

## Emssperrwerk Gandersum

Sommerprobestau vom 16. -18.08.08  
Auswertung der physikalisch-  
chemischen Messdaten



# Emssperrwerk Gandersum

## Sommer - Probestau vom 16. bis zum 18.08.08

### Auswertung der physikalisch-chemischen Messdaten

#### 1. Zielsetzung

Für Überführungen von Werftschiffen mit einem Tiefgang größer gleich 8,0 m von Papenburg in die Nordsee sind entsprechende Wassertiefen in der Unterems erforderlich. Erhöhte Wassertiefen können nur durch Einstau der Ems über ein Stauziel von mehr als NN +1,75 m erreicht werden, was eine Stauzeit >12 h erfordert. Ein derartiger längerer Stau ist bislang im Rahmen des gültigen Planfeststellungsbeschlusses für das Emssperrwerk in den Sommermonaten nicht erlaubt. Es ist aber abzusehen, dass aufgrund der anstehenden Schiffsüberführungen eine Änderung dieser Randbedingung beantragt wird. Um die Folgen eines längeren Staus für die ökologische Situation beurteilen zu können, wurde im März 2008 ein Antrag auf gehobene Erlaubnis zur Durchführung von zwei Probestaus gestellt. Die gehobene Erlaubnis wurde am 18.07.2008 erteilt und so konnte der erste Probestau ab dem 16.08.08 für rd.37 Stunden (Sommer-Probestau) absolviert werden. Ein weiterer Probestau erfolgt im Herbst 2008 (ab dem 27.09.08) für ebenfalls 37 Stunden parallel zur Überführung des Werftschiffes CELEBRITY SOLSTICE. Durch eine intensive messtechnische Begleitung der beiden Probestaus soll die Auswirkung eines Staus auf den Sauerstoffhaushalt des Wasserkörpers in der Stauhaltung ermittelt werden, und zwar bei relativ hoher Wassertemperatur (Sommer / Frühherbst) und einer Staulänge von über 12 Stunden. Der hier vorliegende Bericht dokumentiert die Entwicklung der Sauerstoffverhältnisse in der Stauhaltung.

#### 2. Randbedingungen des Staus

Am 16.08.08 wurde gegen 11:30 Uhr begonnen, das Emssperrwerk zu schließen. Der Schließvorgang war gegen 12 Uhr abgeschlossen. Um den maximal zulässigen Wasserstand von NN +1,75 m (Gandersum) nicht zu überschreiten, wurde bereits etwa 2 Stunden vor dem Tidehochwasser gesperrt. Der erste ausgespiegelte Wasserstand in der Stauhaltung lag bei etwa NN + 1,35 m. Er stieg durch zufließendes Oberwasser im Laufe des Staus auf etwa NN +1,53 m an. Das Wetter war sonnig, die Windgeschwindigkeiten waren gering, die Wassertemperatur lag im Bereich von 19 °C (mittlere Wassertemperatur August Terborg 19,7°C).

Vor allem der Bereich oberhalb von Leerort war durch extrem hohe Schwebstoffkonzentrationen und „fluid mud“ Lagen an der Gewässersohle gekennzeichnet. In diesen Abschnitten sind auch im normalen Tidegeschehen sohnah nur sehr geringe Sauerstoffwerte zu verzeichnen. Insgesamt kann festgestellt werden, dass in diesem Probestau eine durchaus übliche Sommersituation eingefangen wurde, die durch höhere Sauerstoffwerte in der unteren Stauhaltung und niedrige Sauerstoffwerte in der oberen Stauhaltung gekennzeichnet ist.

**Tab. 1 Betriebsablauf des Emssperrwerks vom 16. bis zum 18.08.08  
(Angaben in MESZ)**

Uhrzeit	Vorgang
Schließen	
16.08.08 11:10	Ledasperrwerk wird geschlossen
16.08.08 11:20 bis 11:52	Schließvorgang Emssperrwerk, beginnend mit Hauptschifffahrtsöffnung (HSÖ)
Öffnen	
17.08.08 21:22 bis 18.08.08 00:55	Öffnungsvorgang Emssperrwerk, beginnend mit langsamer Wasserstandsangleichung
18.08.08 05:10	Ledasperrwerk ist geöffnet

Während der langsamen Wasserstandsangleichung zum Ende des Staus wurden rd. 200 bis 300 m<sup>3</sup>/s abgeschlagen.

Weitere Randbedingungen des Staus ergeben sich aus der Hydrodynamik eines Tidegewässers, die durch den Einsatz des Emssperrwerkes eine spezielle Form annimmt:

Unmittelbar nach dem Schließen des Sperrwerks klingt die noch vorhandene potentielle und kinetische Energie in einer gedämpften Schwingung allmählich aus. Es handelt sich hierbei um eine ausklingende periodische Bewegung, die wechselnde Strömungsrichtungen aufweist. Während dessen klingen auch die advektiven Transportprozesse aus, so dass es zur Sedimentation der in der Wassersäule befindlichen Schwebstoffe kommt.

Gleichzeitig verändern sich die Salzgehalte im Wasserkörper der Stauhaltung. Da schon nach kurzer Zeit keine starke Strömungsturbulenz mehr vorhanden ist, treten deutlich Schichtungseffekte in Erscheinung, weil das Wasser mit hohen Salzgehalten sohnah stromaufwärts vordringt. Dieses geschieht, da die Wasserdichte im unteren Bereich der Stauhaltung größer als im oberen Abschnitt ist und sich somit ein deutliches Druckgefälle ausbildet (barokliner Druckgradient). Aus dem baroklinen Druckgradienten resultiert eine stromauf gerichtete Kraft, die in Sohnähe am größten ist. Demzufolge ergibt sich in der Stauhaltung eine Strömungssituation, in welcher bodennah ein stromauf gerichteter Wasser- und Salztransport einsetzt, der aus Gründen der Kontinuität von einem oberflächennahen entgegengesetzt gerichteten Transport begleitet wird. Eine „Salzzunge“ fließt in der unteren Hälfte des Wasserkörpers stromauf und salzarmes Wasser gleitet an der Oberfläche in die entgegengesetzte Richtung.

Die vorgenannten Prozesse treten anhand der Messungen (Stations- und Schiffsmessungen) deutlich in Erscheinung.

### 3. Messungen

Die Messung der Sauerstoffverhältnisse erfolgte über 10 ständig installierte Messstationen und zwei zusätzlich installierte Messeinrichtungen (Halte und Terborg) (siehe Abb. 1). Die 10 Messstationen an der Tideems werden das ganze Jahr über ohne Unterbrechung betrieben und weisen bereits eine mehrjährige Zeitreihe auf. Die in Halte zusätzlich installierte Messeinrichtung wird aufgebaut, wenn eine Ausbreitung der Salzfront bis oberhalb von Weener zu erwarten ist. Die in Terborg installierte Messeinrichtung nahe der Wasseroberfläche, als Zusatz für die dort bereits an der Sohle ständig messenden Station, wurde speziell für den

Sommer- und Herbst-Probestau installiert. Zudem wurden während des Staubetriebs Längsprofil- und Tiefenprofil-Messungen von den Schiffen aus durchgeführt.

### 3.1 Messstationen

An den Messstationen Herbrum (oberhalb Wehr), Papenburg, Weener, Leerort, Terborg, Gandersum, Pogum, Emden und Knock, sowie in der Leda oberhalb des geschlossenen Ledasperrwerkes wurden die Parameter Wassertemperatur, Sauerstoffkonzentration, Salzgehalt und Schwebstoffkonzentration gemessen. Der Salzgehalt wird über die elektrische Leitfähigkeit erfasst und als „praktischer Salzgehalt“ angegeben (Einheit 1 PSU entspricht ungefähr 1 ‰). An den Stationen Gandersum und Leer (Leda) erfolgt die Messung ca. 1 m unterhalb der Wasseroberfläche, an den übrigen Station ca. 1 bis 1,5 m oberhalb der Sohle. Das Messsystem wurde durch zwei mobile Messeinrichtungen ergänzt. Es handelt sich um die mobile Messeinrichtung Halte, an der die Parameter Salzgehalt und Temperatur an der Sohle erfasst wurden und um eine zusätzliche Messeinrichtung an der bereits bestehenden Messstation Terborg, durch die ca. 1 m unterhalb der Wasseroberfläche Sauerstoff und Temperatur gemessen wurde.

Die Messstationen bzw. -einrichtungen Halte, Papenburg, Weener, Leerort, Terborg und Gandersum liegen in der Stauhaltung. Sie werden im Folgenden näher erläutert.

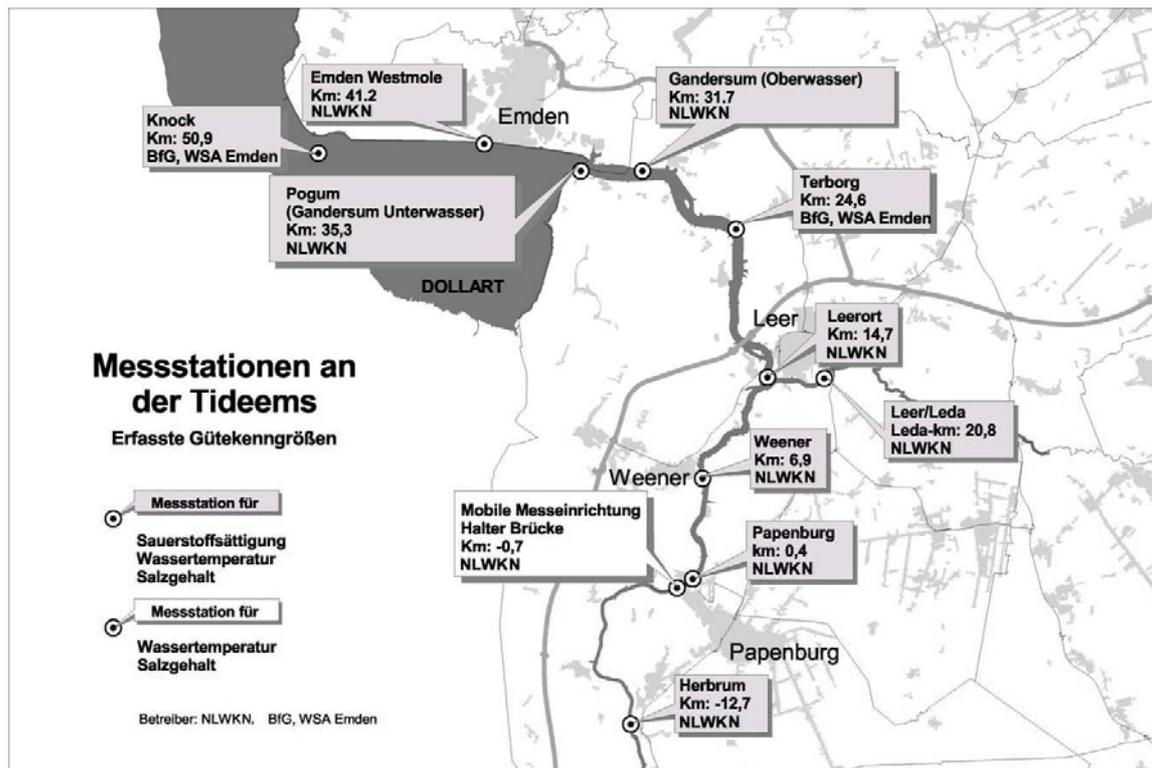


Abb. 1 Messstationen an der Tideems

### 3.1.1 Überblick der Stationsmessungen

#### Salzgehalt

Im Tidefluss gibt es eine longitudinale Salzgehaltsverteilung; die Salzgehaltskonzentration nimmt stromauf ab.

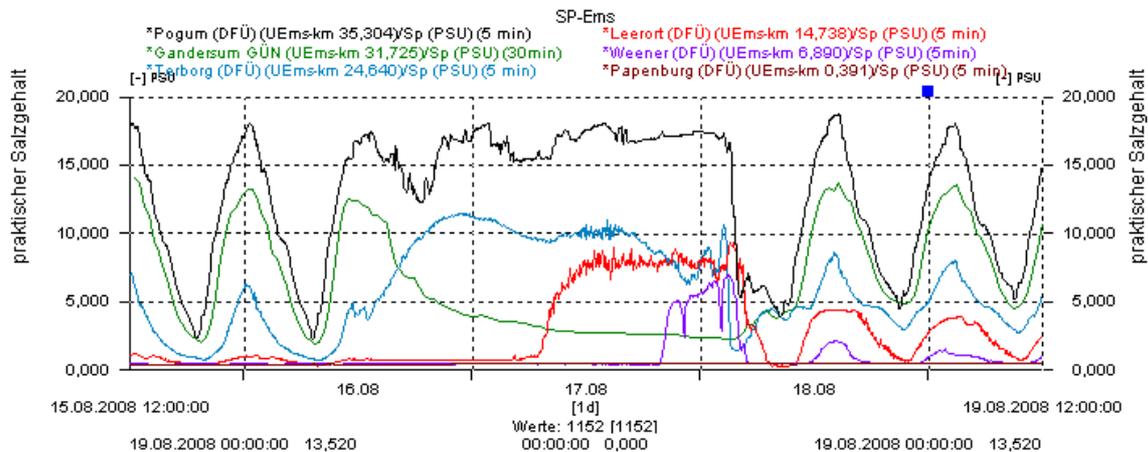


Abb. 2 praktischer Salzgehalt vom 15.08. bis zum 19.07.08 von Pogum (schwarz) bis Papenburg (rotbraun) [Zeitangaben in MEZ]

Durch den Stau kommt es in der Wassersäule zu einer Salzsichtung und einer stromauf gerichteten Salzausbreitung an der Gewässersohle. An der Wasseroberfläche erfolgt ein entgegengesetzter Strom salzärmeren Wassers in Richtung Gandersum. Deutlich wird dies an der Abnahme des Salzgehaltes an der oberflächennah messenden Station Gandersum und dem Anstieg des Salzgehaltes an der sohnah messenden Station Terborg, Leerort und Weener (Abb. 2).

#### Sauerstoffkonzentration

Im Tidefluss gibt es eine longitudinale Verteilung der Sauerstoffkonzentration.

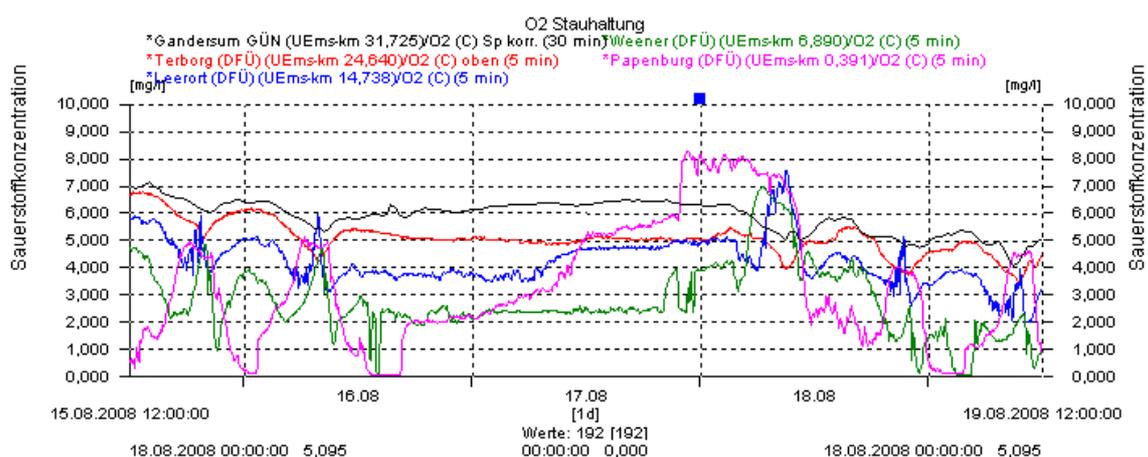


Abb. 3 Sauerstoffkonzentration vom 15.08. bis zum 19.07.08 im Bereich der Stauhaltung von Gandersum (schwarz) bis Papenburg (pink) (Zeitangaben in MEZ) siehe auch Anhang

In Abbildung 3 (zur besseren Lesbarkeit vergrößerte Abb. im Anhang) ist zu erkennen, dass der Sauerstoffgehalt von Gandersum nach Papenburg abnimmt. Weiterhin ist ersichtlich, dass es tidebedingt lokal starke Schwankungen im Sauerstoffgehalt gibt.

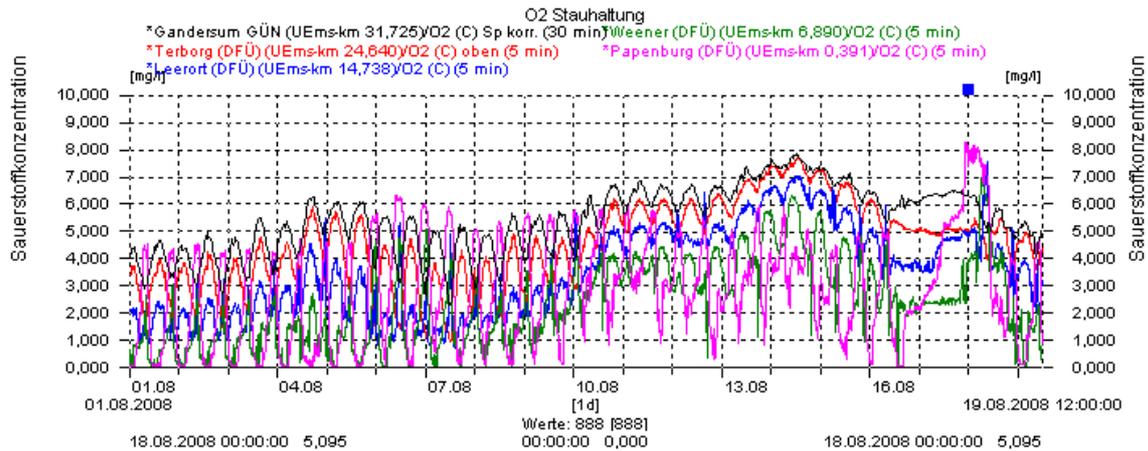


Abb. 4 Entwicklung der Sauerstoffkonzentration vom 01.08. bis zum 19.08.08 von Gandersum bis Papenburg (Zeitangaben in MEZ) siehe auch Anhang

Bei der Betrachtung einer längeren Zeitreihe als in Abb. 3 ist zu beobachten, dass es neben der Schwankung, die von einer einzelnen Tide hervorgerufen wird, auch eine Veränderung der Sauerstoffkonzentration durch andere Einflussfaktoren gibt (Abb. 4, zur besseren Lesbarkeit vergrößert im Anhang). Hier sind die Faktoren Tidehub, Oberwasserzufluss und Wassertemperatur zu nennen. Direkt vor dem Stau waren sehr niedrige Sauerstoffkonzentrationen in Papenburg zu verzeichnen. Um die Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes von der Temperatur und dem Oberwasserzufluss zu verdeutlichen, ist in Abbildung 5 die Sauerstoffkonzentration an der Messstation Gandersum zusammen mit den betreffenden Parametern aufgetragen worden: mit abnehmender Wassertemperatur steigt die Sauerstoffkonzentration, Oberwasserwellen führen zur Verlagerung des sauerstoffarmen Bereiches innerhalb der Trübungszone.

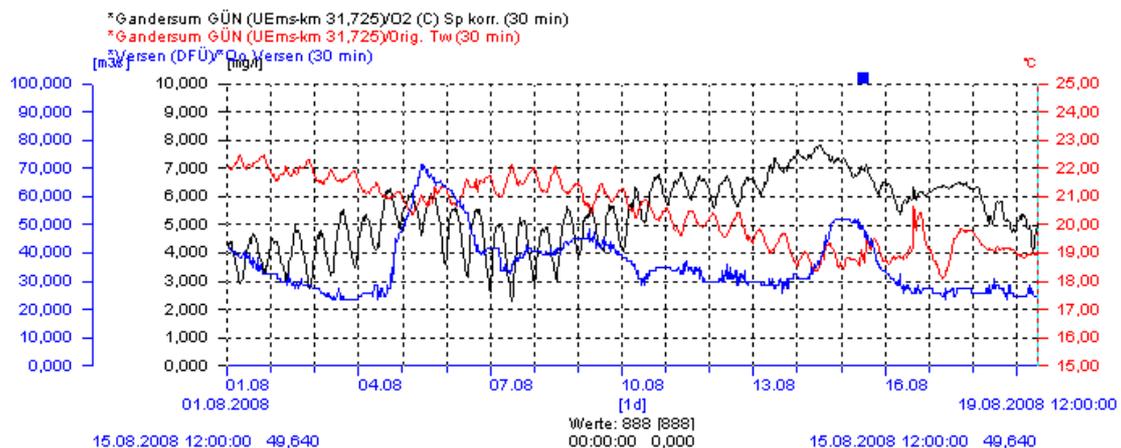


Abb. 5 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz) in Abhängigkeit der Wassertemperatur (rot) und des Oberwasserzuflusses (blau); hier an der Messstation Gandersum vom 01.08. bis zum 19.08.08 (Zeitangaben in MEZ)

Wie in den Abbildungen 3 bis 5 zu erkennen, lagen die Sauerstoffwerte während des Staufalls deutlich höher als das tidebedingte Minimum vor dem Staufall. Die an den Messstationen aufgezeichneten Sauerstoffkonzentrationen treten auch im natürlichen Tidegeschehen auf.

An zwei von fünf Messstationen in der Stauhaltung ist der Sauerstoffgehalt konstant geblieben oder hat leicht zugenommen (Gandersum und Terborg). An den übrigen Messstationen (Leerort, Weener und Papenburg) wurden zunächst konstante Sauerstoffkonzentrationen registriert, später jedoch eine deutliche Zunahme.

Die während des Staus registrierten Änderungen der Sauerstoffkonzentration resultieren vorwiegend nicht aus einer Zehrung oder einer Zunahme des im Wasser gelösten Sauerstoffs, sondern ergeben sich aus der Verlagerung (innerhalb) des Wasserkörpers, resultierend aus dem Gefälle des Wasserspiegels (während der Ausspiegelung), der Dichtedifferenz (im Wesentlichen Salz), dem Zufluss von Oberwasser und durch Abfluss über das Emsperrwerk. Zudem erfolgt ein Absetzen der Schwebstoffe und ein Konsolidieren des „fluid mud“ an der Gewässersohle.

Der Wasserkörper wird nicht gleichförmig über die ganze Stauhaltung beeinflusst. Die Bewegung des Wasserkörpers durch die Ausspiegelung zu Beginn des Staus macht sich in den engen Flussquerschnitten oberhalb von Leerort besonders bemerkbar. In diesem Abschnitt tritt auch eine deutliche Änderung durch den Oberwasserzufluss ein (Sauerstoffanstieg). Zudem war dort eine hohe Schichtdicke des „fluid mud“ an der Gewässersohle zu verzeichnen, die jedoch durch eine rasch einsetzende Konsolidierung zu Beginn des Staus stark abnahm. Daraus resultierte eine rasche Erhöhung der Sauerstoffwerte an den Messstationen Papenburg und Weener, da diese nach Staubeginn zunächst im „fluid mud“ lagen (durch Sedimentation der Schwebstoffe kurzzeitige „Anhebung der Sohle“) und durch die einsetzende Konsolidierung später oberhalb dieser Schicht maßen. Die longitudinale Salzgehaltsdifferenz führt besonders unterhalb von Leerort zu einer deutlichen dichtebedingten Verlagerung des Wasserkörpers.

Wie bereits an Abbildung 3 erläutert, existiert ein horizontaler Gradient der Sauerstoffkonzentration. Wird der Wasserkörper verlagert, so wird von den Messstationen eine entsprechende Sauerstoffentwicklung registriert. Nachfolgend wird die Entwicklung der Sauerstoffkonzentration an den einzelnen Messstationen dargestellt.

### 3.1.2 Betrachtung der einzelnen Messstationen

#### Messstation Gandersum

An der Messstation Gandersum wird die Gewässergüte rd. 1 m unterhalb der Wasseroberfläche gemessen.

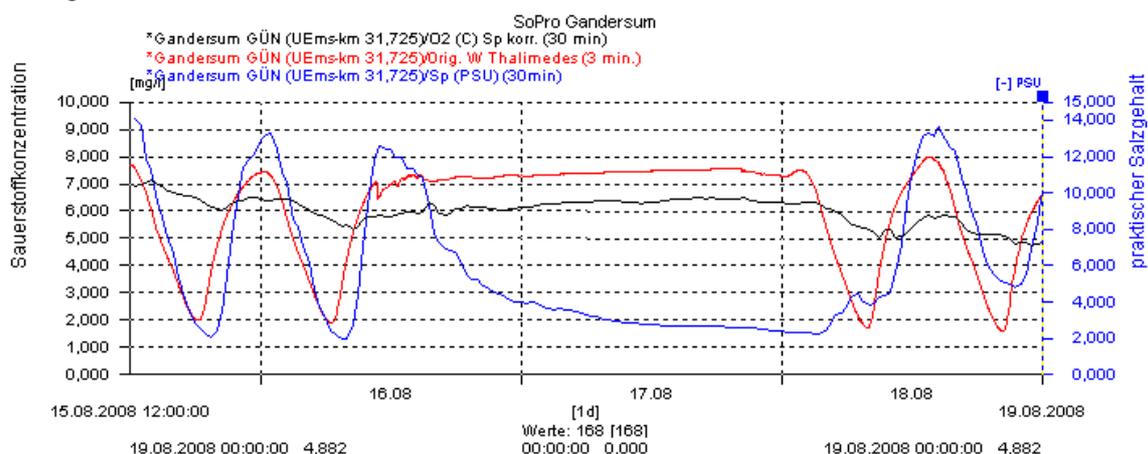


Abb. 6 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau); (Zeitangaben in MEZ)

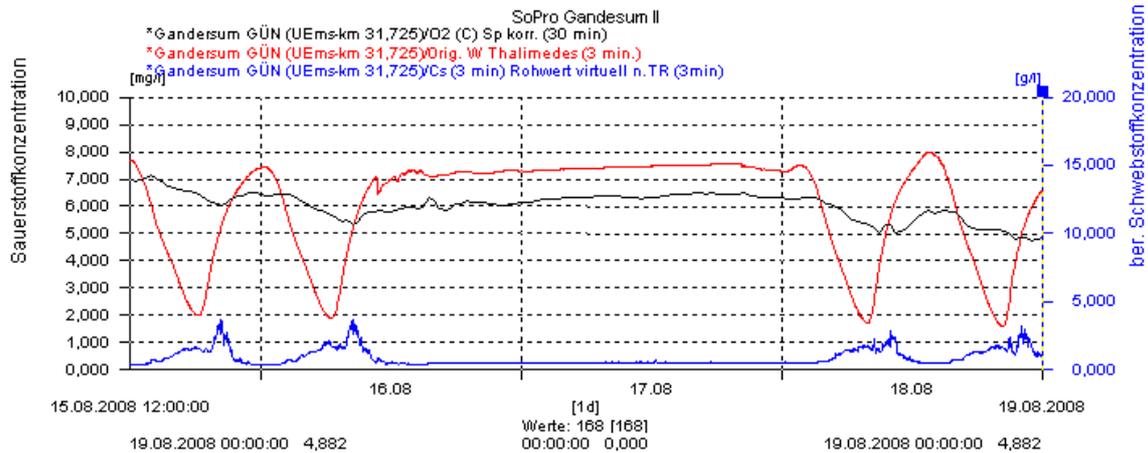


Abb. 7 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau); (Zeitangaben in MEZ)

Die Sauerstoffkonzentration zu Beginn des Staus betrug 5,8 mg/l, zu Beginn der Wasserstandsangleichung (17.08.08 21:30 MESZ) 6,5 mg/l und zum Ende des Staus 6,3 mg/l. Betrag der Salzgehalt zu Beginn des Staus noch rd. 12 PSU, waren zum Ende oberflächennah nur noch rd. 2 PSU zu messen (Abb. 6). Die Schwebstoffkonzentration nahm nach dem tidebedingten Maximum (3 bis 4 g/l) stark ab. Zu Beginn des Staus betrug die Konzentration 0,5 bis 1 g/l und nahm in kurzer Zeit auf kleiner gleich 0,5 g/l ab (Abb. 7).

### Messtation Terborg

An der Messtation Terborg wird die Gewässergüte rd. 1 m oberhalb der Gewässersohle gemessen. Zusätzlich erfolgt die Erfassung von Sauerstoffkonzentration und Wassertemperatur auch noch rd. 1 m unterhalb der Wasseroberfläche.

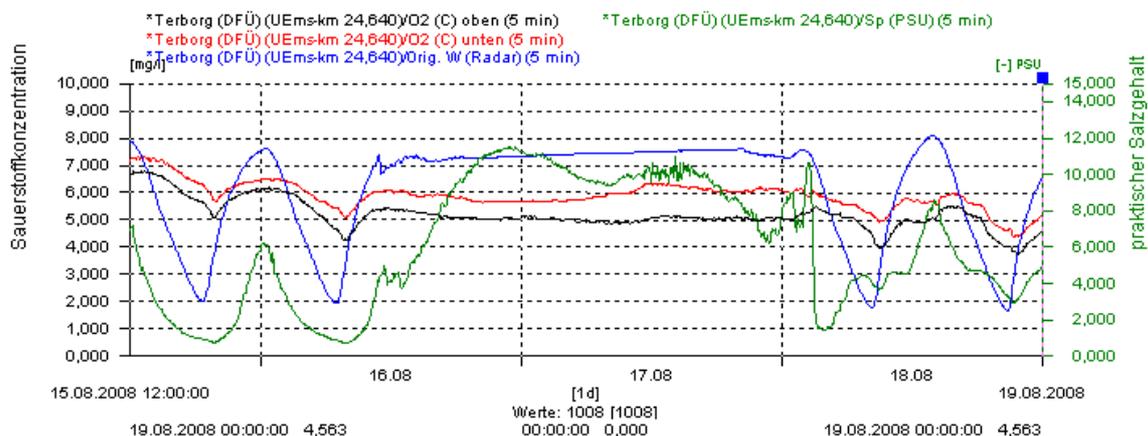


Abb. 8 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz/oberflächennah, rot/sohlnah) des Wasserstands (blau) und des Salzgehaltes (grün/sohlnah); (Zeitangaben in MEZ)

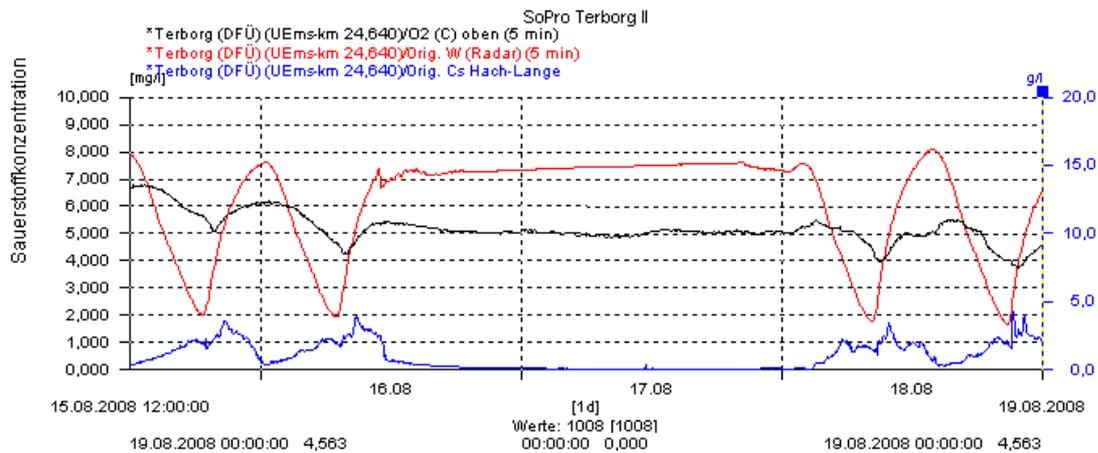
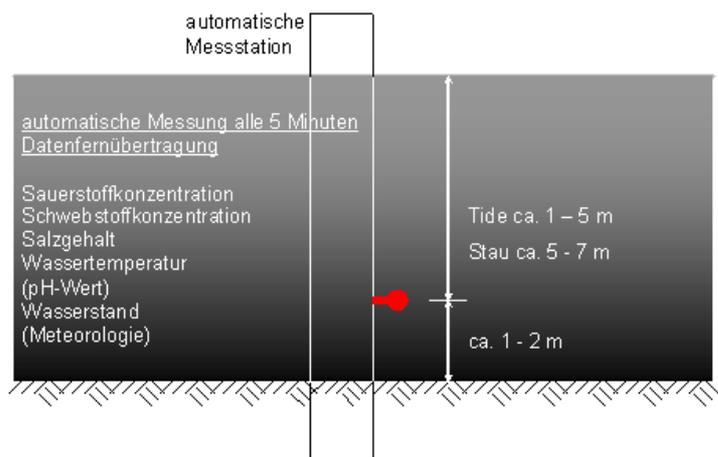


Abb. 9 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz) des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau); (Zeitangaben in MEZ)

Die Sauerstoffkonzentration zu Beginn des Staus betrug 5,4 mg/l, stellte sich während der Ausspiegelung auf rd. 5 mg/l ein und verblieb bis zum Ende des Staus in etwa auf diesem Niveau (4,9 bis 5,1 mg/l). Der Salzgehalt stieg sohnah zunächst bis rd. 11 PSU an und fiel danach in unregelmäßigem Verlauf auf rd. 6 PSU zum Ende des Staus ab (Abb. 8). Die Schwebstoffkonzentration nahm nach dem tidebedingten Maximum (rd. 4 g/l) stark ab. Zu Beginn des Staus betrug die Konzentration ca. 2,7 g/l und nahm innerhalb von 1,5 Stunden auf 0,7 g/l ab. Im weiteren Verlauf reduzierte sich die Konzentration auf ca. 0,1 g/l (Abb.9).

### Messstation Leerort

An der Messstation Leerort wird die Gewässergüte rd. 1,5 m oberhalb der Gewässersohle gemessen.



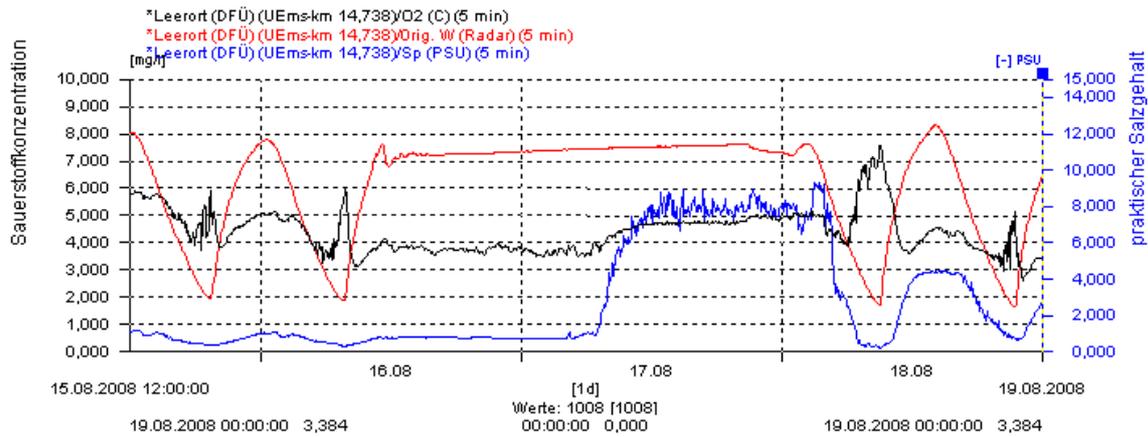


Abb. 10 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau); (Zeitangaben in MEZ)

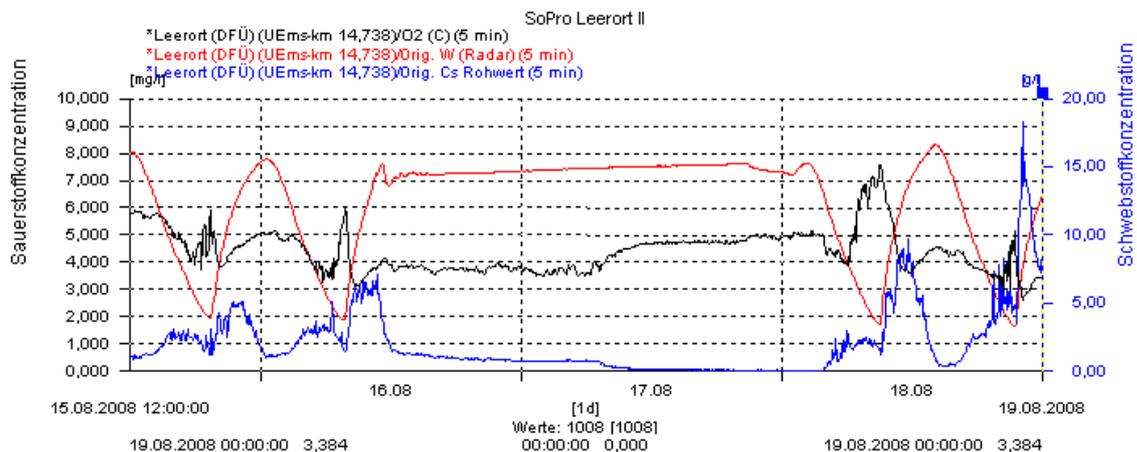


Abb. 11 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau); (Zeitangaben in MEZ)

Die Sauerstoffkonzentration zu Beginn des Staus betrug 3,8 mg/l. Im weiteren Verlauf schwankte der Sauerstoff zwischen 3,5 und 4,0 mg/l. Mit dem Anstieg des Salzgehaltes nahm die Sauerstoffkonzentration innerhalb von 4 Stunden auf 4,7 mg/l zu. Bis zum Beginn der Wasserstandsangleichung (mit Berücksichtigung der Reaktionszeit von Gandersum bis nach Leerort) war eine weitere Zunahme auf 5,0 mg/l zu verzeichnen. Am Ende des Staus betrug die Sauerstoffkonzentration 4,9 mg/l. Der zu Beginn des Staus vorhandene Salzgehalt von rd. 0,8 PSU war anfangs annähernd konstant, stieg dann auf ein Niveau zwischen 7,5 und 9 PSU und verblieb dort bis zum Ende des Staus (Abb. 10). Zu Beginn des Staus betrug die Schwebstoffkonzentration rd. 6 g/l und nahm innerhalb von 1,5 Stunden auf 1 bis 2 g/l ab. In dem folgenden Zeitabschnitt nahm die Konzentration weiterhin ab: Unmittelbar vor dem signifikanten Anstieg des Salzgehaltes, betrug die Schwebstoffkonzentration nur noch 0,7 g/l. Mit dem Eintreffen der „Salzzunge“ ging eine weitere Abnahme der Schwebstoffkonzentration innerhalb von 3 Stunden auf ca. 0,2 g/l einher, später nahm diese auf kleiner 0,1 g/l ab (Abb. 11).

## Messtation Weener

An der Messtation Weener wird die Gewässergüte rd. 1,5 m oberhalb der Gewässersohle gemessen.

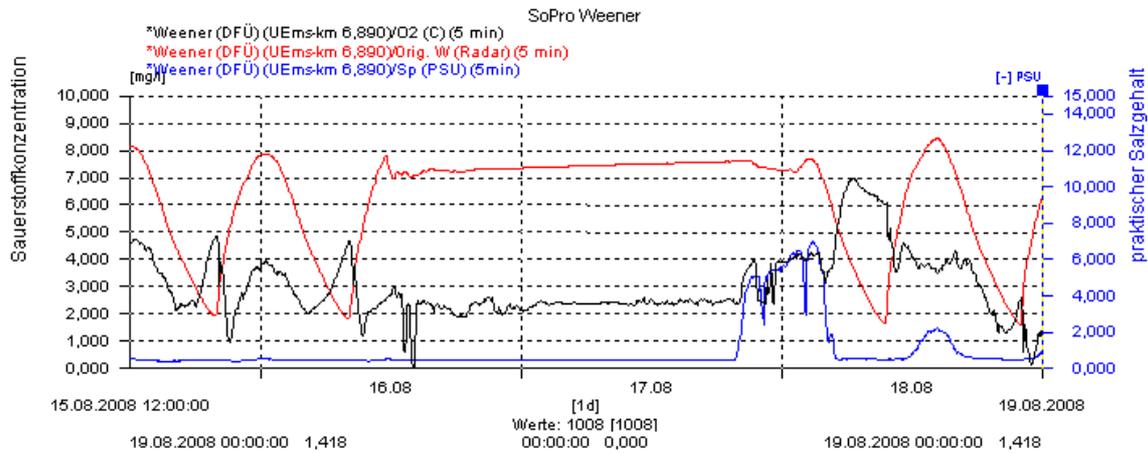


Abb. 12 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau); (Zeitangaben in MEZ)

Die Sauerstoffkonzentration zu Beginn des Staus betrug 2,2 mg/l. In den ersten 12 Stunden des Staus schwankte der Sauerstoff zwischen 2 und 3 mg/l, in einem Zeitfenster von 1 bis 2 Stunden waren Werte von kleiner 1 mg/l zu messen. Der unruhige Verlauf resultiert aus der Bewegung des Wasserkörpers zur Zeit des Ausschlingens sowie aus der Sedimentation in der Wassersäule und Konsolidierung der Schwebstoffe an der Gewässersohle. Die niedrigen Sauerstoffwerte im o.g. Zeitfenster lassen sich mit der Lage der Messsonde erklären, die sich im Sedimentation- und Konsolidierungsprozess zeitweilig im „fluid mud“ befand. Nach Abschluss der vorgenannten Prozesse wurde über einen langen Zeitraum ein nahezu konstanter Sauerstoffgehalt von rd. 2,5 mg/l gemessen. Mit Eintreffen des salzhaltigeren Wassers aus der unteren Stauhaltung stieg der Sauerstoffgehalt auf rd. 3,5 mg/l und bis zum Beginn der Wasserstandsangleichung (mit Berücksichtigung der Reaktionszeit von Gandersum bis nach Weener) auf etwa 4 mg/l. Der weitere Verlauf ist durch die einsetzende Bewegung des Wasserkörpers geprägt, indem konsolidiertes Material an der Gewässersohle re-suspendiert und so die Sauerstoffkonzentration im Höhenniveau der Sonde reduziert. Es folgt für den Rest des Staus ein unruhiger, aber leicht steigender Verlauf der Sauerstoffkonzentration, da weiter sauerstoffreicherer Wasser aus Richtung Leerort über den Dichtestrom (Salz) nach Weener gelangte. Der zu Beginn des Staus vorhandene Salzgehalt von rd. 0,5 PSU entspricht der Grundversalzung der Ems, die auch oberhalb des Wehres Herbrum an der dortigen Messtation zu messen war. Zum Ende des Staus stieg er rasch auf rd. 5 PSU an. In der restlichen Zeit des Staus erfolgte ein weiterer Anstieg auf 6 bis 7 PSU.

## Messtation Papenburg

An der Messtation Papenburg wird die Gewässergüte rd. 1 m oberhalb der Gewässersohle gemessen.

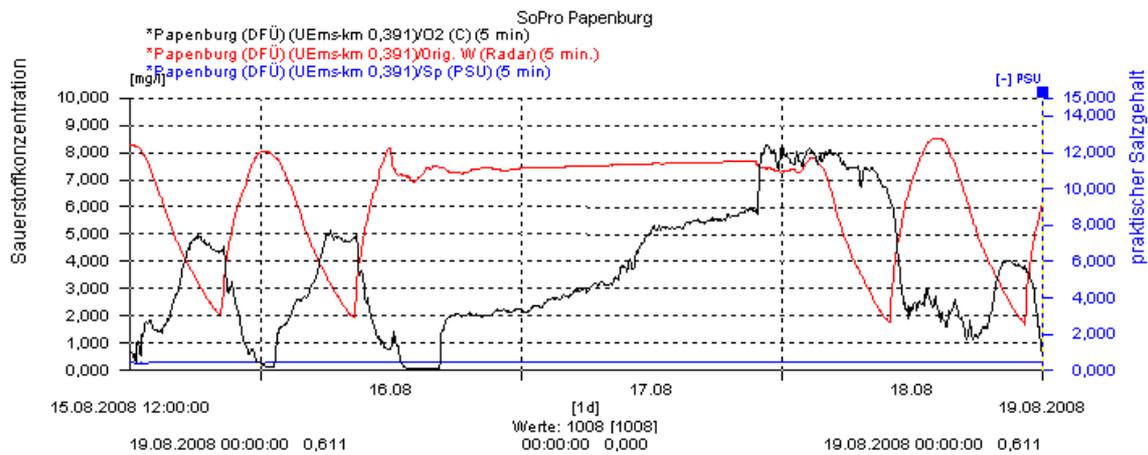


Abb. 13 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz) des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau); (Zeitangaben in MEZ)

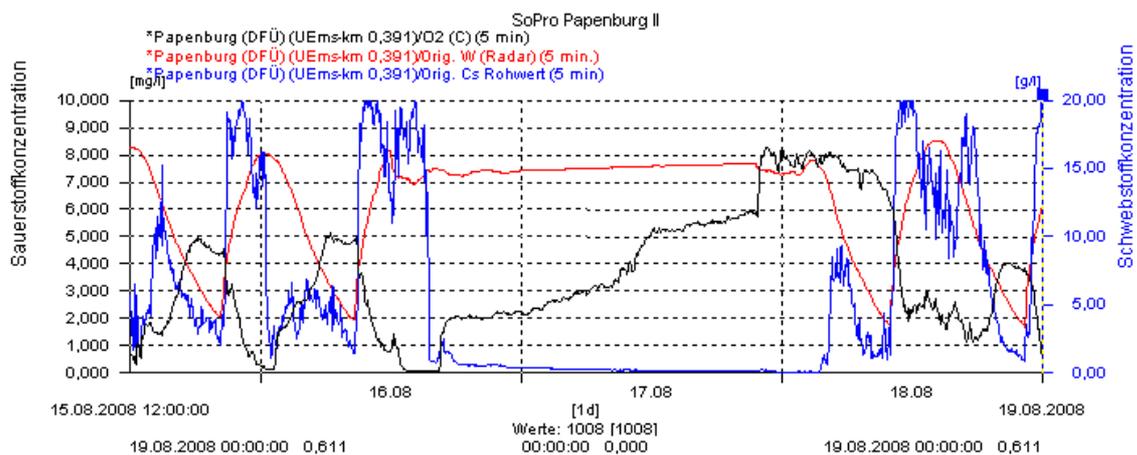


Abb. 14 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz) des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau); (Zeitangaben in MEZ)

Die Sauerstoffkonzentration zu Beginn des Staus betrug 1,7 mg/l. Der sauerstoffarme Bereich in der Trübungszone wird bei den im Sommer vorhandenen Verhältnissen in der Ems mit der Flut in Richtung Papenburg/Herbrum verfrachtet, so dass dort die Sauerstoffkonzentration während der Flutstromphase abnimmt. Durch die stromauf gerichtete Restströmung nach Beginn des Staus, fiel somit in den ersten 1,5 Stunden die Sauerstoffkonzentration auf 0,8 mg/l. Danach registrierte die Sonde eine Konzentration von ca. 0,1 mg/l. Die gemeinsame Darstellung von Sauerstoff- und Schwebstoffkonzentration verdeutlicht, dass der Abfall der Sauerstoffkonzentration nicht auf eine Zehrung zurückzuführen ist, sondern aus der Sedimentation der Schwebstoffe in der Wassersäule und anschließender Konsolidierung an der Gewässersohle hervor geht. Wie auch an der Messtation Weener, befand sich auch die Sonde Papenburg durch die Sedimentation- und Konsolidierungsprozesse zeitweilig im „fluid mud“. Nach Abschluss der vorgenannten Prozesse fand zunächst eine rasche Zunahme des Sauerstoffwertes auf 2,0 mg/l statt („fluid mud“ Horizont unterhalb der Sonde), verblieb für 3 bis 4 Stunden auf diesem Niveau und stieg dann zunehmend auf 5 bis 6 mg/l an. Der letztgenannte Anstieg der Sauerstoffkonzentration resultierte aus dem Einfluss des sauerstofffrei-

chenen Oberwassers, welches über das Wehr Herbrum in die Ems vordrang. Mit Beginn der Wasserstandsangleichung (mit Berücksichtigung der Reaktionszeit von Gandersum bis nach Papenburg) erfolgte ein plötzlicher Anstieg der Sauerstoffkonzentration von ca. 6 auf 8 mg/l innerhalb einer halben Stunde. Durch die Verlagerung des Wasserkörpers in Richtung Weener gelangte sauerstoffreicheres Wasser aus Richtung Herbrum zur Messstation Papenburg. In der restlichen Zeit des Staus verblieb der Sauerstoffgehalt zwischen 7,5 und 8 mg/l. Der zu Beginn des Staus vorhandene Salzgehalt von rd. 0,5 PSU entspricht der Grundversalzung der Ems und änderte sich auch nicht während des Staus (Abb. 13). Zu Beginn des Staus betrug die Schwebstoffkonzentration bis zu 20 g/l und nahm innerhalb kurzer Zeit auf 1 bis 2 g/l ab (16.08.08 16:30 MESZ). Im folgenden Stauverlauf nahm die Konzentration fast kontinuierlich ab, so dass zum Ende des Staus an der Sonde eine Schwebstoffkonzentration von unter 0,1 g/l zu messen war (Abb. 14).

### Mobile Messeinrichtung Halte

Im Bereich der Halter Brücke werden Salzgehalt und die Wassertemperatur im Bereich der Gewässersohle gemessen. Die mobile Messeinrichtung wird aufgebaut, wenn eine Ausbreitung der Salzfront bis oberhalb von Weener zu erwarten ist. Der Einstau der Tideems darf nur begonnen werden, wenn sichergestellt ist, dass bis zum Abschluss des Staufalls an der Emsbrücke bei Halte sohnlah ein Salzgehalt von 2 PSU nicht überschritten wird (Planfeststellungsbeschluss von 1998; Nebenbestimmung 2.2.2 b).

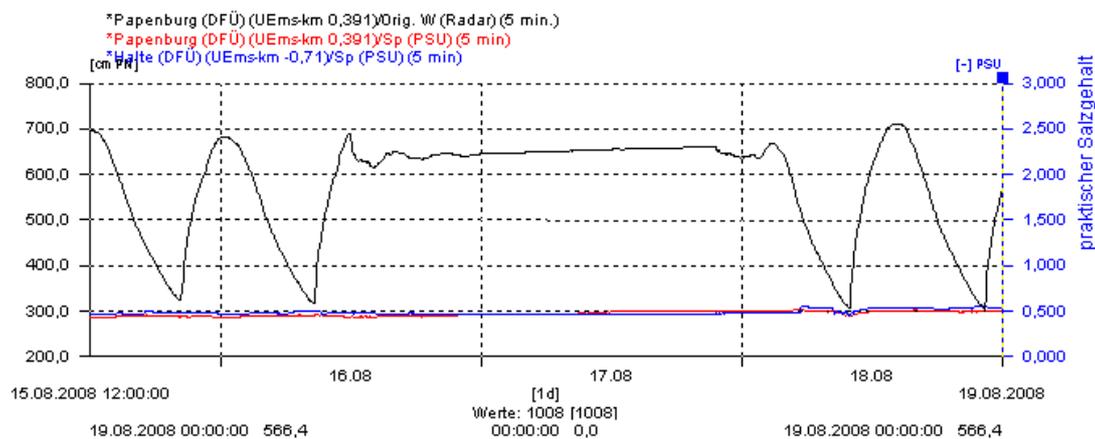


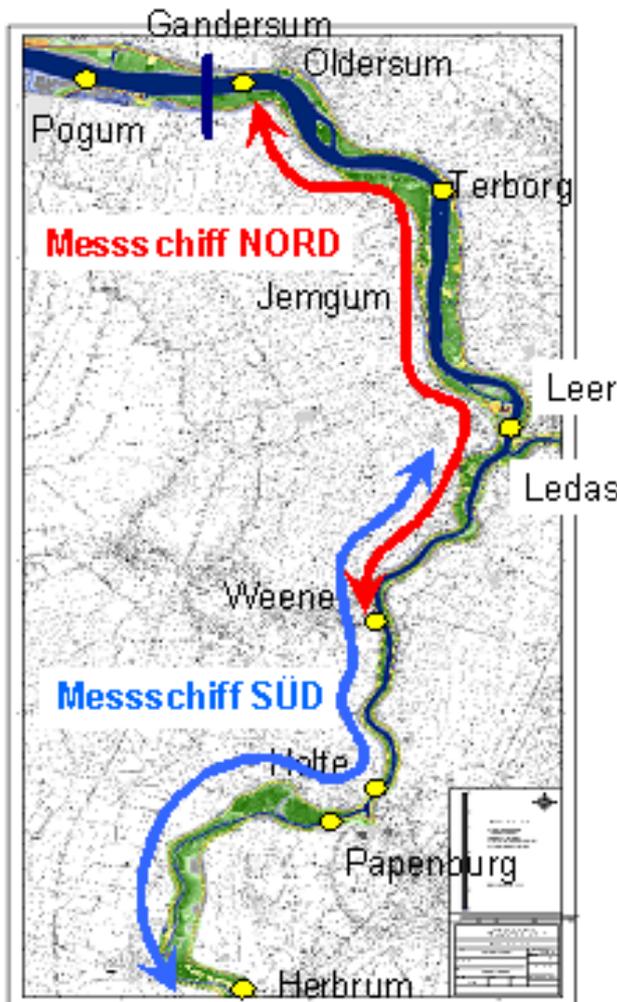
Abb. 15 Verlauf der Salzgehaltskonzentration Papenburg (rot) und Halte (blau), sowie des Wasserstands (schwarz); (Zeitangaben in MEZ)

Während des gesamten Staus entsprach der Salzgehalt der derzeitigen Grundversalzung der Ems in Höhe von 0,5 PSU und unterschied sich kaum von dem an der Messstation Papenburg gemessenen Wert (Abbildung 15). Eine staufallbedingte Erhöhung trat nicht ein. Die 2 PSU Grenze erreichte bei Stauende etwa km 6 (Weener).

### 3.2 Schiffsmessungen

Die Stauhaltung zwischen Gandersum und Schleuse Herbrum wurde kontinuierlich von zwei Messschiffen befahren. Während der fortwährenden Pendelfahrten zwischen Gandersum und Weener (Messschiff Nord) bzw. zwischen Ledamündung und Schleuse Herbrum (Messschiff Süd) wurden die Parameter Wassertemperatur, Sauerstoffkonzentration, Salzgehalt und Schwebstoffkonzentration in Tiefenprofilen von der Wasseroberfläche bis in den Sohlbereich aufgenommen (Abstand der Messungen im Tiefenprofil 1 m; die Sonden wurden bis zum letzten vollständigen Tiefenmeter herunter gelassen d.h. bei einer Wassertiefe von

7,30m letzter Messpunkt -7m). Der Abstand zwischen den Tiefenprofilen betrug ein bis zwei Kilometer. Die Schiffsmessungen begannen rd. 1 Stunde (Messschiff Nord) bis 2,5 Stunden (Messschiff Süd) nach Einleiten des Staus. Die Dauer für eine Hin- und Rückfahrt vom bzw. zum Ausgangspunkt des jeweiligen Messschiffes betrug ca. 12 bis 13 Stunden, so dass die Stauhaltung insgesamt sechsmal durchfahren werden konnte und in der Regel pro Messort sechs Tiefenprofilmessungen vorliegen.



Fahrtstrecken der Messschiffe MS Seehund (Nord) und MS Dobbe (Süd)

### 3.2.1 Ergebnisse der Schiffsmessungen

#### Schiffsmessungen Sauerstoffkonzentration

##### Längsprofile

In den nachfolgenden Abbildungen 16 bis 18 sind die Sauerstoffkonzentrationen an der Wasseroberfläche und der Sohle zusammengestellt und als Längsverteilung in der Stauhaltung abgebildet. Neben der örtlichen Veränderung der Daten erfolgte auch eine zeitliche Veränderung. Für einen besseren Überblick wurden die Daten den Messfahrten zugeordnet dargestellt; die Messzeiten sind der jeweiligen Beschriftung zu entnehmen.

Die Längsprofile zeigen einen Zusammenhang der Sauerstoffentwicklung mit den salzgehaltsabhängigen Transportprozessen sowie auch die Abhängigkeit zur Schwebstoffkonzent-

ration und zum Oberwasserzufluss in die Stauhaltung. Es ist die longitudinale Abnahme des Sauerstoffgehaltes an der Wasseroberfläche von Gandersum (rd. 6 mg/l) nach Papenburg (rd. 2 mg/l) und eine Zunahme der Konzentration von Papenburg bis zum Wehr Herbrum (rd. 9 mg/l) zu erkennen. Der Sauerstoffgehalt an der Sohle ist von Gandersum (km 32) bis Leerort (km 15) nur 0,5 bis 1 mg/l niedriger als an der Wasseroberfläche. Oberhalb von Leerort ist kein Sauerstoff an der Sohle vorhanden. Während der nachfolgenden Messfahrten tritt keine signifikante Änderung des Sauerstoffgehaltes an der Wasseroberfläche zwischen Weener (km 7) und Gandersum ein, während oberhalb davon der Sauerstoffgehalt an der Wasseroberfläche durch das Vorrücken des sauerstoffreichen Süßwassers aus Richtung Herbrum deutlich zunimmt. Sohl nah werden bei Messfahrt 1 durch das Absinken der Schwebstoffe oft sehr geringe Sauerstoffwerte gemessen. Bei Messfahrt 2 ist dieser Effekt durch weitere Sedimentation nur noch in den Bereichen mit höchsten Schwebstoffkonzentrationen zu erkennen, bei Messfahrt 3 wird erkennbar, dass sich sauerstoffreichereres Salzwasser sohl nah stromaufwärts ausbreitet und damit sohl nah oft höhere Sauerstoffwerte als an der Oberfläche gemessen werden. Im Bereich oberhalb von Papenburg (km 0) werden durch zufließendes Oberwasser auch sohl nah hohe Sauerstoffwerte erreicht.

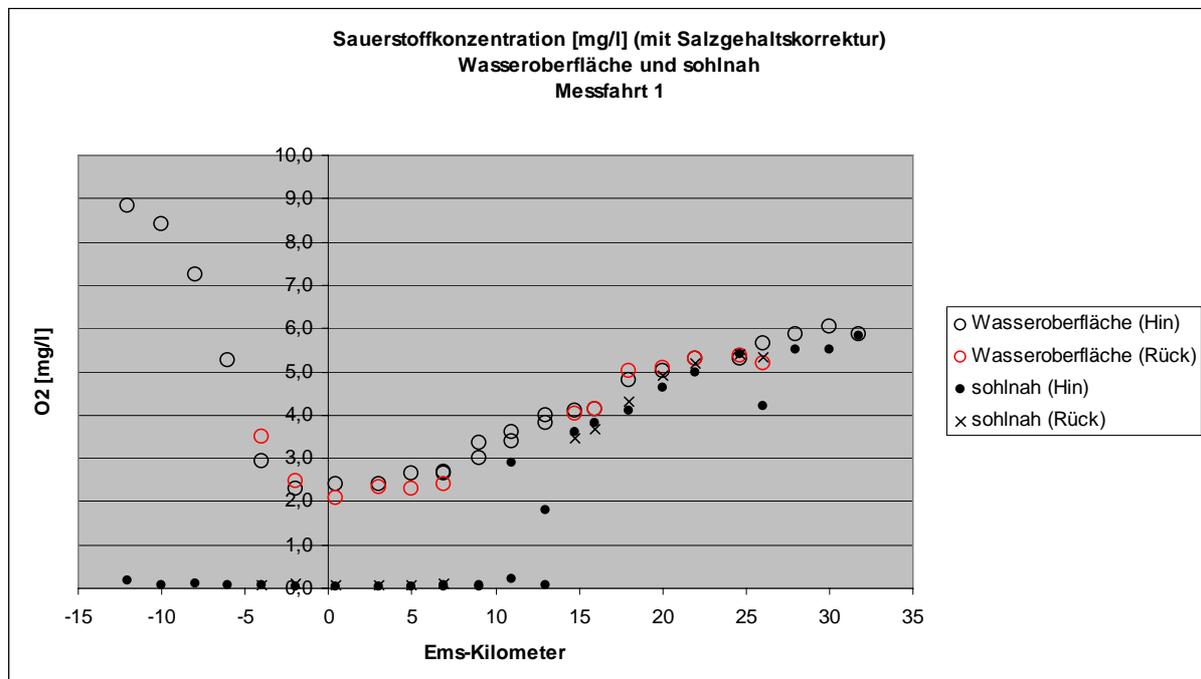


Abb. 16 Längsprofil der Sauerstoffkonzentration an der Wasseroberfläche und der Sohle während der ersten Messfahrt (Messungen Messschiff Nord von 16.08.08 12:44 bis 17.08.08 00:21 MESZ / Messschiff Süd von 16.08.08 13:55 bis 23:41 MESZ); Kilometrierung: Herbrum km -12, Papenburg km 0, Emsperrwerk km 32

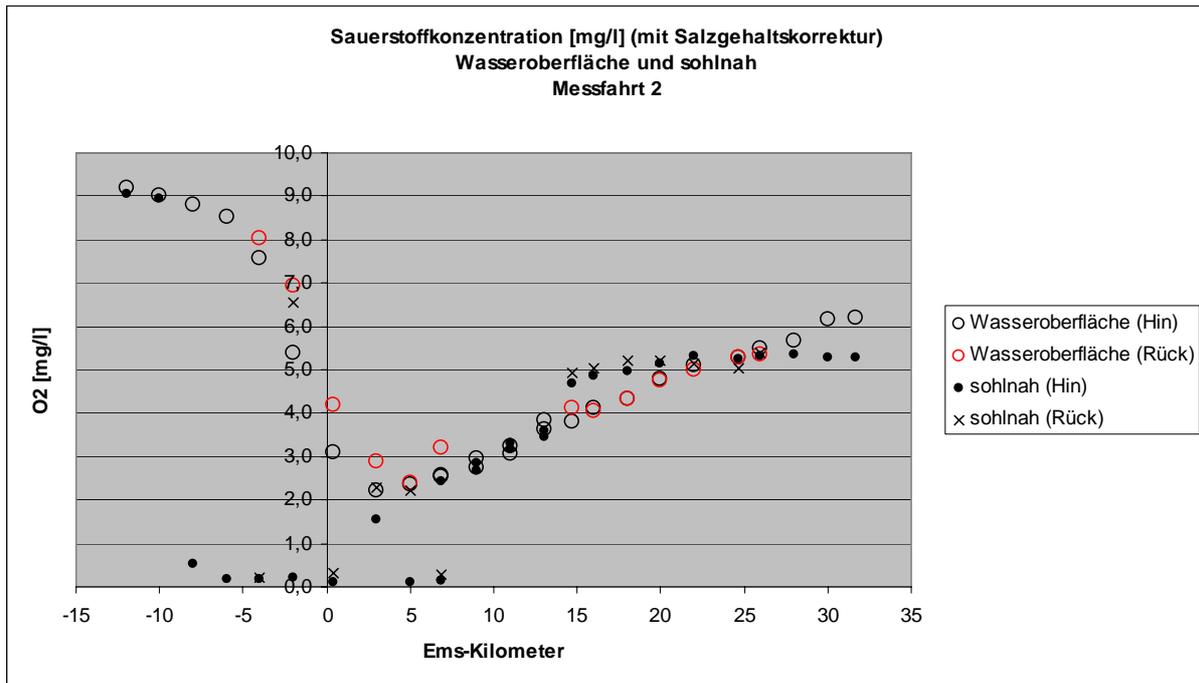


Abb. 17 Längsprofil der Sauerstoffkonzentration an der Wasseroberfläche und der Sohle während der zweiten Messfahrt (Messungen Messschiff Nord von 17.08.08 02:08 bis 12:56 MESZ / Messschiff Süd von 17.08.08 02:15 bis 12:05 MESZ); Kilometrierung: Herbrum km -12, Papenburg km 0, Emssperrwerk km 32

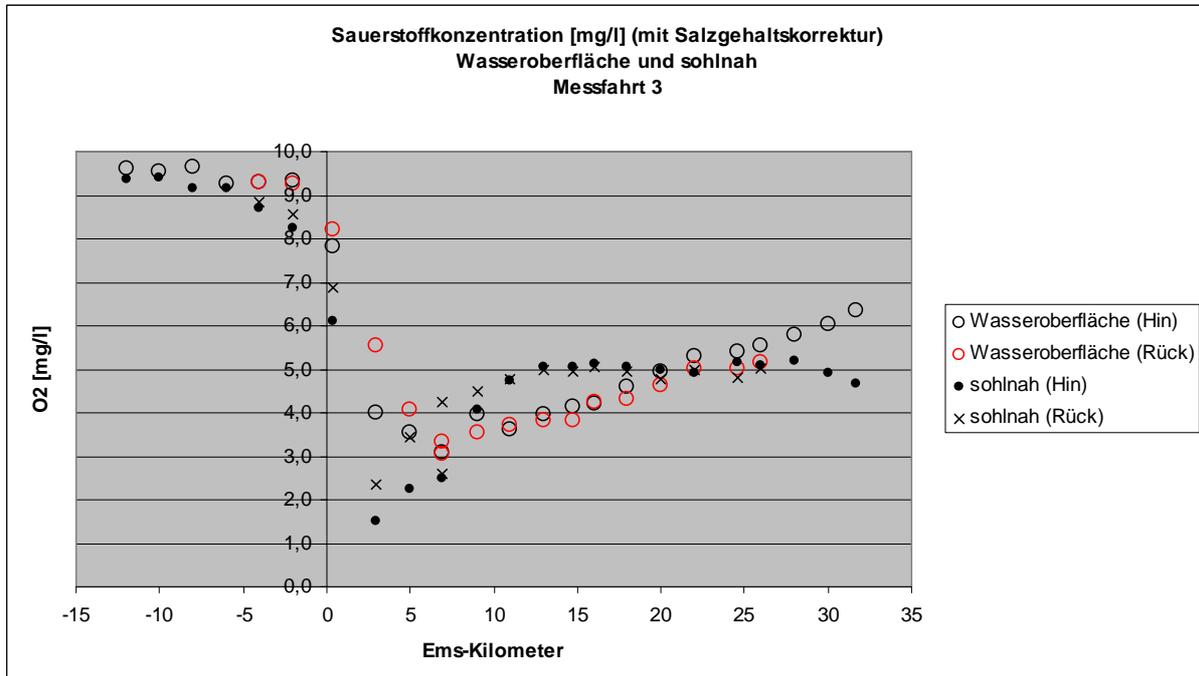
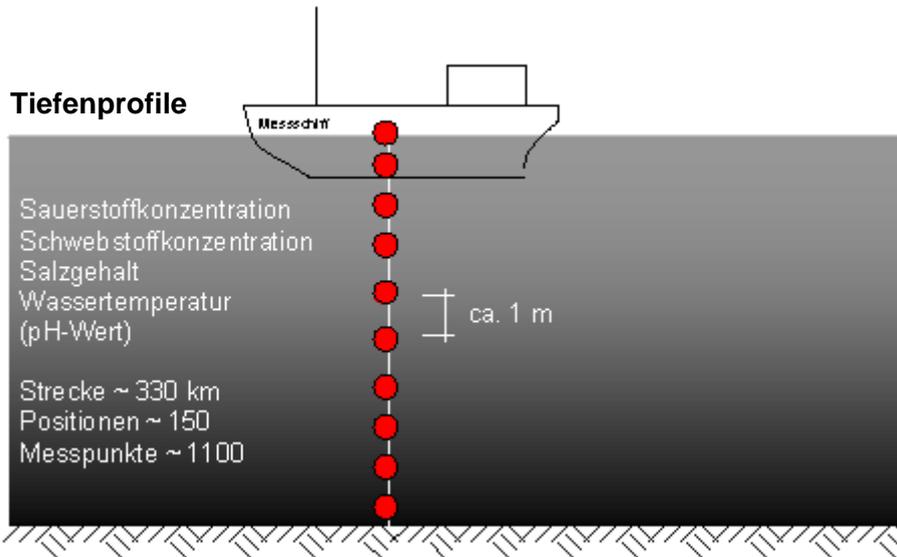


Abb. 18 Längsprofil der Sauerstoffkonzentration an der Wasseroberfläche und der Sohle während der dritten Messfahrt (Messungen Messschiff Nord von 17.08.08 14:15 bis 18.08.08 00:44 MESZ / Messschiff Süd von 17.08.08 14:31 bis 18.08.08 00:05 MESZ); Kilometrierung: Herbrum km -12, Papenburg km 0, Emssperrwerk km 32



Messsonden

Schematische Darstellung Tiefenprofilmessung

Stellvertretend für alle Tiefenprofile, die alle ein bis zwei Kilometer aufgenommen wurden, wird an den nachfolgenden Abbildungen 19 bis 23 die vertikale Sauerstoffverteilung im Bereich der Messstationen Gandersum bis Papenburg gezeigt. Die Wassersäule wurde im Meterabstand von oben nach unten beprobt. Die Sonden wurden bis zum letzten vollständigen Tiefenmeter herunter gelassen (z.B. bei einer Wassertiefe von 7,30m letzter Messpunkt - 7m). Die Profile verdeutlichen die bereits geschilderten Transportvorgänge besonders in der unteren Wassersäule: die deutliche Zunahme der Sauerstoffkonzentration an der Gewässer- sohle bis nach Weener durch die dichteinduzierte Strömung an der Sohle (barokliner Druck). Die Tiefenprofile im Bereich der Messstation Papenburg zeigen die Wirkungsweise des vor- dringenden sauerstoffreichen Oberwassers aus Richtung Herbrum: Dort nimmt der Sauer- stoffgehalt in der gesamten Wassersäule zu. Auffällig ist der scharfe Übergang vom „fluid mud“ Horizont zu dem darüber stehenden Wasser. Während im Sediment sehr geringe Sau- erstoffwerte gemessen werden, liegen die darüber gemessenen Werte auf dem gleichen Niveau wie oberflächennah (siehe Abb. 22 u. 23 Weener / Papenburg). Eine aufsteigende Zehrung aus dem Sediment ist somit nicht gegeben.

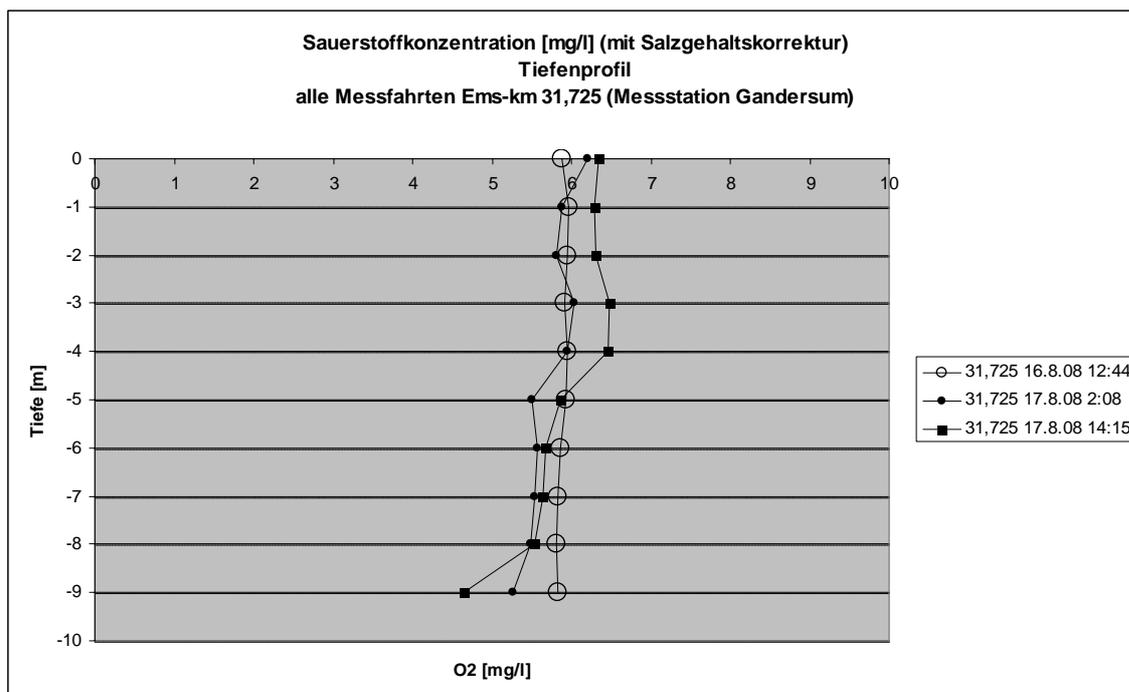


Abb. 19 Tiefenprofil des Sauerstoffgehaltes querab der Messstation Gandersum

NLWKN Aurich Sommer-Probestau 16. – 18.08.08

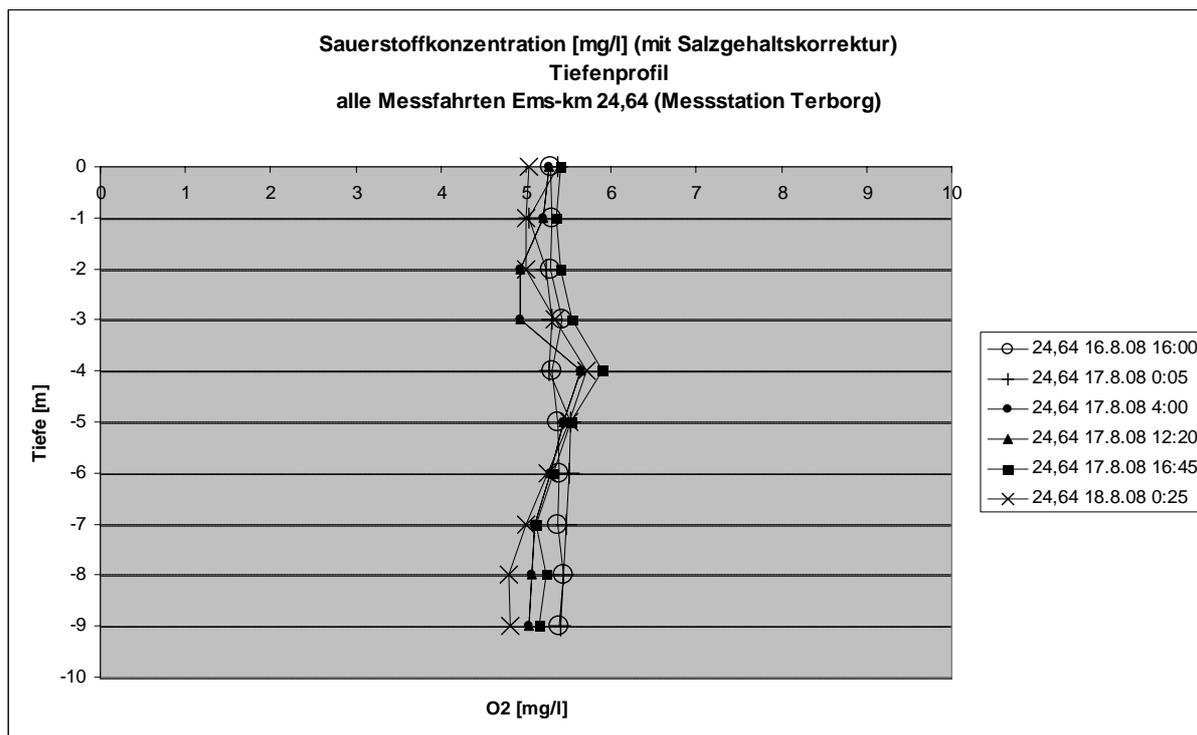


Abb. 20 Tiefenprofil des Sauerstoffgehaltes querab der Messstation Terborg

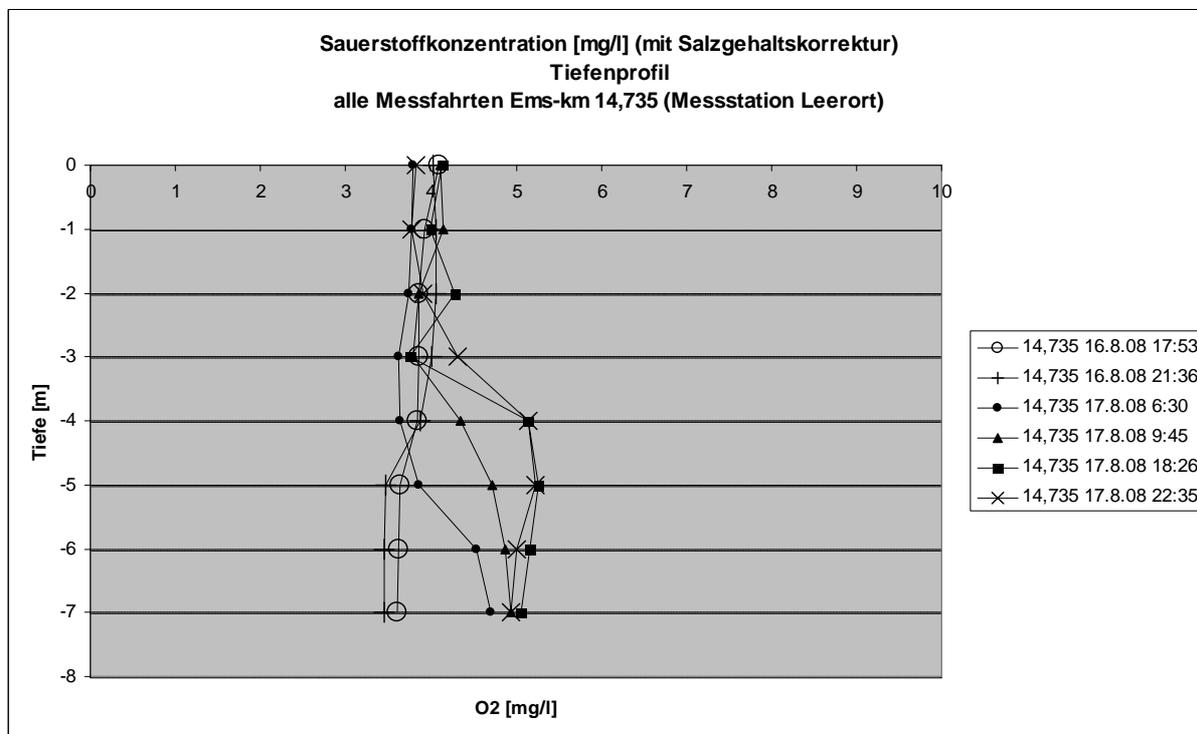


Abb. 21 Tiefenprofil des Sauerstoffgehaltes querab der Messstation Leerort

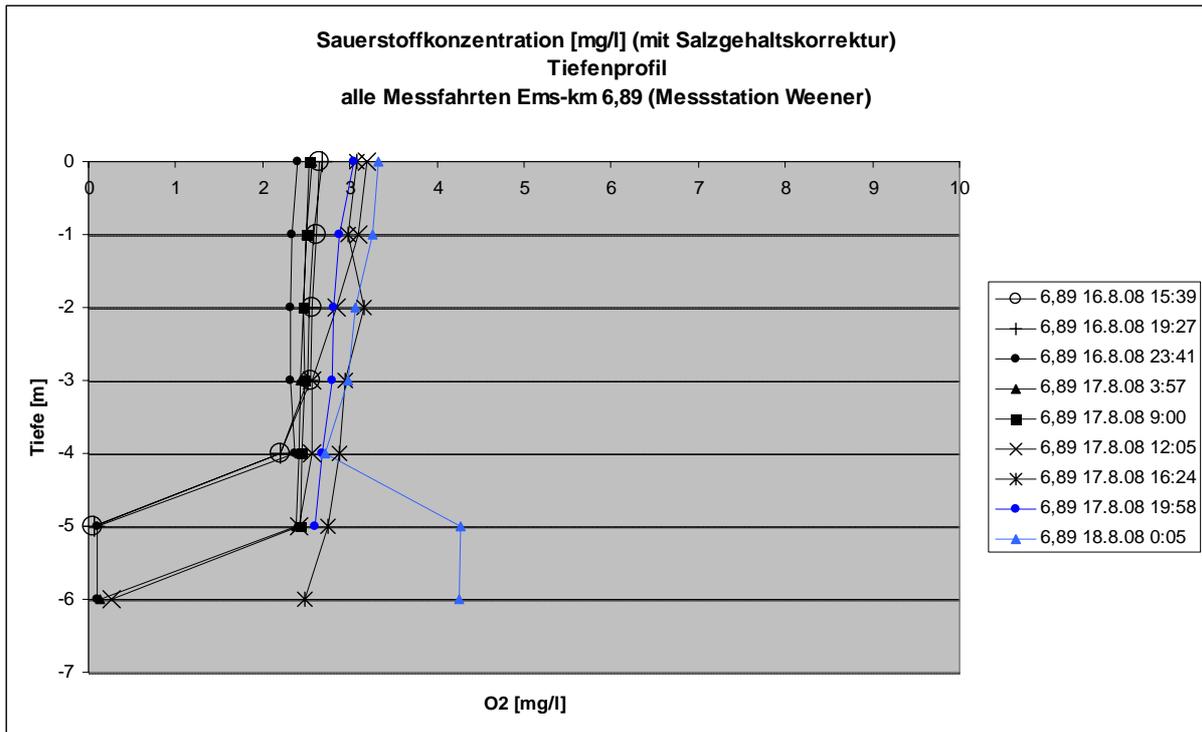


Abb. 22 Tiefenprofil des Sauerstoffgehaltes querab der Messstation Weener

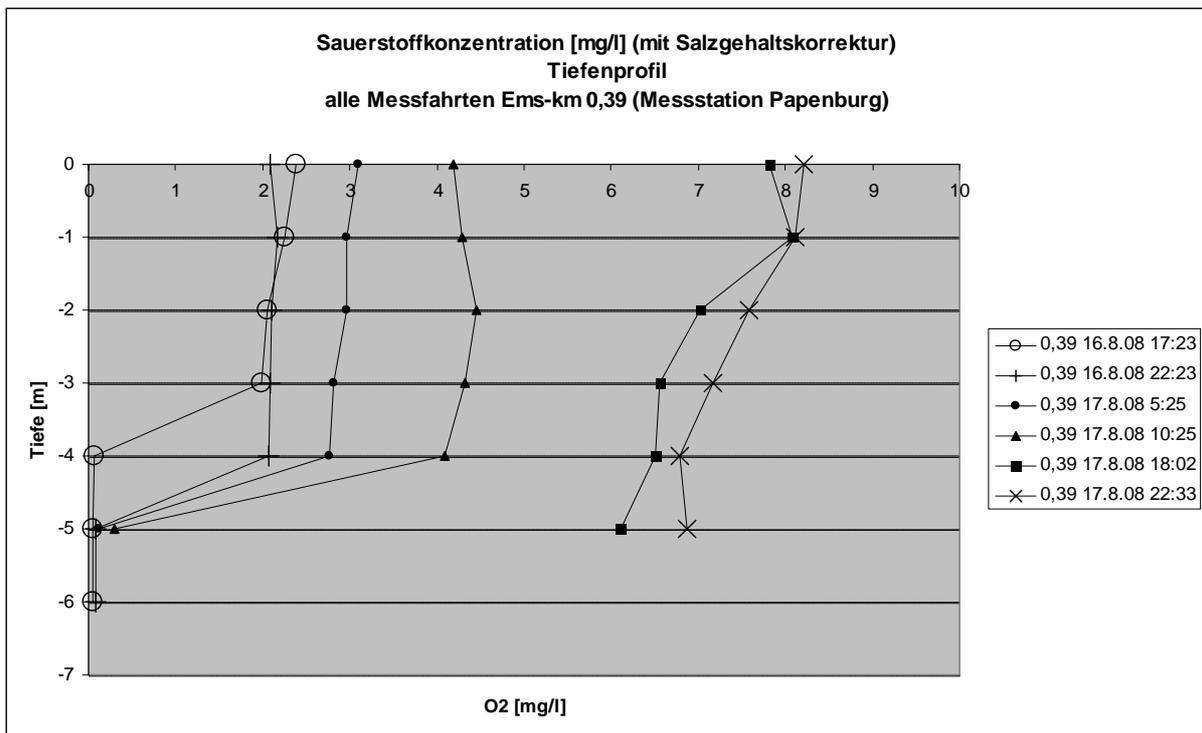


Abb. 23 Tiefenprofil des Sauerstoffgehaltes querab der Messstation Papenburg

#### 4. Schlussfolgerung

Mit einem umfangreichen Messprogramm wurden die relevanten chem.-phys. Parameter der Gewässergüte während des Sommer-Probestaus vom 16. bis zum 18.08.08 aufgezeichnet. Zu dem Messprogramm gehörten die Messstationen in der Unterems, die über das ganze Jahr ohne Unterbrechung und zeitlich hochaufgelöst die Parameter an repräsentativen Stellen messen, sowie Schiffsmessungen, mit denen die Stauhaltung über die gesamte Längsausdehnung und in allen Wassertiefen erfasst werden konnte und somit die Gewässergüte während der gesamten Stauzeit auch räumlich in hoher Auflösung aufgenommen wurde. Die Schiffsmessungen zeigten untereinander hohe Übereinstimmung aber auch im Vergleich mit den Aufzeichnungen der Messstationen war eine hohe Plausibilität der Messdaten gegeben.

Die Stationsmessungen und Schiffsmessungen haben für diesen Stauversuch eindeutig gezeigt, dass keine signifikanten Sauerstoffzehrungen im gestauten Wasserkörper der Ems zu verzeichnen waren und die Sauerstoffkonzentration stabil blieb. Dies ist in allen Bereichen der Fall gewesen, unabhängig davon, ob ein Ausgangswert von 2 mg O<sub>2</sub>/l (Papenburg) oder 6 mg O<sub>2</sub>/l (Gandersum) vorhanden war. Selbst an der Messstation Weener, die knapp oberhalb des sauerstoffarmen „fluid mud“-Horizonts misst, waren keine absinkenden Sauerstoffwerte zu verzeichnen. Die Tiefenprofile bestätigten ebenfalls, dass vom Schwebstoffhorizont keine aufsteigende Zehrung ausgeht und somit der Sauerstoffgradient zwischen „fluid mud“ und dem darüber stehendem Wasser sehr stark ist. Die direkt über dem Schlamm gemessenen Sauerstoffwerte sind nicht wesentlich niedriger als die an der Wasseroberfläche gemessenen. Ansteigende Sauerstoffwerte in Papenburg waren auf zufließendes Oberwasser, der Anstieg in Leerort und Weener auf den Zustrom des salzhaltigen Wassers aus der unteren Stauhaltung zurück zu führen.

Die Problematik der Ablagerung der Schwebstoffe wurde bereits im Planfeststellungsverfahren als Wirkfaktor erkannt und naturschutzfachlich abgearbeitet (B III 4.5.3.2):

##### „Schwebstoffe / Makrozoobenthos

*Durch den Betrieb der Staufunktion des Sperrwerkes wird der Schwebstoffhaushalt der Tideems absolut gesehen nicht wesentlich verändert. Lediglich lokale Umlagerungen sind zu erwarten. Dagegen hat das Absetzen der Schwebstoffe im Staufall Auswirkungen auf andere Parameter wie Sauerstoff (s.o.) und das Makrozoobenthos (Sauerstoffmangel, Überschlickung). Da die größten Sedimentationshöhen aber auf Bereiche mit größeren Wassertiefen beschränkt sind und diese Bereiche nahezu unbesiedelt sind, sind keine erheblichen Auswirkungen zu erwarten. Die geringfügigen zusätzlichen Sedimentablagerungen auf den Vorländern sind aus Umweltsicht als neutral zu bewerten.“*

Die Ergebnisse des biologischen Monitorings stehen noch aus. Sie werden weitere Hinweise auch zu dem Thema „Auswirkungen der Sedimentation“ geben. Nach Abschluss der Auswertungen ist es vorgesehen, eine kurze Gesamtauswertung des ersten Probestaus zu erstellen.

Aufgestellt

gez. Post / Engels

Aurich, den 03.09.2008

### O2 Stauhaltung

\*Gandersum GÜN (UEms-km 31,725)/O2 (C) Sp korr. \*Weener (DFÜ) (UEms-km 6,890)/O2 (C) (5 min)

\*Terborg (DFÜ) (UEms-km 24,640)/O2 (C) oben (5 min) \*Papenburg (DFÜ) (UEms-km 0,391)/O2 (C) (5 min)

\*Leerort (DFÜ) (UEms-km 14,738)/O2 (C) (5 min)

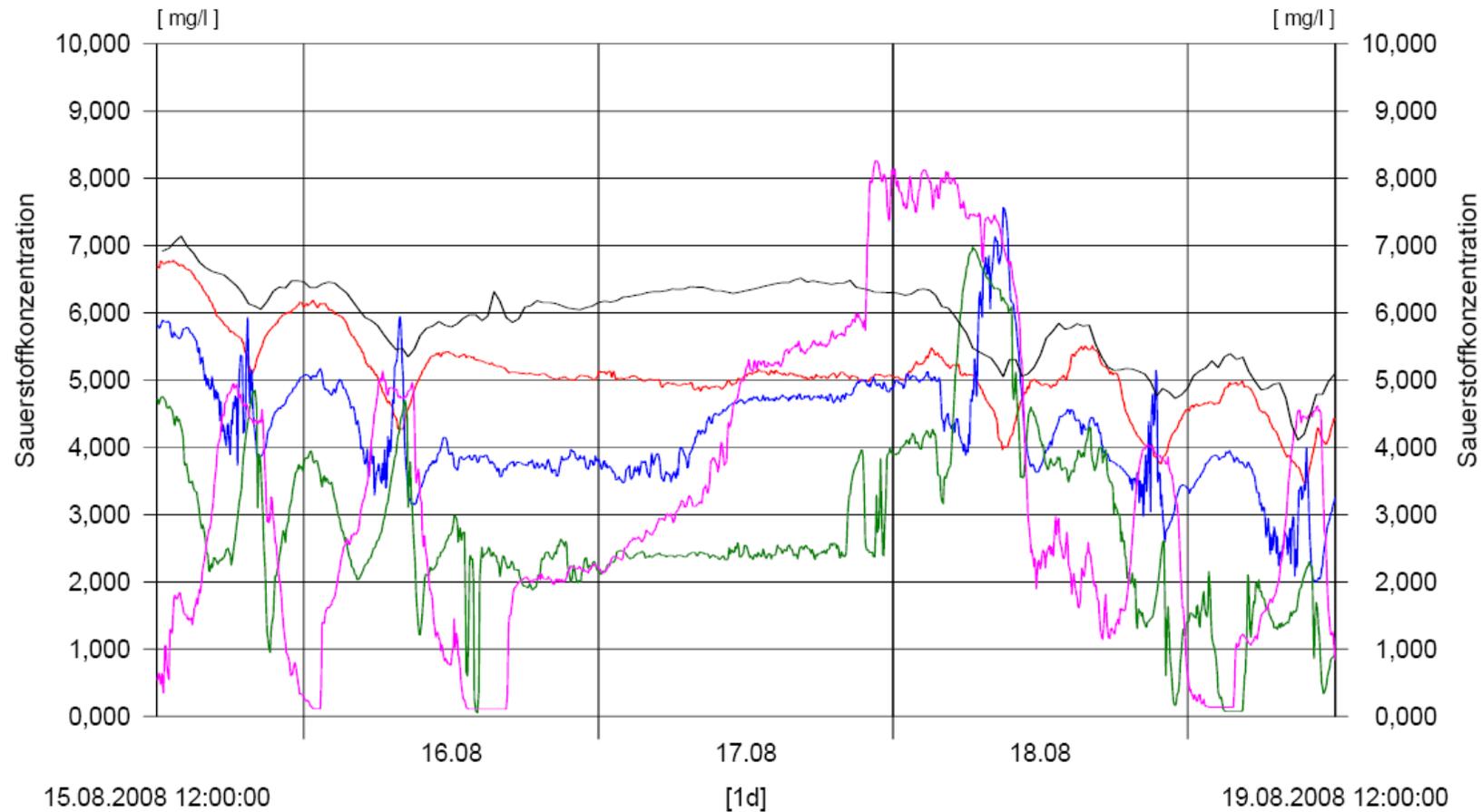


Abb. 3 Sauerstoffkonzentration vom 15.08. bis zum 19.07.08 im Bereich der Stauhaltung von Gandersum (schwarz) bis Papenburg (pink) [Zeitangaben in MEZ] Weener (grün)

### O2 Stauhaltung

\*Gandersum GÜN (UEms-km 31,725)/O2 (C) Sp korr. \*Weener (DFÜ) (UEms-km 6,890)/O2 (C) (5 min)

\*Terborg (DFÜ) (UEms-km 24,640)/O2 (C) oben (5 min) \*Papenburg (DFÜ) (UEms-km 0,391)/O2 (C) (5 min)

\*Leerort (DFÜ) (UEms-km 14,738)/O2 (C) (5 min)

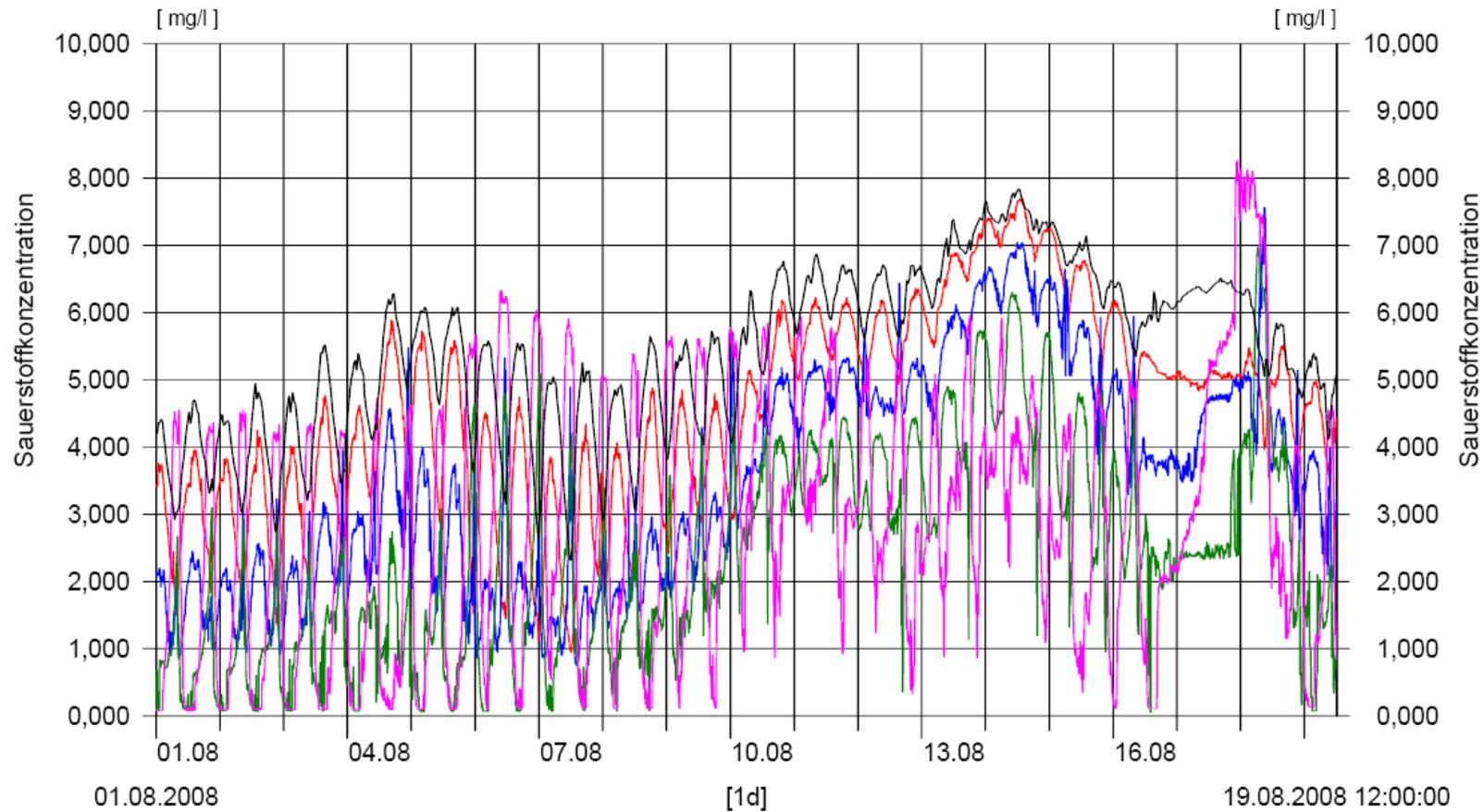


Abb. 4 Entwicklung der Sauerstoffkonzentration vom 01.08. bis zum 19.08.08 von Gandersum bis Papenburg [Zeitangaben in MEZ] Weener (grün)