

Emssperrwerk Gandersum

Überführung der **CELEBRITY SILHOUETTE** von Papenburg nach Gandersum am 30.06. / 01.07.2011



Emssperrwerk Gandersum

Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE von Papenburg nach Gandersum am 30.06. / 01.07.2011

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 derartig längerer Stau ist bislang im Rahmen des gültigen Planfeststellungsbeschlusses für das Emssperrwerk in den Sommermonaten, bzw. unter sommerlichen / frühherbstlichen Verhältnissen nicht erlaubt. Für zwei Staufälle während des vorgenannten ausgeschlossenen Zeitraumes wurde eine Änderung des Planfeststellungsbeschlusses zur Anhebung des Stauziels auf 2,2 m NN mit einer Staudauer von jeweils 25 Stunden erteilt, und zwar für den Stau zur Überführung der CELEBRITY EQUINOX (Juni 2009) und für den hier dokumentierten Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE (30.06. / 01.07.2011). Die aktuelle Schiffsüberführung wurde messtechnisch intensiv begleitet, um die Auswirkung auf den Sauerstoffhaushalt des Wasserkörpers in der Stauhaltung, sowie der Salzgehaltsverteilung darin, zu ermitteln. Der hier vorliegende Bericht dokumentiert die Entwicklung der Sauerstoff- und Salzgehaltsverhältnisse in der Stauhaltung während des Staus.

2. Randbedingungen des Staus

Das Emssperrwerk wurde ab dem 30.06.11 um 12:46 Uhr geschlossen. Das Tidehochwasser vor Staubeginn trat ca. 17 cm über dem Mittelwert ein, so dass aufgrund des günstigen Ausgangswasserstandes die maximal zulässige Staudauer von 25 Stunden nicht in Anspruch genommen werden musste. Am 30.06.11 um 22:22 Uhr wurde damit begonnen, den Wasserstand der Stauhaltung dem Außenwasserstand anzugleichen und am 01.07.11 um 00:06 Uhr, also nach etwa 11 ¼ Stunden seit dem Beginn des Staufalls, war das Sperrwerk wieder komplett geöffnet. Die SILHOUETTE passierte das Sperrwerk etwa eine Stunde später. Der Oberwasserzufluss der Ems betrug ca. 23 m³/s; die Pumpen des Emssperrwerkes und des Ledaschöpfwerkes unterstützten den Füllvorgang der Stauhaltung. Der Wasserstand stieg im Laufe des Staus auf NN +2,12 m (Gandersum) an. Das Wetter war bei Staubeginn sonnig mit einer Lufttemperatur von max. 18 °C (Gandersum), im Laufe des Nachmittags zog Bewölkung auf, aus dem bis zum Stauende leichter Niederschlag fiel (< 1 mm). Die Lufttemperatur betrug zum Ende des Staus ca. 13 °C. Der Wind wehte wechselnd aus WSW bis WNW, in der ersten Stauhälfte mit 3 bis 5 m/s und danach mit ≤ 2 m/s. In der Stauhaltung betrug die maximale Wassertemperatur 19 °C (Gandersum) bis 20 °C (Papenburg und Weener), womit diese rd. 1 °C unter dem langjährigen Mittelwert lag.

Wie auch bei vorhergehenden Staufällen festzustellen war, befanden sich vor allem im Abschnitt oberhalb von Leerort hohe Schwebstoffkonzentrationen im Wasserkörper, sowie eine

dicke Fluid Mud-Schicht an der Gewässersohle. Die Sauerstoffverteilung in der Stauhaltung, gekennzeichnet durch höhere Sauerstoffwerte in der unteren und niedrige Sauerstoffwerte in der oberen Stauhaltung, entsprach den üblichen Verhältnissen im Sommer.

Uhrzeit [MESZ]	Vorgang
Schließen	
30.06.11 11:30 Uhr	Ledasperrwerk wird geschlossen
30.06.11 12:46 bis 13:00 Uhr	Schließvorgang Emssperrwerk, beginnend mit Hauptschifffahrtsöffnung (HSÖ)
30.06.11 13:15 bis 18:05 Uhr	Pumpvorgang Emssperrwerk und Ledaschöpfwerk (Unterbrechung Ledaschöpfwerk von 15:30 bis 16:25)
Öffnen	
30.06. / 01.07.11 22:22 bis 00:06 Uhr	Öffnungsvorgang Emssperrwerk, beginnend mit langsamer Wasserstandsangleichung
30.06.11 03:35 Uhr	Ledasperrwerk ist geöffnet

Tab. 1 Betriebsablauf des Ems- und Ledasperrwerks vom 30.06. / 01.07.11

Weitere Randbedingungen des Staus ergeben sich aus der Hydrodynamik eines Tidegewässers, die durch den Einsatz des Emssperrwerkes eine spezielle Form annimmt. Die Vorgänge sind in „Flexibilisierung des Sommerstaufalles in der Tideems- Gutachten für eine wasserbauliche Systemanalyse als Grundlage für eine Umweltverträglichkeitsuntersuchung“ [BAW 2008] beschrieben und im Sommer-Probestau bestätigt worden:

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.

Wie auch in den vorhergehenden Staufällen, können die vorgenannten Prozesse in diesem Stau anhand der Messungen (Stations- und Schiffsmessungen) verdeutlicht werden, insbesondere wird auf die Ergebnisse der Probestaus im Sommer und Herbst 2008 hingewiesen.

Die Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE stellt eine weitere Randbedingung des Staus dar. Die Auswertung der Messdaten wird unter Berücksichtigung der Schiffspassage erfolgen. In der nachfolgenden Tabelle ist der zeitliche Ablauf der Schiffspassage aufgelistet.

MESZ	Ems-km	Bemerkung
30.06.11 16:55	0	Passage Dockschleuse; Beginn der Überführungsfahrt
30.06.11 17:05	0,391	Passage Messstation Papenburg
30.06.11 18:40	6,89	Passage Messstation Weener
30.06.11 20:40	14,738	Passage Messstation Leerort
30.06.11 22:35	24,64	Passage Messstation Terborg
30.06.11 23:15	30	Ankunft Warteposition Oldersum (Messstation Gandersum Ems-km 31,725)
01.07.11 01:00	32,2	Passage Emssperwerk

Tab. 2 Zeitablauf der Schiffsüberführung CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

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. In Terborg ist zusätzlich zur an der Sohle messenden Station eine Messeinrichtung nahe der Wasseroberfläche eingerichtet. Zudem wurden während des Staubetriebs Längsprofil- und Tiefenprofil-Messungen von den Schiffen aus durchgeführt. Diese erfolgten in Pendelbewegung zwischen Gandersum und Herbrum (analog zu vorhergehenden Staufällen). Bei dieser Schiffsüberführung wurde auf das unmittelbare Begleiten des Werftschiffes durch ein Messschiff verzichtet, da aus Erfahrung bisheriger Messfahrten diese keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn bringt. Stattdessen erfolgte eine Messfahrt in einem zeitlichen Abstand von ca. 1 Stunde zum vorhergehenden Werftschiff und eine weitere, um 6 bis 7 Stunden zur Schiffspassage versetzte Messung im südlichen Abschnitt der Stauhaltung.

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 Ledasperwerkes 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 Stationen 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 der Sauerstoffgehalt gemessen wurde.

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

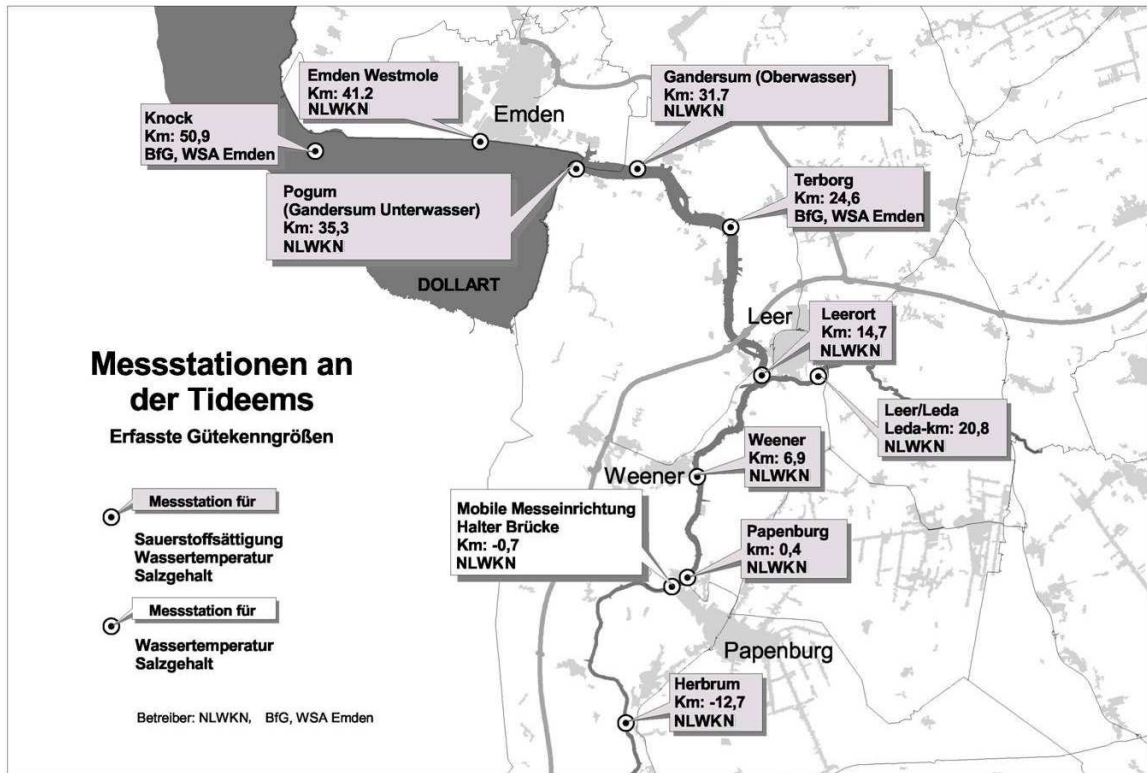


Abb. 1 Messstationen an der Tideems

3.1.1 Überblick der Stationsmessungen Salzgehalt

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

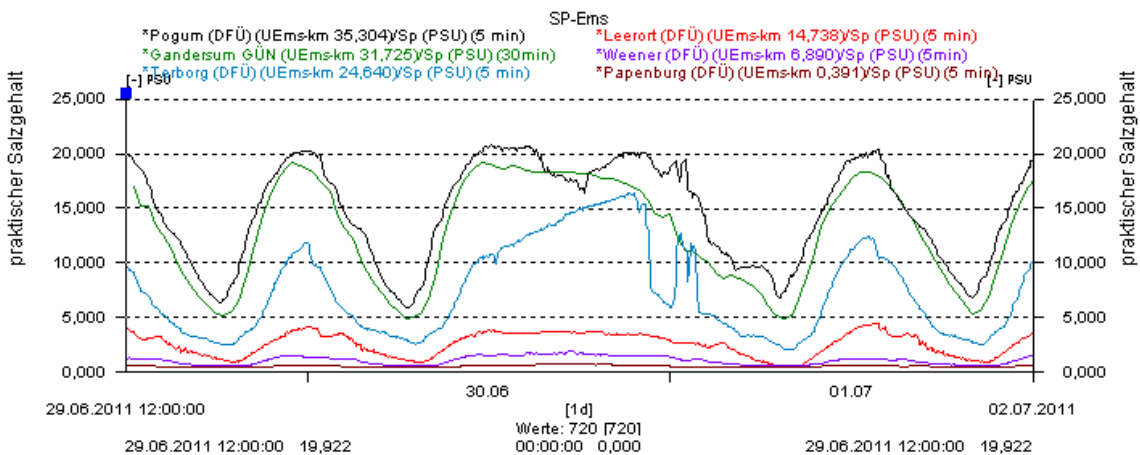


Abb. 2 praktischer Salzgehalt vom 29.06. bis zum 01.07.11 von Pogum (schwarz) bis Papenburg (rotbraun); Zeitbezug MEZ

Durch den Stau kommt es in der Wassersäule zu einer Salzsichtung und einer stromauf gerichteten Salzausbreitung an der Gewässersohle. An der Wasseroberfläche erfolgt ein

NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

entgegengesetzter Strom salzärmeren Wassers in Richtung Gandersum. Deutlich wird dies an der Abnahme des Salzgehaltes an der oberflächennah messenden Station Gandersum und dem Anstieg dessen an der sohnah messenden Station Terborg, wobei die Station Leerort nicht mehr von salzhaltigerem Wasser erreicht wird.

Sauerstoffkonzentration

Im Tidefluss gibt es eine longitudinale Verteilung der Sauerstoffkonzentration. In Abbildung 3 (zur besseren Lesbarkeit vergrößerte Abbildung im Anhang) ist zu erkennen, dass der Sauerstoffgehalt von Gandersum nach Weener abnahm und nach Papenburg wieder leicht anstieg. Weiterhin ist ersichtlich, dass es tidebedingt lokal starke Schwankungen im Sauerstoffgehalt gab.

Bei der Betrachtung einer längeren Zeitreihe als in Abb. 3 ist zu beobachten, dass es neben der Schwankung, die von einer einzelnen Tide hervorgerufen wurde, auch eine Veränderung der Sauerstoffkonzentration durch andere Einflussfaktoren gab (Abb. 4, zur besseren Lesbarkeit vergrößert im Anhang). Hier sind die Faktoren Tidehub, Oberwasserzufluss und Wassertemperatur zu nennen. Direkt vor dem Stau waren niedrige Sauerstoffkonzentrationen oberhalb von Leerort, zu verzeichnen.

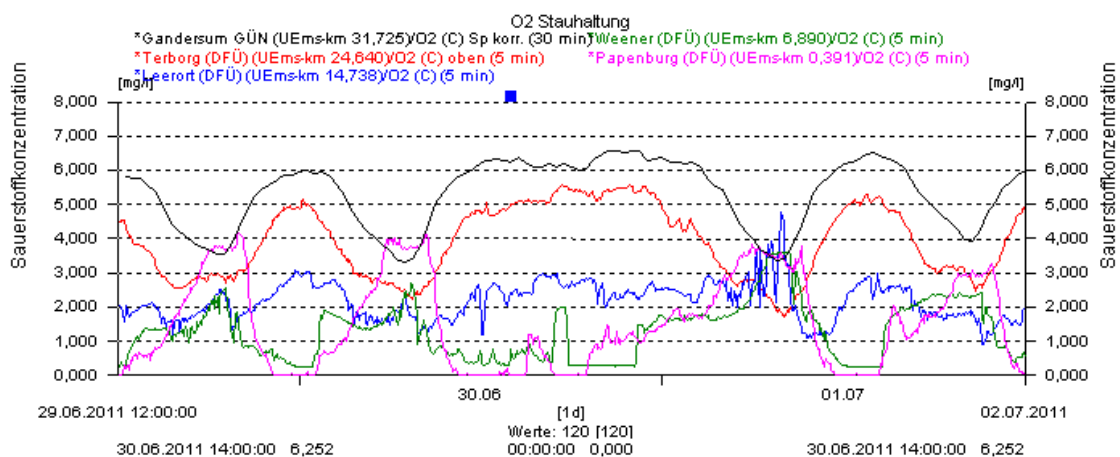


Abb. 3 Sauerstoffkonzentration vom 29.06. bis zum 01.07.11 im Bereich der Stauhaltung von Gandersum (schwarz) bis Papenburg (pink); Zeitbezug MEZ; siehe Vergrößerung der Grafik auch Anhang

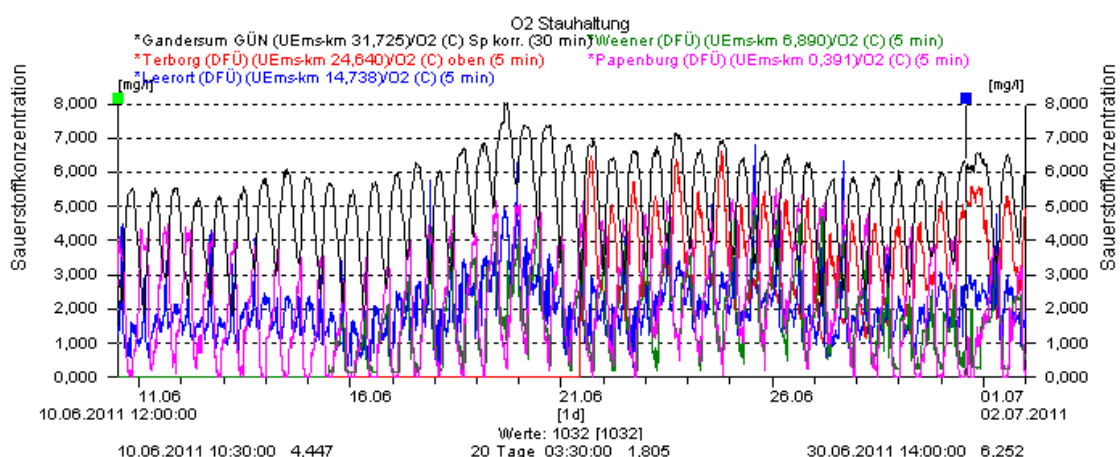


Abb. 4 Entwicklung der Sauerstoffkonzentration vom 10.06. bis zum 01.07.11 von Gandersum bis Papenburg (Zeitbezug MEZ); siehe auch Anhang
NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

Wie in den Abbildungen 3 und 4 zu erkennen, lagen die Sauerstoffwerte während des Staufalls zum Teil deutlich höher als das tidebedingte Minimum vor dem Staufall. Die an den Messstationen aufgezeichneten Sauerstoffkonzentrationen treten auch im natürlichen Tidegeschehen auf.

An den Messstationen Gandersum und Terborg war neben einer leichten Schwankung des Sauerstoffgehaltes auch eine steigende Tendenz zu verzeichnen. Die Entwicklung der Sauerstoffkonzentration in Leerort war indifferent; sie war durch Schwankungen in Form von kleinen Sprüngen gekennzeichnet. An den Stationen Weener und Papenburg erfolgte mit dem Tidehochwasser zunächst eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes, vergleichbar mit dem Verhalten beim Tidehochwasser der vorhergehenden Tiden. Bei Staufbeginn verblieb die Konzentration auf diesem niedrigen Niveau. Der weitere Verlauf der Kurven ist durch das Absetzen und Aufwirbeln des Fluid Mud- Horizonts geprägt (siehe Abb. 12 u. 14).

Die während des Staus registrierten Änderungen der Sauerstoffkonzentration resultierten vorwiegend nicht aus einer Zehrung oder einer Zunahme des im Wasser gelösten Sauerstoffs, sondern ergaben 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 der Pumpen des Emssperrwerks und des Ledaschöpfwerkes. Zudem erfolgte ein Absetzen der Schwebstoffe und ein Konsolidieren des Fluid Mud an der Gewässersohle, sowie eine Aufwirbelung dessen bei Vorbeifahrt des Werftschiffes mit anschließender erneuter Konsolidierung.

Der Wasserkörper wurde durch die Schiffspassage nicht über die ganze Stauhaltung gleichförmig beeinflusst. Die hohe Schichtdicke des Fluid Mud an der Gewässersohle und die engen Flussquerschnitte oberhalb von Leerort führten bei der Passage des Werftschiffes dazu, dass in jenem Abschnitt die bis dahin an der Gewässersohle abgelagerten Schwebstoffe deutlich resuspendiert, sowie die Oberfläche der bis dahin zum Teil konsolidierten Fluid Mud-Schicht angehoben wurde. Daraus resultierte eine rasche Abnahme der Sauerstoffwerte an den Messstationen Papenburg und Weener, da diese nach der Schiffspassage zunächst wieder im Fluid Mud lagen und durch die danach einsetzende erneute Konsolidierung später wieder oberhalb dieser Schicht gemessen haben. Die longitudinale Salzgehaltsdifferenz führte unterhalb von Leerort zu einer deutlichen dichtebedingten Verlagerung des Wasserkörpers, welche sich durch die Zunahme des Sauerstoffgehaltes bei Terborg äußerte. Unterstützt wurde dieser Vorgang durch die Volumenzuführung am Emssperrwerk durch den dortigen Pumpenbetrieb.

Wie bereits an Abbildung 3 erläutert, existierte ein horizontaler Gradient der Sauerstoffkonzentration. Als Folge der Verlagerung des Wasserkörpers wurde 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.

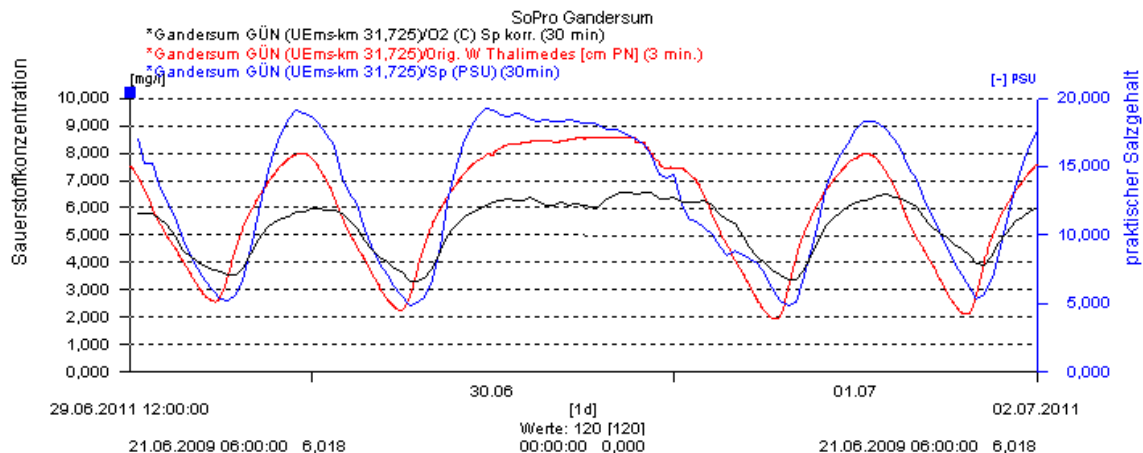


Abb. 5 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau) an der Messstation Gandersum; Zeitbezug MEZ

Die Sauerstoffkonzentration (Abb. 5) zu Beginn des Staus lag zwischen 6,0 und 6,3 mg/l und nahm während der Ausspiegelung in der ersten Stauhälfte auf 6,0 ab. Im Anschluss ergab sich ein deutlicher Anstieg auf 6,6 mg/l. Mit der Angleichung des Wasserstandes in der Stauhaltung an den Außenwasserstand zum Stauende und damit einsetzender Strömung, erfolgte wieder eine Verlagerung des Wasserkörpers aus Richtung Terborg und somit zunehmend die Messung eines niedrigeren Sauerstoffgehaltes. Zum Stauende betrug die Konzentration etwa 6,2 mg/l.

Der Salzgehalt nahm während des Staus zunächst von rd. 19 PSU auf rd. 17 PSU ab. Mit einsetzender Strömung zum Ende des Staus erfolgte eine stärkere Abnahme auf rd. 14 PSU, da wie bereits anhand der Zeitreihe der Sauerstoffkonzentration erläutert, der Wasserkörper durch den Entleerungsvorgang der Stauhaltung in Richtung Gandersum in Bewegung gesetzt wurde. Der Vorgang der Ausspiegelung verursachte in der ersten Stauhälfte eine erkennbare Schwankung des Salzgehaltes, wodurch die abwechselnd Ems auf- und abwärts gerichtete Bewegung des Wasserkörpers während dieser Phase verdeutlicht wird.

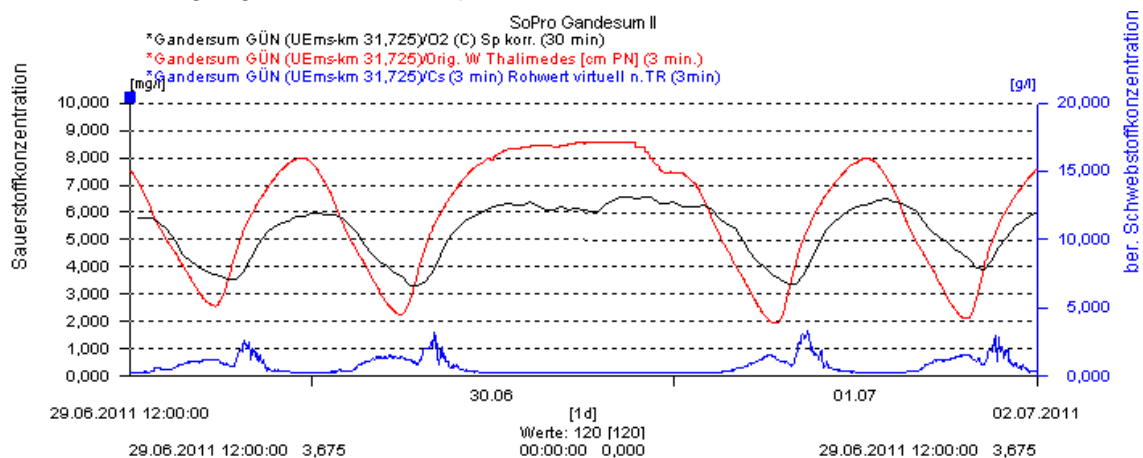


Abb. 6 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau) der Messstation Gandersum; Zeitbezug MEZ

NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

Die Schwebstoffkonzentration (Abb. 6) nahm bereits 3 ½ Stunden vor Staubeginn nach dem tidebedingten Maximum (ca. 3,5 g/l) stark ab. Zu Beginn und während des Staus betrug die Konzentration ca. 0,3 g/l.

Messtation Terborg

An der Messtation Terborg wird die Gewässergüte rd. 1 m oberhalb der Gewässersohle gemessen. Zusätzlich erfolgte die Erfassung des Sauerstoffgehaltes rd. 1 m unterhalb der Wasseroberfläche.

Die Sauerstoffkonzentration zu Beginn des Staus betrug an der Wasseroberfläche 4,8 mg/l und im Sohlbereich 4,9 mg/l. In den folgenden 3 Stunden sank die Konzentration an der Sohle geringfügig auf 4,7 mg/l, während an der Wasseroberfläche bereits ein Anstieg auf 5,1 mg/l eingesetzt hatte. In der Folgezeit vollzog sich ein weiterer Anstieg des Sauerstoffgehaltes an der Sohle und an der Oberfläche, so dass zu Beginn der Wasserstandsangleichung an der Oberfläche 5,5 mg/l und an der Sohle 5,3 mg/l vorhanden waren. In Folge der Verlagerung des Wasserkörpers aus Richtung Leerort erfolgte anschließend ein Messen in zunehmend sauerstoffärmerem Wasser, so dass bei Stauende Gehalte zwischen 4,5 und 5,0 mg/l registriert wurden.

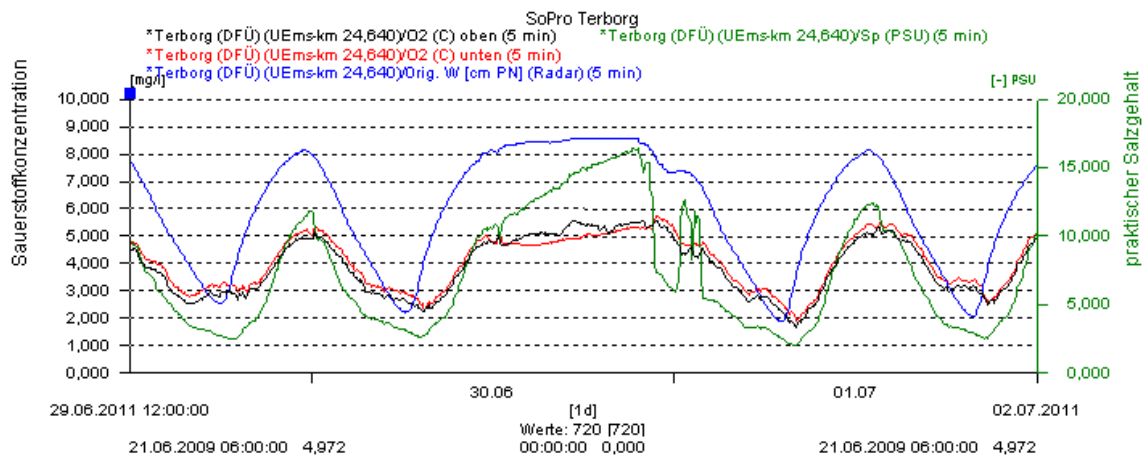


Abb. 7 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz/oberflächennah, rot/sohlnah) des Wasserstands (blau) und des Salzgehaltes (grün/sohlnah) an der Messtation Terborg; Zeitbezug MEZ

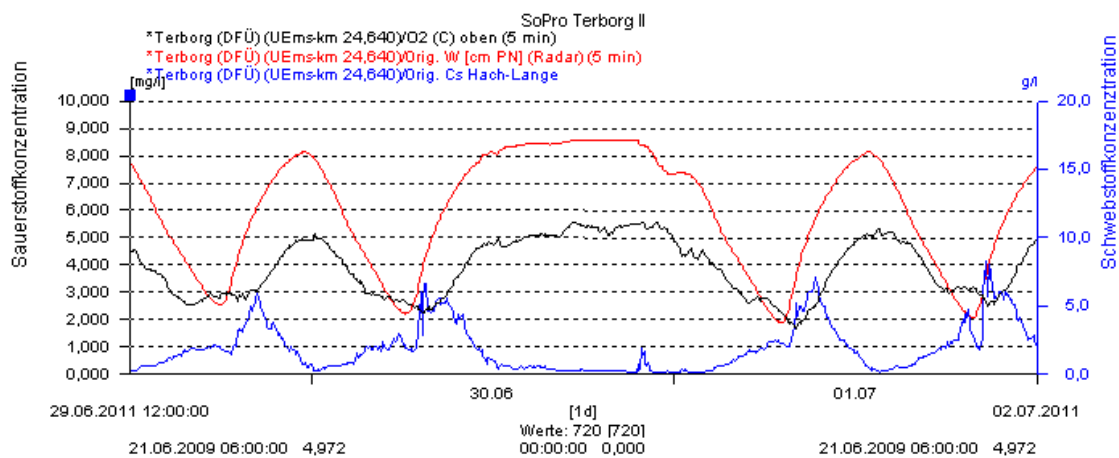
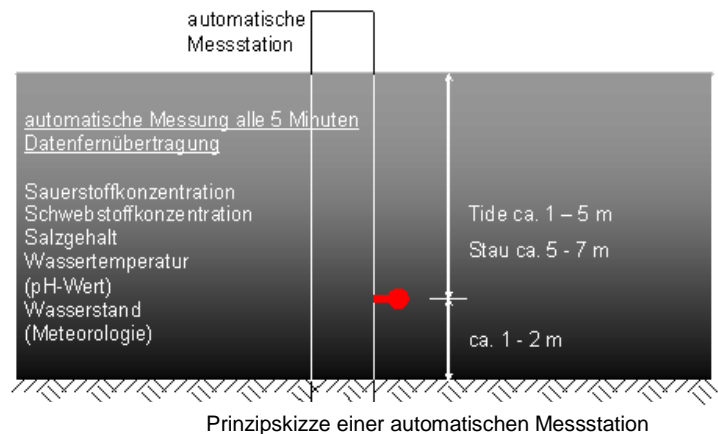


Abb. 8 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz) des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau) an der Messtation Terborg; Zeitbezug MEZ

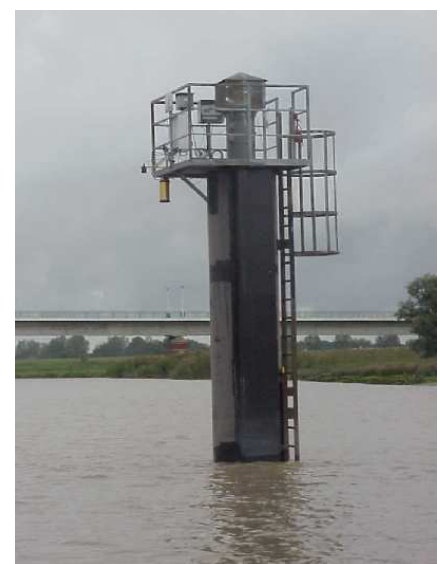
Der Salzgehalt betrug zu Staubeginn 10,8 PSU, stieg bis zum Beginn der Wasserstandsangleichung auf 16,5 PSU an und sank danach auf 6,1 PSU (Abb. 7). Das plötzliche Absinken des Salzgehaltes ist auf mehrere Ursachen zurückzuführen. Zum einen war der longitudinale Salzgehaltsgradient im betrachteten Abschnitt sehr groß, so dass bereits durch einen relativ kleinen Versatz des Wasserkörpers (einsetzende Strömung bei Entleerungsvorgang) bereits ein sehr viel niedrigerer Salzgehalt zu messen war, zum anderen ist es denkbar, dass die Höhenordinaten der horizontalen Isohalinen durch die Strömung abgesenkt wurden, so dass entsprechend des vertikalen Salzgehaltsgradienten die Sonde oberhalb der salzhaltigeren Schicht lag. Während der Entleerung des Stauraumes ergab sich ein kurzzeitiger Anstieg des Salzgehaltes durch den Einfluss der einschwingenden Tide. Als Ursache dafür ist die Umkehr der vorgenannten Erläuterung denkbar, d.h. eine kurzfristige Rückverlagerung des Wasserkörpers und die Stauung des Wasserkörpers, aus der eine Anhebung der Höhenordinaten der horizontalen Isohalinen folgte. Während der nachfolgenden Ebbe nahm der Salzgehalt wieder deutlich ab. Die Schwebstoffkonzentration nahm nach dem tidebedingten Maximum (6,6 g/l) stark ab. Zu Beginn des Staus betrug die Konzentration rd. 1 g/l und nahm bis zur Passage des Schiffes auf 0,2 g/l ab. Durch die Vorbeifahrt des Werftschiffes stieg der Schwebstoffgehalt kurzzeitig auf 1,9 g/l an, fiel danach wieder auf das vorhergehende Niveau (Abb.8).



Messstation Leerort

An der Messstation Leerort wird die Gewässergüte rd. 1,5 m oberhalb der Gewässersohle gemessen. Die Sauerstoffkonzentration betrug zu Beginn des Staus 2,7 mg/l. Ein erneutes kurzzeitiges Aufwirbeln der Schwebstoffe war mit einem ebenso kurzzeitigen Abfall der Sauerstoffwerte auf 1,2 mg/l verbunden. Der anschließende Verlauf des Sauerstoffgehalts, während der ersten Hälfte des Staus, wurde von der abwechselnd auf- und abwärts gerichteten Bewegung des Wasserkörpers geprägt. Zudem ergab sich eine deutliche Anhebung der Sauerstoffkonzentration auf bis zu 3,0 mg/l durch die Zuführung sauerstoffreicherer Wassers aus der Leda (über Ledaschöpfwerk). Mit der Passage des Werftschiffes sank die Sauerstoffkonzentration aufgrund der Durchmischung und der Beeinflussung der Messung durch die sich vollziehende Anhebung des Fluid Mud- Horizontes auf 2,0 mg/l ab. Dieser Zustand war jedoch zeitlich begrenzt, denn nach dem erneuten Setzen des Fluid Mud stieg der Sauerstoff wieder auf etwa 2,7 mg/l an. Mit Einsetzen der Strömung während der schrittweisen Öffnung des Emssperrwerkes gelangte sauerstoffärmeres Wasser aus Richtung Weener in den Bereich Leerort, so dass der zu messende Wert zum Ende des Staus langsam auf einen Wert zwischen 2,0 und 2,5 mg/l abnahm.

Der zu Beginn des Staus vorhandene Salzgehalt von 3,9 PSU nahm zunächst durch den Zufluss von Oberwasser und dem aus der Leda zugeführten Wasser leicht auf 3,5 PSU ab. Während der Wasserstandsangleichung erfolgte durch die einsetzende Strömung eine ent-



Ansicht Messstation Leerort

sprechend schnellere Abnahme, so dass zum Stauende ein Wert zwischen 2,3 und 2,7 PSU zu messen war (siehe Abb. 9).

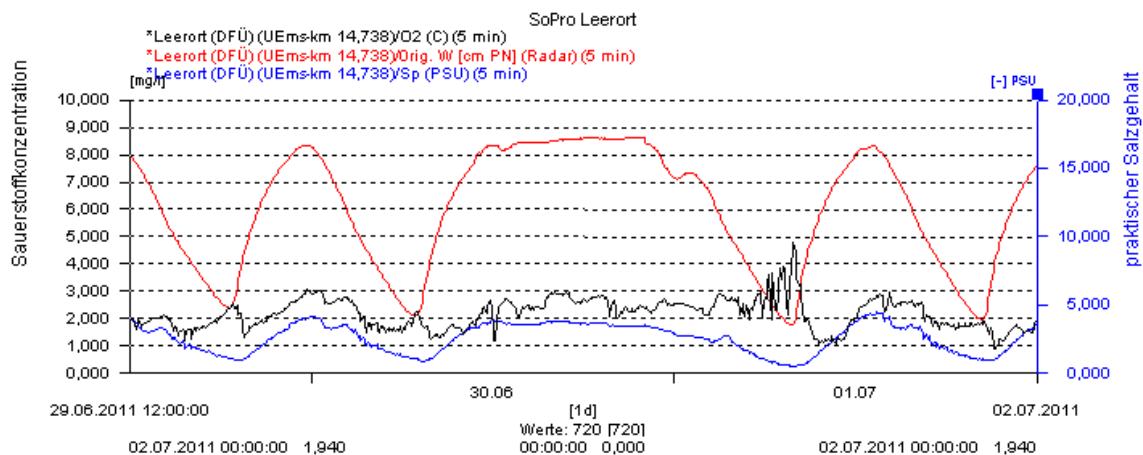


Abb. 9 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau); Zeitbezug MEZ

Das tidebedingte Maximum der Schwebstoffkonzentration lag vor Staubeginn zwischen 20 und 25 g/l. Zu Beginn des Staus betrug die Konzentration rd. 3 g/l und nahm bis zur Passage des Werftschiffes auf rd. 1 g/l ab. Durch die Schiffspassage stieg die Konzentration kurzzeitig auf rd. 14 g/l und sank danach bis zum Stauende auf rd. 1 g/l (Abb. 10).

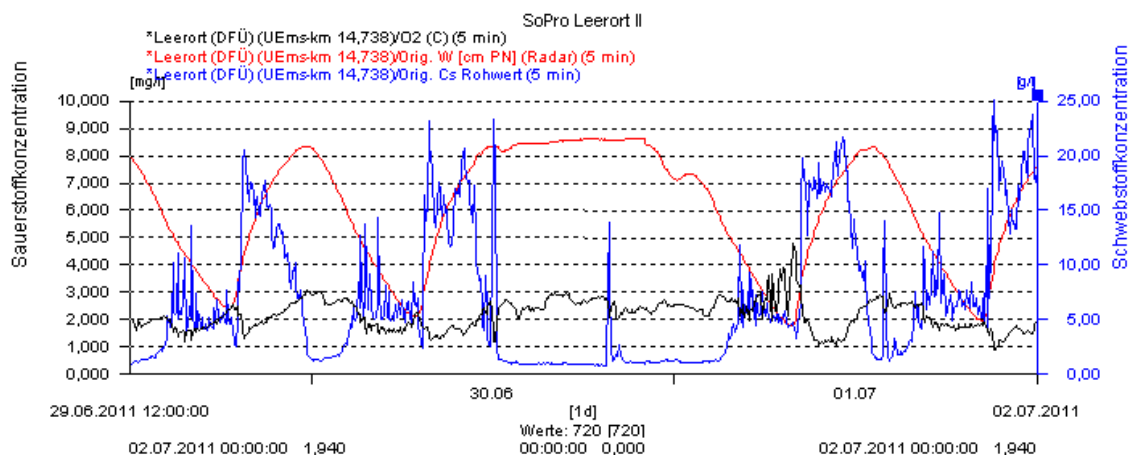


Abb. 10 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau); Zeitbezug MEZ

Messtation Weener

An der Messtation Weener wird die Gewässergüte rd. 1,5 m oberhalb der Gewässersohle gemessen. Der sauerstoffarme Bereich in der Trübungszone wurde bei den Ende Juni vorherrschenden Verhältnissen in der Ems mit der Flut in Richtung Weener / Papenburg verfrachtet, so dass dort die Sauerstoffkonzentration während der Flutstromphase abnahm. Die Sauerstoffkonzentration zu Beginn des Staus lag bei 0,4 mg/l. Darauf folgte bis zur Mitte des Staus, ein schwankender Verlauf der Sauerstoffkonzentration zwischen 0,3 und 1,0 mg/l (Abb. 11). Wie auch an der Messtation Leerort war auch an dieser Position das Eintauchen der Sauerstoffsonde in den Fluid Mud, bzw. die Messung im Grenzbereich zwischen Fluid Mud und Wasser die Ursache dieses Verhaltens (Abb. 12). In der Folgezeit erfolgte eine Konsolidierung des Fluid Mud und damit auch ein Absinken dessen Oberfläche. Der sprung-

NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

hafte Anstieg des Sauerstoffgehaltes auf 2,0 mg/l zur Mitte des Staus erfolgte zu dem Zeitpunkt, an dem der Fluid Mud- Horizont die Höhenlage der Sauerstoffsonde unterschritt und somit der Sauerstoffgehalt im Wasser gemessen wurde. Mit der Passage des Werftschiffes sank der Sauerstoffgehalt auf 0,3 mg/l ab und verblieb für mehrere Stunden auf diesem Niveau. Die Schiffspassage führte durch Aufwirbelung der mehrere Meter dicken Fluid Mud-Schicht dazu, dass die Sonde darin eintauchte und infolge dessen nicht mehr den Sauerstoffgehalt des Wassers, sondern den des Fluid Mud registrierte. Erst nach Konsolidierung des Fluid Mud trat die Sauerstoffsonde zum Ende des Staus wieder daraus hervor und konnte den Sauerstoffgehalt des Wassers messen. Zum Ende des Staus wurde im Sohlbereich ein Sauerstoffgehalt von 1,5 bis 1,7 mg/l gemessen.

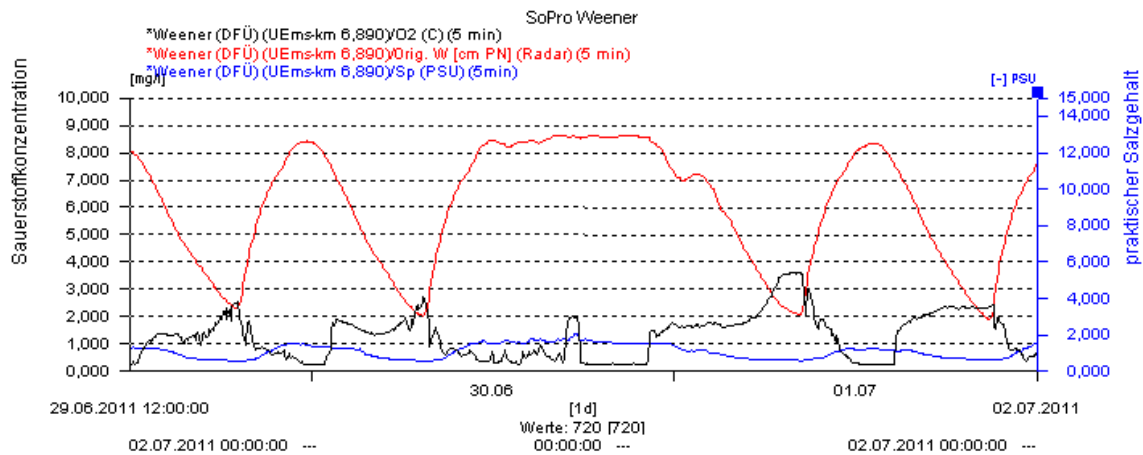


Abb. 11 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau); Zeitbezug MEZ

Der zu Beginn des Staus vorhandene Salzgehalt von ca. 1,6 PSU blieb in der ersten Hälfte des Staus auf diesem Niveau. Kurzzeitig wurde ein Salzgehalt von 2,0 PSU gemessen. Mit Einsetzen der Strömung in Richtung Leerort sank der Salzgehalt bis zum Ende des Staus auf Werte zwischen 1,1 und 1,5 PSU ab.

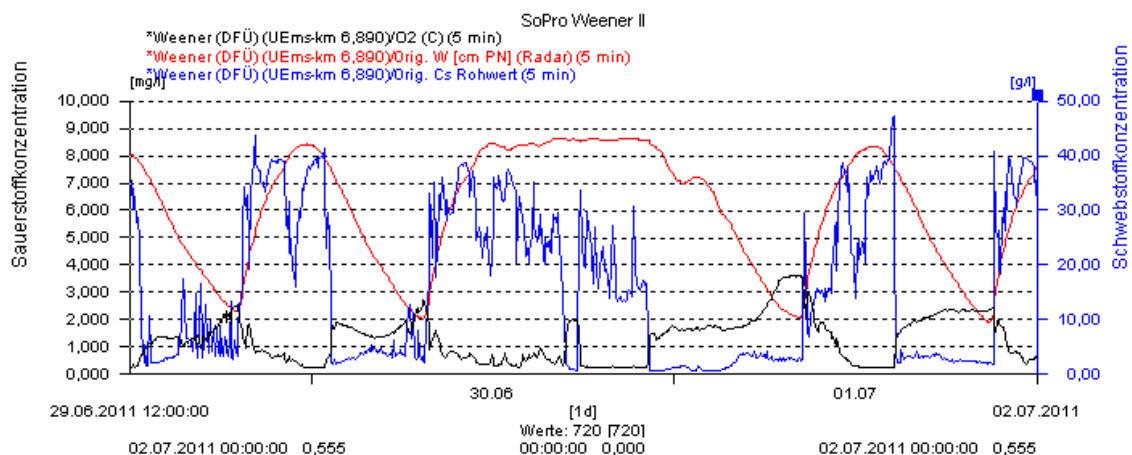


Abb. 12 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz), des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau); Zeitbezug MEZ

Zu Beginn des Staus waren sehr hohe Schwebstoffgehalte vorhanden. Das Maximum der vorhergehenden Flut betrug rd. 40 g/l. Durch die Sedimentation der Schwebstoffe und Kon-

NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

solidierung an der Gewässersohle wurde in der ersten Hälfte des Staus eine hohe Feststoffkonzentration gemessen. Erst nachdem die Sonde durch die Konsolidierung aus dem Fluid Mud hervortrat, konnte diese in der Wassersäule messen und registrierte dort einen Schwebstoffgehalt von rd. 1 g/l. Durch die Passage des Werftschiffes wurde das zuvor konsolidierte Material erneut mobilisiert bzw. der Fluid Mud- Horizont angehoben, so dass die Sonde erneut für mehrere Stunden in die Fluid Mud- Schicht eintauchte und Konzentrationen von 13 bis 34 g/l wahrnahm. Nach erneuter Konsolidierung des Fluid Mud wurde bis zum Ende des Staus eine Konzentration von rd. 1 g/l gemessen.

Messtation Papenburg

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

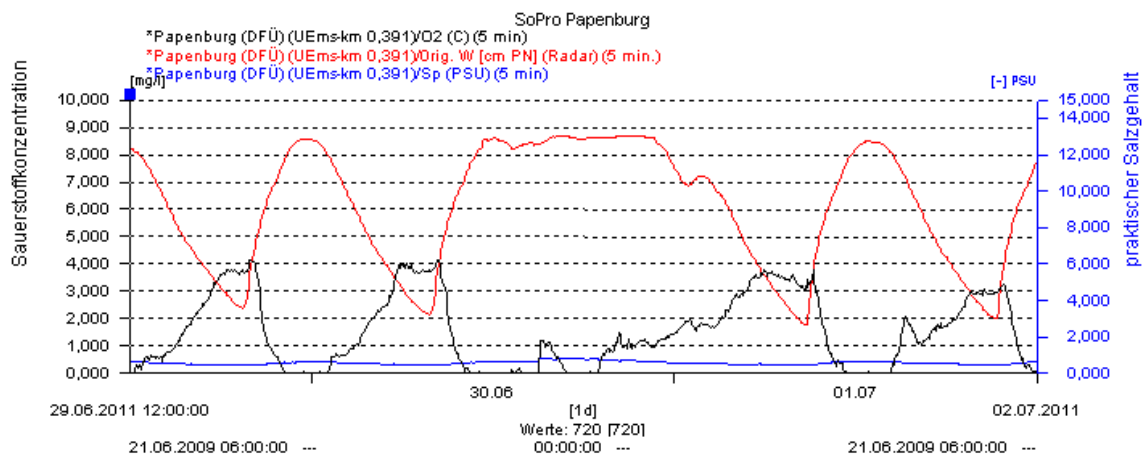


Abb. 13 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz) des Wasserstands (rot) und des Salzgehaltes (blau); Zeitbezug MEZ

Der sauerstoffarme Bereich in der Trübungszone wurde bei den Ende Juni vorherrschenden Verhältnissen in der Ems mit der Flut in Richtung Papenburg verfrachtet, so dass dort die Sauerstoffkonzentration während der Flutstromphase abnahm. Zu Beginn des Staus registrierte die Sauerstoffsonde keinen Sauerstoff (0,02 mg/l). Ursache für den extrem niedrigen Sauerstoffgehalt waren die hohen Schwebstoffkonzentrationen bzw. das Eintauchen der Sauerstoffsonde in die Fluid Mud- Schicht, so wie es bereits anhand der Messergebnisse der Stationen Leerort und Weener erläutert wurde. Die parallel an gleicher Position gemessene hohe Feststoffkonzentration dokumentiert diesen Umstand (Abb. 14). Nach der Konsolidierung des Fluid Mud an der Sohle und damit einhergehendem Absenken dessen Oberfläche, trat die Sauerstoffsonde aus dem Fluid Mud hervor (vgl. Weener) und registrierte im Wasser unmittelbar darüber einen Sauerstoffgehalt von 1,2 mg/l. Die Schiffspassage führte, wie auch in Weener, durch Aufwirbelung der mehrere Meter dicken Fluid Mud- Schicht dazu, dass die Sonde darin eintauchte und infolge dessen nicht mehr den Sauerstoffgehalt des Wassers, sondern den des Fluid Mud registrierte. Erst nach erneuter Konsolidierung des Fluid Mud trat die Sauerstoffsonde in der zweiten Hälfte des Staus wieder daraus hervor und konnte den Sauerstoffgehalt des Wassers messen, der zunächst zwischen 0,7 und 1,5 mg/l schwankte. Mit einsetzender Strömung als Folge der schrittweisen Öffnung des Emssperrwerkes gelangte sauerstoffreicheres Wasser aus Richtung Herbrum nach Papenburg, so dass bis zum Ende des Staus Sauerstoffgehalte von bis zu 2,0 mg/l zu messen waren.

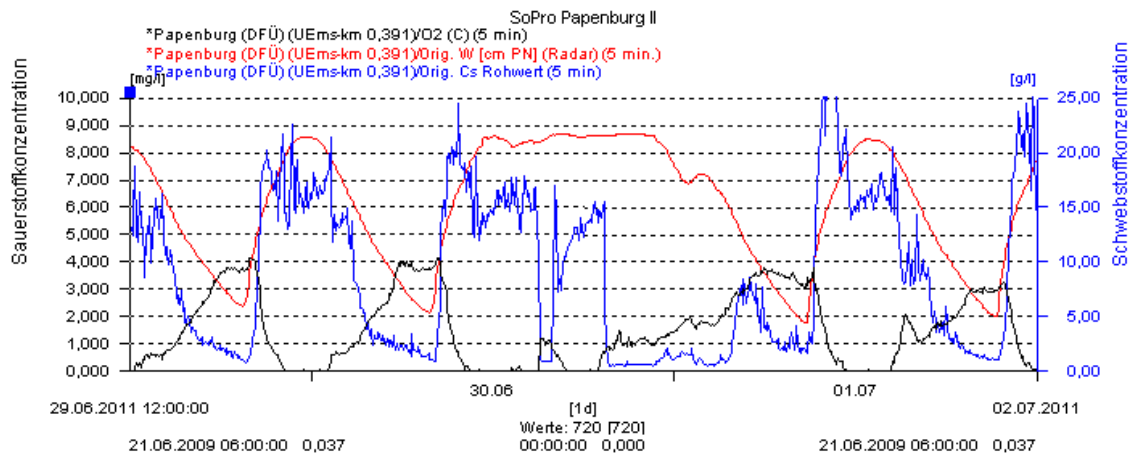


Abb. 14 Verlauf der Sauerstoffkonzentration (schwarz) des Wasserstands (rot) und der Schwebstoffkonzentration (blau); Zeitbezug MEZ

In der ersten Hälfte des Staus nahm der Salzgehalt von rd. 0,6 auf 0,8 PSU zu und danach bis zum Ende des Staus wieder auf rd. 0,5 PSU ab. Die Grundversalzung der Ems betrug rd. 0,6 PSU (oberhalb Wehr Herbrum). Zu Beginn des Staus betrug die Schwebstoffkonzentration rd. 15 g/l. Das Schwebstoffmaximum der vorhergehenden Flutphase hatte rd. 25 g/l betragen. Nach der Sedimentation und Konsolidierung an der Sohle (siehe auch Weener) betrug diese zunächst rd. 1 g/l. Die Vorbeifahrt des Werftschiffes mit Umlagerung der Feststoffe und Lage der Sonde im Fluid Mud führte dazu, dass Feststoffkonzentrationen von 7 bis 17 g/l gemessen wurden. Nachdem die Sonde durch die Konsolidierung der Feststoffe erneut im Wasserkörper messen konnte, wurden eine Konzentrationen von 0,5 bis 1 g/l registriert und während der einsetzenden Strömung (Öffnung Emssperwerk) bis zu 2 g/l gemessen.

Mobile Messeinrichtung Halte

Im Bereich der Halter Brücke wurde der Salzgehalt und die Wassertemperatur über 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).

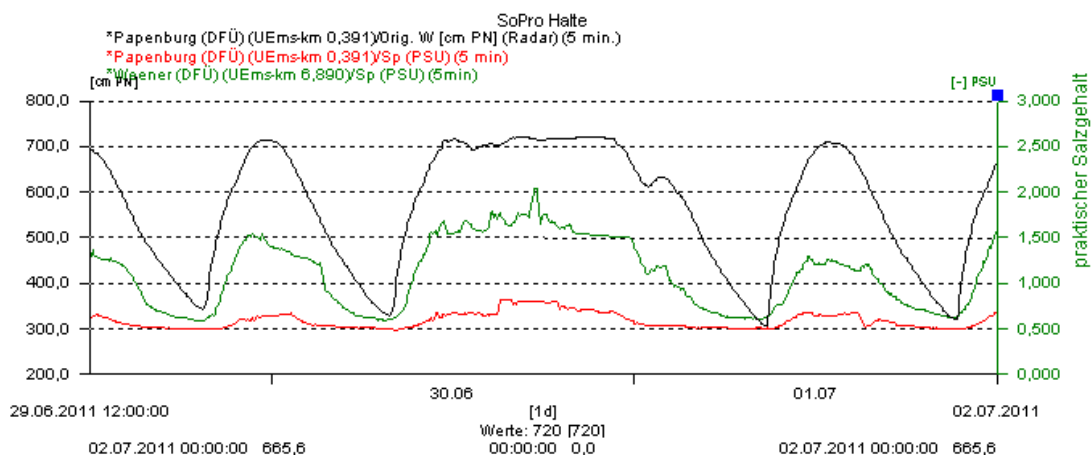


Abb. 15 Verlauf der Salzgehaltskonzentration Weener (grün), Papenburg (rot), sowie des Wasserstands (schwarz); Zeitbezug MEZ

NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

Kurz vor Staubeginn wurde eine Fehlfunktion der Salzgehaltsmessung in Halte festgestellt. Da es sich bei der Messeinrichtung um eine Spezialanfertigung handelt, konnte kurzfristig kein Ersatz beschafft werden. Aufgrund der kurzen Stauzeit war aber nicht zu befürchten, dass die Salzfront (2 PSU Isohaline) Halte erreichen würde. Die Messwerte der Messstation Papenburg und die Schiffsmessungen in Halte (Abb. 16) bestätigen dies.

Die Schiffsmessungen ergaben eine Ausgangslage der 2 PSU- Isohaline zu Staubeginn etwa bei Weener. Zum Zeitpunkt der ersten Messfahrt wurde diese rd. 1 ½ Stunden nach Beginn des Schließvorganges bei Unterems-Km 6,5 festgestellt. Die Endlage der 2 PSU- Isohaline hat während des Staus zwischen der Messstation Weener (Unterems-Km 6,89) und Unterems-Km 6,5 gelegen (siehe auch nachfolgendes Kapitel 3.2).

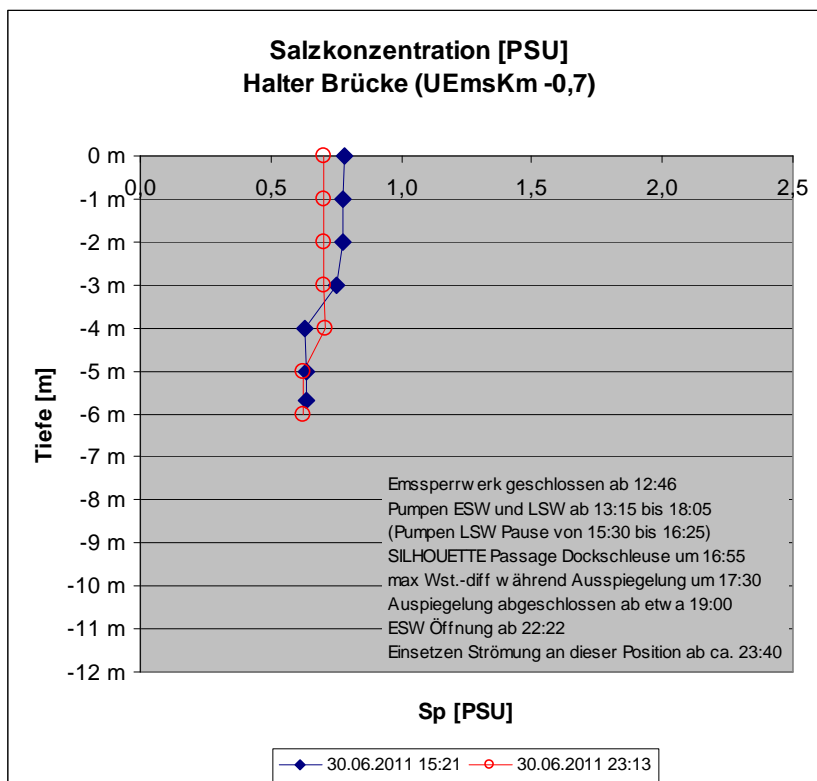


Abb. 16 Tiefenprofil der Salzkonzentration an der Halter Brücke; ca. 0,7 km oberhalb der Dockschleuse Papenburg und rd. 1 km oberhalb der Messstation Papenburg; mit Angabe der wesentlichen Ereignisse während des Staus; Zeitangaben in MESZ

3.2 Schiffsmessungen

Die Stauhaltung zwischen Gandersum und Schleuse Herbrum wurde von zwei Messschiffen befahren. Die Staulänge von 12 Stunden ermöglichte eine Hin- und Rückfahrt. 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). Der Abstand zwischen den Tiefenprofilen betrug ein bis zwei Kilometer, in Einzelfällen auch weniger als ein Kilometer. Die Schiffsmessungen begannen kurz nach Einleiten des Staus um ca. 13:00 Uhr. Aufgrund der hydro- meteorologischen Randbedingungen bestand die Möglichkeit, die Schiffsüberführung innerhalb von lediglich 12 Stunden statt der ursprünglich geplanten NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

ten 25 Stunden durchzuführen. Die Überführungsfahrt des Werftschiffes von Papenburg nach Gandersum nimmt mit rd. 7 Stunden einen großen Anteil an einen 12 Stunden- Stau in Anspruch. Da der Begegnungsverkehr zwischen einem Messschiff und dem Werftschiff aus Sicherheitsgründen in den engen Flussquerschnitten oberhalb von Leerort generell problematisch ist, musste die Fahrtgeschwindigkeit der Messschiffe an den Überführungsablauf der SILHOUETTE angepasst werden, um eine Begegnung in diesem Abschnitt der Ems zu vermeiden. Dem Messschiff NORD war es möglich, Weener rechtzeitig vor Eintreffen des Werftschiffes zu erreichen und dort auf einer mit der Schifffahrtspolizei abgestimmten Warteposition die Vorbeifahrt des Werftschiffes abzuwarten. Das Messschiff SÜD erreichte rechtzeitig den Emsabschnitt oberhalb von Papenburg, so dass eine Begegnung mit der SILHOUETTE vermieden wurde. Die Rückfahrt der Messschiffe (von Süd nach Nord) erfolgte in einem zeitlichen Abstand von ca. 1 Stunde zum vorhergehenden Werftschiff (Messschiff NORD), bzw. in einem Abstand von 6 bis 7 Stunden dazu (Messschiff SÜD). Die Messungen mussten um 23:35 Uhr (Messschiff NORD bei Terborg) bzw. um 00:24 Uhr (Messschiff SÜD bei Ems-km 6,5) beendet werden, da die einsetzende Strömung für die Aufnahme weiterer Tiefenprofile zu stark wurde. Je Messort wurden in der Regel zwei zeitlich versetzte Tiefenprofilmessungen ausgeführt, im Überschneidungsbereich beider Messschiffe bis zu drei Messungen. Da auf der Rückfahrt unterhalb von Terborg die Messfahrt aufgrund der zu stark werdenden Strömung abgebrochen werden musste, kam im untersten Abschnitt der Stauhaltung lediglich eine Tiefenprofilmessung je Position zur Ausführung.



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

3.2.1 Ergebnisse der Schiffsmessungen

Schiffsmessungen Sauerstoffkonzentration

Längsprofile

In den nachfolgenden Abbildungen 16 und 17 sind die Sauerstoffkonzentrationen an der Wasseroberfläche und über der Sohle zusammengestellt und als Längsverteilung in der Stauhaltung abgebildet. Für einen besseren Überblick sind die Daten den Messfahrten zugeordnet dargestellt; die Messzeiten sind der jeweiligen Beschriftung unter der Abbildung zu entnehmen.

Zu Beginn des Staus war eine charakteristische örtliche Verteilung des Sauerstoffgehaltes im Längsverlauf der Stauhaltung festzustellen: relativ hohe Sauerstoffgehalte am unteren und oberen Rand (Gandersum bzw. Herbrum) der Stauhaltung, sowie niedrige Sauerstoffwerte in dessen Mitte. War in den vergangenen Staufällen oftmals ein longitudinale Abnahme des Sauerstoffgehaltes an der Wasseroberfläche und auch an der Sohle von Gandersum (km 32) bis in den Bereich Weener (km 7) oder auch Papenburg (km 0) der Fall, befand sich bei diesem Stau das Sauerstoffminimum etwa 4 km oberhalb von Papenburg (zwischen Halte und Tunxdorf).



Messsonden

Während der ersten Messung (Fahrt von Nord nach Süd: „Hinfahrt“) betrug der Sauerstoffgehalt an der Wasseroberfläche in Gandersum 6,3 mg/l, in Leerort ca. 2,6 mg/l, in Weener ca. 2,0 mg/l, in Papenburg 1,6 mg/l, 4 km oberhalb von Papenburg 1,1 mg/l und in Herbrum rd. 5,5 mg/l. Der Sauerstoffgehalt an der Sohle lag zwischen Gandersum und Leerort bis zu etwa 0,5 mg/l niedriger als an der Wasseroberfläche, zwischen Leerort und Weener lag die Differenz zwischen 0,5 und 1 mg/l und oberhalb dieses Abschnittes bis nach Herbrum bis rd. 0,5 mg/l. Ausnahmen waren Positionen im Bereich des Vellager Altarmes (2 km oberhalb Papenburg) und bei Herbrum, an denen an der Wasseroberfläche ein deutlich höherer Sauerstoffgehalt gemessen wurde als an der Sohle.

Werden die Messwerte der Rückfahrt denen der Hinfahrt gegenübergestellt, so lässt sich für den Abschnitt unterhalb von Leerort (km 15) eine deutliche Zunahme des Sauerstoffgehaltes an der Wasseroberfläche erkennen (bis 1 mg/l). Zwischen km 9 und 13 (unterhalb von Weener bis oberhalb Ledamündung) veränderte sich der Sauerstoffgehalt der Wasseroberfläche kaum. Zwischen Vellager Altarm (ca. 2 km oberhalb von Papenburg) und Weener (km 7) nahm die Sauerstoffkonzentration an der Wasseroberfläche ab. Die Differenz zwischen Hin- und Rückfahrt betrug im Bereich des Vellager Altarms 0,2 mg/l, bei Papenburg 0,3 mg/l, zwischen Papenburg und Weener bis 0,6 mg/l. Der Messwert bei Weener weicht sehr untypisch von den anderen Messwerten des Tiefenprofils (s. Abb. 25) ab und wird daher hier nicht gesondert bewertet. Oberhalb des Vellager Altarmes nahm der Sauerstoffgehalt der Wasseroberfläche zwischen Hin- und Rückfahrt deutlich zu: bis etwa Rhede (rd. 7 km oberhalb Papenburg) um bis zu 1 mg/l und weiter bis nach Herbrum um bis zu 2,5 mg/l.

Die Sauerstoffkonzentration an der Sohle veränderte sich unterhalb von Papenburg und somit im größten Teil der Stauhaltung nur unwesentlich. In Einzelfällen ergab sich eine deutliche Zunahme (u.a. Leerort 0,7 mg/l) bzw. eine geringfügige Abnahme der Sauerstoffwerte. Oberhalb von Papenburg nahm mit zunehmender Distanz in Richtung Herbrum der Sauerstoffgehalt der Sohle zu: im Bereich des Vellager Altarmes um 0,7 mg/l und in Herbrum um 3,0 mg/l.

Die Längsprofile zeigen einen Zusammenhang der Sauerstoffentwicklung während des Staus mit dem Oberwasserzufluss in die Stauhaltung. Dies zeigt sich im Anstieg der Sauerstoffwerte unterhalb von Herbrum und in einer Verschiebung des Sauerstoffminimums vom Bereich Halte/Tunxdorf Richtung Weener (s.u.). Zudem kann ein gewisser Einfluss der Pumpfähigkeit des Emssperrwerkes und des Ledaschöpfwerkes (Sauerstoffzunahme im Be-

reich von Leer), der Schiffspassage und der am Ende des Staus einsetzende Strömung vermutet werden. Salzgehaltsabhängige Transportprozesse traten fast nicht in Erscheinung. In der Vergangenheit war in unterschiedlich starker Ausprägung zu beobachten, dass sich sauerstoffreicheres Salzwasser sohnah in Richtung Leerort ausbreitete, sowie an der Wasseroberfläche im Gegenzug sauerstoffärmeres Wasser in Richtung Gandersum bewegte. In der unteren Stauhaltung äußerte sich dieser Vorgang durch die Abnahme der Sauerstoffkonzentration an der Wasseroberfläche, sowie einer Zunahme der Sauerstoffwerte im Sohlbereich. Im hier behandelten Staufall zur Überführung der SILHOUETTE bewegte sich ebenfalls salzhaltigeres Wasser an der Sohle bis etwa km 18 (Soltborg). Im Gegenzug nahm der Salzgehalt an der Wasseroberfläche bis etwa km 20 (Jemgumkloster) ab. Anders als bei ähnlichen Staufällen erfolgte dieser Vorgang jedoch mit geringerer Intensität und hatte keine signifikante Änderung der Sauerstoffwerte zur Folge.

Als eine der Ursachen dafür kommt in Frage, dass rd. 9 ½ Stunden nach Staubeginn das Emssperwerk schrittweise geöffnet wurde und eine zunehmend stärker werdende Strömung in Richtung Gandersum die Ausbildung einer ausgeprägten Dichteströmung verhinderte.

Der Einfluss des Oberwassers sei hier noch einmal detaillierter geschildert. Bei der Betrachtung der Längsverteilung des Sauerstoffgehaltes oberhalb von Weener wird deutlich, dass durch das zufließende Oberwasser zum einen eine Anhebung der Sauerstoffkonzentration oberhalb von Papenburg erfolgte, zum andern durch das hinzu geführte Volumen ein Versatz des Wasserkörpers in Richtung Weener resultierte. Die zum Ende des Staus einsetzende Strömung in Richtung Gandersum unterstützte die Bewegung des Wasserkörpers maßgeblich. Das zu Beginn des Staus oberhalb von Papenburg befindliche Sauerstoffminimum wurde somit in den Bereich zwischen Papenburg und Weener gedrängt. Daraus resultieren im Wesentlichen die in diesem Abschnitt im Laufe des Staufalles gemessenen Sauerstoffabnahmen. Möglicherweise hat auch die Passage des Werftschiffes mit zu den etwas geringeren Sauerstoffgehalten im oberen Bereich der Wassersäule beigetragen, indem die mehrere Meter mächtige Fluid Mud- Schicht mit dem darüber liegenden Wasserkörper vermischt wurde.

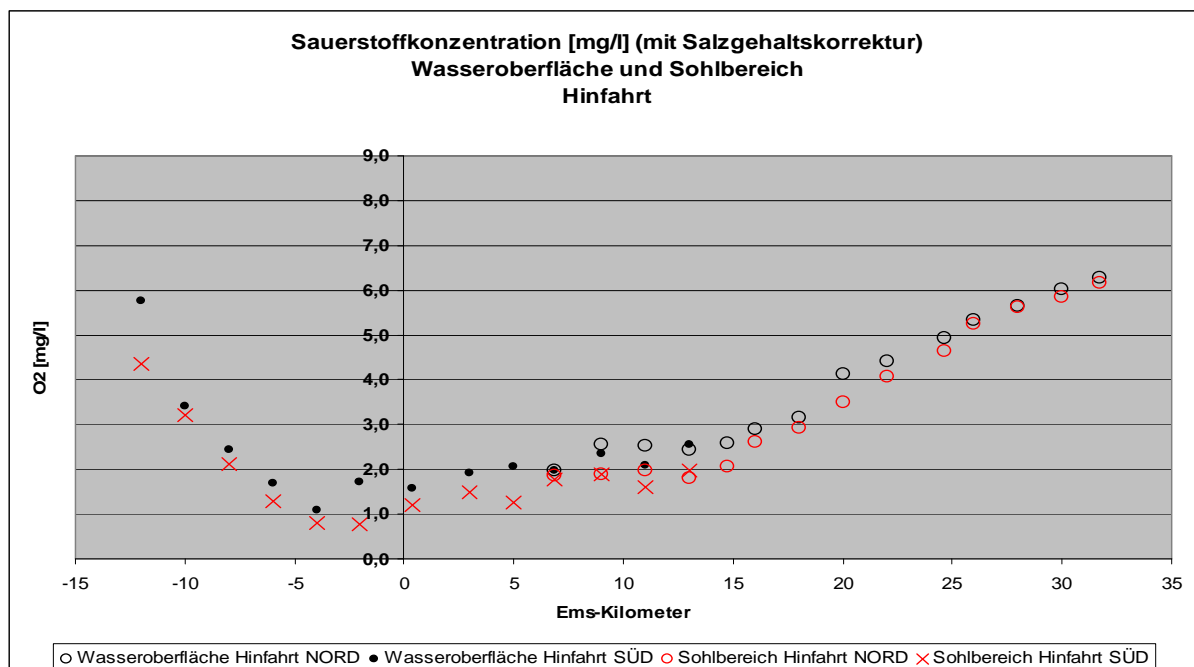


Abb. 17 Längsprofil der Sauerstoffkonzentration an der **Wasseroberfläche und der Sohle während der Hinfahrt** (Messfahrt von Nord nach Süd); Messschiff NORD von Gandersum nach Weener, 30.06.11 13:05 bis 17:20 MESZ und Messschiff SÜD von Leerort nach Herbrum, 30.06.11 13:00 bis 16:56 MESZ; Kilometrierung: Herbrum km -12, Papenburg km 0, Weener km 7, Leerort km 15, Emssperwerk km 32

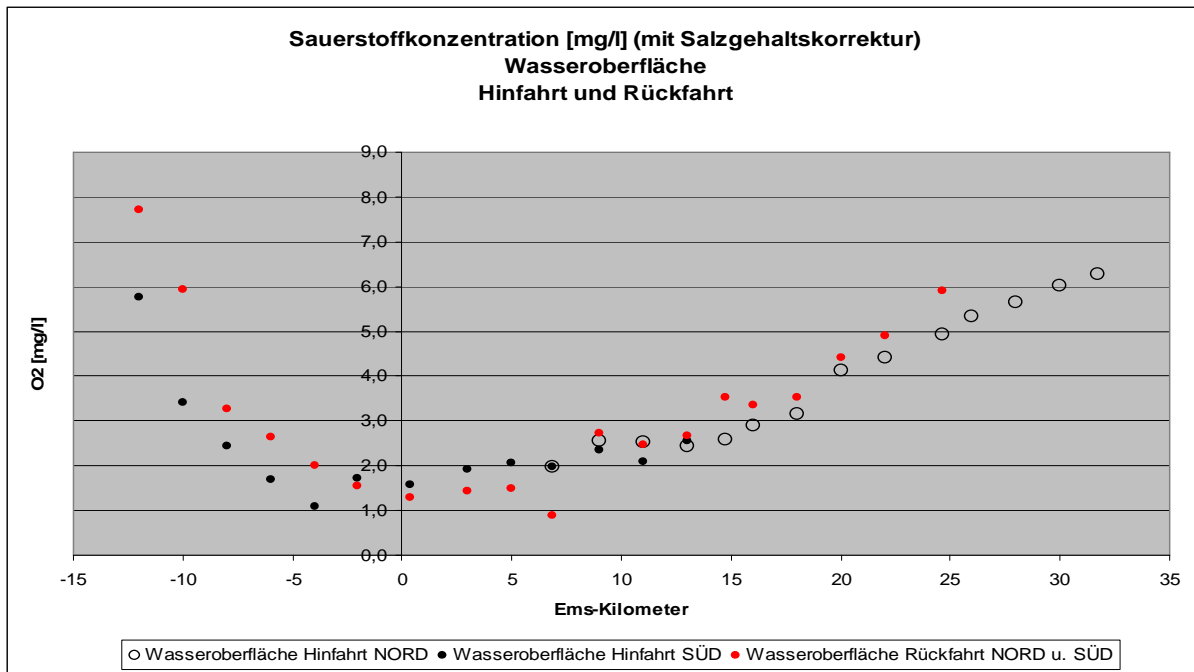


Abb. 18

Längsprofil der Sauerstoffkonzentration an der **Wasseroberfläche**; **Vergleich von Hin- und Rückfahrt**; Hinfahrt: Messschiff NORD von Gandersum nach Weener, 30.06.11 13:05 bis 17:20 MESZ und Messschiff SÜD von Leerort nach Herbrum, 30.06.11 13:00 bis 16:56 MESZ; Rückfahrt: Messschiff NORD von Weener bis Terborg, 30.06.11 20:00 bis 23:35 MESZ, ca. 1 Stunde nach Durchfahrt der SILHOUETTE; Messschiff SÜD: von Herbrum bis Weener, 30.06.11 21:25 bis 01.07.11 00:24 MESZ, ca. 6 bis 7 Stunden nach Durchfahrt der SILHOUETTE; Kilometrierung: Herbrum km -12, Papenburg km 0, Weener km 7, Leerort km 15, Emssperwerk km 32

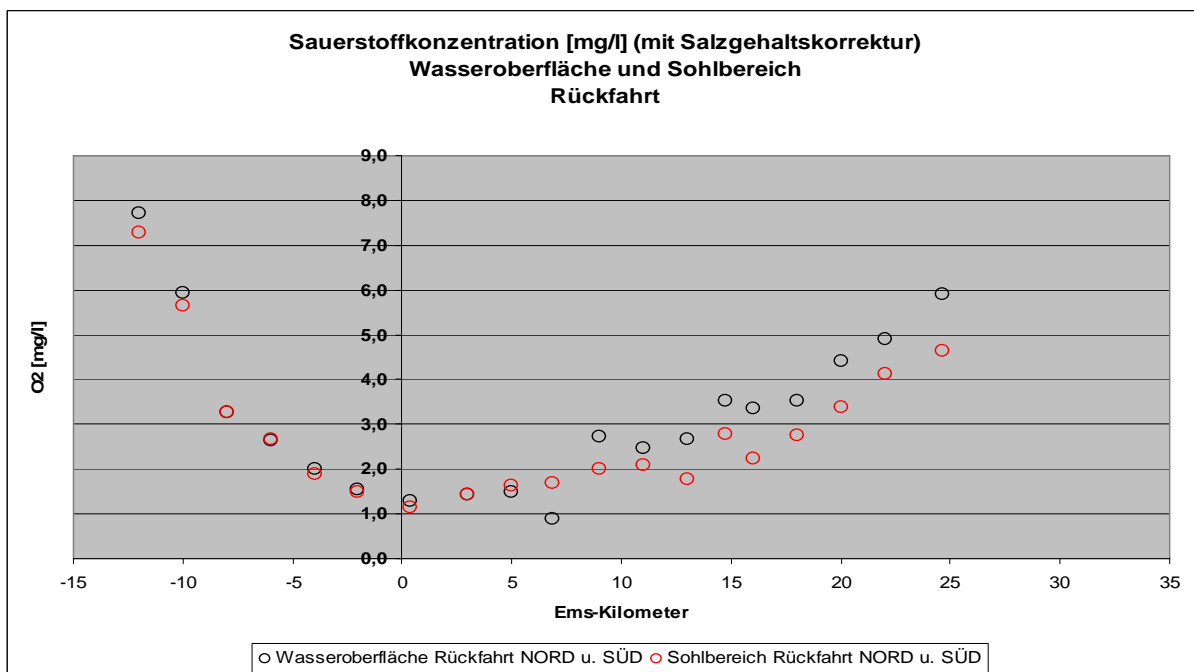


Abb. 19

Längsprofil der Sauerstoffkonzentration an der Wasseroberfläche und der Sohle während der Messfahrt von Süd nach Nord [„Rückfahrt“]; Messschiff **NORD** von Weener bis Terborg, 30.06.11 20:00 bis 23:35 MESZ, **ca. 1 Stunde nach Durchfahrt der SILHOUETTE**; Messschiff **SÜD**: von Herbrum bis Weener, 30.06.11 21:25 bis 01.07.11 00:24 MESZ, **ca. 6 bis 7 Stunden nach Durchfahrt der SILHOUETTE**; Kilometrierung: Herbrum km -12, Papenburg km 0, Weener km 7, Leerort km 15, Emssperwerk km 32

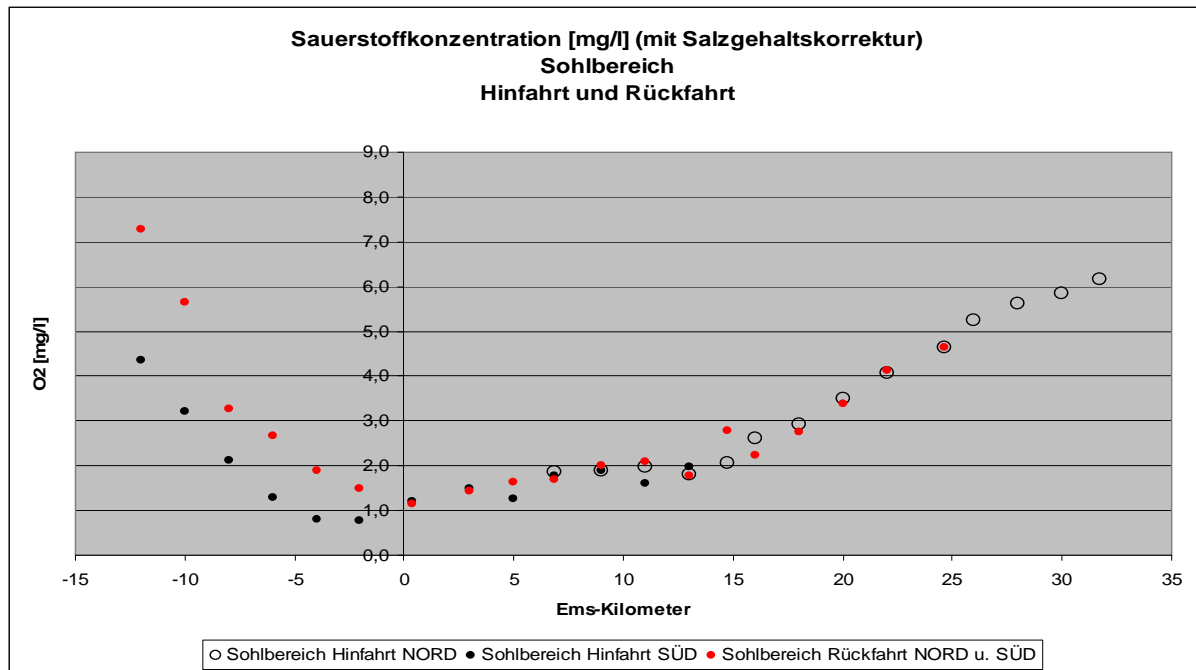
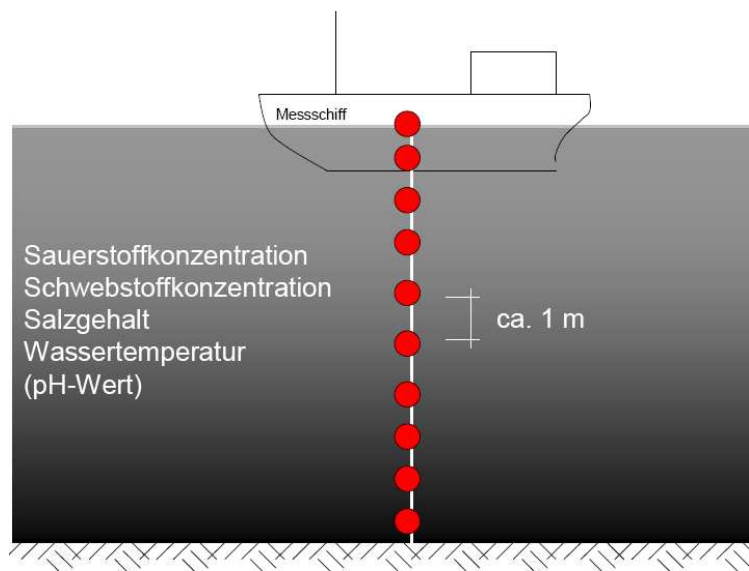


Abb. 20 Längsprofil der Sauerstoffkonzentration im **Sohlbereich; Vergleich von Hin- und Rückfahrt**; Hinfahrt: Messschiff NORD von Gandersum nach Weener, 30.06.11 13:05 bis 17:20 MESZ und Messschiff SÜD von Leerort nach Herbrum, 30.06.11 13:00 bis 16:56 MESZ; Rückfahrt: Messschiff NORD von Weener bis Terborg, 30.06.11 20:00 bis 23:35 MESZ, ca. 1 Stunde nach Durchfahrt der SILHOUETTE; Messschiff SÜD: von Herbrum bis Weener, 30.06.11 21:25 bis 01.07.11 00:24 MESZ, ca. 6 bis 7 Stunden nach Durchfahrt der SILHOUETTE; Kilometrierung: Herbrum km -12, Papenburg km 0, Weener km 7, Leerort km 15, Emssperrwerk km 32

Tiefenprofile

Die Wassersäule wurde im Meterabstand von der Wasseroberfläche bis in den Sohlbereich aufgenommen (Abstand der Messungen im Tiefenprofil 1 m). Die Profile verdeutlichen die anhand der Längsprofile erläuterten Vorgänge in der Wassersäule. Auffällig ist der scharfe Übergang vom Fluid Mud- Horizont zu dem darüber stehenden Wasser. Während im Sediment sehr geringe Sauerstoffwerte gemessen wurden, lagen die darüber gemessenen Werte deutlich höher. Eine aufsteigende Zehrung aus dem Sediment ist nicht erkennbar.



Prinzipische Skizze der Aufnahme eines Tiefenprofils

Stellvertretend für alle Tiefenprofile, die alle ein bis zwei Kilometer aufgenommen wurden, wird an den nachfolgenden Abbildungen (siehe Anhang) die vertikale Sauerstoffverteilung im Bereich der Messstationen Gandersum bis Papenburg, sowie weiterer ausgewählter Positionen gezeigt. Als Interpretationshilfe sind in den Abbildungen die wichtigsten Ereignisse während des Staus chronologisch aufgeführt: der Schließzeitpunkt des Emssperrwerkes, der

Zeitraum der Pumpenförderung, die Passage des Werftschiffes an jeweiliger Position, der Beginn der schrittweisen Öffnung des Emssperrwerkes und der Zeitpunkt, zu dem an jeweiliger Position in etwa die Strömung einsetzte. Während der Ausspiegelung bewegt sich der Wasserkörper in der Stauhaltung Ems auf- und abwärts und wird als Wasserstandsschwankung an den Pegeln wahrgenommen. Je größer die Wasserstandsdifferenz innerhalb der Stauhaltung, desto größer ist auch die Bewegung des Wasserkörpers, bzw. der Austausch der Inhaltsstoffe bei stationärer Sichtweise (z.B. Zu- oder Abnahme von Salz oder Sauerstoff an einer Station). Zur besseren Orientierung werden somit auch die Zustände der Wasserstandsschwankung während der Ausspiegelung genannt. Der Zeitpunkt des Strömungsbeginns an jeweiliger Position wurde mit dem Zeitpunkt der Wasserstandsreaktion auf die schrittweise Öffnung des Emssperrwerkes gleichgesetzt. Für die zwischen den Pegeln befindlichen Positionen wurde der Zeitpunkt durch eine lineare Interpolation ermittelt.

Abbildung 21 zeigt die Sauerstoffverteilung rd. 2 km oberhalb der Dockschleuse Papenburg. Die erste Messung erfolgte um 15:32 MESZ unter dem Einfluss der vorhergehenden Tideverhältnisse und der noch nicht abgeschlossenen Ausspiegelung. Die zweite Messung fand rd. 7 ½ Stunden später statt (22:56 MESZ; vor Einsetzen der Strömung durch Öffnung des Emssperrwerkes) und spiegelte zudem den Einfluss des Oberwasserzuflusses aus Richtung Herbrum, die Abnahme der Schwebstoffkonzentration in der Wassersäule und die Konsolidierung der Fluid Mud- Schicht im Sohlbereich wider. Die sprunghafte Abnahme des Sauerstoffgehaltes zeigt den Übergang vom Wasser zum Fluid Mud, in dem kein gelöster Sauerstoff festzustellen war. Die Sauerstoffkonzentration in der unteren Wassersäule nahm von der ersten zur zweiten Messung deutlich zu, besonders im Sohlbereich. Der Fluid Mud- Horizont setzte sich im Beobachtungszeitraum um mindestens 1 m. Der durch die Konsolidierung des Fluid Mud im Sohlbereich freigewordene Raum wurde von sauerstoffreicherem Wasser des darüber befindlichen Wasserkörpers eingenommen. Das Tiefenprofil der Sauerstoffverteilung gibt keinen Hinweis auf eine von der Sohle ausgehende Zehrung. Die vorgenannte Charakteristik ist, je nach dem Vorhandensein weiterer Einflussfaktoren, in unterschiedlicher Ausprägung auch an den übrigen Profilen festzustellen.

In Abbildung 22 bis 30 sind die Verhältnisse von weiteren Tiefenprofilen dargestellt. Sie bestätigen die vorangegangenen Aussagen und Interpretationen zur Sauerstoffentwicklung in der Stauhaltung.

Die Fluid Mud- Schicht war oberhalb von Leerort mehrere Meter dick und kann generell vom Werftschiff durchfahren werden, da die Tiefgang begrenzende nautische Tiefe größer als die reine Wassertiefe ist. Die Passage des Werftschiffes wirbelt die Fluid Mud- Schicht auf (s. Abb. 25, 26 und 27,28; Messung rd. 1 h nach Passage) führt aber nicht zu signifikanten Sauerstoffzehrungen in der Wassersäule.

Die Daten der Messstationen zeigen generell eine gute Übereinstimmung mit den denen der Messschiffe. Bei Messungen im Übergangsbereich zwischen Wasser und Fluid Mud- Schicht kam es zu leichten Streuungen (z.B. Weener). Das Einsetzen der vollen Strömung beim Ablassvorgang erklärt die Abweichungen bei der letzten Messung an der Messstation Terborg.

4. Schlussfolgerung

Mit einem umfangreichen Messprogramm wurden die relevanten chemisch-physikalischen Parameter Wassertemperatur, Sauerstoffkonzentration, Salzgehalt und Schwebstoffkonzentration während des Staus zur Überführung des Werftschiffes CELEBRITY SILHOUETTE vom 30.06. auf den 01.07.2011 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 Wasserqualität während der gesamten Stauzeit auch räumlich in hoher Auflösung aufgenommen wurde. Die Schiffsmessungen zeigten unterein-

ander hohe Übereinstimmung aber auch im Vergleich mit den Aufzeichnungen der Messstationen war eine hohe Plausibilität der Messdaten gegeben.

Anhand der Stations- und Schiffsmessungen waren keine signifikanten Sauerstoffzehrungen im gestauten Wasserkörper der Ems festzustellen, auch nicht in dem Abschnitt oberhalb von Leerort, in dem eine dicke Fluid Mud- Schicht an der Sohle vorhanden war. Die Tiefenprofile bestätigten ebenfalls, dass vom Schwebstoffhorizont keine aufsteigende Zehrung ausgeht und der Sauerstoffgradient zwischen Fluid Mud und dem darüber stehenden Wasser sehr stark ist. Ansteigende Sauerstoffwerte unterhalb Unterems-Km 18 (Soltborg) waren auf den Zustrom des Wassers aus der unteren Stauhaltung zurück zu führen (Pumpen Emssperrwerk), der Anstieg der Sauerstoffkonzentration im Abschnitt um Leerort waren der Zuführung sauerstoffhaltigeren Wassers aus der Leda zuzuordnen (Ledaschöpfwerk) und der Anstieg des Sauerstoffgehaltes oberhalb von Papenburg dem Zufluss des Oberwassers aus Richtung Herbrum.

Die Abnahme der Sauerstoffwerte zwischen Papenburg und Weener hatte seine Ursache in der Verlagerung des Sauerstoffminimums aus dem unteren Dortmund-Ems Kanal in den betreffenden Abschnitt, möglicherweise z.T. auch in der Schiffspassage, die gerade in diesem Abschnitt durch Aufwirbelung der mehrere Meter dicken Fluid Mud- Schicht zu einem begrenzten Sauerstoffabfall führte. Es besteht kein Hinweis auf eine signifikante nachhaltige Sauerstoffzehrung durch die Schiffspassage.

Aufgestellt

gez. Post / Engels

Aurich, den 26.09.2011

Anhang: Abbildungen 21 bis 30, sowie die vergrößerten Abbildungen 3 und 4

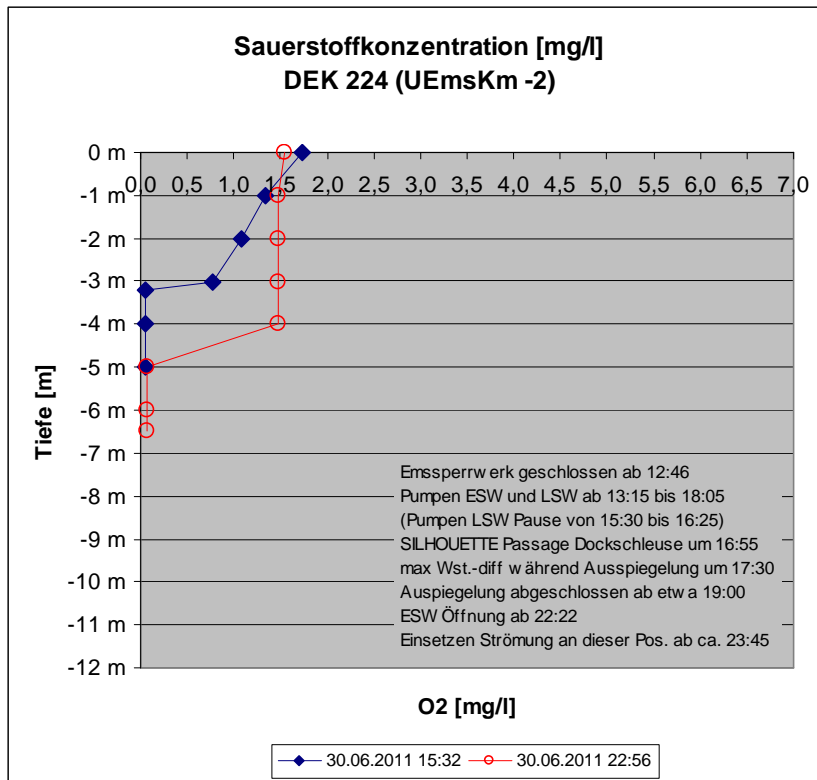


Abb. 21 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration rd. 2 km oberhalb der Dockschleuse bzw. rd. 2,4 km oberhalb der Messstation Papenburg; Zeitangaben in MESZ

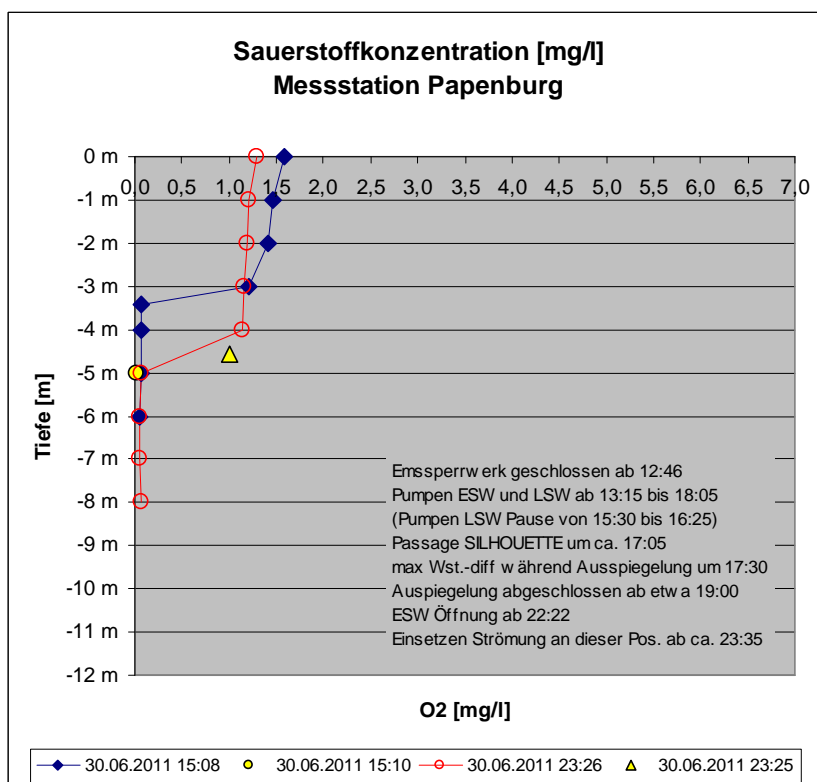


Abb. 22 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration im Bereich der Messstation Papenburg [gelb: Werte der Messstation]; Zeitangaben in MESZ

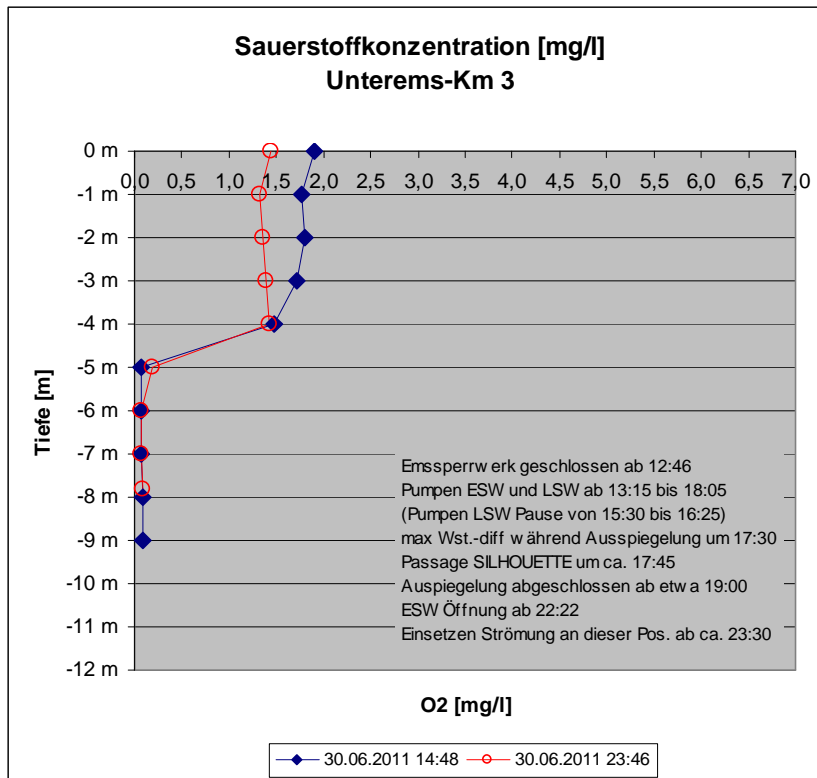


Abb. 23 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration an km 3; Zeitangaben in MESZ

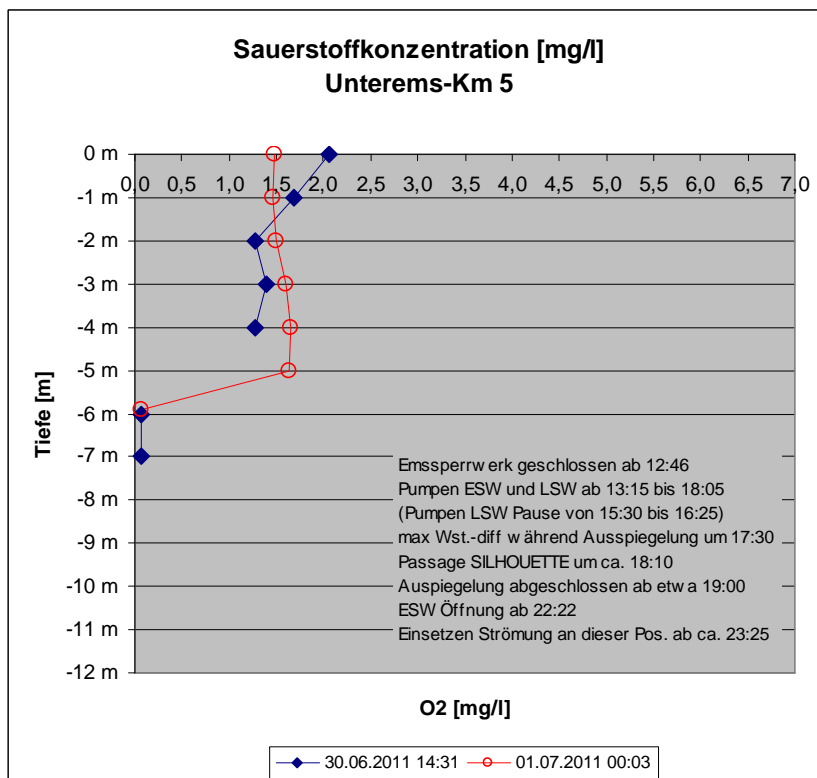


Abb. 24 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration an km 5; Zeitangaben in MESZ

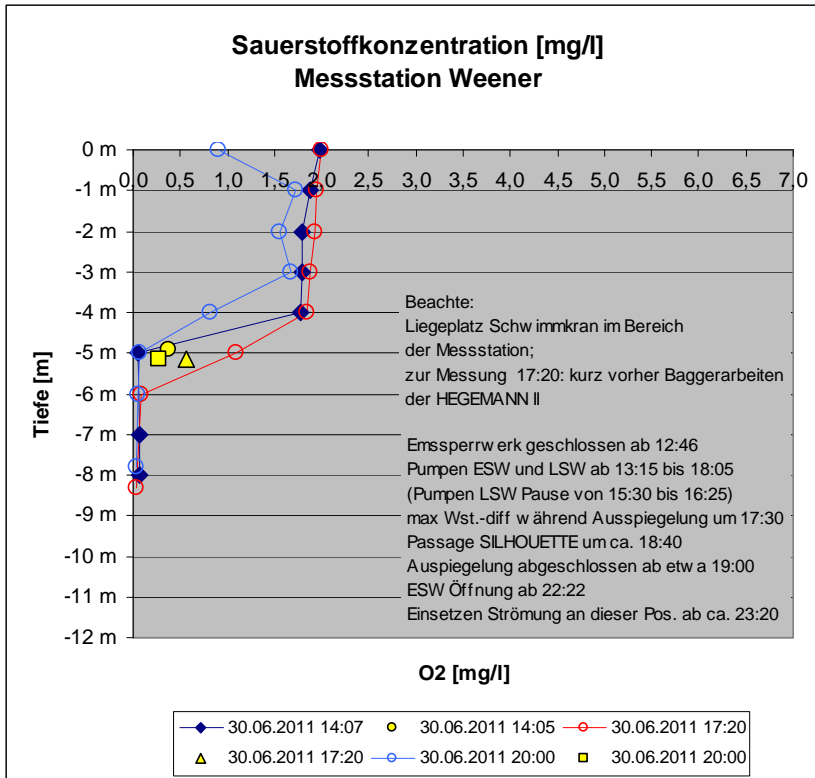


Abb. 25 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration im Bereich der Messstation Weener [gelb: Werte der Messstation]; Zeitangaben in MESZ

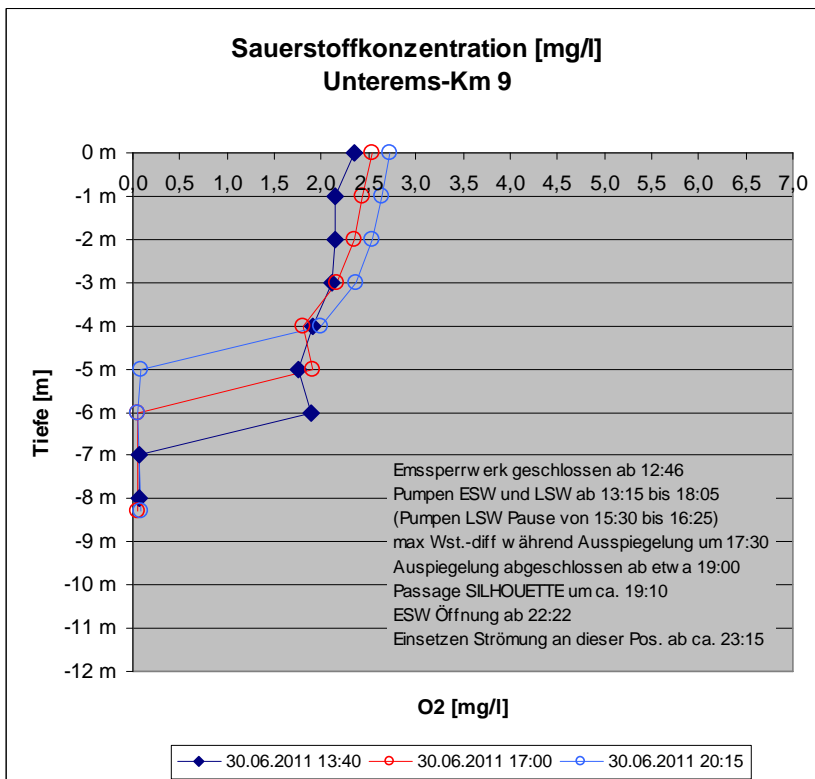


Abb. 26 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration an km 9; Zeitangaben in MESZ

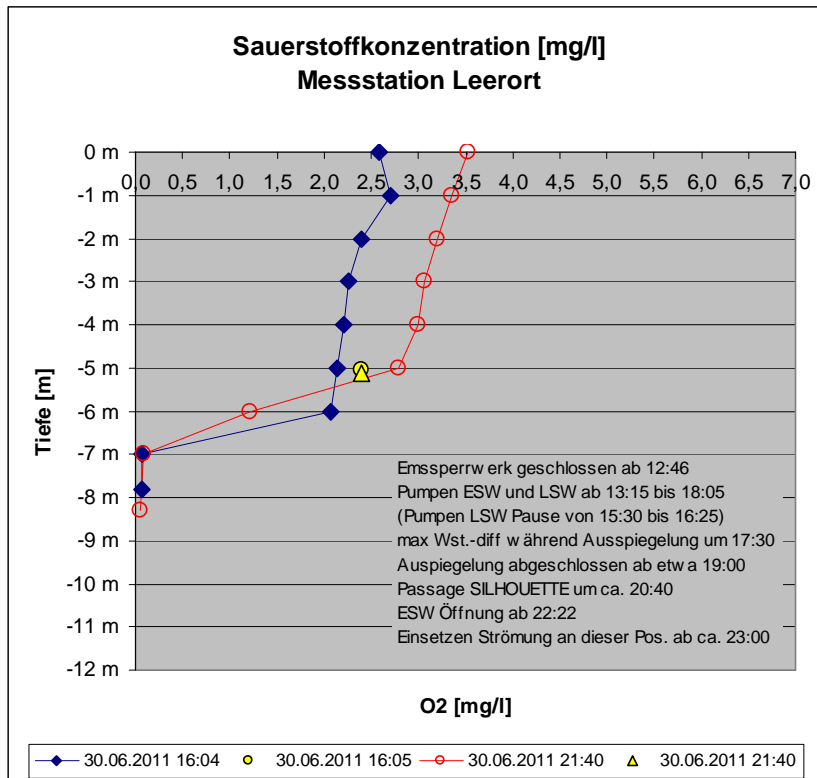


Abb. 27 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration im Bereich der Messstation Leerort [gelb: Wert der Messstation]; Zeitangaben in MESZ

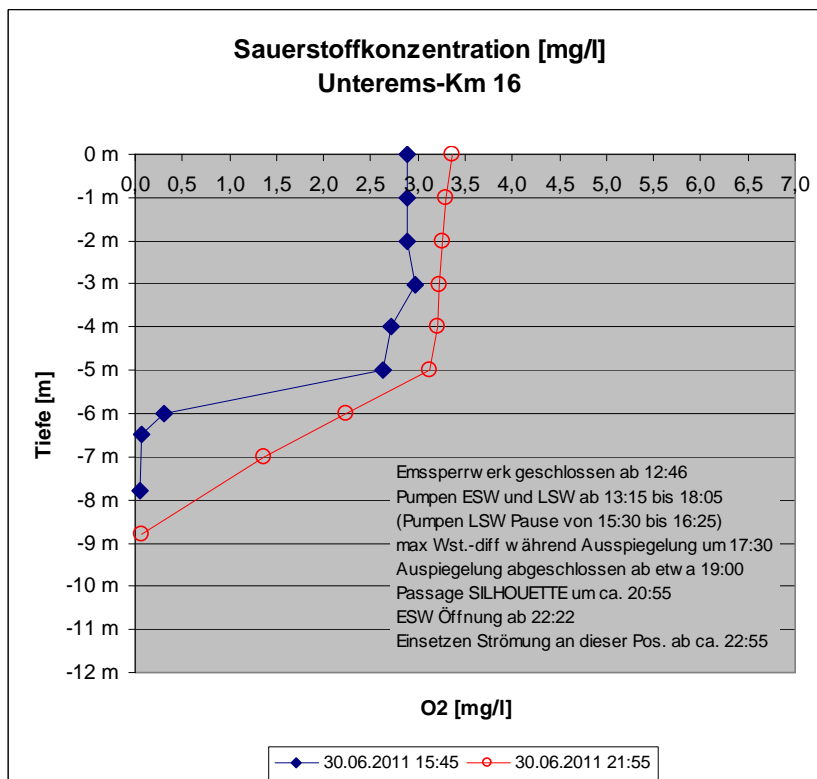


Abb. 28 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration an km 16; Zeitangaben in MESZ

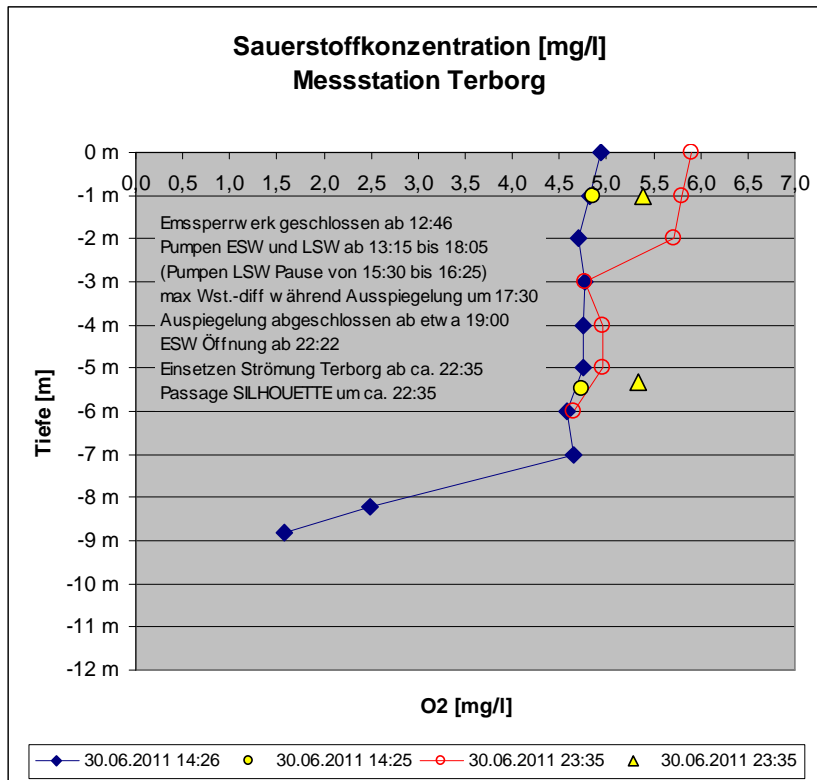


Abb. 29 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration im Bereich der Messtation Terborg [gelb: Werte der Messtation]; Zeitangaben in MESZ

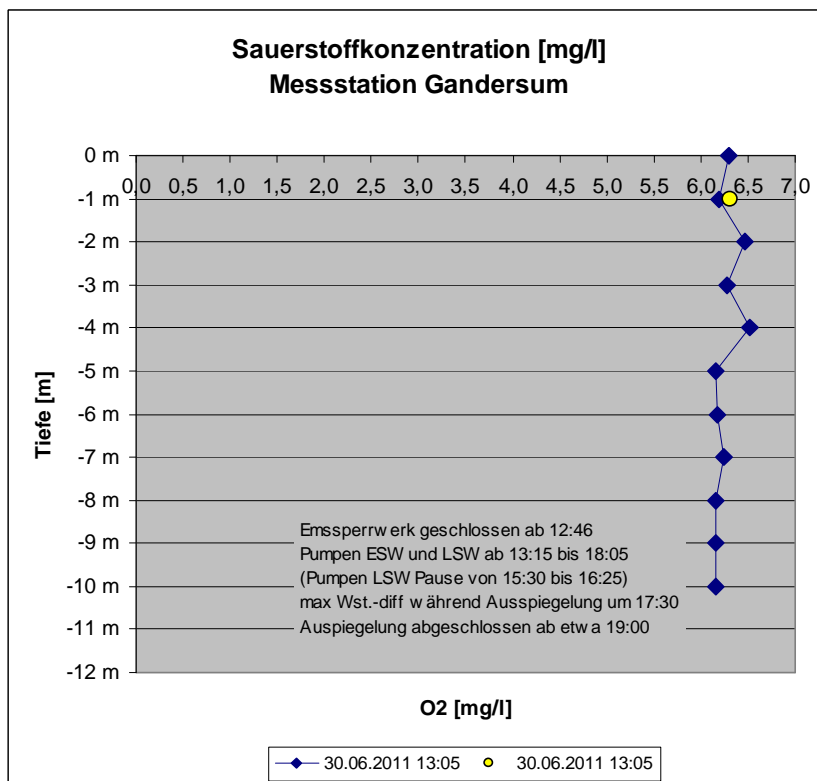


Abb. 30 Tiefenprofil der Sauerstoffkonzentration im Bereich der Messtation Gandersum [gelb: Wert der Messtation]; Zeitangaben in MESZ

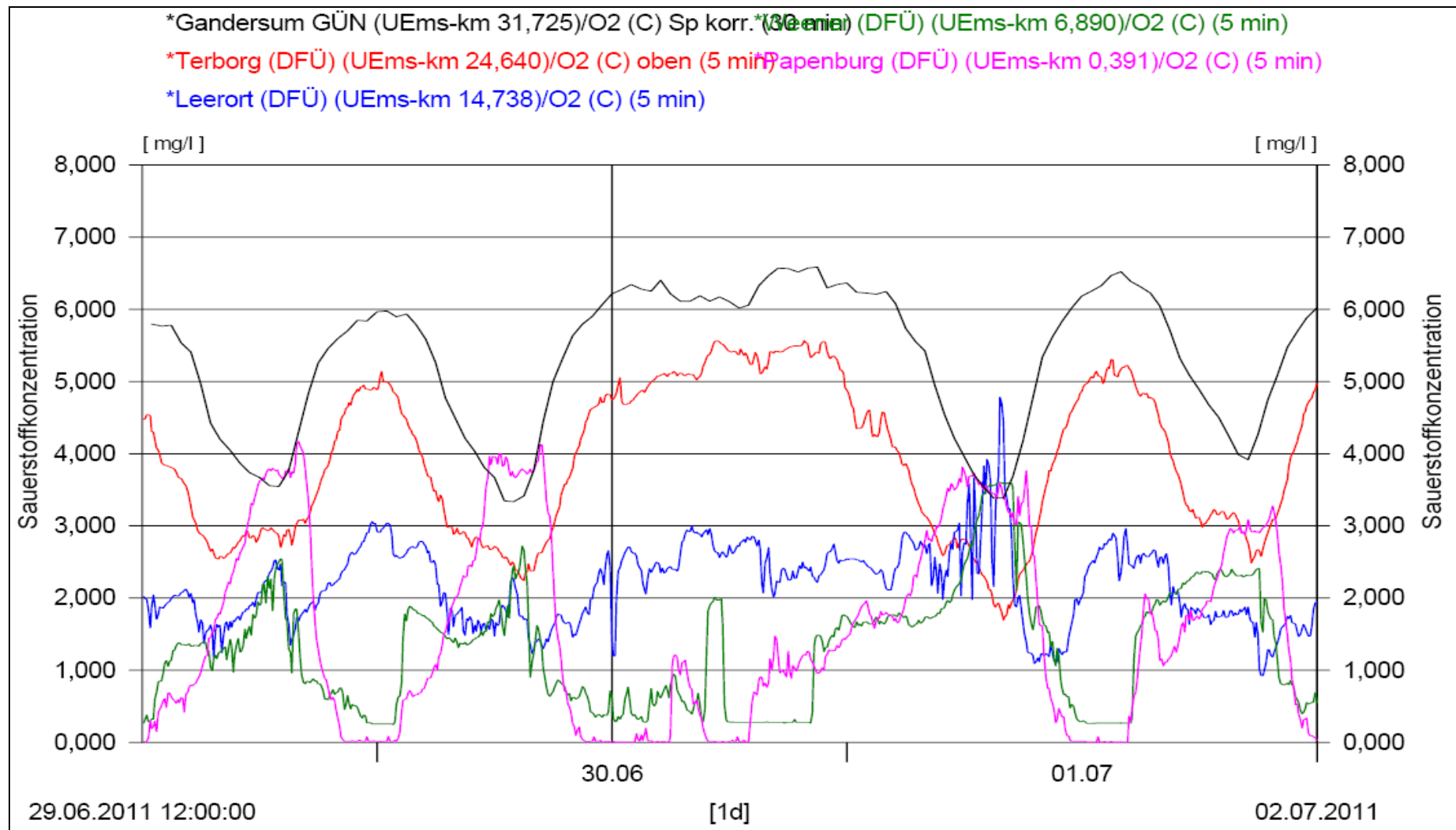


Abb. 3 Sauerstoffkonzentration vom 29.06. bis zum 01.07.11 im Bereich der Stauhaltung von Gandersum (schwarz) bis Papenburg (pink) (Zeitangaben in MEZ); siehe auch Textteil

NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

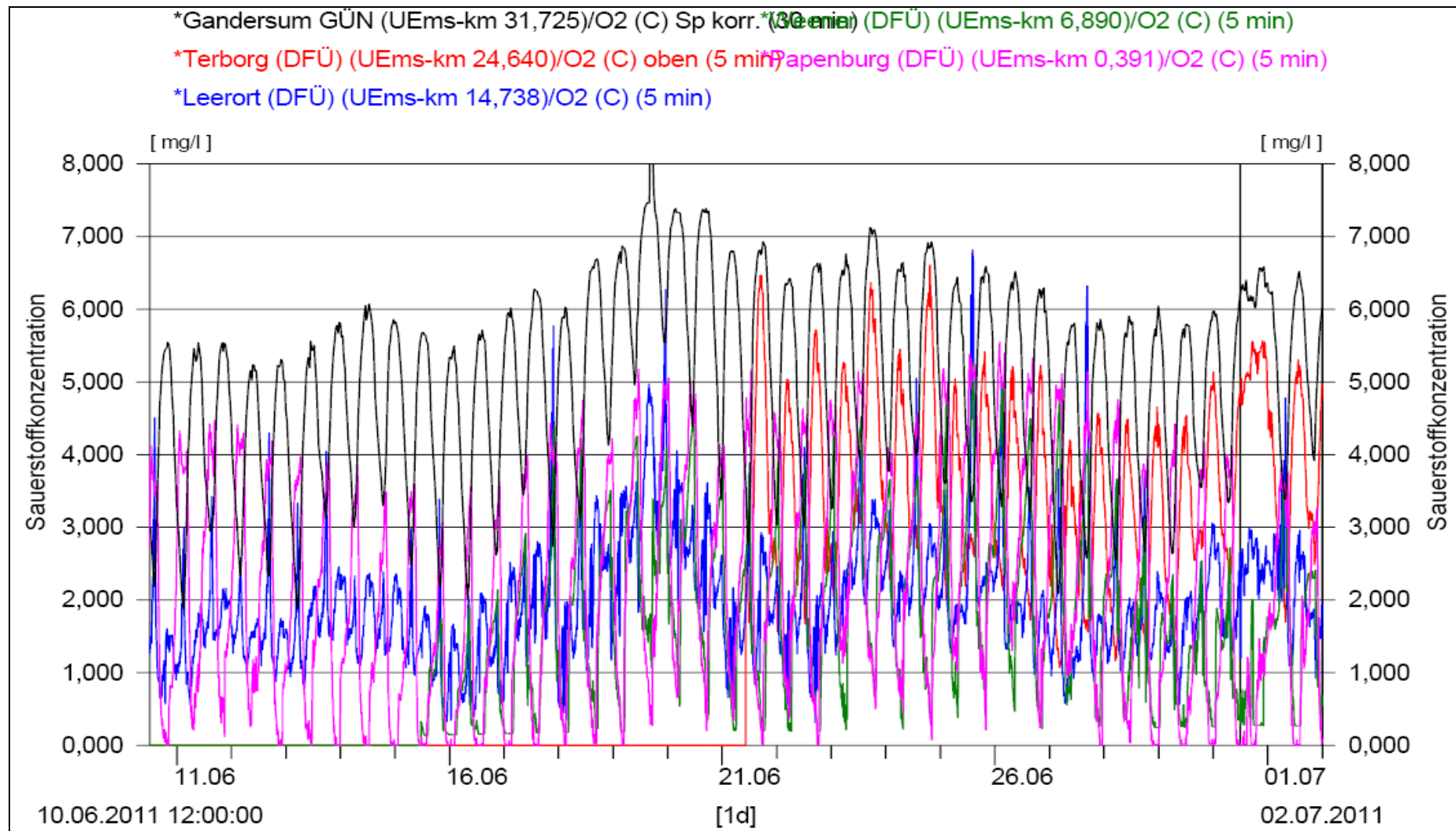


Abb. 4 Entwicklung der Sauerstoffkonzentration vom 10.06. bis zum 01.07.11 von Gandersum bis Papenburg (Zeitangaben in MEZ); siehe auch Textteil

NLWKN Aurich Stau zur Überführung der CELEBRITY SILHOUETTE am 30.06. / 01.07.11

