadstoffe
- Modellierung der Schadstoffausbreitung im Verteilungssystem und Identifikation des Entstehungsortes der Verunreinigung
- Integration und Adaption verschiedener Sensoren in ein Überwachungssystem mit optimaler Anordnung
- Entwicklung von Methoden zur Dekontamination von verseuchten Trinkwassernetzwerken und deren Installationen einschließlich der Neutralisation von verunreinigtem Wasser und Rückständen

Von dem SecurEau Projekt wird erwartet, dass neben einem Nachweis relevanter Schadstoffe im Wasser und Biofilm auch die Quelle der Verunreinigung identifiziert sowie die verseuchten Bereiche bestimmt werden können. Darüber hinaus erhofft man sich die Entwicklung neuer Multiparameter-Sensoren voranzutreiben. Ferner soll die optimale Anordnung von Sensoren im Verteilungssystem geplant sowie neue Methoden zur Dekontamination von verseuchten

Installationen einschließlich eines ganzheitlichen Ansatzes zur Reinigung von Wasser und Rückständen erarbeitet werden [58].

Die umfangreichen Zielsetzungen im Bereich der Trinkwasserverteilung verdeutlichen, dass in der europäischen Union die Notwendigkeit zur Weiterentwicklung der bestehenden Systeme bzw. zur verbesserten Überwachung der Netze erkannt wurde. Da jedoch die einzelnen Projektstufen gegenwärtig noch in Bearbeitung sind, liegen Ergebnisse bisher nicht bzw. nur sehr begrenzt vor. Abbildung 3.16 zeigt den Aufbau des SecurEau Projekts mit seinen unterschiedlichen Teilprojekten und Zielsetzungen.

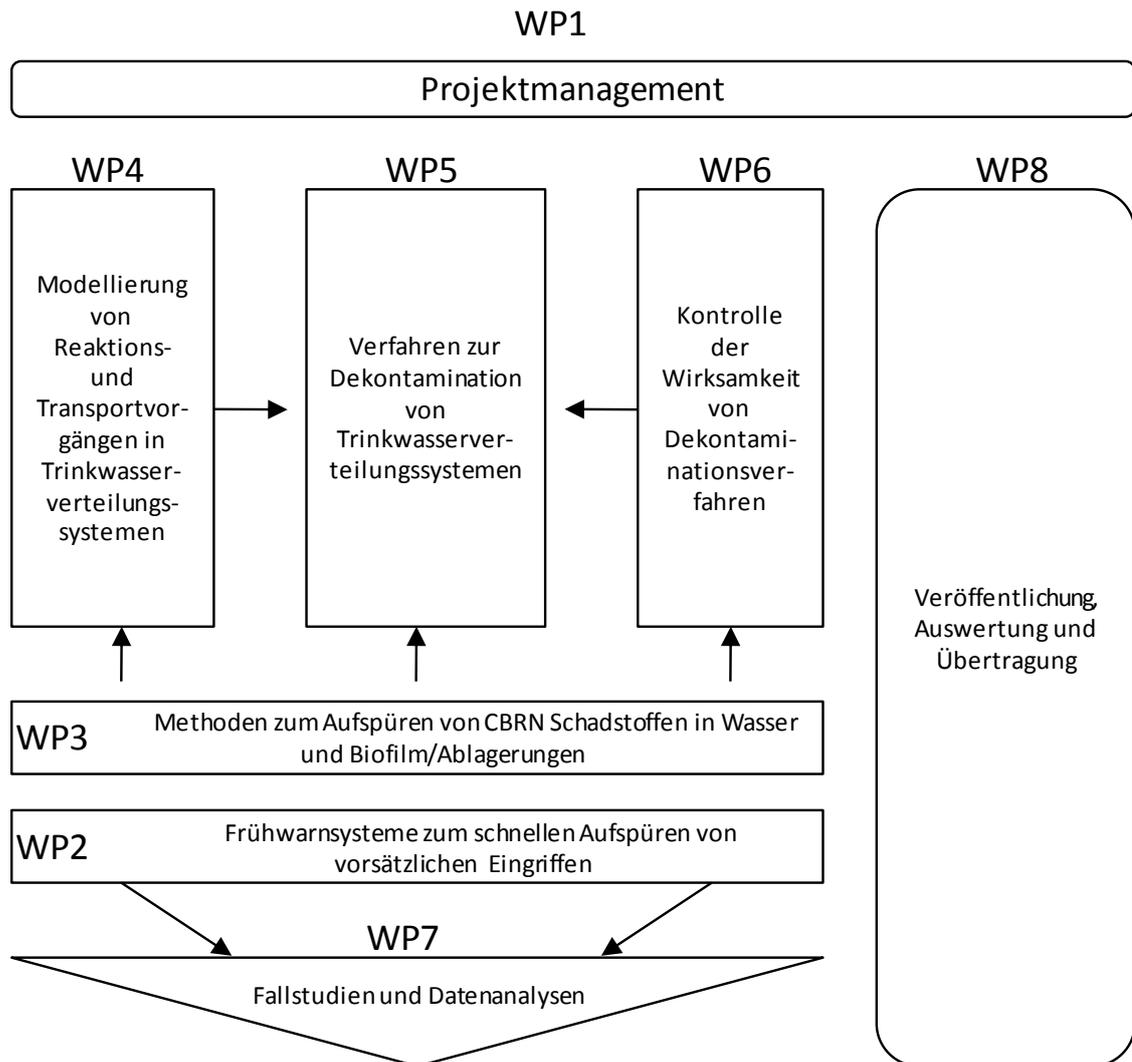


Abbildung 3.16: Aufbau des SecurEau Projekts, übersetzt nach [58]

### 3.5. Softwarelösungen privater Unternehmen

Neben den zuvor vorgestellten öffentlich finanzierten Projekten, haben sich auch private Unternehmen mit der Entwicklung von Softwarelösungen zur Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz beschäftigt. Dabei sind im Wesentlichen zwei Hersteller mit unterschiedlichen Konzepten hervorgegangen, die nachfolgend genauer vorgestellt werden.

---

### 3.5.1. BlueBox™ der Firma WhiteWater Security (WWS)

Die israelische Firma WhiteWater Security (WWS) befasst sich allgemein mit Aufgaben der Gewährleistung einer sicheren Wasserversorgung in den Bereichen Kontrolle, Qualität und Sicherheit. Hierzu dient ein ganzheitlicher Managementansatz, der verschiedene Teilaspekte beinhaltet und als WaterWall™ bezeichnet wird [76]. Ein wesentlicher Teil dabei stellt die Software BlueBox™ zur automatischen Analyse und Auffälligkeitserkennung von Messdaten dar.

Allgemein bietet die Software fünf verschiedene Alarmierungsarten: seltene Kombinations-Alarme, Trend-basierte Alarme, Vorhersage-basierte Alarme, Rausch-basierte Alarme und Regelungsalarme [75]. Bei der seltenen Kombination Alarmierung werden mit Hilfe eines speziellen Algorithmus die historischen Ereignisdaten sowie die Ereignishäufigkeit und Bedeutung untersucht. Sobald neue oder seltene Messwertkombinationen auftreten soll dadurch deren Erkennung ermöglicht werden. Die Trend-basierte Alarmierung dient durch eine Auswertung des Langzeittrends der aufgenommenen Parameter im Wesentlichen einer Bewertung des Sensor- und Prozesszustands zur Empfehlung von Nachkalibrierungen. Bei der Vorhersage-basierten Alarmierung wird anhand historischer Messdaten für bestimmte Parameter zunächst eine Prognose zukünftig zu erwartender Werte vorgenommen. Anschließend erfolgt ein Vergleich zwischen den aktuellen Messwerten mit den Vorhersagewerten. Sofern deren Abstand zu groß ist wird ein Alarm erzeugt und parallel das interne Vorhersagemodell aktualisiert. Bei der Rausch-basierten Alarmierung wird die zufällige Verteilungsform der Parameter untersucht und ein Alarm ausgelöst, wenn Schwankungen im Rauschmuster erkannt werden. Zusätzlich zu diesen automatischen Alarmierungsarten können durch den Anwender auch verschiedene Regeln ergänzt werden, die dann im Falle einer Auffälligkeit zu einem Regelungsalarm führen [75].

Zur Erreichung einer effektiven Auffälligkeitserkennung ist die Software BlueBox™ mit einem selbstlernenden Mechanismus entsprechend der eingehenden Messdaten ausgestattet. Dadurch soll die Anzahl falscher Alarme reduziert sowie die Vorhersagegenauigkeit gesteigert werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einen angezeigten Alarm als „wahr“, „falsch“ oder als „Alarm mit anderer Spezifikation“ zu bewerten. Anhand der wachsenden Informationen soll so im Laufe der Zeit allgemein das Verständnis der Wasserqualität sowie des Anlagenbetriebs gesteigert und die Alarmbewertung verbessert werden [75].

Des Weiteren ist die Kopplung mit einem Programm zur Strömungssimulation festgestellter Verunreinigungen in Echtzeit (Contamination Flow Simulator, CFS) möglich. Dieses wird aktiviert, sobald eine Auffälligkeit von den Algorithmen der Software BlueBox™ erkannt wird. Anhand hydraulischer Modelle erfolgt dann eine Analyse der möglichen Schadstoffquelle sowie eine Vorhersage der Schadstoffmenge im Laufe der Zeit und deren Ausbreitung auf Basis von GIS [76]. Von der Firma WWS sind keine näheren Informationen über die genaue Funktionsweise der beiden Programme BlueBox™ und Contamination Flow Simulator (CFS) bekannt. Nach Angabe eines Seminarteilnehmers können die zu Grunde gelegten Algorithmen bei der Auffälligkeitserkennung jedoch wie folgt beschrieben werden [55]:

#### **Schritt 1: Normalisierung**

Da alle gemessenen Parameter unterschiedliche Einheiten und Wertebereiche aufweisen erfolgt zunächst eine Normalisierung, sodass der Mittelwert null und die Standardabweichung eins beträgt. Dies geschieht für alle Werte in einem betrachteten Zeitfenster. Sobald neue

Messwerte vorliegen werden die ältesten Datenpunkte aus dem Zeitfenster entfernt und die jüngsten Werte zur Bestimmung eines neuen Mittelwerts und einer neuen Standardabweichung ergänzt.

### Schritt 2: Berechnung der Punktabstände

Für jeden Zeitschritt liegt somit ein Satz von  $x$ -verschiedenen Parametern gleicher Einheiten vor, wobei jeder dieser Parameter einen Punkt im  $x$ -dimensionalen Raum darstellt. Für das betrachtete Zeitfenster wird anschließend der euklidische Abstand zwischen jedem dieser Punkte zu allen anderen berechnet.

### Schritt 3: Aufstellung einer Häufigkeitskurve für die berechneten Abstände

Nachdem die Abstände der Punkte untereinander berechnet wurden, kann deren Häufigkeitsverteilung als Kurve wie folgt dargestellt werden:

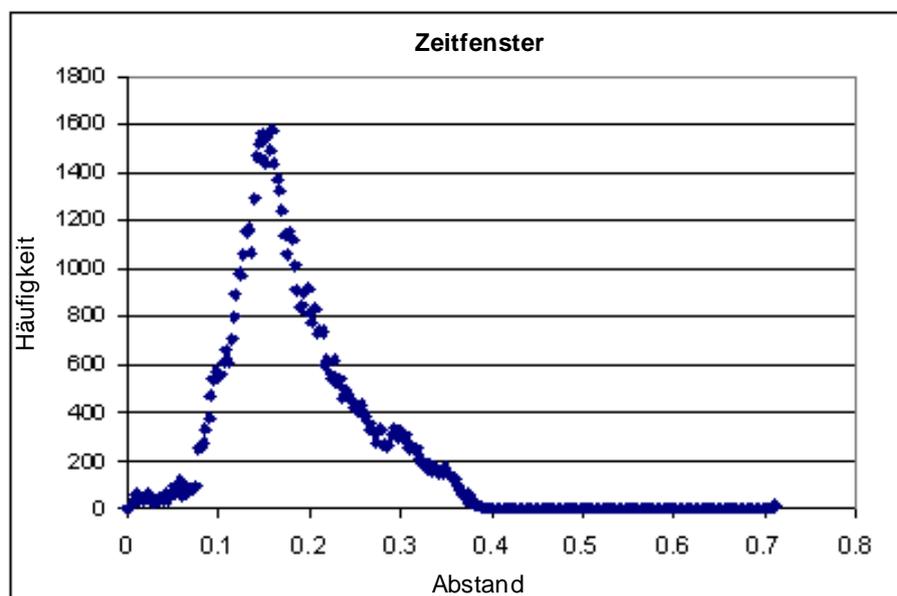


Abbildung 3.17: Häufigkeitsverteilung der Punktabstände im betrachteten Zeitfenster, übersetzt nach [55]

### Schritt 4: Berechnung der Wertabstände für den neuen Zeitschritt

Mit Vorliegen der Messwerte des neuen Zeitschritts wird das betrachtete Zeitfenster einen Schritt nach vorne bewegt und der euklidische Abstand zwischen den neuen Messpunkten zu den Punkten im betrachteten Zeitfenster berechnet. Anschließend kann die Häufigkeitsverteilung der neuen Abstände im Vergleich zu der vorangegangenen Berechnung dargestellt werden (vgl. Abbildung 3.18).

Wenn die neuen Messwerte sich normal verhalten ist deren Häufigkeitsverteilung ähnlich der im betrachteten Zeitfenster. Andernfalls stellt sich ein deutlicher Unterschied ein (vgl. Abbildung 3.19), was als Anzeichen für ein Verschmutzungsereignis gewertet wird. Die Qualitätsparameter werden dabei je nach ihrer Bedeutung für die Auffälligkeitserkennung mehr oder weniger stark gewichtet [55]. Dadurch kann nicht nur ein ungewöhnliches Parameterverhalten erkannt, sondern auch der hierfür verantwortliche Parameter genau bestimmt werden.

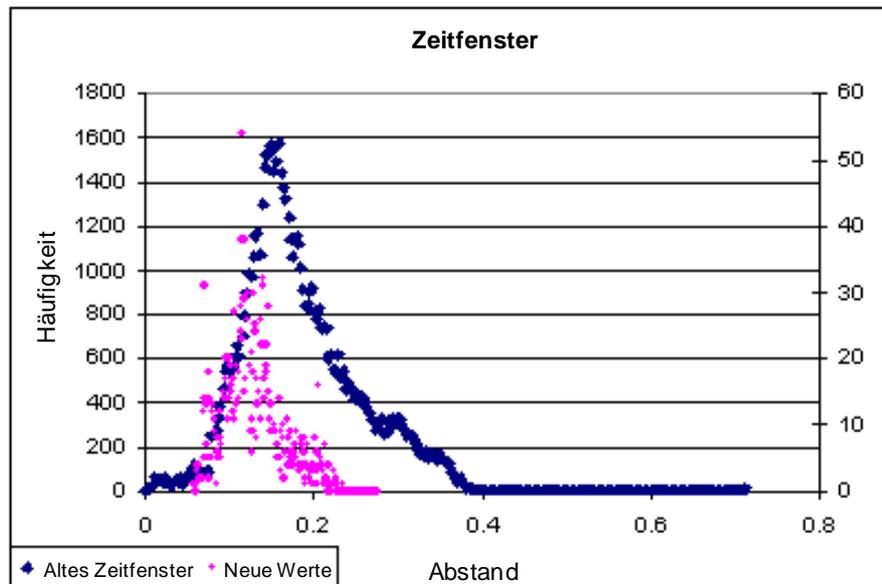


Abbildung 3.18: Häufigkeitsverteilung der neuen Punktabstände im Vergleich zum vergangenen Zeitfenster (keine Auffälligkeit), übersetzt nach [55]

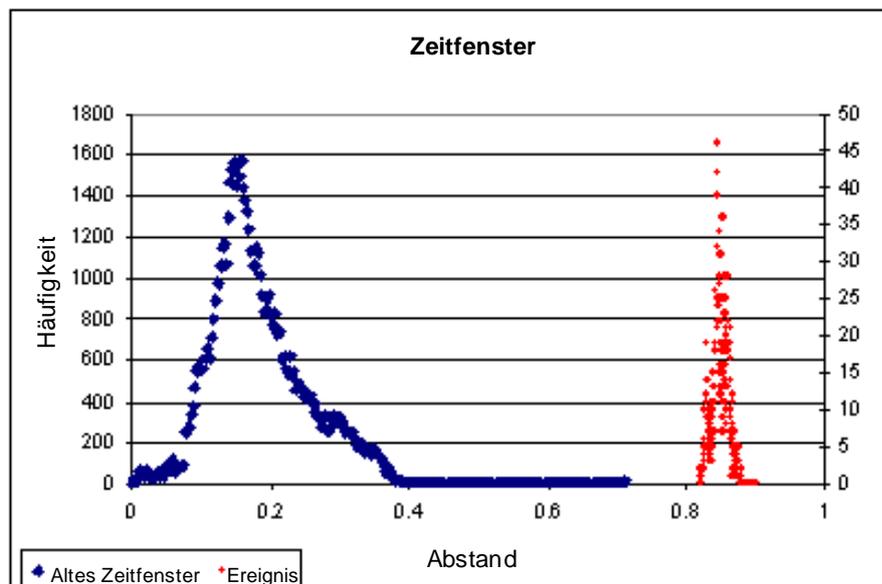


Abbildung 3.19: Häufigkeitsverteilung der neuen Punktabstände im Vergleich zum vergangenen Zeitfenster (festgestelltes Ereignis), übersetzt nach [55]

### 3.5.2. moni::tool<sup>TM</sup>, vali::tool<sup>TM</sup> & ana::tool<sup>TM</sup> der Firma s::can

Die schweizerische Firma s::can Messtechnik GmbH wurde vor rund elf Jahren gegründet und befasst sich seither grundsätzlich mit der online Messung der Wasserqualität. Im Ergebnis wurde unter anderem ein Monitoring-Programm entwickelt, das die Daten mehrerer Messstationen und Parameter hinsichtlich besonderer Auffälligkeiten untersucht. Je nach Aufgabe bei der Datenanalyse gliedert sich die Software dabei in folgende drei Funktionsbereiche: moni::tool<sup>TM</sup>, vali::tool<sup>TM</sup> und ana::tool<sup>TM</sup> [52, 53, 72].

## moni::tool™

Das moni::tool ist eine Plattform zur Verwaltung und Visualisierung der einzelnen Sensoren sowie der Messstation als Ganzes. Dabei werden sowohl die Verläufe der Messparameter sowie der Systemstatus kontinuierlich ermittelt und dargestellt. Ziel ist ein Überblick des gesamten Systems sowie aller Teilprozesse [52]. Abbildung 3.20 zeigt beispielhaft die Oberfläche des moni::tools™ für zwei der insgesamt sieben Menüpunkte.



Abbildung 3.20: Oberfläche des moni::tools™ des Herstellers s::can (links: Darstellung der Parameterwerte [52]; rechts: Überblick des Stationsstatus [72])

## vali::tool™

Das vali::tool™ dient der Validierung der aufgenommenen Messdaten in Echtzeit bevor eine Auffälligkeitserkennung erfolgt. Dadurch wird sowohl die Zuverlässigkeit der Alarmbewertung gesteigert als auch eine Überprüfung des Sensorzustands ermöglicht [53, 72]. Sofern Ungewöhnlichkeiten festgestellt werden erfolgt entweder automatisch eine Korrektur (bei kleinen Fehlern) oder eine Markierung (bei größeren Fehlern) der fragwürdigen Messdaten. Wenn die Datenqualität eines Sensors unter ein bestimmtes Level sinkt wird zudem ein Sensorfehler an das moni::tool™ gemeldet [72]. Zur Bewertung der Datenqualität werden dabei vier verschiedene Untersuchungen vorgenommen, die in Abbildung 3.21 dargestellt sind.

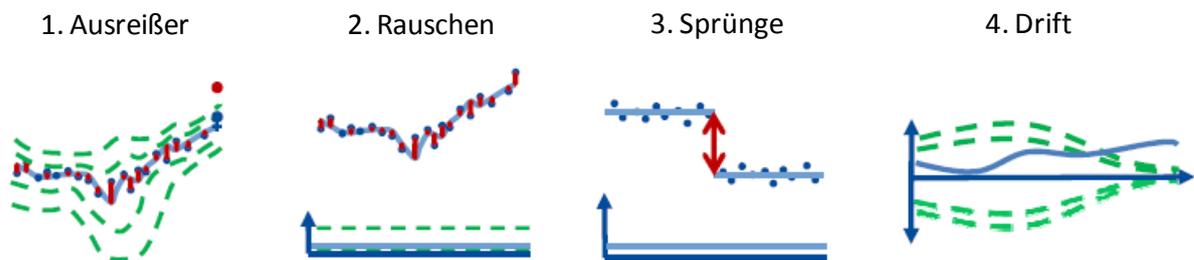


Abbildung 3.21: Untersuchungsumfang zur Validierung der Rohdaten beim vali::tool™ des Herstellers s::can Messtechnik GmbH, übersetzt nach [72]

Ausreißer können grundsätzlich ein Indikator für kurze lokale Schwankungen im Wasser, hervorgerufen durch Luftblasen oder Schwebstoffe sein sowie auf Instrumentenfehler hindeuten. Innerhalb des vali::tools™ werden diese durch einen Vergleich zwischen dem aktuellen Messwert und einer Vorhersage des erwarteten Wertebereichs entsprechend der vergangenen Messwerte erkannt. Sofern lediglich ein Messwert außerhalb des erwarteten Wertebereichs liegt handelt es sich um einen Ausreißer [72].

Das Rauschen bzw. die Zufallsstreuung eines Parameters ist nach Angabe von `s::can` ein sehr zuverlässiger Indikator für den Zustand eines Sensors [72]. Hierzu wird nach Entfernung der Ausreißer durch die Messdaten eine Ausgleichsfunktion gelegt und die sich ergebende Differenz für jeden Zeitschritt berechnet. Der absolute Wert der Differenz entspricht dabei dem Rauschlevel, das anschließend mit sensor- und anwendungsabhängigen Ober- und Untergrenzen verglichen wird.

Sprünge in Datenverläufen können ein Anzeichen für eine unterbrochene Wasserversorgung, geänderte Sensorkalibrierungen oder einen Sensoraustausch sein. Innerhalb des `vali::tools`<sup>TM</sup> werden diese durch einen Vergleich zwischen der sich ergebenden mittleren Änderung (vor und nach dem Sprung) und dem zuvor berechneten Rauschlevel aufgespürt. Ein signifikanter Sprung liegt vor, wenn die Sprungdifferenz größer als das Rauschlevel des entsprechenden Parameters ist [72].

Als Drift wird allgemein eine stete Zu- bzw. Abnahme der Parameterverläufe eines Sensors bezeichnet. Dessen Ermittlung innerhalb des `vali::tools`<sup>TM</sup> dient im Wesentlichen dem Aufspüren und der Bewertung von Foulingprozessen sowie der Sensoralterung. Hierzu werden die rauschbereinigten Messdaten mit Hilfe des Holt-Winters-Verfahrens (Methode des exponentiellen Glättens von Zeitreihen) untersucht. Eine Drift bzw. ein signifikanter Trend liegt vor, wenn die sich ergebende Steigung eine gewisse Toleranz übersteigt [72].

### `ana::tool`<sup>TM</sup>

Für die anhand der beschriebenen Tests validierten Messdaten erfolgt im Anschluss die eigentliche Ereignisuntersuchung mit Hilfe des `ana::tools`<sup>TM</sup>. Hierzu dienen verschiedene Auffälligkeitstests, die im Wesentlichen auf folgenden zwei Grundarten beruhen: Grenzwertalarme und Musteralarme [72]. Im Rahmen der Untersuchung werden dabei sowohl die Änderungswerte wie auch die Änderungsrate bestimmt. Bei der Grenzwertuntersuchung wird im Grunde genommen für jeden Parameter überprüft, ob die vorliegende Messung bzw. Änderungsrate höher oder niedriger ist als sie anhand historischer Datenverläufe sein sollte. Bei der Musteruntersuchung werden hingegen die Messergebnisse mehrerer Parameter mit einem Satz Referenzdaten verglichen, die normales Systemverhalten widerspiegeln. Dadurch sollen auch Änderungen erkannt werden, die für eine Grenzwertbetrachtung einzelner Parameter zu gering ausfallen [72]. Damit die Auffälligkeitserkennung entsprechend fehlerfrei funktioniert muss das `ana::tool`<sup>TM</sup> zuvor einem Training mit historischen Datenverläufen unterzogen werden. Abbildung 3.22 fasst die Arten der Auffälligkeitstests zur Ermittlung eines Alarmwertes beim `ana::tool` zusammen. Der Alarmwert zeigt dabei an, wie weit die aktuelle Wasserzusammensetzung von der Normalität abweicht [72].

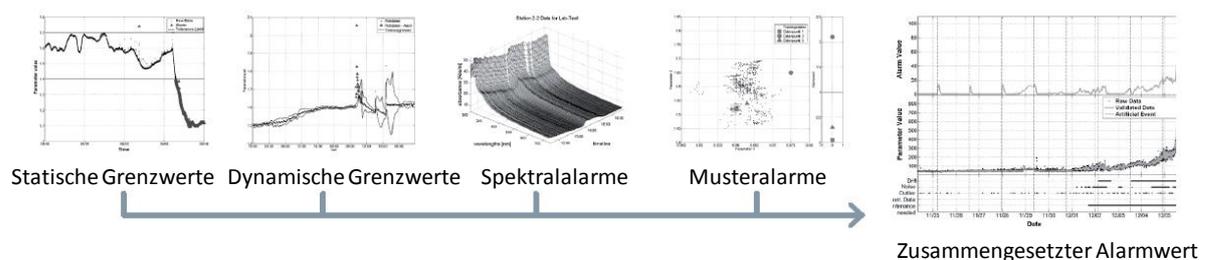


Abbildung 3.22: Arten der Auffälligkeitsuntersuchung beim `ana::tool`<sup>TM</sup> des Herstellers `s::can Messtechnik GmbH`, übersetzt nach [53]

---

## 3.6. Messtechnik

Neben automatisierten Erkennungsverfahren zur Auswertung der Qualitätsdaten ist eine Messtechnik erforderlich, die den speziellen Anforderungen im Versorgungsnetz angepasst ist. Nur wenn diese in hinreichender Weise vorliegt kann sich die Technologie am Markt etablieren und so zu einer Steigerung der Versorgungssicherheit beitragen.

### 3.6.1. Anforderungen an Sonden

An die Sensoren zur Datengewinnung sind für den speziellen Einsatz im Versorgungsnetz verschiedene Anforderungen zu stellen. Dies betrifft zunächst den Aspekt der Kosten. So müssen die fixen und variablen Kosten für die Anschaffung und den Betrieb der Sensoren soweit reduziert werden, dass sich der massenhafte Einsatz unter finanzieller Betrachtung lohnt [56]. Eine flächendeckende Überwachung des gesamten Versorgungsgebietes ist nur möglich, wenn die monetäre Belastung auf ein akzeptables Maß gesenkt werden kann. Sollte sich die Technologie durchsetzen ist im Zuge der Verbreitung mit einer weiteren Reduktion der Anschaffungskosten durch Skaleneffekte zu rechnen. Neben einer reinen Kostenbetrachtung, ist aber auch der erforderliche Aufwand für einen ordnungsgemäßen Betrieb der Sensoren von eminenter Bedeutung. So sollte der Kalibrierungs- und Reinigungszyklus der Messtechnik nicht zu kurz ausfallen. Im SecurEau Projekt wird hierfür mindestens ein Jahr gefordert, ohne dadurch die Lebensdauer zu verkürzen [48].

Eine weitere wichtige Eigenschaft, welche Sensoren für den effektiven Einsatz im Versorgungsnetz erfüllen müssen ist die energetische Unabhängigkeit. Nur an wenigen Orten wie z. B. bei Hochbehältern oder in für die Überwachung relevanten öffentlichen Einrichtungen liegt eine Stromversorgung vor. Alle anderen Installationsorte müssen durch einen Batteriebetrieb erschlossen werden. Die Kapazität der Batterie sollte dabei neben dem Strombedarf der Sensoren auch den Verbrauch für die Datenübertragung abdecken und mindestens einen Wartungszyklus lang halten [48]. Da an den meisten Einsatzorten ebenfalls kein Internetanschluss vorliegt ist die Datenübertragung selbst kabellos zu realisieren.

Darüber hinaus sollten die Sensoren nicht über eine Ableitungsstrecke angeschlossen, sondern direkt in das Leitungsrohr eingesetzt werden können [48]. Dies ermöglicht neben einer einfacheren, nachträglichen Montage auch andernfalls mögliche Wasserverluste zu verhindern. Die Installation in das Leitungsrohr sollte dabei möglichst für eine breite Anzahl an Durchmessern einfach zu realisieren sein. Insofern bedarf es einer Messtechnik, die nicht nur entsprechend klein ist, sondern auch eine geringe Installationstiefe aufweist [48]. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch eine gesundheitliche Unbedenklichkeit der Sonde, die den Einsatz im Trinkwasserbereich gestattet. Sofern die Messung mit einer analytischen Lösung in der Elektrode erfolgt muss sichergestellt werden, dass diese nicht ins Wasser abgegeben wird bzw. gesundheitlich unbedenklich ist. Zudem sollte die Messtechnik schnell, transportierbar, unbedarft, präzise, zuverlässig und bedienerfreundlich sein sowie natürlich die zur Beurteilung der Wasserqualität relevanten Parameter ermitteln [56].

### 3.6.2. Online Multiparametersonden

Im Rahmen des SecurEau Projekts wurde untersucht, inwieweit gegenwärtig existierende Sonden zur chemischen Wasserqualitätsanalyse die beschriebenen Anforderungen erfüllen. Das Ziel der Analyse bestand darin, den geeignetsten Sensor auszuwählen sowie die Zuverlässigkeit der gewonnenen Daten zu überprüfen [48]. Hierzu wurde zunächst eine Marktanalyse von chemischen online Multiparametersonden durchgeführt (Abbildung 3.23).

	INTELLISONDE	SIX CENSE	PIPESONDE	KAPTA3000	W-20XD	TROLL 9500	YSI 600DW-B	QUANTA G	MS 5	MANTA	CS304
MANUFACTURER	INTELLITEC	CENSAR	HACH LANGE	ENDETEC	HORIBA	IN-SITU INC.	YSI	HYDROLAB	HYDROLAB	EUREKA	GREENSPAN
PRICE	6 k€	9 k€	9 k€	1,5 k€	20 k€	4 k€	6 k€	10 k€	10 k€	3,5 k€	15 k€
DIAMETER	36 mm	37 mm	43 mm	37 mm	46 mm	47 mm	42 mm	44 mm	44 mm	-	60
Temperature	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Turbidity	X		X		X	X	X		x		
Conductivity	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
pH	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
ORP	X	X	X		X	X	X		x	X	
chlorine	X	X		X			X				
Monochloramine	X	X								X	
Oxygen	X		X			X		X	X		X
Color	X										
Pressure	X		X	X	X	X		X			
Nitrate						X					
Chloride						X					
Ammonium						X				X	
Chlorophyll a									x		
Rhodamine									x		
BI/Gr Algae									x		



Abbildung 3.23: Marktübersicht von chemischen online Multiparametersonden (Stand: Oktober 2010) nach [48]

Für die folgende Sondenauswahl wurden insgesamt drei Bewertungskriterien angesetzt: 1) die abgebildeten Parameter, 2) der Preis und 3) die Installationstiefe. Beim ersten Bewertungskriterium wurde jedem von den Sensoren ermittelten Parameter ein Wert abhängig von der jeweiligen Bedeutung für die Qualitätsbeurteilung zugewiesen (Tabelle 3-2). Als wichtigste Indikatorparameter wurden dabei der Chlorgehalt und die Trübung angesehen [48]. Sofern einer dieser Parameter von der Sonde nicht bestimmt wird beträgt das Gesamtergebnis der Untersuchung null. Andernfalls wurden die Punkte für jeden aufgenommenen Parameter addiert und prozentual bewertet. Tabelle 3-2 fasst das Ergebnis dieser ersten Wertungsstufe zusammen.

In der zweiten Bewertungsstufe wurden die Kosten der Sonden betrachtet, wobei der Fokus auf reinen Anschaffungskosten lag und zusätzlich notwendige Kommunikationssysteme oder Installationsgeräte für den ordnungsgemäßen Betrieb nicht beinhaltet waren [48]. Insgesamt schwanken die Investitionskosten der untersuchten Sonden zwischen 1.500,00 € (Kapta 3000) und 20.000,00 € (W-20XD).

Das dritte Bewertungskriterium befasst sich mit der notwendigen Installationstiefe im Rohr, wobei die Komplexität bzw. der Aufwand für die Montage nicht berücksichtigt wurden. Zur

Beurteilung dient folgender Bewertungsansatz: kein Einsetzen erforderlich: 100%, 5 cm erforderlich: 66,67%, mehr als 5 cm Installationstiefe notwendig: 33,33%. Das Ergebnis der zweiten und dritten Bewertungsstufe zeigt Tabelle 3-3.

Tabelle 3-2: Bewertung der abgebildeten Parameter von verfügbaren chemischen online Multiparametersonden, übersetzt nach [48]

Parameter	Gewichtung
Temperatur	1
Trübung	3
Leitfähigkeit	2
pH	1
Redoxpotential	1
Chlor	4
Monochloramin	3
Sauerstoff	0
Farbe	1
Druck	2
Nitrat	0
Chlorid	0
Ammonium	0
Chlorophyll a	0
Rhodamin	0
Blaualge	0
<b>Gesamt</b>	<b>18</b>

Parameter		
INTELLISONDE	18	100%
6 CENSE	12	67%
YSI 6920	12	67%
PIPESONDE	10	56%
W-20XD	10	56%
TROLL 9500	10	56%
KAPTA3000	9	50%
MS 5	8	44%
CS304	4	22%
MANTA	0	0%
QUANTA G	0	0%

Tabelle 3-3: Bewertung der Anschaffungskosten und der Installationstiefe von verfügbaren chemischen online Multiparametersonden, übersetzt nach [48]

Anschaffungskosten		
KAPTA3000	1.500 €	93%
MANTA	3.500 €	83%
TROLL 9500	4.000 €	80%
INTELLISONDE	6.000 €	70%
YSI 6920	6.000 €	70%
6 CENSE	9.000 €	55%
PIPESONDE	9.000 €	55%
MS 5	10.000 €	50%
QUANTA G	10.000 €	50%
CS304	15.000 €	25%
W-20XD	20.000 €	0%

Installationstiefe	
6 CENSE	100,00%
KAPTA3000	100,00%
INTELLISONDE	66,67%
MANTA	33,33%
CS304	33,33%
PIPESONDE	33,33%
W-20XD	33,33%
MS 5	33,33%
QUANTA G	33,33%
TROLL 9500	33,33%
YSI 6920	33,33%

Die Teilergebnisse der zuvor beschriebenen Kriterien wurden abschließend für jede Sonde addiert und gemittelt. Das bedeutet jedem Bewertungskriterium ist die gleiche Bedeutung zugewiesen. Dadurch können Sonden, die z. B. preislich günstig sind und eine geringe Installationstiefe benötigen, in der Rangfolge steigen, obwohl möglicherweise nur wenige Parame-

ter ermittelt werden. Tabelle 3-4 fasst das Gesamtergebnis der Untersuchung im Rahmen des SecurEau Projekts abschließend zusammen. Demnach belegen die Sonden Kapta3000, Intellisonde und 6Cense mit recht geringem Abstand untereinander die ersten drei Plätze. Die Sonde YSI6920 ist mit einem Gesamtergebnis von lediglich 57% weit gefolgt auf dem vierten Platz. Das schlechteste Ergebnis weist die Sonde CS304 mit einer Gesamtbewertung von 27% auf.

Tabelle 3-4: Gesamtergebnis der untersuchten chemischen online Multiparametersonden, übersetzt nach [48]

Sonde	Hersteller	Parameter	Kosten	Installationst.	Gesamt	Rangfolge
KAPTA3000	ENDETEC	50%	93%	100,00%	81%	1
INTELLISONDE	INTELLITEC	100%	70%	66,67%	79%	2
6 CENSE	CENSAR	67%	55%	100,00%	74%	3
YSI 6920	YSI 6920	67%	70%	33,33%	57%	4
TROLL 9500	IN-SITU INC.	56%	80%	33,33%	56%	5
PIPESONDE	HACH LANGE	56%	55%	33,33%	48%	6
MS 5	HYDROLAB	44%	50%	33,33%	43%	7
MANTA	EUREKA	0%	83%	33,33%	39%	8
W-20XD	HORIBA	56%	0%	33,33%	30%	9
QUANTA G	HYDROLAB	0%	50%	33,33%	28%	10
CS304	GREENSPAN	22%	25%	33,33%	27%	11

Aufgrund dieser Vorab-Analyse hinsichtlich der generellen Tauglichkeit für den Einsatz im Verteilungsnetz wurden die drei erstplatzierten Sonden für weitergehende Funktionsuntersuchungen ausgewählt. Jede dieser Sonden weist gewisse Vor- und Nachteile auf und ist dadurch je nach Einsatzort entsprechend zu priorisieren. Bei der Auswahl wurden lediglich die Angaben der Hersteller analysiert und bewertet. Der Funktionstest soll eine genaue Beurteilung des Betriebsverhaltens anhand eines standardisierten Versuchsprotokolls entsprechend der Norm ISO 15839 (Online-Sensoren/ Analysengeräte für Wasser – Spezifikationen und Leistungsprüfungen) ermöglichen [48]. Das Versuchsprotokoll gliedert sich dabei in zwei Hauptbestandteile. Der erste Test fand zunächst im Labor unter Verwendung synthetischer Proben zur Evaluierung der Leistungsfähigkeit bei kontrollierten und einfachen Stichproben statt. Während des zweiten Tests wurde dann das Sensorverhalten in realer Umgebung überprüft und der Langzeitdrift beobachtet [48].

Im Ergebnis der Funktionstests wurde festgestellt, dass die Sonden Intellisonde und 6Cense aufgrund ihrer schlechten Resultate im Rahmen der Labortests (geringe Genauigkeit) nicht für eine Anwendung geeignet sind. Lediglich die Sonde Kapta3000 bestand sowohl die Laboruntersuchungen (Test auf Reaktionszeit, Linearität und Genauigkeit) als auch den Langzeittest (insgesamt 1 Jahr) und erfüllt damit die Anforderungen des Versuchsprotokolls. Aus diesem Grund wurde die Sonde Kapta3000 im Rahmen des SecurEau Projekts für die weitere Verwendung ausgewählt. Von Vorteil sind neben der Erfüllung des Funktionstests vor allem der geringe Preis (mit 1.500,00 Euro die günstigste Sonde), der geringe Wartungsaufwand (etwa ein Mal im Jahr), die hohe Messgenauigkeit sowie der weite Einsatzbereich (keine Installationstiefe erforderlich). Allerdings ermittelt die Sonde lediglich vier Parameter (Temperatur, Leitfähigkeit, Chlor und Druck) und ist dadurch nur bedingt in der Lage die chemische Wasserqualität zu beurteilen. Zur Erinnerung: von der US-EPA werden für die Erkennung

---

bewusst vorgenommener Verunreinigungen der Chlorgehalt und der TOC-Wert als erste Indikatoren, das Redoxpotential, der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Trübung als untergeordnete Indikatoren empfohlen [71]. Im Rahmen der Untersuchungen des SecurEau Projekts wird vor allem das Fehlen optischer Messungen (Trübung, SAK-Wert etc.) bei der Sonde Kapt3000 kritisiert. Dies sei nach Angabe der Projektbearbeiter jedoch in Entwicklung [48].

---

## 4. Versuchsdurchführung

---

Die bisherigen Untersuchungen der US-EPA hinsichtlich der Auswirkungen von Verunreinigungen auf chemisch-physikalische Wasserqualitätsparameter zielten im Wesentlichen auf bewusst vorgenommene Anschläge im Rahmen der Terrorbekämpfung ab. Insofern stehen kommerziell verfügbare Schadstoffe, die bei einem möglichen Anschlag relevant sein können im Vordergrund der US-amerikanischen Technologieentwicklung. Natürliche Ereignisse hingegen wie z. B. ein durch Leitungsbrüche hervorgerufener Eintrag von Grund- oder Abwasser wurden lediglich nebenbei betrachtet [65]. Anders als in den USA liegt jedoch der Fokus bei Staaten, die eine Terrorismusgefahr im Trinkwassersektor als weniger akut betrachten auf natürlichen Verunreinigungen und deren Gefahr für die Versorgungssicherheit. Aus diesem Grund wird hier die Auswirkung von Schadstoffen aufgrund von Unfällen natürlichen Ursprungs auf die klassisch chemisch-physikalischen Qualitätsparameter untersucht. Ziel der Untersuchung ist die Beantwortung folgender Fragestellungen:

1. Welche chemisch-physikalischen Wasserparameter ändern sich infolge von Verunreinigungen natürlichen Ursprungs und eignen sich damit als Indikatorparameter für derartige Ereignisse?
2. Ist eine Software zur automatisierten Datenauswertung in der Lage diese Verunreinigungen anhand der Auffälligkeitstests zu erkennen bzw. ab welchen Zugabemengen ist dies der Fall?

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Beantwortung der ersten Fragestellung. Für die Klärung der zweiten Frage erfolgt in Kapitel 5 eine Anwendung der Software IT SEES, welche im Rahmen des EASE-Projekts entwickelt wurde (vgl. Kapitel 3.3).

### 4.1. Versuchsaufbau

Zur Datengenerierung wurde von der Firma Endress + Hauser ein Versuchspanel entwickelt, das über einen Seitenpass bzw. einen Wasserhahn direkt an die Trinkwasserleitung angeschlossen werden kann. Das Panel verfügt über insgesamt acht Sensoren aus der Produktpalette von Endress + Hauser: Durchfluss, Temperatur, pH-Wert, Trübung, Chlorgehalt, Redoxpotential, spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm (SAK 254) und Leitfähigkeit. Zudem sind ein Manometer zur Druckmessung sowie eine Magnetdosierpumpe zur Zugabe der zu untersuchenden Verunreinigungen integriert. Als Standort der Versuchsdurchführung dient die Niederlassung der Firma Endress + Hauser in Groß-Umstadt (Hessen). Das zu untersuchende Trinkwasser wird dabei direkt aus dem Wasserhahn der Hausinstallation entnommen und nach Durchlaufen der Testapparatur als Abwasser in die Kanalisation entsorgt. Den Aufbau des Panels zeigt Abbildung 4.1.

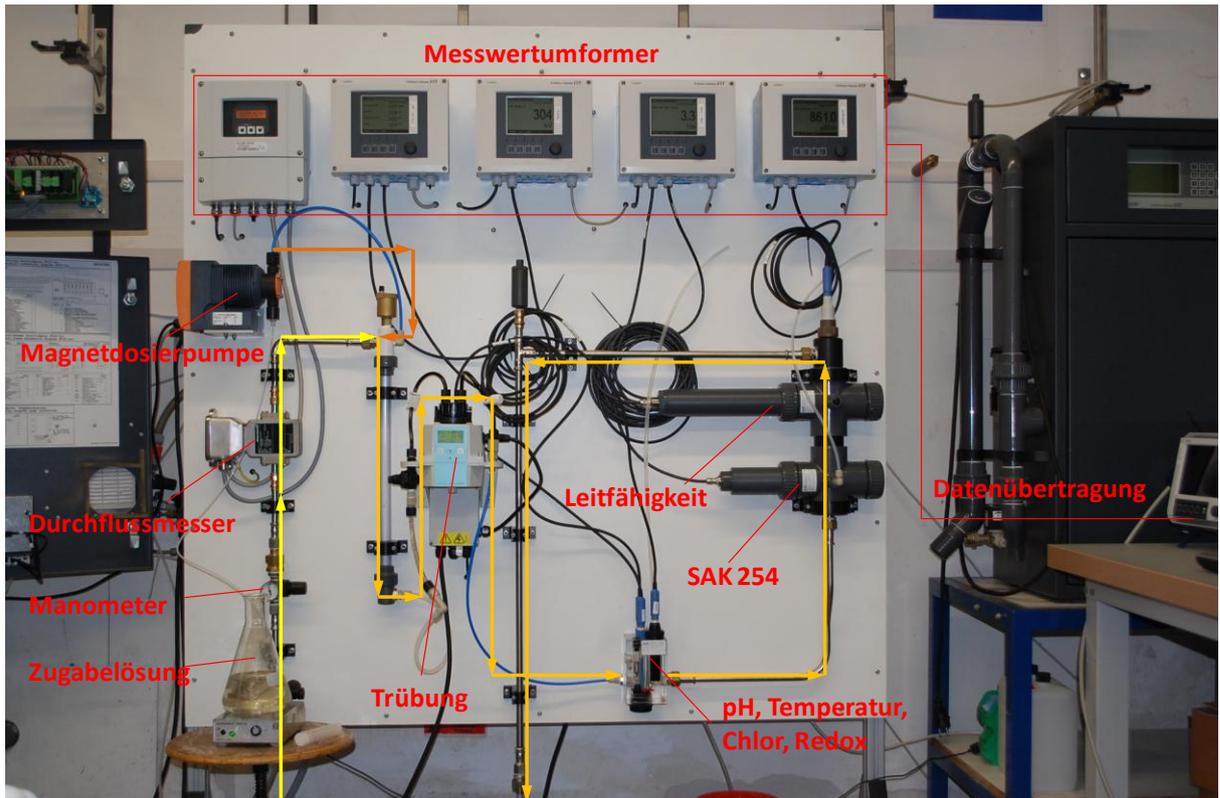


Abbildung 4.1: Aufbau des Testpanels in Groß-Umstadt

## 4.2. Getestete Verunreinigungen

Der Fokus dieser Untersuchung besteht darin Qualitätsparameter, die zum Aufspüren von natürlichen Verschmutzungsereignissen bzw. Unfällen in Trinkwasserverteilungsnetzen geeignet sind, zu identifizieren. Vorausgesetzt der Aufbereitungsprozess erfolgt korrekt sind zwei Arten von natürlichen Verunreinigungen denkbar: erstens der Eintrag von Grund-, Ober- oder Abwasser hervorgerufen durch Querverbindungen oder Leitungsbrüche und zweitens metallische Belastungen aufgrund von Korrosionsvorgängen. Bei den letzten großen Trinkwasserkatastrophen in Walkerton (Kanada, 2000) hat ein Farmabfluss einen benachbarten Brunnen mit *Campylobacter* und *Escherichia coli* Bakterien verseucht, in Nokia (Finnland, 2007) war eine Querverbindung sowie das Fehlen eines Rückschlagventils für den Eintrag von Abwasser ins aufbereitete Trinkwasser verantwortlich [18, 47]. Vor diesem Hintergrund wurden insgesamt vier relevante Schadstoffe für die nähere Untersuchung ausgewählt: Huminsäure, Oberflächenwasser, Abwasser und Eisen(III)-chlorid.

### 4.2.1. Huminstoffe

Huminstoffe sind allgemein hochmolekulare organische Substanzen, die eine uneinheitliche (amorphe) Struktur aufweisen und dunkel gefärbt sind. Sie entstehen bei der Zersetzung abgestorbener organischer Materie (Humifizierung) im Boden und stellen somit ein Gemisch unterschiedlichster organischer Bausteine dar. Dadurch sind Huminstoffe keine einheitliche Substanzklasse im klassisch chemischen Sinne, allerdings weisen sie dieselbe Grundstruktur auf. Eine Unterteilung kann hinsichtlich ihrer Löslichkeit in Humine (unlösliche Stoffe),

---

Fulvosäuren (gut in Wasser löslich) und Huminsäuren (nur im basischen Milieu löslich) vorgenommen werden. Huminstoffe kommen in Braunkohle, Torf und jeder Art von Böden vor [32].

Pro Jahr werden mit dem Grund- und Oberflächenwasser etwa  $19 \cdot 10^{10}$  kg organischen Kohlenstoffs aus den Böden in die Ozeane gespült. In Flüssen beträgt der mittlere Gehalt an gelösten organischen Stoffen etwa 3,3 mg/l DOC, wobei zusätzlich noch rund 1,8 mg/l in partikulärer Form vorliegen [31]. Inwieweit sich durch den Abbau der abgestorbenen Biomasse jedoch Huminstoffe im Boden anreichern wird in erster Linie vom Klima beeinflusst. Während bei ausreichender Sauerstoffversorgung und Temperaturen von über 25°C keine signifikante Akkumulation von organischem Kohlenstoff im Bodenkörper stattfindet ist bei niedrigeren Temperaturen der mikrobielle Abbau kleiner als der Anfall organischer Reststoffe, sodass vermehrt Huminstoffe auftreten. Dies ist vor allem in den borealen Wäldern (Ökozone auf der nördlichen Erdhalbkugel etwa zwischen dem 50. und 70. Breitengrad) sowie der arktischen Tundra der Fall. In Deutschland enthält das Wasser je nach Herkunft ebenfalls geringe Spuren an gelösten Huminstoffen, wobei deren Konzentration zwischen 0,5 und 2 mg/l DOC schwankt [31].

Huminstoffe sind zwar grundsätzlich gesundheitlich unbedenklich, allerdings können durch Sekundärwirkungen verschiedene Probleme auftreten, die deren Entfernung im Aufbereitungsprozess erforderlich machen. Hierbei sind vor allem die verursachte gelb-bräunliche Färbung sowie die erhöhte Zugabemenge von erforderlichen Aufbereitungschemikalien zu nennen. Darüber hinaus sind Huminstoffe in der Lage gesundheitlich bedenkliche Substanzen wie Schwermetalle, Pestizide oder polyzyklische Kohlenwasserstoffe zu binden [31]. Aus diesem Grund ist eine Entfernung im Zuge des Aufbereitungsprozesses zwingend erforderlich, obwohl kein konkreter Grenzwert für die Huminstoffkonzentration im Trinkwasser existiert.

Der Gehalt an Huminstoffen ist ein gutes Anzeichen für die organische Kohlenstoffbelastung eines Wassers in unseren Breitengraden. Deren Vorkommen im Trinkwasser ist insofern ein Indikator für die Funktionstüchtigkeit des Aufbereitungsprozesses sowie den Eintrag von Grund- oder Oberflächenwasser ins Verteilungsnetz. Im Rahmen der Untersuchung wurde ein Huminsäure Natriumsalz des Herstellers *Carl Roth* verwendet (Produktdatenblatt siehe Anhang A), das in einem separaten Behälter mit dem örtlichen Trinkwasser vermischt und so auf die gewünschte Konzentration eingestellt wurde. Da sich Huminsäure nur im basischen Milieu löst, wurde bei dieser Lösung zudem ein pH-Wert von 9,5 durch Zugabe von Natronlauge eingestellt.

#### 4.2.2. Oberflächenwasser

Weil Trinkwasserleitungen in der Regel nicht oberirdisch verlegt sind ist ein durch Leitungsbrüche hervorgerufener Eintrag von Oberflächenwasser ins Trinkwassernetz prinzipiell als unwahrscheinlich zu bewerten. Wahrscheinlicher wäre in einem solchen Schadensfall der Eintrag von Grundwasser, das aufgrund der Filterwirkung des anstehenden Bodenmaterials im Allgemeinen eine geringere Belastung an Schad- und Schwebstoffen aufweist. Allerdings ist durch Querverbindungen wie z. B. eine nicht dichte Brunnenabdichtung oder Klüfte in Festgestein auch die direkte Verschmutzung mit Oberflächenwasser möglich. Dies ist beispielsweise in Walkerton (Kanada) im Mai 2000 geschehen, als nach starken Regenfällen ein Farmabfluss einen benachbarten Brunnen verseuchte.

---

Das für die Untersuchung verwendete Trinkwasser in Groß-Umstadt wird nach Rücksprache mit dem örtlichen Wasserversorger vollständig aus Grundwasser über eine Galerie aus fünf Brunnen mit Tiefen zwischen 20 bis 50 m gewonnen. Dieses Grundwasser ist derart rein, dass keinerlei Aufbereitung zur Erreichung der Qualitätsanforderungen gemäß Trinkwasserverordnung notwendig ist (vgl. Ergebnisse der Analyse vom 19.10.2010, Kapitel 0). Insofern wäre die Zugabe von Grundwasser zwecks Simulation einer natürlichen Verunreinigung nicht zielführend. Vor diesem Hintergrund wurde entschieden, Oberflächenwasser eines Flusses aus der Region für die Untersuchung zu verwenden. Hierzu wurden fünf Liter der Gersprenz (rund 51 km langer Nebenfluss des Mains) in der Stadt Dieburg knapp unter der Oberfläche entnommen und in verschiedenen Konzentrationen dem Trinkwasser beigegeben.

#### **4.2.3. Abwasser**

Vom 28. – 30. November 2007 sind in der 30.000 Einwohner umfassenden Stadt Nokia (Finnland) rund 450 m<sup>3</sup> Abwasser ins Trinkwassernetzwerk gelangt. Verantwortlich hierfür waren eine Querverbindung zwischen dem Abwasser und dem Trinkwasser in der städtischen Kläranlage sowie das Fehlen eines Rückschlagventils. Als Folge wurden nicht nur die Versorgungsleitungen großflächig verunreinigt, sondern auch mehr als 8.000 Menschen zum Teil ernsthaft krank [47]. Darüber hinaus sind weitere Querverbindungen und Rückflussereignisse bekannt, die zu einem Eintrag von Abwasser ins Trinkwassernetzwerk geführt haben [65]. Ob derartige Unfälle durch eine kontinuierliche Überwachung von chemisch-physikalischen Qualitätsparametern sowie eine automatisierte Auswertung anhand der Software IT SEES erkannt werden können soll hier näher untersucht werden. Dazu wurden fünf Liter Abwasser aus der örtlichen Kläranlage nach Durchlaufen von Rechen und Sandfang entnommen und dem Trinkwasser in verschiedenen Mischungsverhältnissen zugeführt.

#### **4.2.4. Eisen(III)-chlorid**

Mit der Einführung druckfester und dauerhafter Rohre sowie einer leistungsfähigen Förder-technik beginnt etwa Mitte des 19. Jahrhunderts die moderne Rohrleitungstechnik [46]. Seitdem haben ständige Weiterentwicklungen stattgefunden, was neben neuen Materialien vor allem den Korrosionsschutz betrifft. In Abbildung 4.2 ist die zeitliche Entwicklung des Rohrmaterialbestandes seit 1900 dargestellt.

Bei eisenhaltigen Werkstoffen (Gusseisen, Stahl) hat sich zur Verhinderung von Korrosionsvorgängen mittlerweile ein Innenschutz aus Zementmörtel sowie eine PE-Außenummhüllung durchgesetzt. Dies ist jedoch erst seit etwa 1980 mit Einführung von duktilen Gussrohren der zweiten Generation sowie von Stahlrohren der dritten Generation gegeben [46]. Zuvor eingesetzte eisenhaltige Rohrleitungen sind je nach Aggressivität des Wassers mehr oder weniger starken Korrosionsvorgängen unterworfen. Aufgrund des fortlaufenden Erneuerungsprozesses wird deren Anteil zwar zunehmend kleiner (was durch Schadensstatistiken entsprechend belegt ist), allerdings bestehen nach wie vor viele Kilometer Trinkwasserleitungen aus Materialien mit keinem bzw. unzureichendem Korrosionsschutz. Problematisch sind zudem die vielerorts fehlenden Angaben hinsichtlich der in der Vergangenheit verwendeten Rohrmaterialien wie z. B. in der ehemaligen DDR. Nach einer Untersuchung aus dem Jahr 2003 bestehen mehr als 50 % der Rohrleitungen in Deutschland aus Guss (Grauguss oder Duktiler Guss), 30

% aus Kunststoff (PVC, PE), 10 % aus zementgebundenen Werkstoffen (hauptsächlich Asbestzement) und etwa 5% aus Stahl [46]. Das bedeutet mehr als die Hälfte aller öffentlichen Versorgungsleitungen bestehen aus eisenhaltigen Werkstoffen, von denen der korrosionsgefährdete Anteil jedoch nicht genau bekannt ist.

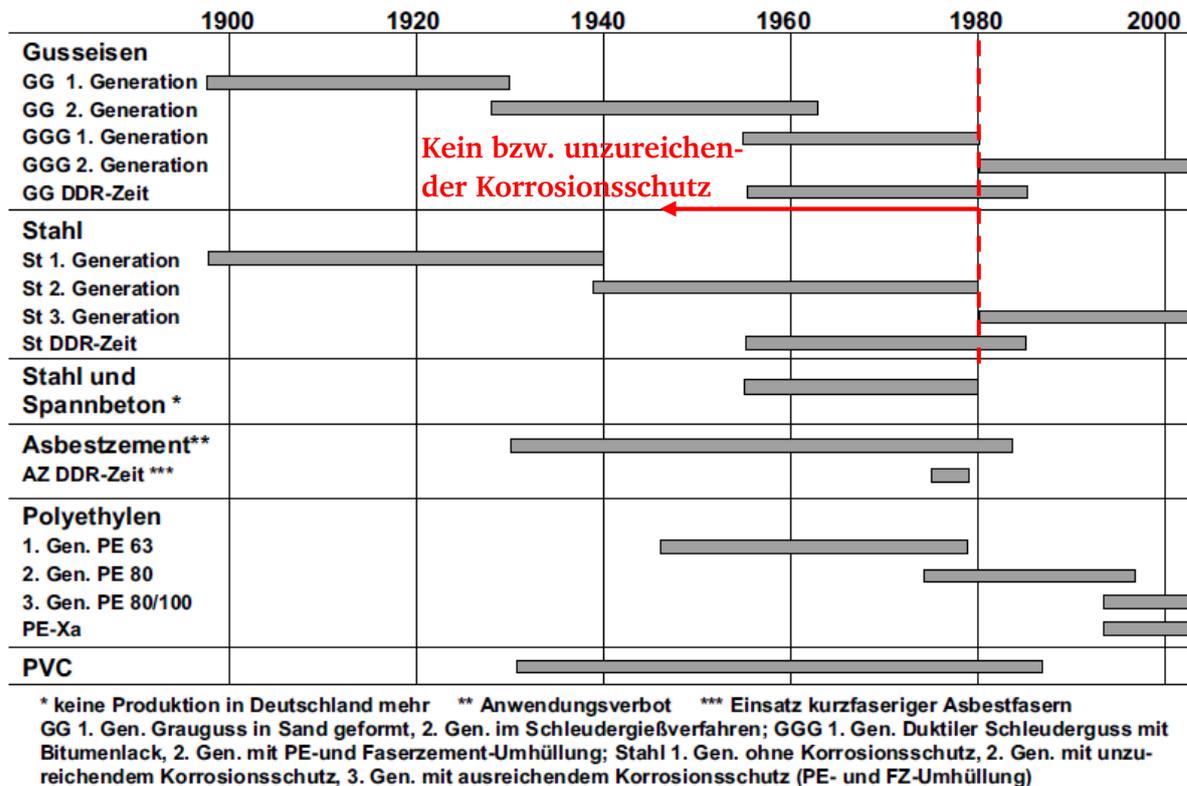


Abbildung 4.2: Zeitliche Entwicklung des Rohrmaterialbestandes, verändert nach [46]

Im Rahmen von Versuchen soll hier untersucht werden, welche Auswirkungen Korrosionsvorgänge auf die chemisch-physikalischen Qualitätsparameter haben und inwieweit diese durch die Software IT SEES erkannt werden können. Im Allgemeinen setzt sich Rost chemisch gesehen aus den Bestandteilen Eisen(II)-oxid, Eisen(III)-oxid und Wasser zusammen. Eisen(III)-oxid ist dabei für die rot-bräunliche Farbe des Rostes verantwortlich. Zur Simulation realer Rostereignisse wird hier wasserfreies Eisen(III)-chlorid der Firma Merck verwendet (Sicherheitsdatenblatt siehe Anhang B), welches zunächst in einem separaten Behälter mit Wasser vermischt und dem Trinkwasser anschließend in unterschiedlichen Konzentrationen beigegeben wird.

### 4.3. Versuchsablauf

Die zuvor beschriebenen Schadstoffe – Huminsäure, Oberflächenwasser, Abwasser und Eisen(III)-chlorid – wurden jeweils über einen separaten Behälter mithilfe der Magnetdosierpumpe dem Trinkwasser beigegeben. Zur Sicherstellung einer vollständigen Durchmischung der Zugabelösung wurde zusätzlich ein Magnetrührer installiert. Dadurch kann sichergestellt werden, dass sich die speziell im Oberflächen- und Abwasser enthaltenen Partikel im Laufe der Versuchsdurchführung nicht absetzen und so das Ergebnis verfälschen.

---

Das Trinkwasserpanel weist ein Gesamtvolumen von etwa 0,88 Liter auf. Der Durchfluss kann anhand eines Stellrads individuell eingestellt werden, wobei maximal rund 1,6 l/min (das entspricht 96 l/h bzw. 0,096 m<sup>3</sup>/h) möglich sind. Das bedeutet, bei maximalem Durchfluss wird das Wasser im Versuchspanel knapp zwei Mal pro Minute vollständig ausgetauscht. Im Zuge der Versuchsdurchführung wurden jedoch auch geringere Durchflussvolumina gewählt, um zusammen mit den Einstellmöglichkeiten der Magnetdosierpumpe die gewünschte Zugabekonzentration zu erzielen. Vor diesem Hintergrund wurde entschieden die zu untersuchenden Schadstoffe jeweils über eine Dauer von 20 Minuten dem Trinkwasser beizugeben. Zwischen dem Ende eines Versuches und dem Start einer neuen Zugabe wurde aus Reinigungsgründen sowie aufgrund der späteren Auswertung mit dem Programm IT SEES (vgl. Kapitel 5) eine Wartezeit von einer Stunde angesetzt. Diese zeitlichen Ansätze sollen nicht nur eine vollständige Durchmischung der Schadstoffe über einen ausreichenden Zeitraum sicherstellen, sondern auch deren komplette Entfernung aus den Leitungen des Panels beim Beginn der folgenden Zugabe garantieren. Aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten in den größtenteils sehr kleinen Leitungen (Durchmesser meist < 1 cm, vgl. Abbildung 4.1) ist zudem die Wahrscheinlichkeit einer Ablagerung an den Rohrwandungen sehr gering.

Die Schadstoffe wurden jeweils in drei verschiedenen Konzentrationen dem Trinkwasser beizugeben, wobei jede Konzentrationsstufe insgesamt drei Mal wiederholt wurde. Durch diese Wiederholungen soll sichergestellt werden, dass die Zugabe in unterschiedlichen Bereichen der natürlichen Schwankungen der Parameter erfolgt und so eine Reproduzierbarkeit der gewonnenen Daten gegeben ist. Dabei beeinflussten einerseits die in der Natur vorkommenden Gehalte der Schadstoffe (dies betrifft insbesondere die Huminsäure) und andererseits die Grenzwerte gemäß Trinkwasserverordnung die Auswahl der zu testenden Konzentrationen. Für Eisen existiert ein gesetzlich festgelegter Grenzwert von 0,2 mg/l, jedoch ist dies für Oberflächen- und Abwasser nicht der Fall. Insofern wurden hierfür die gesetzlichen Grenzwerte der ermittelten Indikatorparameter wie z. B. der Trübung angesetzt. Ziel der getesteten Konzentrationen war es ein Überschreiten dieser Grenzwerte zu verhindern, da in einem solchen Fall die Leistungsfähigkeit der Software IT SEES nicht hinreichend überprüft werden kann (eine Auffälligkeitserkennung mittels statischer Grenzwerte bedarf keiner statistisch-mathematischer Analysemethoden, vgl. Kapitel 3.1).

Nach Angabe der US-amerikanischen Umweltbehörde verwenden die meisten Versorgungsunternehmen mit einer kontinuierlichen Messwertaufnahme Abtastraten zwischen 2 bis 15 Minuten [69]. Untersuchungen zur Bedeutung der Abtastrate bzw. der Messintervalle auf die Qualität der Auffälligkeitserkennung liegen bislang noch nicht vor. Für die Versuchsdurchführung wurden hier die Rohdaten der Sensoren als 2-Minuten Mittelwerte zusammengefasst und für die spätere Datenauswertung verwendet. Der Beginn der eigentlichen Schadstoffzugabe wurde bewusst zwischen diesen zwei Minuten gewählt, um dadurch einen zunächst geringeren Ausschlag der Indikatorparameter zu erzielen und so die spätere Auswertung mit der Software IT SEES aussagekräftiger und realitätsnaher zu gestalten.

#### 4.4. Darstellung der Ergebnisse

Das verwendete Trinkwasser in Groß-Umstadt weist ein sehr geringes Schwankungs- und Rauschverhalten auf. Die aufgenommenen Parameter blieben über den Versuchszeitraum nahezu konstant und lediglich geringe tageszeitliche Änderungen, vor allem zur Mittagszeit

konnten beobachtet werden. Abbildung 4.3 zeigt den Verlauf der aufgenommenen Qualitätsdaten des Trinkwassers in Groß-Umstadt für zwei Tage. Da keine Aufbereitung bzw. Desinfizierung des Rohwassers stattfindet beträgt der Chlorgehalt null und ist nicht dargestellt. Ebenso sind der Durchfluss und die Temperatur nicht dargestellt, da sich diese Parameter als unabhängig von der Schadstoffzugabe gezeigt haben.

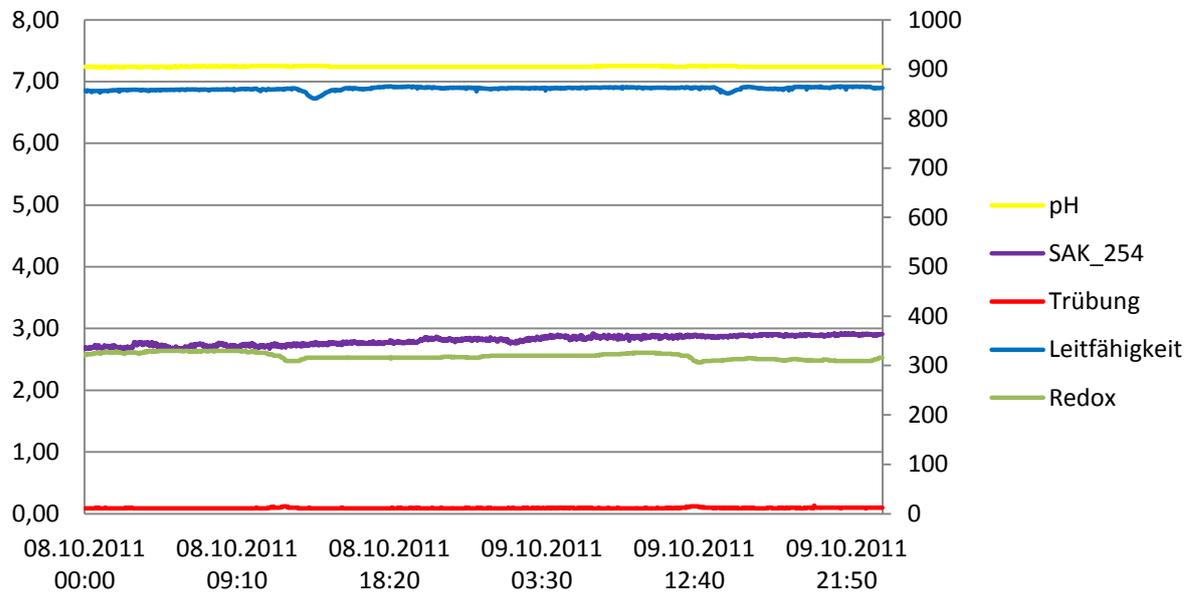


Abbildung 4.3: Qualitätsdaten des Trinkwassers aus Groß Umstadt (Auszug für zwei Tage)

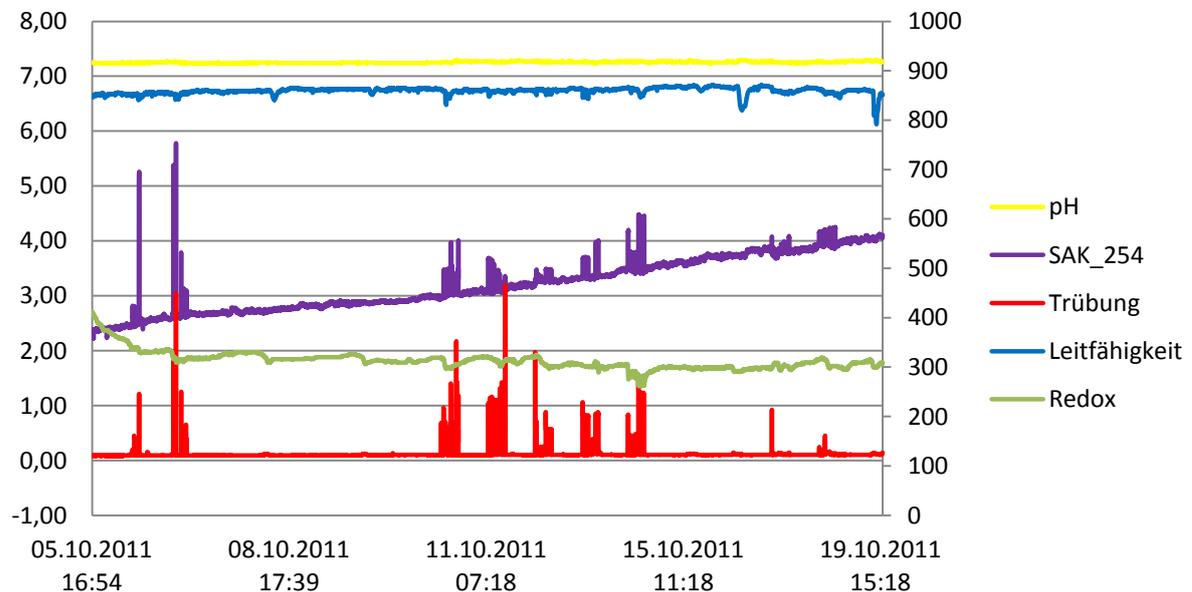


Abbildung 4.4: Änderung der Qualitätsdaten während des gesamten Versuchszeitraums

Im Laufe der dargestellten zwei Tage schwankt der pH-Wert zwischen 7,23 bis 7,25 (das entspricht einer prozentualen Änderung von 0,28 %), die Leitfähigkeit zwischen 840,9 bis 865,3  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (2,90 %), der SAK Wert zwischen 2,65 bis 2,93  $\text{m}^{-1}$  (10,57 %), das Redoxpotential zwischen 306 bis 330 mV (7,84 %) und die Trübung zwischen 0,09 bis 0,13 FNU (44,44 %). Der

gesamte Versuchszeitraum betrug rund zwei Wochen. Während dieser Zeit konnte beim spektralen Absorptionskoeffizienten (SAK bei 254 nm) ein Driftverhalten beobachtet werden. So ergab die Messung zu Beginn der Datenaufnahme einen Wert von  $2,22 \text{ m}^{-1}$ , wobei dieser zwei Wochen später kontinuierlich auf den Wert  $4,13 \text{ m}^{-1}$  anstieg und sich somit nahezu verdoppelte. Abbildung 4.4 zeigt den Verlauf der gemessenen Parameter über den gesamten Versuchszeitraum (die Peaks repräsentieren die Momente der Schadstoffzugabe und sind nicht natürlichen Ursprungs).

Nachfolgend sind die Reaktionen der ausgewählten Parameter auf die getesteten Verunreinigungen tabellarisch zusammengefasst. Dabei werden sowohl die absoluten als auch die prozentualen Änderungen angegeben. Deren Ermittlung erfolgt anhand der Differenz zwischen den Mittelwerten vor Schadstoffzugabe und der sich einstellenden mittleren Änderung entsprechend:

$$\text{Absolute Änderung} = S_{\text{Peak}} - S_{\text{Basis}}$$

$$\text{Prozentuale Änderung} = \frac{\text{Absolute Änderung}}{S_{\text{Basis}}} \cdot 100$$

Dabei ist  $S_{\text{Basis}}$  der arithmetische Mittelwert der Messwerte der vorangegangenen zehn Minuten und  $S_{\text{Peak}}$  der arithmetische Mittelwert der Messwerte während der Schadstoffzugabe über einen Zeitraum von 12 Minuten. Die Grundüberlegungen zur Ermittlung von  $S_{\text{Peak}}$  zeigt Abbildung 4.5 in idealisierter Form.

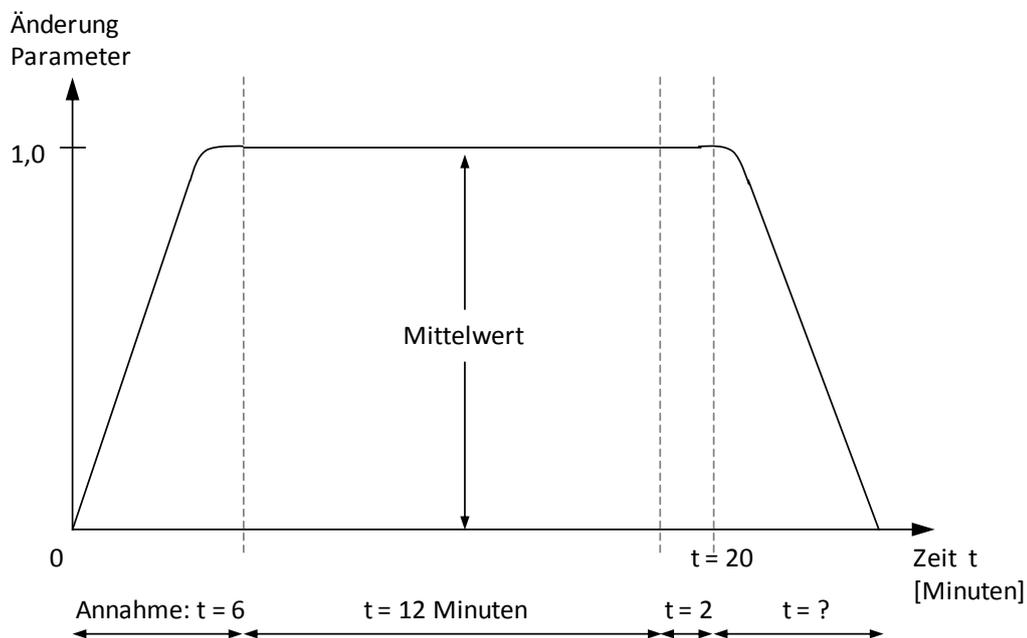


Abbildung 4.5: Berechnung der mittleren Änderungen infolge der Schadstoffzugabe (idealisierte Darstellung der an den Sensoren vorbeiströmenden Schadstoffwelle)

Mit Beginn der Schadstoffzugabe erfolgt grundsätzlich zunächst ein steter An- bzw. Abstieg der Parameter bis sich diese auf stabilem Niveau festigen. Da nicht genau bekannt ist ab welchem Zeitpunkt dies gegeben ist, also eine vollständige Durchmischung der Verunreinigungen

mit dem Trinkwasser erreicht wird, wurden hierfür sicherheitshalber sechs Minuten angesetzt. Wie bereits erwähnt weist das Versuchspanel ein Volumen von 0,88 Liter auf. Der minimal eingestellte Durchfluss im Rahmen der Versuchsdurchführung betrug etwa 0,4 l/min, sodass die angesetzten sechs Minuten einen etwa dreifachen Austausch des gesamten Wassers aus dem Panel bedeuten. Um mögliche Parameteränderungen nach Versuchsende nicht mit in das Ergebnis einfließen zu lassen, wurden zudem die letzten zwei Versuchsminuten bei der Ermittlung von  $S_{\text{Peak}}$  nicht berücksichtigt. Dies ist notwendig, da die von den Sensoren aufgenommenen Messdaten automatisch als 2-Minuten-Mittelwerte zusammengefasst werden (vgl. Kapitel 4.3).

#### 4.4.1. Huminsäure

Tabelle 4-1 fasst das Ergebnis der Untersuchung zusammen. Demnach ändern sich bei Zugabe von Huminsäure vor allem die Trübung und der SAK-Wert bei 254 nm. Das Redoxpotential sowie die Leitfähigkeit reagieren nur geringfügig auf die Zugabe, wobei deren Änderungen sehr stark schwanken und zwischen positiven und negativen Ausschlägen wechseln. Dieses Verhalten legt den Schluss nahe, dass die Schwankungen dieser Parameter natürlichen Ursprungs und unabhängig von der jeweiligen Schadstoffzugabe sind. Der pH-Wert ist über den Versuchszeitraum nahezu konstant geblieben und weist zum Teil lediglich geringfügige Änderungen in der zweiten Nachkommastelle auf.

Tabelle 4-1: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Huminsäure

Test Nr.	c(Wasser)	Parameteränderung				
[-]	[mg/l]	pH	Redox	SAK_254	Leitfähigkeit	Trübung
1	0,10	0,00	-3,08	0,07	-0,26	1,15
		0,00%	-1,01%	2,35%	-0,03%	882,05%
	0,10	0,01	2,30	0,12	1,61	1,16
		0,14%	0,76%	3,77%	0,19%	1157,14%
	0,10	0,00	0,77	0,07	-1,20	1,19
		0,00%	0,25%	2,19%	-0,14%	1190,00%
2	0,20	0,01	-1,33	0,36	-0,41	0,88
		0,10%	-0,42%	11,64%	-0,05%	875,00%
	0,20	0,00	-1,00	0,35	1,71	0,94
		0,00%	-0,32%	11,21%	0,20%	941,43%
	0,20	0,00	0,63	0,35	0,60	0,94
		0,00%	0,20%	11,30%	0,07%	900,00%
3	0,30	0,01	-0,93	0,57	8,77	0,93
		0,14%	-0,29%	18,33%	1,04%	1013,35%
	0,30	0,00	-0,17	0,59	3,54	1,00
		0,00%	-0,05%	19,08%	0,42%	1107,41%
	0,30	-0,01	-2,43	0,57	-0,80	1,00
		-0,08%	-0,76%	18,75%	-0,09%	1015,65%

In Abbildung 4.6 sind die Parameteränderungen durch Zugabe von Huminsäure graphisch dargestellt. Der Verlauf der Leitfähigkeit und des Redoxpotentials bestätigt die Annahme, dass sich deren Änderungen unabhängig von der Schadstoffzugabe verhalten. Lediglich der SAK-Wert und die Trübung weisen eindeutige Peaks auf und sind somit als Indikatorparameter für derartige Verunreinigungen brauchbar. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt zudem, dass sich die Trübung bei den getesteten Konzentrationen von 0,1 bis 0,3 mg/l jeweils in etwa derselben Größenordnung ändert. Während der SAK-Wert je nach Zugabemenge unterschiedliche Ausschläge aufweist stellen sich bei der Trübung Werte zwischen 0,88 – 1,19 FNU ein, wobei diese bei der geringsten Konzentration von 0,1 mg/l sogar am Größten ausfallen. Der in der Trinkwasserverordnung festgelegte Grenzwert von 1,00 FNU wird somit in der Regel überschritten.

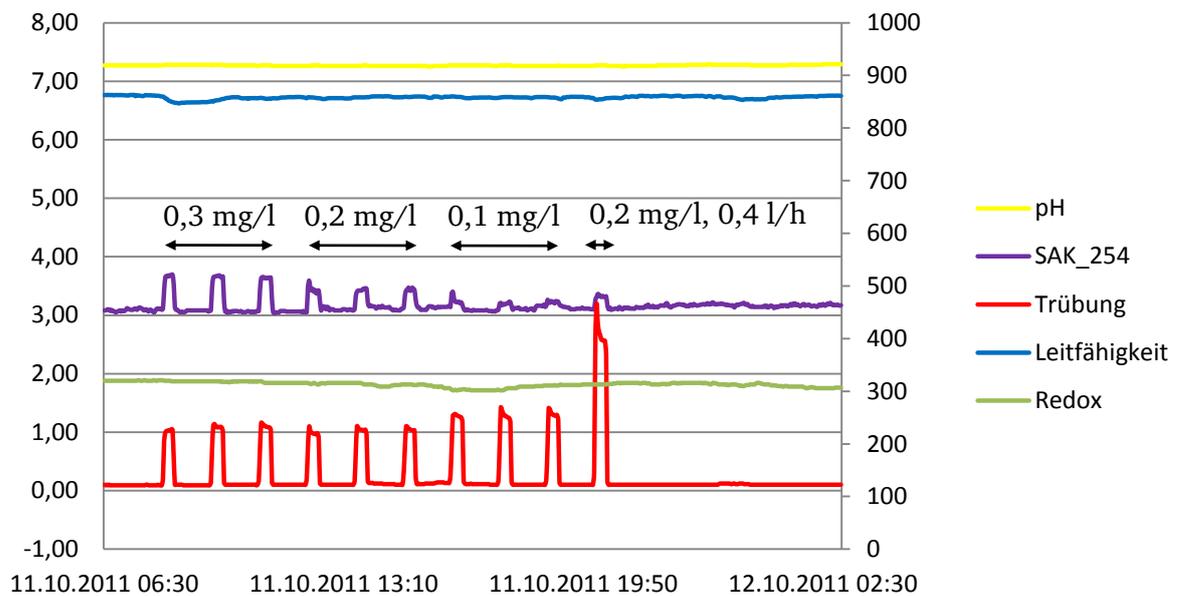


Abbildung 4.6: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Huminsäure (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Huminsäure an)

Zur Erreichung der Endkonzentration im Trinkwasser wurde zunächst die Huminsäure als Mutterlösung angesetzt und für die einzelnen Testdurchläufe soweit verdünnt, dass mit konstanten Zugabedurchflüssen (Magnetdosierpumpe: 0,2 l/h; Trinkwasser: 1,05 l/min) die zu testende Endkonzentration erreicht wurde. Diese Voreinstellungen bedeuten eine prozentuale Schadstoffzugabe von 0,37 %. Aufgrund der Vermutung die Ergebnisse des Parameters Trübung seien von dem Zugabedurchfluss abhängig wurde abschließend mit der 0,1 mg/l Testlösung ein doppelter Zugabedurchfluss von 0,4 l/h (das entspricht einer prozentualen Schadstoffzugabe von 0,73 %) eingestellt. Theoretisch müssten sich dadurch die Parameter wie bei der 0,2 mg/l Untersuchung verhalten, da dies die tatsächliche Endkonzentration im Trinkwasser ist. Jedoch stellen sich bei der Trübung mit 2,57 FNU rund doppelt so hohe Werte ein (vgl. Abbildung 4.6) und bestätigen damit die Annahme der Parameterrausschlag sei von dem Zugabedurchfluss der Huminsäure abhängig. Auch der SAK-Wert reagiert mit einer Änderung von  $0,21 \text{ m}^{-1}$  nicht wie erwartet – die vorherige Untersuchung bei Konzentrationen von 0,2 mg/l Huminsäure und einem Zugabedurchfluss von 0,2 l/h hat zu Änderungen von im Mittel  $0,35 \text{ m}^{-1}$  geführt.

Für das unerwartete Parameterverhalten können vielerlei Gründe verantwortlich sein. So ist einerseits ein kurzzeitiger Defekt der Zugabepumpe möglich, was jedoch aufgrund der folgenden Untersuchungen nicht bestätigt werden kann. Darüber hinaus kann auch eine unsaubere Herstellung der Mutterlösungen trotz präziser Labortechnik nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Ferner ist ein unterschiedliches Lösungsverhalten der zugegebenen Huminsäure im Trinkwasser aufgrund des pH-Werts von im Mittel 7,24 denkbar (Huminsäure löst sich nur im alkalischen Milieu bei pH 9 – 10, vgl. Produktdatenblatt im Anhang A). Unabhängig einer Klärung des Hintergrunds der unerwarteten Parameteränderungen zeigt das Ergebnis der Untersuchung jedoch, dass die Trübung und der SAK-Wert als Indikatorparameter für die Erkennung von Huminsäure am geeignetsten sind. Deren Änderungen sind selbst bei sehr geringen Konzentrationen von 0,2 mg/l größer als 10 % und können damit als signifikant bewertet werden.

#### 4.4.2. Oberflächenwasser

Tabelle 4-2 und Abbildung 4.7 fassen die Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Oberflächenwasser zusammen. Demnach haben im Rahmen der Untersuchung vor allem die Trübung und der SAK-Wert signifikante Änderungen gezeigt. Zudem weist die Leitfähigkeit mit steigender Zugabekonzentration geringfügige Ausschläge auf. Der pH-Wert und das Redoxpotential blieben hingegen relativ stabil, wobei sich deren geringe Schwankungen unabhängig von der jeweiligen Schadstoffzugabe verhalten und somit natürlichen Ursprüngen zugewiesen werden können. Die ungewöhnlich starke Reaktion des Parameters Trübung zu Beginn der dreiprozentigen Zugabe (vgl. Abbildung 4.7) ist vermutlich auf Feststoffpartikel zurückzuführen, die kurzfristig den Wert in die Höhe trieben.

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Oberflächenwasser

Test Nr.	Zugabemenge	Parameteränderung				
[-]	[%]	pH	Redox	SAK_254	Leitfähigkeit	Trübung
1	1,00%	0,00	-1,67	0,09	-1,20	0,12
		0,00%	-0,52%	2,83%	-0,14%	120,00%
	1,00%	0,00	-3,70	0,08	-3,05	0,14
		0,00%	-1,17%	2,36%	-0,35%	153,97%
	1,00%	0,00	-2,83	0,04	-4,03	0,13
		0,00%	-0,92%	1,33%	-0,47%	134,00%
2	3,00%	0,00	-3,33	0,20	-8,70	0,46
		0,00%	-1,09%	6,18%	-1,01%	460,00%
	3,00%	0,00	-2,97	0,18	-8,83	0,44
		0,00%	-0,98%	5,43%	-1,02%	354,64%
	3,00%	0,01	-0,77	0,19	-7,79	0,46
		0,14%	-0,26%	5,88%	-0,91%	455,71%
3	5,00%	0,01	1,80	0,36	-17,10	0,73
		0,14%	0,60%	10,88%	-1,98%	732,86%
	5,00%	0,01	0,00	0,36	-15,47	0,71
		0,14%	0,00%	10,88%	-1,79%	712,86%
	5,00%	-0,02	-0,17	0,36	-15,53	0,71
		-0,25%	-0,06%	10,84%	-1,81%	707,00%

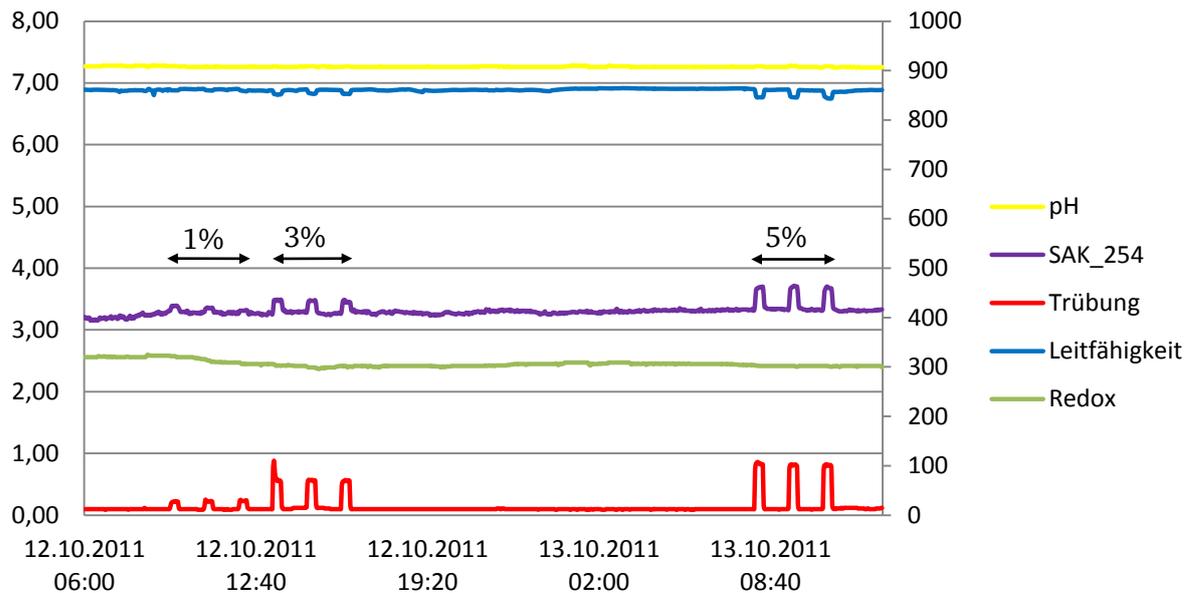


Abbildung 4.7: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Oberflächenwasser (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Oberflächenwasser an)

#### 4.4.3. Abwasser

Im Ergebnis der Zugabe von Abwasser in prozentualen Konzentrationen von 0,5 – 1,5 % haben die Trübung, der SAK-Wert sowie das Redoxpotential signifikante Änderungen gezeigt (vgl. Tabelle 4-3 und Abbildung 4.8). Eine Überschreitung des gesetzlichen Grenzwerts der Trübung in Höhe von 1,0 FNU wurde bereits bei der 1,5 prozentigen Abwasserzugabe erreicht. Die Leitfähigkeit und der pH-Wert wiesen hingegen keine konstanten Änderungen nach entsprechender Schadstoffzugabe auf und können somit vernachlässigt werden.

Das Redoxpotential hat sich im Rahmen der Untersuchung als sehr langsam ändernder Parameter erwiesen. In Abbildung 4.8 ist zu erkennen, dass während der 20 Minuten Testdurchläufe das Redoxpotential konstant sinkt, um dann nach Ende der Abwasserzugabe langsam wieder auf den vorherigen Wert zurückzukehren. Aus diesem Grund wurde zur Berechnung der Änderungen des Redoxpotentials hier nicht der Mittelwert, wie in Kapitel 4.4 beschrieben, verwendet, sondern der Wert direkt vor der Abwasserzugabe mit dem Wert zwanzig Minuten später (Ende der Zugabe) verglichen. Zudem ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung, dass innerhalb der einstündigen Pause zwischen den Versuchen das Redoxpotential seinen vorherigen Höchstwert (vermutlich) nicht wieder erreicht. Dies ist vor allem bei der 1,5%igen Zugabe zu beobachten (vgl. Abbildung 4.8), bei der kein stabiles Wertenniveau vor der erneuten Zugabe erreicht wird und ein anhaltender Trend somit weiterhin gegeben ist. Insofern sind die berechneten Auswirkungen auf das Redoxpotential höchstwahrscheinlich geringfügig verfälscht. Tatsächlich hätte die Zeit zwischen den Versuchen länger gewählt werden müssen, um eine Rückkehr zu den „normalen“ Redoxwerten zu garantieren. Die Reaktionen dieses Parameters auf die Abwasserzugabe hätten dadurch etwas höhere Werte angenommen. Verdeutlicht wird dies zusätzlich durch die hohen Änderungen beim dritten Versuchsdurchlauf der einprozentigen Zugabe. Dieser Versuch wurde nach einer Pause von rund 15 Stunden am Morgen des nächsten Tages durchgeführt. Das Redoxpotential hat sich dadurch zu Beginn der Zugabe auf stabilem Niveau stabilisiert, wobei dieses Niveau bei den folgenden Versuchen

nicht wieder erreicht wurde (vgl. Abbildung 4.8). Auf der anderen Seite ist das Redoxpotential geringfügigen tageszeitlichen Schwankungen unterworfen, die sich speziell zur Mittagszeit wertmindernd auswirken (vgl. Kapitel 4.4). Insofern ist die Verwendung der stabilen Werte vom Morgen des Tages für die Berechnung der Änderungen nicht korrekt.

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Abwasser

Test Nr.	Zugabemenge	Parameteränderung				
		pH	Redox	SAK_254	Leitfähigkeit	Trübung
1	0,50%	0,00	-12,00	0,31	-7,01	0,34
		0,00%	-4,12%	8,91%	-0,81%	347,52%
	0,50%	0,00	-13,00	0,32	0,56	0,35
		0,00%	-4,45%	9,27%	0,07%	345,71%
	0,50%	0,00	-17,00	0,35	0,15	0,38
		0,00%	-5,82%	10,28%	0,02%	378,57%
2	1,00%	0,00	-10,60	0,64	1,20	0,69
		0,00%	-3,42%	19,19%	0,14%	491,84%
	1,00%	0,00	-19,80	0,66	1,01	0,72
		0,00%	-6,41%	19,76%	0,12%	573,47%
	1,00%	-0,02	-31,00	0,68	1,59	0,72
		-0,27%	-10,13%	19,49%	0,18%	720,00%
3	1,50%	0,00	-25,00	1,02	-1,91	1,09
		0,00%	-8,74%	29,72%	-0,22%	989,61%
	1,50%	0,00	-21,00	0,99	5,06	1,04
		0,00%	-7,45%	28,96%	0,60%	1038,57%
	1,50%	0,00	-21,00	1,01	5,72	1,04
		0,00%	-7,42%	29,59%	0,67%	1042,86%

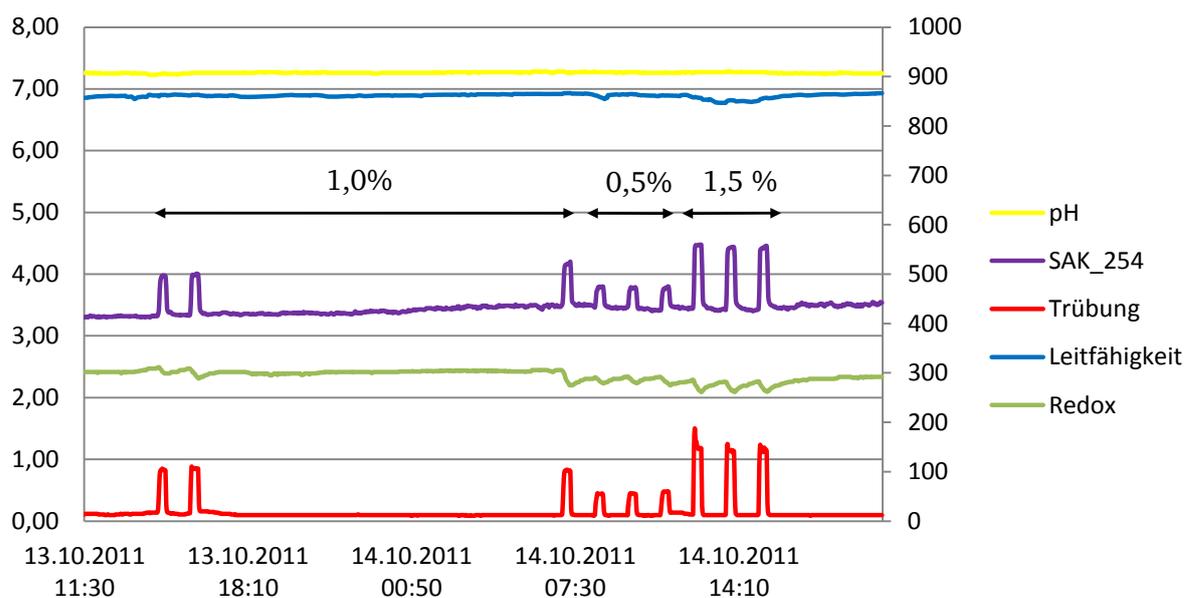


Abbildung 4.8: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Abwasser (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Abwasser an)

#### 4.4.4. Eisen(III)-chlorid

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Eisen(III)-chlorid zum Trinkwasser dargestellt (vgl. Tabelle 4-4 und Abbildung 4.9). Dabei wurden aufgrund der geringen Reaktionen der überwachten Parameter insgesamt vier Konzentrationen von 0,05 – 0,2 mg/l getestet. Der in der Trinkwasserverordnung festgeschriebene Grenzwert für Eisen beträgt 0,2 mg/l. Nach Angabe des Wasserwerks Groß-Umstadt sind rund 0,04 mg/l Eisen im Trinkwasser vorhanden (vgl. Auszug der Untersuchungsergebnisse vom 19.10.2010 im Anhang C). Demnach stellt die Zugabe von 0,2 mg/l Eisen(III)-chlorid bereits eine geringe Grenzwertüberschreitung gem. TrinkwV dar.

Im Ergebnis der Untersuchung konnten vor allem Änderungen des SAK-Werts und der Trübung festgestellt werden, wobei diese in der Höhe jedoch sehr gering ausfielen. So weist zwar der SAK-Wert, speziell bei Betrachtung der Datenverläufe (vgl. Abbildung 4.9), signifikante Änderungen auf, prozentual ausgedrückt entsprechen diese Ausschläge jedoch Werten von unter 10 %. Im Gegensatz dazu weist die Trübung zwar in der Regel Änderungen von über 10 % auf, was jedoch zahlenmäßig kaum ins Gewicht fällt und maßgeblich den geringen Basiswerten von etwa 0,1 FNU geschuldet ist.

Tabelle 4-4: Ergebnisse der Parameteränderungen durch Zugabe von Eisen(III)-chlorid

Test Nr.	c(Wasser)	Parameteränderung				
[-]	[mg/l]	pH	Redox	SAK_254	Leitfähigkeit	Trübung
1	0,05	-0,01	2,33	0,09	0,62	0,01
		-0,14%	0,77%	2,43%	0,07%	10,64%
	0,05	0,00	0,17	0,10	-0,61	0,01
		0,00%	0,06%	2,64%	-0,07%	10,00%
	0,05	0,01	-4,77	0,08	-0,40	0,01
		0,14%	-1,56%	2,25%	-0,05%	9,52%
2	0,10	0,00	1,60	0,13	-2,23	0,02
		0,00%	0,55%	3,55%	-0,26%	15,58%
	0,10	0,00	0,17	0,17	-0,10	0,02
		0,00%	0,06%	4,37%	-0,01%	20,00%
	0,10	0,00	0,00	0,15	-1,30	0,02
		0,00%	0,00%	4,01%	-0,15%	20,00%
3	0,15	-0,01	-2,07	0,28	2,22	0,03
		-0,14%	-0,69%	7,45%	0,26%	27,27%
	0,15	0,00	0,93	0,26	1,30	0,03
		0,00%	0,29%	6,52%	0,15%	25,71%
	0,15	0,00	-2,93	0,23	2,53	0,02
		0,00%	-0,94%	5,92%	0,30%	17,71%
4	0,20	0,00	-0,17	0,29	-2,37	0,03
		0,00%	-0,06%	7,28%	-0,28%	23,08%
	0,20	0,00	0,00	0,34	-0,31	0,03
		0,00%	0,00%	8,70%	-0,04%	30,00%
	0,20	0,01	0,00	0,36	-0,99	0,03
		0,14%	0,00%	9,41%	-0,12%	30,00%

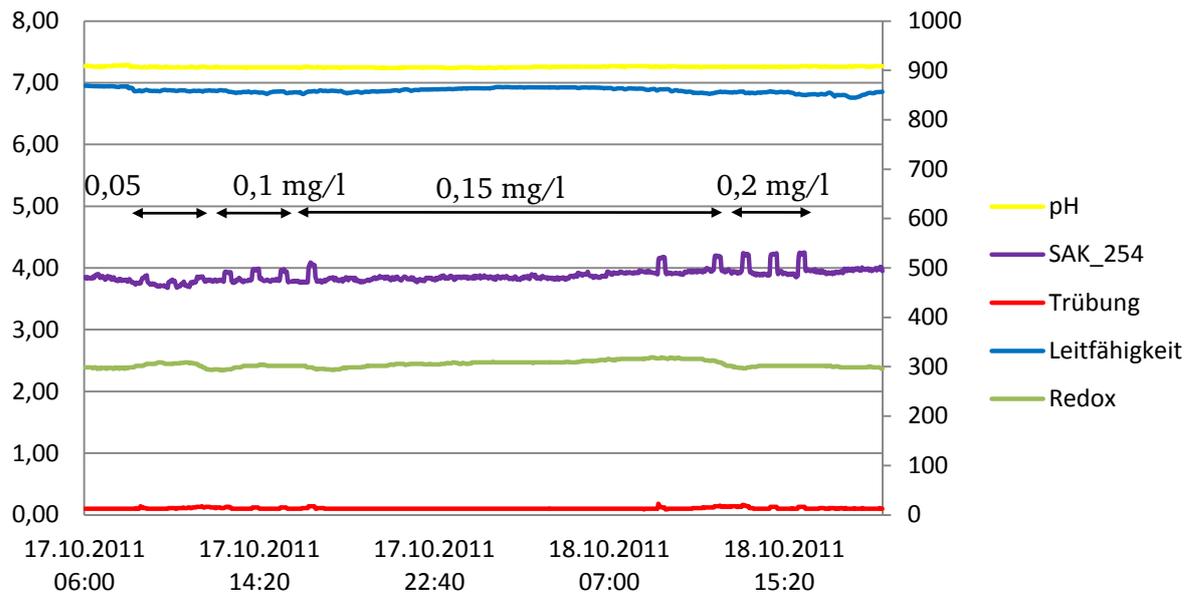


Abbildung 4.9: Darstellung der Parameteränderungen durch Zugabe von Eisen(III)-chlorid (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Eisen(III)-chlorid an)

Da durch eine Zugabe der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Eisen nicht überschritten werden sollte, wurden nur geringe Konzentrationen von Eisen(III)-chlorid getestet. Grundsätzlich wirkt Eisen in diesen Mengen für den Menschen nicht gesundheitsschädlich. Der geringe Grenzwert dient von daher im Grunde einer Verbesserung des Betriebes und einer Steigerung der Lebensdauer von Anlagen und Armaturen (Verhinderung von Ablagerungen). Darüber hinaus führen erhöhte Eisenkonzentrationen zu einem unerwünschten metallischen Geschmack und rotbraunen Verfärbungen des Wassers. Bei tatsächlichen Rostereignissen im Rohrnetz wäre eine mehr oder weniger starke gelb bis rot-bräunliche Färbung des Wassers optisch klar erkennbar. Die hierzu erforderlichen Eisen(III)-Gehalte liegen deutlich über den getesteten Konzentrationen (nach [61] ist eine leichte Färbung ab Konzentrationen von 0,3 mg/l erkennbar). Insofern würden die Änderungen der aufgenommenen Indikatorparameter bei realen Rostvorgängen vermutlich größer ausfallen.

Die Schwankungen des pH-Werts, der Leitfähigkeit und des Redoxpotentials haben sich unabhängig von der jeweiligen Eisenzugabe gezeigt und können somit natürlichen Ursprüngen zugewiesen werden.

#### 4.5. Bewertung der Versuchsergebnisse

Die Untersuchungen zur Abbildung natürlicher Verschmutzungsereignisse bzw. Unfälle in Trinkwasserverteilungsnetzen haben bei den vier getesteten Schadstoffen jeweils zu Änderungen des SAK-Werts bei 254 nm sowie der Trübung geführt. Zudem konnte bei der Zugabe von Oberflächenwasser eine geringfügige Änderung der Leitfähigkeit und bei der Zugabe von Abwasser eine signifikante Änderung des Redoxpotentials beobachtet werden. Insofern eignen sich im Wesentlichen die Trübung und der spektrale Absorptionskoeffizient bei 254 nm als Indikatorparameter für natürliche Verschmutzungsereignisse, wobei unterstützend die Leitfähigkeit und das Redoxpotential bei der Interpretation von Alarmen helfen können.

---

In der Trinkwasserverordnung zählen die Trübung und die elektrische Leitfähigkeit zu den routinemäßig zu untersuchenden Parametern. Wie bereits erwähnt (vgl. Kapitel 2.4) können die Laboruntersuchungen für diejenigen routinemäßig zu bestimmenden Parameter entfallen, welche laufend aufgezeichnet werden [14]. Das bedeutet bei einer Einbindung der vier Indikatorparameter Trübung, SAK 254, Leitfähigkeit und Redoxpotential kann auf die Ermittlung der Trübung und der Leitfähigkeit im Rahmen der routinemäßigen Untersuchungen verzichtet werden. Dies hat wiederum den positiven Nebeneffekt einer geringfügigen Kostensenkung für die regelmäßig anfallenden Laboruntersuchungen. Hierbei profitieren große Wasserversorger aufgrund der Kopplung der Untersuchungshäufigkeit mit der abgegebenen Wassermenge stärker von den Einsparpotentialen als kleine Versorger.

---

## 5. Auffälligkeitsuntersuchung mit der Software IT SEES

---

Das Programm IT SEES bietet die Möglichkeit anhand von insgesamt fünf verschiedenen Auffälligkeitstests Datenreihen zu analysieren. Die einfachste Art der Auffälligkeitserkennung stellt dabei eine Untersuchung hinsichtlich der Überschreitung von Schwellenwerten (Schwellenwertalarme) dar, was keiner statistisch-mathematischen Analysemethoden bedarf. Darüber hinaus können für die Analyse der Hinkley-Detektor, der Doppelsigmatest und die Steigungsoperatoren-Methode gewählt werden (eine detaillierte Beschreibung der mathematischen Funktionsweise dieser Tests ist in Kapitel 3.3 vorgenommen). Der Doppelsigmatest ist zusätzlich in driftbereinigter und driftunbereinigter Form vorhanden. Im Rahmen des EASE-Projekts wurde für die Hamburger Messstationen der driftunbereinigte Doppelsigmatest verwendet. Dieser ist im Programm IT SEES als Hamburg-Detektor bzw. mit der Abkürzung „HH“ bezeichnet [35]. Für jede Messgröße kann die Art der Auffälligkeitsuntersuchung aus diesen fünf Verfahren gewählt werden, wobei auch mehrere Tests parallel genutzt werden können.

Sobald eine Auffälligkeit anhand der zuvor gewählten Analyseverfahren für eine Messgröße erkannt wird erhöht sich der Alarmindex um einen für die Messgröße festgelegten Betrag (Bewertungspunkte). Ein Alarm liegt dann vor, wenn definierbare Schwellenwerte des Alarmindexes überschritten werden. Somit ermöglicht das Programm IT SEES dem Anwender die Wahl, ob bereits die Auffälligkeit eines Parameters für das Erreichen eines Alarms ausreichen soll oder simultane Überschreitungen mehrerer Parameter dazu notwendig sind. Auch kann dadurch eine Bewertung der Bedeutung eines Parameters für das Vorliegen eines Ereignisses vorgenommen werden. Wichtige Indikatorparameter wie die Trübung oder der SAK-Wert sind folglich zu priorisieren, während beispielsweise dem pH-Wert geringere Bewertungspunkte zugewiesen werden können.

### 5.1. Bestimmung der Einstellparameter für die Auffälligkeitstests

Um eine effektive Störfallerfassung zu erreichen müssen die Auffälligkeitstests und der Alarmindex an die jeweils herrschenden Bedingungen im Verteilungsnetz angepasst werden. Hierzu können verschiedene Einstellparameter durch den Anwender individuell verändert werden. Voraussetzung für die Ableitung geeigneter Einstellparameter ist dabei die Kenntnis des normalen Schwankungs- bzw. Rauschverhaltens der aufgenommenen Messgrößen. Je nach Betriebsbedingungen und Standort können diese sehr unterschiedlich ausfallen, sodass die Einstellparameter nicht ohne Weiteres übertragbar sind. Der Anwender muss einschätzen können, welche Veränderungen in den Datenverläufen natürlichen Ursprungs sind und welche auf mögliche Verunreinigungen hindeuten. Die Auffälligkeitstests sind dann so einzustellen, dass genau diese Veränderungen identifiziert und der übrige Schwankungsbereich als natürlich (d. h. kein Anstieg des Alarmindexes) bewertet wird. Je nach aufgenommener Messgröße und deren Verlauf müssen dabei unterschiedliche Einstellparameter vorgenommen werden.

Die prinzipielle Vorgehensweise zur Ableitung der Einstellparameter für die verschiedenen Auffälligkeitstests (Doppelsigmatest, Hinkley-Detektor, Steigungsoperatoren-Methode) und die verschiedenen Messgrößen ist grundsätzlich gleich. Den einfachsten Weg stellt dabei die Verwendung des Offline-Moduls dar, in dem historische Daten eingelesen und verschiedene Einstellungen getestet werden können. Die Ergebnisse können dann entsprechend in das Online-Modul übertragen werden. Voraussetzung hierfür ist neben dem Vorliegen von ausreichend historischen Messdaten, die bestenfalls das gesamte Rauschverhalten (tages- und jah-

---

reszeitliche Schwankungen) abbilden auch das Vorliegen von konkreten Verschmutzungsergebnissen, die erkannt werden sollen. Dies ist für den Einsatz im Trinkwasserbereich aufgrund der Seltenheit von Verunreinigungen in der Regel nicht gegeben. Von daher müssen die entsprechenden Auswirkungen von Ereignissen auf die Messgrößen bei dem zu untersuchenden Trinkwasser entweder mittels Versuchen oder durch eine gezielte Simulation bzw. Veränderung der historischen Messdaten generiert werden [35, 69]. Beide Vorgehensweisen sollen hier untersucht werden und sind nachfolgend genauer erläutert.

## 5.2. Qualitätsdaten der Versuchsdurchführung

Im Ergebnis der Untersuchung von Auswirkungen verschiedener natürlicher Verschmutzungsereignisse auf die Qualitätsparameter haben vor allem die Trübung, der SAK-Wert, die Leitfähigkeit und das Redoxpotential signifikante Änderungen gezeigt (vgl. Kapitel 4.4). Für jeden dieser Parameter soll nachfolgend untersucht werden, welcher der im Programm IT SEES wählbaren statistisch-mathematischen Auffälligkeitstests (Hinkley-Detektor, driftbereinigter und driftunbereinigter Doppelsigmatest sowie Steigungsoperatoren-Methode) die besten Ergebnisse liefert. Hierzu wurden zunächst die Daten der gesamten Versuchsdurchführung bereinigt und zusammengeführt. Fehlstellen oder Versuche, die sich als nicht brauchbar erwiesen, wurden entsprechend durch Qualitätsdaten natürlicher Verläufe ersetzt. Aufgrund des geringen Rauschverhaltens der ermittelten Parameterwerte in Groß-Umstadt konnten die Messdaten so problemlos bereinigt werden, ohne dass dabei Sprünge in den zusammengeführten Messdaten entstanden.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Programmanwendung dargestellt. Zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Auffälligkeitstests wurden die veränderbaren Einstellparameter dabei so gewählt, dass keine Fehlalarme in Bereichen natürlicher Schwankungen auftreten. Einstellparameter, die für die Qualitätsdaten der Versuchsdurchführung zu den besten Resultaten führten, sind ebenfalls mit angegeben. Als Bewertungspunkte wurde für jeden Qualitätsparameter pauschal der Wert 50 eingestellt, die Nachlaufzeit (Zeit bis der Alarmindex wieder auf den Wert „Null“ sinkt) wurde aufgrund des zeitlichen Abstands zwischen den Versuchen mit 60 Minuten gewählt. Jede Markierung von Datenverläufen, die tatsächlich einer Schadstoffzugabe entspricht wurde als Alarm bewertet, unabhängig davon ob gewisse Alarmschwellen (z. B. der Wert 100) überschritten werden oder nicht. Durch eine abschließende Zusammenführung der Alarme aller Parameter (Trübung, SAK 254, Leitfähigkeit und Redoxpotential) ist es möglich die Bewertungspunkte so festzulegen, dass beispielsweise erst parallele Auffälligkeiten zweier Parameter zu einer Überschreitung der roten Alarmschwelle und somit zu einer Anzeige als „Alarm“ führen.

### 5.2.1. Auffälligkeitsuntersuchung für die Trübung

Im Rahmen der Schadstoffzugabe wurden insgesamt 40 Versuche durchgeführt bei denen die Trübung jeweils mehr oder weniger starke Änderungen gezeigt hat. Eine optimale Analyse der Qualitätsdaten wäre erreicht, wenn jede dieser 40 Ausschläge erkannt würde. Die Ergebnisse der Anwendung der verschiedenen Auffälligkeitstests für den Parameter Trübung zeigt Tabelle 5-1.

Das beste Ergebnis liefert der Hinkley-Detektor mit lediglich drei unerkannten Ereignissen, wobei eine optimale Auffälligkeitserkennung bei der Trübung von keinem der Analyseverfahren

ren erreicht wird. Darüber hinaus wurde überprüft, ob die Auffälligkeitstests gewisse Vor- bzw. Nachteile bei bestimmten Parameterverläufen aufweisen, was sie bei derartigen Verläufen vor anderen Analysemethoden favorisiert (vgl. Tabelle 5-6 in Kapitel 5.2.5). Dies kann jedoch nicht bestätigt werden. So sind alle Auffälligkeitstests in der Lage die Trübungsänderungen bei Zugabe von Huminsäure, Oberflächenwasser und Abwasser zu erkennen. Lediglich einige geringe Ausschläge bei Zugabe von Eisen(III)-chlorid blieben unerkannt, wobei die vom Hinkley-Detektor nicht erkannten Versuche ebenfalls von den anderen Analyseverfahren nicht erkannt wurden. Insofern ist der Hinkley-Detektor für die Anwendung zu bevorzugen.

Tabelle 5-1: Ergebnisse der Auffälligkeitsuntersuchung für die Trübung

Test	Einstellparameter	Wert	Alarme	Unerkannt
Hinkley-Detektor	Fitnesspunkte	19	37	3
	Sprunghöhe	0,1		
	Hinkleyfaktor	0,1		
	Mind. Sigma	0,008		
Doppelsigma drift- bereinigt	Fitnesspunkte	24	35	5
	Sigma-Koeffizient	0.1		
	Mind. Sigma	0.01		
Steigungsoperato- ren-Methode	Fitnesspunkte (Steigung 1)	30	30	10
	Fitnesspunkte (Steigung 2)	50		
	Steigungsgrenze 1	1,5		
	Steigungsgrenze 2	0,8		
Doppelsigma drift- unbereinigt	Fitnesspunkte	20	34	6
	Min. (absolut)	0,01		
	Min. (%)	20		
	Sigma-Faktor +	2,55		
	Sigma-Faktor -	1,5		

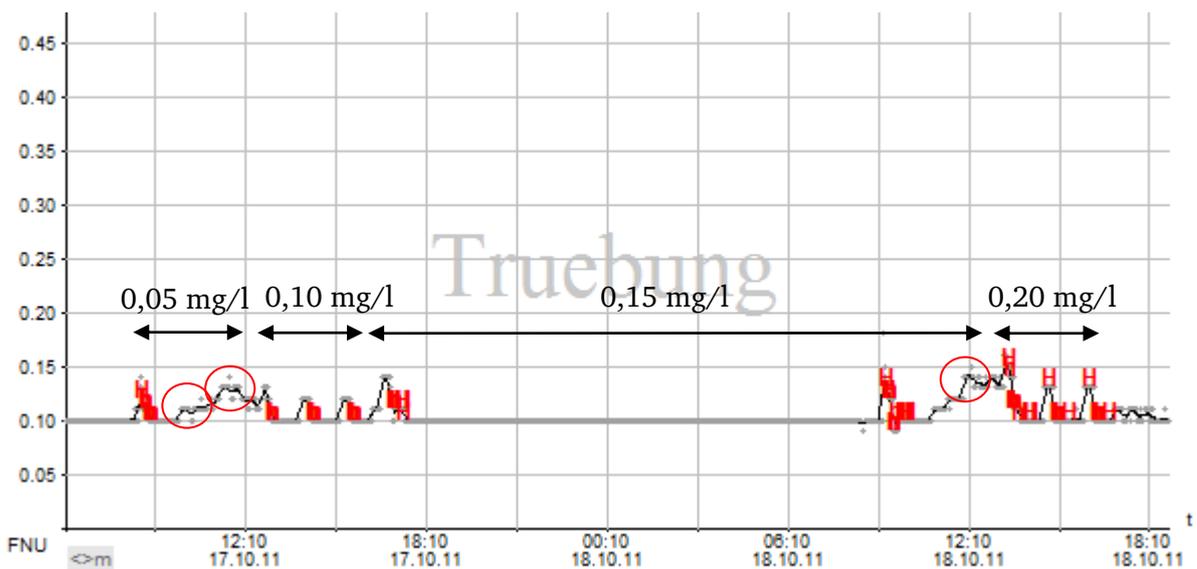


Abbildung 5.1: Anwendung des Hinkley-Detektors für die Trübung bei Zugabe von Eisen(III)-chlorid zum Trinkwasser aus Groß-Umstadt (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Oberflächenwasser an, rot umkreiste Bereiche wurden nicht erkannt)

Konkret wurden vom Hinkley-Detektor – sowie von den anderen Analyseverfahren – der zweite und dritte Versuchsdurchlauf der 0,05 mg/l Zugabe sowie der dritte Versuchsdurchlauf der 0,15 mg/l Zugabe von Eisen(III)-chlorid nicht erkannt. Die Trübung wies dabei eine Änderung von 0,01 bzw. 0,02 FNU auf. Da die anderen Versuchsdurchläufe mit gleicher Zugabekonzentration jedoch erkannt wurden ist höchstwahrscheinlich der Zeitpunkt der Zugabe für das Nichterkennen verantwortlich. So erfolgten die genannten Versuche jeweils zur Mittagszeit des jeweiligen Tages und in dieser Zeit war, wie bereits erwähnt, ein leichter Anstieg der natürlichen Trübungswerte zu beobachten. Im Ergebnis führte die Schadstoffzugabe somit zu einer geringeren prozentualen Änderung, was wiederum von den Auffälligkeitstests nicht erkannt wurde (vgl. Abbildung 5.1).

### 5.2.2. Auffälligkeitsuntersuchung für den SAK-Wert bei 254 nm

Die Ergebnisse der Auffälligkeitserkennung für den spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254 nm sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst. Demnach weisen der Hinkley-Detektor, der driftbereinigte Doppelsigmatetest und die Steigungsoperatoren-Methode mit lediglich einem unerkannten Ereignis die besten Resultate auf. Bei dem nicht erkannten Ereignis handelt es sich um den dritten Versuchsdurchlauf der einprozentigen Zugabe von Oberflächenwasser. Dieser Versuch hat mit  $0,04 \text{ m}^{-1}$  bzw. 1,33 % zu den geringsten Änderungen des SAK-Werts geführt. Die nächst höhere Reaktion von  $0,07 \text{ m}^{-1}$  bzw. 2,13 % weist der dritte Versuchsdurchlauf der 0,1 mg/l Zugabe von Huminsäure auf und wird von allen Analyseverfahren erkannt.

Tabelle 5-2: Ergebnisse der Auffälligkeitserkennung für den Parameter SAK 254

Test	Einstellparameter	Wert	Alarmer	Unerkannt
Hinkley-Detektor	Fitnesspunkte	27	39	1
	Sprunghöhe	0,1		
	Hinkleyfaktor	0,1		
	Mind. Sigma	0,03		
Doppelsigma driftbereinigt	Fitnesspunkte	27	39	1
	Sigma-Koeffizient	0,9		
	Mind. Sigma	0,03		
Steigungsoperatoren-Methode	Fitnesspunkte (Steigung 1)	20	39	1
	Fitnesspunkte (Steigung 2)	35		
	Steigungsgrenze 1	0,17		
	Steigungsgrenze 2	0,1		
Doppelsigma driftunbereinigt	Fitnesspunkte	27	38	2
	Min. (absolut)	0,04		
	Min. (%)	2		
	Sigma-Faktor +	2,2		
	Sigma-Faktor -	0,1		

Bei der Anwendung des driftunbereinigten Doppelsigmatetests wird zusätzlich ein weiteres Ereignis mit einer Änderung von  $0,10 \text{ m}^{-1}$  bzw. 2,64 % nicht erkannt. Trotz dieses zusätzlich nicht erkannten Ereignisses ist das gute Ergebnis des Verfahrens vor dem Hintergrund der driftenden SAK-Werte überraschend. So konnte bei dem SAK-Wert ein steter Trend bzw. Drift

beobachtet werden, der im Laufe der zweiwöchigen Versuchsdurchführung zu etwa den doppelten Grundwerten führte (vgl. Abbildung 5.2). Im Extremfall kann ein solches Driftverhalten reale Ereignisse überlagern und die Auffälligkeitserkennung erschweren. Von daher ist grundsätzlich zu erwarten, dass mittels driftbereinigter Analyseverfahren beim SAK-Wert bessere Ergebnisse erzielt werden können als mit driftunbereinigten Verfahren. Dennoch liefert die Steigungsoperatoren-Methode (driftunbereinigt) gleich gute Resultate und auch der driftunbereinigte Doppelsigmatest führt lediglich zu einem zusätzlich nicht erkannten Ereignis. Abbildung 5.2 zeigt das Ergebnis der Anwendung des Hinkley-Detektors für den SAK-Wert bei 254 nm.

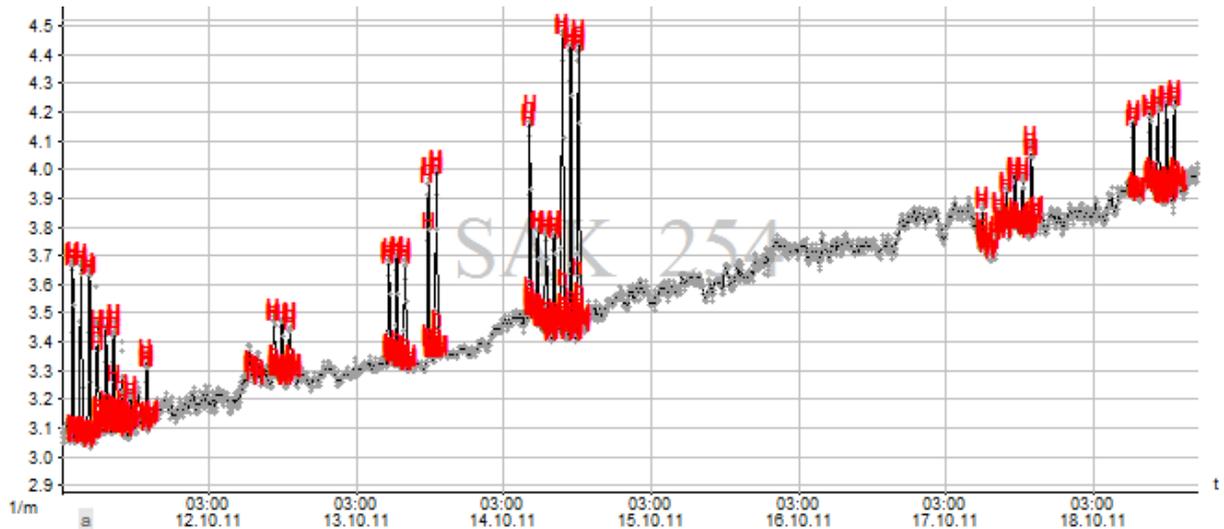


Abbildung 5.2: Anwendung des Hinkley-Detektors für den Parameter SAK 254

### 5.2.3. Auffälligkeitsuntersuchung für die Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit des Trinkwassers aus Groß-Umstadt weist einen größeren, natürlichen Schwankungsbereich auf als die zuvor betrachteten Parameter Trübung und SAK-Wert. Dementsprechend schwieriger gestaltet sich die Auffälligkeitserkennung. Grundsätzlich hat die Leitfähigkeit bei Zugabe von Oberflächenwasser (insgesamt 9 Versuche) geringfügige Änderungen zwischen  $-1,2$  und  $-17,1 \mu\text{S}/\text{cm}$  gezeigt. Der natürliche Schwankungsbereich des Parameters (etwa  $820$  bis  $870 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) übersteigt diese Werte jedoch bei weitem (vgl. Abbildung 5.3).

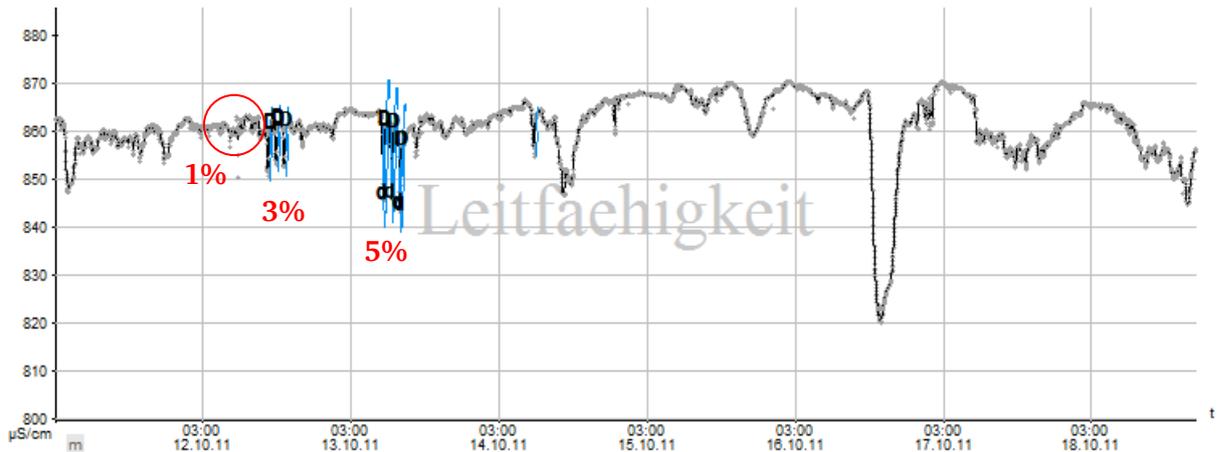


Abbildung 5.3: Anwendung des driftbereinigten Doppelsigmatests für die Leitfähigkeit der Versuchsdaten aus Groß-Umstadt (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Oberflächenwasser an; rot umkreister Bereich wurde nicht erkannt)

Im Ergebnis der Anwendung der verschiedenen Auffälligkeitstests zeigt der driftbereinigte Doppelsigmatest mit in Summe drei unerkannten Ereignissen die besten Resultate (vgl. Tabelle 5-3). Dabei handelt es sich um die geringfügigen mittleren Parameteränderungen zwischen -1,2 bis -4,03  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (-0,14 bis -0,47 %) bei der einprozentigen Zugabe von Oberflächenwasser. Alle Analyseverfahren sind nicht in der Lage diese Ausschläge zu erkennen. Vom Hinkley-Detektor wird darüber hinaus der zweite Versuchsdurchlauf der dreiprozentigen Zugabe von Oberflächenwasser nicht erkannt. Die Steigungsoperatoren-Methode sowie der driftunbereinigte Doppelsigmatest haben nur die Änderungen bei der fünfprozentigen Zugabe erkannt und weisen damit das schlechteste Ergebnis auf. Abbildung 5.3 zeigt die Anwendung des driftbereinigten Doppelsigmatests für die Leitfähigkeit.

Tabelle 5-3: Ergebnisse der Auffälligkeitsuntersuchung für die Leitfähigkeit

Test	Einstellparameter	Wert	Alarmer	Unerkannt
Hinkley-Detektor	Fitnesspunkte	27	5	4
	Sprunghöhe	3,9		
	Hinkleyfaktor	1,1		
	Mind. Sigma	0,4		
Doppelsigma driftbereinigt	Fitnesspunkte	27	6	3
	Sigma-Koeffizient	2		
	Mind. Sigma	2,6		
Steigungsoperatoren-Methode	Fitnesspunkte (Steigung 1)	11	3	6
	Fitnesspunkte (Steigung 2)	50		
	Steigungsgrenze 1	0,18		
	Steigungsgrenze 2	0,13		
Doppelsigma driftunbereinigt	Fitnesspunkte	8	3	6
	Min. (absolut)	0		
	Min. (%)	1		
	Sigma-Faktor +	2,4		
	Sigma-Faktor -	5,6		

## 5.2.4. Auffälligkeitsuntersuchung für das Redoxpotential

Das Redoxpotential weist wie die Leitfähigkeit auch ein größeres natürliches Schwankungsverhalten auf (vgl. Abbildung 5.4) und erschwert damit die Auffälligkeitserkennung. Dennoch sind alle Auffälligkeitstests in der Lage die spezifischen Ausschläge des Parameters bei entsprechender Schadstoffzugabe zu erkennen (vgl. Tabelle 5-4). Die guten Resultate verdeutlichen damit die Leistungsfähigkeit der statistisch-mathematischen Analysemethoden auch bei stärker schwankenden Grunddaten.



Abbildung 5.4: Anwendung des Hinkley-Detektors für das Redoxpotential der Versuchsdaten aus Groß-Umstadt (beschriftete Bereiche zeigen die Zugabekonzentrationen von Abwasser an)

Tabelle 5-4: Ergebnisse der Auffälligkeitsuntersuchung für das Redoxpotential

Test	Einstellparameter	Wert	Alarmer	Unerkannt
Hinkley-Detektor	Fitnesspunkte	27	9	0
	Sprunghöhe	2		
	Hinkleyfaktor	0,9		
	Mind. Sigma	1,3		
Doppelsigma driftbereinigt	Fitnesspunkte	27	9	0
	Sigma-Koeffizient	3		
	Mind. Sigma	1,5		
Steigungsoperatoren-Methode	Fitnesspunkte (Steigung 1)	16	9	0
	Fitnesspunkte (Steigung 2)	45		
	Steigungsgrenze 1	0,25		
	Steigungsgrenze 2	0,2		
Doppelsigma driftunbereinigt	Fitnesspunkte	27	9	0
	Min. (absolut)	0		
	Min. (%)	2,5		
	Sigma-Faktor + Sigma-Faktor -	2 2,5		

Konkret hat das Redoxpotential lediglich bei Zugabe von Abwasser (insgesamt 9 Versuche) signifikante Änderungen gezeigt, wobei diese im Mittel minimal -10,6 mV bzw. -3,42 % und maximal -31,0 mV bzw. -10,13 % betragen. Das natürliche Schwankungsverhalten des Parameters übersteigt mit etwa 290 mV bis 325 mV diese Werte leicht und ist damit nicht ganz so

stark ausgeprägt wie bei der Leitfähigkeit. Abbildung 5.4 zeigt zur Verdeutlichung die Anwendung des Hinkley-Detektors auf den Verlauf des Redoxpotentials der Versuchsdaten aus Groß-Umstadt.

### 5.2.5. Bewertung der Ergebnisse

Insgesamt hat der Hinkley-Detektor für die vier betrachteten Parameter (Trübung, SAK 254, Leitfähigkeit und Redoxpotential) der Qualitätsdaten aus Groß-Umstadt die besten Resultate geliefert. Im Ergebnis wurden lediglich acht der insgesamt 98 Änderungen durch dieses Verfahren nicht erkannt. Ähnlich gute Ergebnisse lieferte der driftbereinigte Doppelsigmatest mit zusätzlich einem weiteren nicht erkannten Ereignis. Der driftunbereinigte Doppelsigmatest hingegen weist mit in Summe 14 unerkannten Parameteränderungen weit schlechtere Resultate auf als die driftbereinigte Form des Verfahrens. Mit insgesamt 17 unerkannten Ereignissen stellt die Steigungsoperatoren-Methode das schlechteste Ergebnis der Untersuchung dar. Insofern sind der Hinkley-Detektor und der driftbereinigte Doppelsigmatest als Verfahren der Auffälligkeitserkennung für die Anwendung der Software IT SEES zu favorisieren. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Empfehlungen des EASE-Projekts. Demnach sei mit dem adaptiven Hinkley-Detektor mit Driftabzug prinzipiell eine etwas sicherere Auffälligkeitserkennung als mit dem Doppelsigmaverfahren möglich. Allerdings haben Erfahrungen im Rahmen des EASE-Projekts gezeigt, dass Ereignisse, die einen Hinkley-Alarm auslösten in beinahe allen Fällen auch zu einem Doppelsigma-Alarm führten [35].

Tabelle 5-5 fasst das Gesamtergebnis der Untersuchung zusammen. Die grün unterlegten Bereiche markieren dabei die besten Resultate eines Analyseverfahrens für den jeweiligen Parameter, rot unterlegte Bereiche entsprechend die schlechtesten Resultate.

Tabelle 5-5: Gesamtergebnis der Auffälligkeitsuntersuchung für die Qualitätsdaten der Versuchsdurchführung in Groß-Umstadt

Test	Parameter	Anzahl Alarme	Unerkannt
Hinkley-Detektor	Trübung	37/40	8
	SAK	39/40	
	Leitfähigkeit	5/9	
	Redox	9/9	
Doppelsigma driftbereinigt	Trübung	35/40	9
	SAK	39/40	
	Leitfähigkeit	6/9	
	Redox	9/9	
Steigungsoperatoren-Methode	Trübung	30/40	17
	SAK	39/40	
	Leitfähigkeit	3/9	
	Redox	9/9	
Doppelsigma driftunbereinigt	Trübung	34/40	14
	SAK	38/40	
	Leitfähigkeit	3/9	
	Redox	9/9	

Tabelle 5-6: Anwendung der dynamischen Auffälligkeitstests des Programms IT SEES für die Versuchsdaten aus Groß-Umstadt (grün unterlegte Änderungen wurden von dem jeweiligen Test erkannt, rot unterlegte Änderungen wurden nicht erkannt, weiße Bereiche haben zu keiner Reaktion des entsprechenden Parameters geführt)

Test	Konzentration	Hinkley-Detektor				Doppelsigma driftbereinigt				Steigungsoperatoren-Methode				Doppelsigma driftunbereinigt			
Huminsäure	0,1 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,1 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,1 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,2 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,2 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,2 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,3 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,3 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
Oberflächenwasser	1,0%	+	+	-	o	+	+	-	o	+	+	-	o	+	+	-	o
	1,0%	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	1,0%	+	-	-	o	+	-	-	o	+	-	-	o	+	-	-	o
	3,0%	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	-	o	+	+	-	o
	3,0%	+	+	-	o	+	+	+	o	+	+	-	o	+	+	-	o
	3,0%	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	-	o	+	+	-	o
	5,0%	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o
	5,0%	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o
	5,0%	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o
Abwasser	0,5%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	0,5%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	0,5%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	1,0%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	1,0%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	1,0%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	1,5%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	1,5%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
	1,5%	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+	+	+	o	+
Eisen(III)-chlorid	0,05 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	-	+	o	o	+	+	o	o
	0,05 mg/l	-	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o	-	-	o	o
	0,05 mg/l	-	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o
	0,10 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o
	0,10 mg/l	+	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o
	0,10 mg/l	+	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o
	0,15 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,15 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	-	+	o	o	+	+	o	o
	0,15 mg/l	-	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o	-	+	o	o
	0,20 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	-	+	o	o	+	+	o	o
	0,20 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o	+	+	o	o
	0,20 mg/l	+	+	o	o	+	+	o	o	-	+	o	o	+	+	o	o
		Trübung	Sak 254	Leitfähigk.	Redox	Trübung	Sak 254	Leitfähigk.	Redox	Trübung	Sak 254	Leitfähigk.	Redox	Trübung	Sak 254	Leitfähigk.	Redox

Zudem wurde untersucht, inwieweit Kombinationen verschiedener Verfahren zur Steigerung der Auffälligkeitserkennung sinnvoll sind. Dazu wurde zunächst kontrolliert, welche Änderungen von den jeweiligen Tests nicht erkannt werden und ob darin Unterschiede vorliegen. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt Tabelle 5-6. Demnach sind Kombinationen verschiedener Auffälligkeitstests parallel nicht notwendig und zielführend. Die Ergebnisse zeigen, dass gewisse schwer erkennbare Parameteränderungen von allen Auffälligkeitstests nicht erkannt werden. Somit können den Analyseverfahren keine klaren Vor- bzw. Nachteile bei bestimmten Parameterverläufen nachgewiesen werden, was sie bei derartigen Verläufen vor anderen Analysemethoden favorisieren würde. Vielmehr stellt der Hinkley-Detektor insgesamt die empfindlichste Art der dynamischen Auffälligkeitstests dar und ist in der Lage bereits Änderungen zu erkennen, die von den anderen Verfahren ignoriert werden.

Die Simulation realer Verschmutzungsereignisse durch Zugabe von Schadstoffen zum Trinkwasser aus Groß-Umstadt hat zu Reaktionen bei mindestens zwei der aufgenommenen Parameter gleichzeitig geführt. Der Hinkley-Detektor ist dabei in der Lage die Änderungen bei wenigstens einem Parameter für alle getesteten Verschmutzungsereignisse zu erkennen. Nicht erkannt wurden von allen Analyseverfahren hingegen die geringfügigen Ausschläge von 0,01 bzw. 0,02 FNU bei der Trübung, was jedoch hauptsächlich auf den Versuchszeitraum und dem zu dieser Zeit erhöhten Schwankungsverhalten zurückzuführen ist. Zudem wurde die Änderung von  $0,04 \text{ m}^{-1}$  beim SAK-Wert und die Reaktionen von  $-1,2$  bis  $-4,03 \mu\text{S}/\text{cm}$  bei dem relativ stark schwankenden Parameter Leitfähigkeit vom Hinkley-Detektor nicht erkannt.

### 5.3. Qualitätsdaten der Wasserversorgung Bayerischer Wald (WBW)

Zur Generierung weiterer Qualitätsdaten für die Anwendung der Software IT SEES wurde ein Testpanel bei dem kommunalen Trinkwasserversorger in Niederbayern „Wasserversorgung Bayerischer Wald (WBW)“ installiert. Dieser Zweckverband versorgt rund 500.000 Menschen in hundert Städten und Gemeinden mit Trinkwasser, wobei die Gemeinden die Ortsnetze errichten und ihre Endabnehmer selbst versorgen [74]. Abbildung 5.5 zeigt die Lage des Versorgungsgebietes WBW innerhalb Bayerns.



Abbildung 5.5: Lage des Versorgungsgebietes WBW innerhalb Bayerns [74]

### 5.3.1. Beschreibung der Messstelle

Die Messstelle befindet sich im Hochbehälter Rathsmannsdorf ( $V = 1.000 \text{ m}^3$ ) direkt an der Zu- und Ablaufleitung. Das bedeutet die Qualitätsparameter werden sowohl für das ankommende Wasser nach Durchlaufen des Trinkwassernetzes sowie für das abfließende Wasser nach mehr oder weniger langem Aufenthalt im Hochbehälter bestimmt. Bei dem Trinkwasser selbst handelt es sich um aufbereitetes Oberflächenwasser, welches der Talsperre Frauenau entstammt (Ergebnisse der Trinkwasseranalyse vom 14.06.2011 siehe Anhang D). Der Hochbehälter Rathsmannsdorf liegt am unteren Rand des nördlichen Versorgungsgebietes rund 70 Leitungskilometer von der Aufbereitungsanlage entfernt (vgl. Übersichtslageplan des Versorgungsgebietes im Anhang E).

Abbildung 5.6 zeigt den Aufbau des Testpanels im HB Rathsmannsdorf. Das Panel verfügt wie bei der Versuchsdurchführung in Groß Umstadt über folgende acht Sensoren, die der Produktpalette von Endress + Hauser entstammen: Durchfluss, Temperatur, pH-Wert, Trübung, Chlorgehalt, Redoxpotential, spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm (SAK 254) und Leitfähigkeit. Die Datenübertragung erfolgt via GSM direkt zum Stationsrechner der WBW.

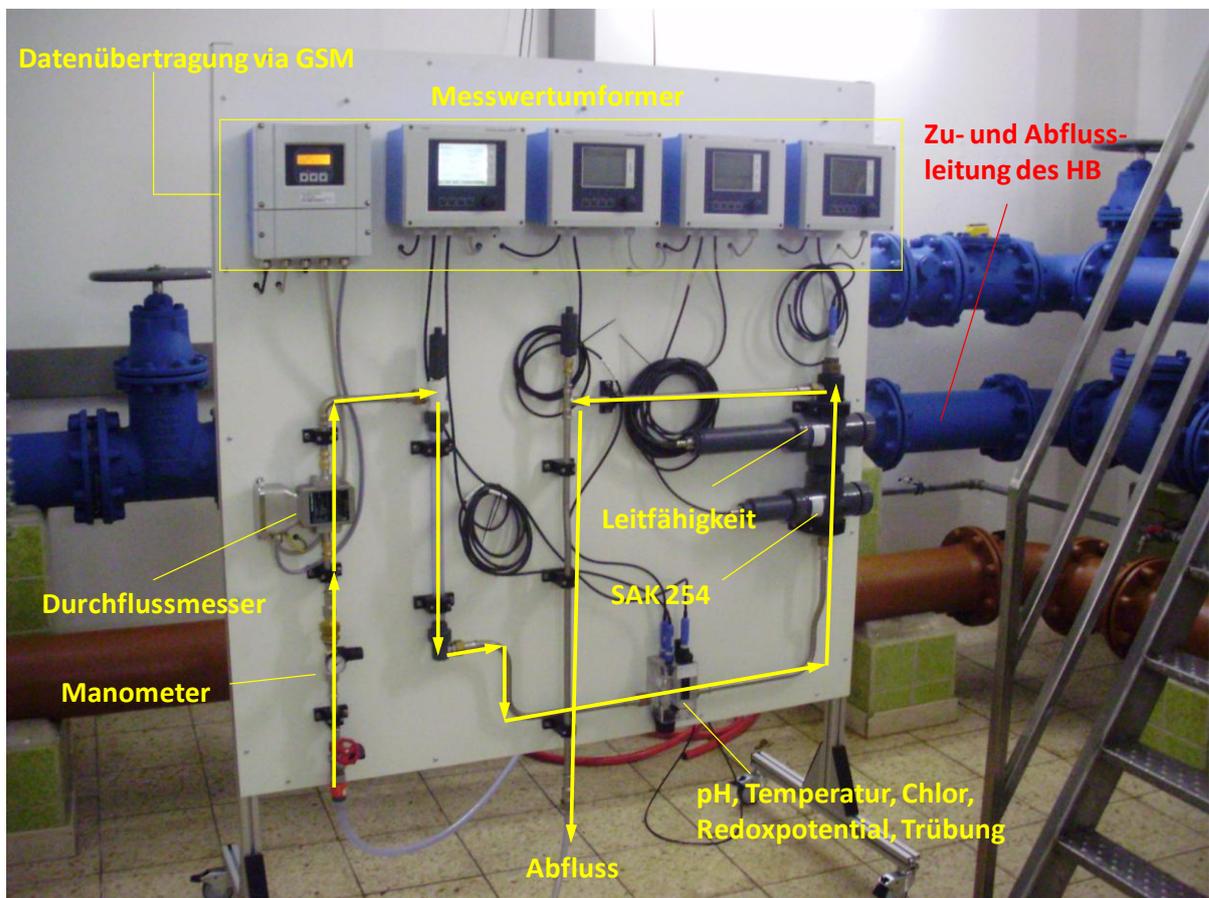


Abbildung 5.6: Aufbau des Testpanels im HB Rathsmannsdorf

### 5.3.2. Verlauf der aufgenommenen Parameterwerte

Die zuvor beschriebenen Parameter wurden über eine Dauer von rund 29 Tagen (vom 09.08.2011 bis 07.09.2011) kontinuierlich als 2-Minuten Mittelwerte aufgenommen. Innerhalb dieser Zeit sind insgesamt sieben Fehlstellen in Größenordnungen von 10 – 14 Minuten

---

entstanden, die vermutlich auf Übertragungsfehler zurückzuführen sind. Für die Datenanalyse mit Hilfe der Software IT SEES bedeuten derartige Fehlstellen ein vorübergehendes Aussetzen der Auffälligkeitstests für den jeweiligen Parameter. Ein Neubeginn ist erst mit Vorliegen weiterer Parameterwerte möglich, wobei je nach gewähltem Analyseverfahren ein gewisser Vorlauf vorangegangener Parameter (Anzahl an Fitnesspunkten) notwendig wird, bevor die Auffälligkeitserkennung wieder ordnungsgemäß funktioniert.

Neben diesen Fehlstellen hat der Chlorsensor konstant den Wert 2,19 mg/l angezeigt. Dieser hohe Gehalt übersteigt den in Deutschland gesetzlich festgeschriebenen Grenzwert von maximal 0,6 mg/l am Ende der Aufbereitung deutlich [14]. Nach Rücksprache mit dem Wasserversorger WBW wird zwar Chlor als Desinfektionsmittel eingesetzt, jedoch verbrauche sich das freie Chlor bereits innerhalb der ersten Leitungskilometer vollständig, sodass im HB Rathsmannsdorf tatsächlich kein Gehalt mehr nachweisbar sein sollte. Insofern ist der hohe und konstante Wert des Sensors auf einen Geräte- bzw. Einstellfehler zurückzuführen und muss folglich unberücksichtigt bleiben.

Des Weiteren hat der Trübungssensor mit Messwerten zwischen 10 – 30 FNU ebenfalls stark erhöhte Ergebnisse angezeigt. Derart hohe Trübungswerte übersteigen den in Deutschland gesetzlich festgeschriebenen Grenzwert von maximal 1,0 FNU erheblich und wären bereits optisch mit bloßem Auge erkennbar. Das Wasser ist optisch jedoch klar und farblos. Aufgrund der Messergebnisse wurde eine Probe von dem Wasser, welches die Testapparatur durchläuft gezogen und im Labor hinsichtlich der Trübung untersucht. Im Ergebnis wurde ein Messwert von 0,079 FNU bestimmt und damit weit unter den angezeigten 10 – 30 FNU. Diese Vergleichsmessung legt den Schluss nahe, dass entweder der Sensor defekt oder die Einstellungen im Messwertumformer fehlerhaft sind. Nach Abbau des Testpanels wurde daher überprüft, was für die erhöhten Messwerte verantwortlich ist. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass dies im Wesentlichen auf einen System- bzw. Designfehler zurückzuführen ist. Demnach entstand ein Luftpolster direkt vor dem Sensor, von dem sich regelmäßig Luftblasen lösten und durch die Entlüftung entwichen. Dies führte nicht nur zu erhöhten Grundwerten bei der Trübung, sondern auch zu starken Sprüngen im Parameterverlauf. Im Zuge der Versuchsdurchführung in Groß-Umstadt (vgl. Kapitel 4) wurde eine parallel betriebene, anders angeordnete Trübungssonde verwendet und deren Ergebnisse mit den Messwerten der ursprünglichen Anordnung verglichen. Das Ergebnis dieser Untersuchung war, dass die ursprüngliche Anordnung zu rund 100fach erhöhten Grundwerten führte. Bei entsprechender Reduktion der Trübungswerte des HB Rathsmannsdorf wären zumindest die Grundwerte brauchbar, was jedoch nicht auf die relativ starken Schwankungen aufgrund des Abreißen der Luftblasen zutrifft. Da hier aber eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Software IT SEES im Vordergrund steht wurden die reduzierten Trübungswerte dennoch verwendet. Das starke und vermutlich falsche Rauschverhalten des Parameters bietet insofern auch gewisse Vorteile für die Überprüfung der Anpassungsfähigkeit der Auffälligkeitstests an derartige Verläufe.

Abbildung 5.7 zeigt den Verlauf der im HB Rathsmannsdorf aufgenommenen Parameterwerte mit Hilfe der Software IT SEES. Im Vergleich zu den Qualitätsdaten des Wassers aus Groß-Umstadt weist die modifizierte Trübung, der SAK-Wert sowie der pH-Wert ein höheres natürliches Schwankungsverhalten auf, die Leitfähigkeit und das Redoxpotential hingegen ein leicht geringeres. Das Redoxpotential zeigt darüber hinaus einen etwa vierfachen Anstieg der Messwerte von ursprünglich rund 60 mV auf 240 mV. Da die Messwerte zum Ende der Datenaufnahme wieder leicht absinken ist dieses Verhalten nicht als driftbedingt, sondern als natürlichen Ursprungs zu bewerten.

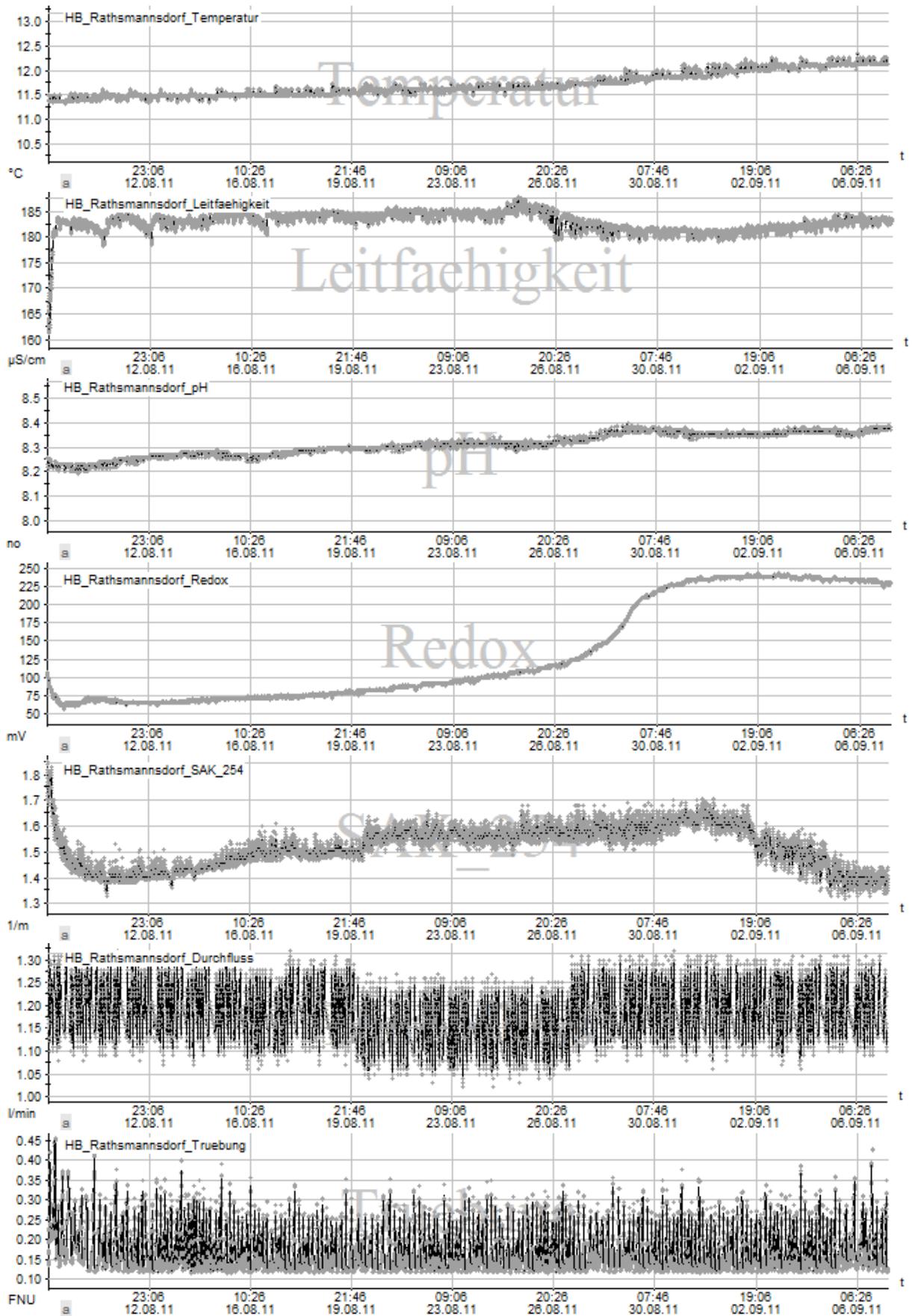


Abbildung 5.7: Verlauf der im HB Rathsmannsdorf aufgenommenen Parameterwerte (Darstellung mit Hilfe der Software IT SEES; die Trübungswerte wurden durch den Faktor Hundert dividiert)

### 5.3.3. Simulation von Verschmutzungsereignissen

Für die zuvor beschriebenen Qualitätsdaten soll hier anhand simulierter Ereignisse die Leistungsfähigkeit der Software IT SEES überprüft werden. Hierzu dienen die Erfahrungen der Versuchsdurchführung hinsichtlich sich verändernder Indikatorparameter. Die Simulation soll eine geringe Zugabe natürlicher Verschmutzungsereignisse durch gezielte Veränderung der relevanten Parameterwerte darstellen. Das Ziel dabei ist die Bestimmung der minimal notwendigen Änderungen, damit die Software IT SEES diese als Auffälligkeit erkennt.

Die Ergebnisse der Versuchsdurchführung vor allem bei der Trübung haben gezeigt, dass eine mengenmäßig gleiche Schadstoffzugabe zu konstanten Ausschlägen bzw. Maximalwerten führt. Je nach Schwankungen der Basiswerte variieren dabei die prozentualen Änderungen und vereinfachen oder erschweren entsprechend die Auffälligkeitserkennung. Diese Beobachtung soll hier zur Simulation derartiger Ereignisse dienen. Dazu werden konstante Parameterwerte an verschiedenen Zeitpunkten der Qualitätsdaten des HB Rathsmannsdorf anhand folgender Formeln eingestellt:

$$Z_{\text{Sim}}(t) = Z_0(t) + p(t) \cdot [Z_{\text{Änd}} - Z_0(t)]$$
$$Z_{\text{Sim}}(t) = \begin{cases} Z_{\text{Sim}}(t) & \text{wenn } Z_{\text{Sim}}(t) \geq Z_0(t) \\ Z_0(t) & \text{wenn } Z_{\text{Sim}}(t) < Z_0(t) \end{cases} \text{ bei positiven Änderungen}$$
$$Z_{\text{Sim}}(t) = \begin{cases} Z_{\text{Sim}}(t) & \text{wenn } Z_{\text{Sim}}(t) \leq Z_0(t) \\ Z_0(t) & \text{wenn } Z_{\text{Sim}}(t) > Z_0(t) \end{cases} \text{ bei negativen Änderungen}$$

Dabei ist  $Z_{\text{Sim}}(t)$  der ereignismodifizierte Parameterwert zum Zeitpunkt  $t$ ,  $Z_0(t)$  der ursprüngliche Parameterwert im selben Zeitschritt,  $p(t)$  ein Indikator für die Stärke des Ereignisses und  $Z_{\text{Änd}}$  der maximal eingestellte Parameterwert. Grundsätzlich haben die Trübung und der SAK-Wert bei den durchgeführten Versuchen positive Ausschläge, das Redoxpotential und die Leitfähigkeit entsprechend negative Ausschläge gezeigt. Die Festlegung von  $Z_{\text{Änd}}$  erfolgt dabei indem zunächst für den relevanten Simulationszeitraum (hier rund eine Woche) der Mittelwert der Basiswerte bestimmt und anschließend entsprechend der Ergebnisse der Versuchsdurchführung die minimalste Änderung addiert bzw. subtrahiert wird. Im Allgemeinen können aufgrund der natürlichen Parameterschwankungen die Basiswerte die eingestellten Maximalwerte teilweise übersteigen. So ist es möglich, dass das natürliche Schwankungsverhalten reale Verschmutzungsereignisse überdeckt und dadurch die Auffälligkeitserkennung erschwert. Um das Schwankungsverhalten während eines simulierten Ereignisses nicht zu begrenzen wurde zusätzlich die Bedingung eingeführt, dass bei positiven Änderungen (Trübung und SAK 254)  $Z_{\text{Sim}}(t)$  größer als  $Z_0(t)$  und bei negativen Änderungen (Redoxpotential und Leitfähigkeit)  $Z_{\text{Sim}}(t)$  kleiner als  $Z_0(t)$  sein muss. Andernfalls ist der Basiswert  $Z_0(t)$  anzusetzen.

Zur Abbildung einer zu- und abfließenden Schadstoffwelle wurde der Parameter  $p(t)$  als Indikator für die Stärke eines Ereignisses eingeführt. Die Werte von  $p(t)$  sind in Abbildung 5.8 schematisch dargestellt und variieren zwischen 0,0 (kein simuliertes Ereignis) und 1,0 (maximale Ereignisstärke). Insgesamt wurde eine Schadstoffzugabe über 30 Zeitschritte (das entspricht 60 Minuten bei den 2-Minuten Intervallen der Messdaten) simuliert, wobei zwei weitere Zeitschritte im Zuge der abklingenden Ereignisstärke von der Simulation beeinflusst sein

können. Dies ist wiederum abhängig von der Größenordnung der Basiswerte entsprechend der oben genannten Bedingung.

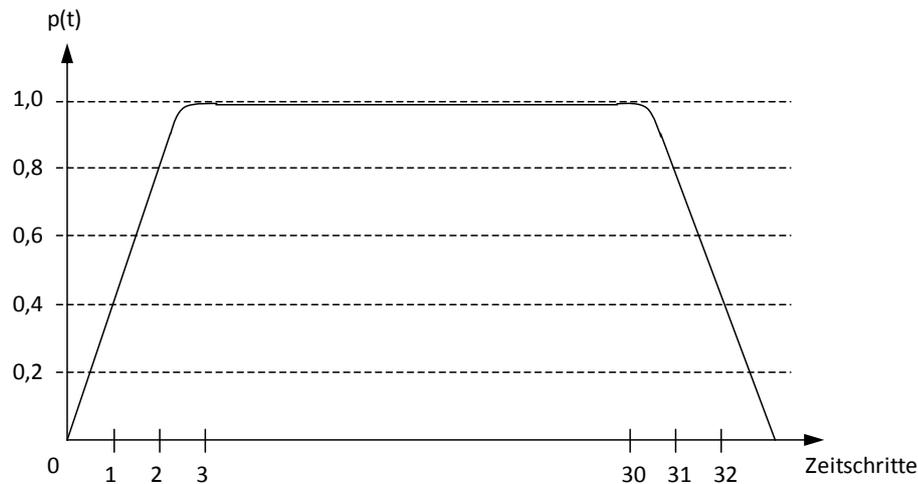


Abbildung 5.8: Ermittlung von  $p(t)$  als Indikator für die Stärke eines Ereignisses zur Abbildung einer zu- und abfließenden Schadstoffwelle

Die so simulierten Ereignisse wurden für verschiedene Tageszeiten innerhalb der Messdaten des HB Rathsmannsdorf angesetzt. Ziel dabei war es zu jeder Tageszeit mindestens ein Ereignis zu simulieren, um so die typischen Parameterschwankungen dieser Bereiche hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Auffälligkeitserkennung zu untersuchen. Bei den Versuchsdaten aus Groß-Umstadt konnte beispielsweise bei der Trübung jeweils zur Mittagszeit ein geringer Anstieg beobachtet werden, was die Analyse mit Hilfe der Software IT SEES erschwerte (vgl. Kapitel 4.4). Aus diesem Grund wurde hier als zeitlicher Abstand zwischen dem Beginn der simulierten Ereignisse sieben Stunden gewählt. Dadurch entstehen innerhalb von sieben Tagen insgesamt 24 Ereignisse, die jede Tageszeit einmal abdecken. Aufgrund einiger Fehlstellen bei den Messdaten des HB Rathsmannsdorf (vgl. Kapitel 5.3.2) wurde die Woche vom 16.08. bis 22.08.2011 (keine Fehlstellen vorhanden) für die Simulation ausgewählt. Die eigentliche Auffälligkeitsuntersuchung mit der Software IT SEES erfolgt für die gesamten Messdaten (rund ein Monat).

Tabelle 5-7 zeigt die Mittelwerte sowie die eingestellten Maximalwerte der veränderten Parameter für den Simulationszeitraum.

Tabelle 5-7: Mittelwerte und eingestellte Maximalwerte bei der Simulation

Parameter	Trübung [FNU]	SAK 254 [1/m]	Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Redox [mV]
Mittelwert	0,18	1,52	183,95	77,98
$Z_{\text{Änd}}$	0,22	1,60	183,00	71,50

Die aufgrund des Designfehlers der Testapparatur bereinigten Trübungswerte schwanken in dem betrachteten Zeitraum zwischen 0,12 bis 0,36 FNU, wobei der arithmetische Mittelwert 0,18 FNU beträgt. Die geringste Änderung im Rahmen der Versuchsdurchführung konnte bei Zugabe von Eisen(III)-chlorid mit Ausschlägen zwischen 0,11 bis 0,13 FNU beobachtet werden. Derart geringe Ausschläge konnten von der Software IT SEES aufgrund des starken Schwankungsverhaltens sowie der hohen Basiswerte des Parameters nicht erkannt werden. Aus diesem Grund wurde die nächst höhere Änderung (0,22 FNU), die sich bei Zugabe von

Oberflächenwasser eingestellt hat für  $Z_{\text{Änd}}$  angesetzt. Anders als bei der Trübung sind die Ergebnisse der Versuchsdurchführung für den SAK-Wert, die Leitfähigkeit und das Redoxpotential aufgrund der unterschiedlichen Wertebereiche nicht übertragbar. So betrug beispielsweise die mittlere elektrische Leitfähigkeit beim Wasser aus Groß-Umstadt rund 850  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , beim Wasser des HB Rathsmannsdorf sind dies hingegen lediglich rund 184  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Von daher wurde versucht für den SAK-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und das Redoxpotential sinnvolle Maximalwerte zu finden, die aufgrund der Parameterschwankungen zu einer Vielzahl von absoluten Änderungen führen. Die hohe Differenz zwischen Mittelwert und  $Z_{\text{Änd}}$  bei dem Redoxpotential ist dem kontinuierlichen Datenanstieg des Parameters innerhalb des Simulationszeitraums geschuldet. Dadurch sind die absoluten Änderungen zu Beginn der Simulation kleiner und werden zum Ende hin größer.

### 5.3.4. Ergebnisse der Auffälligkeitserkennung für die simulierten Ereignisse

Da der Hinkley-Detektor für die Versuchsdaten aus Groß-Umstadt das beste Gesamtergebnis lieferte wurde lediglich dieses Analyseverfahren für die Ereigniserkennung der modifizierten Qualitätsdaten des HB Rathsmannsdorf verwendet. Wie bei der vorherigen Untersuchung wurden die Einstellparameter dabei so gewählt, dass keine Fehlalarme in Bereichen natürlicher Hintergrundschwankungen entstehen. Tabelle 5-8 zeigt die Einstellparameter, die beim Hinkley-Detektor für die modifizierten Qualitätsdaten zu den besten Ergebnissen geführt haben.

Tabelle 5-8: Gewählte Einstellparameter des Hinkley-Detektors für die modifizierten Qualitätsdaten des HB Rathsmannsdorf

Qualitätsparameter	Einstellparameter	Wert
Trübung	Fitnesspunkte	22
	Sprunghöhe	9
	Hinkleyfaktor	7
	Mind. Sigma	0,016
SAK 254	Fitnesspunkte	26
	Sprunghöhe	1,98
	Hinkleyfaktor	1,68
	Mind. Sigma	0,0001
Leitfähigkeit	Fitnesspunkte	23
	Sprunghöhe	2,8
	Hinkleyfaktor	3,1
	Mind. Sigma	0,01
Redoxpotential	Fitnesspunkte	25
	Sprunghöhe	5,3
	Hinkleyfaktor	6
	Mind. Sigma	0,001

In Tabelle 5-9 sind die Ergebnisse der Auffälligkeitsuntersuchung für die simulierten Ereignisse zusammengefasst. Die angegebenen Werte entsprechen dabei der Differenz zwischen den Mittelwerten der Basiswerte und dem eingestellten Maximalwert  $Z_{\text{Änd}}$  in dem jeweiligen Simu-

lationszeitraum. Sofern die Basiswerte aufgrund ihrer natürlichen Schwankungen  $Z_{\text{Änd}}$  übersteigen sind auch negative (Trübung, SAK-Wert) bzw. positive Änderungen (Leitfähigkeit und Redoxpotential) möglich. Grün unterlegte Änderungen in Tabelle 5-9 wurden vom Hinkley-Detektor erkannt, rot unterlegte Änderungen hingegen nicht.

Tabelle 5-9: Ergebnisse der Anwendung des Hinkley-Detektors für die simulierten Ereignisse, (grün unterlegte Änderungen wurden erkannt, rot unterlegte Änderungen nicht)

Test-Nr.	mittlere Parameteränderung absolut			
	Trübung [FNU]	SAK 254 [1/m]	Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Redox [mV]
1	0,00	0,13	-1,60	-0,15
2	0,00	0,12	-1,57	-0,04
3	0,06	0,11	-0,73	-1,22
4	0,10	0,09	0,80	-0,9
5	0,05	0,10	-1,53	-1
6	0,01	0,11	-0,10	-3,5
7	-0,03	0,09	-1,13	-2,97
8	0,08	0,09	-1,19	-1,4
9	0,06	0,10	-0,99	-4,05
10	0,10	0,11	-1,56	-3,67
11	0,08	0,11	-0,54	-5,2
12	0,05	0,10	-1,91	-3,76
13	0,01	0,09	-1,64	-7,13
14	0,10	0,09	-0,51	-8,12
15	0,03	0,10	-1,26	-10,37
16	0,06	0,06	-0,45	-10,72
17	0,09	0,05	-1,39	-10,75
18	-0,02	0,05	-1,36	-11,13
19	0,10	0,03	-1,39	-11,5
20	0,03	0,03	-1,41	-14,61
21	0,03	0,01	-2,09	-17,45
22	0,10	0,03	-2,16	-14,74
23	0,06	0,04	-0,36	-18,68
24	0,02	0,03	-1,72	-20,83

Im Ergebnis der Untersuchung wurden vom Hinkley-Detektor bereits minimalste Änderungen erkannt, auch wenn das natürliche Schwankungsverhalten der Parameter außerhalb von simulierten Ereignissen die eingestellten Maximalausschläge bei weitem überschreitet. Dies konnte vor allem bei der Trübung und der Leitfähigkeit beobachtet werden (vgl. Abbildung 5.9). Konkret wurden von dem Hinkley-Detektor Änderungen ab 0,05 FNU bei der Trübung, 0,03  $\mu\text{S}/\text{cm}$  beim SAK-Wert, -0,51  $\text{m}^{-1}$  bei der Leitfähigkeit und -0,15 mV beim Redoxpotential erkannt. Zum Vergleich: bei den Versuchsdaten aus Groß-Umstadt waren dies 0,03 FNU bei der Trübung, 0,04  $\text{m}^{-1}$  beim SAK-Wert, -7,79  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bei der Leitfähigkeit und -10,6 mV beim Redoxpotential. Unter dem Vorbehalt einer gleichen Änderung bei den Qualitätsparametern des Wassers des HB Rathsmannsdorf wären somit alle in der Testanlage in Groß-Umstadt beigegebenen Verunreinigungen mit Ausnahme der Trübung vom Hinkley-Detektor erkannt

worden. Abbildung 5.9 zeigt die Anwendung des Hinkley-Detektors mit Hilfe der Software IT SEES während des einwöchigen Simulationszeitraums.

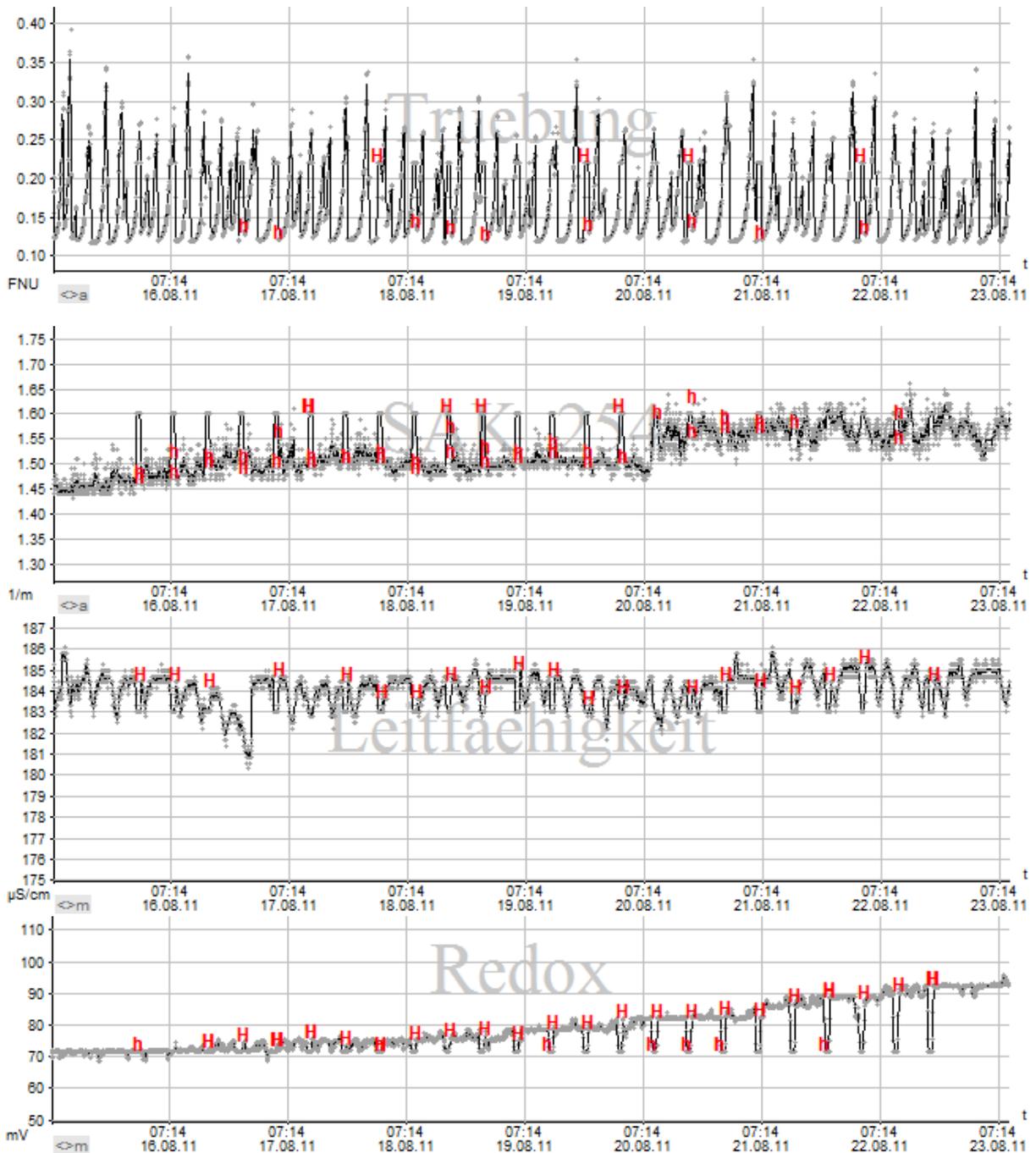


Abbildung 5.9: Anwendung der Software IT SEES (Hinkley-Detektor) auf die simulierten Ereignisse im Simulationszeitraum (eine Woche)

#### 5.4. Bewertung des Programms IT SEES

Insgesamt hat sich das Programm IT SEES, obwohl ursprünglich zur Analyse von Oberflächenwasser entwickelt, als gut geeignet für die Anwendung im Trinkwasserbereich gezeigt. Die dynamischen Auffälligkeitstests sind in der Lage bereits kleinste Änderungen eines Parameter zu erkennen, auch wenn diese keinen direkten Grenzwert überschreiten und kleiner als

---

das natürliche Schwankungsverhalten des jeweiligen Parameters sind. Genau diese Fähigkeit ist notwendig um die zum Teil geringen Ausschläge bei den Indikatorparametern Trübung, SAK 254, Leitfähigkeit und Redoxpotential im Zuge natürlicher Verschmutzungsereignisse als Auffälligkeit zu kennzeichnen. Als bestes Analyseverfahren hat sich dabei der Hinkley-Detektor erwiesen.

Besonders hervorzuheben ist die optische Oberfläche der Software IT SEES mit dem Alarmindex. Dadurch ist es möglich direkt die Auswirkungen eines Parameterverlaufs auf den Alarmindex und somit hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit einer Auffälligkeit nachzuvollziehen. Auch die Möglichkeit der individuellen Bewertung von Parametern in Bezug auf ihre Bedeutung für die Auffälligkeitserkennung sowie die Möglichkeit der Festlegung verschiedener Alarmschwellen, sind sehr hilfreiche Werkzeuge für eine effektive Alarmfeststellung. So können beispielsweise die Bewertungspunkte der relevanten Parameter und die Alarmschwellenwerte so gewählt werden, dass erst simultane Auffälligkeiten bei zwei Parametern gleichzeitig zur Überschreitung der roten Alarmschwelle und somit zur Kennzeichnung als Alarm führen. Da die Versuchsergebnisse gezeigt haben, dass natürliche Verschmutzungsereignisse mindestens zwei Parameter gleichzeitig beeinflussen, ist dieses Vorgehen zur Verhinderung von Fehlalarmen zu empfehlen. Je nach Anwendungsbereich ist jedoch auch die Vergabe anderer Bewertungspunkte denkbar, was die Verwendung für unterschiedlichste Einsatzzwecke ermöglicht.

Die Software IT SEES weist jedoch auch einige Nachteile auf, die für eine effektive Überwachung des Trinkwassernetzes zwingend einer Weiterentwicklung bedürfen. In diesem Zusammenhang ist vor allem die fehlende Plausibilitätskontrolle der Messdaten zu nennen. Andere Softwarelösungen wie z. B. das vali::tool™ des Herstellers s::can überprüfen die Rohdaten bezüglich Ausreißer, Rauschen, Sprünge und Drift bevor die Auffälligkeitstests angewendet werden und ermöglichen so eine höhere Zuverlässigkeit bei der Alarmbewertung (vgl. Kapitel 3.5.2). Von der Software IT SEES erfolgt jedoch nur eine Driftbereinigung sofern der Hinkley-Detektor oder der driftbereinigte Doppelsigmatetest für die Analyse gewählt werden. Da mit diesen beiden Verfahren die besten Ergebnisse erzielt wurden, verdeutlicht dies allgemein die Bedeutung einer Plausibilitätsbetrachtung für die Qualität der Auffälligkeitserkennung.

Daneben ist bei der Software IT SEES von Nachteil, dass keine Zustandsanalyse der Sensoren stattfindet. Dies ist jedoch zur Minimierung des Kontroll- und Wartungsaufwandes bei den in der Regel schlecht zugänglichen Sonden im Verteilungsnetz unverzichtbar. So wäre beispielsweise die Anzeige des Batteriestandes oder die Bewertung der Sensorverschmutzung durch eine Betrachtung des Driftverhaltens denkbar. Auch sollten Fehlstellen in den Datenreihen durch einen separaten Alarm deutlicher sichtbar gemacht werden und in die Bewertung des Sensorzustands mit einfließen. IT SEES zeigt diese bisher nur in Form einer Unterbrechung des Alarmindexbalkens bei dem jeweiligen Parameter an (vgl. Abbildung 5.10).

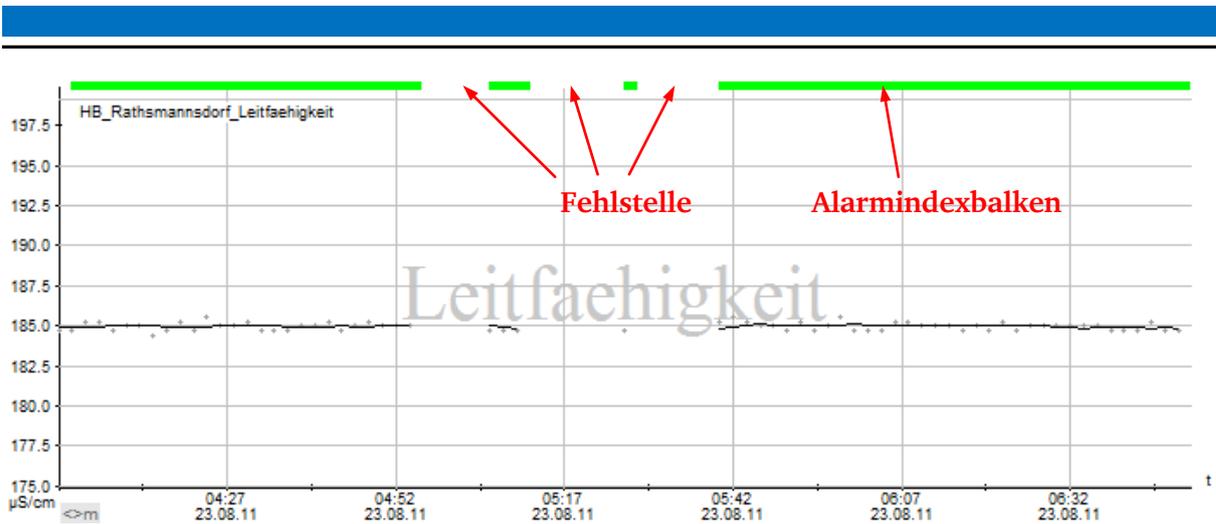


Abbildung 5.10: Anzeige von Fehlstellen bei der Software IT SEES am Beispiel der Leitfähigkeit

Des Weiteren hat sich als nachteilig erwiesen, dass für das Über- sowie für das Unterschreiten der dynamischen Grenzen separate Bewertungspunkte vergeben werden können. Grundsätzlich sind die maximal erreichbaren Alarmindexpunkte pro Parameter innerhalb der Nachlaufzeit auf die eingestellten Bewertungspunkte begrenzt. Dies soll verhindern, dass zeitlich dicht hintereinanderliegende Auffälligkeiten bei einem Parameter zu einem steten Anstieg des Alarmindex führen. Erfolgt jedoch innerhalb der Nachlaufzeit sowohl ein Über- wie auch ein Unterschreiten der dynamischen Grenzen kann eine Aufdoppelung der Bewertungspunkte stattfinden. Dies hat sich bei der Anwendung als schwierig erwiesen, da somit bereits Auffälligkeiten bei einem Parameter zur Überschreitung der roten Alarmschwelle führen können. Sinnvoll wäre in diesem Zusammenhang die pauschale Begrenzung der Bewertungspunkte je Parameter innerhalb der Nachlaufzeit, egal ob eine Über- bzw. Unterschreitung bei den Analyseverfahren vorliegt.

Darüber hinaus ist die Software IT SEES nicht in der Lage mehrere Messstationen miteinander zu verknüpfen. Für die automatische Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz mit bestenfalls mehreren Messstationen ist eine Verknüpfung der Ergebnisse jedoch unbedingt erforderlich. Auch wäre in diesem Zusammenhang die Kopplung mit einem Programm zur Strömungssimulation sinnvoll. Dadurch können nicht nur Rückschlüsse auf die Herkunft eines Verschmutzungsereignisses, sondern auch ein zielgenaues Eingreifen bzw. Gegensteuern ermöglicht werden. Für die reale Anwendung der Software im Verteilungsnetz müsste diese Fähigkeit nachgerüstet und separat überprüft werden.

Neben geeigneten statistisch-mathematischen Analysemethoden zur eigentlichen Störfallerkennung sind an eine Software zur automatisierten Auswertung von Messdaten für die online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz folglich verschiedene zusätzliche Anforderungen zu stellen. Tabelle 5-10 fasst diese Anforderungen mit Nennung der durch eine Implementierung einhergehenden, spezifischen Vorteile abschließend zusammen. Darüber hinaus wird die Umsetzung der Anforderungen mit den gegenwärtig bestehenden Softwarelösungen verglichen.

Tabelle 5-10: Anforderungen an eine Software zur automatisierten Auswertung von Messdaten für die online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz und Überprüfung der Umsetzung in gegenwärtig bestehenden Softwarelösungen

Anforderungen	Erzielbare Vorteile	Umsetzung in
Plausibilitätsbetrachtung der Messdaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Zuverlässigkeit bei der Alarmbewertung</li> <li>• Möglichkeit der Bewertung des Sensorzustands</li> </ul>	vali::tool <sup>TM</sup>
Überwachung und Anzeige des Sensorzustands (Batteriestand, Sensorverschmutzung, Fehlstellen etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimierung des Kontroll- und Wartungsaufwands der größtenteils schlecht zugänglichen Sonden im Verteilungsnetz</li> <li>• Einsparung von Kosten</li> <li>• Höheres Vertrauen in die Rohdaten</li> </ul>	moni::tool <sup>TM</sup>
Verknüpfung mehrerer Messstationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemeinsame Berechnung eines Alarmwertes für das gesamte Versorgungsnetz</li> <li>• Verbesserte Möglichkeit der Interpretation von Alarmen</li> <li>• Steigerung der Zuverlässigkeit bei festgestellten Verunreinigungen</li> <li>• Erkennung von Fehlverhalten der Sensoren einer Überwachungsstation</li> </ul>	ana::tool <sup>TM</sup> BlueBox <sup>TM</sup>
Kopplung mit einem Programm zur Strömungssimulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückschlüsse über die Herkunft/Entstehungsstelle einer Verunreinigung</li> <li>• Verfolgung der Schadstoffwelle über die Zeit</li> <li>• Ermittlung der Schadstoffmenge</li> <li>• Identifizierung des kontaminierten Bereichs</li> <li>• Entscheidungshilfe für Gegenmaßnahmen und zu wählende Dekontaminationsmittel</li> </ul>	BlueBox <sup>TM</sup>
Mustervergleiche mit Hinterlegung der Qualitätsmuster festgestellter Verunreinigungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festgestellte Auffälligkeiten können direkt einer möglichen Verunreinigung zugeordnet werden</li> <li>• Senkung der Zeit zum Einleiten effektiver Gegenmaßnahmen</li> <li>• Vermeidung von Fehlalarmen durch geänderte Betriebsbedingungen</li> </ul>	CANARY (BlueBox <sup>TM</sup> ) ana::tool <sup>TM</sup>

---

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

---

Zur Gewährleistung einer im Sinne der Qualität zu jeder Zeit sicheren Trinkwasserversorgung sind in der Vergangenheit verschiedene Vorschriften, Regelungen und Empfehlungen erlassen wurden. Als Grundlage hierfür dienen in Deutschland die Trinkwasserverordnung sowie die von den Wasserverbänden erarbeiteten allgemein anerkannten Regeln der Technik als Maßstab für technisch korrektes Handeln. International bestehen ähnliche Vorschriften, wobei sich zur Sicherstellung der Trinkwasserqualität heute einerseits die Überwachung durch Probenahme und Laboruntersuchung und andererseits die Aufstellung von Managementplänen (Water Safety Plan der WHO) durchgesetzt haben. Das Ziel des Water Safety Plan ist über die reine Endproduktkontrolle hinaus die Identifizierung und Beherrschung aller im Versorgungsgebiet festgestellter Risiken. Entscheidendes Kriterium für die Beurteilung der Beherrschung von Risiken ist dabei zunächst das Vorliegen entsprechend geeigneter Überwachungssysteme. Eine Endproduktkontrolle durch Probenahme und Laboruntersuchung kann aufgrund der aufwendigen und größtenteils langwierigen Analyseverfahren lediglich langfristige Risiken bzw. Veränderungen erkennen helfen. Zur Erkennung und Beherrschung kurzfristiger Risiken bedarf es jedoch schnellerer Überwachungssysteme, die ausreichend Zeit zur Einleitung entsprechender Gegenmaßnahmen gewähren. Dabei handelt es sich generell um Ereignisse, die aufgrund bestehender Managementsysteme zur Risikobeherrschung zwar eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen, jedoch im Falle einer Entstehung zu hohen Auswirkungen (Anzahl infizierter Personen, Länge kontaminierter Versorgungsleitungen) führen können. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, inwieweit der Aufbau von Monitoringstationen mit einer online Überwachung der Wasserqualität im Versorgungsnetz dieser Aufgabe gerecht werden kann.

An die Technologie sind grundsätzlich verschiedene Anforderungen zu stellen bzw. es sind vielerlei Voraussetzungen notwendig, damit sich diese erfolgreich am Markt etablieren kann. Hiervon ist zum Einen die Messtechnik und zum Anderen die Datenauswertung betroffen. So bedeutet die Ermittlung von Online-Messdaten zunächst eine enorme Steigerung der Informationsflut eines Wasserversorgers, was den Bedarf an qualifiziertem Personal zur kontinuierlichen Überwachung dieser Datenströme erhöhen würde. Damit die Betriebskosten nicht unnötig steigen, ist folglich zwingend eine automatisierte Auswertung und Interpretation der Daten erforderlich. Im Rahmen der vorgenommenen Literaturrecherche konnte gezeigt werden, dass gegenwärtig mehrere Softwarelösungen mit zum Teil sehr unterschiedlichen Arten der Auffälligkeitsuntersuchung von Messdaten bestehen. Eines dieser Programme, die Software IT SEES des deutschen Herstellers bbe Moldaenke GmbH, wurde anschließend genauer untersucht. Im Ergebnis der Untersuchung hat sich der Hinkley-Detektor als Analyseverfahren mit der höchsten Sensitivität gegenüber Parameteränderungen herauskristallisiert. So wurden bereits Abweichungen erkannt, selbst wenn das natürliche Schwankungsverhalten der Parameter den absoluten Wert dieser Änderungen übersteigt. Diese Eigenschaft ist entscheidend für den Einsatz im Trinkwasserbereich und legt den Schluss nahe, dass die Software IT SEES grundsätzlich als Analyseverfahren für die Überwachung des Verteilungsnetzes geeignet ist. Neben der eigentlichen Auffälligkeitsuntersuchung von Messdaten anhand dynamisch-mathematischer Verfahren, sind für eine effektive Überwachung des Versorgungsnetzes jedoch weitere Anforderungen an eine Software zu stellen. Diese betreffen im Wesentlichen eine Plausibilitätsbetrachtung der ermittelten Daten sowie eine Kopplung mit hydraulischen Rohrnetzmodellen zur Bestimmung der Schadstoffquelle und deren –ausbreitung im Versorgungsnetz. Im Ergebnis dieser Arbeit wurde abschließend ein Anforderungskatalog für Programme zur online

---

Überwachung der Wasserqualität im Versorgungsnetz erarbeitet und mit den momentan bestehenden Softwarelösungen verglichen. Keines der gegenwärtig kommerziell verfügbaren Programme erfüllt dabei alle Anforderungen zugleich und ist somit für den Einsatz uneingeschränkt zu empfehlen. Damit die Technologie zur Steigerung der Versorgungssicherheit erfolgreich eingesetzt werden kann ist folglich eine Weiterentwicklung der bestehenden Softwarelösungen zwingend erforderlich.

In Ergänzung zur automatisierten Auswertung und Interpretation gewonnener Messdaten wird eine Messtechnik benötigt, die zur Abbildung der Wasserqualität und zum Einsatz im Versorgungsnetz geeignet ist. Eine vollständige Überwachung aller im Sinne der Trinkwasserverordnung geregelten Qualitätsparameter ist dabei aus technischen und finanziellen Gründen nicht realisierbar. Von Seiten der amerikanischen Umweltbehörde (US-EPA) wurde daher untersucht, ob sich gewisse Parameter als Indikatoren für eine Vielzahl von Verunreinigungen eignen. Im Ergebnis der Untersuchung werden der Chlorgehalt und der TOC-Wert als erste Indikatoren, das Redoxpotential, der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Trübung als untergeordnete Indikatoren, die bei der Interpretation von Alarmen helfen können, für die Einbindung in die Technologie empfohlen. Viele Wasserversorger verwenden jedoch heute kein Chlor zur Desinfektion bzw. sofern dies geschieht, wird der nichtgebundene Anteil meist innerhalb der ersten Leitungskilometer „gezehrt“. Dies hat sich z. B. an den Versuchsdaten aus Groß-Umstadt und Deggendorf gezeigt, die beide keinen messbaren Anteil freien Chlors enthielten. Von daher ist der Einsatz eines Chlorsensors für viele Wasserversorger nicht sinnvoll. Zudem standen bei der Auswahl relevanter Verunreinigungen durch die US-EPA kommerziell verfügbare Schadstoffe im Sinne terroristischer Anschläge im Fokus. In Staaten mit geringem Terrorismusrisiko ist jedoch die Erkennung und Vermeidung natürlicher Verschmutzungsereignisse von größerer Bedeutung. Natürliche Verunreinigungen können z. B. ein unbemerkter Eintrag von Grund-, Ober- oder Abwasser sowie Korrosionsvorgänge im Rohrnetz sein. Im Rahmen dieser Arbeit wurde überprüft, welche Parameter sich als Indikatoren für derartige Ereignisse grundsätzlich eignen. Hierzu wurde ein Versuchspanel bei der Niederlassung der Firma Endress + Hauser in Groß-Umstadt aufgebaut und dem Trinkwasser Huminsäure, Oberflächenwasser, Abwasser und Eisen(III)-chlorid in unterschiedlichen Konzentrationen beigegeben. Im Ergebnis der Versuchsdurchführung haben die Trübung und der Spektrale Absorptionskoeffizient bei 254 nm (SAK 254) bei allen getesteten Verunreinigungen signifikante Änderungen gezeigt. Darüber hinaus konnten die Leitfähigkeit bei Zugabe von Oberflächenwasser und das Redoxpotential bei Zugabe von Abwasser als Indikatoren identifiziert werden. Alle anderen Messparameter blieben konstant bzw. haben keine Korrelation zwischen Schadstoffzugabe und entsprechendem Parameterausschlag gezeigt. Von daher sind für eine Erkennung natürlicher Verschmutzungsereignisse im Wesentlichen die Trübung und der SAK-Wert als Indikatorparameter geeignet, wobei die Leitfähigkeit und das Redoxpotential zusätzlich bei der Interpretation festgestellter Auffälligkeiten fungieren können. Im Vergleich zu den Empfehlungen der US-EPA hinsichtlich der Erkennung bewusst vorgenommener Verunreinigungen im Sinne terroristischer Anschläge kann somit auf die Ermittlung des pH-Werts und des Chlorgehalts verzichtet werden. Auch bedarf es nicht der Einbindung eines TOC-Sensors, was sich aufgrund der gegenwärtig teuren und platzintensiven Geräteaufführungen kostenmindernd auf die Technologie auswirkt.

Neben der Aufnahme geeigneter Indikatorparameter zur Erkennung möglichst vieler Verunreinigungen ist eine Messtechnik erforderlich, die für den speziellen Einsatz im Versorgungsnetz geeignet ist. So ist lediglich an wenigen Stellen, wie z. B. bei Hochbehältern oder in für

---

die Überwachung relevanten öffentlichen Einrichtungen, eine Infrastruktur vorhanden, die Messsysteme beherbergen kann. Ein Großteil der möglichen Einsatzorte liegt somit in Bereichen ohne ausreichende Platzverhältnisse, Stromversorgung oder Netzwerkanschluss. Für die Messtechnik bedeuten diese Rahmenbedingungen, dass vor allem kleine, wartungsarme und autarke Lösungen gefragt sind. Im Rahmen des europäischen SecurEau Projekts wurde anhand einer Marktanalyse untersucht, inwieweit gegenwärtig existierende Multiparameter-Sonden diesen Anforderungen gerecht werden bzw. ob ein Weiterentwicklungsbedarf besteht. Hierzu wurden drei verschiedene Bewertungsmaßstäbe angesetzt: die aufgenommenen Parameter, die Investitionskosten und die Installationstiefe. Im Ergebnis dieser ersten Untersuchung wurden die drei erstplatzierten Sonden für weitergehende Funktionstests ausgewählt. Dabei wurde festgestellt, dass zwei Sonden aufgrund ihrer schlechten Resultate im Rahmen der Labortests (geringe Genauigkeit) nicht zur Anwendung geeignet sind. Lediglich eine Sonde bestand sowohl die Laboruntersuchungen (Test auf Reaktionszeit, Linearität und Genauigkeit) wie auch den Langzeittest (insgesamt 1 Jahr) und erfüllt damit die an sie gestellten Anforderungen. Allerdings ermittelt diese Sonde lediglich vier Parameter (Temperatur, Leitfähigkeit, Chlor und Druck), wodurch sie zur Abbildung der Wasserqualität bzw. zur Erkennung natürlicher Verschmutzungsereignisse ungeeignet ist. Im Rahmen des SecurEau Projekts wird vor allem das Fehlen optischer Messungen (Trübung, SAK-Wert etc.) kritisiert. Dies sei nach Angabe der Projektbearbeiter jedoch in Entwicklung, wodurch die Sonde sofern dies gelingt zur online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz grundsätzlich geeignet wäre.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass anhand vergangener Projekte bereits etliche Fragestellungen geklärt und Empfehlungen zur konkreten Ausgestaltung eines Systems zur online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz gegeben wurden. Im Rahmen dieser Arbeit konnte jedoch gezeigt werden, dass bei der Datenauswertung und der Messtechnik derzeit noch ein zwingender Weiterentwicklungsbedarf besteht. Insofern ist der Aufbau von Monitoringstationen im Verteilungsnetz gegenwärtig noch nicht uneingeschränkt möglich. Aufgrund der Anschläge des 11. September 2001 und den daraus folgenden gesetzlichen Regelungen in den USA wird deren Einführung zumindest in den USA in absehbarer Zukunft zweifelsfrei erfolgen. Inwieweit sich die Technologie auch in anderen Ländern entwickeln und durchsetzen wird ist im Endeffekt von der Höhe an Restrisiko abhängig, das die Wasserversorger bzw. die Politik bereit sind zu tragen. Bei der am 01.11.2011 in Kraft getretenen neuen Trinkwasserverordnung ist dieser Ansatz bisher nicht enthalten. Es ist zu befürchten, dass in einem hochtechnologisierten Land wie Deutschland lediglich eine erneute Trinkwasser-Katastrophe zur Weiterentwicklung der bisherigen Ansätze führen kann. In einem solchen Fall stellt die online Überwachung der Wasserqualität im Verteilungsnetz eine gute Möglichkeit dar kurzfristige Verunreinigungen in der Wasserqualität zunächst zu erkennen, die Einleitung sofortige Gegenmaßnahmen zu veranlassen und dadurch eine denkbare Katastrophe abzuwenden und zu verhindern.

## Anhang A: Produktdatenblatt Huminsäure Natriumsalz der Fa. Carl Roth



### Spezifikation

Artikelnummer:	7824		
<b>Huminsäure Natriumsalz ~45-65 %</b>			
CAS-Nummer:	68131-04-4	Druckdatum:	09.03.2010
Formel:			
Dichte:			
Molekulargewicht:			

#### Typanalyse

Gehalt an Huminsäure	~45-65 %
Trocknungsverlust (4 h, 105 °C)	~14-22 %

*Dies weiteren Angaben sind zusätzlich und nicht Bestandteil der eigentlichen Produktspezifikation:*

#### Eigenschaften:

Das Produkt enthält die Natriumsalze von Huminsäuren und wird durch alkalische Extraktion natürlicher, hochoxidierter Braunkohle mit hohem Gehalt an Huminsäuren und anschließender Trocknung gewonnen. Das Produkt zeichnet sich durch seine hervorragende Wasserlöslichkeit aus.

Form: Feststoff in Schuppenform

#### Typische Analyse:

Feuchte (105°C) (w/w)	15%
Aschegehalt (TS) (w/w)	30%
Huminsäuregehalt (TS)	60%
Natrium (Na <sub>2</sub> O) (w/w)	8-9%
pH-Wert (in 10%iger Lösung)	9-10
Löslichkeit	97%
Schüttdichte	550 g/l
Farbe	dunkelbraun

Unsere Produkte sind für Laborzwecke geprüft.

O. Lautenschläger  
Kontrolllaborleiter

*Dieses Dokument wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.*

Carl Roth GmbH + Co. KG  
Schoemperlenstraße 3-5  
76185 Karlsruhe

Telefon 0721/5606-0  
Telefax 0721/5606-149  
E-Mail: [info@carlroth.de](mailto:info@carlroth.de)

Die Firma ist eine Kommanditgesellschaft mit Sitz in Karlsruhe, Reg. Gericht Mannheim HRA 100055. Persönlich haftende Gesellschafterin ist die Firma Roth Chemie GmbH mit Sitz in Karlsruhe, Reg. Gericht Mannheim HRB 100428. Vorsitzender des Aufsichtsrats: Eberhard Gaul  
Geschäftsführer: Dr. Alfred Wagner und Lothar Haldmann



Seite 1 von 1



## Sicherheitsdatenblatt

Gemäß EG-Richtlinie 91/155/EWG

Stand vom: 16.08.2006  
Ersetzt Ausgabe vom: 30.03.2004

### 1. Stoff- / Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

*Bezeichnung des Stoffes oder der Zubereitung*

Artikelnummer: 803945  
Artikelbezeichnung: Eisen(III)-chlorid wasserfrei zur Synthese

*Verwendung des Stoffes/der Zubereitung*

Synthesechemikalie

*Firmenbezeichnung*

Firma: Merck Schuchardt OHG \* 85662 Hohenbrunn \* Deutschland \* Tel: +49 8102/802-0  
Notrufnummer: +49 (0)6151/722440 \* Telefax: +49 (0)6151/72-7780

### 2. Zusammensetzung / Angaben zu Bestandteilen

*Synonyme*

Eisentrichlorid

CAS-Nr.: 7705-08-0  
*M*: 162.21 g/mol  
Summenformel: Cl<sub>3</sub>Fe  
(Hill)  
Chemische Formel: FeCl<sub>3</sub>

EG-Nummer: 231-729-4

### 3. Mögliche Gefahren

Gesundheitsschädlich beim Verschlucken. Reizt die Haut. Gefahr ernster Augenschäden.

### 4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

Nach Einatmen: Frischluft.  
Nach Hautkontakt: Mit reichlich Wasser abwaschen. Kontaminierte Kleidung entfernen.  
Nach Augenkontakt: Mit reichlich Wasser bei geöffnetem Lidspalt ausspülen. Sofort Augenarzt hinzuziehen.  
Nach Verschlucken: Sofort viel Wasser trinken lassen. Arzt hinzuziehen.

# Merck Sicherheitsdatenblatt

Gemäß EG-Richtlinie 91/155/EWG

Artikelnummer: 803945  
Artikelbezeichnung: Eisen(III)-chlorid wasserfrei zur Synthese

---

## 5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

Geeignete Löschmittel:  
Auf Umgebung abstimmen.

Besondere Gefahren:  
Nicht brennbar. Durch Umgebungsbrand Entstehung gefährlicher Dämpfe möglich. Im Brandfall kann entstehen: Chlorwasserstoff, Chlor.

Spezielle Schutzausrüstung bei der Brandbekämpfung:  
Aufenthalt im Gefahrenbereich nur mit umluftunabhängigem Atemschutzgerät. Hautkontakt durch Einhalten eines Sicherheitsabstandes oder Tragen geeigneter Schutzkleidung vermeiden.

Sonstige Hinweise:  
Entweichende Dämpfe mit Wasser niederschlagen. Eindringen von Löschwasser in Oberflächengewässer oder Grundwasser vermeiden.

---

## 6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen:  
Substanzkontakt vermeiden. Einatmen von Stäuben vermeiden. In geschlossenen Räumen für Frischluft sorgen.

Umweltschutzmaßnahmen:  
Nicht in Kanalisation gelangen lassen.

Verfahren zur Reinigung / Aufnahme:  
Trocken aufnehmen. Der Entsorgung zuführen. Nachreinigen. Staubentwicklung vermeiden.

---

## 7. Handhabung und Lagerung

*Handhabung:*

Keine weiteren Anforderungen.

*Lagerung:*

Dicht verschlossen. Trocken. Bei +15°C bis +25°C.

Trocken.

---

## 8. Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

*Persönliche Schutzausrüstung:*

Körperschuttmittel sind in ihrer Ausführung in Abhängigkeit von Gefahrstoffkonzentration und -menge arbeitsplatzspezifisch auszuwählen. Die Chemikalienbeständigkeit der Schuttmittel sollte mit deren Lieferanten abgeklärt werden.

Atemschutz: erforderlich bei Auftreten von Stäuben.

Augenschutz: erforderlich

---

# Merck Sicherheitsdatenblatt

Gemäß EG-Richtlinie 91/155/EWG

Artikelnummer: 803945  
Artikelbezeichnung: Eisen(III)-chlorid wasserfrei zur Synthese

Handschutz:	Bei Vollkontakt:	
	Handschuhmaterial:	Nitrilkautschuk
	Schichtstärke:	0.11 mm
	Durchbruchzeit:	> 480 Min.
	Bei Spritzkontakt:	
	Handschuhmaterial:	Nitrilkautschuk
Schichtstärke:	0.11 mm	
Durchbruchzeit:	> 480 Min.	

Die einzusetzenden Schutzhandschuhe müssen den Spezifikationen der EG-Richtlinie 89/686/EWG und der sich daraus ergebenden Norm EN374 genügen, beispielsweise KCL 741 Dermatril® L (Vollkontakt), 741 Dermatril® L (Spritzkontakt). Die oben genannten Durchbruchzeiten wurden mit Materialproben der empfohlenen Handschuhtypen in Labormessungen von KCL nach EN374 ermittelt. Diese Empfehlung gilt nur für das im Sicherheitsdatenblatt genannte Produkt, das von uns geliefert wird und den von uns angegebenen Verwendungszweck. Bei der Lösung in oder bei der Vermischung mit anderen Substanzen und bei von der EN374 abweichenden Bedingungen, müssen Sie sich an den Lieferanten von CE-genehmigten Handschuhen wenden (z.B. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: [www.kcl.de](http://www.kcl.de)).

Angaben zur Arbeitshygiene:  
Kontaminierte Kleidung sofort wechseln. Vorbeugender Hautschutz. Nach Arbeitsende Hände und Gesicht waschen.

## 9. Physikalische und chemische Eigenschaften

Form:	Pulver		
Farbe:	dunkelgrau		
Geruch:	leicht stechend		
pH-Wert bei 200 g/l H <sub>2</sub> O	(20 °C)	1	
Schmelztemperatur		306 °C	(Zersetzung)
Siedetemperatur		nicht verfügbar	
Sublimationspunkt		> 120 °C	
Zündtemperatur		nicht entzündbar	
Flammpunkt		nicht entflammbar	
Explosionsgrenzen	untere	nicht anwendbar	
	obere	nicht anwendbar	
Dampfdruck	(20 °C)	1 hPa	
Dichte	(20 °C)	2.9 g/cm <sup>3</sup>	
Schüttdichte		1000 kg/m <sup>3</sup>	
Löslichkeit in Wasser	(20 °C)	920 g/l	(Hydrolyse)
Thermische Zersetzung		> 300 °C	
log Pow	(24 °C)	-4	(OECD 107)

# Merck Sicherheitsdatenblatt

Gemäß EG-Richtlinie 91/155/EWG

Artikelnummer: 803945  
Artikelbezeichnung: Eisen(III)-chlorid wasserfrei zur Synthese

---

## 10. Stabilität und Reaktivität

### *Zu vermeidende Bedingungen*

Starke Erhitzung. Feuchtigkeit.

### *Zu vermeidende Stoffe*

Explosionsgefahr mit: Alkalimetalle.  
Heftige Reaktionen möglich mit: Ethylenoxid.  
Entwicklung gefährlicher Gase oder Dämpfe mit: Wasser.

*Gefährliche Zersetzungsprodukte*  
bei Brand: siehe Kapitel 5.

### *Weitere Angaben*

extrem hygroskopisch;  
sublimierbar.  
inkompatibel mit: Kupfer, Leichtmetallen (Feuchtigkeit.).

---

## 11. Angaben zur Toxikologie

### *Akute Toxizität*

LD<sub>50</sub> (oral, Ratte): 316 mg/kg (RTECS).

Spezifische Symptome im Tierversuch:  
Test auf Augenreizung (Kaninchen): Starke Reizungen (IUCLID).  
Test auf Hautreizung (Kaninchen): Reizungen (IUCLID).

### *Subakute bis chronische Toxizität*

Bakterielle Mutagenität: Ames-Test: negativ. (IUCLID)  
Mutagenität (Säugerzellentest): negativ. (National Toxicology Program)

### *Weitere toxikologische Hinweise*

Zersetzung der Substanz mit der Feuchtigkeit der Gewebe.

Nach Einatmen: Schleimhautreizungen, Husten und Atemnot.  
Nach Hautkontakt: Starke Reizungen.  
Nach Augenkontakt: Gefahr ernster Augenschäden.  
Nach Verschlucken: Schleimhautirritationen im Mund, Rachen, Speiseröhre und Magen-Darmtrakt.  
Übelkeit, Erbrechen.

### *Sonstige Hinweise:*

Für lösliche Eisenverbindungen gilt: Nach Verschlucken Übelkeit und Erbrechen. Nach Resorption großer Mengen: Herz- Kreislaufstörungen. Toxische Wirkung auf Leber, Nieren.

### *Weitere Angaben*

Weitere gefährliche Eigenschaften können nicht ausgeschlossen werden.  
Das Produkt ist mit der bei Chemikalien üblichen Vorsicht zu handhaben.

# Merck Sicherheitsdatenblatt

Gemäß EG-Richtlinie 91/155/EWG

Artikelnummer: 803945  
Artikelbezeichnung: Eisen(III)-chlorid wasserfrei zur Synthese

## 12. Angaben zur Ökologie

Biologischer Abbau:  
Methoden zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit sind für anorganische Stoffe nicht anwendbar.

Verhalten in Umweltkompartimenten:  
log Pow: -4 (24 °C) (OECD 107).  
Eine Bioakkumulation ist nicht zu erwarten (log Pow <1).

Ökotoxische Wirkungen:  
Biologische Effekte:  
Fischtoxizität: *Gambusia affinis* LC<sub>50</sub>: 75.6 mg/l /96 h (Fremd-Sicherheitsdatenblatt).  
Daphnientoxizität: *Daphnia magna* EC<sub>50</sub>: 27.9 mg/l /48 h (Fremd-Sicherheitsdatenblatt).

Weitere Angaben zur Ökologie:  
Nicht in Gewässer, Abwasser oder Erdreich gelangen lassen!

## 13. Hinweise zur Entsorgung

### Produkt:

Chemikalien müssen unter Beachtung der jeweiligen nationalen Vorschriften entsorgt werden. Unter [www.retrologistik.de](http://www.retrologistik.de) finden Sie länder- und stoffspezifische Hinweise sowie Ansprechpartner.

### Verpackung:

Verpackungen von Merck-Produkten müssen länderspezifisch unter Beachtung der jeweiligen Vorschriften entsorgt oder Rücknahmesystemen überlassen werden. Unter [www.retrologistik.de](http://www.retrologistik.de) finden Sie spezielle Hinweise für die jeweiligen nationalen Gegebenheiten sowie Ansprechpartner.

## 14. Angaben zum Transport

Straße und Eisenbahn ADR, RID  
UN 1773 EISENCHLORID, WASSERFREI, 8, III

Binnenschiff ADN, ADNR nicht geprüft

See IMDG-Code  
UN 1773 FERRIC CHLORIDE, ANHYDROUS, 8, III  
EmS: F-A S-B

Luft CAO, PAX  
UN 1773 FERRIC CHLORIDE, ANHYDROUS, 8, III

Die Transportvorschriften sind nach den internationalen Regulierungen und in der Form, wie sie in Deutschland angewandt werden, zitiert. Mögliche Abweichungen in anderen Ländern sind nicht berücksichtigt.

## 15. Vorschriften

### Kennzeichnung nach EG-Richtlinien

Symbole:	Xn	Gesundheitsschädlich
R-Sätze:	22-38-41	Gesundheitsschädlich beim Verschlucken. Reizt die Haut. Gefahr ernster Augenschäden.
S-Sätze:	26-39	Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren. Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.

## Merck Sicherheitsdatenblatt

Gemäß EG-Richtlinie 91/155/EWG

Artikelnummer: 803945  
Artikelbezeichnung: Eisen(III)-chlorid wasserfrei zur Synthese

---

### *Reduzierte Kennzeichnung(1999/45/EG,Art.10,4)*

Symbole:	Xn	Gesundheitsschädlich
R-Sätze:	22-41	Gesundheitsschädlich beim Verschlucken. Gefahr ernster Augenschäden.
S-Sätze:	26-39	Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren. Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.

### *Deutsche Vorschriften*

Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) VwVwS Anh. 2 KennNr. 515

Lagerklasse VCI 8 B

Merkblatt BG-Chemie M004 Reizende Stoffe/Ätzende Stoffe  
M053 Arbeitsschutzmaßnahmen für den Umgang mit Gefahrstoffen

Beschäftigungsbeschränkungen für Jugendliche nach § 22 JArbSchG beachten!

Beschäftigungsbeschränkungen für werdende und stillende Mütter nach §§ 4 und 5 MuSchRiV beachten!

---

## 16. Sonstige Angaben

### *Änderungsgrund*

Kapitel 11: Angaben zur Toxikologie.  
Kapitel 12: Angaben zur Ökologie.

Allgemeine Überarbeitung.

### *Auskunfgebender Bereich:*

EHSQ/EHS PI \* Tel: +49 (0)6151/722775 \* Fax: +49 (0)6151/726433 \* e-mail:prodsafe@merck.de

---

*Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse und dienen dazu,  
das Produkt im Hinblick auf die zu treffenden Sicherheitsvorkehrungen zu beschreiben.  
Sie stellen keine Zusicherung von Eigenschaften des beschriebenen Produkts dar.*

## Anhang C: Ergebnisse der Trinkwasseranalyse aus Groß-Umstadt vom 19.10.2010



### Ergebnisse der Untersuchungen nach der TrinkwV vom 21.05.2001

Probenahmeort:	Groß-Umstadt, HB Eselsberg				
Entnahmestelle:	Probenahmehahn				
Probennummer:	20104533-001				
Probenahmedatum:	19.10.2010				
Probenahme durch:	CAL GmbH & Co. KG (Herr Degenhard)				
lfd.-Nr. der TrinkwV	Stoffbezeichnung	Methode	Einheit	Grenzwert gemäß TrinkwV	Messwert
Anlage 1, Teil I der TrinkwV					
Anl. 1, Teil I, Nr. 1	<b>Escherichia coli</b>	Colliert 18	KBE/100ml	0	0
Anl. 1, Teil I, Nr. 2	<b>Enterokokken</b>	DIN EN ISO 7899-2 (K15)	KBE/100ml	0	0
Anl. 1, Teil I, Nr. 3	<b>Coliforme Keime</b>	Colliert 18	KBE/100ml	0	0
Anlage 2, Teil I der TrinkwV					
Anl. 2, Teil I, Nr. 2	<b>Benzol</b>	DIN 38407-1 (F9)	mg/L	0,001	<0,0002
Anl. 2, Teil I, Nr. 3	<b>Bor</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L	1,0	<0,050
Anl. 2, Teil I, Nr. 5	<b>Chrom</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	0,05	<0,010
Anl. 2, Teil I, Nr. 6	<b>Cyanid</b>	DIN EN ISO 14403 (D6)	mg/L	0,05	<0,010
Anl. 2, Teil I, Nr. 7	<b>1,2-Dichlorethan</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,003	<0,00030
Anl. 2, Teil I, Nr. 8	<b>Fluorid</b>	DIN EN ISO 10304 (D19)	mg/L	1,5	0,15
Anl. 2, Teil I, Nr. 9	<b>Nitrat</b>	DIN EN ISO 10304 (D19)	mg/L	50	39,5
Anl. 2, Teil I, Nr. 11	<b>Summe der Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte</b>		mg/L	0,0005	0,000100
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Atrazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Desethylatrazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	0,000046
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Simazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Bromacil</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	0,000054
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Hexazinon</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Propazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Sebutylazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Terbutylazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Desethylterbutylazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 10	<b>Desisopropylatrazin</b>	DIN EN ISO 11369 (F12)	mg/L	0,0001	<0,000030
Anl. 2, Teil I, Nr. 12	<b>Quecksilber</b>	DIN EN 13506 (E35)	mg/L	0,001	<0,00020
Anl. 2, Teil I, Nr. 13	<b>Selen</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	0,01	<0,005
Anl. 2, Teil I, Nr. 14	<b>Summe Tetrachlorethen/Trichlorethen</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,01	Keine Einzelsubstanzen nachweisbar
Anl. 2, Teil I, Nr. 14	<b>Tetrachlorethen</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,01	<0,00010
Anl. 2, Teil I, Nr. 14	<b>Trichlorethen</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,01	<0,00010
Anlage 2, Teil II der TrinkwV					
Anl. 2, Teil II, Nr. 1	<b>Antimon</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	0,005	<0,001
Anl. 2, Teil II, Nr. 2	<b>Arsen</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	0,01	<0,005
Anl. 2, Teil II, Nr. 3	<b>Benzo-(a)-pyren</b>	DIN 38407 (F8)	mg/L	0,00001	<0,000005
Anl. 2, Teil II, Nr. 4	<b>Blei</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	0,025	<0,005
Anl. 2, Teil II, Nr. 5	<b>Cadmium</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	0,005	<0,001
Anl. 2, Teil II, Nr. 7	<b>Kupfer</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	2,0	<0,010
Anl. 2, Teil II, Nr. 8	<b>Nickel</b>	DIN EN ISO 17294-2 (E29)	mg/L	0,02	<0,010
Anl. 2, Teil II, Nr. 9	<b>Nitrit</b>	DIN EN ISO 10304 (D19)	mg/L	0,5	<0,050
Anl. 2, Teil II, Nr. 10	<b>Summe polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe</b>	DIN 38407 (F8)	mg/L	0,0001	Keine Einzelsubstanzen nachweisbar
Anl. 2, Teil II, Nr. 10	<b>Benzo-(b)-fluoranthen</b>	DIN 38407 (F8)	mg/L	0,0001	<0,000010
Anl. 2, Teil II, Nr. 10	<b>Benzo-(k)-fluoranthen</b>	DIN 38407 (F8)	mg/L	0,0001	<0,000010
Anl. 2, Teil II, Nr. 10	<b>Benzo-(ghi)-perylen</b>	DIN 38407 (F8)	mg/L	0,0001	<0,000010
Anl. 2, Teil II, Nr. 10	<b>Indeno-(1,2,3-cd)-pyren</b>	DIN 38407 (F8)	mg/L	0,0001	<0,000010



### Ergebnisse der Untersuchungen nach der TrinkwV vom 21.05.2001

Probenahmeort:	Groß-Umstadt, HB Eselsberg
Entnahmestelle:	Probenahmehahn
Probennummer:	20104533-001
Probenahmedatum:	19.10.2010
Probenahme durch:	CAL GmbH & Co. KG (Herr Degenhard)

lfd.-Nr. der TrinkwV	Stoffbezeichnung	Methode	Einheit	Grenzwert gemäß TrinkwV	Messwert
----------------------	------------------	---------	---------	-------------------------	----------

#### Anlage 2, Teil II der TrinkwV

					Keine Einzelsubstanzen nachweisbar
Anl. 2, Teil II, Nr. 11	<b>Summe Trihalogenmethane</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,05	
Anl. 2, Teil II, Nr. 11	<b>Trichlormethan</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,05	<0,00030
Anl. 2, Teil II, Nr. 11	<b>Bromdichlormethan</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,05	<0,00030
Anl. 2, Teil II, Nr. 11	<b>Dibromchlormethan</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,05	<0,00030
Anl. 2, Teil II, Nr. 11	<b>Tribrommethan</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,05	<0,00030
Anl. 2, Teil II, Nr. 12	<b>Vinylchlorid</b>	DIN EN ISO 10301 (F4)	mg/L	0,0005	<0,00020

#### Anlage 3 der TrinkwV

Anl. 3, Nr. 1	<b>Aluminium</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L	0,2	<0,020
Anl. 3, Nr. 2	<b>Ammonium</b>	DIN EN ISO 14911 (E34)	mg/L	0,5	<0,050
Anl. 3, Nr. 3	<b>Chlorid</b>	DIN EN ISO 10304 (D19)	mg/L	250	37,7
Anl. 3, Nr. 5	<b>Eisen</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L	0,2	0,044
Anl. 3, Nr. 6	<b>Färbung</b>	DIN EN ISO 7887 (C1)	1/m (436 nm)	0,5	<0,03
Anl. 3, Nr. 7	<b>Geruchsschwellenwert</b>	DIN EN 1622 (B3)	TON	3	1
Anl. 3, Nr. 8	<b>Geschmack</b>	DIN EN 1622 (B3)	qualitativ		ohne anormale Veränderung
Anl. 3, Nr. 9	<b>Koloniezahl bei 20 °C</b>	Anlage 1 Nr. 5, TrinkwV 1990	KBE/1ml	100	0
Anl. 3, Nr. 10	<b>Koloniezahl bei 36 °C</b>	Anlage 1 Nr. 5, TrinkwV 1990	KBE/1ml	100	0
Anl. 3, Nr. 11	<b>el. Leitfähigkeit bei 20 °C</b>	DIN EN 27888 (C8)	µS/cm	2500	795
Anl. 3, Nr. 12	<b>Mangan</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L	0,05	<0,010
Anl. 3, Nr. 13	<b>Natrium</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L	200	8,1
Anl. 3, Nr. 14	<b>TOC</b>	DIN EN 1484 (H3)	mg/L		<0,50
Anl. 3, Nr. 16	<b>Sulfat</b>	DIN EN ISO 10304 (D19)	mg/L	240	34,1
Anl. 3, Nr. 17	<b>Trübung</b>	DIN EN ISO 7027 (C2)	NTU	1,0	0,65
Anl. 3, Nr. 18	<b>pH-Wert bei 20 °C</b>	DIN 38404 (C5)		>6,5 und <9,5	7,21

#### Zusätzliche Parameter

<b>Calcium</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L		127
<b>Magnesium</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L		22,0
<b>Kalium</b>	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/L		1,2
<b>Temperatur</b>	DIN 38404 (C4)	°C		11,4
<b>Säurekapazität bei pH 4,3</b>	DIN 38409 (H7)	mmol/L		6,42
<b>pH-Wert bei Bestimmungstemperatur</b>	DIN 38404 (C5)			7,28
<b>pH-Wert bei Calciumcarbonatsättigung</b>	DIN 38404 (C10)			7,12
<b>delta-pH-Wert</b>	DIN 38404 (C10)			0,16
<b>Calcitlösekapazität</b>	DIN 38404 (C10)	mg/L	5,0	-28,1
<b>Ionenbilanzfehler</b>		%		-2,8
<b>Carbonathärte</b>	DIN 38405 (D8)	°d		17,8
<b>Gesamthärte</b>	DIN 38409 (H6)	°d		22,8
<b>Calciumcarbonat</b>	berechnet	mmol/L		4,07
<b>Härtebereich</b>				hart



### Ergebnisse der Untersuchungen nach der TrinkwV vom 21.05.2001

Probenahmeort:	<b>Richen, Pumpstation nach Aufbereitung</b>
Entnahmestelle:	<b>Probenahmeahn nach Aufbereitung</b>
Probennummer:	20104533-035
Probenahmedatum:	18.10.2010
Probenahme durch:	CAL GmbH & Co. KG (Herr Degenhard)

lfd.-Nr. der TrinkwV	Stoffbezeichnung	Methode	Einheit	Grenzwert gemäß TrinkwV	Messwert
<b>Mikrobiologische Untersuchungen gemäß Anlagen 1 und 3 der TrinkwV</b>					
Anl. 1, Teil 1, Nr. 1	<b>Escherichia coli</b>	Colilert 18	KBE/100ml	0	<b>0</b>
Anl. 1, Teil 1, Nr. 3	<b>Coliforme Keime</b>	Colilert 18	KBE/100ml	0	<b>0</b>
Anl. 3, Nr. 9	<b>Koloniezahl bei 20 °C</b>	Anlage 1 Nr. 5, TrinkwV 1990	KBE/1ml	100	<b>0</b>
Anl. 3, Nr. 10	<b>Koloniezahl bei 36 °C</b>	Anlage 1 Nr. 5, TrinkwV 1990	KBE/1ml	100	<b>0</b>

## Anhang D: Ergebnis der Trinkwasseranalyse der TWA Flanitz vom 14.06.2011

**AGROLAB**  
**Laborgruppe**  
 www.agrolab.de



### Dr. Blasy - Dr. Busse

Niederlassung der AGROLAB-Labor GmbH, Bruckberg  
 Moosstraße 6 a, 82279 Eching am Ammersee, Germany  
 Tel.: +49 (08143) 7901, Fax: +49 (08143) 7214  
 eMail: bbec@agrolab.de

Dr. Blasy-Dr. Busse Moosstr. 6A, 82279 Eching

WASSERVERSORGUNG BAYERISCHER WALD  
 PATER-FINK-STR. 8  
 94469 DEGGENDORF

Datum 14.06.2011  
 Kundennr. 4100010341  
 Seite 1 von 7

## PRÜFBERICHT

### Auftragsnr. 341096

Analysennr. 749710 Trinkwasser  
 Auftrag PU Flanitz / 1517  
 Probeneingang 07.06.2011  
 Probenahme 06.06.2011  
 Probenehmer Günter Eiglmeier  
 Kunden-Probenbezeichnung GE 396/11  
 Uhrzeit Probenahme 11:05  
 Zapfstelle nach Behälter  
 Entnahmestelle ZV Z WV BAYERISCHER WALD (WBW)  
 TWA Flanitz, Reinwasser  
 Objektkennzahl 1230027100089

### Indikatorparameter der Anlage 3 TrinkwV / EÜV / chemisch-technische und hygienische Parameter

	Einheit	Ergebnis	Best.-Gr.	TrinkwV	DIN 50930 / EN 12502	Methode
<b>Sensorische Prüfungen</b>						
Färbung (vor Ort)		farblos				EN ISO 7887-C1
Geruch (vor Ort)		ohne				EN 1622
Geschmack organoleptisch (vor Ort)		ohne				DEV B 1/2
Trübung (vor Ort)		klar				DIN EN ISO 7027-C2

### Physikalisch-chemische Parameter

Temperatur (Labor)	°C	20,0	0			DIN 38404-C4
Wassertemperatur (vor Ort)	°C	6,2	0			DIN 38404-C4
Leitfähigkeit bei 20 °C (vor Ort)	µS/cm	150	1			EN 27888 (C8)
Leitfähigkeit bei 20°C (Labor)	µS/cm	150	1	2500		EN 27888 (C8)
Leitfähigkeit bei 25°C (Labor)	µS/cm	170	1			EN 27888 (C8)
pH-Wert (Labor)		8,10	0	6,5 - 9,5		DIN 38404-C5
pH-Wert (vor Ort)		8,19	0	6,5 - 9,5		DIN 38404-C5
SAK 436 nm (Färbung, quant.)	m-1	<0,1	0,1	0,5		DIN EN ISO 7887-C1
SAK 254 nm	m-1	1,9	0,1			DIN 38404-C3
Trübung (Labor)	NTU	0,03	0,02	1		DIN EN ISO 7027-C2

### Kationen

Calcium (Ca)	mg/l	32,3	1		>20 <sup>12)</sup>	DIN EN ISO 11885-E22
Magnesium (Mg)	mg/l	<1,0	1			DIN EN ISO 11885-E22
Natrium (Na)	mg/l	1,2	1	200		DIN EN ISO 11885-E22
Kalium (K)	mg/l	<1,0	1			DIN EN ISO 11885-E22
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l	<0,01	0,01	0,5 / 30 <sup>11)</sup>		EN ISO 11732

### Anionen





## Dr. Blasy - Dr. Busse

Niederlassung der AGROLAB-Labor GmbH, Bruckberg  
Moosstraße 6 a, 82279 Eching am Ammersee, Germany  
Tel.: +49 (0)8143) 7901, Fax: +49 (0)8143) 7214  
eMail: bbec@agrolab.de

Datum 14.06.2011  
Kundennr. 4100010341  
Seite 2 von 7

Auftragsnr. 341096 Analysennr. 749710

	Einheit	Ergebnis	Best.-Gr.	TrinkwV	DIN 50930 / EN 12502	Methode
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/l	1,43	0,05		>1 <sup>12)</sup>	DIN 38409-H7-1
Chlorid (Cl)	mg/l	1,0	1	250		DIN EN ISO 15682-D31 (modifiziert)
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	8,7	1	240		DIN 38405-D5
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	2,9	1	50		DIN EN ISO 13395 - D28
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	<0,02	0,02	0,5 <sup>4)</sup>		DIN EN ISO 13395 - D28

### Summarische Parameter

TOC	mg/l	1,3	0,5			DIN EN 1484
-----	------	-----	-----	--	--	-------------

### Anorganische Bestandteile

Mangan (Mn)	mg/l	<0,005	0,005	0,05		DIN EN ISO 11885-E22
Eisen (Fe)	mg/l	<0,005	0,005	0,2		DIN EN ISO 11885-E22
Aluminium (Al)	mg/l	0,09	0,02	0,2		DIN EN ISO 11885-E22

### Gasförmige Komponenten

Basekapazität bis pH 8,2	mmol/l	0,02	0,01		<0,5 <sup>12)</sup>	DIN 38409-H7-2
Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) gelöst	mg/l	11,4	0,1		>3 <sup>13)</sup>	DIN EN 25813

### Berechnete Werte

Gesamthärte	°dH	4,5	0,3			<keine Angabe>
Summe Erdalkalien	mmol/l	0,81	0,05			DIN 38409-H6
Gesamthärte (als Calciumcarbonat)	mmol/l	0,81	0,05			<keine Angabe>
Härtebereich		weich				<keine Angabe>
Carbonathärte	°dH	4,0	0,14			<keine Angabe>
Gesammineralisation (berechnet)	mg/l	133	10			<keine Angabe>
pH-Wert (berechnet)		7,98		6,5 - 9,5		<keine Angabe>
pH-Wert n. Carbonatsätt. (pHC)		8,21				<keine Angabe>
Sättigungs-pH (n.Langelier.pHL)		8,24				<keine Angabe>
Delta-pH-Wert: pH(ber.) - pHC		-0,23				<keine Angabe>
Sättigungsindex		-0,26				<keine Angabe>
Kohlenstoffdioxid, gelöst	mg/l	2				<keine Angabe>
Kohlenstoffdioxid, zugehörig	mg/l	0,49				<keine Angabe>
Calcitlösekapazität (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	2		5		DIN 38404-C10-3
Pufferungsintensität	mmol/l	0,11				<keine Angabe>
Kupferquotient S		15,90			>1,5 <sup>13)</sup>	DIN EN 12502
Lochkorrosionsquotient S1		0,18			<0,5 <sup>13)</sup>	DIN EN 12502
Zinkgerieselquotient S2		4,47			>3/<1 <sup>14)</sup>	DIN EN 12502

### Mikrobiologische Untersuchungen

Clostridium perfringens	KBE/100ml	0	0	0		TrinkwV 2001
Enterokokken	KBE/100ml	0	0	0		EN ISO 7899-2
Koloniezahl bei 20°C	KBE/1ml	0	0	100		TrinkwV 1990
Koloniezahl bei 36°C	KBE/1ml	0	0	100		TrinkwV 1990
Coliforme Keime	KBE/100ml	0	0	0		EN ISO 9308-1
E. coli	KBE/100ml	0	0	0		EN ISO 9308-1

1) geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zum höheren der beiden Werte außer Betracht

4) Am Wasserwerksausgang gilt ein Grenzwert von 0,1 mg/l.

12) Geforderter Bereich der DIN 50930 "Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer", Teil 6 "Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit"

13) Geforderter Bereich der DIN EN 12502 "Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen"

14) Nach DIN EN 12502 nur relevant, wenn Nitratgehalt > 0,3 mmol/l (entspr.ca.20 mg/l)



## Dr. Blasy - Dr. Busse

Niederlassung der AGROLAB-Labor GmbH, Bruckberg  
Moosstraße 6 a, 82279 Eching am Ammersee, Germany  
Tel.: +49 (08143) 7901, Fax: +49 (08143) 7214  
eMail: bbec@agrolab.de

Datum 14.06.2011  
Kundennr. 4100010341  
Seite 3 von 7

Auftragsnr. 341096 Analysennr. 749710

*TrinkwV: zulässiger Höchstwert / geforderter Bereich der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001*

*DIN 50930: geforderter Bereich der DIN 50930 "Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffengegenüber Wasser"*

*Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.*

*Das Zeichen "<...(NWG)" oder n.n. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Nachweisgrenze nicht nachzuweisen.*

### **Im Rahmen des Untersuchungsumfangs sind die geltenden Grenzwerte eingehalten.**

*Die Probenahme erfolgte gemäß der Norm: DIN 38402-A14:03-1986; DIN EN ISO 19458-K19:08-2006*

Dr. Blasy-Dr. Busse Dr. Timm Busse, Tel. 08143/79112  
Bereichsleitung Trinkwasser

Dieser elektronisch übermittelte Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

#### Verteiler

WASSERVERSORGUNG BAYERISCHER WALD

*Beginn der Prüfungen: 07.06.11*

*Ende der Prüfungen: 14.06.11*

*Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.*



## Dr. Blasy - Dr. Busse

Niederlassung der AGROLAB-Labor GmbH, Bruckberg  
Moosstraße 6 a, 82279 Eching am Ammersee, Germany  
Tel.: +49 (0)8143) 7901, Fax: +49 (08143) 7214  
eMail: bbec@agrolab.de

Dr. Blasy-Dr. Busse Moosstr. 6A, 82279 Eching

WASSERVERSORGUNG BAYERISCHER WALD  
PATER-FINK-STR. 8  
94469 DEGGENDORF

Datum 14.06.2011  
Kundennr. 4100010341  
Seite 4 von 7

## PRÜFBERICHT

### Auftragsnr. 341096

Analysennr. 749710 Trinkwasser  
Auftrag PU Flanitz / 1517  
Probeneingang 07.06.2011  
Probenahme 06.06.2011  
Probenehmer Günter Eiglmeier  
Kunden-Probenbezeichnung GE 396/11  
Uhrzeit Probenahme 11:05  
Zapfstelle nach Behälter  
Entnahmestelle ZV Z WV BAYERISCHER WALD (WBW)  
TWA Flanitz, Reinwasser  
Objektkennzahl 1230027100089

### Chemische Parameter der Anlage 2 Teil I und II TrinkwV (ohne Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte)

	Einheit	Ergebnis	Best.-Gr.	TrinkwV	DIN 50930 / EN 12502	Methode
<b>Anionen</b>						
Bromat (BrO <sub>3</sub> )	mg/l	<0,002 (NWG)	0,005	0,01		DIN EN ISO 15061 - D34
Cyanide, gesamt	mg/l	<0,005	0,005	0,05		DIN EN ISO 14403
Fluorid (F)	mg/l	0,03	0,02	1,5		DIN EN ISO 10304-1-D19
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	2,9	1	50		DIN EN ISO 13395 - D28
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	<0,02	0,02	0,5 <sup>4)</sup>		DIN EN ISO 13395 - D28
Nitrat/50 + Nitrit/3	mg/l	0,058		1		<keine Angabe>
<b>Anorganische Bestandteile</b>						
Antimon (Sb)	mg/l	<0,0005	0,0005	0,005		DIN EN ISO 17294-2 (E29)
Arsen (As)	mg/l	<0,001	0,001	0,01		DIN EN ISO 17294-2 (E29)
Blei (Pb)	mg/l	<0,001	0,001	0,025 <sup>2)</sup>		DIN EN ISO 17294-2 (E29)
Bor (B)	mg/l	<0,02	0,02	1		DIN EN ISO 11885-E22
Cadmium (Cd)	mg/l	<0,0005	0,0005	0,005		DIN EN ISO 11885-E22
Chrom (Cr)	mg/l	<0,005	0,005	0,05		DIN EN ISO 11885-E22
Kupfer (Cu)	mg/l	<0,005	0,005	2 <sup>3)</sup>		DIN EN ISO 11885-E22
Nickel (Ni)	mg/l	<0,002	0,002	0,02 <sup>3)</sup>		DIN EN ISO 17294-2 (E29)
Quecksilber (Hg)	mg/l	<0,0002	0,0002	0,001		DIN EN 1483-E12-4
Selen (Se)	mg/l	<0,0005	0,0005	0,01		DIN 38405-D23-2
<b>Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe</b>						
Trichlormethan	mg/l	0,0029	0,0001			DIN EN ISO 10301-F4-2
Bromdichlormethan	mg/l	<0,0002	0,0002			DIN EN ISO 10301-F4-2
Dibromchlormethan	mg/l	<0,0002	0,0002			DIN EN ISO 10301-F4-2
Tribrommethan	mg/l	<0,0003	0,0003			DIN EN ISO 10301-F4-2



**Dr. Blasy - Dr. Busse**

Niederlassung der AGROLAB-Labor GmbH, Bruckberg  
Moosstraße 6 a, 82279 Eching am Ammersee, Germany  
Tel.: +49 (08143) 7901, Fax: +49 (08143) 7214  
eMail: bbec@agrolab.de

Datum 14.06.2011  
Kundennr. 4100010341  
Seite 5 von 7

Auftragsnr. 341096 Analysennr. 749710

	Einheit	Ergebnis	Best.-Gr.	TrinkwV	DIN 50930 / EN 12502	Methode
<b>Summe THM (Einzelstoffe)</b>	mg/l	<b>0,0029</b>		0,05 <sup>5)</sup>		<keine Angabe>
Trichlorethen	mg/l	<0,0002	0,0002	0,01		DIN EN ISO 10301-F4-2
Tetrachlorethen	mg/l	<0,0002	0,0002	0,01		DIN EN ISO 10301-F4-2
Tetrachlorethen und Trichlorethen	mg/l	0	0,0004	0,01		<keine Angabe>
1,2-Dichlorethan	mg/l	<0,0005	0,0005	0,003		DIN EN ISO 10301-F4-2
<b>BTEX-Aromaten</b>						
Benzol	mg/l	<0,0001	0,0001	0,001		DIN 38407-F9-1
<b>Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)</b>						
Benzo(b)fluoranthen	mg/l	<0,000002	0,000002			DIN 38407-F8
Benzo(k)fluoranthen	mg/l	<0,000002	0,000002			DIN 38407-F8
Benzo(ghi)perylen	mg/l	<0,000002	0,000002			DIN 38407-F8
Indeno(123-cd)pyren	mg/l	<0,000002	0,000002			DIN 38407-F8
<b>PAK-Summe (TrinkwV 2001)</b>	mg/l	0		0,0001		EN ISO 17993 (F18)
Benzo(a)pyren	mg/l	<0,000002	0,000002	0,00001		DIN 38407-F8

- 2) Der Grenzwert für Blei wird bis 2013 stufenweise auf 0,01 mg/l abgesenkt. Im Zeitraum 01.12.03 bis 30.11.13 gilt ein Grenzwert von 0,025 mg/l. Grundlage für den Grenzwert ist eine für die wöchentliche Wasseraufnahme durch den Verbraucher repräsentative Probe.  
3) Grundlage für den Grenzwert ist eine für die wöchentliche Wasseraufnahme durch den Verbraucher repräsentative Probe.  
4) Am Wasserwerksausgang gilt ein Grenzwert von 0,1 mg/l.  
5) Werden am Wasserwerksausgang 0,01 mg/l eingehalten, erübrigt sich die Überprüfung im Versorgungsnetz.  
TrinkwV: zulässiger Höchstwert / geforderter Bereich der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001  
DIN 50930: geforderter Bereich der DIN 50930 "Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffgegenüber Wasser"  
Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.  
Das Zeichen "<...(NWG)" oder n.n. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Nachweisgrenze nicht nachzuweisen.

**Im Rahmen des Untersuchungsumfangs sind die geltenden Grenzwerte eingehalten.**

**Hinweis zu den Berechnungsparametern Nitrat/50 + Nitrit/3, Tetrachlorethen+Trichlorethen, Summe THM, PAK-Summe:**

Zur Berechnung werden nur die tatsächlich gemessenen Werte verwendet. Einzelwerte, die kleiner als die Bestimmungsgrenze sind, werden gleich 0 gesetzt.

Die Probenahme erfolgte gemäß der Norm: DIN 38402-A14:03-1986; DIN EN ISO 19458-K19:08-2006

Dr. Blasy-Dr. Busse Dr. Timm Busse, Tel. 08143/79112  
Bereichsleitung Trinkwasser

Dieser elektronisch übermittelte Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Verteiler

WASSERVERSORGUNG BAYERISCHER WALD

Beginn der Prüfungen: 07.06.11  
Ende der Prüfungen: 14.06.11

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.





## Dr. Blasy - Dr. Busse

Niederlassung der AGROLAB-Labor GmbH, Bruckberg  
Moosstraße 6 a, 82279 Eching am Ammersee, Germany  
Tel.: +49 (08143) 7901, Fax: +49 (08143) 7214  
eMail: bbec@agrolab.de

Dr. Blasy-Dr. Busse Moosstr. 6A, 82279 Eching

WASSERVERSORGUNG BAYERISCHER WALD  
PATER-FINK-STR. 8  
94469 DEGGENDORF

Datum 14.06.2011  
Kundenr. 4100010341  
Seite 6 von 7

## PRÜFBERICHT

### Auftragsnr. 341096

Analysennr. 749710 Trinkwasser  
Auftrag PU Flanitz / 1517  
Probeneingang 07.06.2011  
Probenahme 06.06.2011  
Probenehmer Günter Eiglmeier  
Kunden-Probenbezeichnung GE 396/11  
Uhrzeit Probenahme 11:05  
Zapfstelle nach Behälter  
Entnahmestelle ZV Z WV BAYERISCHER WALD (WBW)  
TWA Flanitz, Reinwasser  
Objektkennzahl 1230027100089

### Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (PSM, Anlage 2 Teil I Nr. 10 TrinkwV)

	Einheit	Ergebnis	Best.-Gr.	TrinkwV	DIN 50930 /	
					EN 12502	Methode
<b>Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSM)</b>						
Atrazin	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Bentazon	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Desethylatrazin	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Desethylterbuthylazin	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Desisopropylatrazin	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Dichlorprop (2,4-DP)	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Diuron	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoptroturon	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Mecoprop (MCP)	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Metazachlor	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Simazin	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Terbuthylazin	mg/l	<0,00003 (NWG)	0,00005	0,0001		EN ISO 11369 (F12) LC/MS
<b>PSM-Summe</b>	mg/l	<b>0</b>	<b>0,00005</b>	<b>0,0005</b>		<keine Angabe>

TrinkwV: zulässiger Höchstwert / geforderter Bereich der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001

DIN 50930: geforderter Bereich der DIN 50930 "Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffgegenüber Wasser"

Erläuterung: Das Zeichen "<" oder n.b. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar.

Das Zeichen "<...(NWG)" oder n.n. in der Spalte Ergebnis bedeutet, der betreffende Stoff ist bei nebenstehender Nachweisgrenze nicht nachzuweisen.

**Im Rahmen des Untersuchungsumfangs sind die geltenden Grenzwerte eingehalten.**

Hinweis zu Desisopropylatrazin:

= Desethylsimazin (=Atrazin-desisopropyl)



## Dr. Blasy - Dr. Busse

Niederlassung der AGROLAB-Labor GmbH, Bruckberg  
Moosstraße 6 a, 82279 Eching am Ammersee, Germany  
Tel.: +49 (08143) 7901, Fax: +49 (08143) 7214  
eMail: bbec@agrolab.de

Datum 14.06.2011  
Kundennr. 4100010341  
Seite 7 von 7

Auftragsnr. 341096 Analysennr. 749710

### Hinweis zu PSM-Summe:

Zur Berechnung werden nur die tatsächlich gemessenen Werte verwendet. Einzelwerte, die kleiner als die Bestimmungsgrenze sind, werden gleich 0 gesetzt.

Die Probenahme erfolgte gemäß der Norm: DIN 38402-A14:03-1986; DIN EN ISO 19458-K19:08-2006

Dr. Blasy-Dr. Busse Dr. Timm Busse, Tel. 08143/79112  
Bereichsleitung Trinkwasser

Dieser elektronisch übermittelte Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

### Verteiler

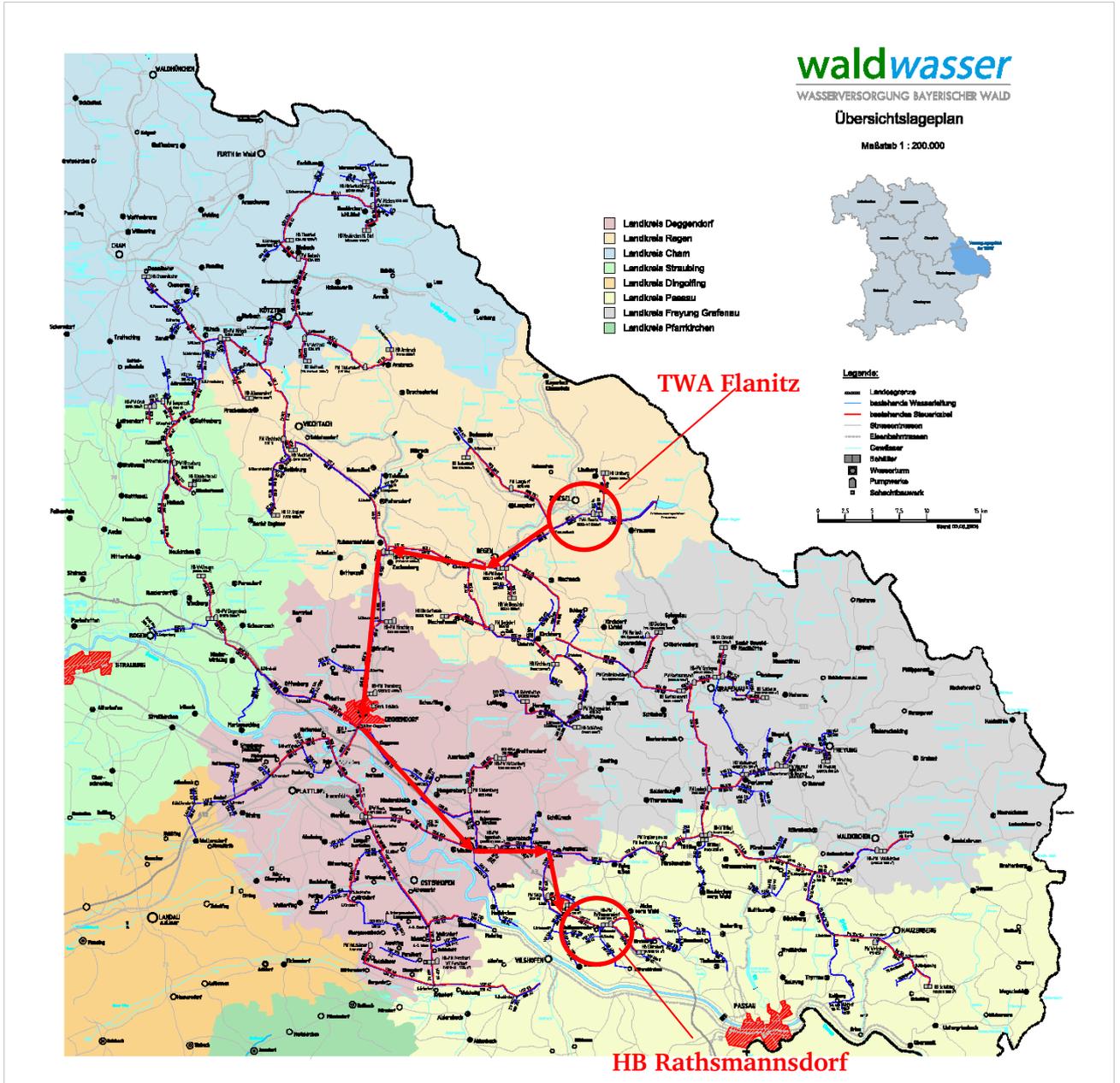
WASSERVERSORGUNG BAYERISCHER WALD

Beginn der Prüfungen: 07.06.11

Ende der Prüfungen: 14.06.11

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

# Anhang E: Übersichtslageplan des Versorgungsgebietes der WBW mit Darstellung des Fließweges zum HB Rathsmannsdorf



---

## Literaturverzeichnis

---

- [1] American Water Works Association Research Foundation, DVGW-Technologiezentrum Wasser: *Internal Corrosion of Water Distribution Systems, Second Edition*; Denver, 1996; [http://collab.awwarf.org/awwarf\\_collab/groups/public/documents/project/056259.pdf](http://collab.awwarf.org/awwarf_collab/groups/public/documents/project/056259.pdf); (21.12.2011).
- [2] ATT, BDEW, DBVW, DVGW, DWA, VKU: *Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2011*; Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH; Bonn, 2011; <http://www.dvgw.de/wasser/organisation-management/branchenbild/>; (21.12.2011).
- [3] Aitchison, Robert: *Defending World Security*; EADS Defense and Security; WCEC4; Mülheim an der Ruhr, 11.10.2010
- [4] Allgeier, Steven C.: *Optimizing the Performance of a Drinking Water Contamination Warning System*; WCEC4; Mülheim an der Ruhr, 12.12.2010.
- [5] Battelle: *Environmental Technology Verification Report*; Columbus, Oktober 2005; <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100D0OX.PDF>; (21.12.2011).
- [6] Battelle: *Generetic Verification Protocol for Long-Term Deployment of Multi-Parameter Water Quality Probes/Sondes*; Columbus, Juli 2002; [http://www.epa.gov/etv/pubs/01\\_vp\\_probes.pdf](http://www.epa.gov/etv/pubs/01_vp_probes.pdf); (21.12.2011).
- [7] Battelle: *Test/QA Plan for Verification of Multi-Parameter Water Monitors for Distribution Systems*; Columbus, 02.08.2004; [http://www.epa.gov/etv/pubs/01\\_tp\\_monitors.pdf](http://www.epa.gov/etv/pubs/01_tp_monitors.pdf); (21.12.2011).
- [8] bbe moldaenke GmbH: *IT SEES, Signal Event Evaluation Software, Multi-Parameter Event Analyser and Detector, User Guide*; April, 2011.
- [9] Bezirksregierung Köln: *Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001*; 21.05.2001; [http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk\\_internet/organisation/abteilung05/dezernat\\_54/wasserversorgung/trinkwv.pdf](http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung05/dezernat_54/wasserversorgung/trinkwv.pdf); (21.12.2011).
- [10] Block, J. C.: *Water Contamination Emergencies IV – monitoring, understanding, acting – Summary on Acting*; WCEC4; Mülheim an der Ruhr, Oktober 2010.
- [11] Boozapour, Manouchehr: *Developing a Consumer Complaint Surveillance for Water Contamination Detection*; WCEC4; Mülheim an der Ruhr, 13.10.2010.
- [12] Brashear, Kimberlie; Robinson, David; Welch, Mia; Uber, Jim: *A Tale of two Seasons: Distribution Modeling for Online Water Quality Monitoring Site Selection – A Seasonal Approach*; Dallas; <http://www.tawwa.org/TW11Paper/1024.pdf>; (21.12.2011)
- [13] Brooks, Tim: *Some examples of the operation and benefits of the UK water laboratories' mutual aid scheme with particular reference to rapid radioactivity screening*; WCEC4; Mülheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [14] Bundesgesetzblatt: *Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung*; Bundesanzeiger Verlag; Bonn, 11.05.2011; <http://www.waterquality.de/elisabeth.willmitzer/twvo.pdf>; (21.12.2011)
- [15] Bundesministerium für Gesundheit: *Mehr Verbraucherschutz durch Änderung der Trinkwasserverordnung*, Pressemitteilung; Berlin, 11.05.2011, [http://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/dateien/Pressemitteilungen/2011/2011\\_2/11-05-11-22\\_PM\\_Verbraucherschutz\\_Trinkwasserverordnung.pdf](http://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/dateien/Pressemitteilungen/2011/2011_2/11-05-11-22_PM_Verbraucherschutz_Trinkwasserverordnung.pdf); (21.12.2011).

- 
- [16] Castell-Exner, Claudia; Zenz, Thomas: *Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – die neuen DVGW-Hinweise W 1001 und W 1002*; in bbr 04/2009, S. 54 – 57; [http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/gas/organisation/bbr\\_0409\\_54\\_57\\_castell\\_exner.pdf](http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/gas/organisation/bbr_0409_54_57_castell_exner.pdf); (21.12.2011).
- [17] CAL GmbH & Co. KG: *Ergebnisse der Untersuchungen nach der TrinkwV vom 21.05.2001*; Untersuchungsbericht vom 11.11.2010 an die Stadtwerke Groß Umstadt.
- [18] Deutsches Ärzteblatt: *E. coli O15:H7: Herz- und Nierenschäden als Spätfolge*; 19.11.2010; <http://www.aerzteblatt.de/v4/news/news.asp?id=43585>; (21.12.2011).
- [19] Dr. Blasy – Dr. Busse: *Prüfbericht TWA Flanitz, Reinwasser, nach Behälter*; Eching, 14.06.2011.
- [20] DVGW e. V.: *Die neuen WHO-Richtlinien zur Trinkwasserqualität*; DVGW Jahresrevue in energie wasser-praxis 12/2004; [http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/organisation/sicherheit/09\\_EWP\\_12\\_2004.pdf](http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/organisation/sicherheit/09_EWP_12_2004.pdf), 19.04.2010; (21.12.2011).
- [21] DVGW e. V.: *Sicherheit in der Wasserversorgung – Fragen und Antworten*; <http://www.dvgw.de/wasser/organisation-management/sicherheit-in-der-wasserversorgung/fragen-und-antworten/>; (21.12.2011).
- [22] Endress + Hauser: *Technische Information Ceragel CPS71 und CPS71D, pH-Elektroden, analog und digital mit Memosens-Technologie für Prozesstechnik, Hygiene- und Sterilanwendungen, mit Doppelkammer-Referenzsystem und integriertem Brückenelektrolyt, optional mit integriertem Temperatursensor*; Oktober 2005; <https://portal.endress.com/wa001/dla/50000001299/000/01/TI245CDE.pdf>; (21.12.2011).
- [23] Endress + Hauser: *Technische Information Chloromax CCS142D, Digitaler Sensor mit Memosens-Technologie zur Bestimmung freien Chlors*; Mai 2009; <https://portal.endress.com/wa001/dla/50002219930/000/02/TI419CAE.pdf>; (21.12.2011).
- [24] Endress + Hauser: *Technische Information Condumax CLS21 und CLS21D, Leitfähigkeitssensoren, analog oder digital mit Memosens-Technologie, Zellkonstante  $k = 1 \text{ cm}^{-1}$* ; November 2009; <https://portal.endress.com/wa001/dla/50001537657/000/01/TI085CAE.pdf>; (21.12.2011).
- [25] Endress + Hauser: *Technische Information Liquiline CM442, Multiparameter-Controller mit zwei Messkanälen basierend auf digitaler Memosens Technologie*; Dezember 2010; [https://portal.endress.com/wa001/dla/50002994130/000/01/TI444CDE\\_1310.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/50002994130/000/01/TI444CDE_1310.pdf); (21.12.2011).
- [26] Endress + Hauser: *Technische Information Orbipore CPS92/CPS92D, Redox-Elektroden, analog oder mit digitaler Memosens-Technologie, mit Lochdiaphragma für stark verschmutzende Medien*; März 2009; [https://portal.endress.com/wa001/dla/50002540943/000/00/TI435CDE\\_0309.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/50002540943/000/00/TI435CDE_0309.pdf); (21.12.2011).
- [27] Endress + Hauser: *Technische Information Proline Promag 10H, Magnetisch-induktives Durchfluss-Messsystem, Durchflussmengenmessung von Flüssigkeiten in Hygiene-, Lebensmittel- oder Prozessapplikationen*; Juni 2005; <https://portal.endress.com/wa001/dla/50000000582/000/01/TI095DDE.pdf>; (21.12.2011).

- 
- [28] Endress + Hauser: *Technische Information Turbimax CUS51D, Trübungs- und Feststoffgehaltssensor, Einbau- und Eintauchsensor für niedrige, mittlere und hohe Trübung und Feststoffkonzentrationen*; April 2011; [https://portal.endress.com/wa001/dla/50003213681/000/01/TI461CDE\\_1311.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/50003213681/000/01/TI461CDE_1311.pdf); (21.12.2011).
- [29] EUR-Lex: *Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch*; 05.12.1998; <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:330:0032:0054:DE:PDF>; (21.12.2011).
- [30] Federation of Canadian Municipalities and National Research Council: *Monitoring Water Quality in the Distribution System, A Best Practice By The National Guide To Sustainable Municipal Infrastructure*; November 2004; [http://www.fcm.ca/Documents/reports/Infraguide/Monitoring\\_Water\\_Quality\\_in\\_the\\_Distribution\\_System\\_EN.pdf](http://www.fcm.ca/Documents/reports/Infraguide/Monitoring_Water_Quality_in_the_Distribution_System_EN.pdf); (21.12.2011).
- [31] Fettig, Joachim; Steinert, Claudia: *Huminstoffe und Trinkwasser – ein kleiner Ausschnitt aus dem globalen Kohlenstoffkreislauf*; Hochschule Ostwestfalen-Lippe, 20.07.2011; [http://www.hs-owl.de/fb8/fileadmin/download\\_verzeichnis/wassertechnologie/Huminstoffe.pdf](http://www.hs-owl.de/fb8/fileadmin/download_verzeichnis/wassertechnologie/Huminstoffe.pdf); (21.12.2011).
- [32] GeoDataZone: *Huminstoffe*; <http://www.geodz.com/deu/d/Huminstoffe>; (21.12.2011).
- [33] Hach Company: *GuardianBlue™, Early Warning System, The first and only Early Warning System for Drinking Water, Certified by the Department of Homeland Security*; Loveland, 2007; <http://www.hach.com/asset-get.download-en.jsa?id=7639982036>; (21.12.2011)
- [34] Hall, John et al.: *On-line Water Quality Parameters as Indicators of Distribution System Contamination*; Cincinnati, 27.10.2005; [http://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?dirEntryId=143147&fed\\_org\\_id=1253&address=nhsr/&view=desc&sortBy=pubDateYear&showCriteria=1&count=25&searchall=%27%27event%20detection%27](http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=143147&fed_org_id=1253&address=nhsr/&view=desc&sortBy=pubDateYear&showCriteria=1&count=25&searchall=%27%27event%20detection%27); (21.12.2011).
- [35] Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg: *Entwicklung von Alarmkriterien und Störfallerfassung in Messstationen im Elbeinzugsgebiet für die internationale Gefahrenabwehrplanung (EASE)*; Hamburg, 01.06.2004; <http://www.umweltbundesamt.de/nachhaltige-produktion-anlagensicherheit/anlagen/EASE/index.htm>; (21.12.2011).
- [36] Juhna, T.: *Decontamination procedures of water distribution systems*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [37] Keevil, Bill: *Understanding: Radip confirmation of microbiological alerts using off-line molecular methods*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [38] Kroll, Dan: *Is it Real Or Isn't It? Adressing Early Warning System Alarms*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [39] Lange, Marco; Pilz, Norbert: *Selection and Priorization of Substances Relevant for Intentional Drinking Water Contamination*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [40] Lemus, Robert et al.: *Fast-Track Implementation of an Enhanced Distribution System On-line Water Quality Monitoring Program*; Arlington; [http://www.tawwa.org/TW11Paper/TW2011\\_Fast-Track%20Implementation%20of%20Enhanced%20Dist%20System%20OWQM%20Program.pdf](http://www.tawwa.org/TW11Paper/TW2011_Fast-Track%20Implementation%20of%20Enhanced%20Dist%20System%20OWQM%20Program.pdf); (21.12.2011).
- [41] López, Ramon: *Validation of a Water Quality Monitoring Platform in Barcelona DWTP*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 11.10.2010.

- 
- [42] May, Barry: *Potable water contamination emergency: the analytical challenge*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [43] McGuinness, Margaret: *Communicating with the public about risk*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [44] Melo, Luis: *Modeling Contaminant Accumulation*; Faculty of Engineering University of Porto; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [45] Merkel, Wolf; Staben, Nadine; Mälzer, Hans-Joachim: *Technisches Risikomanagement nach dem Konzept der Water Safety Plans: ein Nutzen für deutsche Wasserversorger?*; Mühlheim an der Ruhr, 28.04.2010; [http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/organisation/sicherheit/16\\_IWW\\_Essener\\_Tagung.pdf](http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/organisation/sicherheit/16_IWW_Essener_Tagung.pdf); (21.12.2011).
- [46] Merkel, Wolfgang: *Einführung in die Wasserversorgung*; 4. Auflage; Wiesbaden, 2009.
- [47] Miettinen, Ilkka: *A Scandinavian emergency for drinking water network contamination: the Nokia case*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 13.10.2010.
- [48] Monsorez, Albin: *Online chemical Sensors for an Early Warning System*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 11.10.2010.
- [49] Moore, Joanne: *Monitoring Water Quality in the Distribution System*; Clean and Safe Drinking Water Workshop; Gander, Neufundland, 21.09. – 23.09.2004.
- [50] Murray, Virginia: *English drinking water safety: guidance to health and water professionals – and other health protection issues concerning water safety*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 15.10.2010.
- [51] O'Halloran, Roger; Fogelman, Shoshana; Zhao, Huijun: *Current Online Water Quality Monitoring Methods and Their Suitability for the Western Corridor Purified Recycled Water Scheme*, Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 10; City East, Oktober 2009; <http://www.urbanwateralliance.org.au/publications/UWSRA-tr10.pdf>; (21.1.2011).
- [52] s-can Messtechnik GmbH: *moni::tool<sup>TM</sup>*, *A true software revolution that will change the face of water monitoring*; Wien; [http://www.s-can.at/medialibrary/pdf/folder\\_monitool\\_web.pdf](http://www.s-can.at/medialibrary/pdf/folder_monitool_web.pdf); (21.12.2011).
- [53] s-can Messtechnik GmbH: *vali::tool<sup>TM</sup>*, *ana::tool<sup>TM</sup>*, *A true software revolution that will change the face of water monitoring*; Wien; [http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/vali\\_tool.pdf](http://www.s-can.at/medialibrary/datasheets/vali_tool.pdf); (21.12.2011).
- [54] sachsen.de: *Überwachung der Trinkwasserqualität*; <http://www.gesunde.sachsen.de/5260.html>; (21.12.2011).
- [55] Salomons, Elad: *Bluebox Event Detection System – under the hood*; Israel, 08.08.2009; <http://www.water-simulation.com/wsp/2009/08/08/bluebox-event-detection-system-under-the-hood/>; (21.12.2011)
- [56] Schmidt, Thorsten C.: *Water Contamination Emergencies IV*; Mühlheim an der Ruhr, 13.10.2010.
- [57] Schmoll, Oliver: *Der WHO-Water Safety Plan – ein Konzept für Deutschland?*; Berlin, 2006; [http://www.wat-dvgw.de/fileadmin/wat/PDF\\_Vortragsarchiv\\_2006/schmoll\\_v06.pdf](http://www.wat-dvgw.de/fileadmin/wat/PDF_Vortragsarchiv_2006/schmoll_v06.pdf); (21.12.2011).
- [58] SecurEau Drinking Water Project; <http://www.secureau.eu/index.php?id=3>; Oktober 2011; (21.12.2011).

- 
- [59] Sigle, Martin: *The Lake Constance Emergency – A case study*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 13.10.2010.
- [60] Silcock, Keith: *The need for a joined up approach to the provision, management, security & delivery of Alternative Drinking Water Supplies*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010.
- [61] Stadt Oberhausen: *Informationen zur neuen Trinkwasserverordnung vom 21.05.2001*; <http://www.oberhausen.de/downloads/Trinkwasser.pdf>; (21.12.2011).
- [62] Thompson, Clive K.: *Summary of Understanding Session*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 13.10.2010.
- [63] Thompson, Ken: *Using Online Water Quality Monitoring to Understand Distribution Systems and Improve Security*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, Oktober 2010.
- [64] United States General Accounting Office: *Drinking Water, Experts' Views on How Future Federal Funding Can Best Be Spent to Improve Security*; Oktober 2003; <http://www.gao.gov/new.items/d0429.pdf>; (21.12.2011).
- [65] US-EPA: *Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results – A Guide for Sensor Manufacturers and Water Utilities*; Cincinnati, Oktober 2009; [http://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?address=nhsrc/&dirEntryId=212368](http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?address=nhsrc/&dirEntryId=212368); (31.12.2011).
- [66] US-EPA: *Overview of Event Detection Systems for WaterSentinel, Draft, Version 1.0*; Washington, 12.12.2005; [http://www.epa.gov/watersecurity/pubs/watersentinel\\_event\\_detection.pdf](http://www.epa.gov/watersecurity/pubs/watersentinel_event_detection.pdf); (21.12.2011).
- [67] US-EPA: *Sensor Network Design for Drinking Water Contamination Warning Systems: A Compendium of Research Results and Case Studies using the TEVA-SPOT Software*; Cincinnati, April 2010; [http://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?address=nhsrc/&dirEntryId=215992](http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?address=nhsrc/&dirEntryId=215992); (21.12.2011)
- [68] US-EPA: *User's Manual for CANARY, Version 4.3*; Cincinnati, September 2010; [http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p\\_download\\_id=500753](http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=500753); (21.12.2011).
- [69] US-EPA: *Water Quality Event Detection Systems for Drinking Water Contamination Warning Systems – Development, Testing, and Application of CANARY*; Cincinnati, Mai 2010; [http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p\\_download\\_id=496189](http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=496189); (21.12.2011).
- [70] US-EPA: *WaterSentinel Online Water Quality Monitoring as an Indicator of Drinking Water Contamination – Draft, Version 1.0*; Cincinnati, 12.12.2005; [http://www.epa.gov/watersecurity/pubs/watersentinel\\_wq\\_monitoring.pdf](http://www.epa.gov/watersecurity/pubs/watersentinel_wq_monitoring.pdf); (21.12.2011).
- [71] US-EPA: *Water Sentinel System Architecture – Draft, Version 1.0*; Cincinnati, 12.12.2005; [http://epa.gov/watersecurity/pubs/watersentinel\\_system\\_architecture.pdf](http://epa.gov/watersecurity/pubs/watersentinel_system_architecture.pdf); (21.12.2011).
- [72] Van den Broeke, Joep: *Clean Data and Reliable Event Detection, Turning results from on-line sensors into Information*; WCEC 4; Mühlheim an der Ruhr, 12.10.2010; [http://www.s-can.at/medialibrary/pdf/folder\\_monitool\\_web.pdf](http://www.s-can.at/medialibrary/pdf/folder_monitool_web.pdf); (21.12.2011).
- [73] Villessot, Daniel: *Why do water companies need to tackle the health threats arising from drinking water supplies?*; WCEC4; Mühlheim an der Ruhr, 13.10.2010.

- 
- [74] Wasserversorgung Bayerischer Wald: *Ideen für die Entwicklung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Lebensressource Wasser im ostbayerischen Raum*; Deggendorf, 20.12.2010.
- [75] WhiteWater Security Ltd.: *BlueBox™, The Intelligent Event Detection System (EDS)*; Israel, 28.07.2011; [http://watersecurity.com/pdf/Brochure\\_BBX\\_July%2028%202011\\_NDM.pdf](http://watersecurity.com/pdf/Brochure_BBX_July%2028%202011_NDM.pdf); (21.12.2011).
- [76] WhiteWater Security Ltd.: *WaterWall™, Water Situation Management System*; Israel, 28.07.2011; [http://watersecurity.com/pdf/Brochure\\_WW\\_July%2028%202011\\_NDM.pdf](http://watersecurity.com/pdf/Brochure_WW_July%2028%202011_NDM.pdf); (21.12.2011).
- [77] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e. V. (ZVEI): *Integrierte Technologie-Roadmap Automation 2020+ Wasser und Abwasser*; Frankfurt, September 2009.

---

---

## **Erklärung zur Masterthesis gemäß § 23, Abs. 7 APG**

---

Hiermit versichere ich, die vorliegende Masterthesis ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den 12. Januar 2012

---

Tobias Kröger