

Wasser



Fachbeiträge des Landesumweltamtes

Heft Nr. 111

## **Automatisches Gewässergütemessnetz im Land Brandenburg**

Messstationen zur Gewässergüte-  
überwachung und Gefahrenabwehr  
an Oder, Elbe und Havel

Bericht 2009



## **Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Heft Nr. 111**

### **Automatisches Gewässergütemessnetz im Land Brandenburg**

Messstationen zur Gewässergüteüberwachung und Gefahrenabwehr an Oder, Elbe und Havel – Bericht 2009

**Herausgeber:**

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)

Seeburger Chaussee 2

OT Groß Glienicke

14476 Potsdam

Tel.: 033201-442 171

Fax: 033201-43678

**Internet:** <http://www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/lbm1.c.366104.de>

<http://www.mluv.brandenburg.de/info/lua-publikationen>

**Bestelladresse:** [info@lua.brandenburg.de](mailto:info@lua.brandenburg.de)

**Bearbeitung:**

LUA, Referat T2 Klimaschutz, Umweltbeobachtung und -toxikologie

Frank-Holger Ulrich, Tel.-Nr.: 033201-442 601, E-Mail: [Frank-Holger.Ulrich@lua.brandenburg.de](mailto:Frank-Holger.Ulrich@lua.brandenburg.de)

**Druck, Internetpublizierung:**

LUA, Ref. S5 Umweltinformation, Öffentlichkeitsarbeit

Potsdam, im Juni 2009

Die Veröffentlichung erfolgt im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Dritten zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

# Inhaltsverzeichnis

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Einleitung und Zielstellung</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Einordnung automatischer Gewässermessnetze im internationalen Recht</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1       | Wasserrahmenrichtlinie, 2000/60/EG und automatische Messstationen   | 5         |
| <b>3.</b> | <b>Aufbau und Struktur des Gewässergütemessnetzes</b>   | <b>5</b>  |
| 3.1       | Das „manuelle“ Messnetz Gewässergüte  | 5         |
| 3.2       | Gewässergüte-Messstationen  | 6         |
| 3.2.1     | Allgemeiner technischer Aufbau einer Messstation  | 6         |
| 3.2.2     | Biomonitore – eine neue Qualität der Gewässerüberwachung  | 9         |
| 3.2.3     | Standorte des automatischen Gewässergüte-Messstationen-Messnetzes des Landes Brandenburg im Einzugsgebiet der Elbe und Oder | 13        |
| <b>4</b>  | <b>Auswertung der Daten der Messstationen im Zeitraum 1990 – 2003</b>   | <b>18</b> |
| 4.1       | Kleiner Exkurs in die Wasserbeschaffenheit eines Fließgewässers   | 19        |
| 4.2       | Erläuterung zur statistischen Auswertung der Stationsdaten  | 20        |
| 4.3       | Eine Auswertung ausgewählter Ereignisse und Messstationsparameter der Wasserbeschaffenheit                                  | 21        |
| 4.3.1     | Auswertung der Messstationsparameter in Hochwassersituationen an Oder und Elbe  | 21        |
| 4.3.2     | Eine Langzeitbetrachtung des Messstationsparameters Sauerstoff Messstation Teltowkanal                                      | 27        |
| <b>5</b>  | <b>Zusammenfassung</b>  | <b>29</b> |
| <b>6</b>  | <b>Literaturverzeichnis und Anlagen</b>   | <b>30</b> |

# 1 Einleitung und Zielstellung

Gewässer sind ein wesentlicher Bestandteil einer intakten Umwelt. Deshalb muss die Wasserbeschaffenheit der Fließgewässer in Brandenburg an signifikanten Stellen lückenlos überwacht werden. Dies ist um so wichtiger, da unsere Umweltkompartimente bezüglich ihrer Schadstoffaufnahme und -verträglichkeit an den Grenzen der Leistungsfähigkeit angekommen sind, ja diese teilweise überschritten haben. Obwohl auf Grund restriktiver Gewässerschutzmaßnahmen in den letzten Jahren die Konzentration an Schadstoffen in Elbe und Oder einen Rückgang verzeichnet, besteht dennoch in zunehmendem Maße die Gefahr einer Umweltkatastrophe durch Unfall/Havarie oder vorsätzlich herbeigeführter Schadstofffreisetzung in einem der großen Flussgebiete Europas.

Bei der Analyse einzelner Inhaltstoffe und der Aufzeichnung von Stoffkonzentrationen im Fluss als Transportmedium spielen automatische Gewässergüte-Messstationen eine wichtige Rolle. Nicht nur die Erfassung und Aufzeichnung ist Aufgabe einer Messstation, sondern die lückenlose 24-h Überwachungsfunktion sichert, dass die Nutzer eines Gewässers (angefangen von Kläranlageneinleitungen bis zur Nutzung als Transportweg) entsprechende gesetzlich vorgegebene Spielregeln einhalten. Infolge des heutigen Automatisierungsgrades derartiger Stationen kann nicht nur eine Aufzeichnung von Beschaffenheitsereignissen erfolgen, separat findet eine Bewertung der Messdaten und gegebenenfalls eine Alarmauslösung bzw. Information entsprechender Stellen statt.

Die Zielstellung dieser Arbeit besteht in der Darstellung des Automatischen Gewässergüte-Messnetzes im Land Brandenburg, deren Relevanz im internationalen Regelwerk zur Gewässergüteverbesserung und Gefahrenabwehr, einer Weitergabe von Erfahrungen und Erkenntnissen, die mit dem kontinuierlich andauernden Betrieb dieser Anlagen gewonnen wurden, sowie einer an Beispielen erfolgenden Auswertung des erheblichen Datenpools dieser Stationen.

## 2 Einordnung automatischer Gewässermessnetze im internationalen Recht [aus EASE Kap.5]

Ein wesentlicher Teil des in Deutschland durchgeführten Gewässermonitorings dient auch der Umsetzung von Vorgaben der EU, z.B. der Richtlinien

- 76/160/EWG [„Badegewässer-RL“, 9],
- 75/440/EWG [Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser, 10],
- 86/574/EWG [Informationsaustausch zur Oberflächenwasserqualität, 11]
- 78/659/EWG [„Fischgewässer-RL“, 12],
- 91/676/EWG [„Nitrat-RL“, 13],
- 76/464/EWG (Gewässerverschmutzung durch gefährliche Stoffe, [14]) und
- deren Tochterrichtlinien, wobei als umfassender Rahmen die Richtlinie 2000/60/EG (Wasserahmenrichtlinie [2]) verabschiedet wurde, die den europäischen Gewässerschutz neu ordnet.

Die Vorteile einer automatisierten kontinuierlichen Überwachung mit intelligenter Störfallerkennung und Alarmierung kommen besonders auch bei der Umsetzung einer weiteren EU-Richtlinie, der sogenannten „Seveso-II-Richtlinie“ [3], zur Geltung, deren Ziel nicht allein der Gewässerschutz ist, sondern die Vermeidung von und das Management bei Unfällen mit gefährlichen Stoffen.

Darüber hinaus bestehen Verpflichtungen zur Gewässerüberwachung aus internationalen Vereinbarungen und Übereinkommen (z.B. HELCOM [16], PARCOM [17], IKSE [18], IKSR [19], IKSMS [20], DK Rhein [21], Donaumessprogramm [22]), „UN/ECE Gewässer“ [5], „UN/ECE Unfall“ [4].

Die Vielfalt dieser Regelungen und Übereinkünfte ist der Einsicht geschuldet, dass Gewässerschutz in einem länderübergreifenden Einzugsgebiet durch einzelstaatliche Maßnahmen nicht erfolgreich geleistet werden kann.

## 2.1 Wasserrahmenrichtlinie, 2000/60/EG und automatische Messstationen

Insbesondere zur Früherkennung und Frühwarnung ist der Einsatz von kontinuierlichen Messverfahren nach Artikel 11 der WRRL [2] empfehlenswert. Die Nutzung kontinuierlicher Messverfahren sollte deshalb gefestigt, der Betrieb vereinheitlicht und die Einbindung in Warn- und Alarmsysteme intensiviert werden [23].

Der Artikel 11 der WRRL verpflichtet die Mitgliedsstaaten zu Maßnahmenprogrammen, zu denen als „grundlegende“ Maßnahmen die zu erfüllenden Mindestanforderungen gehören.

Dazu sind unter I) aufgeführt: „...alle erforderlichen Maßnahmen, **um Freisetzungen von signifikanten Mengen an Schadstoffen aus technischen Anlagen zu verhindern** und den Folgen unerwarteter Verschmutzungen ... vorzubeugen und/oder diese zu mindern, auch mit Hilfe von Systemen zur frühzeitigen Entdeckung derartiger Vorkommnisse oder zur Frühwarnung ... unter Einschluss aller geeigneten Maßnahmen zur Verringerung des Risikos für die aquatischen Ökosysteme.

Es lässt sich schlussfolgern, dass die kontinuierlichen Messverfahren in den Messstationen dazu beitragen, frühzeitig Stoßbelastungen aufzudecken. Dadurch ist es möglich, die Belastungen zu verringern und der Verschlechterung des Gewässerzustandes entgegenzuwirken.

Ein weiterer positiver Effekt liegt in der Abschreckung illegaler Einleiter. Daher dienen diese Systeme auch als Präventivmaßnahme zur Verhinderung von grob fahrlässig oder vorsätzlich herbeigeführten Schadensfällen.

## 3 Aufbau und Struktur des Gewässergütemessnetzes

Fließgewässer als Bestandteil unserer Umwelt sind offene Systeme, die mit angrenzenden Systemen (Grundwasser, Atmosphäre, Boden u.a.) in einem Stoff- und Energieaustausch stehen. Die Aufgabe der Bäche, Flüsse und Ströme besteht grob verallgemeinert in der Aufnahme des Stoffes Wasser, einschließlich aller gelösten und ungelösten Bestandteile, und Ableitung in den maritimen Bereich. Sie dienen aber ebenfalls als Freizeitraum, Rohstoff, Trinkwasserreservoir, Warentransportweg und Klimafaktor. Neben dem Wassertransport gelangen erhebliche Mengen an Feststoffen und lebender Materie in diese Transportwege. Aber nicht nur auf natürlichem Weg gelangen Substanzen in unsere Fließgewässer.

Mit der Industrialisierung, verbunden mit einem erheblichen Wachstum der Bevölkerung in Ballungsräumen, gelangen Stoffe in die Gewässer, die infolge ihrer hohen Konzentration und Menge einen erheblichen Einfluss auf die Beschaffenheit des Wassers und dem darin befindlichen biologischen Leben haben können (anthropogene Beeinflussung). Um die Natürlichkeit und Nutzungen unserer Gewässer in einer Balance zu halten, ist eine sachliche Erfassung des Zustandes notwendig. Dabei sind für den Zustand des Lebensraumes „Fluss“ neben der Wasserbeschaffenheit noch eine Reihe anderer Faktoren (angrenzende Landsysteme, Altarme, Moore, Auenbereiche u.a.) von erheblicher Bedeutung.

### 3.1 Das „manuelle“ Messnetz

Im Gegensatz zum „Automatischen Gewässer-Überwachungsmessnetz“, in denen eine kontinuierliche Probenentnahme und Analyse bestimmter Parameter erfolgt, bezieht sich das Wort „manuell“ auf die per Hand geschöpfte Stichprobenentnahme, die wohl die gebräuchlichste Probeentnahme im System der Gewässerüberwachung darstellt.

Die einfachste und trivialste Aufzählung der analytischen Seite der Kontrolle der Wasserbeschaffenheit wäre Probeentnahme am/im Gewässer, Transport der Probe in das die Wasseranalyse durchführende Labor, die eigentliche Laboranalyse und abschließend die Auswertung/Bewertung der Ergebnisse. Infolge der erheblichen Stoffvielfalt, die wir insbesondere durch unsere Konsumwelt erschaffen haben, sind diese vier Vorgänge hochkomplexe und an viele Vorgaben gebundene Arbeitsvorgänge. Allein die Probenahme einer einzelnen Wasserprobe von z.B. 10 l innerhalb weniger Sekunden des Schöpfens in einem Fluss, der durch teilweise erhebliche Stoff- und Temperaturgradienten gekennzeichnet ist, zeigt das Dilemma, in dem wir uns befinden. Diese Einzelproben sollen eine Aussage über die Qualität des Flusswassers z.B. über den Zeitraum eines Jahres geben. Eine Lösung des Problems für die nicht anthropogen verursachten Veränderungen der stofflichen

Konzentrationen liegt in der Erforschung der Einzelprozesse des Gewässers und dem Verhalten der Konzentrationen über einen bestimmten Zeitraum. Erst dann kann eine Einzelprobe oder eine Summe von Einzelproben eine repräsentative Auswertung über das Gewässer und die darin befindlichen Inhaltsstoffe geben. Ein gravierender Nachteil liegt darin begründet, dass kurzzeitige Änderungen der stofflichen Konzentrationen nicht oder nur rein zufällig durch Stichproben erfasst werden. Insoweit ist diese Art der Probenahme nur für die Gewinnung von Aussagen zur allgemeinen Beschreibung des Gewässers tauglich, keinesfalls für eine havarie- oder störfallbedingte Erfassung.

### **3.2 Die Gewässergüte-Messstation**

Gewässergüte-Messstationen bilden nicht den einzigen, aber einen wesentlichen Bestandteil eines Fließgewässer-Messnetzes. Als dazugehörig muss auch die teilweise intensive technische Betreuung der Station selbst, die Datenweiterleitung/-auswertung und die notwendige Laborkapazität betrachtet werden. Nur ein Teil der heute üblicherweise analysierten chemischen und biologischen Gewässerparameter werden kontinuierlich in der Station selbst analysiert. Der weitaus größere Parameteranteil wird durch die dazu notwendigen Laborkapazitäten im Landeslabor Brandenburg ermittelt.

Die Aufgaben [2, 3, 7] der Messstationen bestehen in der

- Aufnahme des Verhaltens stofflicher Charakteristika des Gewässers (Tages-Monats-Jahresgangkurven, Ermittlung statistischer Größen u.ä.),
- Erfassung von Begleitparametern (z.B. meteorologische Parameter),
- Erfassung von Stoffeinträgen in das Gewässer, natürlicher (z.B. Oberflächenabfluss) sowie anthropogener Art und Auswirkung auf Testorganismen,
- Überwachung kritischer Gewässerzustände und Alarmmeldung bei Überschreitung vorgegebener Grenzwerte sowie Alarmprobenahme sowie
- funktionierenden Probeentnahme-Stellen bei größeren Havarie- und Katastrophenfällen.

Die langfristige Erfassung statistischer Beschaffenheitsgrößen bildet wiederum eine Grundlage für großräumige und über einen erheblichen Zeitraum gehende Zustandsbeschreibung des Gewässers, was weitergehend die Beurteilung der Wirksamkeit von Gewässerschutzmaßnahmen ermöglicht.

Die Bedeutung des Punktes funktionierende Entnahmestelle im Katastrophenfall wurde durch die großen Hochwässer an Oder (1997) und Elbe (2002) eindrucksvoll bestätigt. Hier bildeten die Messstationen teilweise die letzten, erreichbaren Probeentnahme-Stellen am ansonsten weiträumig überschwemmten Hauptstrom [4, 5, 6].

Infolge des personellen und materiellen Aufwandes erfolgt die Errichtung von Messstationen nur an prägnanten Stellen am Gewässer, denen eine herausragende Rolle zugebilligt wird, so beispielsweise unterhalb von großen Ballungs- und Industrieräumen, vor der Einmündung in den maritimen Bereich u.a. Ebenso kann eine Messstation zur Erfassung des „Backgrounds“ bzw. als unbelastete Referenzmessstelle dienen.

#### **3.2.1 Allgemeiner technischer Aufbau einer Messstation [16]**

Eine Automatische Messstation ist in der Regel in einer festen Bauhülle in unmittelbarer Nähe des zu überwachenden Gewässers installiert. Prinzipiell können zwei Arten von Bauhüllen für Messstationen unterschieden werden, landgebundene und schwimmende Stationen. Welche Stationsart zum Einsatz kommt, ist im Wesentlichen von der morphologischen Beschaffenheit des Gewässers, den Wasserstandsschwankungen am Entnahmeort, der technischen Realisierung und der Medienheranführung (Strom, Wasser, Telefonleitung, Wegenetz u.a.) abhängig. Im Land Brandenburg sind die technischen Einrichtungen aller Stationen in einer festen Bauhülle landseitig installiert. Die Räumlichkeiten müssen dabei den unterschiedlichen Anforderungen nach Nass- und Trockenzone, Versorgungsbereichen, DV-Technik, Mess- und Probenahmegeräten sowie Wartungs- und Reinigungsbereichen gerecht werden.

Nachfolgende Abbildung zeigt eine Skizze des derzeitigen technischen Aufbaus einer Station mit den wichtigsten Medien- und Datenströmen. Im Wesentlichen sind das neben den baulichen Gegebenheiten die Entnahme- (z.B. Pumpen) und Leitungssysteme, Filter, die Technik der Probensammlung (hier Sedimentationsbecken, Karussell- und Gefrierprobensammler), die Phalanx der kontinuierlich und quasi kontinuierlich arbeitenden Vorortanalysengeräte sowie die Datenverarbeitungstechnik.

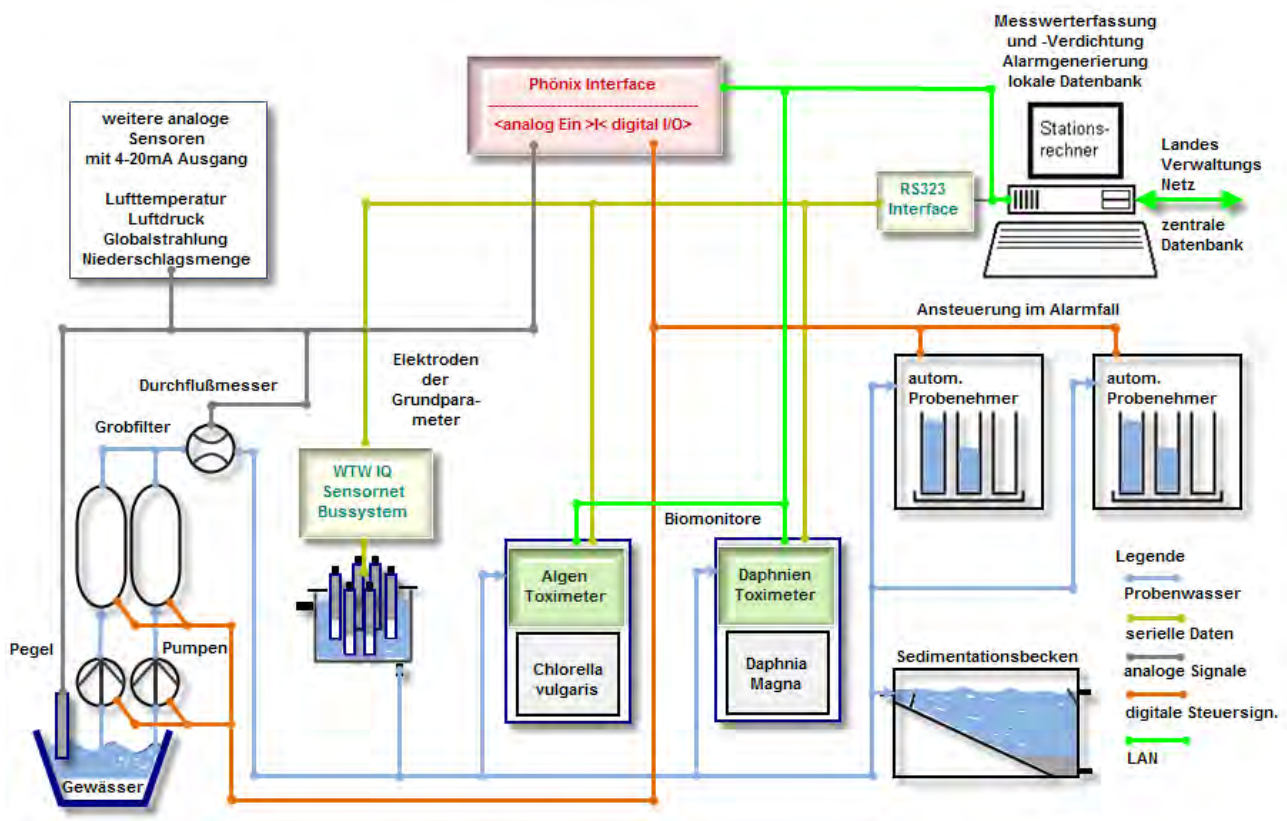


Abb.3.2.1.-1: Technologisches Schema einer Messtation



Abb.3.2.1. -2: Entnahmestelle im Teltowkanal

Mit Hilfe von Entnahme- und Pumpensystemen, ausgelegt als Saug- oder Druckpumpen, wird das zu beprobende Wasser kontinuierlich und unter möglichst schonenden Bedingungen, d.h. ohne gravierende Veränderung der Zusammensetzung der Inhaltstoffe des Wassers, in eine Ringleitung innerhalb der Station gefördert, wo verschiedene physikalisch-chemisch-biologische Parameter analysiert werden sowie automatische Proben als Rückstellproben gewonnen werden können. Dies geschieht unter Steuerung und Überwachung des Stationsrechners, der gleichzeitig die gemessenen Gewässergütedaten speichert und für die Übertragung zum Zentralrechner aufbereitet.



Abb. 3.2.1.-3: Alarmprobenehmer

Neben der Analyse vor Ort erfolgt als zweite, wesentliche Aufgabe einer Station eine automatische Probensammlung nach vorgegebenen zeitlichen Aspekten. Dies ist erforderlich, da ein nicht unerheblicher Teil der Probenanalyse nicht unter Feldbedingungen, sondern im Labor erfolgt.



**Abb. 3.2.1.-4: Gefrierprobenehmer**

In den Stationen kommen z.Z. zwei Strategien der Alarmbeprobung und verschiedene Probenehmertypen zum Einsatz.

Mit Hilfe von Gefrier- und Kühlprobenehmern werden Rückstellproben in programmierbaren Intervallen, Flaschenfüllzeiten und Probezyklen sowie definierten Probenmengen erzeugt. Es können jedoch auch Proben nicht nur zeit- sondern auch ereignisproportional (Alarmprobenahme) gewonnen werden, mit dem Ziel, auch Proben von mehreren Stunden vor einem auffälligen Ereignis zur Verfügung zu haben.



**Abb. 3.2.1.-5: Sedimentationsbecken, Messstation Frankfurt (Oder)**

Ein weiterer wichtiger Probensammler ist das Sedimentationsbecken. Hier werden durch Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit in einem Becken die schwebenden Bestandteile des Flusswassers aussedimentiert (schwebstoffbürtige Sedimente), um deren Belastung mit Schwermetallen und ausgewählten organischen Verbindungen im Labor zu untersuchen. Die Sedimentationsbecken werden in allen Messstationen kontinuierlich betrieben, d.h. die Becken werden ständig mit Flusswasser beaufschlagt.

## WTW IQ-Sensornet

Zur Überwachung der Wasserbeschaffenheit werden in den Stationen kontinuierlich arbeitende Messsysteme eingesetzt. Die Erfassung der Konzentrationen der Parameter Sauerstoff, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit erfolgt auf der Grundlage von Potentialdifferenzen zwischen einer Mess- und Bezugselektrode.



**Abb. 3.2.1.-6: Sensoren im Probenwasserstrom**

So beruht die elektrische Leitfähigkeit auf den im Wasser dissoziierten Kat- und Anionen. Der pH-Wert repräsentiert die Aktivität der Wasserstoff-Ionen (Oxonium-Ionen) und wird ebenfalls auf elektrochemischem Wege erfasst. Die hier verwendete Sauerstoffmessung ist ein amperometrisches Verfahren, dessen Messsignal durch Reduktion des gelösten Sauerstoffs an der Katode einer elektrochemischen Zelle entsteht. Durch den Einsatz spezieller ionenselektiver Elektroden lässt sich z.B. zusätzlich auch die Ammoniumionenkonzentration bestimmen.



**Abb. 3.2.1.-7: Messelektrodenphalanx**

Die Parameter UV – Absorption und Trübung sind photometrische Analysenverfahren, deren Grundlage auf der Schwächung eines Lichtstrahles definierter Wellenlänge beim Durchtritt desselben durch das Medium beruht. So ist die Absorption bei einer Wellenlänge von 254 nm durch Huminstoffe, deren Herkunft Moor- und humusreiche Böden sind, besonders stark im UV-Bereich ausgeprägt ebenso lässt sich der Gehalt an gelöstem Nitrat ermitteln.

Die Bestimmung der Trübung erfolgt aus dem Zusammenhang zwischen Konzentration der die Trübung verursachenden ungelösten Bestandteile des Flusswassers und der Schwächung eines Lichtstrahls (Streulichtmessung) beim Durchtritt durch das zu untersuchende Medium.

### 3.2.2 Biomonitore – eine neue Qualität der Gewässerüberwachung

Art. 11 Abs. 3 I WRRL<sup>1</sup> fordert zur Vorbeugung und Minderung der Folgen unerwarteter Verschmutzungen u.a. Systeme zur frühzeitigen Entdeckung von Störfällen, deren Bewertung und zur Frühwarnung ... unter Einschluss aller geeigneten Maßnahmen zur Verringerung des Risikos für die aquatischen Ökosysteme. Insofern ist die Einrichtung sowohl anlagenbezogener als auch flussgebietspezifischer Warn- und Alarmsysteme im Grundsatz obligatorisch.

Ein wichtiges Instrument zur Störfallerfassung und -bewertung bildet dabei die immissionsorientierte Warnung und Alarmierung auf der Basis kontinuierlicher Biotestverfahren [1]. Grundsätzliche Anforderungen an die Alarmerkennung und das Alarmmanagement bei der immissionsorientierten Störfallerfassung sind laut **UBA Konzept zur Umsetzung von Art. 11 Abs. 3 (I) WRRL**

- Alarmbildung und Alarmierung aufgrund von Messungen (anlagen- und messstationsbezogen)
- Auffälligkeitserkennung,
- dynamische Alarmschwellenanpassung
- Alarmindex (automatische Integration erkannter Auffälligkeiten zu einer normierten Alarmaussage)
- Probenahmemanagement (ereignisorientierte Probenahme für Laboruntersuchungen)
- Meldemanagement innerhalb von Messstationen
- Meldemanagement im regionalen Messnetz

Mit der Inbetriebnahme eines Algentoximeters im Jahre 2006 und eines Daphnientoximeters 2008 (Firma bbe Moldänke GmbH)<sup>2</sup> in der Messstation Elbe Cumlosen, sowie zwei weiterer Daphnientoximeter an der Oder, wurden die Voraussetzungen geschaffen sich den ständig verändernden Standards anzupassen und dadurch auch messtechnisch zu optimieren. Die sichere Detektion von anormalen Zuständen im Gewässer (Störfälle, Unfälle, unbeabsichtigte Verschmutzungen) ist allein mit Sensoren, welche auf physikochemischen Messprinzipien beruhen nicht möglich.

Eine quasi kontinuierliche chemische Analyse verschiedener meist im Spurenbereich vorliegender Schadstoffe ist aus finanziellen und Aufwandsgründen unmöglich und zeitnah nicht zu leisten.

Man untersucht im Gegensatz dazu bei Tests mit Biomonitoren, welche Auswirkungen sich auf den Stoffwechsel, die Reproduktion und die speziellen Lebensvorgänge eines Testorganismus (welcher natürlicherweise auch im zu untersuchenden Umweltmedium vorkommen sollte) ergeben. Sind daraus Auffälligkeiten zu erkennen, ist dies ein wichtiges Indiz und es erfolgt eine separate Entnahme einer Alarmsonderprobe, welche dann in Folge einer eingehenden Analyse im Labor zugeführt werden kann.

Die Komplexität aquatischer Biozönosen ist hinlänglich bekannt und legt die Auswahl je eines Testorganismus aus dem Phyto- und Zooplankton ( Primär- und Sekundärproduzenten) nahe.

Die Verwendung höherer Lebewesen verbietet sich sowohl aus ethischen Erwägungen als auch aus Gründen der Tierhaltung.

#### Aufbau und Messprinzip des bbe Algen Toximeters



Abb. 3.2.2.-1: Algen Toximeter Fa. bbe Moldänke

<sup>1</sup> Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft

<sup>2</sup> [www.bbe-moldaenke.de](http://www.bbe-moldaenke.de)

Das bbe Algen Toximeter untersucht kontinuierlich das Elbwasser auf toxische Inhaltsstoffe. Standardisierte Algen (Grünalge *Chlorella vulgaris*) werden mit dem Probenwasser gemischt und deren Photosyntheseaktivität bestimmt.

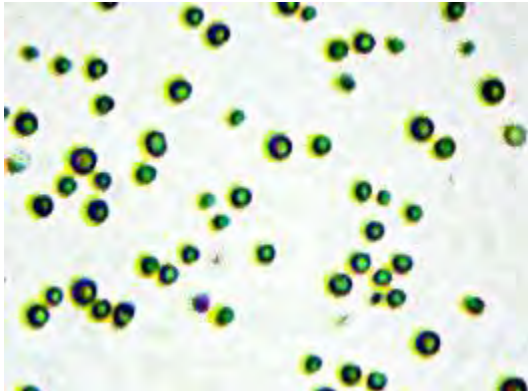


Abb. 3.2.2.-2: Grünalge *Chlorella vulgaris*

Die Schädigung der Algen, z.B. durch Herbizide bewirkt eine Hemmung der Photosyntheserate und löst oberhalb eines dynamischen Schwellwertes (Dynamische Auffälligkeitserkennung) einen Alarm aus.

Durch ein statistisch-mathematisches Verfahren (Hinkley-Detektor) werden die Messwert-Zeitreihen auf Sprünge untersucht und somit sichergestellt, dass natürliche Schwankungen der Monitoringparameter tageszeitlicher, jahreszeitlicher oder spontaner witterungsmäßiger Natur, keinen Einfluss auf die Auffälligkeitserkennung haben.

Das bbe Algen Toximeter ist zugleich ein Messgerät zur präzisen Bestimmung der Algenkonzentration im Wasser. Dies geschieht durch die Anregung der photochemisch aktiven Pigmente mit verschiedenfarbigen Leuchtdioden. Der Gehalt von Grünalgen, Blaualgen, Braunen Algen (Diatomeen und Dinoflagellaten) und Cryptophyceen wird bestimmt, dabei findet eine Differenzierung in Algengruppen statt. Die Messung erfolgt durch Fluoreszenzspektroskopie [2].

In der Messstation Cumlosen arbeitet das Toximeter mit einer zusätzlichen Ausbaustufe zur kontinuierlichen Überprüfung der Reaktion auf ein Referenzgift (Herbizid Atrazin). Durch kurze Messzyklen (20 min.) und Einbindung in das zentrale Online-Datenbanksystem in Brandenburg ist eine hohe zeitliche Auflösung der Überwachung sichergestellt.

Die Anzucht der Algen (*Chlorella vulgaris*), aus einer Stammkultur der Sammlung von Algenkulturen der Universität Göttingen, erfolgt zunächst extern und wird im geräteintegrierten Fermenter, dessen Algenkonzentration über eine zweite Fluoreszenzmessung auf einen konstanten Wert geregelt wird, fortgeführt. Dazu sind die Zufuhr einer Algennährlösung, adäquate Beleuchtung und Belüftung ( $\text{CO}_2$ -Quelle) sowie eine algenspezifische Temperaturregelung erforderlich.

Zur Messung werden im 20minütigen Abstand Gewässerproben in das bbe Algen Toximeter gepumpt. Die Konzentration und die Aktivität der natürlich vorkommenden Algen werden bestimmt. Anschließend wird über eine Dosierschleife eine exakt definierte Menge standardisierte Algen aus dem Fermenter zugeführt. Die Aktivität (Genty – Parameter [3]) der dosierten Algen bleibt konstant, solange keine toxischen Substanzen auftreten. Sind aber toxische Substanzen vorhanden, führt deren Wechselwirkung mit den Photosynthesezentren zur Hemmung der Aktivität. Aus dem Vergleich der Algenaktivitäten einer Gewässerprobe und einer Trinkwasserprobe lässt sich das Ausmaß der Hemmung<sup>3</sup> bestimmen.

Nach der Messung findet eine programmgesteuerte Reinigung der Küvette durch einen Reinigungskolben statt. Das Wachstum von Algen und Biofilmen in der Messzelle werden dadurch verhindert.

<sup>3</sup> Prozentuale Hemmung (Inhibition) der Photosyntheserate gegenüber einer Vergleichsprobe (Trinkwasser)

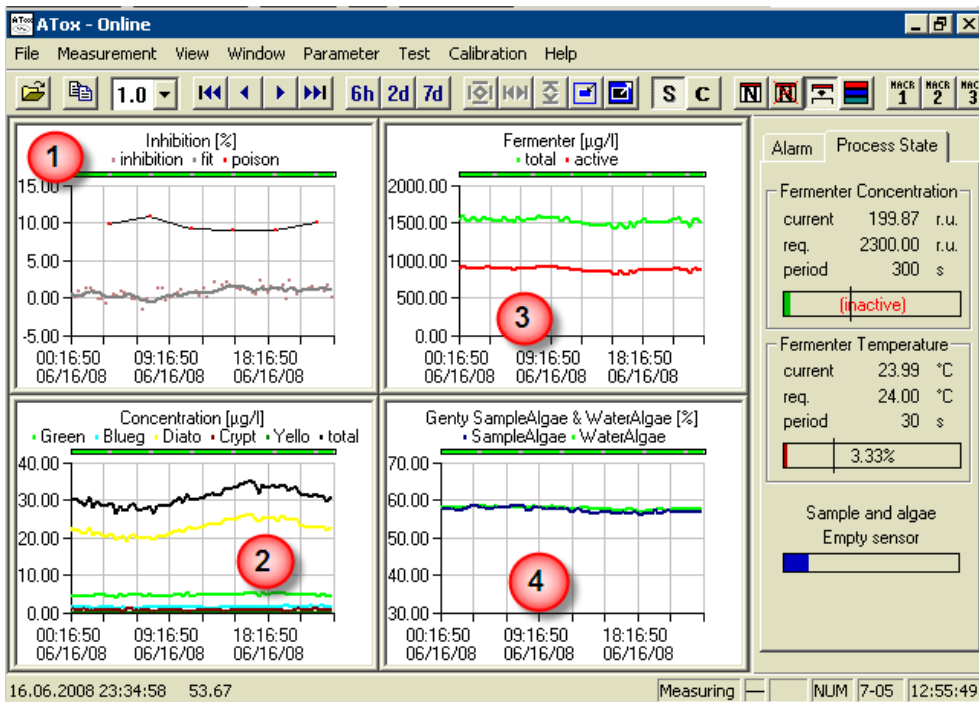


Abb. 3.2.2.-3: Algen Toximeter Screen

- 1- Diagramm Inhibition ( Referenzgift - oberer Graph )
- 2- Diagramm der Konzentration verschiedener Algenklassen im Gewässer
- 3- Diagramm der Algenkonzentration ( Testorganismus ) im Fermenter
- 4- Diagramm des Genty Wertes [3] von Probenwasser und Referenzwasser

### Aufbau und Messprinzip des bbe Daphnien Toximeters

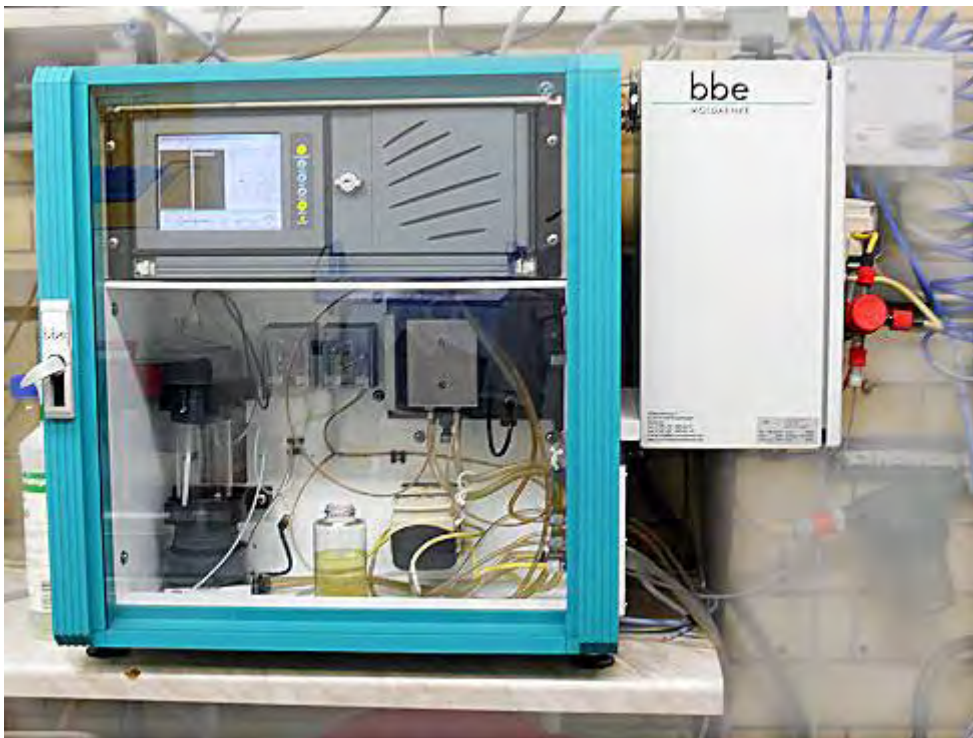


Abb. 3.2.2.-4: Daphnien Toximeter Fa. bbe moldänke

Im Daphnientoximeter der Firma bbe Moldänke GmbH werden 10 Daphnien (*Daphnia magna* Straus)<sup>4</sup> unter dem Einfluss eines kontinuierlich fließenden Probenstromes, d.h. vorgefiltertes und leicht entgastes Probenwasser, beobachtet.



Abb. 3.2.2.-5: *Daphnia magna* Straus

Eine kontinuierliche Daphnienzucht muss aufrecht erhalten werden, damit die Tiere in der Messkammer nach einem toxischen Ereignis und wöchentlich erneuert werden können. Als Futter wird die Grünalge *Chlorella vulgaris* zudosiert. Das Schwimmverhalten der Daphnien ist in unbelastetem Wasser durch relativ gleichmäßige Geschwindigkeit und ruhige Bewegungen gekennzeichnet. Unter Einwirkung von Schadstoffen verändert sich je nach Art, Konzentration und Einwirkzeit der toxischen Stoffe das Verhalten der Daphnien hin zu Hypo- oder Hyperaktivität bzw. dem Tod der Tiere.

Die integrierte CCD-Kamera<sup>5</sup> mit nachgeschalteter digitaler Bilderkennungssoftware am PC beobachtet die auf 20°C temperierte Messkammer und wertet das Verhalten der Daphnien aus. Aus den Schwimmbahnen wird eine Vielzahl von Verhaltensparametern wie die mittlere Höhe, mittlere Geschwindigkeit, mittlerer Abstand, fraktale Dimension (Kurvenhäufigkeit) und V-Klassen-Index (Verteilung von Geschwindigkeitsklassen), die aktuelle Anzahl der Versuchstiere und daraus letztendlich ein Toxizitätsindex berechnet.

Bei statistisch signifikanten Änderungen der Schwimmgeschwindigkeit und anderer Verhaltensparameter wird vom Gerät eine Alarmmeldung ausgelöst.

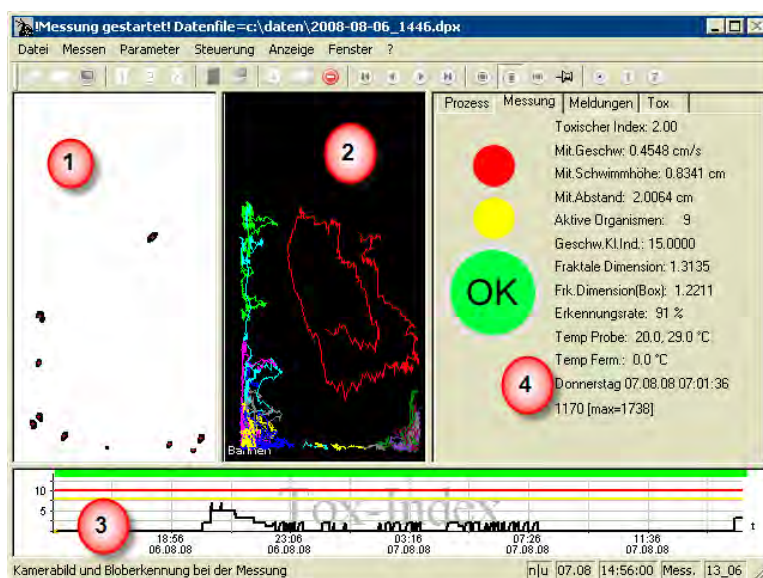


Abb. 3.2.2.-6: Daphnien Toximeter Screen

- 1 - digitalisiertes s/w-Bild der Messkammer mit 9 erkannten Daphnien
- 2 - Ansicht der einzelnen Bewegungsbahnen
- 3 - Zeitlicher Verlauf des Toxindex mit Warn- und Alarmgrenzen
- 4 - Die wichtigsten aktuellen Messparameter im Überblick und der Alarmstatus als Ampelsymbol

<sup>4</sup> Wasserfloh *Daphnia magna* gehört innerhalb des Stamms der Arthropoda (Gliederfüßler) zum Unterstamm Crustacea (Krebse), zur Klasse Phyllopoda (Blattfußkrebse) und zur Ordnung Cladocera (Wasserflöhe)

<sup>5</sup> [CCD-Sensor](#), ein optischer Sensor basierend auf der Charge-coupled Device-Technologie

Naturgemäß reagieren die vorgestellten Biomonitore insbesondere, aber nicht nur, auf Substanzen im Gewässer aus der Gruppe der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. Da das Messprinzip des Daphnien Toximeters der Bestimmung nach DIN 38412 Akuter Daphnientest (Bestimmung der Wirkung von Wasserinhaltsstoffen auf Kleinkrebse) ähnelt, mit dem Unterschied das schon Verhaltensänderungen und nicht erst die Bewegungsunfähigkeit der Testorganismen ausgewertet werden, lassen sich alle Stoffe welche in großem Umfange bisher nach dieser DIN untersucht wurden, nachweisen.

Der entsprechende Algenhemmtest nach DIN 38412-L9 untersucht die Hemmwirkung einer Prüfsubstanz auf die Zellvermehrung innerhalb der Inkubationszeit, während im Algen Toximeter bereits die Hemmung der Photosyntheserate im Einzeller bestimmt wird.

Biologische Testverfahren sind somit ein unverzichtbares Mittel Toxizitäten zu beurteilen. Dabei werden Forderungen des Tierschutzes nicht verletzt, da es mit Einzellern, niederen Organismen und einzelnen Zellstrukturen, Fischeiern statt Fischen möglich ist, die gewünschten Angaben zu erhalten. Die automatische Messstation Cumlosen bei Elbkilometer 470 erlangt mit der Ausstattung dieser Gerätekombination den Status einer von drei Alarmmeldestationen im Elbebereich Deutschlands. Weiterhin sind an der Oder Hohenwutzen Flusskilometer 661 und an der Havel Potsdam

### **Literaturverzeichnis**

- [1] Institut für Hygiene und Umwelt der Behörde für Wissenschaft und Gesundheit der Freien und Hansestadt Hamburg i.A. des Umweltbundesamtes - 2004  
Projekt EASE - Entwicklung von Alarmkriterien und Störfallerfassung in Messstationen (im Elbeinzugsgebiet) für die internationale Gefahrenabwehrplanung  
<http://www.umweltbundesamt.de/anlagen/EASE/>
- [2] Beutler, M., 1998. Entwicklung eines Verfahrens zur quantitativen Bestimmung von Algengruppen mit Hilfe computergestützter Auswertung spektralaufgelöster Fluoreszenzanregungsspektren. Diplomarbeit Univ. Kiel
- [3] Genty, B., Briantais, J.-M., Baker, N., R., 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochem. Biophys. Acta 990: 87 – 92

### **3.2.3 Das automatische Gewässergüte-Messstationen-Messnetz des Landes Brandenburg**

Das Land Brandenburg verfügt über sechs automatische Gewässermessstationen an Elbe und Oder sowie deren Einzugsgebieten, die durch das Landesumweltamt Brandenburg betrieben werden.

Darüber hinaus erfolgt der Einsatz einer mobilen Einsatzstation, die je nach Bedarf an unterschiedlichen Lokalitäten kontinuierlich Messungen vornehmen kann.

Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die stationären Messstationen.

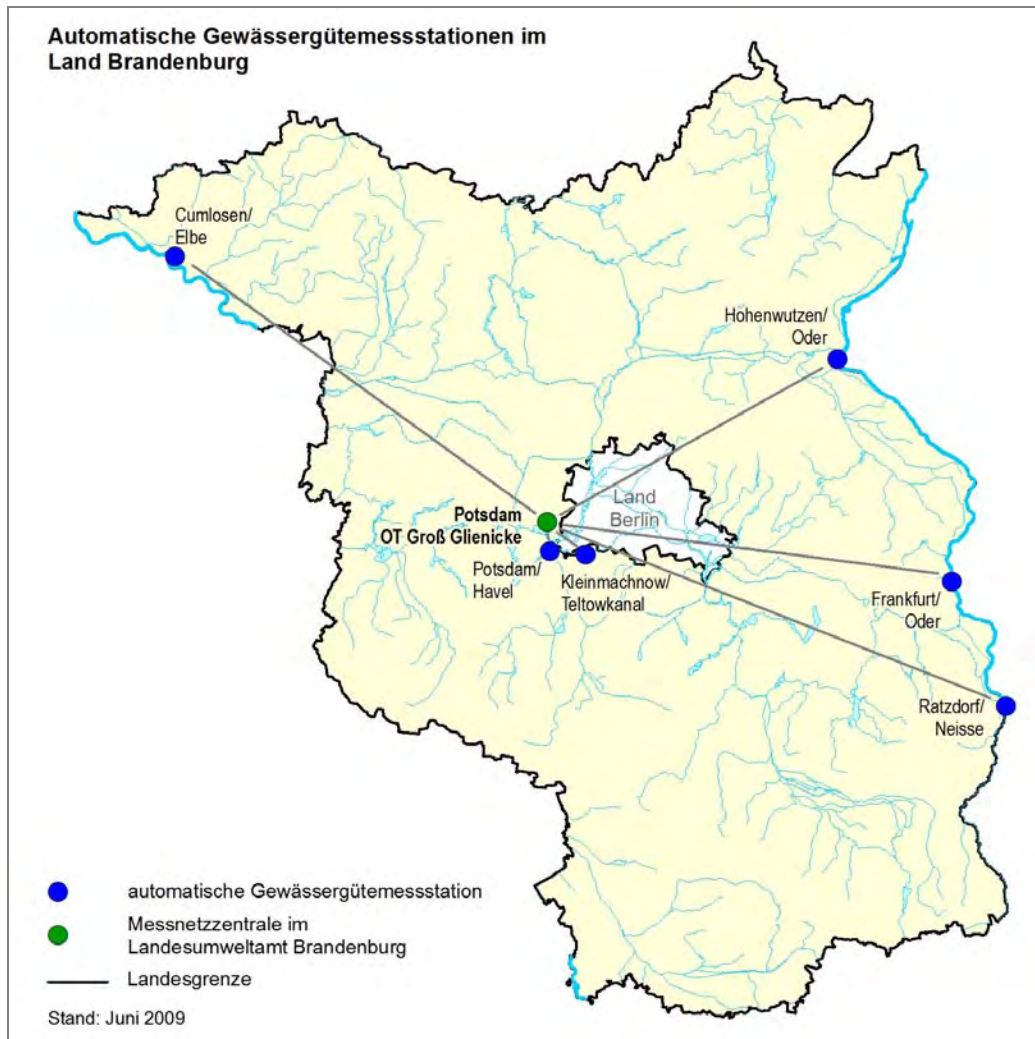


Abbildung 3.2.3.-1: Übersichtskarte der Messstationen im Land Brandenburg [7]

### • Einzugsgebiet Elbe

Im Bereich des Elbe-Einzugsgebietes begann überwiegend ab 1990 der Ausbau der Messnetze mit automatischen Gewässergüte-Messstationen sowie deren Vernetzung.

Am Hauptstrom Elbe wurden als Folge der guten tschechisch-deutschen Zusammenarbeit im Rahmen der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) in kurzer Zeit ein funktionierendes Gewässergüte-Messstationsmessnetz errichtet [8]. Das Landesumweltamt betreibt im Abschnitt der „Brandenburger“ Elbe sowie in den Untereinzugsgebieten Spree und Havel drei automatische Messstationen:

- **Cumlosen an der Elbe**
- **Potsdam an der Havel**
- **Kleinmachnow am Teltowkanal**

Dies sei kurz am Beispiel der Lage der Messstation Cumlosen an der Elbe diskutiert. Der Standort der Messstation befindet sich am Prallhang eines windungsreichen Abschnittes bei Flusskilometer 470. Das sorgt infolge der Strömungsverhältnisse für eine gut durchmischte Probe, die damit repräsentative Aussagen über die Wasserinhaltsstoffe an diesem Querschnitt liefern kann. Beeinflusst wird die Wasserbeschaffenheit des Flusses in diesem Abschnitt durch die einige Flusskilometer oberhalb befindliche Einmündung der Havel.



**Abb. 3.2.3.-2: Messstation Cumlosen an der Elbe (Luftaufnahme) während des Elbehochwassers 2002. Durch den hohen Wasserstand des Flusses sind alle Vordeichgeländeabschnitte überflutet.**



**Abb. 3.2.3.-3: Messstation Cumlosen während des Elbehochwassers 2002. Neben der Nutzung der Station zur Erfassung der Wasserbeschaffenheit ist ebenfalls die Anwendung als Depositionsmessstelle anhand der seitlich der Station befindlichen Sammler zu erkennen.**



**Abb. 3.2.3.-4: Im Brückbau integrierte Messstation Potsdam Humboldtbrücke an der Havel mit Blick in den modernen, neu eingerichteten Innenraum**



**Abb. 3.2.3.-5: Messstation Kleinmachnow am Teltowkanal (Gebäude linke Seite). Neben den mess- und strömungstechnischen Fragen bezüglich des Entnahmepunktes im Gewässer spielen auch Fragen der technischen Betreuung, der zeitlichen und verkehrstechnischen Anbindung eine nicht unwesentliche Rolle.**

- **Einzugsgebiet Oder**

Die Lausitzer Neiße und Oder bilden auf einer Strecke von 360 Flusskilometer die deutsch-polnische Grenze. Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurden drei Messstationen im Brandenburger Grenzgewässerabschnitt errichtet:

- **Ratzdorf an der Lausitzer Neiße**
- **Hohenwutzen an der Oder**
- **Frankfurt(Oder) an der Oder**

Die Auswahl der Standorte zum Aufbau von Messstationen stellt in der Mehrheit der Fälle einen Kompromiss zwischen den technischen Bedingungen zum Betrieb einer Station und den gewässerseitigen Fakten dar. Ratzdorf an der Lausitzer Neiße ist ein typischer Mündungsstandort, in dessen Nähe sich ein langjähriger Durchflussmesspegel befindet. Damit können neben Gewässergütebetrachtungen auch Lastberechnungen bezüglich der Schadstofffracht erbracht werden.

An den Standorten Frankfurt(Oder) und Hohenwutzen waren u.a. ausschlaggebend die Nähe der Laborstandorte zur technischen Wartung, da Stationen trotz aller Automatisierung einen nicht unwesentlichen Betreuungsaufwand bedeuten.



**Abb. 3.2.3.-6: Messstation Ratzdorf vor der Neiße-  
mündung in die Oder**



**Abb. 3.2.3.-7: Blick auf die Messstation Hohen-  
wutzen, die Messstation liegt ca. 100 m ent-  
fernt vom Gewässerufer der Oder**



**Abb. 3.2.3.-8: Messstation Frankfurt (Oder) (Gebäude rechte Bildseite)**

- **Die Datenverwaltung und Darstellung**

In den Messstationen kommt das Programmsystem WGMN2 zur Anwendung. Das System besteht aus der zentralen Komponente des Zentralrechners, sowie einer beliebigen Anzahl von Stationsrechnern.

Stationsrechner sind „Vor Ort“ in den Messstationen installiert und sorgen in erster Linie für das Einsammeln der gewonnenen Daten der angeschlossenen Messgeräten.

Über ein Menügeführtes System kann das Betreiber-personal auf alle aktuellen Daten und Funktionszustände zugreifen. Wartungs-, Parametrier- und Service-Vorgänge können ebenfalls überwacht und gesteuert werden.



**Abb. 3.2.3.-9: Stationsrechner**

Das Sammeln der Daten erfolgt durch eine häufige Datenabfrage und anschließenden Berechnung des Mittelwertes über einen Zeitraum von 10 Minuten. Neben der Datenerfassung kann das Stationsrechnerprogramm gleichzeitig Fehlerzustände für Messgeräte registrieren, Grenzwertüberwachungen durchführen und natürlich auch den Zentralrechner automatisch über Fehler- oder Alarmsituationen informieren.

Zur Kontrolle der Messgeräte und der Stationsrechnerfunktion ist es möglich, sich die aktuellen Messwerte, die berechneten Mittelwerte und die Meldungen anzusehen. Durch Wartungs- und Konfigurationsfunktionen ist es möglich das automatische Verhalten des Stationsrechnerprogramms zu beeinflussen. Das Abspeichern der Daten erfolgt in den Stationen wie auch in der Zentrale in einer Datenbank

Der Zentralrechner sorgt für eine regelmäßige Aufnahme und Speicherung der Daten aus den Messstationen durch eine direkte Kommunikation zwischen Zentralrechner- und Stationsdatenbank. Bei entsprechender Anforderung ist es möglich, nach dem Auftreten von definierten Informationen sofort Meldungen zu generieren. Neben der Datenerfassung wird auch eine Überprüfung der Plausibilität der Daten durchgeführt. Es werden zwei Verfahren angewendet, um auffällige Daten zu finden und zu markieren. Zuerst wird ein Vergleich der Messdaten mit statischen Grenzwerten durchgeführt. In dem weiteren Test wird dagegen die Veränderung der Messwerte in einer Zeitreihe geprüft. Messdaten können nach belieben in grafischer Form oder in Listendarstellung angezeigt werden.

Mit der Entwicklung neuer Software zur Datenauswertung wird derzeit ein neues Niveau der Alarmierung zuständiger Stellen im Havariefall beschritten. Während es nach der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen, noch sehr „manuellen“ Bearbeitung der Daten zu einer erheblichen Anzahl von Auffälligkeiten ohne havariebedingte Ursachen kam, erfolgt die Alarmgebung neuerer Generation in mehreren Stufen und dem Auftreten eines speziellen Musters von Grenzwertüberschreitungen. Für weitergehende Betrachtungen sei an dieser Stelle auf den hervorragenden Abschlussbericht eines seitens Umweltbundesamt initiierten Forschungsvorhabens, ausgeführt durch das Institut für Hygiene und Umwelt in Hamburg, hingewiesen (EASE - Abschlussbericht, Kapitel 7, Bewertungsrahmen für die Beurteilung von Störfällen).

## 4 Auswertung der Daten der Messstationen im Zeitraum 1990 – 2003

Die ständige Erfassung einzelner Parameter der Wasserbeschaffenheit erfolgt in den Messstationen durch kontinuierliche und quasikontinuierliche Technik. Dabei liefert das einzelne Messverfahren entsprechende kalibrierte Signale, die durch die dazugehörige Stationsdatentechnik zu 10-Min-Mittelwerten aufgearbeitet werden. Die so gewonnene, erhebliche Menge an Messwerten bildet die Datenrohmenge und der Einzelwert kann im Wesentlichen nur für den Zeitpunkt X Aussagen liefern. Für weitergehende Bewertungen (Mittelwerte für Tag, Woche u.s.w.) sind entsprechende Aufarbeitungen notwendig.

Tab. 4.1.- 1: Messtechnische Ausstattung der Beschaffenheitsmessstationen im Land Brandenburg [9]  
Zusammenfassung der in den Stationen erfassten kontinuierlichen Beschaffenheitsparameter und weiterer Funktionen der Probenahme

|                                  |  |  |                 |             |                  |                  |                    |
|----------------------------------|--|---|-----------------|-------------|------------------|------------------|--------------------|
|                                  |  | Elbe (Cumlosen)   | Havel (Potsdam) | Teltowkanal | Neiße (Ratzdorf) | Oder (Frankfurt) | Oder (Hohenwutzen) |
| <b>Grundparameter</b>            |  |   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Wassertemperatur                                 | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Sauerstoffgehalt                                 | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Sauerstoffsättigung (gerechnet)                  | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | pH - Wert  | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Leitfähigkeit                                    | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Trübung  | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | UV - Absorbtion                                  | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Nitratstickstoff NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Ammonium-N NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N       | x   | x               | x           |                  |                  | x                  |
| <b>Biologische Parameter</b>     |  |   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Daphnientoximeter Alarmindex                     | x   | x               |             |                  |                  | x                  |
|                                  | Algentoximeter Inhibition                        | x   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Chlorophyll-a                                    | x   | x               |             |                  |                  | x                  |
|                                  | Blualgen   | x   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Grünalgen  | x   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Kieselalgen                                      | x   |                 |             |                  |                  |                    |
| <b>Meteorologische Parameter</b> |  |   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Lufttemperatur                                   | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Globalstrahlung                                  | x   |                 | x           |                  | x                |                    |
|                                  | Luftdruck  | x   |                 |             |                  | x                | x                  |
| <b>Hydrologische Parameter</b>   |  |   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Wasserstand                                      | x   |                 |             | x                | x                | x                  |
| <b>Automatische Probenahme</b>   |  |   |                 |             |                  |                  |                    |
|                                  | Kühlprobenahme                                   | x   | x               | x           | x                | x                | x                  |
|                                  | Gefrierprobenahme                                | x   | x               | x           |                  |                  |                    |
|                                  | Sedimente  | x   | x               |             | x                | x                | x                  |
|                                  | Depositionsprobenahme (i.V.)                     | x   |                 | x           |                  |                  | x                  |

## 4.1 Kleiner Exkurs in die Wasserbeschaffenheit eines Fließgewässers

Der Bereich Umweltanalytik ist heute ein Fachgebiet mit einer sehr hohen Komplexität. Eine Teilmenge daraus stellt die Wasseranalytik dar und nur eine kleine Teilmenge davon umfasst die kontinuierlichen messbaren Parameter. Bei der Ausstattung der Stationen spielen Ökonomie und Nutzbarkeit der zu installierenden Technik eine wesentliche Rolle, nicht alles technisch Machbare ist sinnvoll. Darüber hinaus hat jeder Fluss seine eigene Stoffcharakteristik je nach geologischem Ursprung und Art der Schadstoffeinträge. Bei der Auswahl der zu installierenden chemisch-biologischen Analysetechnik können zwei Gruppen unterschieden werden. Die erste Gruppe stellt die einfachen chemischen-physikalischen Parameter (Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert u.a.), die Zweite stellt die der biologischen Online-Testsysteme (Muscheltest, Algentest, Daphnientest u.a.) dar, die auf ein dynamisches Stoffspektrum mit biologisch messbaren Signalen reagiert.

### Gruppe der einfachen, chemisch-biologischen Parameter [10,11,12,13]

#### - Wassertemperatur

Die Temperatur des Wassers ist eine viele chemisch-biologische Vorgänge beeinflussende Reaktionsgröße. Insbesondere die Stoffumsatz- bzw. Selbstreinigungsprozesse sind wesentlich von der Umgebungstemperatur abhängig. Bei der Auswertung anderer chemischer Parameter, wie z.B. dem Gehalt an gelösten Phosphat- und Stickstoffverbindungen gibt es über das Phytoplankton des Flusses einen Zusammenhang zur Temperatur, d.h. mit Temperaturanstieg beschleunigen sich Prozesse wie Atmung und Photosynthese. Gleichzeitig nimmt die Löslichkeit von Gasen im Wasser ab. Das Temperaturniveau der Jahreszeiten ist deshalb eine erhebliche, bei der Auswertung anderer Stoffparameter zu berücksichtigende Größe.

#### - el. Leitfähigkeit

Wasser ist eine wässrige Lösung, in der viele Stoffe in Kat- und Anionen dissoziieren, die wiederum Träger elektrischer Ladung sind und damit Strom leiten. In nennenswerten Mengen sind diese gelösten Salze (z.B. Chloride, Sulfate u.a.), Säuren und Basen. So kann es beispielsweise durch Niederschlag zu einem überhöhten Eintrag von Bodenbestandteilen in das Gewässer kommen und damit eine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit bedingen. Aber auch Industrieabwässer, so z.B. Tagebauabwässer, können erhebliche Leitfähigkeitserhöhungen nach sich ziehen.

#### - pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration von Oxonium-Ionen und gibt damit den sauren, neutralen oder basischen Charakter des Flusswassers an. Der Parameter bzw. die Konzentration der Oxonium-Ionen hat einen großen Einfluss auf alle chemischen und biologischen Vorgänge im Wasser. Im Wesentlichen wird der Wert durch das Verhältnis von gelöstem Kohlendioxid und Hydrogencarbonat bestimmt. „Normales „ Wasser hat einen pH-Wert, der um den Neutralpunkt (hier pH=7) schwankt. Das verstärkte Vorhandensein von Huminsäuren und niedrigen Hydrogencarbonationen bewirken einen sauren Charakter des Wassers, geringe Mengen an Kohlendioxid (Verbrauch durch Assimilation des Phytoplanktons) bedingen einen hohen pH-Wert des Gewässers.

#### - gelöster Sauerstoff

Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff ist von hoher Bedeutung für den Abbau löslicher organischer Substanzen durch Biomasse am Gewässergrund (Biorasen) und frei schwebender (Seston) Biomasse. Der Gehalt im Wasser ist das Ergebnis von Sauerstoffeintrag über die Atmosphäre, der Tätigkeit von photoautotrophen Organismen und dem Verbrauch an Sauerstoff im Rahmen der Selbstreinigung des Gewässers sowie der Veratmung. Die Konzentration dieses Parameters weist typische Tagesgangkurven auf

#### - Sauerstoffsättigung

Die Menge an gelöstem Sauerstoff ist im Flusswasser abhängig vom Partialdruck der über dem Gewässer befindlichen Gasphase und der Wassertemperatur. Aus den beiden gemessenen Größen Sauerstoff und Temperatur lässt sich damit der Sauerstoffsättigungsindex berechnen. Dieser Parameter lässt Aussagen über die Sauerstoffproduktion des Phytoplanktons zu. Bei hohen Phyto-

planktonkonzentrationen sind hohe Sauerstoffübersättigungswerte zu verzeichnen, die nach Absterben und Zersetzung des Detritus unter Sauerstoffverbrauch zu Mangelercheinungen für die im Gewässer lebenden Arten führen können.

#### **- Trübung**

Dieser Parameter erfasst die fein verteilten Kolloide und ungelösten Teilchen organischen und anorganischen Ursprunges (z.B. Metalloxydhydrate, Kalkpartikel, Schlamm- und Schlicketeilchen), die im Wasser eine Verringerung der Lichtverhältnisse verursachen. Die Trübung kann als orientierender Größe für alle ungelösten Stoffe gelten. Eine hohe Trübung bedeutet i.a. eine Nutzungseinschränkung des Wasser und des Gewässers insgesamt.

#### **- UV – Absorption**

Der Parameter UV-Absorption oder gleich der spektrale Absorptionskoeffizient bei der wasserbeschaffenheitsmäßig bedeutsamen Wellenlänge von 254 nm erfasst vor allem aromatische Verbindungen. Hierzu gehören auch die Huminstoffe aus dem Bodenbereich. Der Parameter korreliert teilweise gut mit der Größe der gelösten, organischen Verbindungen und kann daher erste Anhaltspunkte für einen Eintrag in das Gewässer liefern.

#### **- Chlorophyll a**

Zu den kontinuierlich gemessenen Übersichtsparemetern gehört der aus dem biologischen Bereich stammende Parameter Chlorophyll a, der Angaben zum Phytoplanktongehalt des Gewässers liefern kann. Hieraus können Schlüsse auf den Gehalt an Biomasse oder Trophiegrad des Gewässers gezogen werden.

#### **- Lufttemperatur und Globalstrahlung**

Beide meteorologisch bedingten Parameter geben Aufschluss über die Bedingungen aus der Umgebung des Gewässers, Temperatur des Luftpokers und Sonneneinstrahlung.

#### **- Wasserstand**

Der Wasserstand korreliert grob mit dem Durchfluss, der wiederum wesentlich für die chemisch-biologische Beschaffenheit des Flusswassers verantwortlich ist. Insbesondere bei niedrigen oder hohen Abflüssen ist von einer anderen Beschaffenheitscharakteristik des Gewässers auszugehen, da damit ein verändertes Eintrags- und stoffliches Transportverhalten im Fluss verbunden ist.

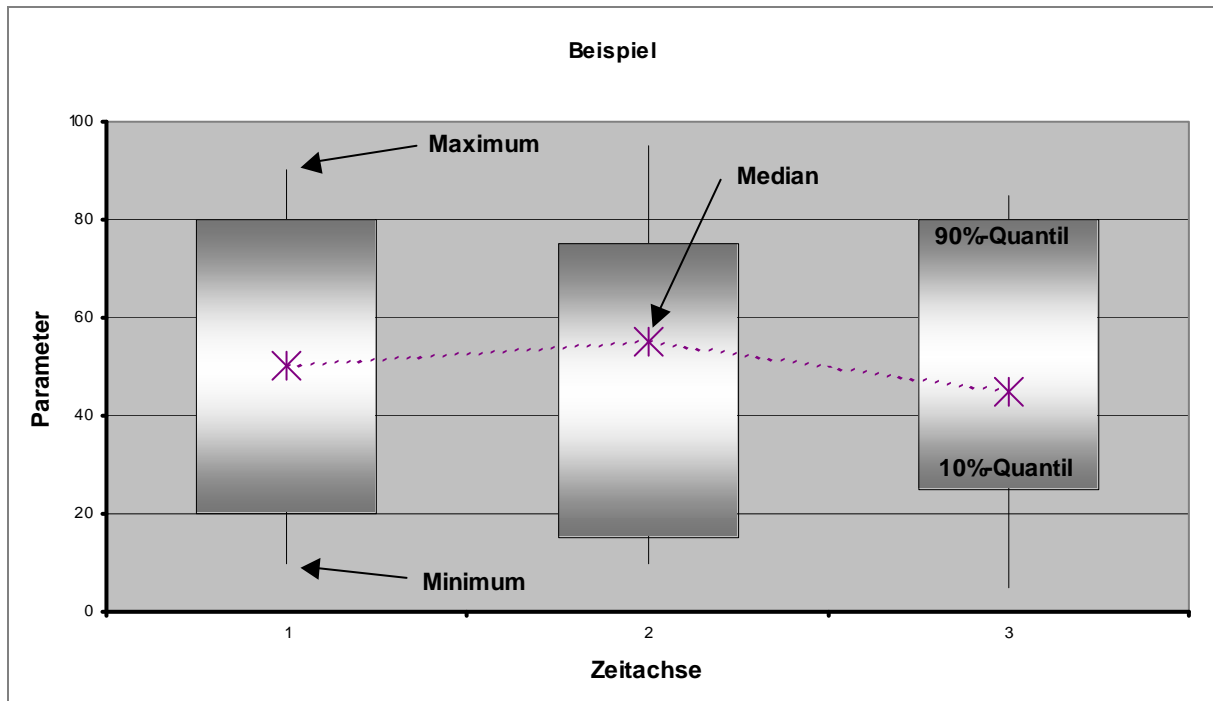
## **4.2 Erläuterung zur statistischen Auswertung der Stationsdaten**

Als Ergebnis liefert eine Messstation Zahlenwerte, die für sich gesehen noch keine Aus- oder Bewertung der Wasserbeschaffenheit darstellen. Lediglich Biomonitoring – Methoden können eine gewisse Ja/Nein – Entscheidung treffen, entweder die Inhaltstoffe haben keine Auswirkung auf die Testobjekte oder sie beeinflussen deren Körperfunktionen nachhaltig. Eine kurze Überschlagsrechnung soll darstellen, welche erhebliche, durch automatische Messverfahren erzeugte Datenmengen sich innerhalb eines Zeitraumes ansammeln:

- pro Parameter wird ein „10min“-Mittelwert erzeugt,
- pro Parameter 144 Werte/Tag, ca. 4.400 Werte/Monat, ca. 52.500 Werte/Jahr,
- für 10 Parameter pro Messstation und Jahr ca. 520.000 Werte,
- in 6 Messstationen pro Jahr 3,12 Mio. Einzeldaten,
- in 10 Jahren ergeben sich damit 31,2 Mio. Einzeldaten.

Für Augenblicksentscheidungen existieren Grenz- oder Warnwerte, bei deren Erreichen oder Überschreiten entsprechende Handlungen eingeleitet werden. Eine im Nachhinein erfolgende Auswertung bedarf einer entsprechenden statistischen Aufarbeitung der enormen Datenmengen, um überschaubare Graphiken oder Diagramme zu erzeugen. Zur Darstellung von Tagesgängen einzelner Parameter werden im Wesentlichen Einzelpunktdarstellungen angewendet. Bei der Darstellung des Jahresgangverhaltens erfolgt die Anwendung von BOX-WHISKER-PLOT - ähnlichen Abbildung

(Median, 10 %- und 90 %-Quantil, Minimum-Maximum), die einen sehr übersichtlichen Ausdruck der wesentlichen statistischen Größen ermöglicht. Innerhalb des 10 %- und 90 %-Quantils befinden sich also 80 % der Messwerte, die zusammen mit dem Median eine gute Interpretation der Zeiträume ermöglichen.



**Abb. 4.2.-1: Erläuterung der graphischen Darstellung**

Zu erwähnen ist, dass auch Messstationen Wartungs- und Ausfallzeiten haben, was wiederum unvollständige Datenreihen bedingt. Dieses führt zu teilweise lückenhaften Darstellungen, die wiederum Auswirkungen auf die statistischen Kennzahlen haben und daher bei Interpretationen zu berücksichtigen sind.

## 4.3 Eine Auswertung ausgewählter Ereignisse und Messstationsparameter der Wasserbeschaffenheit

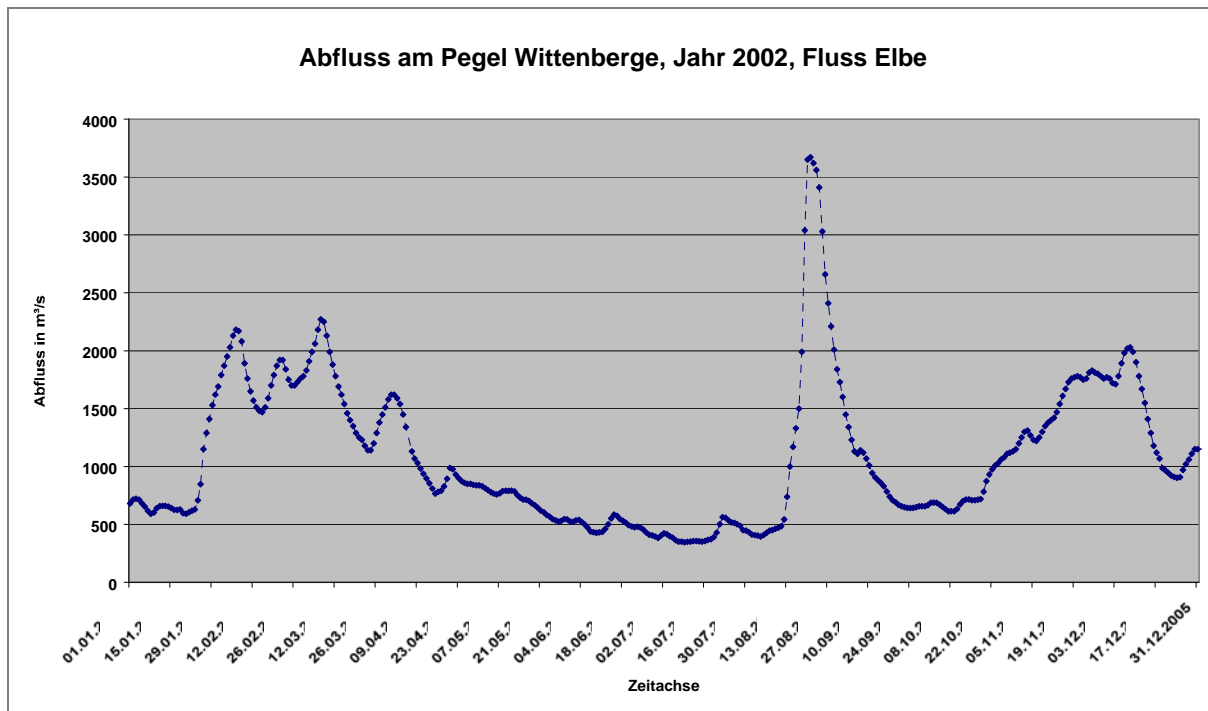
### 4.3.1 Auswertung von Messstationsparameter in Hochwassersituationen an Elbe und Oder

#### Die Elbe

Im Jahr 2002 kommt es im Bereich der Elbe und ihres Einzugsgebietes zu einem extremen Hochwasserereignis, das bezüglich der abfließenden, hohen Wassermengen und der daraus resultierenden Zerstörung im Umfeld des Flusses nachhaltig in Erinnerung bleiben wird. Bei der Darstellung der Wasserbeschaffenheitsentwicklung treten bei einem Ereignis dieser Dimension gut interpretierbare Effekte auf.

#### - Parameter Leitfähigkeit

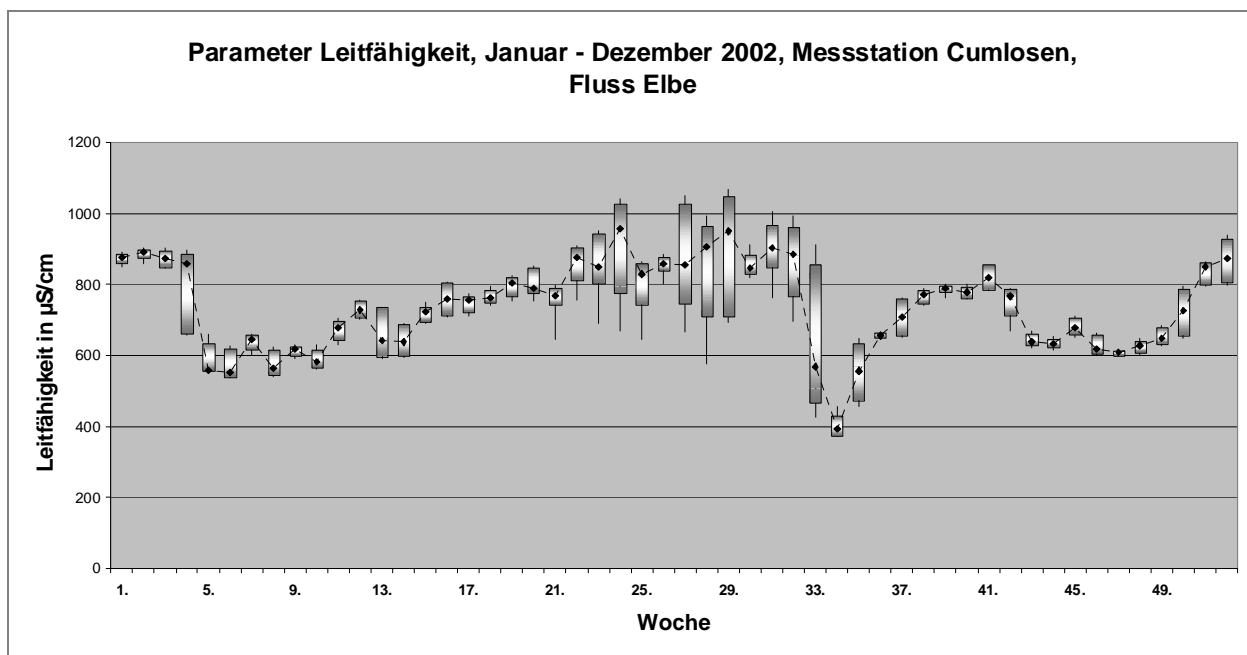
Im Allgemeinen haben stoffliche Belastungen im Gewässer einen geogenen und/oder anthropogenen Hintergrund. Bei einem Hochwasserereignis treten bezüglich Konzentration eines Stoffes zwei gegenläufige Prozesse auf, einerseits verstärkter Eintrag über den Oberflächenabfluss bzw. damit Erhöhung der Stofffracht und andererseits Verringerung der Stoffkonzentration durch Verdünnung. Des Weiteren spielt die Mobilisierung von Schadstoffen aus Senken eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Falls es nicht zu einem unkontrollierten Eintrag aus Belastungsquellen (Havarie) kommt, überwiegt die Verdünnung, d.h. die Stoffkonzentration verringert sich erheblich.



**Abb. 4.3.1.-1: Abfluss am Pegel Wittenberge im Jahr 2002, Fluss Elbe**

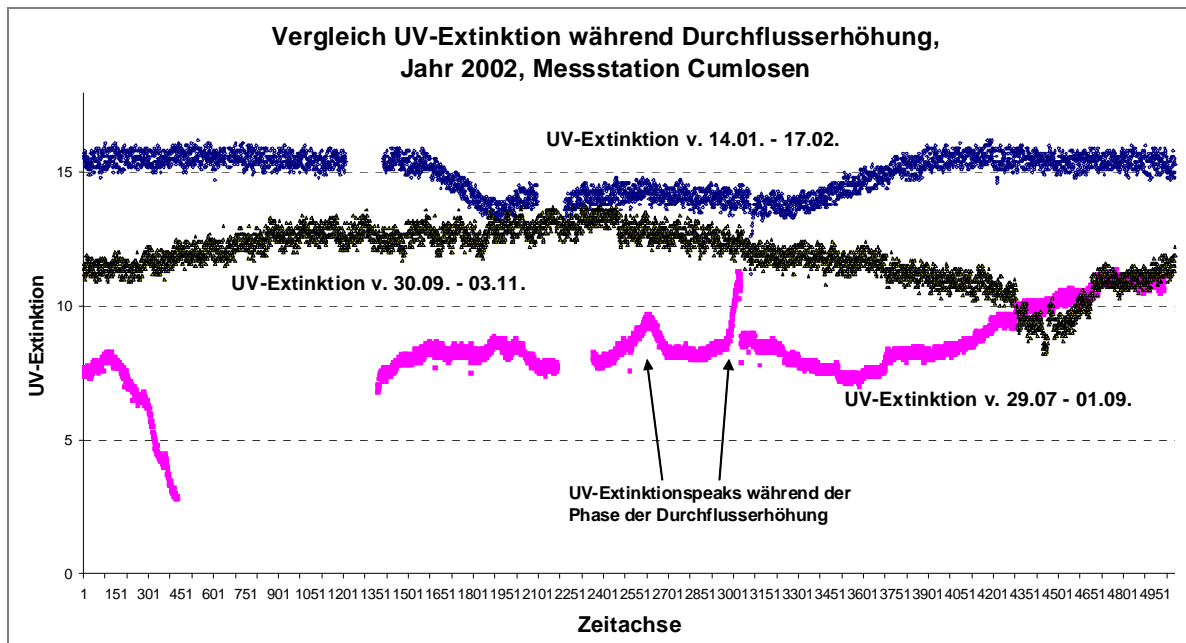
Die im Jahre 2002 im Einzugsgebiet der Elbe aufgetretenen drei Hochwasserereignisse im Frühjahr (Januar-Februar), im Sommer (August – September) und im Herbst (Oktober – Dezember) spiegeln sich im Konzentrationsverlauf signifikant wieder.

In den betrachteten Teilzeiträumen verringern sich die Salzkonzentrationen erheblich, so in der 4., der 33. und 41. – 43. Woche, die alle als Folge erheblicher Erhöhung des Durchflusses angesehen werden können. Besondere in der 33. Woche kommt es durch ein extremes Hochwasser in der Elbe zu einer Verringerung der Leitfähigkeit von ca. 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (weiterführende Betrachtung der Beschaffenheit durch die Wassergütestelle Elbe siehe [14]).



**Abb. 4.3.1.-2: Statistische Wochenkennzahlen des Parameters Leitfähigkeit, Messstation Cumlosen, Fluss – km 470**

Von Interesse ist auch ein Vergleich des Verhaltens der UV-Extinktion während der 3 im Jahr 2002 als Hochwässer zu bezeichnenden Zeitabschnitte, insbesondere in der Phase des Durchflussanstieges (Abb. 4.3.1.-3). Verantwortlich für die Absorption im UV-Bereich sind im wesentlichen Huminstoffe, die wiederum ein erhebliches Bindungsvermögen für Schadstoffe aufweisen.



**Abb. 4.3.1.-3: Verlauf des Parameters UV-Extinktion in der Phase der Durchflusserhöhung während der Hochwässer im Jahr 2002**

Im Vergleich zum Frühjahrs- und Herbsthochwasser, die sich auf einem wesentlich höheren UV-Absorptionsniveau befinden, weist das extreme Sommerhochwasser am Beginn in der Phase der Durchflussanstieges zwei signifikante Peaks auf, die einer Erhöhung der Konzentration dieser Stoffgruppe zugeordnet werden können. Es ist davon auszugehen, dass in der davor liegenden Niedrigwassersituation der Elbe entsprechende Stoffmengen in Senken aussedimentieren, die dann am Beginn einer Hochwassersituation remobilisiert werden [15]. Das Auftreten zweier Maxima in der Situation des Durchflussanstieges lässt sich durch das Aufeinandertreffen von Hochwasserwellen aus dem oberen Elbeeinzugsgebiet und dem der Mulde erklären. Beachtung sollte dieses Verhalten bei der Flutung von Poldern zur Minimierung des Hochwasserscheitels finden, um eine stoffliche Belastung der dortigen Böden zu vermeiden.

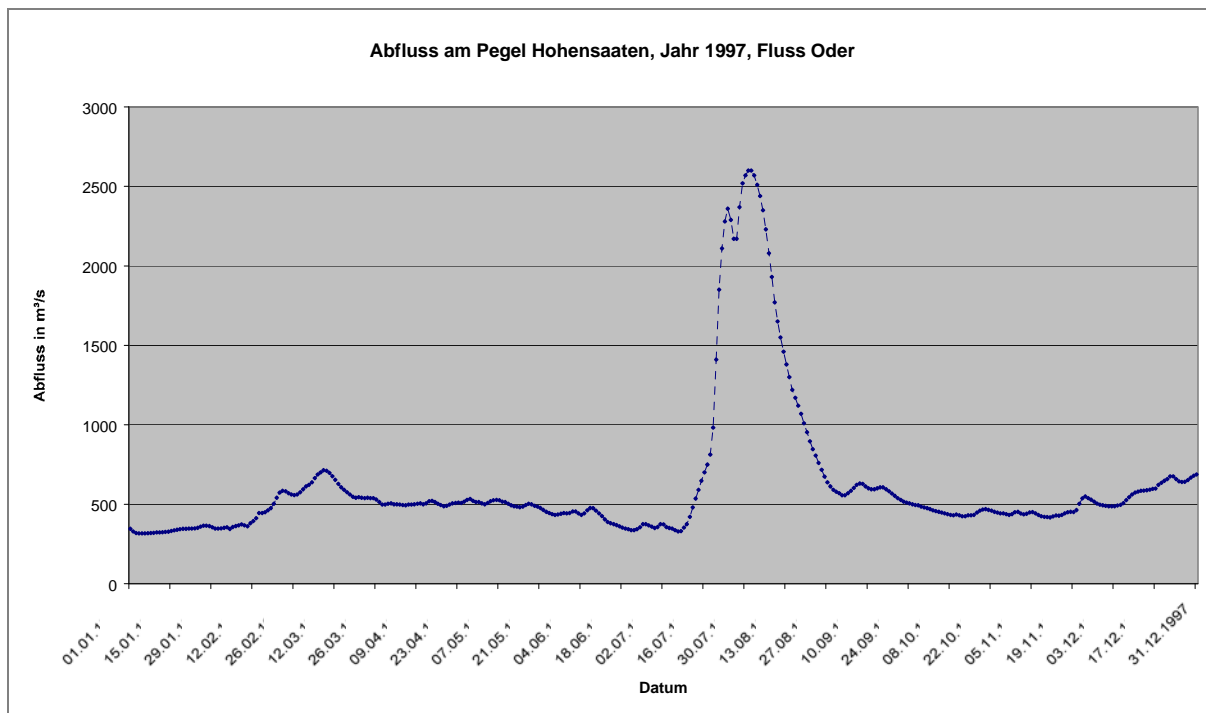
Ein analoges Verhalten des Parameters UV-Extinktion ist auch in der Oder während des Hochwassers im Juli-August 1997 nachweisbar [6].

## Die Oder

Wie im Abschnitt der Elbe stellen Hochwässer auch im Bereich der Oder eine Ausnahmesituation dar.

Das im Jahr 1997 an der Oder auftretende Hochwasser kann mit recht als ein Jahrhundertereignis bezeichnet werden.

Das Abflussverhalten im Pegel Hohensaaten, wenige Flusskilometer vom Messpunkt Hohenwutzen entfernt, kann als recht überschaulich interpretiert werden. Die Abflüsse befinden sich im Jahr 1997 mehrheitlich in einer Größenordnung von 300 – 700 m<sup>3</sup>/s. Während des Hochwasserereignisses selbst erreichen diese eine Größenordnung von über 2.500 m<sup>3</sup>/s, welches das 5-fache des sonst üblichen darstellt.



**Abb. 4.3.1.-4: Abfluss am Pegel Hohensaaten im Jahr 1997, Fluss Oder**

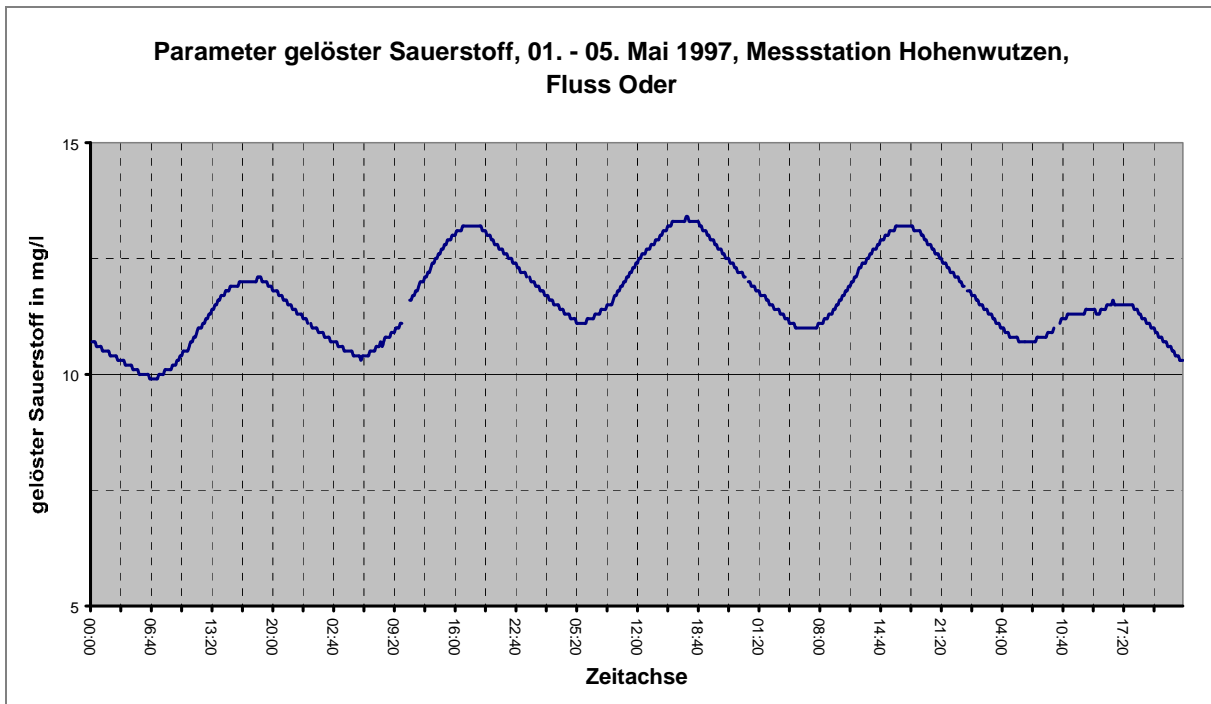
Neben der schon erfolgten Auswertung des direkten Hochwasserzeitraumes [6] ist es noch interessanter, ausgewählte Beschaffenheitsdaten des Flusswassers des gesamten Jahres 1997 einschließlich dieses Phänomens zu betrachten. Infolge weitreichender Überschwemmungen in Flussnähe war der Betrieb des sonst üblichen Messnetzes nicht mehr gewährleistet. Lediglich an den Messstationsstandorten konnten mit Einschränkungen Wasserproben über den gesamten Zeitraum entnommen werden. Bei der nachfolgenden Interpretation wurden Daten der Messstation im Flussabschnitt Hohenwutzen herangezogen.

#### **- gelöster Sauerstoff**

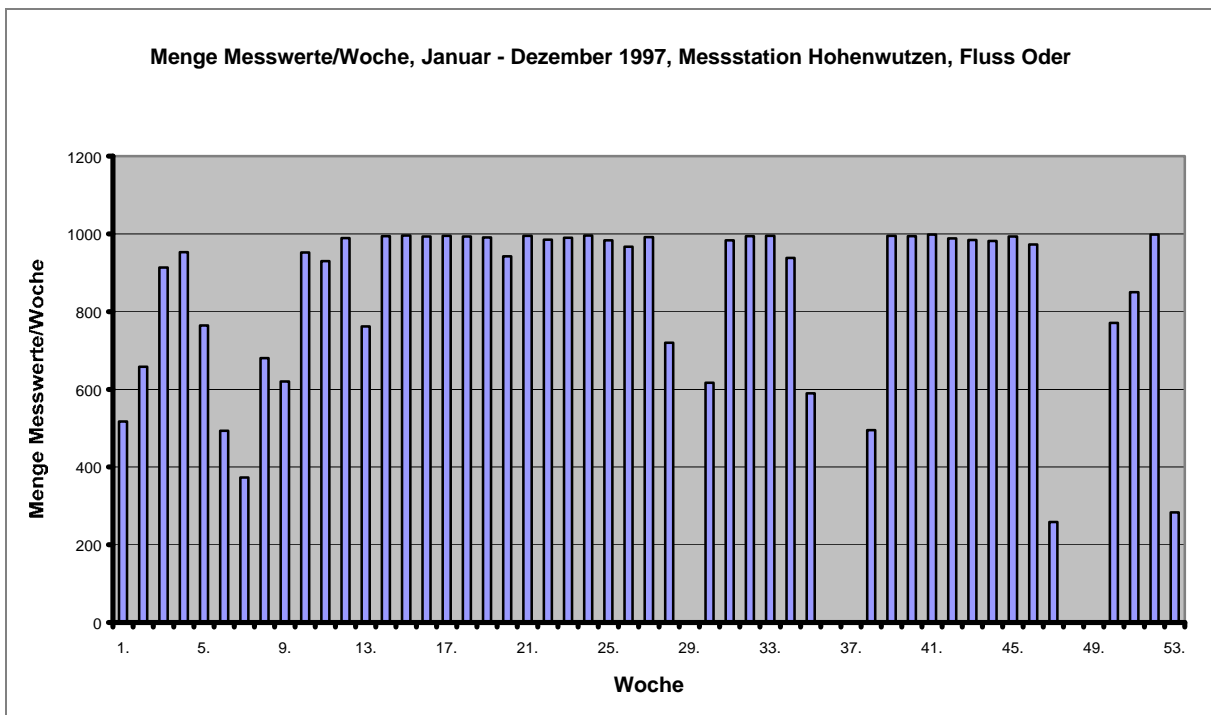
Der Parameter gelöster Sauerstoff zeigt die im Gewässer gewohnten, insbesondere in den Sommermonaten durch die Biologie des Flusses verursachten, erheblichen Tag-und-Nacht-Schwankungen (siehe Abb. 4.3.4.-5), die durchaus in einer Größenordnung von 3 – 4 mg/l O<sub>2</sub> auftreten können. Die Größe ist insbesondere dann zu beachten, wenn eine im Laufe des Tages entnommene Wasserprobe einen „noch“ ausreichenden Sauerstoffgehalt für den Biotabereich anzeigt, es aber durchaus in den frühen Morgenstunden zu erheblichen Fischsterben infolge Sauerstoffmangels kommen kann.

Im Rahmen der weiteren Auswertung ist bei statistischen Bearbeitung die „durch die Messstation“ erzeugte Datenmenge des Parameters in Anzahl Messwerte/Woche zu berücksichtigen (Abb. 4.3.4.-6).

Neben technischen Ausfällen (Defekte, Reinigungszeiten u.ä.) müssen auch Daten ausgesondert werden, die einer Plausibilitätsprüfung nicht standhalten. Anfälligkeiten für Stationsausfälle ergeben sich besonders in den Wintermonaten sowie in den Extremsituationen des Hochwassers. Das bedingt, das kleine Spannweiten der Konzentration einerseits durch reale Gehalte verursacht sein können, andererseits mögen die Gründe in einer geringeren Datenmenge liegen, die beim Vergleich der Kennzahlen nur für einen kleineren Betrachtungszeitraum als den hier gewählten Wochenzeitraum vorliegen.

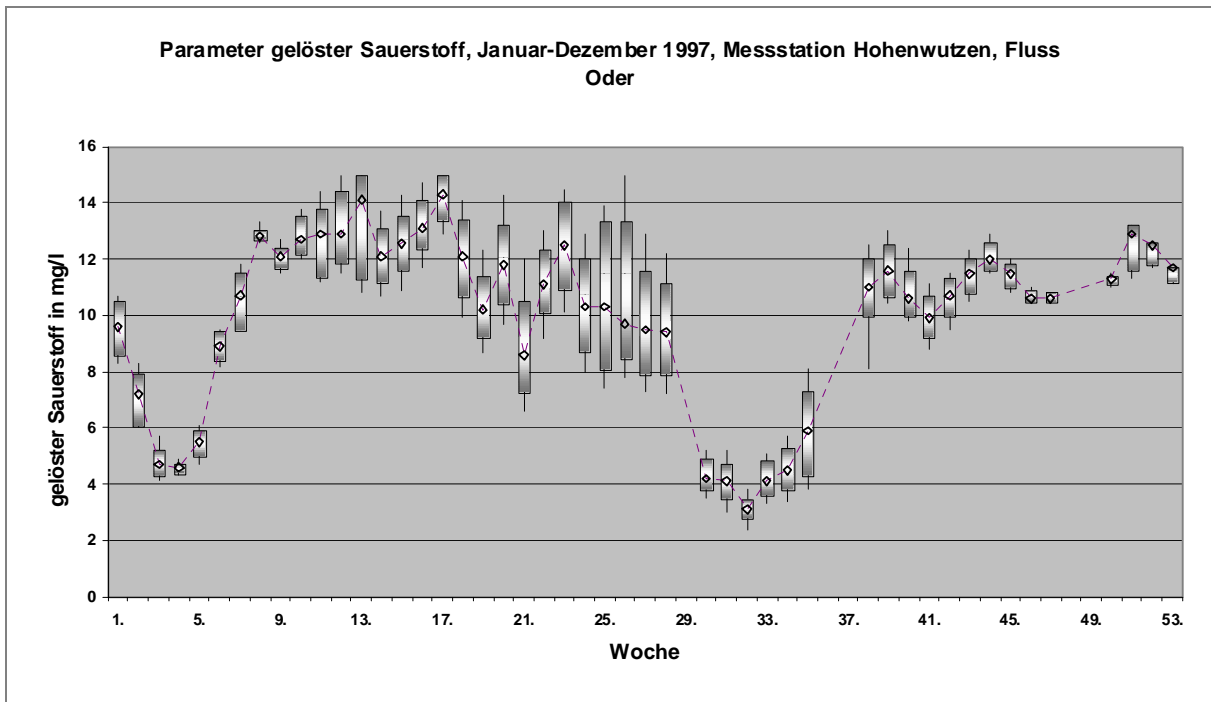


**Abb. 4.3.1.-5: Tagesganglinien des Parameters gelöster Sauerstoff, Messstation Hohenwutzen, Fluss – km 662**



**Abb. 4.3.1.-6: Erzeugte Datenmenge des Parameters gelöster Sauerstoff, Messstation Hohenwutzen, Fluss – km 662**

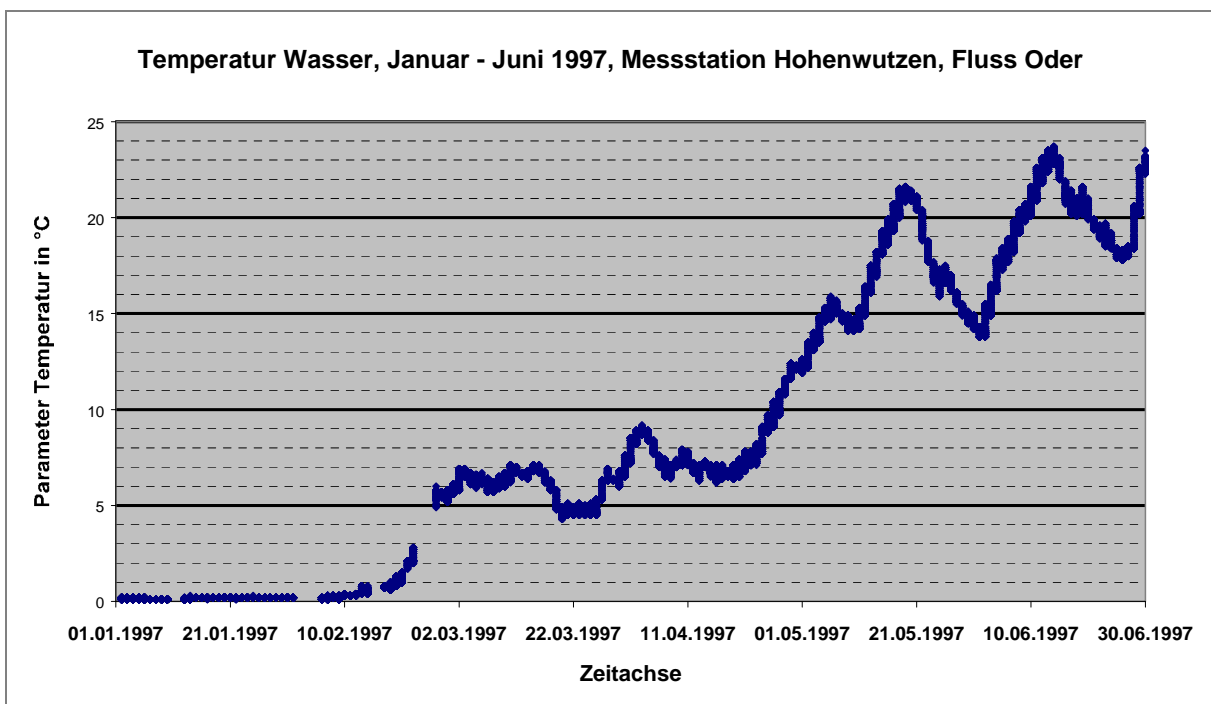
Der Erstellung des Diagramms für den Parameter gelösten Sauerstoff (Abb. 4.3.4.-7) vorausgegangen war eine statistische Bearbeitung der Jahresdatenmenge für 1997 von ca. 40.816 Einzelwerten. Mittels entsprechender Excel -Funktionen wurden für jede Woche die statistischen Kennzahlen (siehe Abschnitt 5.2.) errechnet und graphisch als Diagramm dargestellt. Die Oder hat ein durchaus gutes Sauerstoffregime. Selbst in kritischen Gewässersituationen sinkt der Sauerstoffgehalt im Hauptstrom nicht unter 2 mg/l. In den Wintermonaten ist die durch niedrige Temperaturen gehemmte biologische Aktivität und während der Hochwasserphase der Eintrag bzw. die Remobilisierung oxydierender Substanzen als Ursache des geringen Sauerstoffgehaltes bzw. der kleinen Spannweiten anzusehen.



**Abb. 4.3.1.-7: Statistische Wochenkennzahlen des Parameters gelöster Sauerstoff 1997, Messstation Hohenwutzen, Fluss - km 662**

Im Zusammenhang mit dem Anstieg der Sauerstoffkonzentration und der Zunahme der Wochen-spannweiten des Parameters ist als Auslöser die Erhöhung der mikrobiologischen Aktivitäten in Wechselbeziehung mit dem Temperaturverhalten des Wassers zu sehen (Abb. 5.3.4.-8).

Im Zeitabschnitt April bis Mai 97 steigt die Temperatur um ca. 15 °C und ermöglicht damit eine Steigerung der Sauerstoffproduktion des Phytoplanktons, die besonders in den Sommermonaten massiv in den Sauerstoffhaushalt des Gewässers eingreift.



**Abb. 4.3.1.-8: Verlauf des Parameters Temperatur in den Monaten Januar bis Juni 1997**

#### 4.3.2 Eine Langzeitbetrachtung des Parameters Sauerstoff Messstation Kleinmachnow am Teltowkanal

Der Teltowkanal kann als ein stark rückgestautes Gewässer im Süden von Berlin bezeichnet werden, dessen Durchfluss in einer Größenordnung von ca. 10 m<sup>3</sup>/s liegt. Infolge verlangsamter Fließbewegungen und hoher Abwasserbelastungen aus drei Kläranlagen weist der Parameter Sauerstoff erhebliche Schwankungen im Tages-, wie auch im Jahrgang aus [16].

Abbildung 4.3.2.-1 gibt einen Überblick über den Streubereich der Monatsmediane innerhalb eines Jahres im Zeitraum 1993 bis 2003. Besondere in den Sommermonaten kommt es zu Unterschreitungen von Sauerstoffkonzentrationen, ab denen eine Schädigung des biologischen Lebens zu erwarten ist. Insgesamt kann im 11-jährigen Betrachtungszeitraum von einer leichten Verbesserung der Situation gesprochen werden.

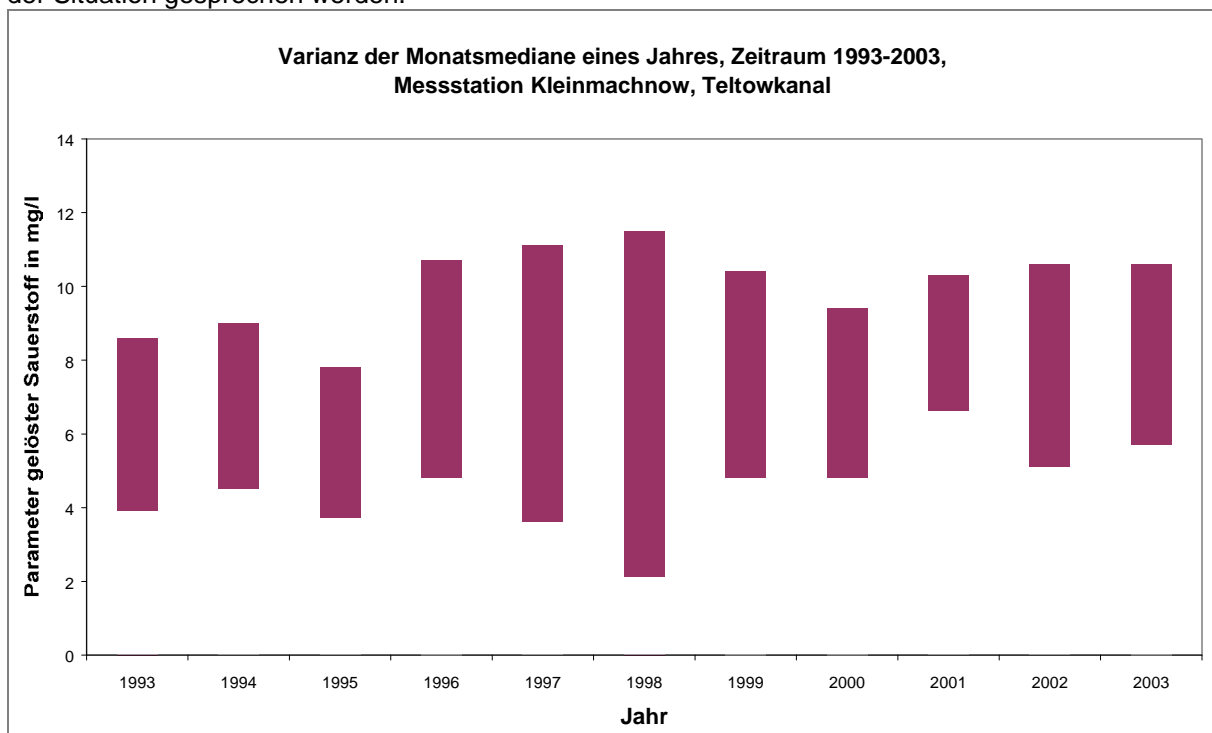
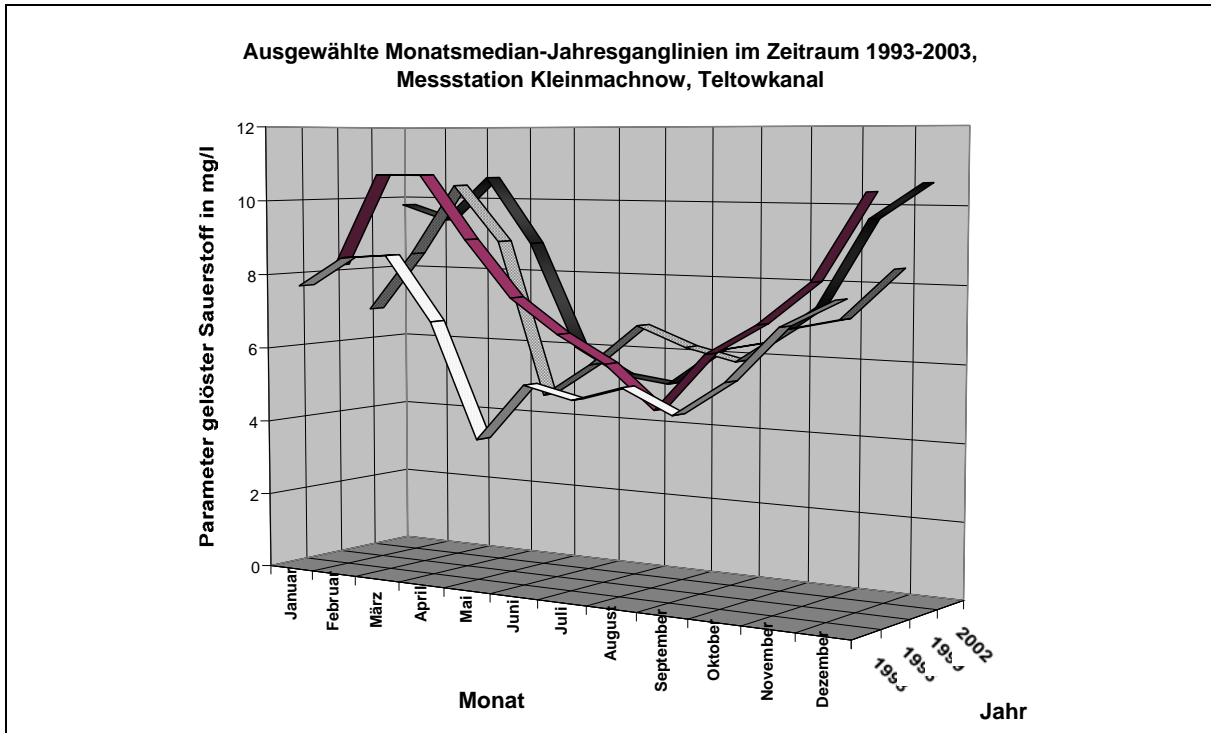


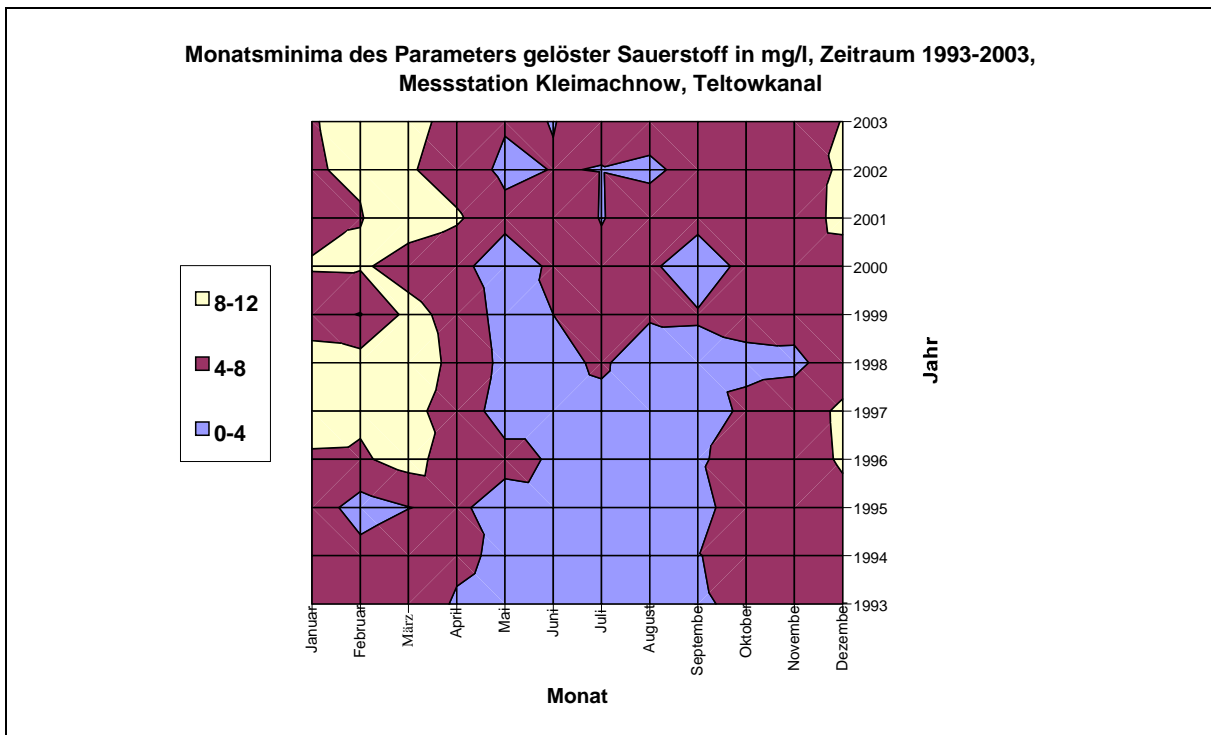
Abb. 4.3.2.-1: Streubereich der monatlichen Mediane eines Jahres im Zeitraum 1993 - 2003

Nachfolgende Abbildung 4.3.2.- 2 zeigt anhand ausgewählter Ganglinien der Monatsmediane das Verhalten der Sauerstoffkonzentration im Gewässer über den Zeitraum eines Jahres.

Im Winterabschnitt kann mit 8 – 12 mg O<sub>2</sub>/l von guten Sauerstoffverhältnissen ausgegangen werden. In den Sommermonaten, insbesondere Mai bis September, erfolgen durch die hohe Phosphorbelastung entsprechende mikrobiologische Aktivitäten, in deren Folge durch Sauerstoffzehrung erhebliche Defizite auftreten. Dabei kommt es Abschnittsweise zur völligen Sauerstoffzehrung.



**Abb. 4.3.2.-2: Jahresganglinie des monatlichen Sauerstoffmedianes**



**Abb. 4.3.2.-3: Klassenzuordnung der monatlichen Minimalkonzentrationen des Parameters gelöster Sauerstoff in einem Flächendiagramm im Zeitraum 1993 – 2003**

Von Interesse sind vor allem Sauerstoffdefizitsituationen, die im Rahmen der manuellen Stichprobenuntersuchung nicht erfasst werden. Abbildung 4.3.2.-3 stellt in einem Flächendiagramm die monatlichen Minimalwerte nach Klassenzuordnung dar. Bis 1998 gab es im Teltowkanal über mehrere Monate andauernde, erhebliche Defizite bezüglich des Parameters gelöster Sauerstoff. Insbesondere in den frühen Morgenstunden traten zeitweise Sauerstoffkonzentrationen von unter 1 mg O<sub>2</sub>/l.

## 5 Zusammenfassung

Fliessgewässer bilden einen wesentlichen Bestandteil unserer Umwelt und infolge ihrer stofflichen Transportfunktion können bei Schadstoffeintrag, aber auch bei Remobilisierung eines Schadstoffpools im Gewässer erheblich negative Auswirkungen auf das Ökosystem Fluss sowie dem maritimen Bereich auftreten. Umso bedeutungsvoller ist es, das Kompartiment Wasser und Schwebstoff einer zeitlich dauerhaften und umfassenden, stofflichen Überwachung zu unterziehen.

Trotz des erheblichen Aufwandes zum Bau und Betrieb von Messstationen stellen sie keine Ergänzung zum „manuell“ betriebenen Messnetz dar, sondern erfüllen gleichberechtigt den Aspekt der ständigen Kontrolle der Wasserbeschaffenheit, die praktisch durch eine noch so zeitlich eng gestaffelte, manuelle Beprobung nicht erfüllt werden kann. Insbesondere im Havariefall, sei es nun ein stoffliches und/oder mengenmäßiges Ereignis, stellen Messstationen eine zuverlässige Informationsquelle dar.

Seitens des Landesumweltamtes Brandenburg werden sechs automatische Gewässergütemessstationen an bedeutenden güterelevanten Punkten im Einzugsgebiet der Elbe und Oder unterhalten, um den ständig wachsenden Anforderungen im Umweltschutz nach einer lückenlosen Überwachung zu realisieren.

Anhand ausgewählter Auswertungsbeispiele für die Hochwasserereignisse an Oder 1997 und Elbe 2002 sowie eines 11-jährigen Zeitraumes von 1993 – 2003 werden einzelne Aspekte der Wasserbeschaffenheit anhand einfacher Parameter diskutiert. So ist in Auswertung des Parameters UV-Absorption festzustellen, dass kurzzeitig mit Beginn einer Hochwasserwelle ein erheblich mit Schadstoffen belastetes Flusswasser die Fliessgewässerstrecken passierte. Als Quelle sind die über Jahre angesammelten Schadstoffpools im Sedimentbereich anzusehen, die durch die auftretenden hohen Wassermengen freigespült werden. Im dritten Beispiel zeigt sich die über ein Jahrzehnt gehende Entwicklung der Sauerstoffverhältnisse im Abschnitt des Teltowkanals.

Obwohl sich die Messstationen auf einem technisch modernen Stand befinden, bleibt auch zukünftig in diesem Bereich noch vieles zu verbessern. Das betrifft die Schaffung neuer Auswertemethoden und deren Einbindung in die Frühwarnsysteme. Auf die Frage hin wie häufig es denn zu einem Havarieereignis an Elbe und Oder in Brandenburg gekommen ist und ob der Aufwand sich auch rechnen lässt, lässt sich mit der Gegenfrage begegnen ob die Anschaffung eines Rauchmelders in einem wichtigen Gebäude auch von der Anzahl vorheriger Brände abhängig sei.

Eines ist jedoch unbestritten - der heutige Schutz aquatischer Ökosysteme wird weitreichende Auswirkungen in der Zukunft haben.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesanstalt für Gewässerkunde (2000): Schautafel Gewässerlehrpfad Rhein-Mosel
- [2] Institut für Hygiene und Umwelt Hamburg (2004): Entwicklung von Alarmkriterien und Störfallerfassung in Messstationen (im Elbeeinzugsgebiet) für die internationale Gefahrenabwehrplanung, Forschungsprojekt EASE
- [3] Landesumweltamt Brandenburg (2004): Umweltdaten aus Brandenburg, Bericht 2004
- [4] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2002): August–Hochwasser 2002
- [5] Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (2002): Hochwasser August 2002
- [6] Landesumweltamt Brandenburg (1997): Das Sommerhochwasser an der Oder 1997. Studien und Tagungsberichte Band 16
- [7] [http://www.mlur.brandenburg.de/q/mst\\_kart.htm](http://www.mlur.brandenburg.de/q/mst_kart.htm)
- [8] Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (1995): Wassergütemessstationen des Internationalen Messprogramms der IKSE
- [9] [http://www.mlur.brandenburg.de/q/mst\\_kart.htm](http://www.mlur.brandenburg.de/q/mst_kart.htm)
- [10] Daubner, I. (1984): Mikrobiologie des Wasser, Akademie-Verlag Berlin
- [11] Hellmann, H. (1986): Analytik von Oberflächengewässer, Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York
- [12] Hütter, L.A. (1992): Wasser und Wasseruntersuchungen, Verlag Salle+Sauerländer
- [13] Legler, G. et al. (1986): Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchungen, Gustav-Fischer Verlag Jena
- [14] <http://www.arge-elbe.de/wge/Download/Berichte/02Guetebericht.pdf>
- [15] <http://www.ufz.de/hochwasser/bericht/e/HWEndTP5Babo.pdf>
- [16] [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d203\\_04.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d203_04.htm)
- [17] Mieth, K. (1992): Berichte aus der Arbeit 1992, Teil 1, Landesumweltamt Brandenburg
- [18] [http://www.biolab-bw.de/set\\_themen/umwelt.htm](http://www.biolab-bw.de/set_themen/umwelt.htm)