



Bachelor-Arbeit im Studiengang:

Wasserwirtschaft

**Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe**

eingereicht von:

Fabian Reihwald, Matrikel-Nummer: 20092623

Erstprüfer: Herr Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer (Hochschule Magdeburg)

Zweitprüfer: Herr Dr.-Ing. Ingo Entelmann (Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg)

07.03.2013

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Magdeburg, 07.03.2013

Reihwald, Fabian

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Danksagung

Hiermit möchte ich, meinem Erstprüfer Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer von der Hochschule Magdeburg sowie meinem Zweitprüfer Herrn Dr.-Ing. Ingo Entelmann vom Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg danken, dass sie mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Mein Dank geht außerdem an Herrn Dipl.-Ing. Zbigniew Grellus vom Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg für seine Hilfe beim Arbeiten mit Rohdaten und dessen Auswertungen.

Da ein großer Teil dieser Arbeit ohne ihre Informationen in dieser Form nicht möglich gewesen wäre, geht mein Dank auch an folgende Personen (in alphabetischer Reihenfolge):

Herrn Jasper Bornholdt (HPA), Herrn Hartmut Gohr (WSA-HH), Herrn Dr. Peter Golombek, Herrn Gerd Henschel (WSA-HH), Herrn Christian Maushake (BAW), Frau Mamat Qrefa-Sander (WSA-HH), Herrn Holger Weilbeer (BAW), Herrn Dr. Axel Winterscheid (BfG)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

INHALTSVERZEICHNIS

1.	<u>EINLEITUNG</u>	1
2.	<u>VERANLASSUNG</u>	3
2.1.	NUTZEN VON MESSUNGEN ZUR OPTIMIERUNG VON BAGGEREI UND GEWÄSSERVERMESSUNG	6
2.2.	MESSPROGRAMME ZUR ERFASSUNG DES SCHWEBSTOFFGEGHALTES IN DER TIDEELBE	8
2.3.	KALIBRIERUNG VON TRÜBUNGSSONDEN	10
3.	<u>AUSWERTUNG VON TRÜBUNGSMESSUNGEN IM ZEITRAUM 2006 BIS 2012</u>	15
3.1.	DARSTELLUNG LANGJÄHRIGER ZEITREIHEN UND RELEVANTER KENNWERTE	15
3.2.	DISKUSSION JAHRESZEITLICHER UND HYDROLOGISCHER EINFLUSSGRÖßEN	18
4.	<u>AUFSTELLUNG VON KALIBRIERFUNKTIONEN TRÜBUNG – SCHWEBSTOFFGEGHALT</u>	20
4.1.	BESCHREIBUNG VON SCHWEBSTOFFPROBENAHEME UND ANALYTIK	22
4.2.	VORGEHENSWEISE BEI DER AUFSTELLUNG VON KALIBRIERFUNKTIONEN	28
4.2.1.	AUSWERTUNG DER SCHWEBSTOFFMESSUNG BEI D1	31
4.2.1.1.	Gesamtübersicht der Messung vom 10.11.2011 (D1-Werte)	31
4.2.1.2.	Kalibrierfunktionen vom 10.11.2011	32
4.2.1.3.	Gesamtübersicht der Messung vom 04.05.2012 (D1-Werte)	35
4.2.1.4.	Kalibrierfunktionen vom 04.05.2012	36
4.2.1.5.	Gesamtübersicht der Messung vom 13.06.2012 (D1-Werte)	38
4.2.1.6.	Kalibrierfunktionen vom 13.06.2012	39
4.2.1.7.	Zusammenstellung der Messwerte vom 10.11.2011, 04.05.2012 und 13.06.2012	41
4.2.2.	AUSWERTUNG DER SCHWEBSTOFFMESSUNG BEI D4	44
4.2.2.1.	Gesamtübersicht der Messung vom 13.06.2012 (D4-Werte)	44
4.2.2.2.	Kalibrierfunktionen vom 13.06.2012	45
4.2.2.3.	Gesamtübersicht der Messung vom 24.10.2012 (D4-Werte)	47
4.2.2.4.	Kalibrierfunktionen vom 24.10.2012	48
4.2.2.5.	Zusammenstellung der Messwerte vom 13.06.2011 und 24.10.2012	50
4.2.3.	KALIBRIERFUNKTIONEN D1 UND D4	52
4.2.4.	MESSTATION LZ1	55
4.2.5.	ERGEBNISZUSAMMENSTELLUNG UND VERGLEICH	58

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

5.	<u>ZEITREIHEN ZUM SCHWEBSTOFFGEHALT FÜR DEM ZEITRAUM 2006 BIS 2012</u>	<u>62</u>
5.1.	AUSWERTUNG DER AUFGESTELLTEN ZEITREIHEN	71
5.2.	DATENERFASSUNG: PUNKTUELL – GESAMTES QUERPROFIL	72
6.	<u>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</u>	<u>74</u>
7.	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>76</u>
8.	<u>ANHANG</u>	<u>79</u>

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

ABBILDUNG 1: ALLE SCHWEBSTOFF-LÄNGSPROFILE DER TIDEELBE – 1979-2003, QUELLE: M. BERGEMANN, 2004	3
ABBILDUNG 2: ENTWICKLUNG DER BAGGERMENGEN IM HAMBURGER HAFEN 1990 - 2005 (KAPPENBERG, 08/2007)	5
ABBILDUNG 3: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER AM TRANSPORT UND DER UMLAGERUNG VON SCHWEBSTOFFEN BETEILIGTEN PROZESSE [HILLEBRAND 2008]	6
ABBILDUNG 4: BAGGERMENGEN IN DEN WSV-BAGGERABSCHNITTEN WEDEL (ELBE-KM 639,0 – 644,0) UND OSTERIFF (698,5 – 709,9) IN ABHÄNGIGKEIT VOM OBERWASSER, ZEITRAUM 11/01 BIS 09/07.....	7
ABBILDUNG 5: VERTEILUNG DER SEAGUARD-MESSGERÄTE, UNTEN LINKS: SEAGUARD RCM SW, QUELLE: WWW.AADI.NO	9
ABBILDUNG 6: TRÜBUNGSSONDE QUELLE: WWW.AADI.NO	10
ABBILDUNG 7: PROBEN MIT 5, 50 UND 500 NTU, QUELLE WIKIPEDIA	10
ABBILDUNG 8: SCHWEBSTOFFFLOCKEN IN DER TIDEELBE (AUFNAHME W. PULS AUS GKSS, 2007)	12
ABBILDUNG 9: VERGLEICHSMESSUNG VON TRÜBUNGSSONDEN	13
ABBILDUNG 10: FUNKTIONEN DER TRÜBUNGSWERTE VOM SEAGUARD-MODELL 544	14
ABBILDUNG 11: TRÜBUNGSWERTE VON 04.2005 BIS 11.2012	16
ABBILDUNG 12: D1/D1+ TRÜBUNGSWERTE ÜBER 28 TIDEN VON 04.2005 BIS 11.2012	17
ABBILDUNG 13: D4/D4+ TRÜBUNGSWERTE ÜBER 28 TIDEN VON 12.2006 BIS 11.2012	17
ABBILDUNG 14: DIE TIDEELBE MIT DAUERMESSSTATION D1, D4 UND LZ1	21
ABBILDUNG 15: GERÄTETRÄGER ZUR SCHWEBSTOFFMESSUNG	22
ABBILDUNG 16: VEREINFACHTE DARSTELLUNG DER DAUERMESSSTATION D1 UND D4.....	23
ABBILDUNG 17: MESSPFAHL LZ1.....	23
ABBILDUNG 18: ABFLUSS AN JEWEILIGEN MESSTAGEN	24
ABBILDUNG 19: LABORCONTAINER IM HAMBURGER HAFEN.....	25
ABBILDUNG 20: TROCKEN UND GLÜHSCHRANK.....	27
ABBILDUNG 21: UNTERDRUCKFILTRATIONSANLAGE	27
ABBILDUNG 22: GFC-FILTER NACH DEM TROCKNEN, ALUSCHALE MIT GLASKÜGELCHEN	27
ABBILDUNG 23: EXSIKKATOR.....	27
ABBILDUNG 24: ANALYSEWAAGE	27
ABBILDUNG 25: VERGLEICH DER TRÜBUNGSSONDEN AM SEAGUARD-MODELL.....	29
ABBILDUNG 26: DARSTELLUNG DIVERSEER FUNKTIONEN IN ABHÄNGIGKEIT VON UNTERSCHIEDLICHEN KONZENTRATIONSEIGENSCHAFTEN, HILLEBRAND (2010).....	29
ABBILDUNG 27: FAKTOREN AUS ALLEN MESSUNGEN, QUELLE: MAUSHAKE, IN-SITU KALIBRIERUNG VON TRÜBUNGSSONDEN (02/2013)	30
ABBILDUNG 28: UMRECHNUNGSFAKTOREN NACH MAUSHAKE (2011) FÜR DIE WESER.....	30
ABBILDUNG 29: D1-WERTE VOM 10.11.2011 (GEWÄSSEROBERFLÄCHE)	31
ABBILDUNG 30: D1-WERTE VOM 10.11.2011 (GEWÄSSERSOHL).....	31
ABBILDUNG 31: KALIBRIERFUNKTION VOM 10.11.2011 (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE).....	32
ABBILDUNG 32: KALIBRIERFUNKTION VOM 10.11.2011 (MITTLERE WASSERSÄULE)	32
ABBILDUNG 33: KALIBRIERFUNKTION VOM 10.11.2011 (1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHL)	32
ABBILDUNG 34: KALIBRIERFUNKTION VOM 10.11.2011 FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M	33
ABBILDUNG 35: ZEITPUNKTE DER MESSWERTE	33
ABBILDUNG 36: D1-WERTE VOM 04.05.2012 (GEWÄSSEROBERFLÄCHE)	35
ABBILDUNG 37: D1-WERTE VOM 04.05.2012 (GEWÄSSERSOHL).....	35
ABBILDUNG 38: KALIBRIERFUNKTION VOM 04.05.2012 (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE)	36
ABBILDUNG 39: KALIBRIERFUNKTION VOM 04.05.2012 (MITTLERE WASSERSÄULE)	36
ABBILDUNG 40: KALIBRIERFUNKTION VOM 04.05.2012 (1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHL)	36
ABBILDUNG 41: KALIBRIERFUNKTION VOM 04.05.2012 FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M	37
ABBILDUNG 42: D1-WERTE VOM 13.06.2012 (GEWÄSSEROBERFLÄCHE).....	38

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

ABBILDUNG 43: D1-WERTE VOM 13.06.2012 (GEWÄSSERSOHLÉ)	38
ABBILDUNG 44: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE)	39
ABBILDUNG 45: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 (MITTLERE WASSERSÄULE)	39
ABBILDUNG 46: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 (1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ)	39
ABBILDUNG 47: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M.....	40
ABBILDUNG 48: ZEITPUNKTE DER MESSWERTE	40
ABBILDUNG 49: KALIBRIERFUNKTION AUS 3 MESSUNGEN (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE)	41
ABBILDUNG 50: KALIBRIERFUNKTION AUS 3 MESSUNGEN (MITTLERE WASSERSÄULE).....	41
ABBILDUNG 51: KALIBRIERFUNKTION AUS 3 MESSUNGEN (1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ)	41
ABBILDUNG 52: KALIBRIERFUNKTION AUS 3 MESSUNGEN FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M.....	42
ABBILDUNG 53: 65 WERTEPAARE VON 3 MESSTAGEN, KENTERPUNKT ± 20 MINUTEN, OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M	43
ABBILDUNG 54: D4-WERTE VOM 13.06.2012 (GEWÄSSEROBERFLÄCHE)	44
ABBILDUNG 55: D4-WERTE VOM 13.06.2012 (GEWÄSSERSOHLÉ).....	44
ABBILDUNG 56: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE)	45
ABBILDUNG 57: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 (MITTLERE WASSERSÄULE)	45
ABBILDUNG 58: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 (1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ)	45
ABBILDUNG 59: KALIBRIERFUNKTION VOM 13.06.2012 FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M.....	46
ABBILDUNG 60: MESSZEITPUNKTE D4	46
ABBILDUNG 61: D4-WERTE VOM 24.10.2012 (GEWÄSSEROBERFLÄCHE).....	47
ABBILDUNG 62: D4-WERTE VOM 24.10.2012 (GEWÄSSERSOHLÉ)	47
ABBILDUNG 63: KALIBRIERFUNKTION VOM 24.10.2012 (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE)	48
ABBILDUNG 64: KALIBRIERFUNKTION VOM 24.10.2012 (MITTLERE WASSERSÄULE)	48
ABBILDUNG 65: KALIBRIERFUNKTION VOM 24.10.2012 (1,5M ÜBER GEWÄSSERSÄULE)	48
ABBILDUNG 66: KALIBRIERFUNKTION VOM 24.10.2012 FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M.....	49
ABBILDUNG 67: MESSZEITPUNKTE	49
ABBILDUNG 68: KALIBRIERFUNKTION AUS 2 MESSUNGEN (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE)	50
ABBILDUNG 69: KALIBRIERFUNKTION AUS 2 MESSUNGEN (MITTLERE WASSERSÄULE).....	50
ABBILDUNG 70: KALIBRIERFUNKTION AUS 2 MESSUNGEN (1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ)	50
ABBILDUNG 71: KALIBRIERFUNKTION AUS 2 MESSUNGEN FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M.....	51
ABBILDUNG 72: 70 WERTEPAARE VON 2 MESSTAGEN, KENTERPUNKT ± 20 MINUTEN, OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M	51
ABBILDUNG 73: KALIBRIERFUNKTION AUS 5 MESSUNGEN (1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE)	52
ABBILDUNG 74: KALIBRIERFUNKTION AUS 5 MESSUNGEN (MITTLERE WASSERSÄULE).....	52
ABBILDUNG 75: KALIBRIERFUNKTION AUS 5 MESSUNGEN (1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ)	52
ABBILDUNG 76: KALIBRIERFUNKTION AUS 5 MESSUNGEN FÜR OW-1,5M, MWS UND SOHLE+1,5M	53
ABBILDUNG 77: BOXPLOT AUS 5 MESSUNGEN	53
ABBILDUNG 78: BEISPIEL BOXPLOT WWW.MESOSWORLD.CH	54
ABBILDUNG 79: PROZENTUALE EINTEILUNG DER 373 TRÜBUNGSWERTE	54
ABBILDUNG 80: LZ1-WERTE VOM 13.11.2012 (2,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ).....	55
ABBILDUNG 81: LZ 1 - KALIBRIERFUNKTION VOM 13.11.2012 (2,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ).....	55
ABBILDUNG 82: MESSZEITPUNKTE MESSPFAHL LZ1	56
ABBILDUNG 83: DARSTELLUNG DES ABFLUSSES AM JEWEILIGEN MESSTAG	58
ABBILDUNG 84: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON OKTOBER 2006 BIS NOVEMBER 2012, D1 / D1+ , 1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE, FLUT	63
ABBILDUNG 85: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON OKTOBER 2006 BIS NOVEMBER 2012, D1 / D1+ , 1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE, EBBE.....	64
ABBILDUNG 86: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON APRIL 2005 BIS NOVEMBER 2012, D1 / D1+ , 1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ, FLUT	65
ABBILDUNG 87: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON APRIL 2005 BIS NOVEMBER 2012, D1 / D1+ , 1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHLÉ, EBBE	66

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

ABBILDUNG 88: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON OKTOBER 2006 BIS NOVEMBER 2012, D4 / D4+ , 1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE, FLUT	67
ABBILDUNG 89: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON OKTOBER 2006 BIS NOVEMBER 2012, D4 / D4+ , 1,5M UNTER WASSEROBERFLÄCHE, EBBE	68
ABBILDUNG 90: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON OKTOBER 2006 BIS NOVEMBER 2012, D4 / D4+ , 1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHL E, FLUT	69
ABBILDUNG 91: SCHWEBSTOFFKONZENTRATION [MG/L] VON OKTOBER 2006 BIS NOVEMBER 2012, D4 / D4+ , 1,5M ÜBER GEWÄSSERSOHL E, EBBE	70
ABBILDUNG 92: PUNKTUELLE MESSUNG (OBEN) IM VERGLEICH (SPIEGELVERKEHRT) ZUR ADCP-MESSUNG (UNTEN) QUELLEN: OBEN: BFG 2012 UNTEN: AQUA VISION, JUNI 2011.....	73

TABELLENVERZEICHNIS:

TABELLE 1: ERMITTELTE WERTE, D1, 10.11.2011	59
TABELLE 2: ERMITTELTE WERTE, D1, 04.05.2012	59
TABELLE 3: ERMITTELTE WERTE, D1, 13.06.2012	60
TABELLE 4: ERMITTELTE WERTE, D4, 13.06.2012	60
TABELLE 5: ERMITTELTE WERTE, D4, 24.10.2012	61
TABELLE 6: ERMITTELTE WERTE, LZ1, 13.11.2012	61

1. Einleitung

Die Elbe, mit einer Länge von 1094 Kilometern der vierzehnlängste Fluss Europas, entspringt im Riesengebirge und mündet in die Nordsee. Von der Quelle lässt sie sich stromabwärts in vier Bereiche einteilen: Oberelbe, Mittelelbe, Unterelbe und Außenelbe. Mit dem Wasser der Elbe werden aus der Ober- und Mittelelbe fluviale Feststoffe (und mit ihnen Schadstoffe) stromab in die gezeitenbeeinflusste Unter- und Außenelbe transportiert. In der Unterelbe, deren Grenze zur Mittelelbe durch das Wehr Geesthacht als künstliche Tidegrenze gebildet wird, vermischen sich fluviale und marine Feststoffe und in ihr befindet sich eine Trübungszone mit erhöhten Schwebstoffgehalten. Zwischen dieser und der Nordsee finden über die Außenelbe komplexe Feststoffaustauschprozesse statt.

Zusätzlich zum Wasserhaushalt der Elbe ist in den letzten Jahrzehnten, insbesondere aufgrund der Schadstoffproblematik im Einzugsgebiet, der Feststoffhaushalt immer stärker in den Fokus von Politik und Wissenschaft gerückt. In diesem Zuge wurden und werden von verschiedensten Institutionen u.a. verstärkt Monitoringprogramme zur quantitativen und/oder qualitativen Erfassung des Schwebstoffhaushaltes aufgebaut. Thema der vorliegenden Arbeit sind in diesem Kontext stehende Dauermessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zur (indirekten) Erfassung quantitativer Schwebstoffgehalte in der Unterelbe, speziell im Bereich der Trübungszone.

Für die WSV sind diese Dauermessungen ein wichtiger Baustein zur Optimierung ihrer Unterhaltungsaufgaben. Hierbei geht es zum einen um die Erfüllung umwelt- und naturschutzrechtlicher Anforderungen – u.a. vor dem Hintergrund der vorgenannten Schadstoffproblematik, zum anderen aber zunächst unmittelbar um die wirtschaftliche Optimierung von Vermessung- und Baggerarbeiten:

Die WSV ist stromab des Hamburger Hafens für die Unterhaltung der Tideelbe als Wasserstraße zuständig. Sie hat sicherzustellen, dass die Fahrrinne von Elbe-km 638,9 bei Wedel bis in die Nordsee für Schiffe mit einem Tiefgang bis 12,5 m ständig und Schiffe bis 13,5 m tideabhängig schiffbar ist.

Um dies zu gewährleisten, muss die Gewässersohle regelmäßig vermessen und bei auftretenden Mindertiefen von neuen Sedimentablagerungen befreit werden. Dies erfolgt durch Baggerungen mit Hopper-Baggern, die Sediment von der Gewässersohle „aufsaugen“ und mittels Wasserinjektionen (WI)-Baggern, die mit Hilfe von Düsen das störende Sediment aufwirbeln und neu an der Sohle verteilen. Zur wirtschaftlichen Optimierung von Vermessungs- und Baggerarbeiten sind die vorhandenen Kenntnisse zu den Bildungsprozessen von Mindertiefen fortlaufend zu verbessern. Zu unterscheiden ist dabei

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

zwischen sandig geprägten Einzeluntiefen und flächigen Sedimentationen feinerer Sedimente. Letztere stehen in direktem Zusammenhang mit dem Feinmaterial- bzw. Schwebstoffhaushalt, zu dessen besseren Verständnis die genannten Dauermessungen beitragen sollen.

Ein wesentliches Ziel dieser Messungen ist die Erstellung von kontinuierlichen Zeitreihen zum Schwebstoffgehalt an spezifischen Messpositionen. Ein Erhalt derartiger Zeitreihen ist aber nur mit Hilfe indirekter optischer oder akustischer Messverfahren möglich; seitens der WSV wurde in der Tideelbe die Trübungsmessung als indirektes Verfahren gewählt. **Die vorliegende Arbeit soll im Kern einen Beitrag dazu leisten, einen pragmatischen Lösungsansatz für die Umrechnung von ab 2006 erfassten Trübungs-Zeitreihen in Schwebstoffgehalt-Zeitreihen zu finden.**

Nachfolgend werden in **Kapitel 2** zunächst kurz Hintergründe zur Veranlassung der WSV, das Dauermessprogramm einzurichten, etwas ausführlicher erläutert. Das im Rahmen dieser Arbeit interessierende Messnetz wird näher beschrieben und es werden ergänzende Hinweise auf weitere Schwebstoff-Messprogramme in der Tideelbe gegeben. Außerdem werden erste grundlegende Zusammenhänge zwischen dem an den Dauermessstationen direkt gemessenen Parameter Trübung und dem indirekt zu bestimmenden Parameter Schwebstoffgehalt gegeben.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit den für den Zeitraum 2006 – 2012 vorliegenden, für die Arbeit interessierenden Trübungs-Zeitreihen. Betrachtet werden hier vorrangig die WSV-Dauermessstationen D1 und D4 im Zuständigkeitsbereich des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Hamburg.

Kapitel 4 bildet den Kern der Arbeit. Hier werden zunächst ausführlich Ansatz, Messgeräte sowie Analyseverfahren beschrieben, die seitens der WSV mit dem Ziel zum Einsatz kommen, die vorhandenen Trübungs-Zeitreihen in Schwebstoffgehalt-Zeitreihen umzurechnen. Im Rahmen dieser Arbeit aufgestellte „Kalibrierfunktionen Trübung - Schwebstoffgehalt“ werden erläutert und kritisch diskutiert.

Schließlich werden zum Abschluss der Arbeit in **Kapitel 5** die in Kapitel 3 vorgestellten Trübungs-Zeitreihen für D1 und D4 in Schwebstoffgehalt-Zeitreihen umgerechnet. Unsicherheiten in der Umrechnung werden nochmals beschrieben.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung, einem Ausblick (**Kapitel 6**) und dem Literaturverzeichnis (**Kapitel 7**).

2. Veranlassung

Die Tideelbe verbindet als Seeschiffahrtstraße mit ca. 120 km Schiffahrtsrinnenlänge die Nordsee und den größten deutschen Seehafen Hamburg. Gleichzeitig ist sie ein Umweltsystem mit vielen ausgedehnten Wattflächen, sowie mit einer Vielzahl von Nebenarmen, Einmündungen, Sänden und Inseln, welches durch komplexe hydro- und morphologische Wechselwirkungen beeinflusst wird. In DIE KÜSTE (2007) wird der Elbabschnitt von Hamburg bis zur Mündung durch MAUSHAKE in drei Bereiche eingeteilt:

- die marin geprägte Außenelbe
- die Unterelbe mit dem Hafengebiete: limnisch geprägt
- und eine Trübungszone mit Trübungsmaximum (estuarine turbidity maximum = ETM) im Bereich der Elbinsel „Rhinplatte“

Im Bereich der Trübungszone sind die Schwebstoffgehalte nach BERGEMANN (2004) „zwischen dem Hamburger Hafenausgang (km 628) und der Insel Scharhörn (km 745) [...] deutlich höher als in dem oberhalb gelegenen limnischen Bereich und dem marinen Nordseebereich“. In Abbildung 1 ist die Trübungszone, basierend auf langjährigen oberflächennahen Schwebstoffprobenahmen, grafisch dargestellt. Die ständige Verschiebung der Zone ist abhängig vom Oberwasser, wobei nach BERGEMANN in Phasen mit geringem Oberwasserabfluss das Schwebstoffinventar deutlich anwächst. Bei einem Hochwasserereignis verdriftet ein Teil des Schwebstoffes in Richtung Nordsee.

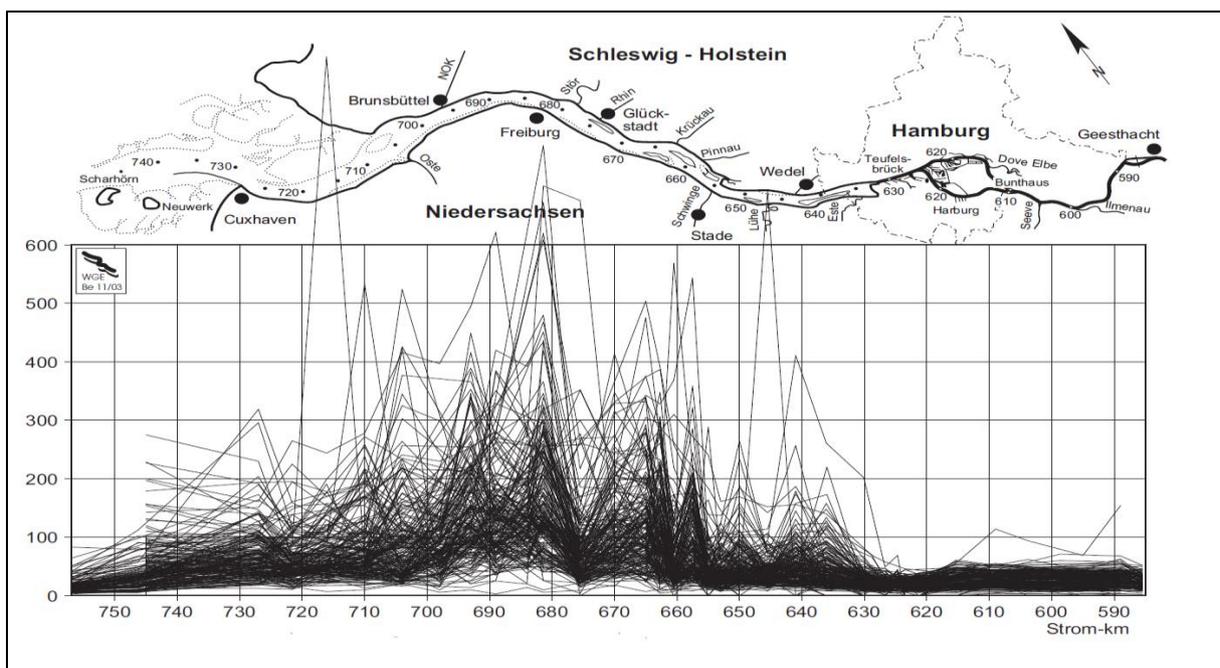


Abbildung 1: Alle Schwebstoff-Längsprofile der Tideelbe – 1979-2003, Quelle: M. Bergemann, 2004

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Die Größenordnung, des in der Trübungszone in ständiger Bewegung befindlichen Schwebstoffinventars, lässt sich anhand von Ergebnissen aus ADCP-Schwebstoffmessungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) verdeutlichen. So werden beispielsweise im Bereich der Rhinplatte (Elbe km 677) während einer Tide zwischen 90.000 bis 140.000 t Feststoff in Suspension bewegt (WEILBEER, 11/2011).

Für die mit Unterhaltungsaufgaben in der Tideelbe betraute WSV sowie die Hamburg Port Authority (HPA) ist von Bedeutung, dass Schwebstoffe in Teilbereichen des Flusses resultierend stromauf gerichtet transportiert werden. Nach LANG (1990) und SPINGAT (1997) sind hierfür u.a. folgende zwei Mechanismen von Bedeutung: „:

- Bei der Kenterung des Ebbstromes schiebt sich mit der ersten Flut an der Sohle im Fahrwasser eine „Meerwasserzunge“ unter das Süßwasser. Absinkende Feststoffe gelangen in diesem Bereich in das salzhaltigere Wasser mit höherer Dichte. Die Sinkgeschwindigkeit nimmt wegen des Dichteanstiegs deutlich ab und die Feststoffe werden bodennah weiter stromauf transportiert, als bei Ebbe wieder stromab. Dieser Mechanismus wirkt [in der Tideelbe] ungefähr im Bereich zwischen Cuxhaven und Brunsbüttel.
- In den ausgebauten, tidebeeinflussten Unterläufen der Ströme ist eine mit dem Ausbau der Flüsse zunehmende Asymmetrie zwischen Flut- und Ebbstrom zu beobachten. Mit der ersten Flut werden Spitzengeschwindigkeiten der Strömung beobachtet, die während der Ebbphase nicht erreicht werden. Diese Asymmetrie nimmt [in der Tideelbe] stromauf in Richtung Hamburg zu. Wenn während der Flutphase mehr Feststoffe, die während der Kenterzeit sedimentiert sind, erodiert und transportiert werden, als während der Ebbphase, dann ist der Transport der Feststoffe insgesamt stromauf gerichtet. Dieses Phänomen ist als „tidal pumping“ bekannt. Dieser Mechanismus wirkt zwischen Hamburg und Cuxhaven und ist allein für den Anstieg der Schwebstoffe oberhalb der Brackwasserzone zuständig.“

Aus diversen (Modell-) Untersuchungen der BAW und auf Grundlage gewässerkundlicher Messprogramme kann nach ENTELMANN und GÄTJE (2012) belegt werden, dass „für feinsandiges und schluffiges Material vor allem stromauf des Störbogens [von] erheblichen residualen Transportarten in Richtung Hamburger Hafen auszugehen ist (tidal pumping).“ Weiterhin halten sie fest, dass „aufgrund der Entwicklung in Nebenelben und Nebenflüssen (Aufsedimentationsprozesse, „Verschlückung“), des Anstiegs von Feinmaterialbaggerungen im Bereich des Hamburger Hafens sowie der Verschiebung von WSV-Baggerschwerpunkten für Feinmaterial nach weiter stromauf [...] von einer Aufweitung der Trübungszone bzw. einer Zunahme des Schwebstoffgehaltes insbesondere an ihrem stromauf gelegenen Ende in den letzten Jahrzehnten“ auszugehen sei. Demnach kommt es zwar phasenweise bei hohen Oberwässern zu periodischen Schwebstoffausträgen in die deutsche Bucht, langfristig aber

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

zu einer sukzessiven Anreicherung fluvial und marin eingetragener Schwebstoffe bzw. zu einer Zunahme der Schwebstoffgehaltes in der Trübungszone.

Besonders dramatisch war aus Sicht der Unterhaltung die Baggermengenentwicklung im Bereich des Hamburger Hafens in den Jahren 2000 bis 2004, die in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt ist. Während dieses Zeitraums ist von wiederholt hohen Schwebstoffgehalten im Hamburger Bereich bzw. einer häufigen Verschiebung der Trübungszone nach stromauf auszugehen. Als „Extremjahr“ ist dabei das Jahr 2004 mit sehr niedrigem Oberwasser zu nennen. Die Entwicklung zwischen 2000 bis 2005 war ein Hauptanlass für HPA und WSV zur Aufstellung eines gemeinsamen „Strombau- und Sedimentmanagementkonzeptes Tideelbe“ (WSV und HPA, 2008), in dessen Mittelpunkt u.a. die Optimierung von Umlagerungsstrategien für Baggergut steht. Festgehalten wird in diesem Strombau- und Sedimentmanagementkonzept auch, dass „das Systemverständnis für die morphologischen Veränderungen und die Feststofftransportprozesse in der Tideelbe sowie im Übergang zur Nordsee [...] ständig zu verbessern“ ist. „Dafür ist u.a. ein modellbasiertes Monitoring zu entwickeln. Es stellt eine Kopplung zwischen mathematischer Modellierung und Vor-Ort-Messung dar.“

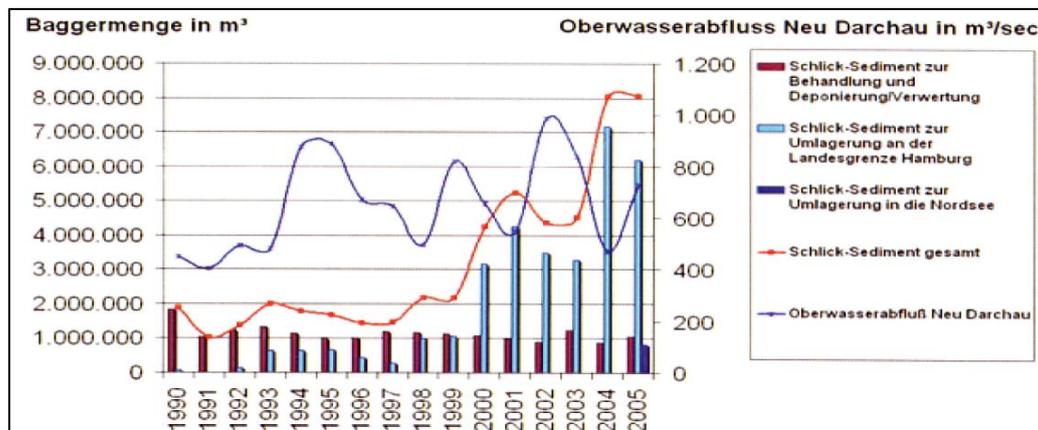


Abbildung 2: Entwicklung der Baggermengen im Hamburger Hafen 1990 - 2005 (Kappenberg, 08/2007)

Von Bedeutung bei einem „Schwebstoff-Monitoring“ als Teil eines Gesamt-Monitorings ist nicht nur der quantitative Aspekt, der im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht. Erwähnt sei an dieser Stelle, dass Schwebstoffe aus gewässerökologischer Sicht Einflüsse auf Lichtklima, Sauerstoffhaushalt und Wasserqualität haben. Aufgrund der günstigen Adsorptionseigenschaften sind sie zudem ein bevorzugter Träger von Schwermetallen und anderen Schadstoffen und wirken somit negativ in das Ökosystem ein. Daher ist für „Baggergut mit einem hohen Anteil an schwebstoffbürtigem Sediment eine gesonderte Prognose der möglichen ökologischen Auswirkungen zu erstellen, bevor dieses zur

Sicherung einer Solltiefe [...] entfernt und an eine andere Stelle im Gewässer wieder verbracht wird.“ (WINTERSCHIED et. al., 2011).

WSV und HPA müssen hier die umwelt- und naturschutzrechtlichen Rahmenbedingungen nach Wasserrahmenrichtlinie und FFH-Richtlinie (**Fauna Flora Habitat**) sowie Vorgaben aus dem OSPAR-Meeresschutzabkommen (**OSLO** und **PARIS**) einhalten.

2.1. Nutzen von Messungen zur Optimierung von Baggerei und Gewässervermessung

Nach STRÖMICH (2011) sind an der Tideelbe aus Sicht der Baggerunterhaltung „gemeinsame Messziele vor allem zwischen HPA und WSA Hamburg, unter Beteiligung des WSA Cuxhaven, abgestimmt.“ um quantitative („die Entwicklung des Schwebstoffgehaltes [...] langfristig zu erfassen“) und qualitative Daten zu erhalten.

Ziel der verschiedensten Messkampagnen ist es, eine Optimierung von Baggerei und Gewässervermessungen zu ermöglichen.

Beim quantitativen Schwebstoffgehalt sind sowohl die Variationen innerhalb einer Tide als auch jahreszeitliche bzw. oberwasserabhängige Veränderungen und langfristige Entwicklungen von Interesse. Ein Beispiel für die **Bedeutung der Variationen innerhalb einer Tide** gibt das Thema Peildatenauswertung: Grundsätzlich ergeben sich

in Fahrrinnenabschnitten, in denen Feinsedimente vorliegen, Erschwernisse in der Peildatenauswertung aufgrund „langjährige[r] Veränderungen und jahreszeitlich bedingt stark erhöhter Schwebstoffgehalte (Oberwasser, etc.)“ (ENTELMANN, 2012). Beim Absinken der Schwebstoffe kommt es zur Bildung von „mobilen Schlammschichten“ (vgl.

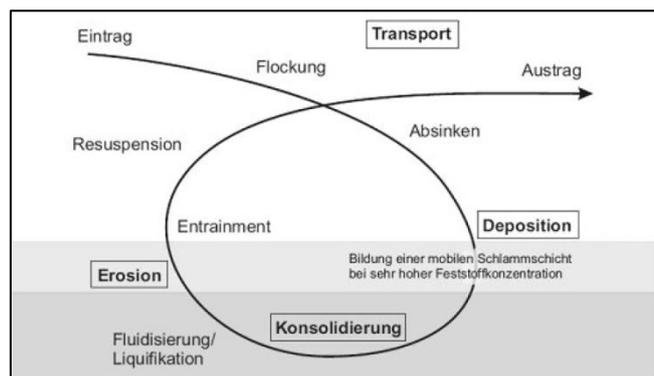


Abbildung 3: Schematische Darstellung der am Transport und der Umlagerung von Schwebstoffen beteiligten Prozesse [HILLEBRAND 2008]

nebenstehende Abbildung), die einer ständigen Erosion und Deposition unterliegen. Durch Wahl geeigneter Peilzeitpunkte im Tidezyklus, u.a. mittels Auswertung von aktuellen Strömungs- und Trübungsmessungen, können Peilzeiträume gewählt werden,

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

in denen die Schicht stärker erodiert ist und damit weniger akustische Störungen des Peilsignals auftreten.

Ein **Beispiel für interessierende oberwasserabhängige Veränderungen** gibt die nachfolgende Abbildung 4, in der die Baggermengen in den zwei bedeutendsten Feinmaterialscherpunkten „Wedel“ (WSV-Baggerabschnitt 1, Elbe-km 638,9 – 644,0) und „Osteriff“ (WSV-Baggerabschnitt 12, Elbe-km 698,5 – 709,9) innerhalb der von der WSV zu unterhaltenden Fahrrinne dargestellt ist. Deutlich wird hier, dass bei hohem Oberwasser (und entsprechend weiter stromab liegender Trübungszone mit erhöhten Schwebstoffgehalten) tendenziell geringe Baggermengen im Bereich Wedel und höhere im Bereich Osteriff anfallen. Bei geringem Oberwasser steigen hingegen die Mengen in Wedel an, hier könnte man parallel auch Messwerte mit entsprechend erhöhten Schwebstoffgehalten bei Wedel darstellen.

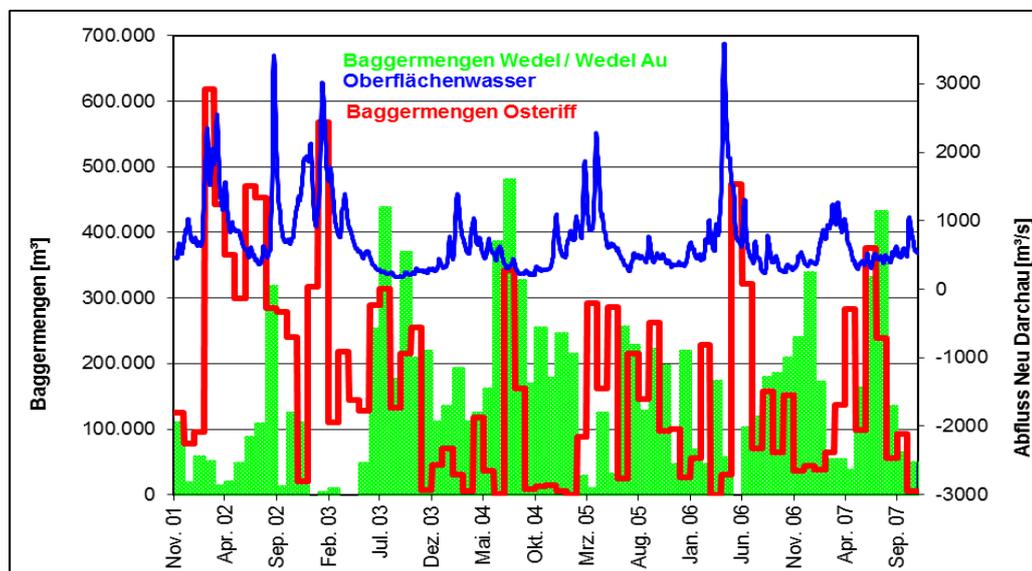


Abbildung 4: Baggermengen in den WSV-Baggerabschnitten Wedel (Elbe-km 639,0 – 644,0) und Osteriff (698,5 – 709,9) in Abhängigkeit vom Oberflächenwasser, Zeitraum 11/01 bis 09/07

Das derzeit vorhandene Systemwissen wird im Bereich Wedel mittlerweile zur Optimierung genutzt – hier wurde ein „Sedimentfang“ eingerichtet, in dem die Fahrrinne über Sollsohle gebaggert und der bevorzugt bei hohem Oberwasser in Kampagnen geräumt wird. Ziel der praktizierten Strategie ist es, (Bagger-)Kreisläufe so weit wie möglich zu minimieren. Näheres hierzu ist u.a. in ENTELMANN und GÄTJE (2012) beschrieben.

Bei den **langfristigen Entwicklungen** interessiert vor allem, wie sich die Schwebstoffgehalte in der Trübungszone über Jahre verändern und/oder verschieben. Hierzu führen ENTELMANN und GÄTJE (2012) u.a. aus: „Eine optimale

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Unterhaltungsstrategie sollte nach Möglichkeit zu einem langjährig ausgeglichenen Feinmaterialhaushalt, d.h. zu einer größtmöglichen Verringerung von Netto-Einträgen in das System beitragen. Die Zielrichtung von Baggerunterhaltung (Vermeidung von in der Zunahme von Schwebstoffgehalten begründeten Kostensteigerungen) und Naturschutz (ausgeglichener Sedimenthaushalt, Vermeidung der Zunahme von Gewässertrübungen, Verringerung von Auflandungs-/Verschlickungsprozessen) sind hier gleichgerichtet.“

2.2. Messprogramme zur Erfassung des Schwebstoffgehaltes in der Tideelbe

Für die Messung unterschiedlicher Parameter betreibt das WSA Hamburg auf der Hauptelbe derzeit folgende Dauermessstationen:

- D1 Hanskalbsand bei km 643,0 (südlich der Fahrrinne),
- D2 Juelssand bei km 651,3 (südlich der Fahrrinne),
- D3 Pagensand-Nord bei km 664,7 (südlich der Fahrrinne),
- D4 Rhinplatte-Nord bei km 676,5 (südlich bzw. westlich der Fahrrinne),
- D1 + Hanskalbsand bei km 642,9 (südlich der Fahrrinne)
- D4 + Rhinplatte-Nord bei km 676,4 (südlich bzw. westlich der Fahrrinne)

Die Stationen wurden auf älteren Profilen, auf denen bereits seit den 1960er Jahren Messungen erfolgten, errichtet. Im Dauerbetrieb wird – mit kurzen Ausfallzeiten in den Wintermonaten aufgrund Eisgangs - seit 1998/99 gemessen. Erfasst werden 5-minütige Mittelwerte von Fließgeschwindigkeit und -richtung, Leitfähigkeit, Temperatur, Trübung (seit 2006) sowie zum Teil Sauerstoffgehalt (seit 2008). Die Parameter werden im Hinblick auf mehrere Aufgabenstellungen erfasst. Wesentlichste Punkte sind hierbei die Beweissicherung zur letzten Fahrinnenanpassung sowie ein sich an dieses anschließendes Monitoringprogramm zur geplanten weiteren Fahrinnenanpassung der Tideelbe. Von besonderer Bedeutung waren und sind die Strömungs- und Leitfähigkeitsmessung. Die Nachrüstung mit Trübungssonden in 2006 erfolgte mit dem Ziel zum besseren Verständnis der Sedimenttransportprozesse in der Tideelbe beizutragen (vgl. vorherige Ausführungen). Bis 2011 wurden an den Stationen sowie weiteren im WSV-Amtsbereich Cuxhaven RCM9-Geräte der Fa. Aanderaa eingesetzt. In 2011 erfolgte eine Umstellung auf die Messplattform Seaguard (ebenfalls Fa. Aanderaa). Seit diesem Zeitpunkt kommt u.a. ein modernerer Trübungssensor (Fa. Seapoint) zum Einsatz. Vorher wurde ein Eigenbau der Fa. Aanderaa eingesetzt.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

In Abbildung 5 sind die endgültigen vorgesehenen Standorte der Seaguard-Dauermessstationen (blaue Punkte = pfahlgebundene Messstationen im Amtsbereich Cuxhaven) für die gesamte Unter- und Außenelbe dargestellt. Zusätzlich, zu den seit 1998/99 betriebenen bojen-gebundenen Messstationen D1 bis D4, sollen im Amtsbereich Hamburg in Kürze noch zwei weitere Positionen eingerichtet werden bzw. zwei weitere Stationen variierend für temporäre „doppelseitige“ Messungen über ein Profil (d.h. nördlich und südlich der Fahrrinne) eingesetzt werden. Nicht dargestellt sind die derzeit noch laufenden Messungen D1+ und D4+ (100 Meter flussaufwärts von D1 bzw. D4). Hier werden für Vergleichsmessungen (Zeitreihenanschluss alte/neue Messtechnik) noch ältere RCM9 Messgeräte betrieben, in 2013 ist eine Aufgabe der Stationen vorgesehen.

Die Messung an allen Stationen des WSA Hamburg (D1 bis D4, D1+, D4+) erfolgt auf je zwei Ebenen (1,5m über der Gewässersohle sowie 1,5m unter der mit der Tide schwankenden Wasseroberfläche). Über derzeit 14-tägige Kontrollfahrten wird die Betriebssicherheit gewährleistet. Hier erfolgt durch eine Vor-Ort-Kontrolle gegebenenfalls ein Gerätetausch sowie ein Datenspeicher- und Batteriewechsel. Ab 2013 geht das modernisierte Messsystem in den Online-Betrieb, d.h. die Daten werden per Fernübertragung gesendet. Die Häufigkeit der notwendigen Kontrollfahrten soll sich entsprechend verringern.

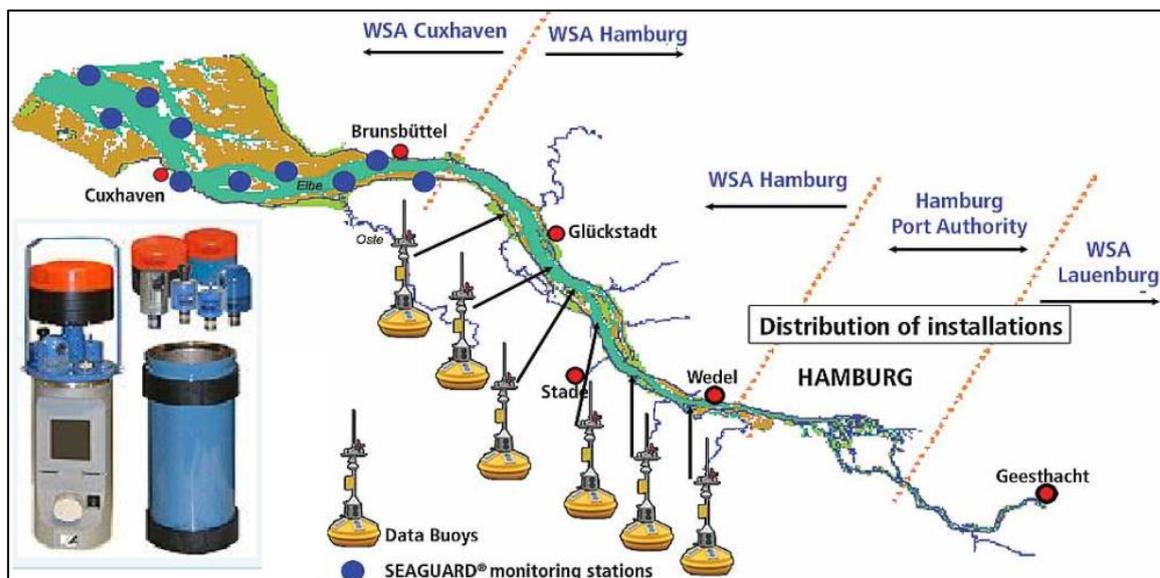


Abbildung 5:

Verteilung der Seaguard-Messgeräte, unten links: Seaguard RCM SW, Quelle: www.aadi.no

2.3. Kalibrierung von Trübungssonden

Die norwegische Firma AANDERAA® stellt seit 40 Jahren Messgeräte für den marinen Bereich her.

Wie ausgeführt, arbeitet das WSA Hamburg sowie gleichfalls das WSA Cuxhaven und die HPA (vgl. hierzu STRÖMICH, 2011) derzeit mit Aanderaa Seaguard Modellen, die teilweise über Solarpanels oder Akkus betrieben werden. Die Messgeräte befinden sich an verankerten Bojensystemen oder an festen Systemen (Messpfähle) und können durch verschieden angebrachte Sensoren unterschiedliche Parameter aufzeichnen und zukünftig direkt über Funkübertragung die aktuellen Werte an die jeweilige Behörde weiterleiten. Folgende Größen können erfasst werden:

- Fließgeschwindigkeit [m/s]
- Temperatur [°C]
- Salzgehalt [‰]
- Druck [bar]
- Leitfähigkeit [S]
- Sauerstoffgehalt [mg/l]
- pH-Wert [-]
- Trübung [NTU]



Abbildung 6:
Trübungssonde
Quelle: www.aadi.no

Für die Messung der Trübung werden auf der Seaguard-Messplattform OBS-Sonden (optical backscatter point sensor, Abbildung 6) eingesetzt, die mittels Streulichtprinzip funktionieren. Dieses Messverfahren wird nach STRÖMICH (2011) auch als Nephelometrische Messung bezeichnet und eignet sich gut bei niedrigen Trübungswerten.

Laborkalibrierung

Die Trübungssonden werden i.A. beim Hersteller nach internationalem Standard mit Formazin kalibriert. Nach CHEMOTRONICWALTEMODE GMBH entsteht durch Reaktion zwischen Hydraziniumsulfat und Hexamethylentetramin eine durchschnittliche Partikelgröße von 1,5 µm bei einer Standardabweichung von 0,6 µm.



Abbildung 7:
Proben mit 5, 50 und 500 NTU,
Quelle Wikipedia

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Die Kalibrierung in Formazin (gleichmäßige Trübung, siehe Abbildung 7) erfolgt bei den seitens der WSÄ seit 2011 eingesetzten Seapoint-Trübungssonden mit einer „Zehnpunktkalibrierung“. Über eine Funktion dritten Grades wird die Trübungssonde mit 10 Trübungswerten zwischen 1 und 1000 NTU kalibriert.

Laut LEBENSMINISTERIUM (2008) ergeben sich aus der abgeleiteten Kalibrierlösung folgende Einheiten für die Trübung:

- FAU (Formazin Attenuation Units), Anwendung bei der Durchlichtmessung
- FNU (Formazin Nephelometric Units), Streulichtmessung bei einem Winkel von 90 °
- FTU (Formazin Turbidity Units), Einheit in der Wasseraufbereitung

NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ist vor allem im US-Amerikanischen Bereich gebräuchlich und wird von WSV und HPA als Einheit für die Trübung verwendet.

Es gilt für die Kalibrierung in Formazin, dass $FAU = FNU = FTU = NTU$ ist (STRÖMICH, 2011).

Trübungssonden: Problematik - Schwebstoffe

Schwebstoffe sind Feststoffe, die durch die Turbulenz im fließenden Wasser in unterschiedlicher Konzentration über die Wassertiefe längerfristig in Schwebelage gehalten werden (HABERSACK et al. 2008). Der „Gesamtschwebstoff“ setzt sich aus anorganischen Partikeln (Mineralien der Kornfraktionen Ton, Schluff und Feinsand) und organischen Anteilen zusammen. Diese bestehen nach BfG

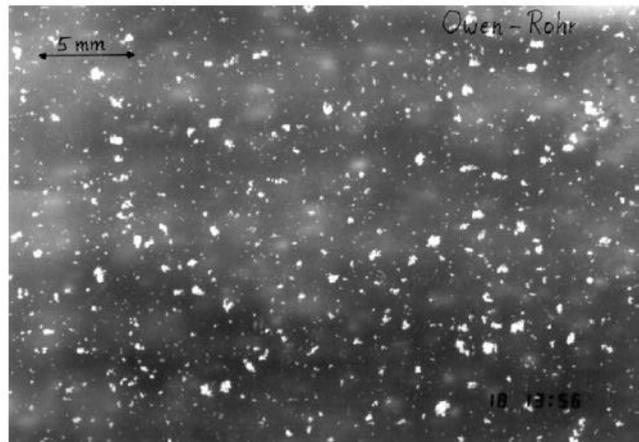


Abbildung 8: Schwebstoffflocken in der Tideelbe
(Aufnahme W. Puls aus GKSS, 2007)

(2012) „im Wesentlichen aus Phyto-, Zoo- und Bakterioplankton sowie Detritus (totes organisches Material).“

Um Sedimenttransportmengen abschätzen zu können, ist es notwendig, den gemessenen Trübungsverhältnissen in der Tideelbe Schwebstoffgehalte zuzuordnen. Anders als bei Laborbedingungen liegen keine gleichmäßig verteilten Partikelgrößen und -formen vor. Vielmehr existieren unterschiedlichste Formen und Größen von Schwebstoffflocken, wie Abbildung 8 verdeutlicht. Da die Rückstreuung des Lichtes auch von den optischen Eigenschaften des Schwebstoffes abhängt, ist keine eindeutige Umrechnung von Trübungswerten in Schwebstoffgehalte möglich, vielmehr bestehen erhebliche Schwankungsbreiten. Die Eigenschaften der Schwebstoffflocken variieren dabei stark durch verschiedenste Einflüsse (u.a. Abhängigkeit von Temperatur, Nährstoff- und Sauerstoffgehalt bzw. allgemein jahreszeitlichen und hydrologischen Einflüssen). Die unterschiedlichen Einflussfaktoren werden im weiteren Verlauf noch näher diskutiert.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, für die vom Hersteller unter Laborbedingungen kalibrierten Trübungssonden, eine näherungsweise Kalibrierfunktion „Trübung – Schwebstoffgehalt“ aufzustellen, so dass jedem Trübungswert innerhalb eines bestimmten Schwankungsbereiches ein „mittlerer Schwebstoffgehalt“ zugeordnet werden kann.

Trübungssonden im Vergleich

Bei der Messung im Gewässer kommen verschiedene Trübungssonden des gleichen Typs zum Einsatz. Dabei wird die einzelne Sonde bei Kontrollfahrten u.a. von Algenbewuchs befreit und auf Materialschäden, wie sichtbare Schrammen auf dem optischen Messfeld, untersucht. Dennoch kann es durch den dauerhaften Einsatz der Sonden zu signifikanten Abweichungen von der Herstellerkalibrierung kommen. Um einen Überblick über mögliche Veränderungen zu bekommen und um zu stark abweichende Sensoren bei Bedarf rechtzeitig auszutauschen / neu zu kalibrieren, wurden alle seitens des WSA Hamburg eingesetzten Messgeräte erstmals Anfang 2013 in den Versuchshallen der BAW Hamburg in einer Versuchsrinne überprüft (Abbildung 9). Zukünftig sind ein- bis zweijährige Wiederholungsprüfungen angedacht.



Abbildung 9: Vergleichsmessung von Trübungssonden

In einer ca. 50m langen Strömungsrinne wurden Trübungsmessungen mit allen Seaguard-Modellen mit Seapoint-Sensoren sowie anschließend mit allen RCM9-Geräten (alter Trübungssensor, Eigenbau Fa. Aanderaa) des WSA durchgeführt. Als Trübungsmittel wurde das von der BAW empfohlene Pulver „ADV SEEDING“ mit dem Wasser vermischt. Eine gleichmäßige Trübung konnte auf der gesamten durchströmten Rinne nachgewiesen werden.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Um ein annäherndes Verhältnis wie in der Tideelbe zu schaffen, wurden die Geräte in Abständen von 40 cm angebracht, so dass Verwirbelungen in der Versuchsrinne auftraten. Erstellte wurden zwei unterschiedlich starke Trübungen von 100 NTU und 300 NTU.

Als Vergleichsmessgerät entschied man sich für die Trübungssonden des Seaguardmodells 544, welche auch am Probenahmekarussell installiert sind (Abbildung 15: Geräteträger zur Schwebstoffmessung). Bei diesem Seaguardmodell 544 handelt es sich um eine spezielle Messplattform, auf der zwei Trübungs- sowie zwei Leitfähigkeitssonden installiert sind. In der nachfolgenden Abbildung 10 werden die Funktionen der beiden Seapoint-Trübungssensoren dargestellt. Die Schwingungen sind gegen 10:40 Uhr am höchsten, da hier das Trübungsmittel eingebracht wird. Durch den Wasserkreislauf in der Strömungsrinne vermischt sich das SEEDING, wie ebenfalls in der Abbildung deutlich wird. Die anfangs parallel laufenden Funktionen zeigen nach ca. einer Stunde Abweichungen von rund 20 FTU. Nach einer Reinigung der Sensoren wurde dieser Fehler behoben und trat trotz mehrständigen Trübungsmessungen und höheren NTU-Werten nicht mehr auf.

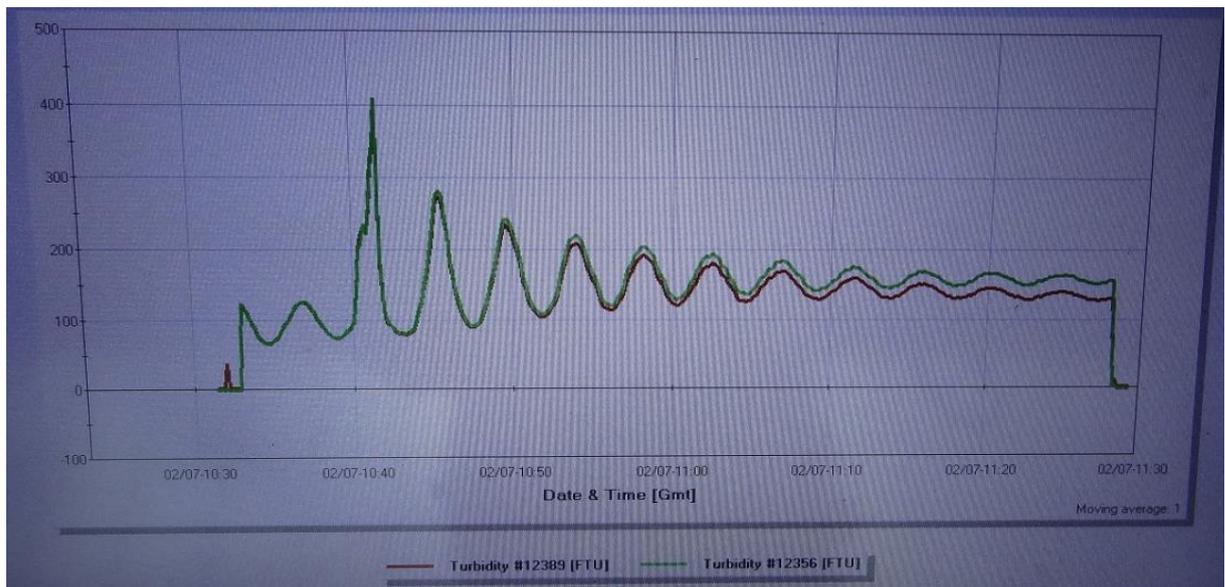


Abbildung 10: Funktionen der Trübungswerte vom Seaguard-Modell 544

Parallel zur Bearbeitung dieser Arbeit wurden die Daten der Vergleichsmessungen vom WSA Hamburg ausgewertet. Aus Zeitgründen konnten die Ergebnisse leider nicht mehr in diese Arbeit einbezogen werden.

3. Auswertung von Trübungsmessungen im Zeitraum 2006 bis 2012

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, führt das WSA Hamburg seit 2006 Trübungsmessungen auf der Hauptelbe durch. Die Zeitreihen wurden und werden kontinuierlich aufgezeichnet. Nur in den Wintermonaten wurden die Geräte vor Eisgang aus dem Wasser genommen, um diese vor möglichen Beschädigungen zu schützen und mögliche Geräteverluste zu vermeiden. Alle Werte der Dauermessstationen werden mit Hilfe der im WSA Hamburg eingesetzten Spezialsoftware SISKü (**StrömungsInformationsSystem Küste**) kontrolliert und gegebenenfalls manuell korrigiert (Plausibilisierung der Messdaten).

Im Zeitraum Ende 2010 /Anfang 2011 wurden an den WSV-Messstationen in Unterelbe (Zuständigkeitsbereich WSA Hamburg und WSA Cuxhaven) neue Messgeräte und im gleichen Zuge neue Trübungssonden installiert (vgl. Kapitel 2.2). Die technisch verbesserten Geräte mit neuen Trübungssonden lieferten ab diesem Zeitpunkt aufgrund einer höheren Geräteempfindlichkeit andere Werte als die „ältere Generation“. Die plausibilisierten Zeitreihen der Datenbanken im System SISKü sind damit nicht mehr durchgängig seit 2006 vergleichbar bzw. die Trübungszeitreihen enthalten aufgrund der Gerätemodernisierung Sprünge. U.a. um diese Problematik zu lösen, wurde seitens des WSA Hamburg in Zusammenarbeit mit der Hamburg Port Authority (HPA) das im nachfolgenden Kapitel 4 näher beschriebene Schwebstoffmessprogramm aufgelegt. Im Vorweg sollen jedoch zunächst die seit 2006 ausschließlich mittels RCM9-Geräten erfassten Trübungszeitreihen für die Stationen D1 und D4 bzw. ab 2011 D1+ und D4+ dargestellt und wesentliche Einflussgrößen auf die Trübung (als indirektem Parameter für den Schwebstoffgehalt) kurz diskutiert werden. Ausgewählt wurden hierzu die Zeitreihen für die sohnahen Messstationen.

3.1. Darstellung langjähriger Zeitreihen und relevanter Kennwerte

Für die Erstellung der Trübungs-Zeitreihen wurde auf die im WSA Hamburg gepflegten Datenbanken der Softwaresysteme WISKI (**WasserstandsInformationsSystem KIsters**) und SISKü zurückgegriffen. So konnten für die langjährigen Zeitreihen der Oberwasserabfluss am Pegel Neu Darchau und die Trübungswerte bei D1/D1+ und D4/D4+ einander gegenübergestellt werden (Abbildung 11 bis 13). Bei den

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Trübungswerten wurden in den in MS Excel erstellten Grafiken zunächst Halbtiden-Mittelwerte verwendet. Entsprechend liegt in Abbildung 11 für jede Tide ein Ebbestromwert und ein Flutstromwert vor. Des Weiteren sind in den folgenden Abbildungen (11,12 und 13), wie bereits erwähnt, ausschließlich die älteren RCM9-Trübungswerte dargestellt. Da im Februar 2011 die Sonden an D1 und D4 erneuert wurden, sind ab diesem Zeitpunkt die Trübungswerte der nahegelegenen Dauermessstationen D1+ bzw. D4+ eingefügt, an denen für Vergleichszwecke weiter mit RCM9-Sensoren gemessen wird. Weiter wurden für eine übersichtlichere Darstellung in Abbildung 12 und Abbildung 13 die Trübungswerte schließlich mit einem gleitenden Mittelwert über 28 Tiden dargestellt.

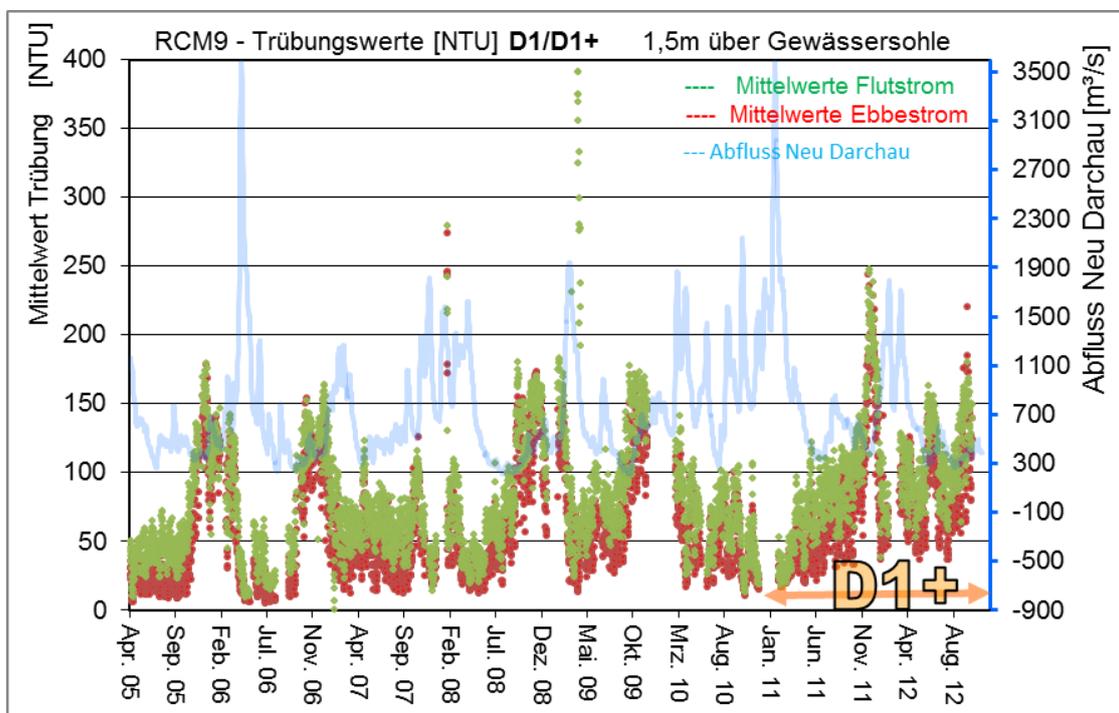


Abbildung 11: Trübungswerte von 04.2005 bis 11.2012

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

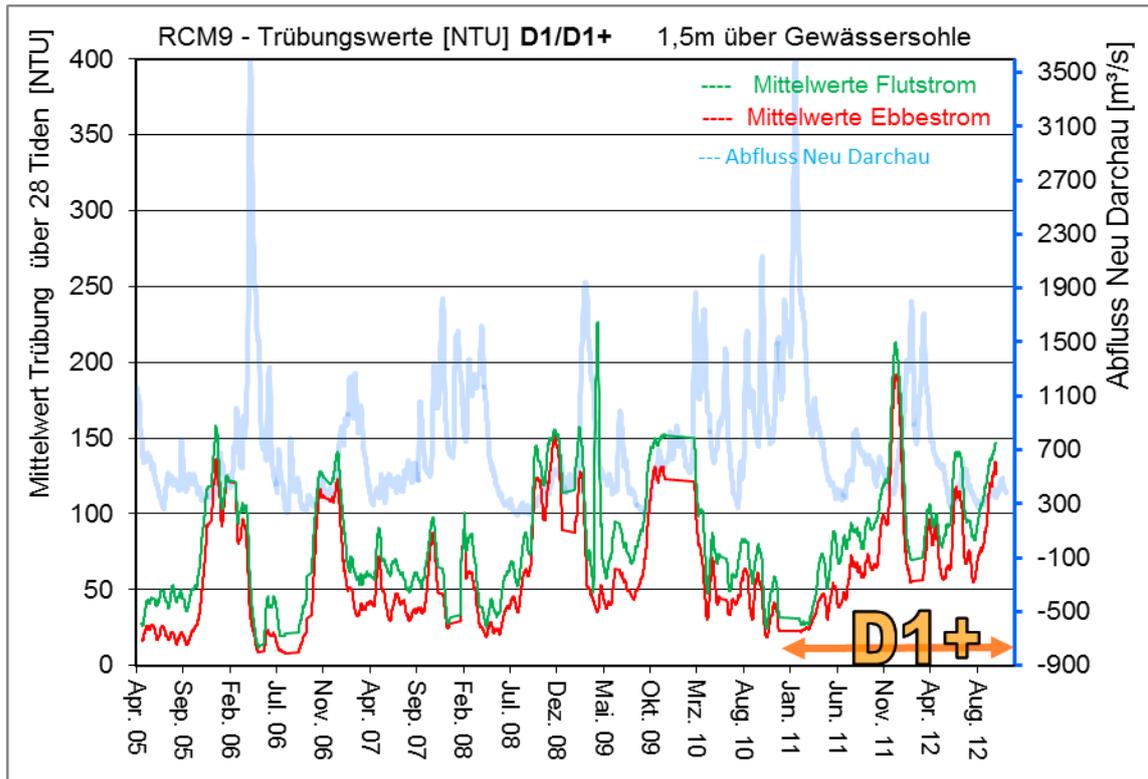


Abbildung 12: D1/D1+ Trübungswerte über 28 Tiden von 04.2005 bis 11.2012

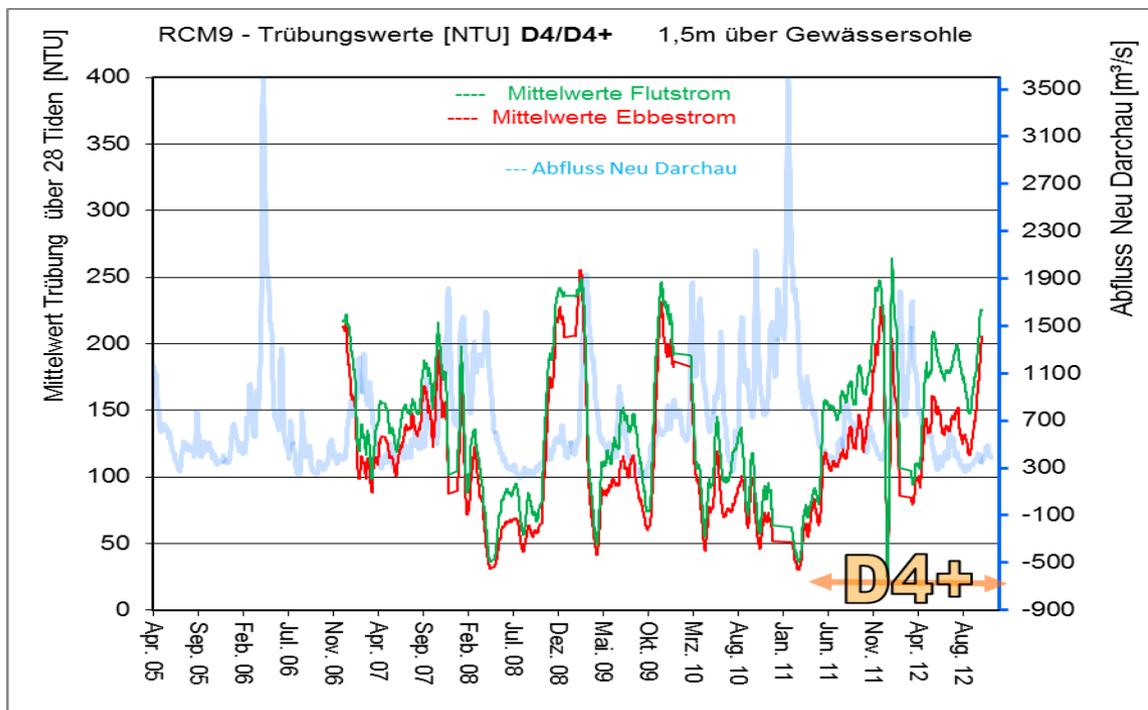


Abbildung 13: D4/D4+ Trübungswerte über 28 Tiden von 12.2006 bis 11.2012

3.2. Diskussion jahreszeitlicher und hydrologischer Einflussgrößen

Wie in den letzten beiden Abbildungen zu sehen ist, variiert die Trübung der Tideelbe sehr stark und es sind Abhängigkeiten zum Oberwasserabfluss bei Neu Darchau und der Jahreszeit zu erkennen. Der höchste Oberwasserzufluss im Zeitraum 1874 bis 2012 wurde am 09. April 2006 und am 23. Januar 2011 mit 3590 m³/s am Pegel Neu Darchau gemessen. Im Mittel beträgt der jährliche Abfluss 707 m³/s (INFORMATIONSPLOTTFORM UNDINE, 2013)

Das nach Perioden mit höheren Oberwässern niedrige NTU-Werte zu erkennen sind, passt mit der Aussage der BfG (2012) überein, nach der „der Haupteinflussfaktor auf die langfristige Schwebstoffdynamik in der Tideelbe [...] das Oberwasser“ ist. Durch einen erhöhten Abfluss verlagert sich die Trübungszone Richtung Nordsee und spült auch einen Teil an Schwebstoffen aus der Elbe ins Meer. Dies wird als seewärtige Verlagerung der Trübungs- und Brackwasserzone interpretiert (KAPPENBERG und FANGER, 2007).

Weiterhin sind in den Grafiken starke Spitzen in den Wintermonaten zu erkennen. Zu diskutieren ist, weshalb höhere Trübungen, trotz z.T. auch höheren Oberwasserabflusses, in diesen Monaten aufgezeichnet wurden. Entsprechend werden nachfolgend kurz mögliche Einflüsse von Wassertemperatur sowie Seegang und Windeffekte behandelt. Grundsätzlich festzuhalten bleibt aber vorweg, dass das Oberwasser als dominierende Einflussgröße auf die Trübung (und damit indirekt auf den Schwebstoffgehalt) zu erkennen ist.

Wassertemperatur

Die Temperatur des Wassers hat Einfluss auf die Viskosität des Wassers und ist somit ein Faktor für das Trübungsverhalten. Durch die Änderung der Dichte verändert sich das Sinkverhalten der in der Wassersäule vorhandenen Schwebstoffe. Im Allgemeinen gilt, je höher die Temperatur des Fluid, desto geringer wird dessen Dichte, und somit steigt die Sinkgeschwindigkeit der Schwebstoffe. Es muss jedoch nach BfG (2012) beachtet werden, „dass auch die im Wasser gelösten Stoffe die Viskosität und damit wiederum die Sinkgeschwindigkeiten beeinflussen.“

Hierbei ist der temperaturabhängige organische Anteil im Wasser ein entscheidender Punkt. Durch die veränderten Licht- und Nährstoffverhältnisse sowie die geringen Wassertemperaturen bilden sich im Winter kaum Algen. Bei höheren Wassertemperaturen steigt das Algenwachstum und „hat somit Auswirkungen auf den Anteil organischer Schwebstoffe im Gewässer“ (BfG, 2012). Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Schwebstoffe mit einem höheren organischen Anteil langsamer absinken.

Eine Vermutung ist, dass die erwähnten erhöhten Trübungen in den Wintermonaten darauf zurückzuführen sein könnten, dass die in dieser Jahreszeit vorhandenen Schwebstoffe aufgrund geringerer organischer Anteile deutlich schneller absinken.

Seegang und Windeffekte

Lokale Winde beeinflussen den Seegang der Außen- und Unterelbe und somit wird durch Wellen und Wasserstandsänderungen die Strömung und Trübung verändert. Enorme Veränderungen treten bei Sturmfluten auf, diese entstehen zum Beispiel bei starkem Nord-West-Wind, da das Wasser von der Nordsee in das Elbästuar hineingedrückt wird. Wehen die Winde dagegen aus östlicher Richtung, hat dies den gegenteiligen Effekt und das Wasser wird aus dem Elbeästuar hinausgedrückt, d.h. die Wasserstände sinken (SIEFERT, 1994).

Denkbar ist, dass in den Wintermonaten während der Sturmflutsaison verstärkt sandiges Material mit geringem Organikanteil stromauf transportiert oder auch in nahen Bereich erodiert wird, und dass dies mit zu den diskutierten Trübungsspitzen beiträgt.

4. Aufstellung von Kalibrierfunktionen Trübung – Schwebstoffgehalt

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, erste Kalibrierfunktionen Trübung – Schwebstoffgehalt für die seit 2011 an den WSV-Dauermessstationen eingesetzten Trübungssonden zu ermitteln. Nach allgemeiner Vorstellung sollte es ganz einfach sein, die Konzentration der Schwebstoffe in der Wassersäule zu bestimmen, da ja die Trübungssonden im Labor kalibriert sind. Eine entsprechende Kalibrierfunktion sollte es ermöglichen, Trübungswerte [NTU] in Schwebstoffgehalte [mg/l] umzurechnen. In Kapitel 2.3 wurde aber bereits diskutiert, dass der Schwebstoff in einem Tidegewässer sich nicht „laborgerecht verhält“. Die „Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Tideelbe [unterliegt] in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen starken Schwankungen“, und eine „Kalibrierung der Sonden vorab oder eine ereignisunabhängige Kalibrierung [ist] [...] nicht möglich“ (BfG, 2012). „Sie müssen durch Proben kalibriert werden und sind von den optischen Eigenschaften des lokalen Schwebstoffs abhängig“ (J. KAPPENBERG, 2007).

Das von der HPA vor diesem Hintergrund entwickelte Probenahmekarussell, welches in Abschnitt 4.1 näher beschrieben wird, wurde vom WSA Hamburg erstmals in 2011 getestet.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

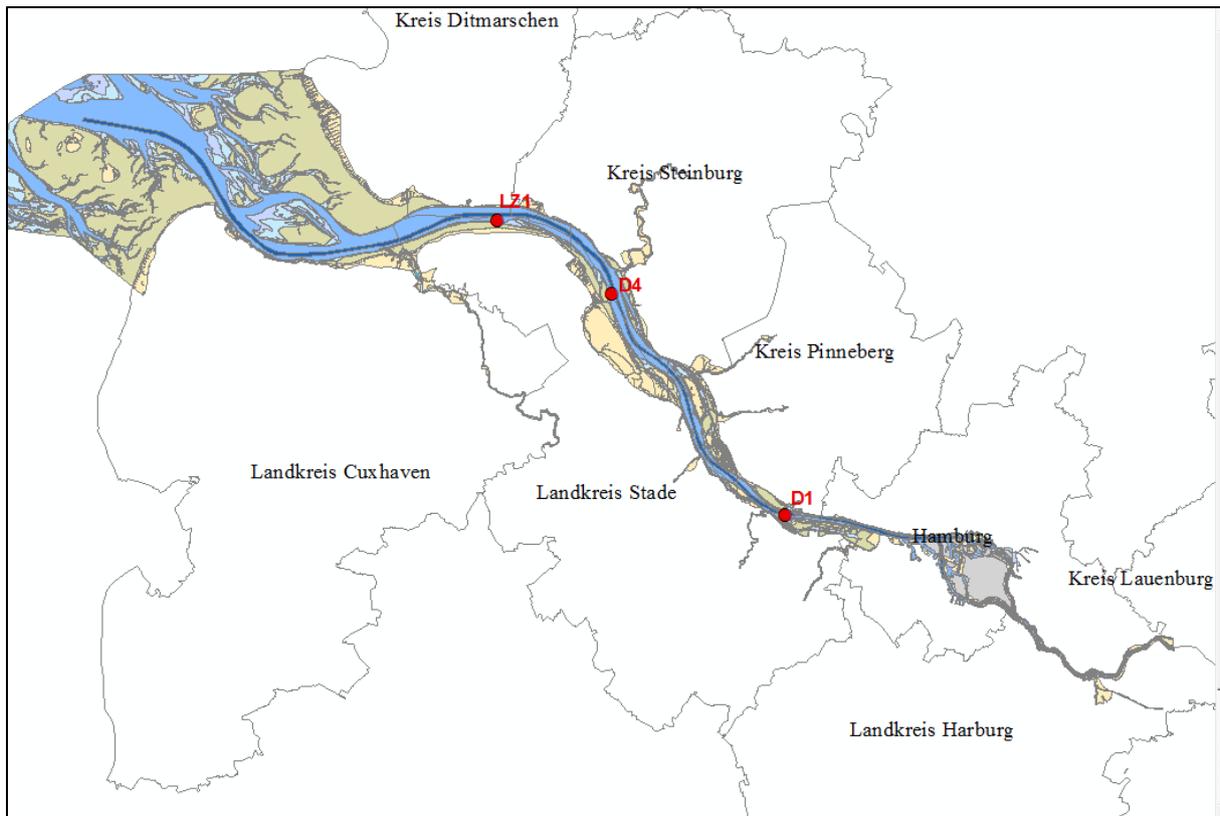


Abbildung 14: Die Tideelbe mit Dauermessstation D1, D4 und LZ1

In 2012 wurden dann sechs Kalibriermessungen seitens des WSA Hamburg und des WSA Cuxhaven durchgeführt. Im Bereich Hamburg wurden an der Dauermessstation D1 drei Messungen und bei D4 zwei Messungen durchgeführt. Das WSA Cuxhaven hat eine Schwebstoffmessung am Messpfahl LZ1 ausgeführt (siehe Abbildung 14: Die Tideelbe mit Dauermessstation D1, D4 und LZ1). Alle genannten Probenahmen wurden im Rahmen dieser Arbeit ausgewertet.

Bei einer Messung wurden je 75 Proben genommen und im Labor wurden anschließend Konzentration und Glühverlust bestimmt. Insgesamt sind in dieser Arbeit 6 x 75 Schwebstoffproben mit deren Konzentration und Glühverlust in unterschiedliche Gruppen und Klassen eingeteilt worden. Es wurden verschiedenartige Möglichkeiten erprobt, eine Kalibrierfunktion zu finden, die es ermöglicht, der neu eingesetzten Sondengeneration (Messplattform Seaguard, Sonde Fa. Seapoint) in Schwebstoffkonzentrationen umzurechnen. Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse der Auswertungen dargestellt.

4.1. Beschreibung von Schwebstoffprobenahme und Analytik

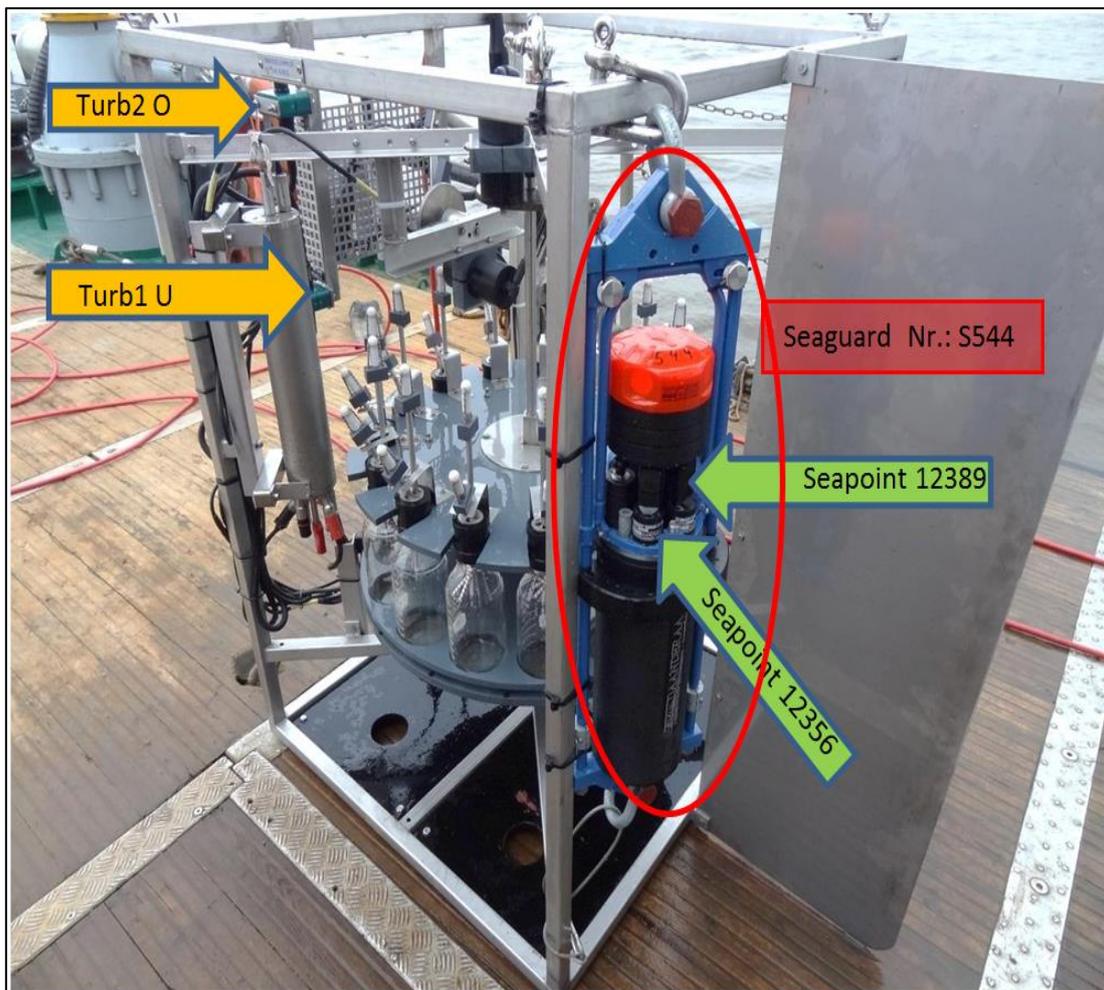


Abbildung 15: Geräteträger zur Schwebstoffmessung

Das Probenahmegerät „Karussell“ wurde von der HPA entwickelt und für die WSÄ Hamburg und Cuxhaven in 2-facher Ausfertigung gefertigt. Es wurde so konstruiert, dass die 15 angebrachten Probeflaschen sich während einer Beprobung kontinuierlich nacheinander öffnen. Des Weiteren befinden sich am Geräteträger (siehe Abbildung 15) Trübungssonden, die sekundlich Trübungswerte zum Vergleich aufzeichnen. Turb1 U und Turb2 O sind original angebrachte Sonden von HPA. Die nachgerüsteten Seapoint-Sensoren am Seaguard (Modellnummer S544) sind die „wesentlichen Trübungssensoren“ für diese Arbeit, da sie gleichen Typs wie die Sensoren an den Dauermessstationen D1 und D4 sind, und vom Hersteller gleich kalibriert wurden. Ergänzend wurden die in Kapitel 2.3 beschriebenen Vergleichsmessungen durchgeführt.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

An allen Messtagen wurden seitens des WSA Hamburg in drei unterschiedlichen Höhen der Wassersäule Proben genommen. Vorab wurde festgelegt, dass die Flaschen am Karussell sich in folgenden Wasserlagen öffnen sollen:

- 1,5 m unter der Wasseroberfläche (OW-1,5 m)
- mittlere Wassersäule (mWS)
- 1,5 m über der Gewässersohle (Sohle+1,5 m)

Diese Messhöhen entsprechen mit Ausnahme der mittleren Wassersäule der Messebene der Sonden der Dauermessstationen D1 und D4, die kontinuierlich Daten von der Sohle (+1,5m) und der Wasseroberfläche (-1,5m) aufzeichnen beziehungsweise senden (Abbildung 16).

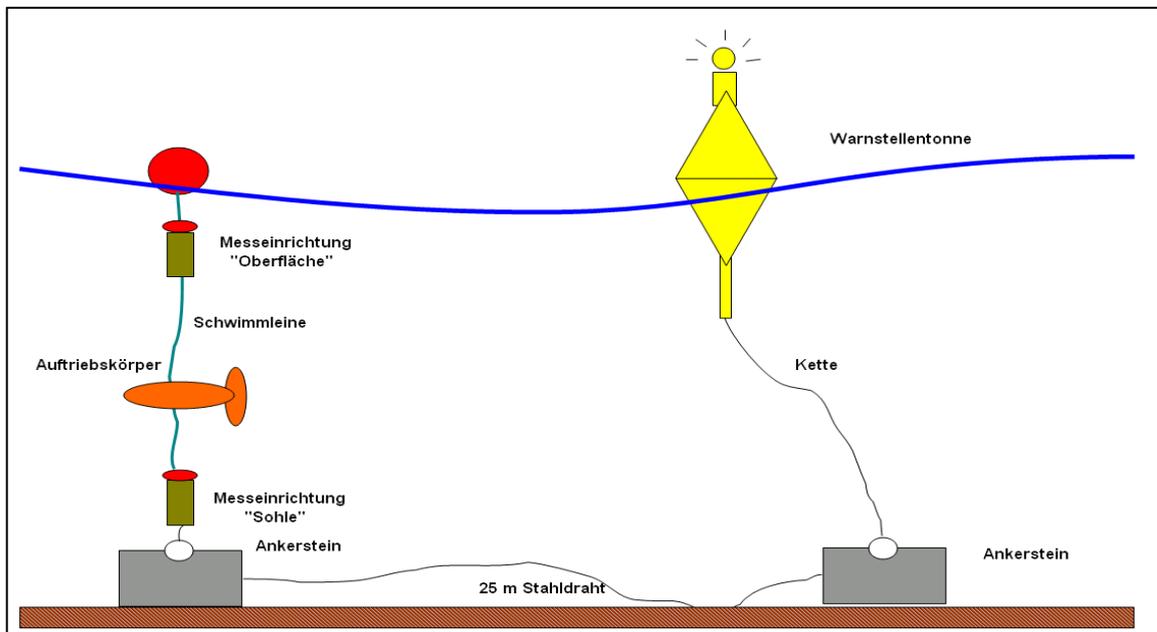
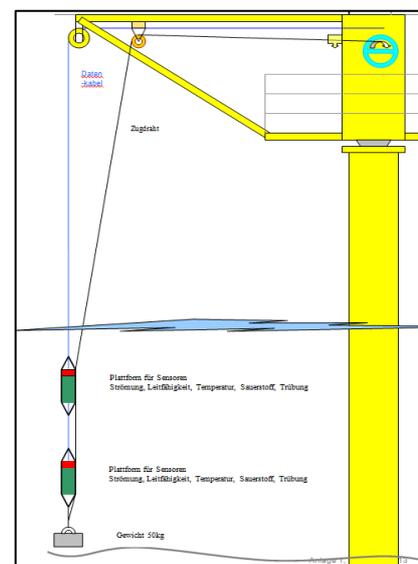


Abbildung 16: vereinfachte Darstellung der Dauermessstation D1 und D4

Bei der Messung am Messpfahl LZ1 (WSA Cuxhaven, Abbildung 17) wurde das Probenahmekarussell auf einer Ebene im Wasser bei 2,5m über der Gewässersohle gehalten. Diesem entspricht auch die Höhe der kontinuierlichen Messung der unteren Trübungs- und Schwebstoffsonde am Messpfahl.

Abbildung 17: Messpfahl LZ1



Grundlagen der Messung

Der Zeitraum wurde so gewählt, dass die Messung nicht durch Sturmfluten und Hochwasserereignissen beeinflusst wurde. Folgende Grafik zeigt die Messdaten und bei welchem Oberwasserabfluss Schwebstoffproben genommen wurden.

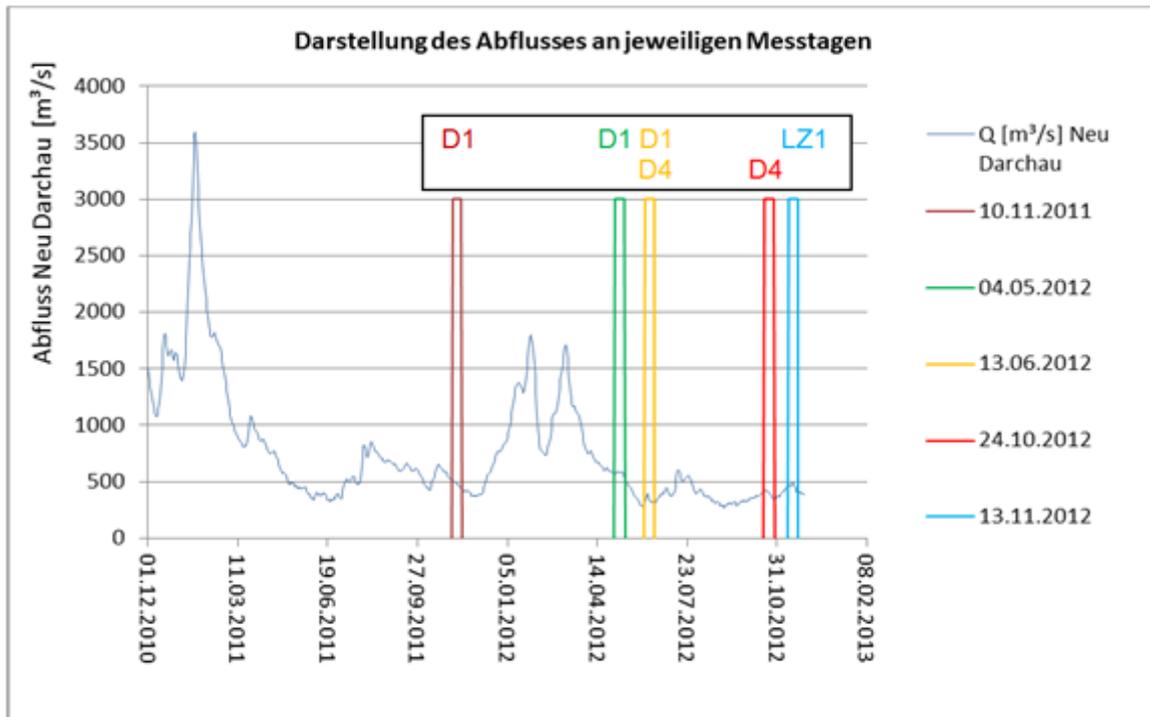


Abbildung 18: Abfluss an jeweiligen Messtagen

Des Weiteren wurden die Messungen so geplant, dass diese nahe dem Kenterpunkt der Tidephase lagen, da zu diesem Zeitpunkt die geringsten Verwirbelungen und Strömungen zu erwarten sind und somit der Geräteträger möglichst senkrecht im Wasser hängt.

Bei der Messung wird die Dauermessstation (D1, D4 und LZ1) so nah wie möglich vom Schiffsführer angesteuert und dort das Messschiff vor Anker gelegt. Durch die sich ändernden Strömungsverhältnisse dreht sich das verankerte Schiff und verändert so seine Ausgangslage. Die sich ständig ändernden Koordinaten ergeben eine Entfernung zur Dauermessstation von 50 bis 120 Metern. Angemerkt sei, dass eine Messung an der Strömungskante (d.h. von der Dauermessstation Richtung Ufer) anders zu bewerten ist als eine Schwebstoffprobe in einer geringeren Entfernung zur Fahrrinne, denn dort herrschen zumeist höhere Strömungsgeschwindigkeiten und entsprechend treten i.A. deutlich höhere Schwebstoffgehalte als im Nahbereich der jeweiligen Dauermessstation bzw. im Strombereich Richtung Ufer auf.

Laborauswertung

Nach der Messung werden die Schwebstoffproben in einem HPA-eigenen Laborcontainer im Hamburger Hafen durch eine externe Firma (derzeit Fa. Dr. Golombek) filtriert sowie anschließend der Glühverlust bestimmt (siehe Abbildung 19).

Zu erwähnen ist, dass HPA und die WSÄ die Proben von Herrn Dr. GOLOMBEK auswerten lassen, um Abweichungen durch unterschiedliche Analyseverfahren auszuschließen. Ziel ist es, bei der Aufstellung von Kalibrierfunktion durch HPA und WSÄ möglichst vereinheitlichte Verfahren einzusetzen. Bei der Analytik besteht zudem die besondere Gefahr, dass andere externe Labore die gestellten Proben nicht fachgerecht filtrieren. Die Probeflaschen werden nicht vollständig verwertet, um weniger Fluid zu filtrieren und damit Zeit und Kosten zu sparen. Das Filtrationsergebnis und der darauffolgende Glühversuch werden hierdurch verfälscht.

Die **Filtration**, hier Druckluftfiltration, läuft nach dem Schema der DIN 38409-2 ab. Der verwendete GFC-Filter (Glasfaserfilter) besitzt ein Geflecht mit einer Porenweite von $1\mu\text{m}$. Je nach Probe werden vier bis sechs Filter mit einem Durchmesser von 50 mm verwendet. Ebenso wird nach DIN 38409-2 der Glührückstand beziehungsweise der Glühverlust bestimmt.



Abbildung 19: Laborcontainer im Hamburger Hafen

Im Einzelnen werden folgende Arbeitsschritte für die Bestimmung des organischen Anteils und des Schwebstoffgehaltes durchgeführt:

1. Der unbenutzte Filter wird auf einer Aluminiumschale im Glührschrank (Abb. 20) auf 500°C erhitzt, um mögliches Kristallwasser aus dem Glasfaserfilter zu entfernen. Eine höhere Temperatur würde nach mündlicher Auskunft von Herrn Dr. GOLOMBEK (01/2013) „den Filter in seiner Struktur verändern und zu verfälschten Ergebnissen führen“. Die Abkühlung erfolgt im Exsikkator (Abb. 23).

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

2. Die Masse des Filters wird in der Analysewaage (Abb. 24) gemessen. ($m_{\text{Filter}1}$)
3. Die Probeflasche wird im ungeöffneten Zustand gewogen ($m_{\text{Flasche}1}$) und anschließend wird das Fluid in zylindrische Gefäße, die auf den GFC-Filtern stehen, gefüllt. Durch Unterdruck (Abb. 21) wird die Filtration beschleunigt.
4. Ist die komplette Probe aufgeteilt wird die leere Flasche erneut gewogen, um das exakte Volumen zu bestimmen. ($m_{\text{Flasche}2}$)

Annahme: Dichte des Wassers = 1.000 kg/m³

$$V = \frac{m_{\text{Flasche}1} - m_{\text{Flasche}2}}{\delta} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}/\text{m}^3} = \text{m}^3 \rightarrow \frac{\text{m}^3}{1000} = \text{l} \right] \quad (1)$$

5. Die durch die Filtration befeuchteten Filter werden im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Dieser Vorgang wird bis zur Gewichtskonstanz betrieben. In der Regel ist die Filtertrocknung nach einer Stunde erreicht. Die Abkühlung erfolgt im Exsikkator.
6. Die Analysewaage misst den Wert der getrockneten Filter (Abb. 22) mit dem darauf liegendem Feststoff. ($m_{\text{Filter}2}$)
7. Um den organischen Anteil zu bestimmen, werden die benetzten Filter bei 500°C im Glührückstand temperiert. Die Abkühlung erfolgt im Exsikkator.
8. Der Glührückstand besteht nun nur aus mineralischem Anteil und wird ebenfalls mit der Analysewaage gewogen. ($m_{\text{Filter}3}$)

Berechnung der Schwebstoffkonzentration c [mg/l]:

$$c = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \right] \quad (2)$$

$$c = \frac{m_{\text{Filter}2}}{V} \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \cdot 1000 = \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] \quad (3)$$

Berechnung Glühverlust [%]:

$$\frac{m_{\text{Filter}2} - m_{\text{Filter}3}}{m_{\text{Filter}2} - m_{\text{Filter}1}} * 100 \% \quad (4)$$

Nach DIN 38409-2 ist ein hoher Glühverlust ein Zeichen für einen hohen Anteil organischer Substanz.

Dieser Wert ist für die Betrachtung mit optischen Messsonden von Bedeutung, da organisches Material wie Algen die Schwebstoffgehaltsmessung maßgeblich beeinflussen (vgl. unter anderem Kapitel 2.3).

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe



Abbildung 20: Trocken und Glühschrank



Abbildung 21: Unterdruckfiltrationsanlage



Abbildung 22: GFC-Filter nach dem Trocknen, Aluschale mit Glaskügelchen



Abbildung 23: Exsikkator



Abbildung 24: Analysewaage

4.2. Vorgehensweise bei der Aufstellung von Kalibrierfunktionen

Für die Ermittlung eines Faktors für die Umrechnung von Trübung in Schwebstoffgehalt wurden bei den Dauermessstationen D1 und D4 Messungen an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Dazu kam noch eine Schwebstoffmessung an der Cuxhavener Dauermessstation LZ1.

Insgesamt wurden 6 mal 75 Proben ausgewertet und auf unterschiedliche Parameter untersucht. Des Weiteren wurden Vergleichsmessungen aus der Weser von der BAW betrachtet und verglichen.

375 Proben konnten so für den Bereich des WSA Hamburg untersucht werden. Dazu kamen noch 75 Messungen die 2,5 m über der Gewässersohle am Messpfahl des WSA Cuxhaven aufgenommen wurden.

Bei den Auswertungen wurden neben der Trübung und der Schwebstoffkonzentration folgende Punkte bzw. Messparameter betrachtet:

- Datum der Messung (Jahreszeit)
- Zeitpunkt der Tidephase
- organischer Anteil
- Temperatur und Salzgehalt

Für die Datenzusammenstellung in Microsoft Excel(2010) wurden die Rohdaten der Sonden zeitlich geordnet und gegenübergestellt und zwar so, dass man an einem Zeitpunkt der Messung die Flaschenprobe, mit ermittelter Konzentration, passend dem Wert der Trübungssonde zuordnen kann. Die Trübungswerte der beiden Seapoint-Trübungssonden am Geräteträger (Abbildung 15) hatten stets annähernd gleiche Werte (Abbildung 25: Vergleich der Trübungssonden am Seaguard-Modell), somit wurden die Kalibrierfunktionen (ab Punkt 4.2.1.) mit der Trübungssonde 12389 berechnet.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

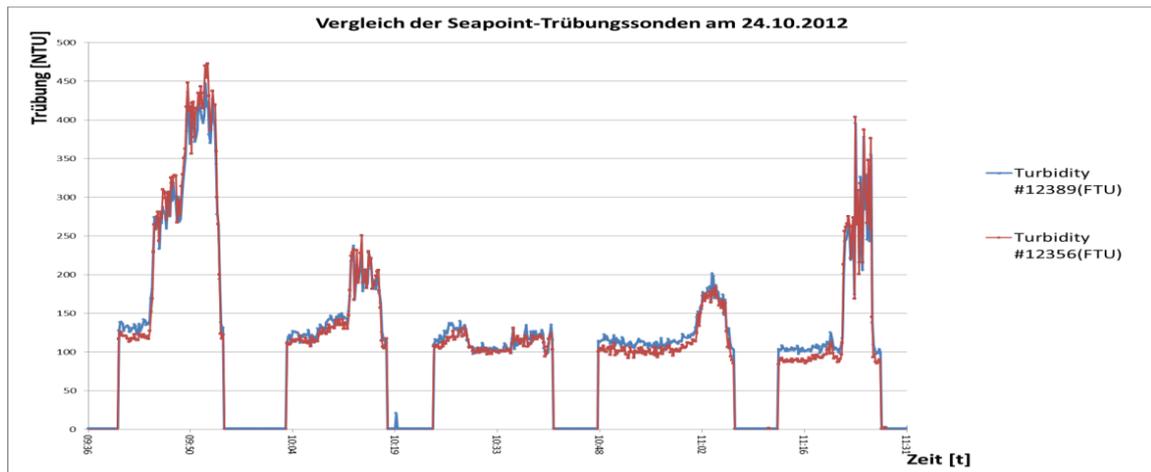


Abbildung 25: Vergleich der Trübungs sonden am Seaguard-Modell

Bei der Betrachtung der geordneten Wertepaare wurde entschieden, dass eine lineare Funktion durch den Koordinatenursprung sinnvoll erscheint. Andere Möglichkeiten wie in folgender Abbildung von HILLEBRAND (2010) wurden in Betracht gezogen, aber aufgrund der Problematik der unterschiedlichen Parameter in der Tideelbe schließlich nicht in dieser Arbeit verwendet.

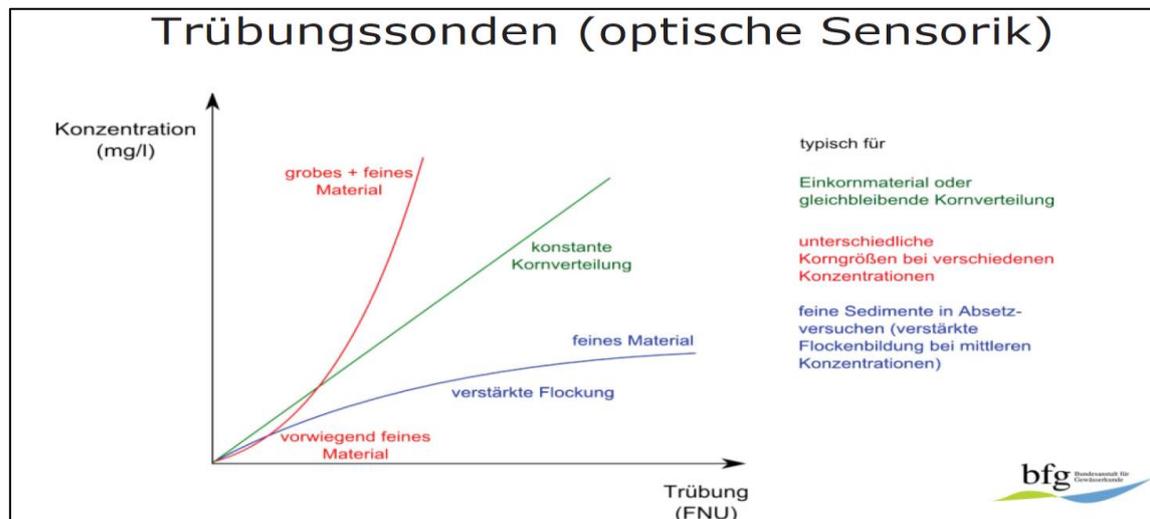


Abbildung 26:
Darstellung diverser Funktionen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Konzentrationseigenschaften, HILLEBRAND (2010)

Der Ansatz, eine lineare Kalibrierfunktion zu nutzen, wurde auch durch die Aussage von MAUSHAKE (11/2011) gestützt, der für die Umrechnung von Trübungs sonden in der Weser mit linearen Gleichungen Trübungswerte [NTU] in Schwebstoffkonzentration [mg/l] bestimmt.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

MAUSHAKE (2013) beschreibt aufgrund der Messungen an der Weser Kalibrierfunktionen mit entsprechenden Abweichungen für unterschiedlichen Trübungsmesssonden. Folgende Faktoren wurden aus insgesamt 29 Messungen aus der Weser erwähnt:

NTU * c	= SSC [mg/l]		
C Valeport MIDAS (Seapoint)	= 1.6 ± 0.6	}	
C OBS3a (Campell)	= 2.2 ± 0.9		BAW
C RCM9 (Aanderaa)	= 3.0 ± 1.2	}	
C SG346 (Seapoint)	= 1.5 ± 0.6		WSV
C Station (RCM9) (Aanderaa)	= 3.2 ± 1.5		

Abbildung 27: Faktoren aus allen Messungen,
Quelle: MAUSHAKE, In-situ Kalibrierung von Trübungssonden (02/2013)

Für die Auswertung der Werte vom Probenahmekarussell wurde der Faktor von MAUSHAKE **SG346** (Abbildung 27) als „Grundgerüst“ gewählt und somit die Kalibrierfunktion $Y=1,5x$ mit deren Abweichung von $\pm 0,6$ gewählt. In untenstehender Abbildung sind die Funktionen dargestellt.

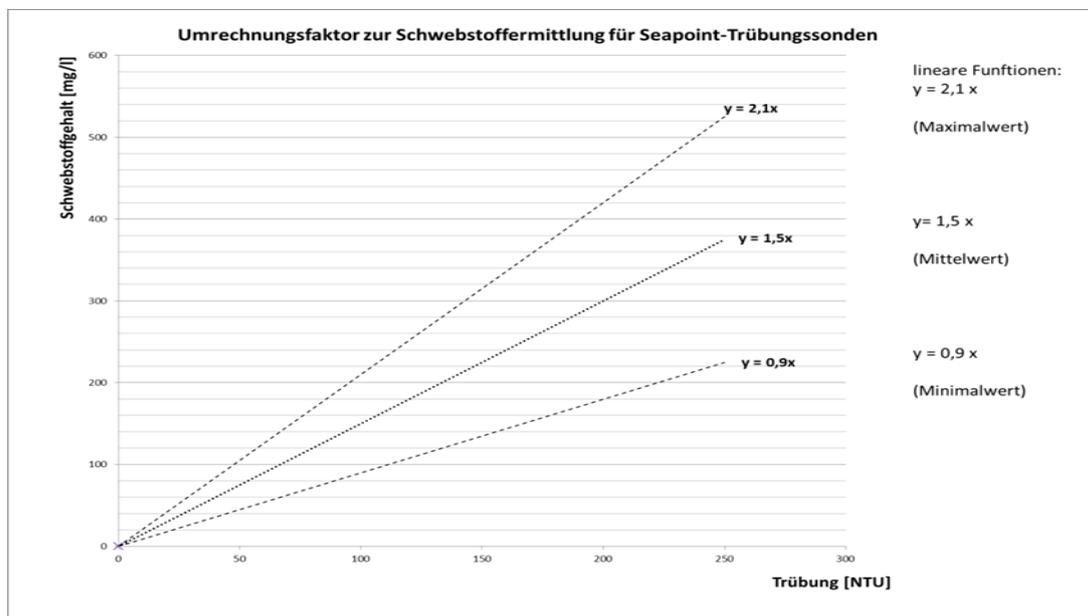


Abbildung 28: Umrechnungsfaktoren nach MAUSHAKE (2011) für die Weser

Bei der Darstellung aller folgenden Funktionen $Y = f(\text{NTU})$ wurde eine lineare Trendlinie gewählt, die einen Nulldurchgang besitzt. Denn es ist davon auszugehen, dass bei einer Trübung [NTU] gleich Null auch eine Konzentration von Null herrscht.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.1. Auswertung der Schwebstoffmessung bei D1

4.2.1.1. Gesamtübersicht der Messung vom 10.11.2011 (D1-Werte)

Schwebstoffmessung von 9.35 Uhr bis 13.15 Uhr

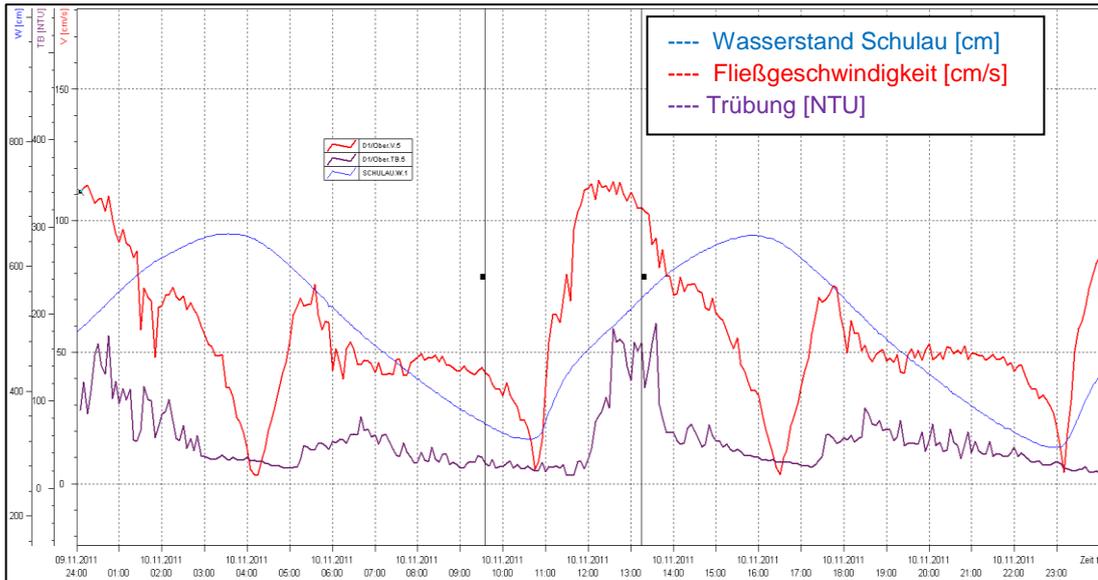


Abbildung 29: D1-Werte vom 10.11.2011 (Gewässeroberfläche)

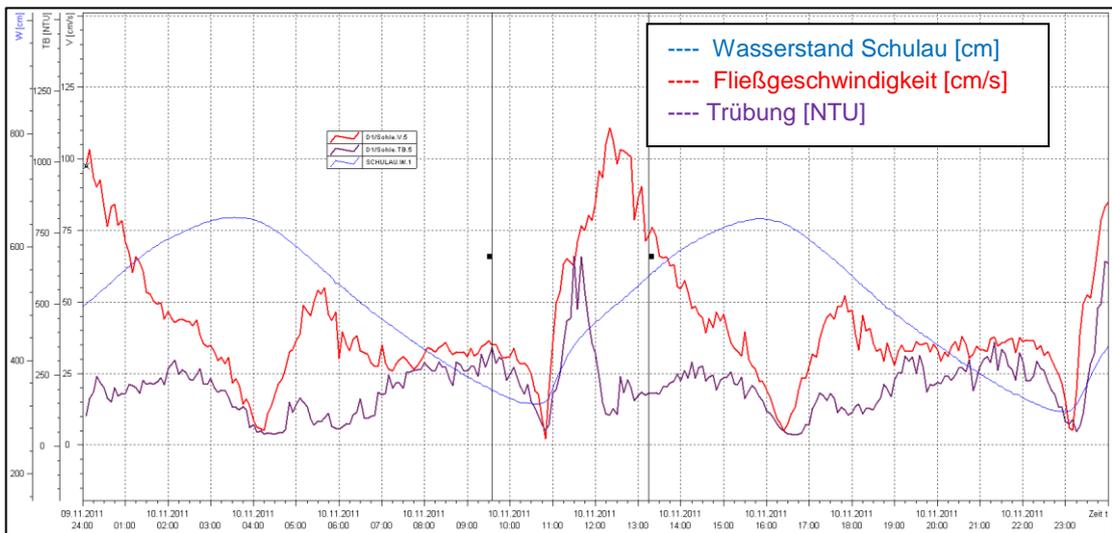


Abbildung 30: D1-Werte vom 10.11.2011 (Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.1.2. Kalibrierfunktionen vom 10.11.2011

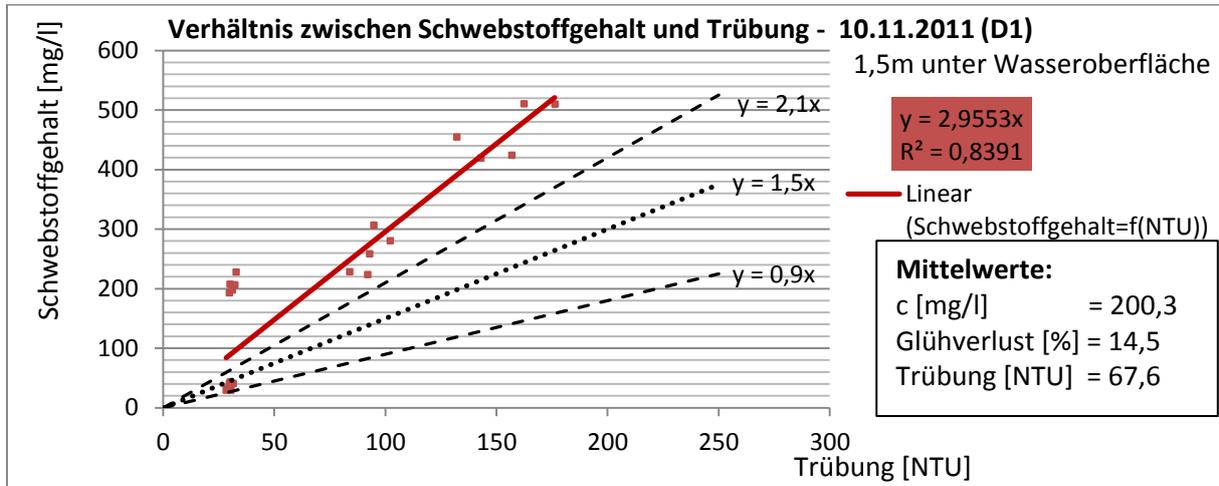


Abbildung 31: Kalibrierfunktion vom 10.11.2011 (1,5m unter Wasseroberfläche)

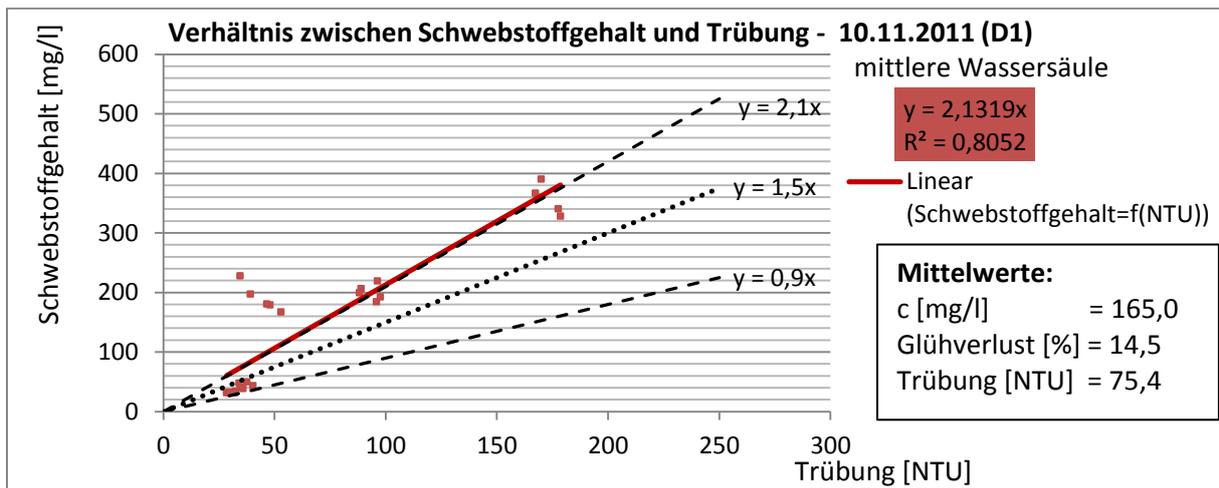


Abbildung 32: Kalibrierfunktion vom 10.11.2011 (mittlere Wassersäule)

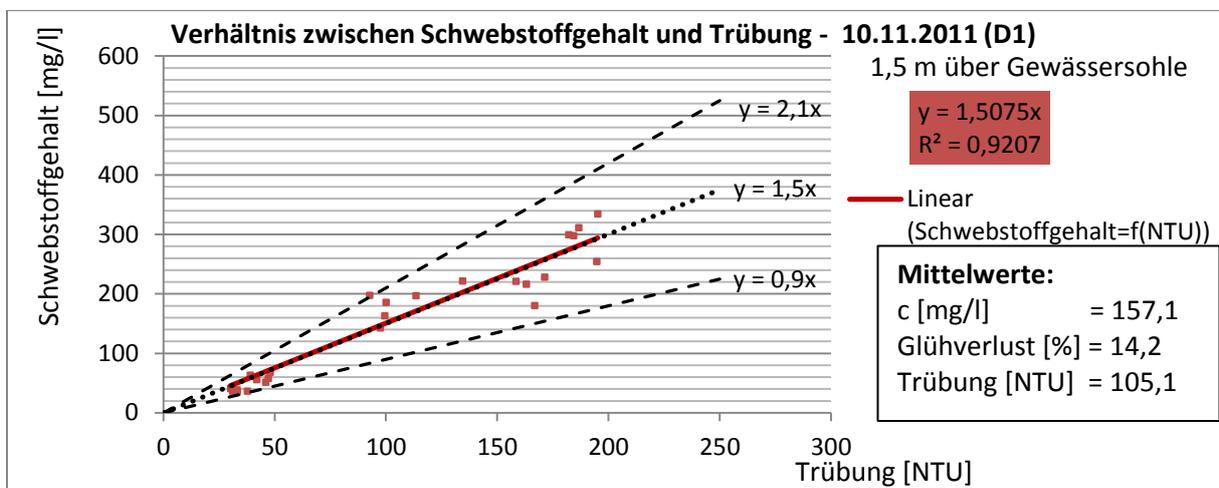


Abbildung 33: Kalibrierfunktion vom 10.11.2011 (1,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

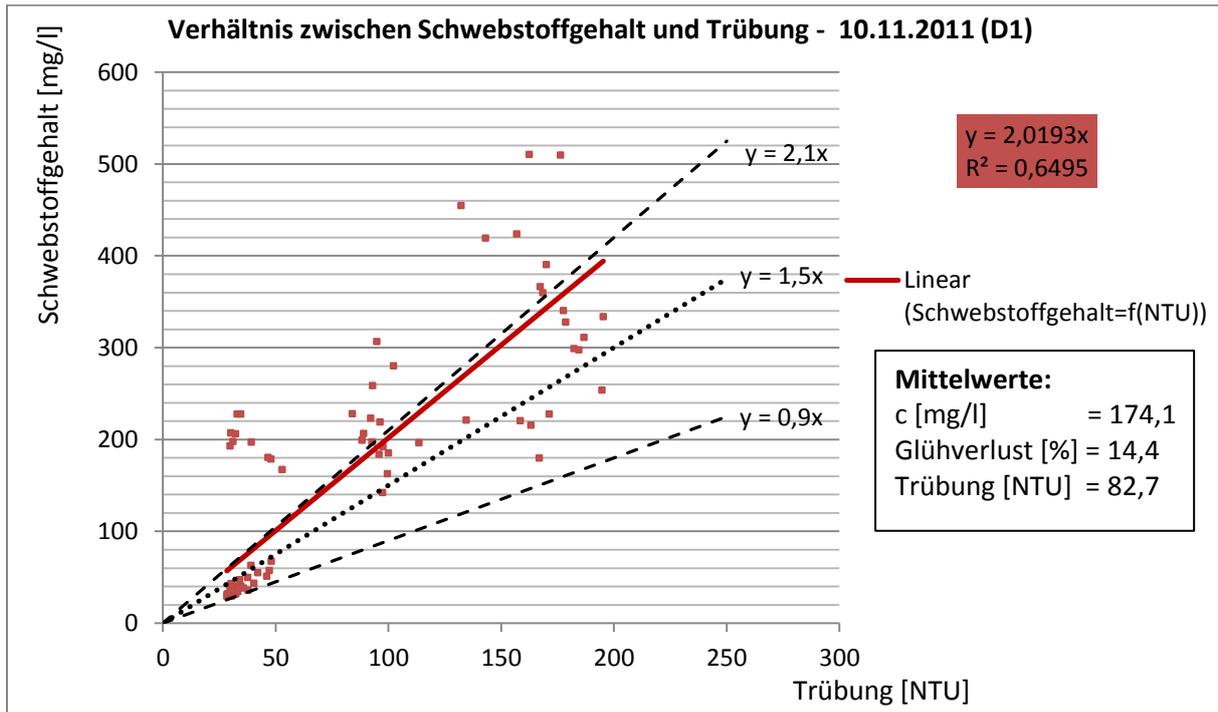


Abbildung 34:
Kalibrierfunktion vom 10.11.2011 für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

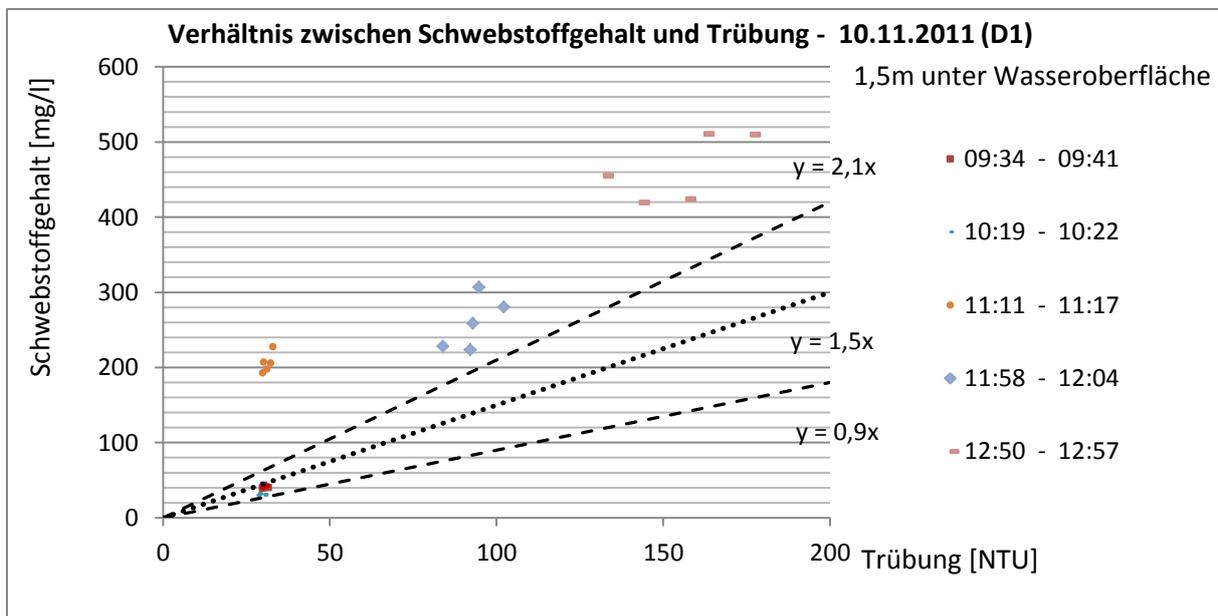


Abbildung 35: Zeitpunkte der Messwerte

Auswertung:

Die Messung erfolgte am 10.11.2011 von 9.35 Uhr bis 13.15 Uhr (Ebbe → Flut). Die geringste Strömungsgeschwindigkeit wurde um kurz vor 11:00 Uhr gemessen (Ebbestromkenterung).

Die drei Funktionen der einzelnen Ebenen senken sich in Bezug auf die Wasserlage. Der organische Anteil ist für die Jahreszeit, mit einer Wassertemperatur von rund 9°C, höher im Vergleich zu den anderen Messergebnissen.

Die hohen Schwebstoffkonzentrationen an der Wasseroberfläche bei eher geringeren Trübungswerten sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Trübungssonde nicht alle fein verteilten Schwebstoffe beziehungsweise insbesondere klein fein verteilte Schluffteilchen < 63 µm nur unzureichend erfasst hat (geringere Lichtreflektion der klein verteilten Teilchen). Demgegenüber wurden an der Gewässersohle, wo sich zum Zeitpunkt der Messung größere Schluff- wie auch Sandteilchen und voraussichtlich größere Flocken befanden, tendenziell höhere Trübungswerte gemessen (stärkere Lichtreflektion verstärkt geflockter bzw. aggregierter Teilchen). Hingewiesen sei in diesem Zusammenhang nochmals auf die Darstellung in Abbildung 26 auf Seite 29.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.1.3. Gesamtübersicht der Messung vom 04.05.2012 (D1-Werte)

Schwebstoffmessung von 8.25 Uhr bis 10.10 Uhr

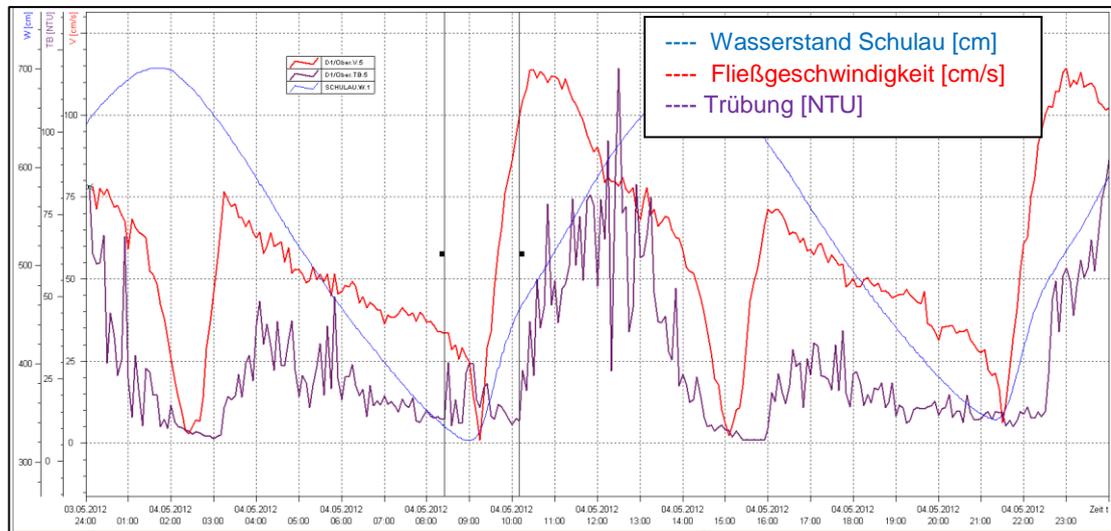


Abbildung 36: D1-Werte vom 04.05.2012 (Gewässeroberfläche)

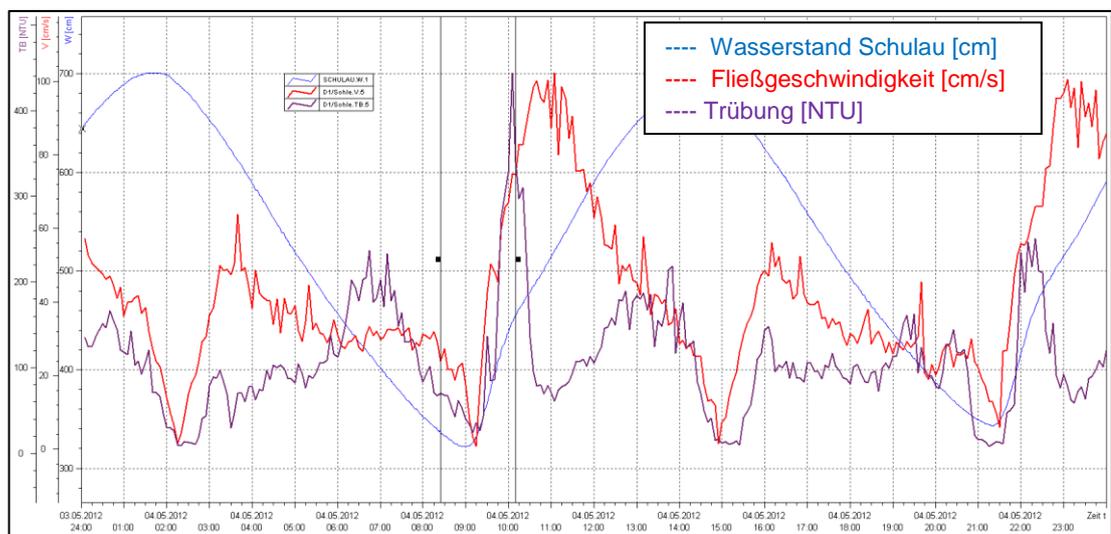


Abbildung 37: D1-Werte vom 04.05.2012 (Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.1.4. Kalibrierfunktionen vom 04.05.2012

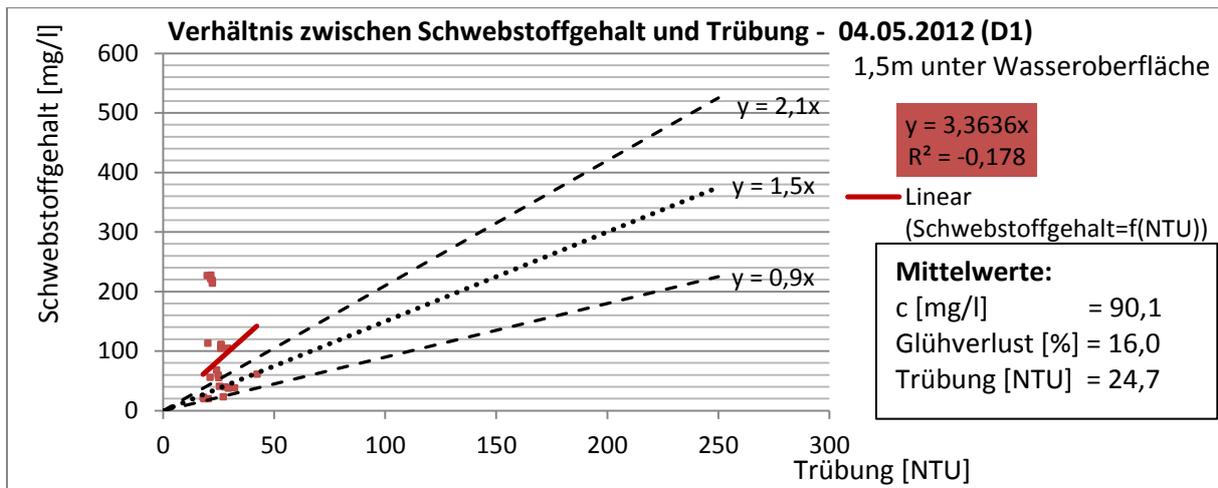


Abbildung 38: Kalibrierfunktion vom 04.05.2012 (1,5m unter Wasseroberfläche)

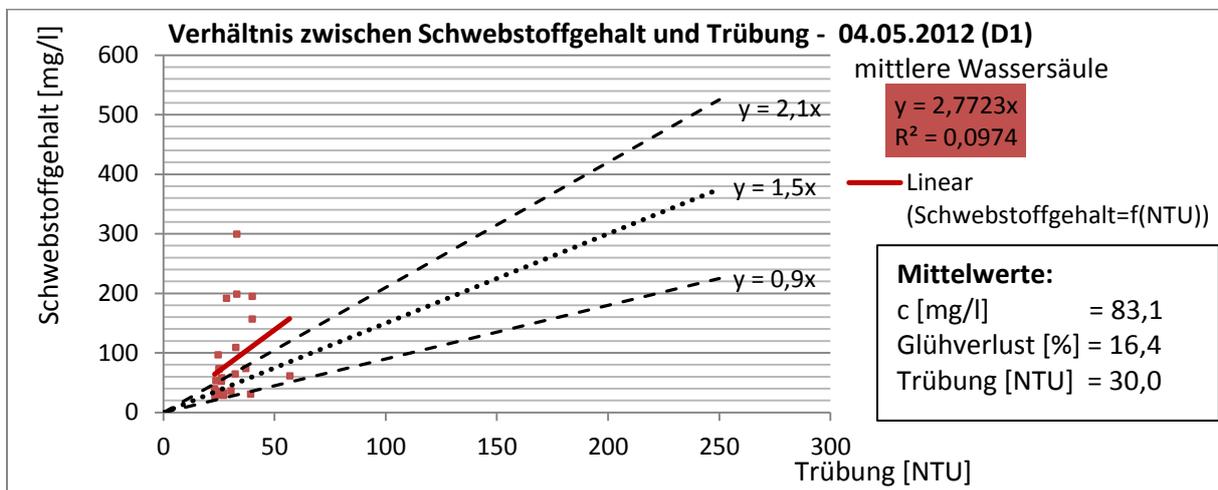


Abbildung 39: Kalibrierfunktion vom 04.05.2012 (mittlere Wassersäule)

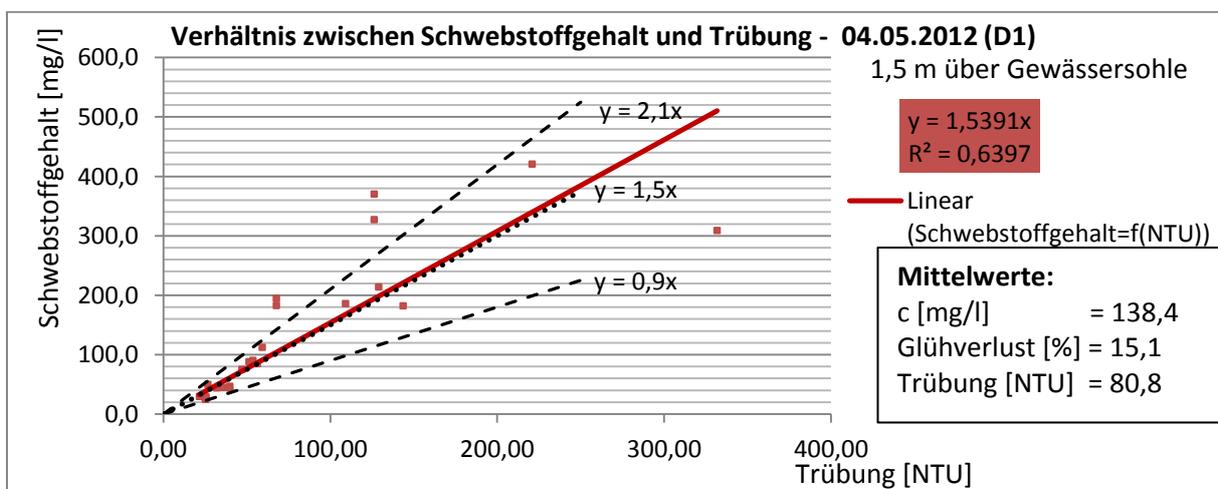


Abbildung 40: Kalibrierfunktion vom 04.05.2012 (1,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

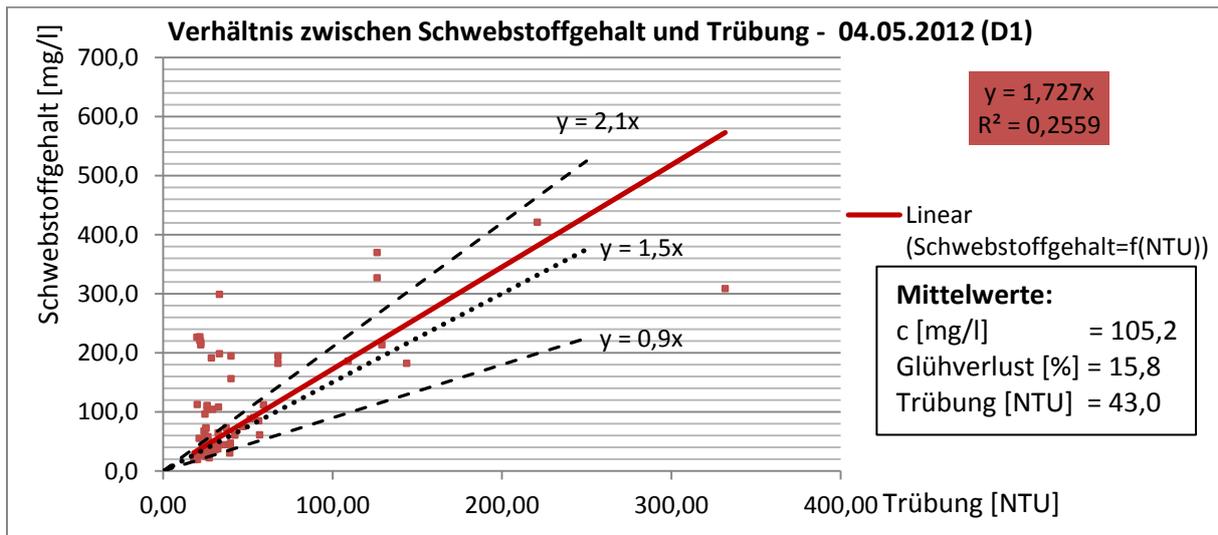


Abbildung 41:
Kalibrierfunktion vom 04.05.2012 für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung:

Die Messung erfolgte am 04.05.2012 von 8.25 Uhr bis 10.10 Uhr (Ebbe → Flut). Die geringste Strömungsgeschwindigkeit am Kenterpunkt wurde gegen 09.15 Uhr gemessen.

Der Faktor der drei Funktionen wird entsprechend der Wasserebene von oben nach unten kleiner.

Die Messung erfolgte in einem Zeitraum von ca. 1,5 Stunden, im Vergleich zur Messung vom 10.11.2011 also bedeutend schneller. Dennoch ist mit unterschiedlichen Werten zu rechnen. Wie Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen, steigt die Fließgeschwindigkeit zum Ende der Messung stark an.

Die Messung an der Oberfläche zeigt erneut eine starke Streuung. Wie in Abbildung 35 vom 10.11.2011 stellen sich auch in Abbildung 38 die Unterschiede der verschiedenen Messzeitpunkte dar. Dementsprechend wurden die geringen Trübungswerte mit hohen Konzentrationen zu einem späteren Zeitpunkt bei stärkeren Strömungen gemessen.

Grundsätzlich zu untersuchen ist, ob bei später auftretender stärkerer Strömung der organische Anteil bis zur Mitte der Wassersäule sowie ggf. bis zum Messbereich unter der Wasseroberfläche aufgewirbelt wird und somit stärker geflockte bzw. aggregierte Schwebstoffteilchen (Gemisch aus Organik und kleinere Schluffteilchen) an die Oberfläche transportiert werden. Dies würde bestätigen, dass die Trübungssonde feinere Anteile nicht erkennt und somit einen geringen Trübungswert, bei einer tatsächlich höheren Konzentration, misst. Tendenziell zeigen die Messungen vom 10.01. und 04.05. hier entsprechende Ergebnisse, so dass der Aspekt in den übrigen vorliegenden (sowie ggf. zukünftig zu planenden) Messungen weiter zu betrachten ist.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.1.5. Gesamtübersicht der Messung vom 13.06.2012 (D1-Werte)

Schwebstoffmessung von 10.00 Uhr bis 11.52 Uhr

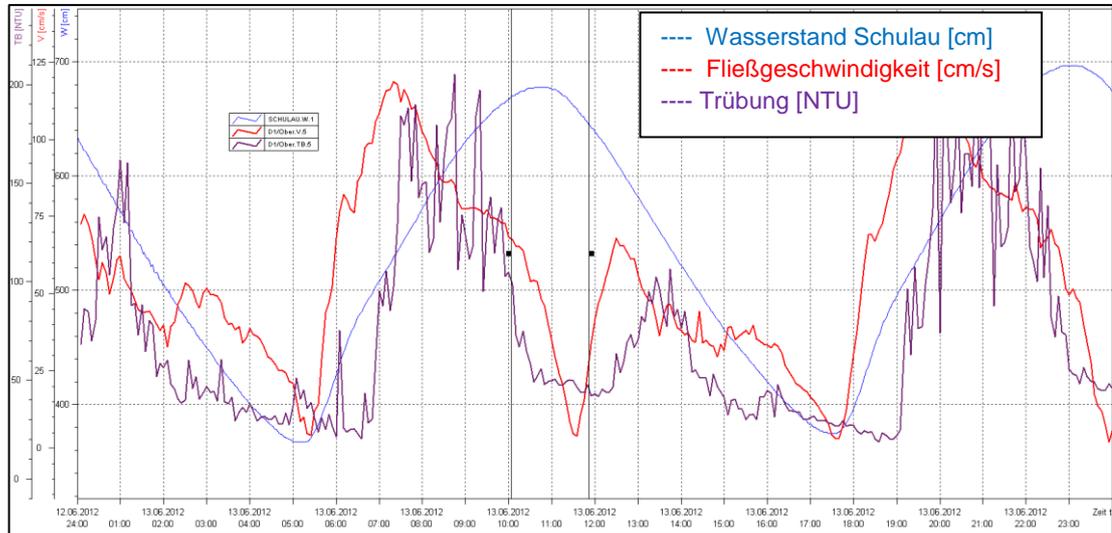


Abbildung 42: D1-Werte vom 13.06.2012 (Gewässeroberfläche)

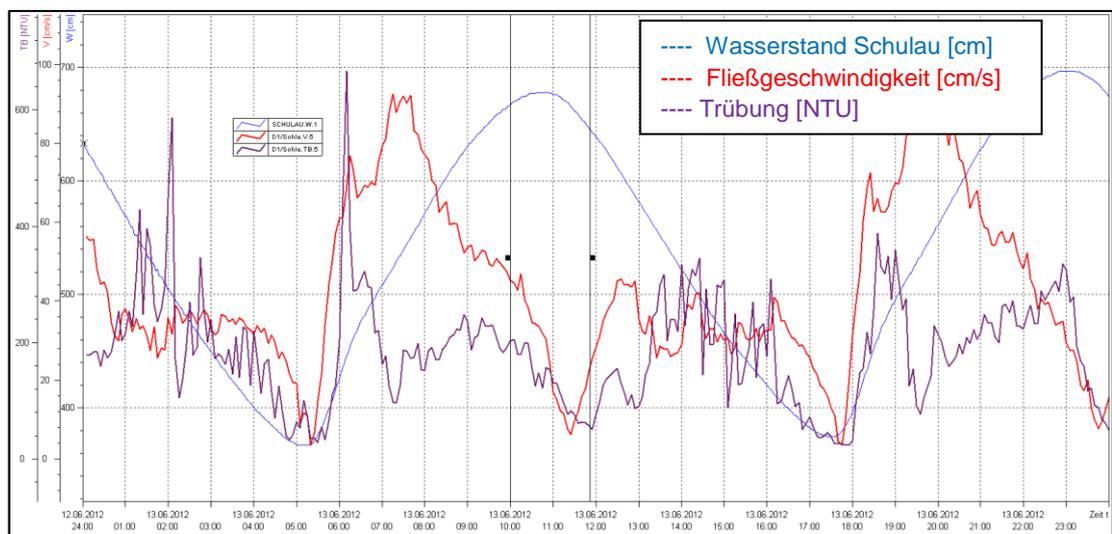


Abbildung 43: D1-Werte vom 13.06.2012 (Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.1.6. Kalibrierfunktionen vom 13.06.2012

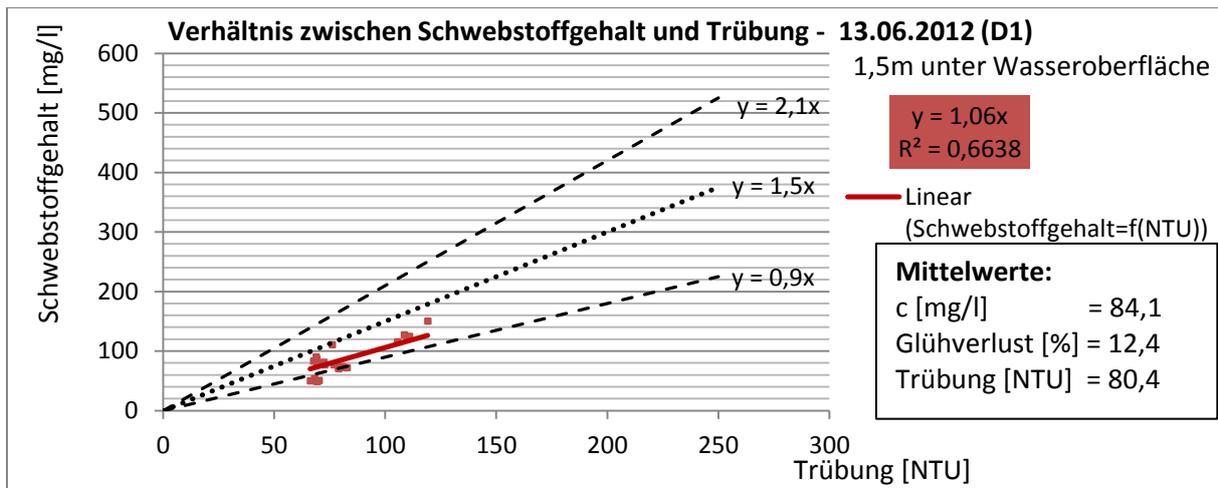


Abbildung 44: Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 (1,5m unter Wasseroberfläche)

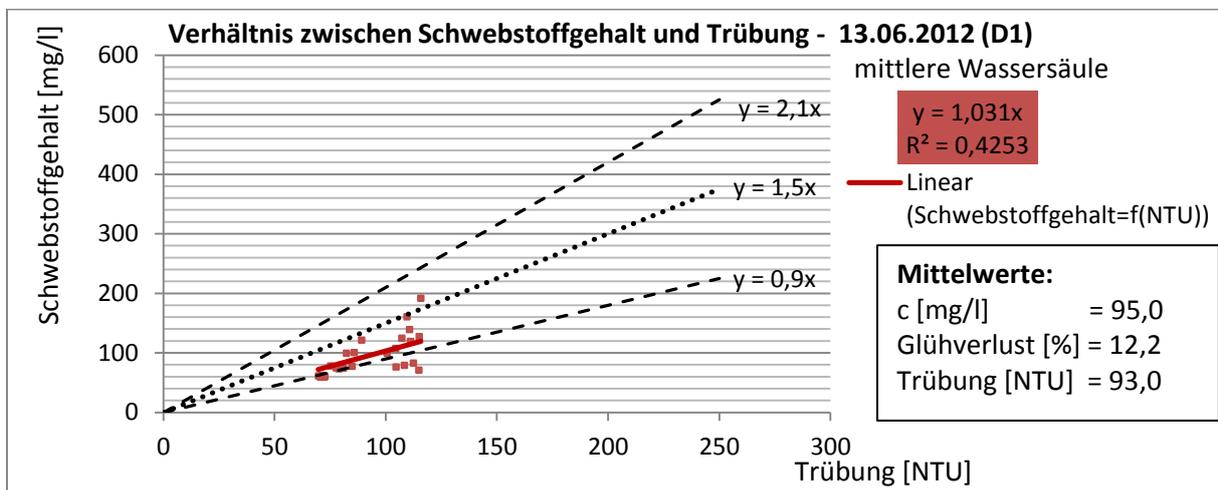


Abbildung 45: Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 (mittlere Wassersäule)

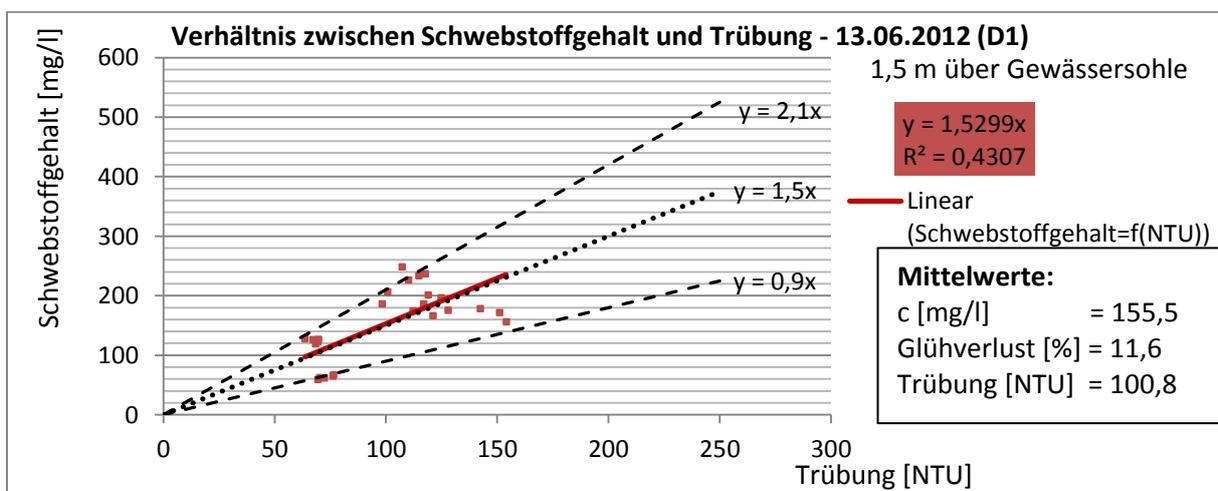


Abbildung 46: Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 (1,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

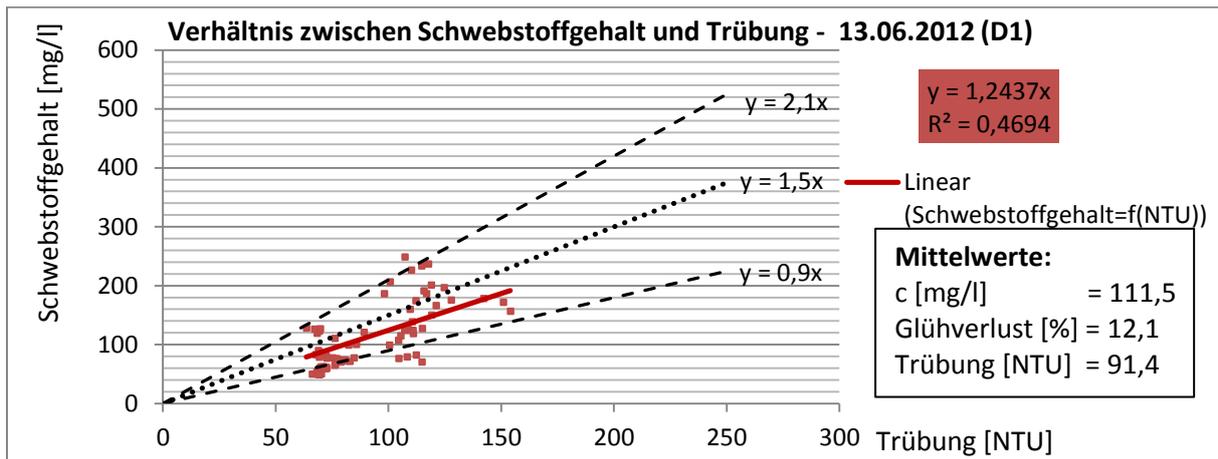


Abbildung 47:
Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung:

Die Messung erfolgte am 13.06.2012 von 10.00 Uhr bis 11.52 Uhr (Flut → Ebbe). Die geringste Strömungsgeschwindigkeit am Kenterpunkt wurde gegen 11.35 Uhr gemessen.

Im Vergleich zu den vorigen Messungen ist der organische Anteil niedrig, trotz höherer Wassertemperaturen.

Auf die Mittelwerte bezogen ist die Konzentration des Schwebstoffgehaltes ziemlich hoch gegenüber der Trübung. Dies würde die These festigen, dass bei hohem organischem Anteil die Trübungssonde zu eher geringeren Messwerten kommt (vgl. nochmals Abbildung 26 auf Seite 29). Auch sprechen die höheren Wassertemperaturen sowie das Messdatum für stärkere Flockenbildung als bei den anderen Messungen. Weiterhin wurde die Messung bei abnehmender Fließgeschwindigkeit durchgeführt. Dies führt zu geringeren Turbulenzen in der gesamten Wassersäule und führt zu dichtbeieinander liegenden Gruppen. Was sich in folgender Abbildung auch darstellt.

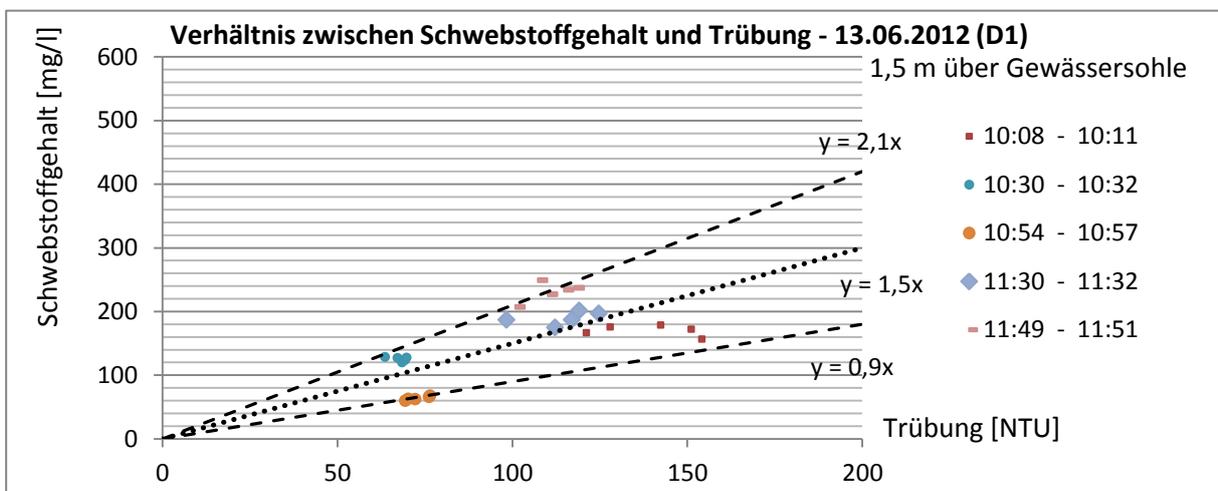


Abbildung 48: Zeitpunkte der Messwerte

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.1.7. Zusammenstellung der Messwerte vom 10.11.2011, 04.05.2012 und 13.06.2012

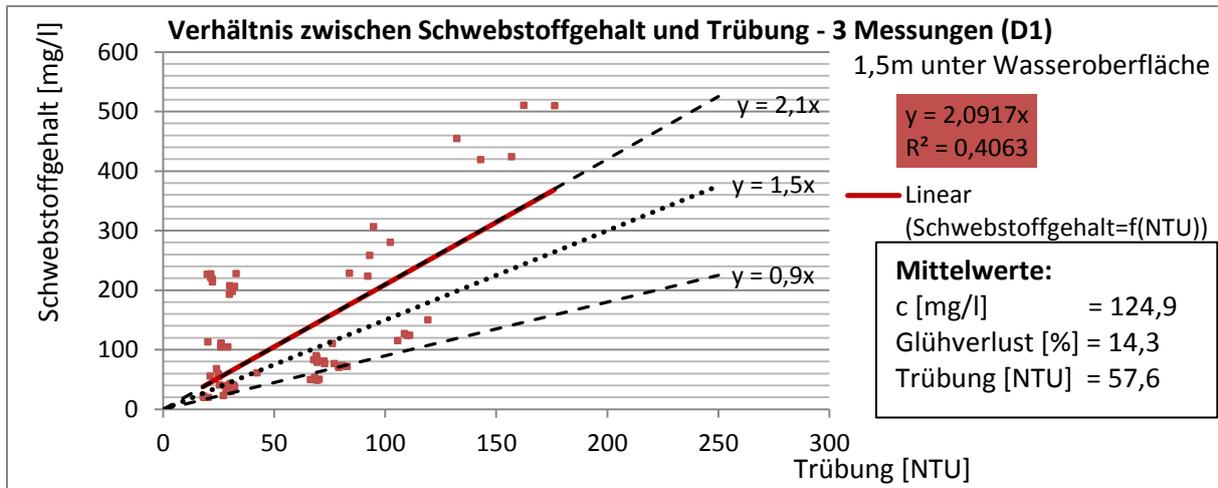


Abbildung 49: Kalibrierfunktion aus 3 Messungen (1,5m unter Wasseroberfläche)

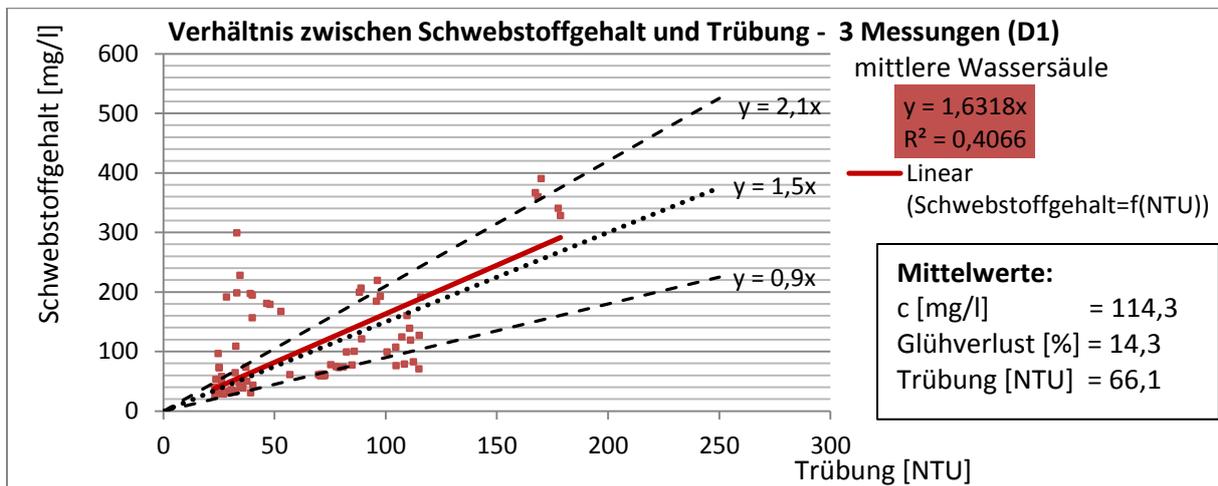


Abbildung 50: Kalibrierfunktion aus 3 Messungen (mittlere Wassersäule)

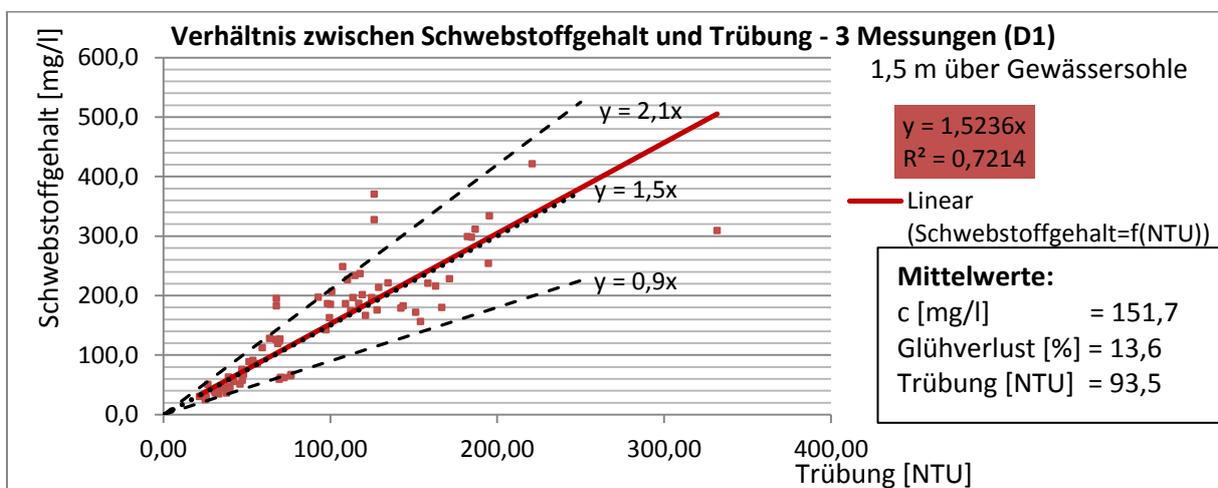


Abbildung 51: Kalibrierfunktion aus 3 Messungen (1,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

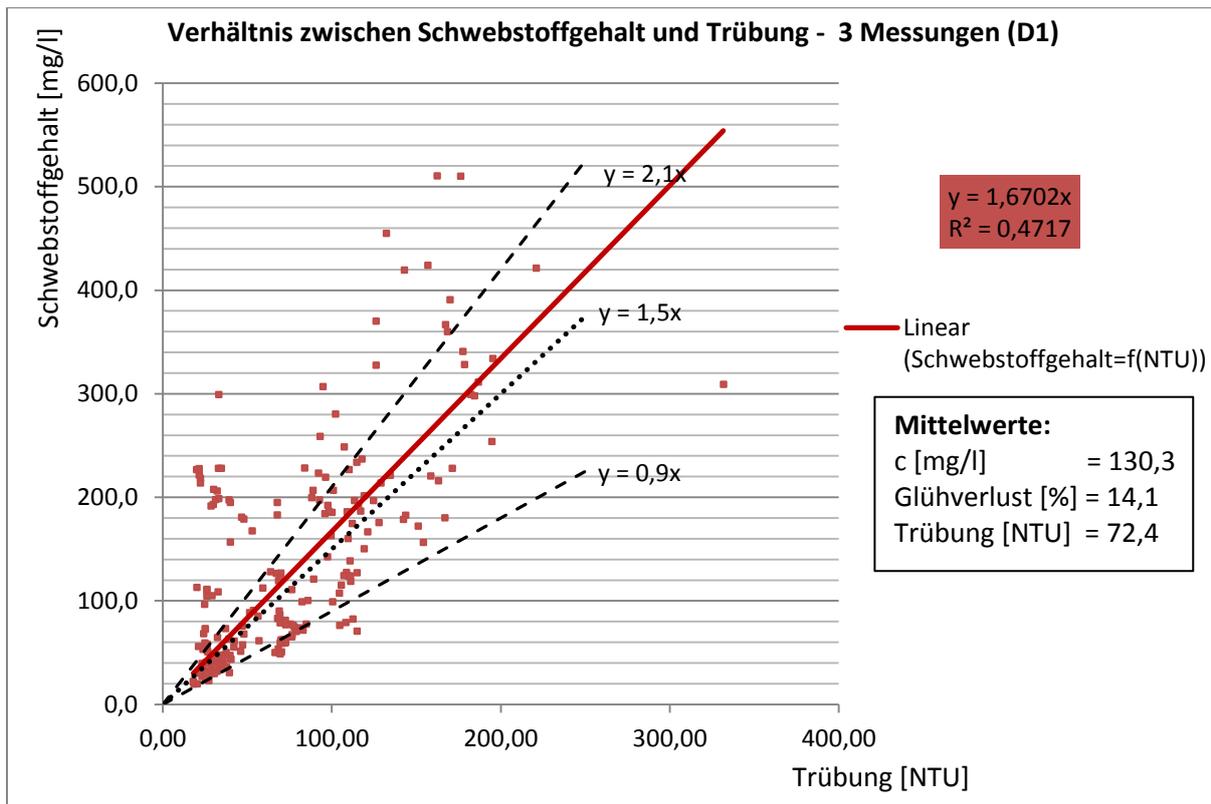


Abbildung 52:
Kalibrierfunktion aus 3 Messungen für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung:

Die Untersuchungen des Schwebstoffgehaltes wurden an drei unterschiedlichen Tagen durchgeführt. 225 Proben wurden ausgewertet. Zwei Ausreißer wurden vom 04.05.2012 an der Gewässersohle für die Auswertung weggelassen. (Beide Wertepaare hatten eine Trübung von 1,26 NTU und eine Konzentration von rund 300 mg/l).

Die Messungen wurden nicht durch Hochwasserereignisse beeinflusst, wobei man aber den ständig schwankenden Tidehub der Elbe beachten muss.

Alle drei Funktionen liegen im Bereich der ermittelten Funktionen von MAUSHAKE (11/2011) aus der Weser.

Durch weitere Untersuchungen könnten genauere Faktoren ermittelt werden, so dass man zum Beispiel für die Wassersäule an der Oberfläche einen größeren Faktor als 1,5x wählen könnte.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Die Wertepaare mit geringer Trübung und hoher Konzentration sind größtenteils dem Oberflächenwasser zuzuordnen. Wahrscheinlich wurden, wie in den Vorabschnitten diskutiert, zumeist Partikelflocken mit eher geringem Durchmesser und geringerem Organikanteil erfasst. Nähere Klärung könnte bei zukünftigen Messungen u.a. durch eine ergänzende Korngrößenanalytik und/oder eine Analyse der erfassten Partikelgrößen erfolgen.

In der folgenden Abbildung sind alle Trübungswerte (OW-1,5m; mWS und Sohle+1,5m) 20 Minuten vor und nach dem Kenterpunkt dargestellt, um eine Kalibrierfunktion ohne Einfluss von starken Verwirbelungen durch Tideströmungen darzustellen.

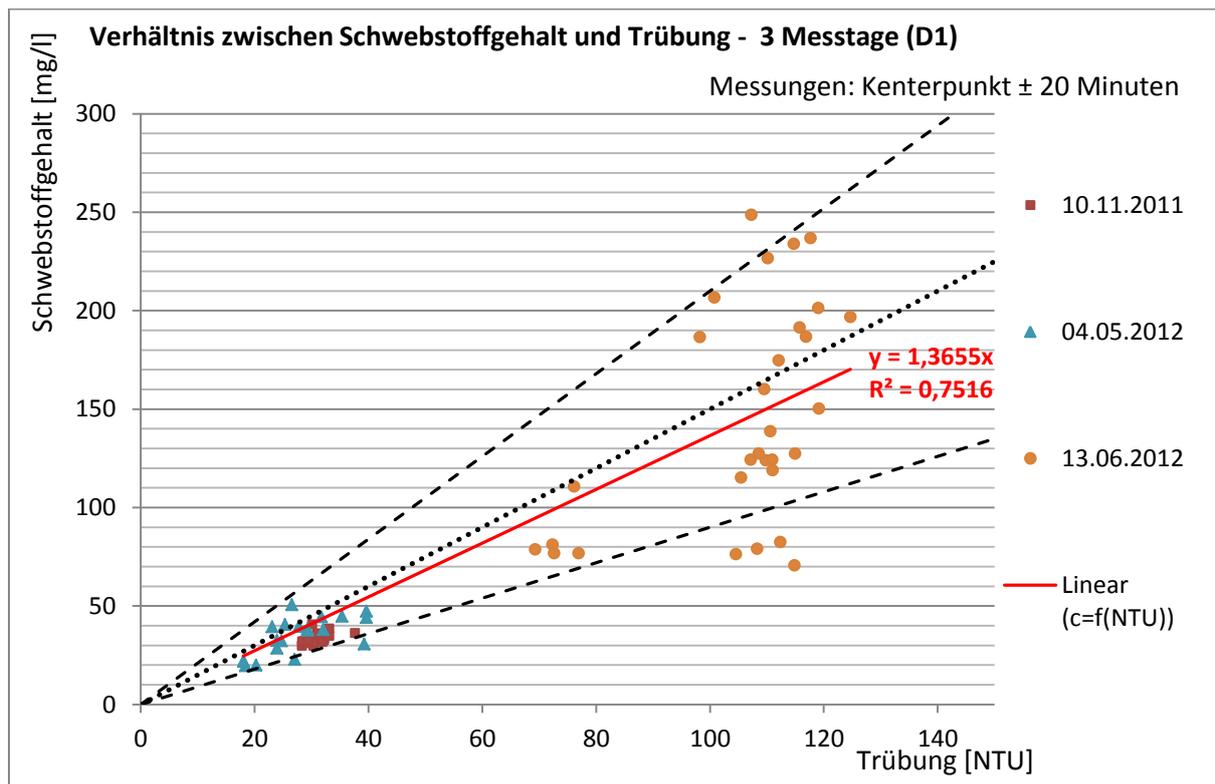


Abbildung 53:
65 Wertepaare von 3 Messtagen, Kenterpunkt ± 20 Minuten, OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.2. Auswertung der Schwebstoffmessung bei D4

4.2.2.1. Gesamtübersicht der Messung vom 13.06.2012 (D4-Werte)

Schwebstoffmessung von 10.00 Uhr bis 11.52 Uhr

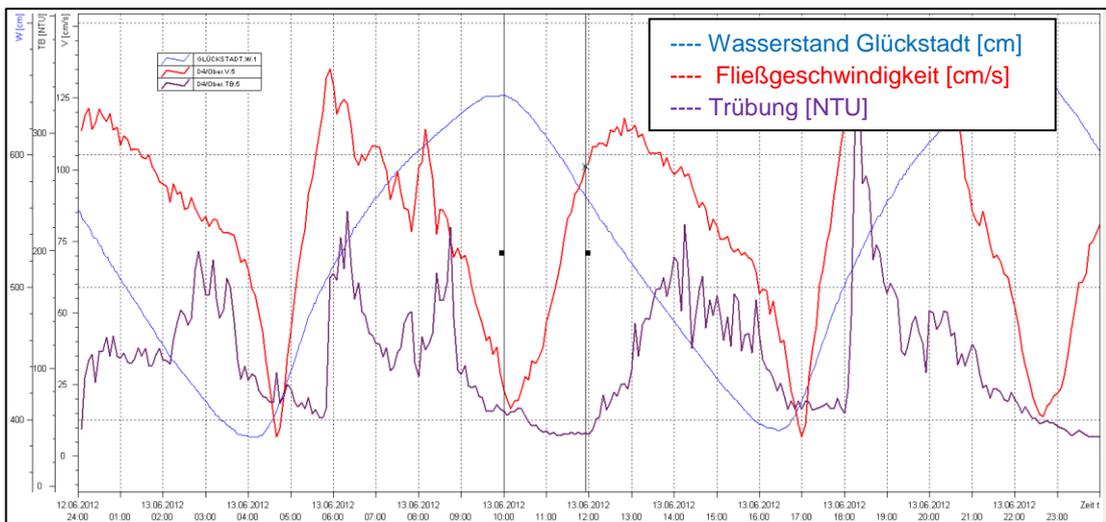


Abbildung 54: D4-Werte vom 13.06.2012 (Gewässeroberfläche)

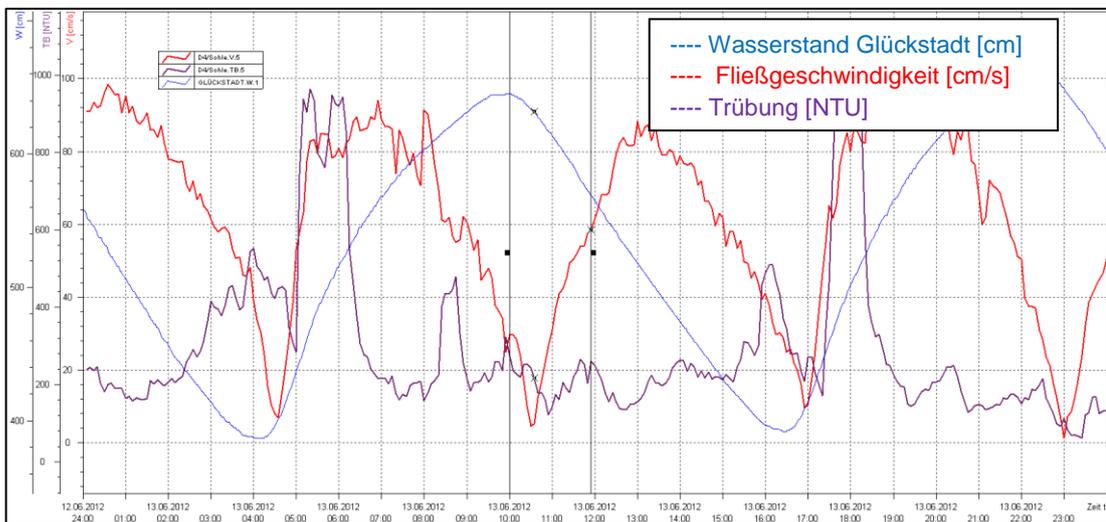


Abbildung 55: D4-Werte vom 13.06.2012 (Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.2.2. Kalibrierfunktionen vom 13.06.2012

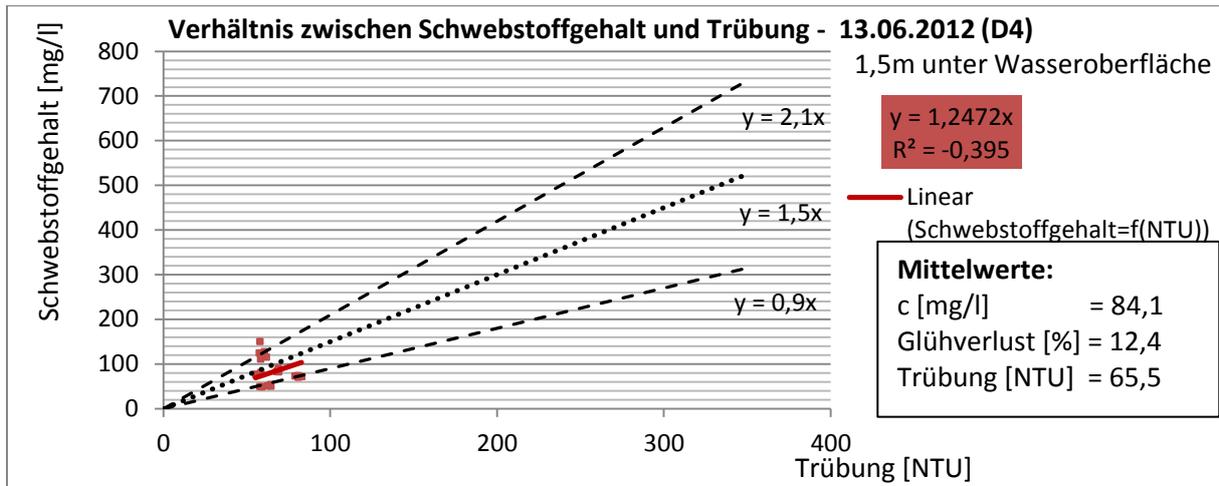


Abbildung 56: Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 (1,5m unter Wasseroberfläche)

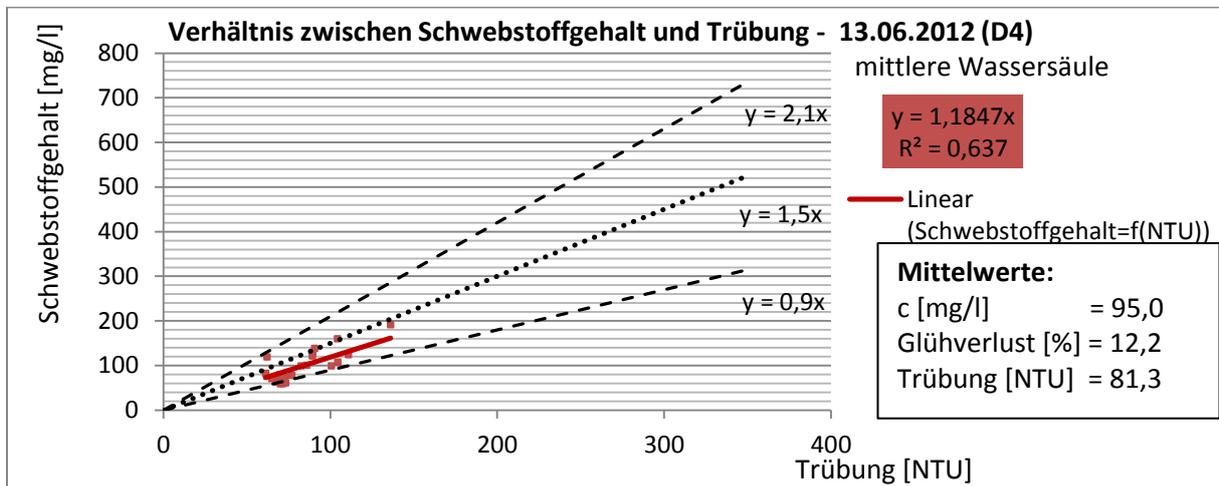


Abbildung 57: Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 (mittlere Wassersäule)

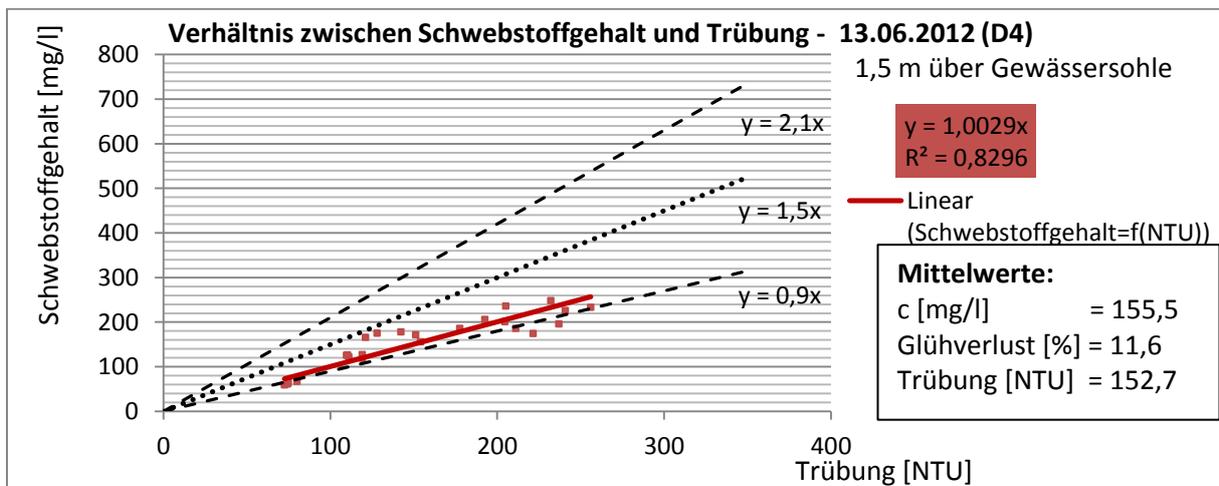


Abbildung 58: Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 (1,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

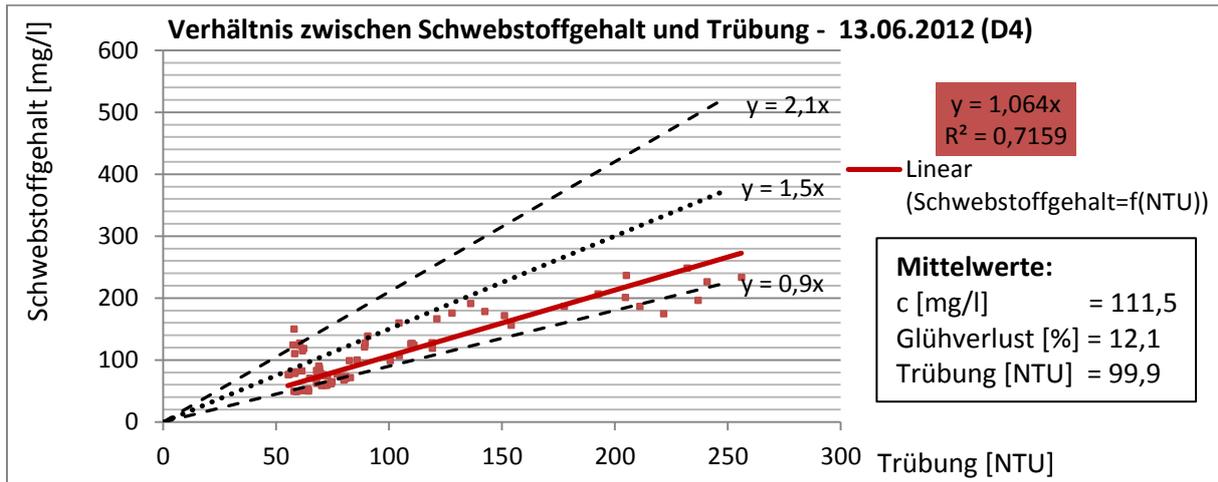


Abbildung 59: Kalibrierfunktion vom 13.06.2012 für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung:

Die Messung erfolgte am 13.06.2012 von 10.00 Uhr bis 11.52 Uhr (Flut → Ebbe). Die geringste Strömungsgeschwindigkeit am Kenterpunkt wurde gegen 10.20 Uhr gemessen.

Die Messergebnisse 1,5 m unter der Wasseroberfläche liegen im Trübungsbereich alle dicht nebeneinander. In Abbildung 60 ist zu erkennen, dass mit steigender Fließgeschwindigkeit die gemessenen Trübungswerte geringer werden als bei „ruhendem“ Stauwasser. Dies ist bei der Schwebstoffkonzentration nicht der Fall, denn diese Werte erhöhen sich. Dies spricht dafür, dass bei stärkeren Strömungen fein verteilte Teilchen schlechter erfasst werden, ähnliche Aspekte wurden bereits für die vorherbeschriebenen Messungen diskutiert.

Im sohnahen Bereich wurden die niedrigsten Werte von 10.45 Uhr bis 10.48 Uhr aufgenommen und die hohen Paare gegen 11.40 Uhr. Damit ist anzunehmen, dass sich mit steigender Fließgeschwindigkeit die Trübung und dementsprechend der Schwebstoffgehalt in der Wassersäule erhöht (Aufwirbelung bodennaher „flockiger“ Teilchen).

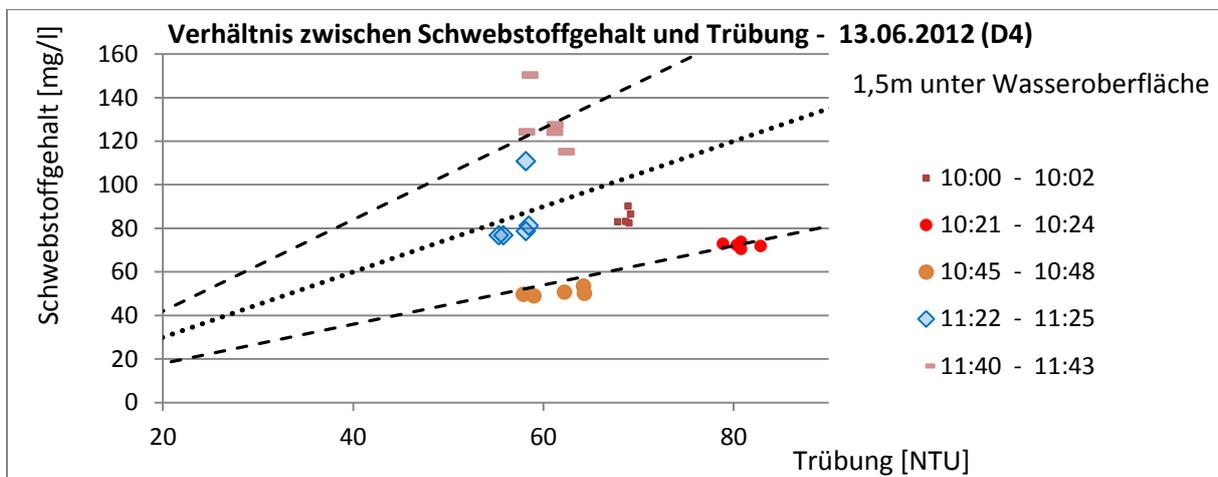


Abbildung 60: Messzeitpunkte D4

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.2.3. Gesamtübersicht der Messung vom 24.10.2012 (D4-Werte)

Schwebstoffmessung von 9.42 Uhr bis 11.26 Uhr

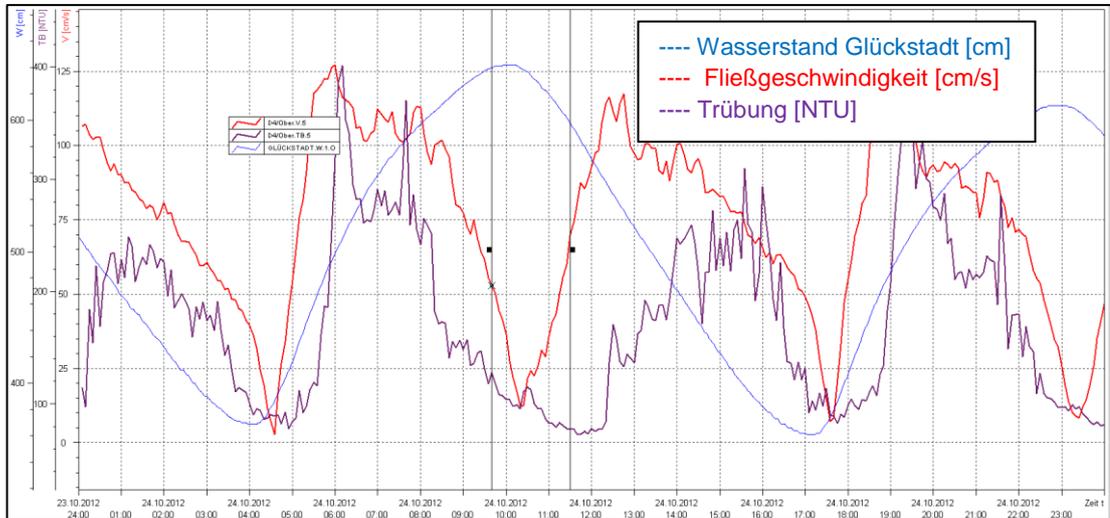


Abbildung 61: D4-Werte vom 24.10.2012 (Gewässeroberfläche)

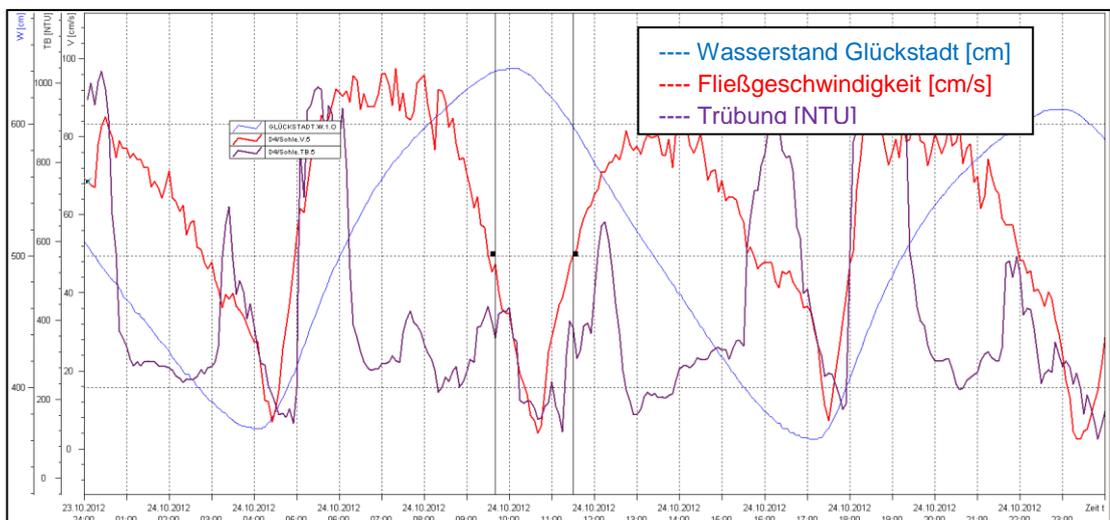


Abbildung 62: D4-Werte vom 24.10.2012 (Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.2.4. Kalibrierfunktionen vom 24.10.2012

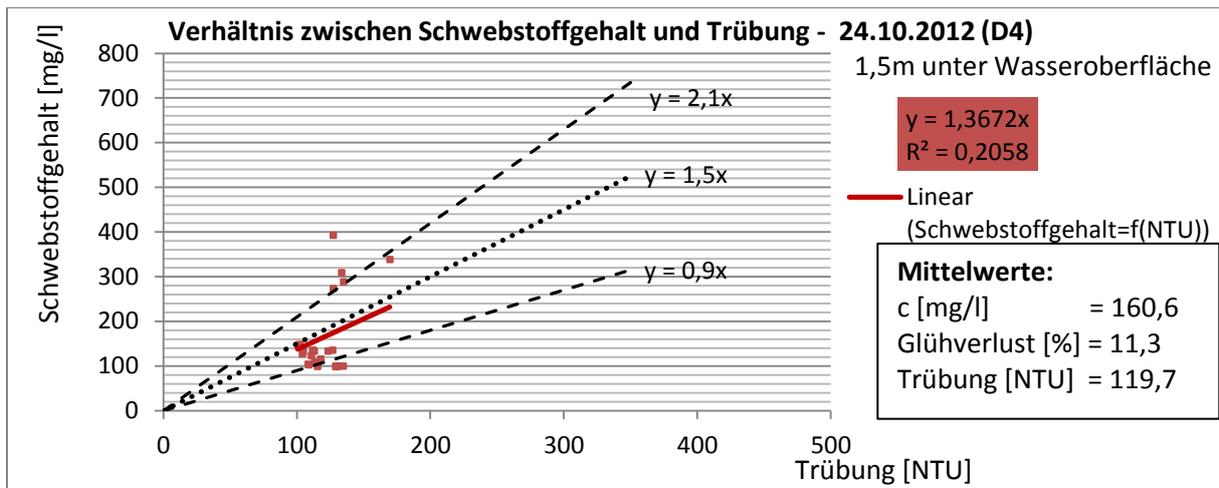


Abbildung 63: Kalibrierfunktion vom 24.10.2012 (1,5m unter Wasseroberfläche)

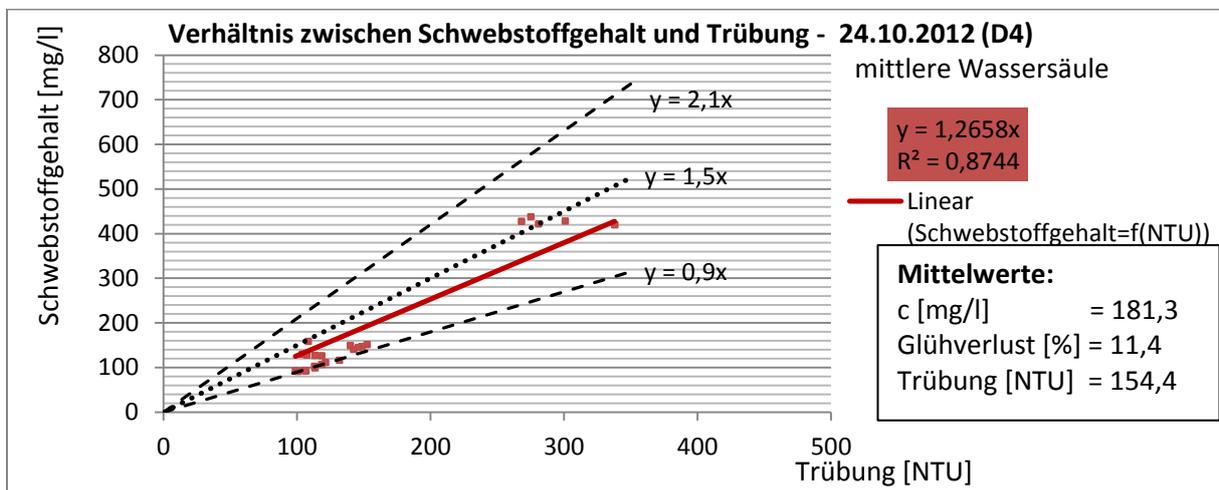


Abbildung 64: Kalibrierfunktion vom 24.10.2012 (mittlere Wassersäule)

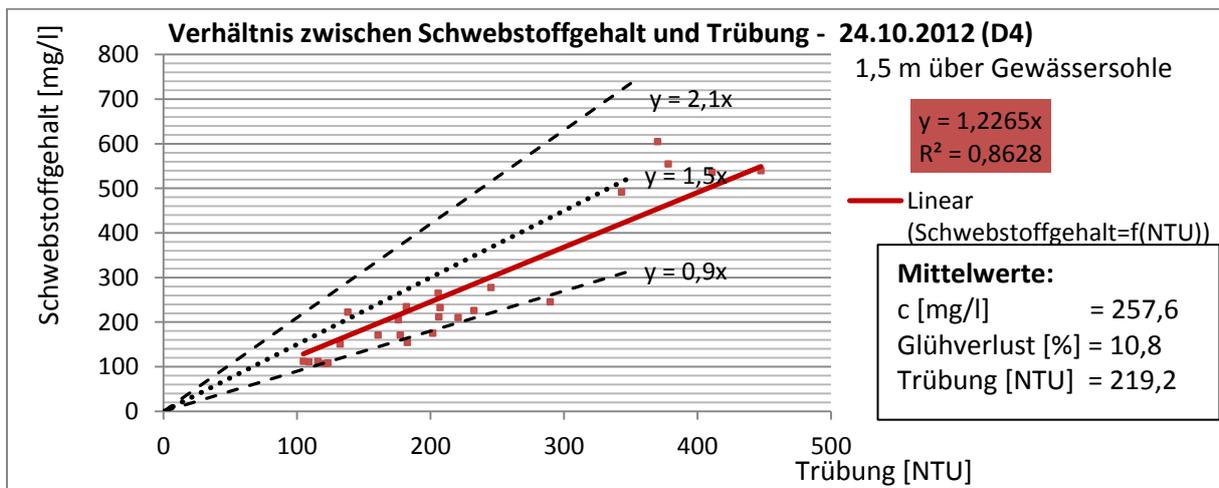


Abbildung 65: Kalibrierfunktion vom 24.10.2012 (1,5m über Gewässersäule)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

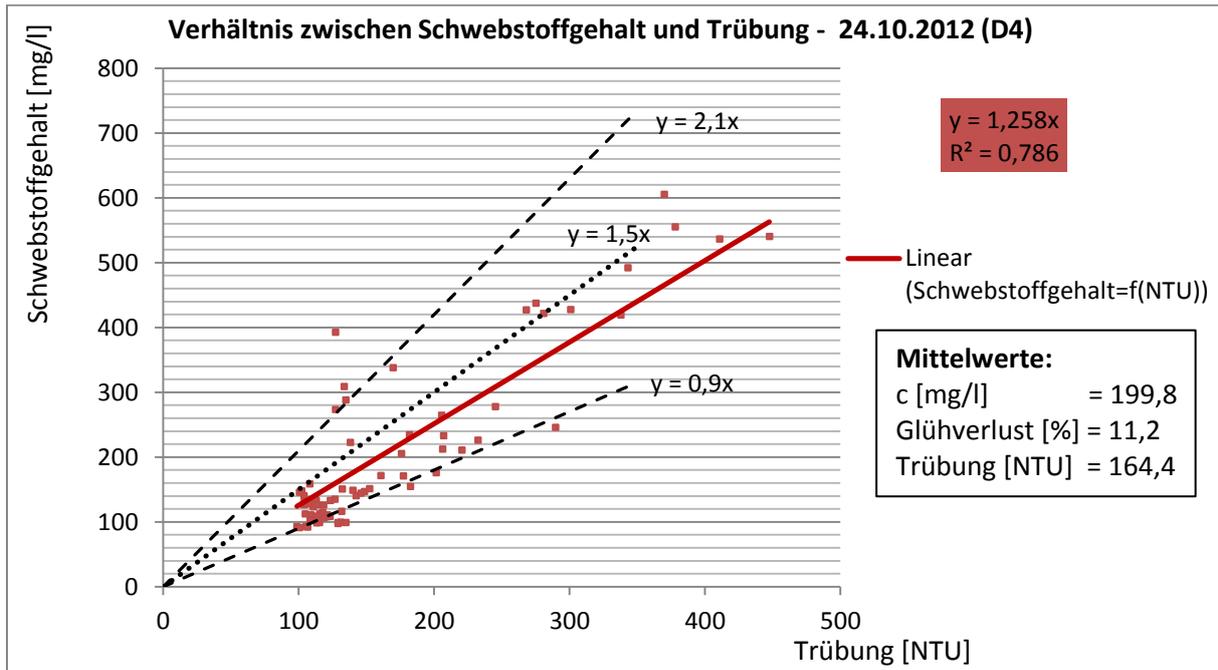


Abbildung 66:
Kalibrierfunktion vom 24.10.2012 für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung:

Die Messung erfolgte am 24.10.2012 von 09.42 Uhr bis 11.26 Uhr (Flut → Ebbe). Die geringste Strömungsgeschwindigkeit am Kenterpunkt wurde gegen 10.30 Uhr gemessen.

In den Abbildung 61 und Abbildung 62 zeigt sich, dass sich die Fließgeschwindigkeiten während der Messphase stark verändern. Das erklärt auch die Gruppierung der hohen Trübungswerte in allen drei Wasserebenen, zeitlich in folgender Grafik für den Sohlenbereich dargestellt:

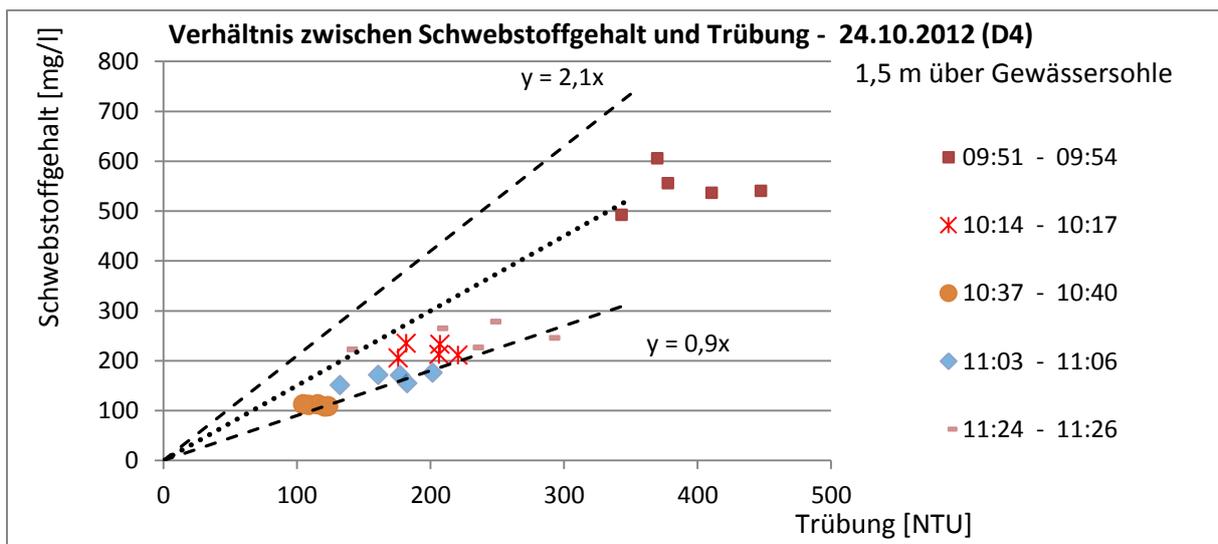


Abbildung 67: Messzeitpunkte

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.2.5. Zusammenstellung der Messwerte vom 13.06.2011 und 24.10.2012

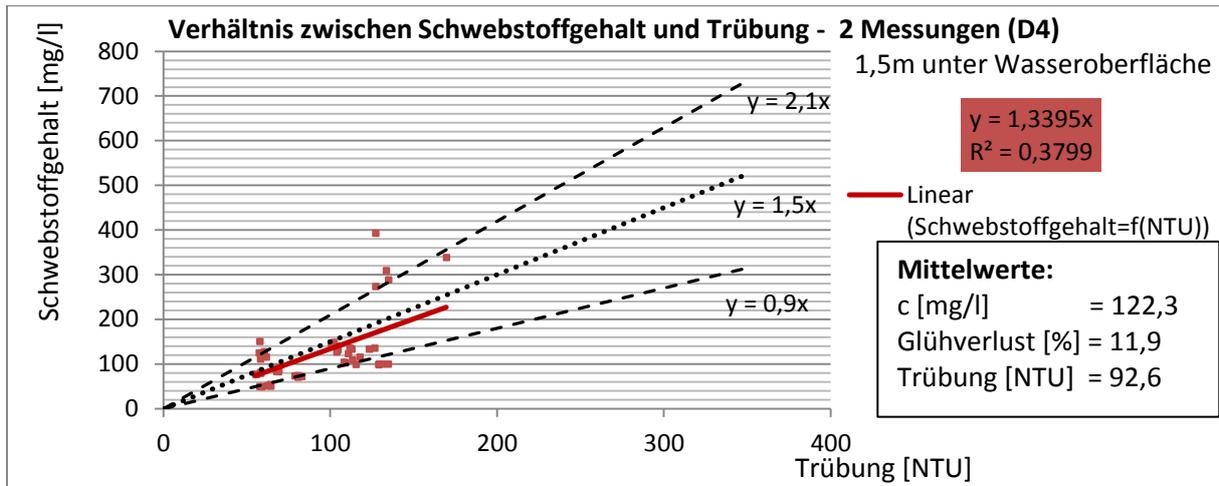


Abbildung 68: Kalibrierfunktion aus 2 Messungen (1,5m unter Wasseroberfläche)

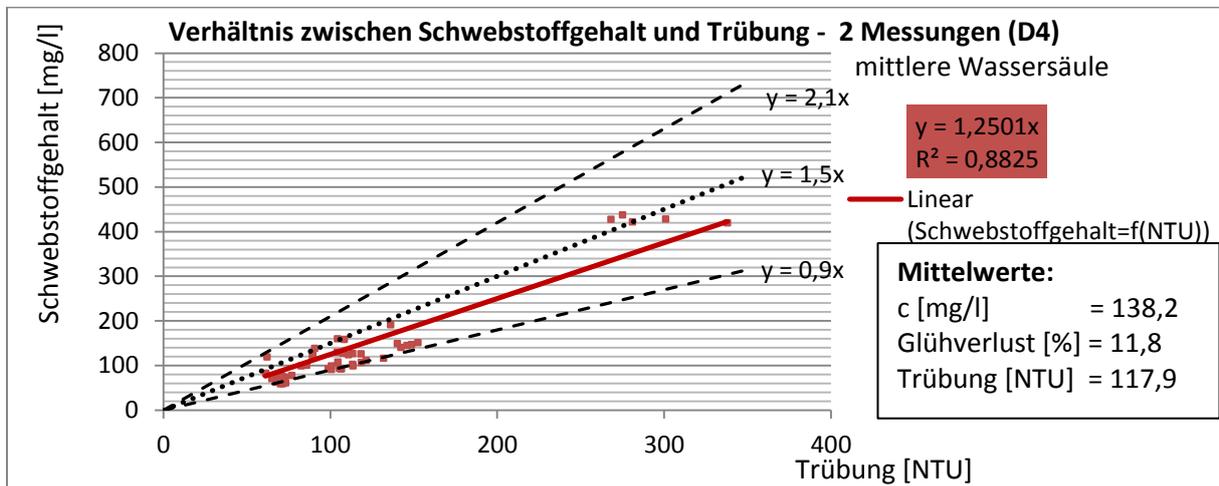


Abbildung 69: Kalibrierfunktion aus 2 Messungen (mittlere Wassersäule)

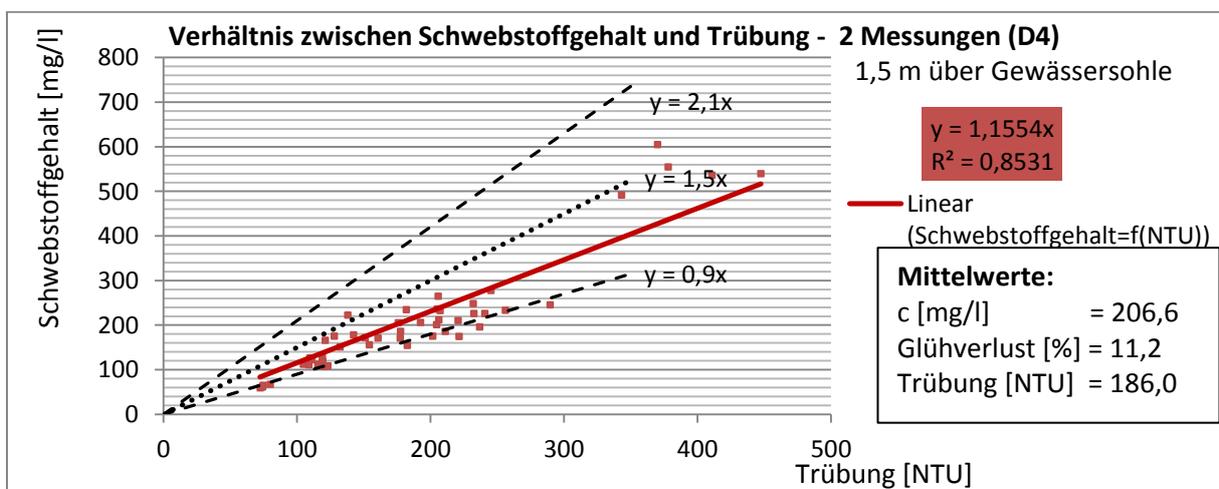


Abbildung 70: Kalibrierfunktion aus 2 Messungen (1,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

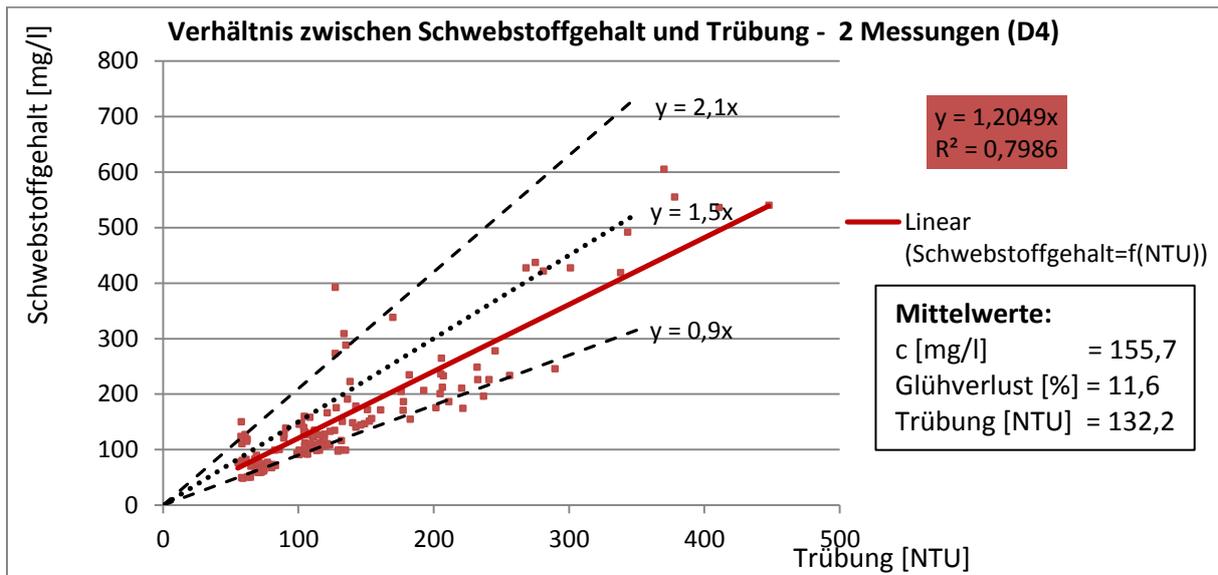


Abbildung 71:
Kalibrierfunktion aus 2 Messungen für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung:

Die ermittelten linearen Kalibrierfunktionen der Dauermessstation D4 liegen wie bei D1 innerhalb des Bereiches der Funktionen, die MAUSHAKE (02/2013) aus Messungen an der Weser ermittelt hat.

Die einzelnen Ausreißer sind zumeist höheren Strömungen zuzuweisen, bei denen es möglich ist, dass feine Schluffteilchen nicht komplett von der Trübungssonde erkannt wurden. Nachfolgend, sind in Abbildung 72 wie schon bei der Komplettauswertung für D1, alle Trübungswerte während der Stauwasserzeit dargestellt (20 Minuten vor und nach dem Kenterpunkt). Hier ist erkennbar, dass grundsätzlich weniger (D1) bzw. keine (D4) Ausreißer nach oben vorliegen. Die Steigungen der Kalibrierfunktionen sind entsprechend geringer.

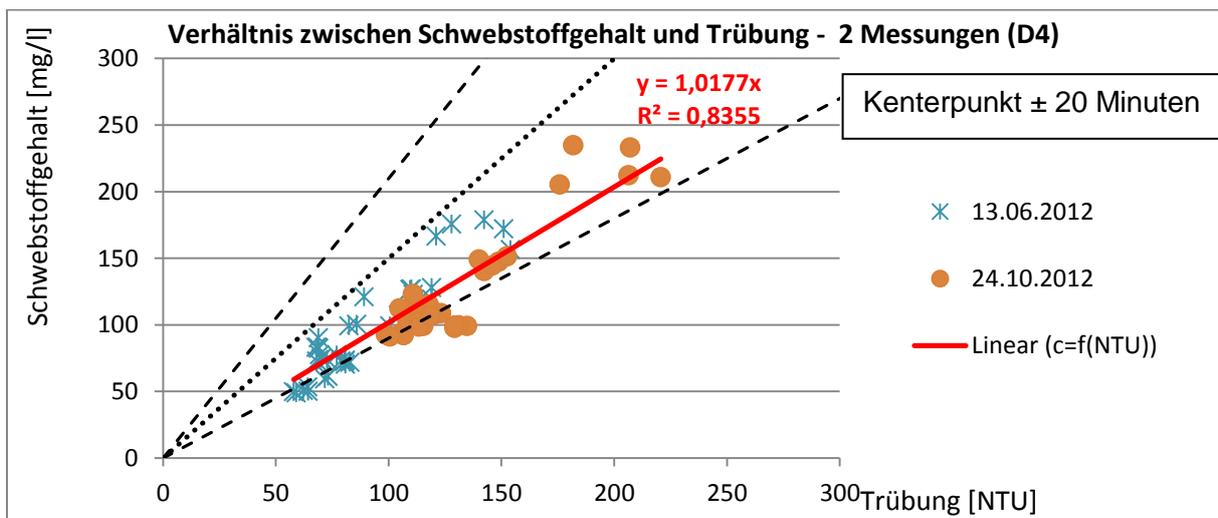


Abbildung 72:
70 Wertepaare von 2 Messtagen, Kenterpunkt ± 20 Minuten, OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.3. Kalibrierfunktionen D1 und D4

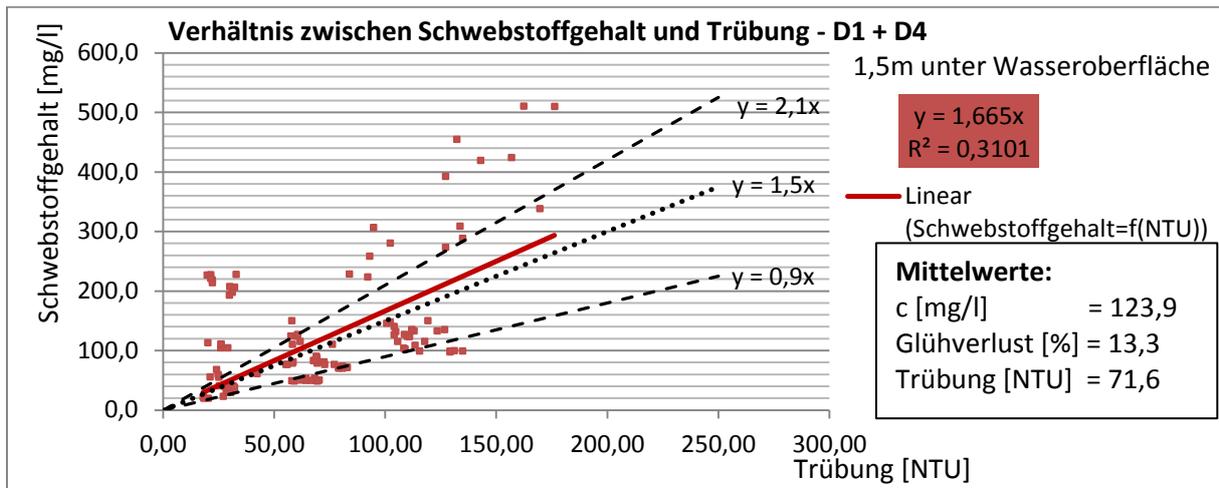


Abbildung 73: Kalibrierfunktion aus 5 Messungen (1,5m unter Wasseroberfläche)

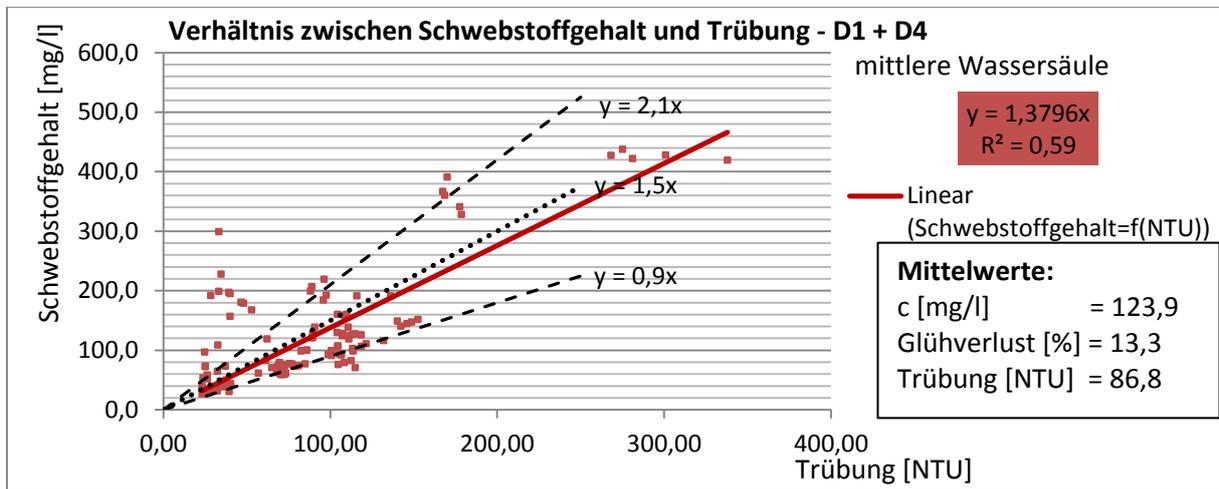


Abbildung 74: Kalibrierfunktion aus 5 Messungen (mittlere Wassersäule)

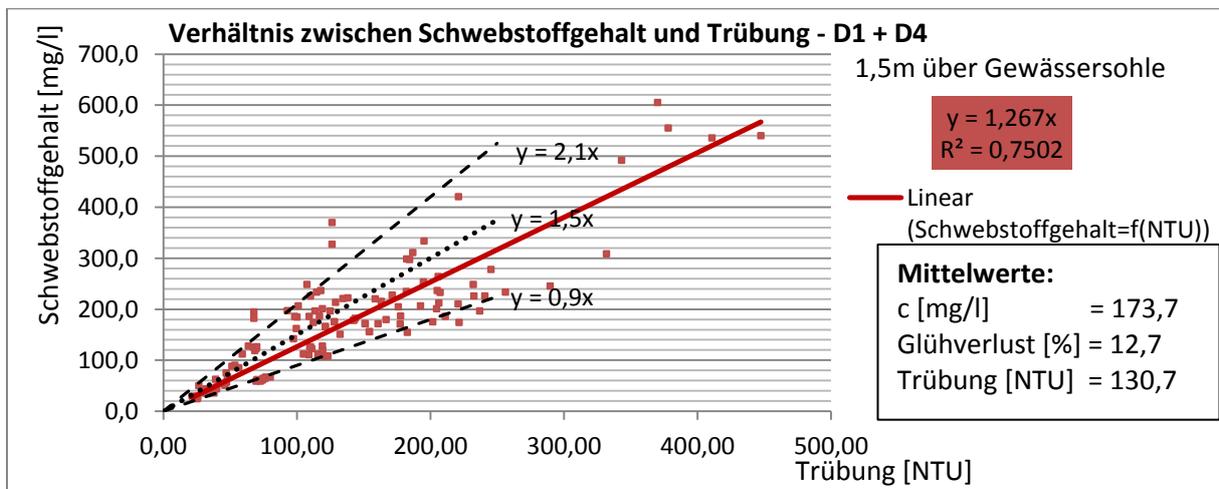


Abbildung 75: Kalibrierfunktion aus 5 Messungen (1,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

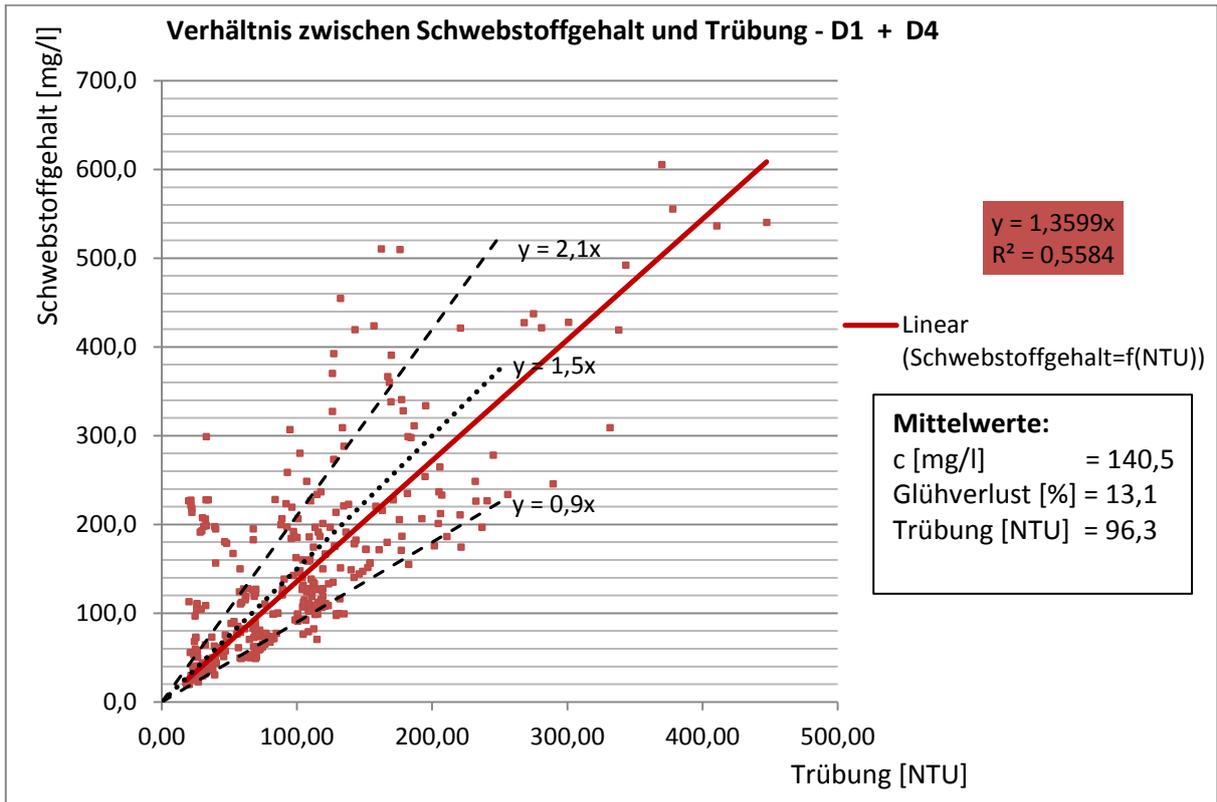


Abbildung 76:
Kalibrierfunktion aus 5 Messungen für OW-1,5m, mWS und Sohle+1,5m

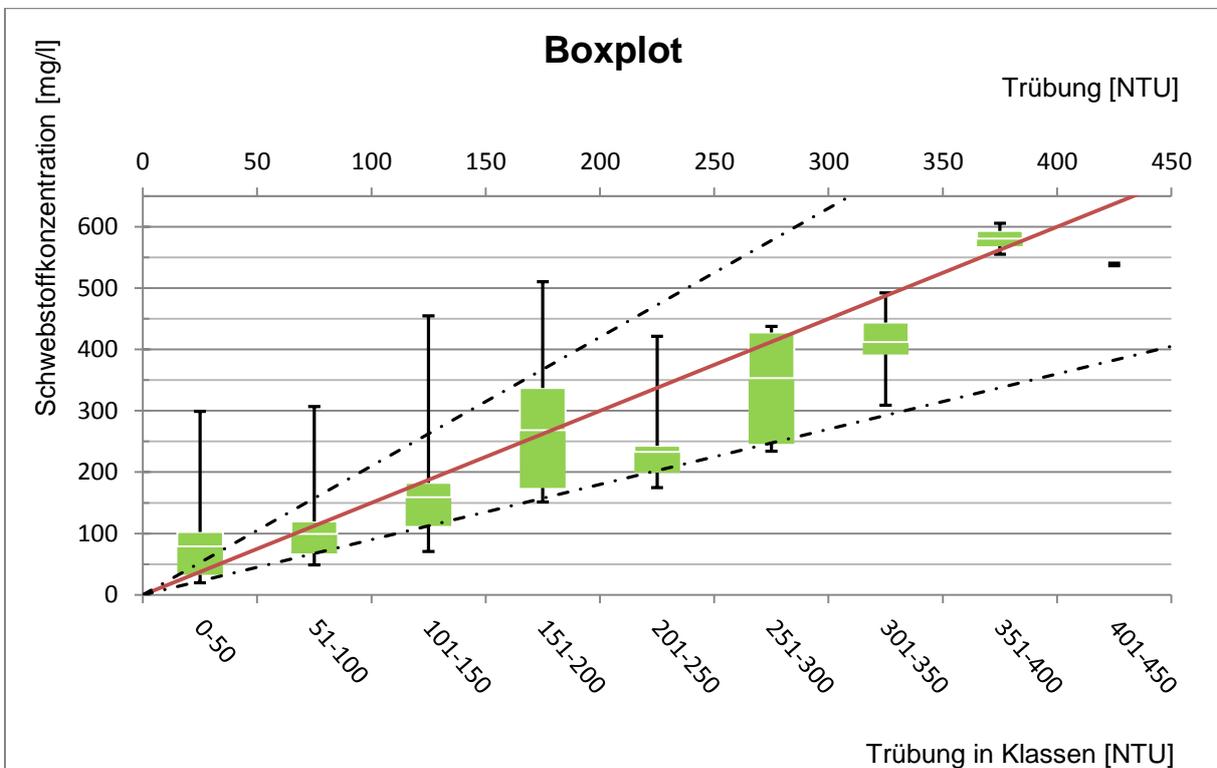


Abbildung 77: Boxplot aus 5 Messungen

Auswertung:

Für die beiden Dauermessstationen D1 und D4 wurden insgesamt 375 Schwebstoffproben an fünf Messtagen genommen. Davon haben zwei keine plausiblen Werte und wurden für alle Berechnungen nicht betrachtet.

Um einen weiter vertieften Überblick für die restlichen Werte zu bekommen, wurde in Abbildung 77 ein Boxplot mit oberem und unterem Quartil (Abbildung 78) dargestellt sowie wiederum die „Weser-Funktionen“ von MAUSHAKE (11/2011) hinterlegt.

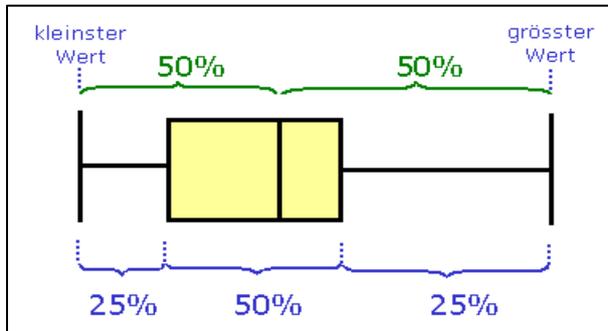


Abbildung 78: Beispiel Boxplot
www.mesosworld.ch

Des Weiteren beschreibt Abbildung 79 die prozentuale Verteilung der 373 Trübungswerte in einem Kreisdiagramm. Die Trübungsklasse 0-50 NTU liegt als einzige Klasse im Boxplot (Abbildung 77) außerhalb der Kalibrierfunktionen. Da diese noch den zweitstärksten Anteil aller Messwerte besitzt, sollten weitere Untersuchungen, wie zum Beispiel

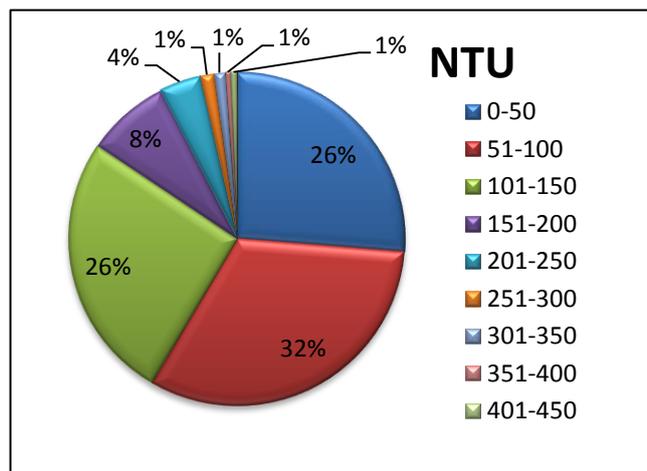


Abbildung 79:
prozentuale Einteilung der 373 Trübungswerte

Problematik der ggf. schlechteren optischen Erfassung der fein verteilten Teilchen, insbesondere bei zunehmenden Strömungsgeschwindigkeiten, erfolgen. Grundsätzlich kann aber bereits jetzt festgehalten werden, dass für den Amtsbereich Hamburg bzw. die Messstationen D1 und D4 gleiche Kalibrierfunktionen wie die von MAUSHAKE (2011) an der Weser ermittelt zur Anwendung kommen können. Die starken Streuungen im unteren Messbereich wirken sich mathematisch gesehen nicht signifikant auf die Gesamtsteigung der linearen Kalibrierfunktion aus. Zur weiteren Verifizierung wären hier eher mehr Wertepaare mit hohen Trübungswerten / Schwebstoffgehalten erforderlich.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

4.2.4. Messstation LZ1

Schwebstoffmessung von 9.39 Uhr bis 13.32 Uhr

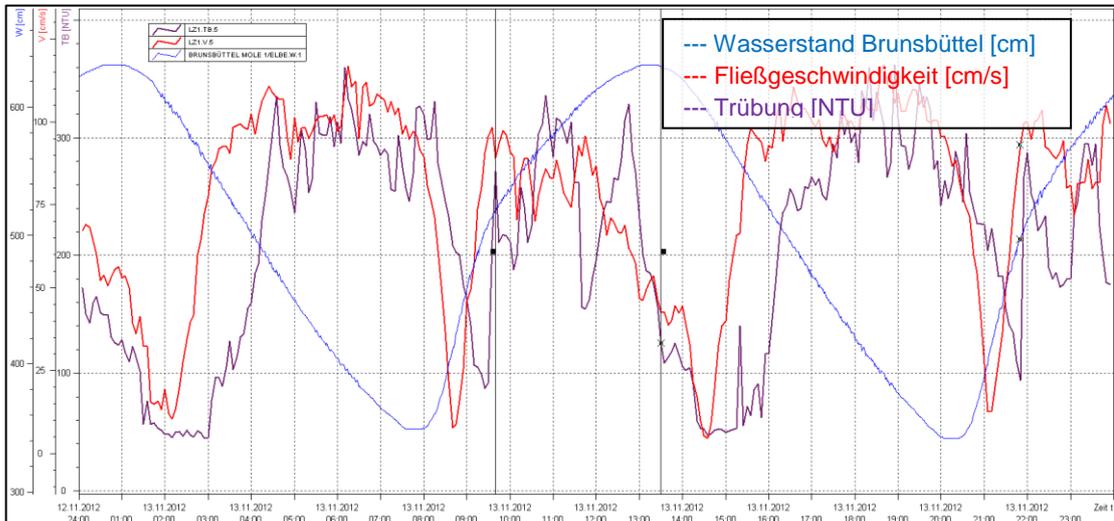


Abbildung 80: LZ1-Werte vom 13.11.2012 (2,5m über Gewässersohle)

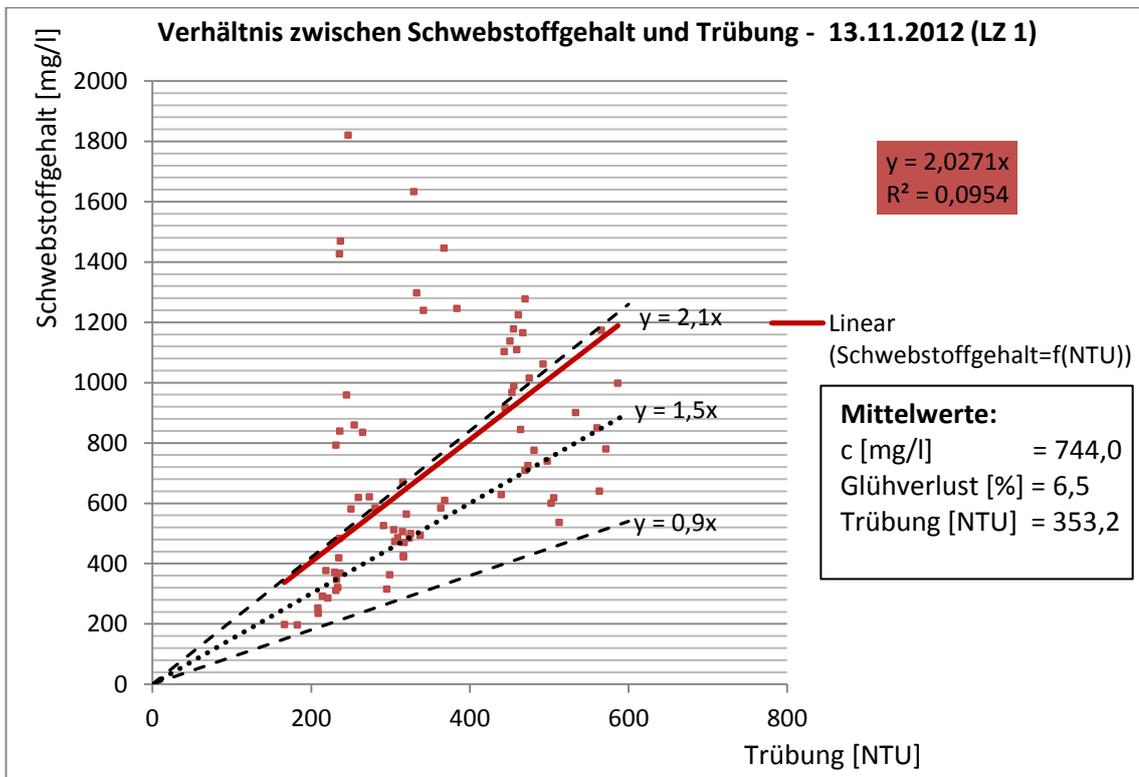


Abbildung 81: LZ 1 - Kalibrierfunktion vom 13.11.2012 (2,5m über Gewässersohle)

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Auswertung:

Bei der Dauermessstation LZ1 wurden 75 Proben in einem Zeitraum von 09.39 Uhr bis 13.32 Uhr genommen (Ebbe → Flut). Alle Werte wurden in einer Wasserspiegellage von 2,5 m über der Gewässersohle genommen.

Im Vergleich zu den Ergebnissen von D1 und D4 wurden deutlich höhere Schwebstoffkonzentrationen erfasst, wobei festzuhalten ist, dass bei im Mittel höheren Strömungsgeschwindigkeiten und ausschließlich bodennah beprobt wurde.

In Abbildung 80 sind deutliche Schwankungen bei Fließgeschwindigkeit und Trübung zu erkennen. Im Unterschied zu den Messungen D1 und D4 wurde nicht am Kenterpunkt gemessen, der gegen 14.30 Uhr eingetroffen wäre. Um die Messungen am Messpfahl zeitlich einordnen zu können, wurden diese in Abbildung 82 farblich voneinander getrennt.

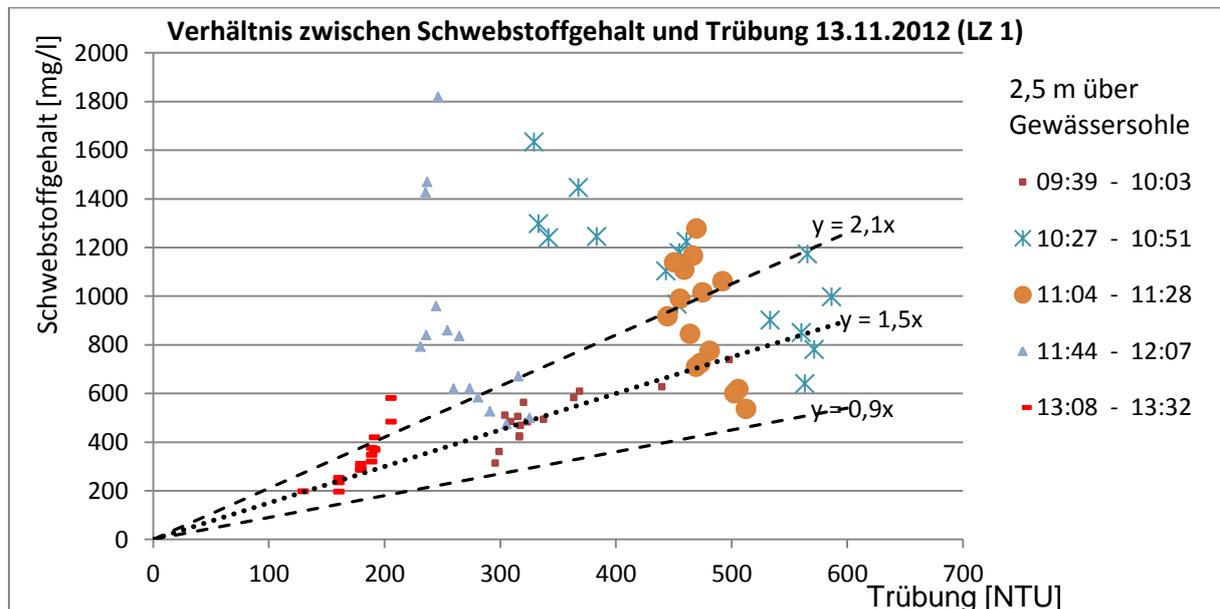


Abbildung 82: Messzeitpunkte Messpfahl LZ1

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Durch einen Vergleich von Fließgeschwindigkeit am Messzeitpunkt ist Folgendes zu erkennen:

- Von 09:39 Uhr bis 10:03 Uhr herrschte die höchste Fließgeschwindigkeit, des Weiteren liegen im Durchschnitt mittlere Trübungswerte vor. In dieser Zeitspanne sind keine Messungen außerhalb der Kalibrierfunktion.
- Von 10:27 Uhr bis 10:51 Uhr liegt die größte Streuung vor, ggf. zu erklären durch die Aufwirbelung flockiger aber auch vieler feiner Sedimente, die die Trübungssonde nicht vollständig erfasst. Ebenfalls sind hier die größten (> 515 NTU) Trübungswerte gemessen worden, die sich in den Bereichen der Kalibrierfunktionen $1,5 (\pm 0,6) \times$ befinden.
- In der Zeitspanne von 11:04 Uhr bis 11:28 Uhr wurden Trübungswerte in einer schmalen Bandbreite von $444 - 512$ NTU gemessen, wobei aber eine große Differenz in der Schwebstoffkonzentration besteht.
- Zwischen 11:44 Uhr und 12:07 Uhr sinken die Trübungswerte, aber die Schwebstoffkonzentrationen steigen. Zu diesem Zeitpunkt verringert sich die Fließgeschwindigkeit kontinuierlich bis zum Kenterpunkt.
- Von 13:08 Uhr bis 13:32 Uhr herrschte die geringste Fließgeschwindigkeit. In dieser Zeitspanne sind drei Messungen außerhalb der maximalen Kalibrierfunktion.

Ein Fazit für die Messung bei LZ1 ist nur mit vielen Annahmen zu treffen, da nur ein Messtag für die Auswertung der Daten, statistisch gesehen, zu wenig ist. Das Beispiel LZ1 zeigt aber recht deutlich, dass bei der Aufwirbelung von Sedimenten und entsprechend hohen Strömungsgeschwindigkeiten tendenziell anscheinend zu geringe Trübungen gemessen werden (schlechtere Rückstreuung des ausgesendeten Lichtes). Dies konnte auch bereits in den vorangegangenen Betrachtungen für in der Wassersäule fein verteilte Schwebstoffe festgestellt werden. Festzuhalten ist dazu, dass am Messtag bei LZ1 ein eher geringer Organikgehalt vorlag, es sich also auch hier eher um weniger flockige Schwebstoffe handelte.

4.2.5. Ergebniszusammenstellung und Vergleich

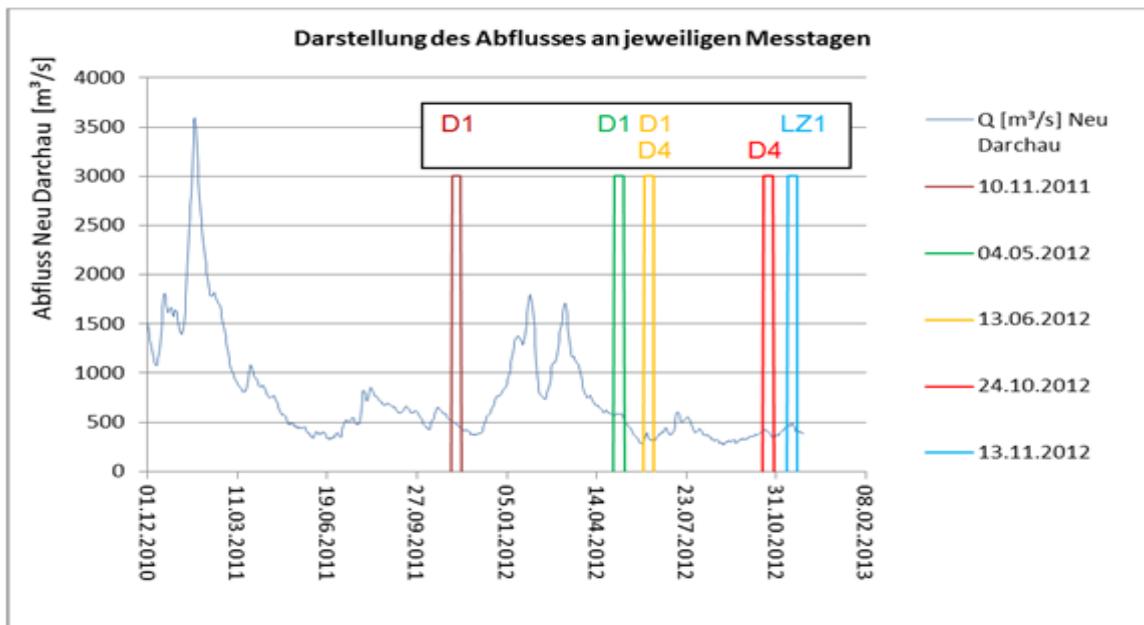


Abbildung 83: Darstellung des Abflusses am jeweiligen Messtag

Die diskutierten Ergebnisse zeigen, dass es - abhängig von der verwendeten Datenbasis - zu erheblichen Schwankungsbreiten bei den Kalibrierfunktionen kommt. Grundsätzlich kann aber der von MAUSHAKE (2011) für die Weser ermittelte mittlere Kalibrierfaktor von 1,5 auch für die Tideelbe Anwendung finden, um die Trübungswerte der Seapoint-Sensoren in Schwebstoffgehalte umzurechnen. Dabei ist stets zu vermitteln, dass es sich hier um eine Abschätzung handelt und die tatsächlichen Werte um 30 bis 40% nach oben und unten abweichen können.

Nachfolgend sind die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Kalibriermessungen nochmals kurz zusammengestellt. Zu empfehlen sind weitere Messungen, insbesondere bei höheren Oberwasserabflüssen, um die Datengrundlage für die verwendeten Kalibrierfunktionen weiter zu verbessern. Auf Grundlage der bisherigen Messungen ergeben sich folgende Umrechnungsfaktoren bzw. Schwankungsbreiten für die Umrechnung an den einzelnen Messstationen:

D1 Oberfläche: 1,5 bis 3

D1 Sohle: 1,5

D4 Oberfläche: 1,25 bis 1,5

D4 Sohle: 1,0 bis 1,5

LZ1: 2,03

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Mit Ausnahme von D1 Oberfläche liegen alle Werte im vorgenannten Schwankungsbereich, Werte mit zu geringer Datenbasis wurden vernachlässigt. Die höhere Abweichung bei D1 Oberfläche ist – wie mehrfach diskutiert - voraussichtlich auf die unzureichende Erfassung fein verteilter Teilchen in der Wassersäule zurückzuführen (eingeschränkte Rückstreuung des ausgesendeten Lichtsignals).

Tabelle 1: ermittelte Werte, D1, 10.11.2011

		10.11.2011		
		1,5m unter Wasseroberfläche	mittlere Wassersäule	1,5m über Gewässersohle
Mittelwert	c [mg/l]	200,3	165	157,1
	Glühverlust [%]	14,5	14,5	14,2
	Trübung [NTU]	67,6	75,4	105,1
	Temp [°C]	9,04	9,19	9,2
	Q [m³/s]	480		
	Salzgehalt [ppt]	0,47		
ermittelte Funktion		Y = 2,96 x	Y = 2,13 x	Y = 1,51 x
ermittelte Funktion		Y = 2,02 x		

Tabelle 2: ermittelte Werte, D1, 04.05.2012

		04.05.2012		
		1,5m unter Wasseroberfläche	mittlere Wassersäule	1,5m über Gewässersohle
Mittelwert	c [mg/l]	90,1	83,1	138,4
	Glühverlust [%]	16	16,4	15,1
	Trübung [NTU]	24,7	30	80,8
	Temp [°C]	14,58	14,63	14,55
	Q [m³/s]	570		
	Salzgehalt [ppt]	0,43		
ermittelte Funktion		Y = 3,36 x	Y = 2,77 x	Y = 1,54 x
ermittelte Funktion		Y = 1,73 x		

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Tabelle 3: ermittelte Werte, D1, 13.06.2012

	D1-Messung	13.06.2012		
		1,5m unter Wasseroberfläche	mittlere Wassersäule	1,5m über Gewässersohle
Mittelwert	c [mg/l]	84,1	95	155,5
	Glühverlust [%]	12,4	12,2	11,6
	Trübung [NTU]	80,4	93	100,8
	Temp [°C]	16,4	16,44	16,47
	Q [m³/s]	319		
	Salzgehalt [ppt]	2,7		
ermittelte Funktion		Y = 1,06 x	Y = 1,03 x	Y = 1,53 x
ermittelte Funktion		Y = 1,24 x		

Tabelle 4: ermittelte Werte, D4, 13.06.2012

	D4-Messung	13.06.2012		
		1,5m unter Wasseroberfläche	mittlere Wassersäule	1,5m über Gewässersohle
Mittelwert	c [mg/l]	84,1	95	155,5
	Glühverlust [%]	12,4	12,2	11,6
	Trübung [NTU]	65,5	81,3	152,7
	Temp [°C]	16,42	16,53	16,53
	Q [m³/s]	319		
	Salzgehalt [ppt]	2,71		
ermittelte Funktion		Y = 1,25 x	Y = 1,18 x	Y = 1,00 x
ermittelte Funktion		Y = 1,06 x		

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Tabelle 5: ermittelte Werte, D4, 24.10.2012

		24.10.2012		
		1,5m unter Wasseroberfläche	mittlere Wassersäule	1,5m über Gewässersohle
Mittelwert	c [mg/l]	160,6	181,3	257,6
	Glühverlust [%]	11,3	11,4	10,8
	Trübung [NTU]	119,7	154,4	219,2
	Temp [°C]	12,45	12,55	12,57
	Q [m ³ /s]	387		
	Salzgehalt [ppt]	1,78		
ermittelte Funktion		Y = 1,37 x	Y = 1,27 x	Y = 1,23 x
ermittelte Funktion		Y = 1,26 x		

Tabelle 6: ermittelte Werte, LZ1, 13.11.2012

		13.11.2012
		2,5m über Gewässersohle
Mittelwert	c [mg/l]	744
	Glühverlust [%]	6,5
	Trübung [NTU]	353,2
	Temp [°C]	8,72
	Q [m ³ /s]	480
	Salzgehalt [ppt]	5,4
ermittelte Funktion		Y = 2,03 x

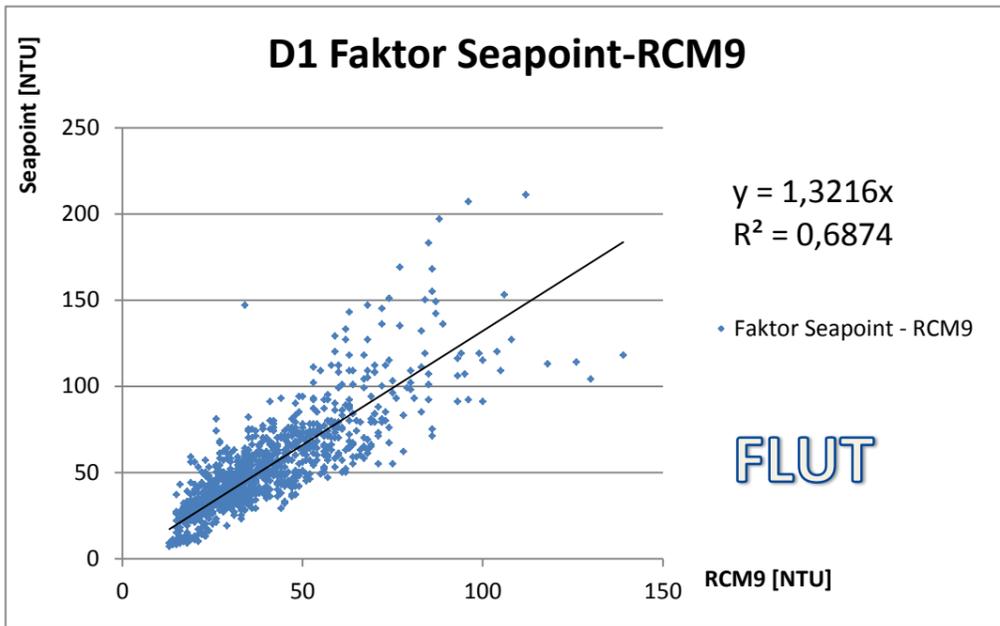
5. Zeitreihen zum Schwebstoffgehalt für dem Zeitraum 2006 bis 2012

Für die Ermittlung von Schwebstoffgehaltszeitreihen für den Zeitraum 2006 bis 2012 wurden zum Abschluss der vorliegenden Arbeit alle bisherigen Trübungswerte für D1/D1+ sowie D4/D4+ in Schwebstoffkonzentrationen umgerechnet. Als Basis dienten zunächst die in Kapitel 3 diskutierten Trübungszeitreihen für die RCM9-Sensoren, sowie der in Kapitel 4 dieser Arbeit ermittelte „abschätzende“ Umrechnungsfaktor für die Seapoint-Sensoren.

Um die Trübungswerte der RCM9-Geräte denen der Seapoint-Sonden anzugleichen, wurden Umrechnungsfunktionen aus den Messungen bei D1 und D1+ bzw. D4 und D4+ bestimmt. Dabei wurden die Trübungswerte der Dauermessstation D1 bzw. D4 (Seapoint-Sensor) D1+ bzw. D4+ (RCM9-)Trübungswerten gegenübergestellt und Regressionsfunktionen gebildet. Das jeweilige Ergebnis wurde mit dem Trübungsfaktor 1,5 der Seapoint-Sonden multipliziert, um Schwebstoffzeitreihen für die RCM9-Geräten zu erhalten.

Zu beachten ist, dass alle Berechnungen anhand von Mittelwerten erfolgten und demzufolge die Resultate mit entsprechenden Schwankungsbreiten behaftet sind.

Die folgenden Abbildungen stellen die Ergebnisse graphisch und tabellarisch dar. Angemerkt sei, dass alle ebenfalls ermittelten, direkten Umrechnungsfaktoren RCM9-Trübung in Schwebstoffgehalt sich innerhalb des von MAUSHAKE (2011) an der Weser für RCM9-Trübungs sonden ermittelten Schwankungsbereiches befinden (vgl. Abbildung 27 in Abschnitt 4.2). Deutliche Abweichungen sind wiederum bei D1 bzw. D1+ Oberfläche (Faktor 1,8 – 2; vgl. Diskussion in Kapitel 4), alle anderen Umrechnungsfaktoren liegen im Bereich von 2,3 bis 2,8 (MAUSHAKE, 2011 / Weser: $3,0 \pm 1,2$).



D1 / D1+

1,5 m unter Wasseroberfläche / FLUT

Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012

	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor FLUT:	1,3216	
Umrechnungsfaktoren FLUT:	1,9824	1,5

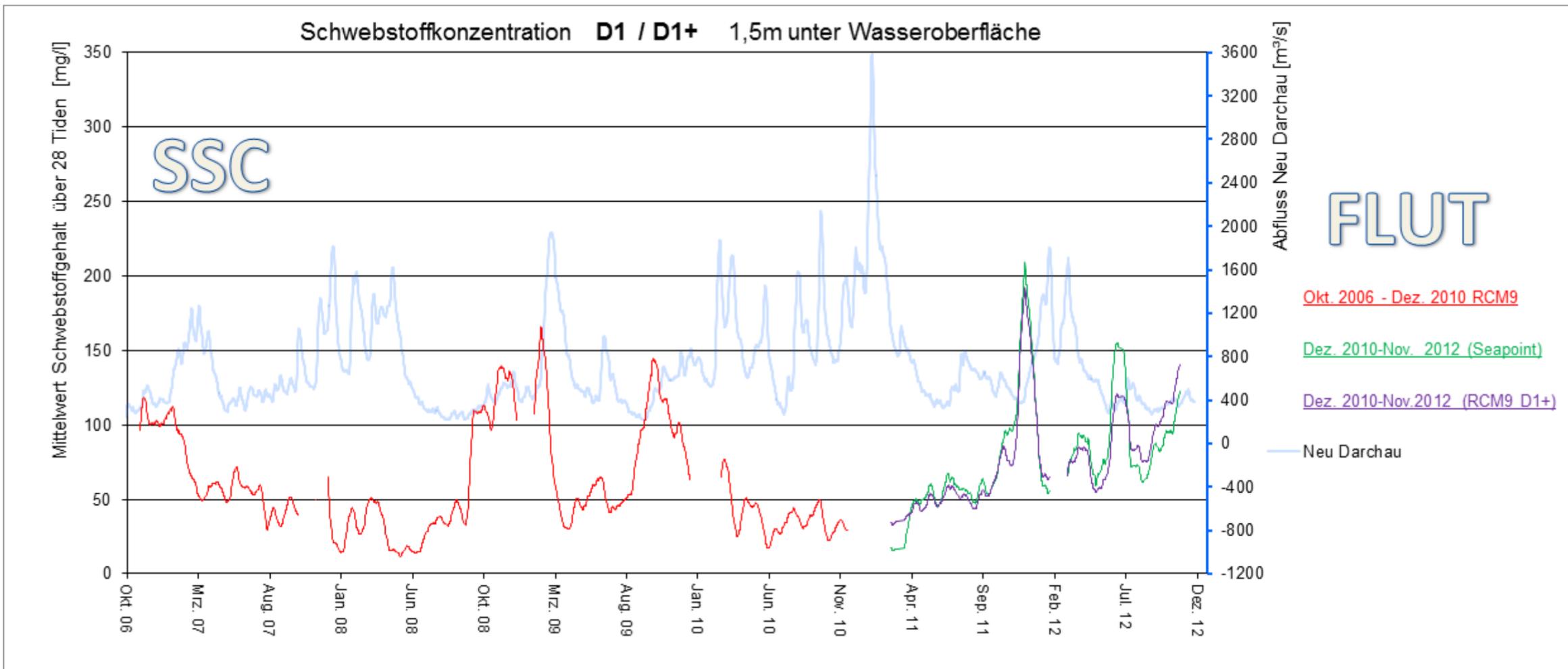
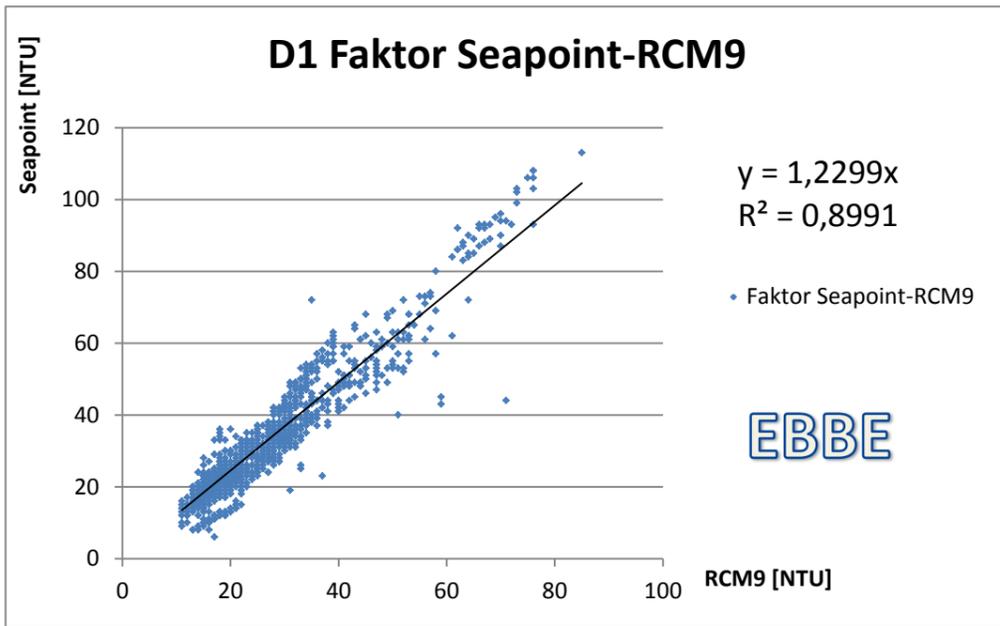


Abbildung 84:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012,
D1 / D1+ , 1,5m unter Wasseroberfläche, Flut

D1 / D1+

1,5 m unter Wasseroberfläche / EBBE

Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012



	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor EBBE:	1,2299	
Umrechnungsfaktoren EBBE:	1,84485	1,5

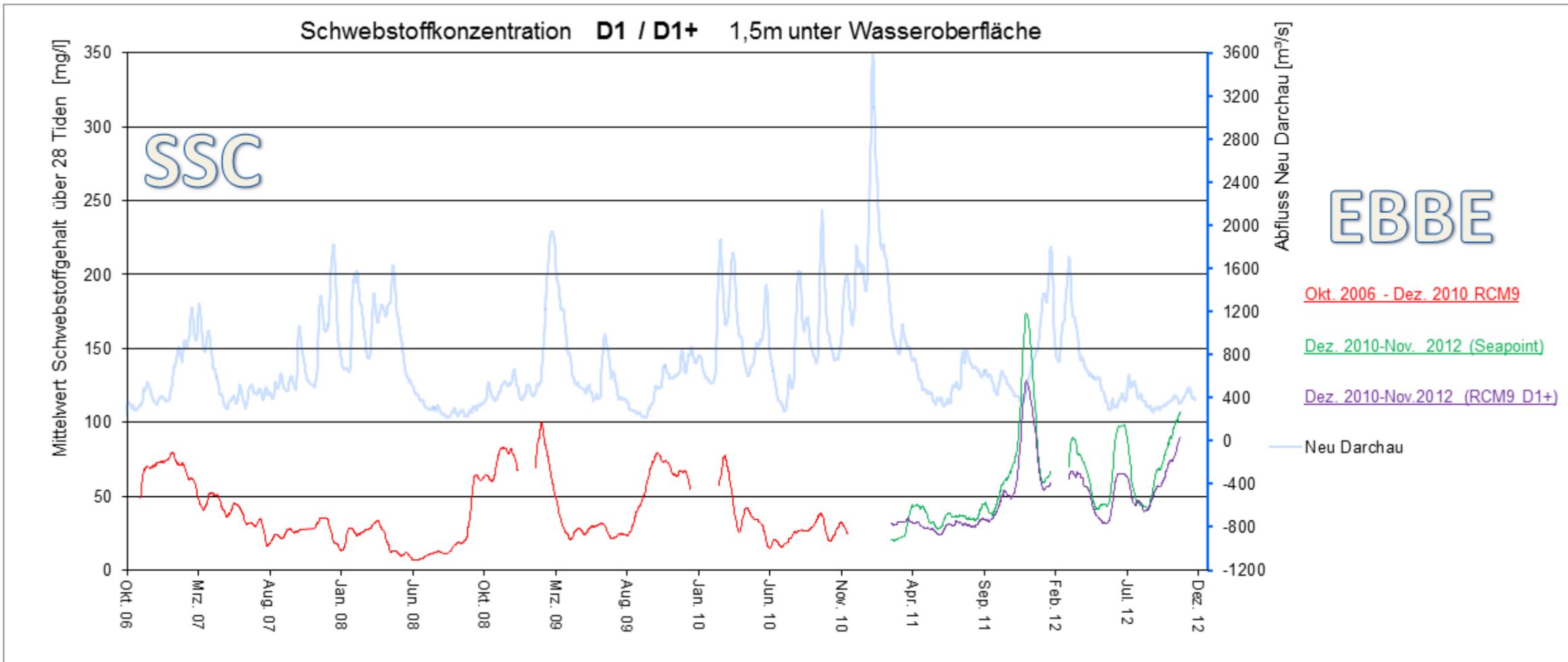
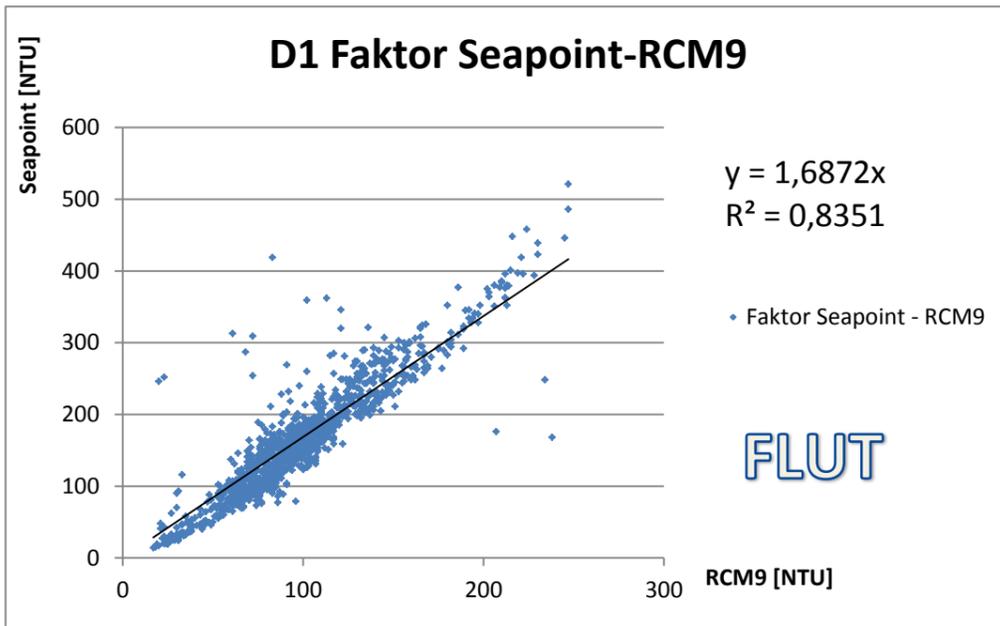


Abbildung 85:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012,
D1 / D1+ , 1,5m unter Wasseroberfläche, Ebbe

D1 / D1+

1,5 m über Gewässersohle / FLUT

Schwebstoffkonzentration [mg/l] von April 2005 bis November 2012



	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor FLUT:	1,6872	
Umrechnungsfaktoren FLUT:	2,5308	1,5

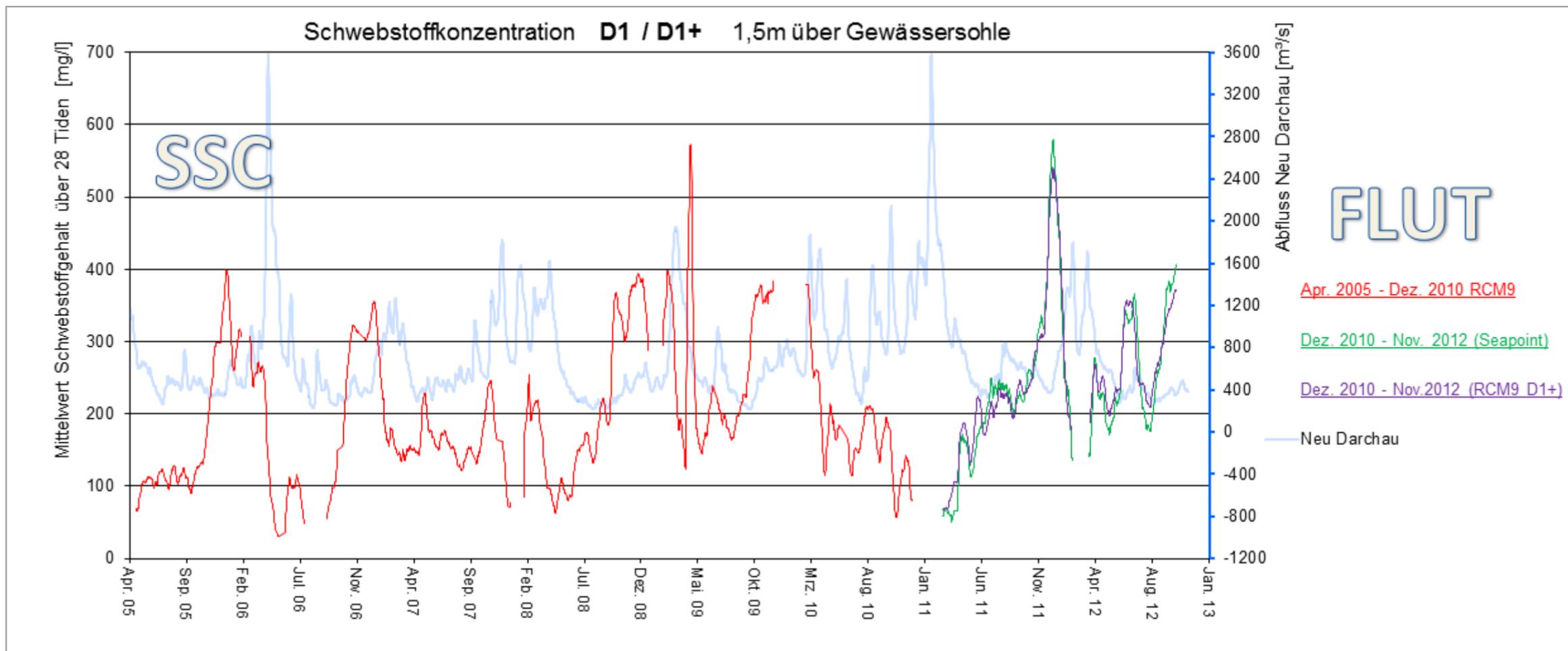
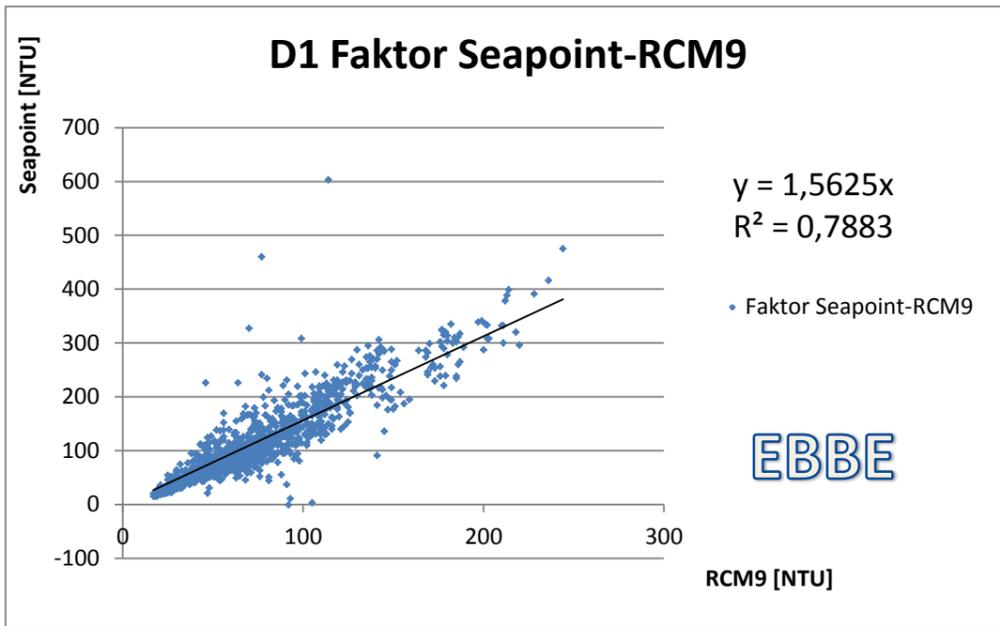


Abbildung 86:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von April 2005 bis November 2012,
D1 / D1+ , 1,5m über Gewässersohle, Flut

D1 / D1+

1,5 m über Gewässersohle / EBBE



Schwebstoffkonzentration [mg/l] von April 2005 bis November 2012

	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor EBBE:	1,5625	
Umrechnungsfaktoren EBBE:	2,34375	1,5

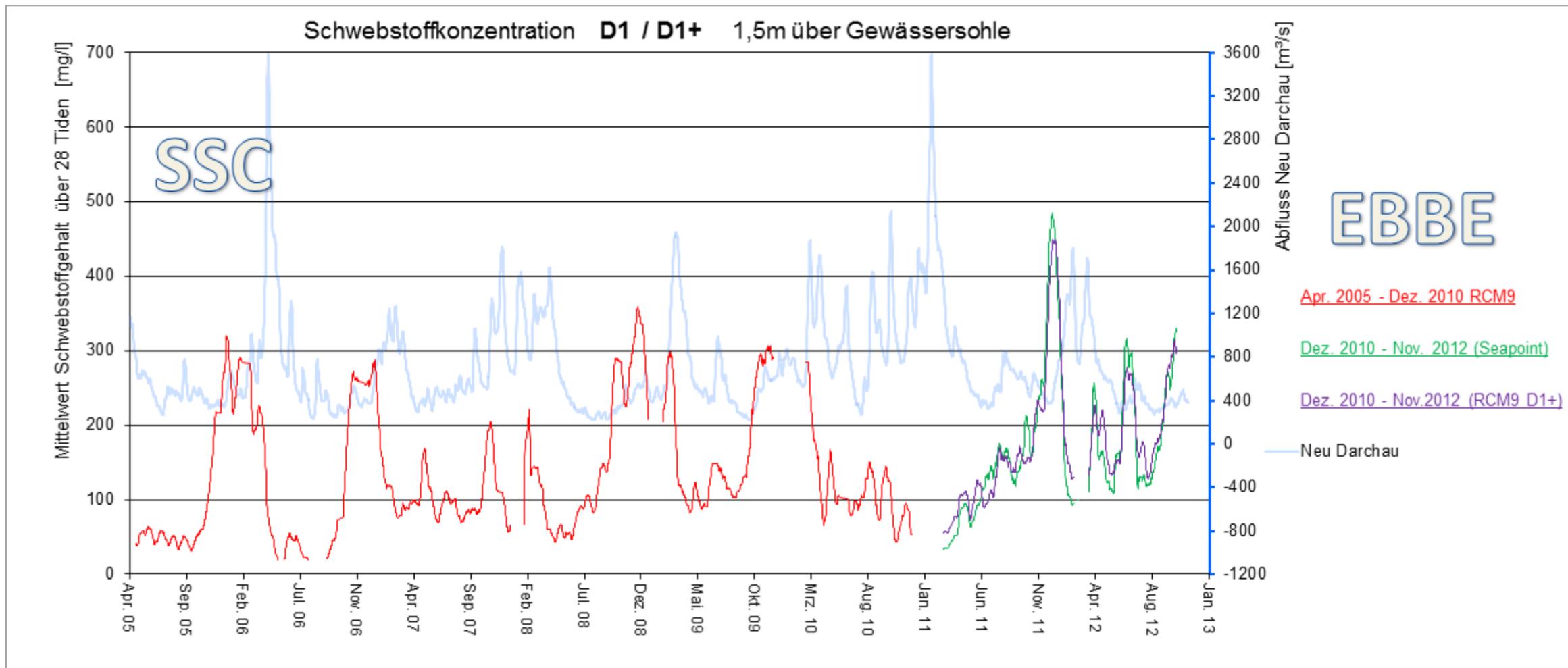
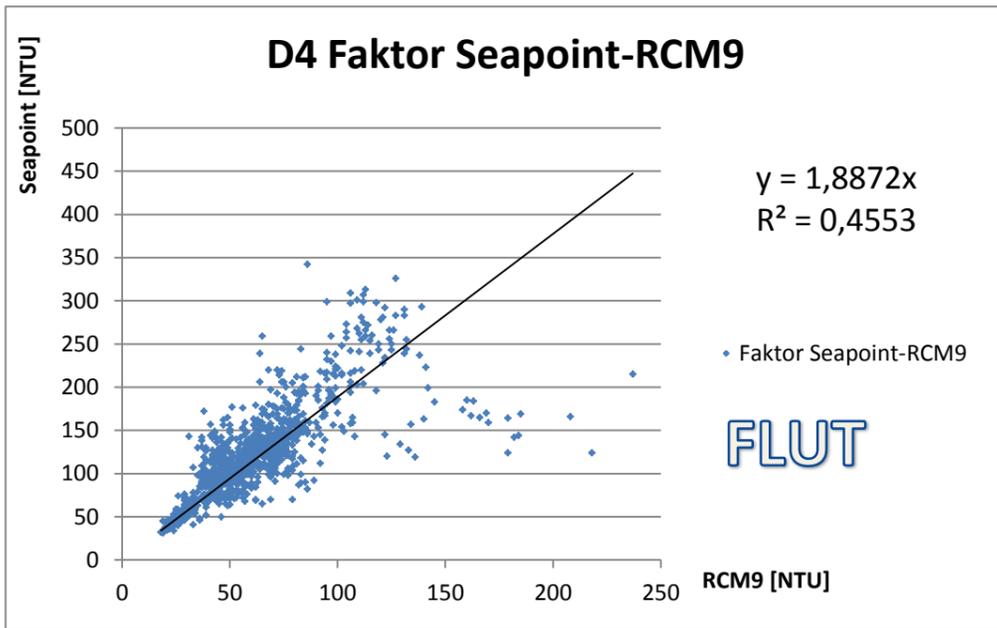


Abbildung 87:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von April 2005 bis November 2012,
D1 / D1+ , 1,5m über Gewässersohle, Ebbe

D4 / D4+

1,5 m unter Wasseroberfläche / FLUT

Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012



	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor FLUT :	1,8872	
Umrechnungsfaktoren FLUT:	2,8308	1,5

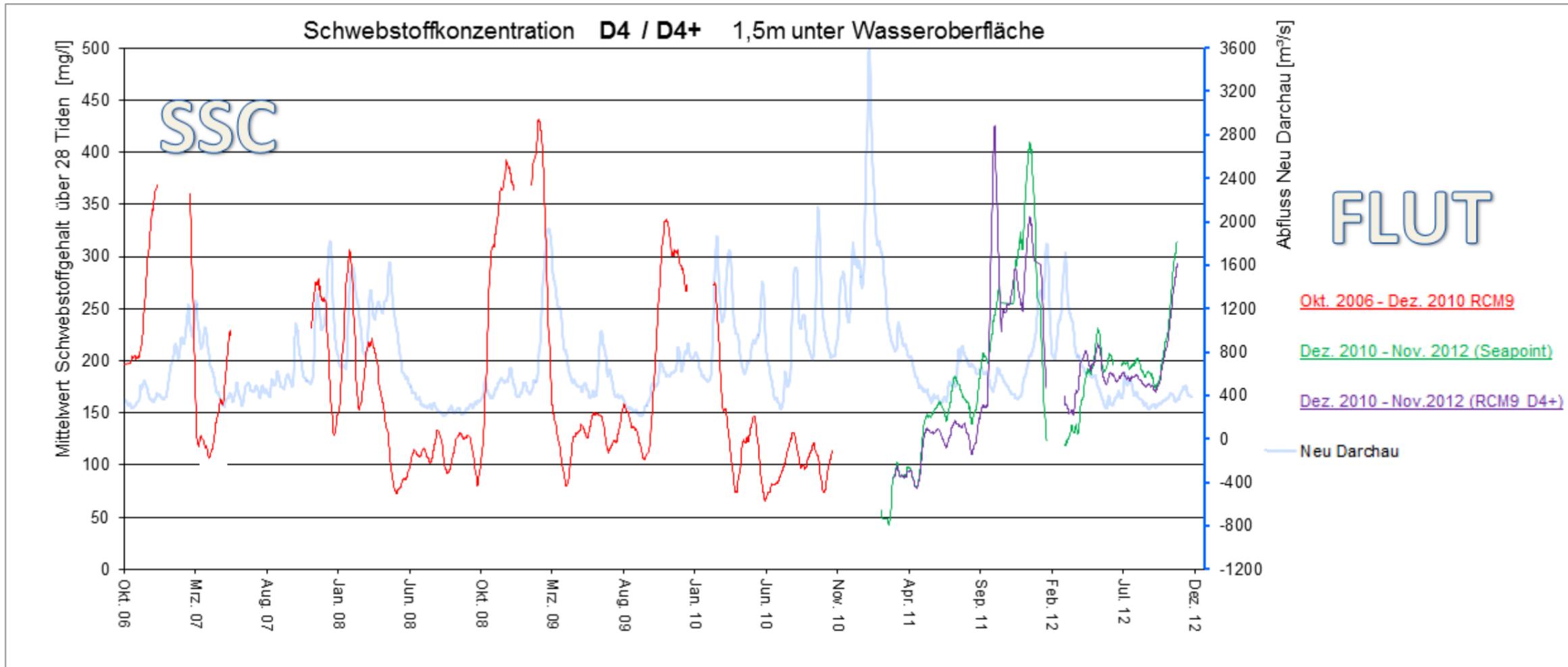
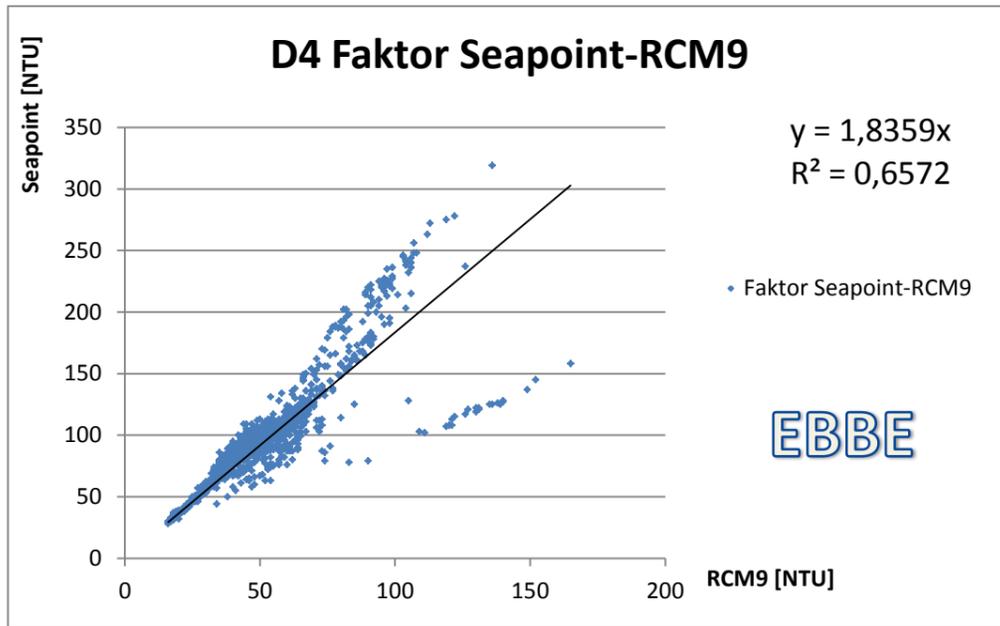


Abbildung 88:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012,
D4 / D4+ , 1,5m unter Wasseroberfläche, Flut

Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012



	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor EBBE:	1,8359	
Umrechnungsfaktoren EBBE:	2,75385	1,5

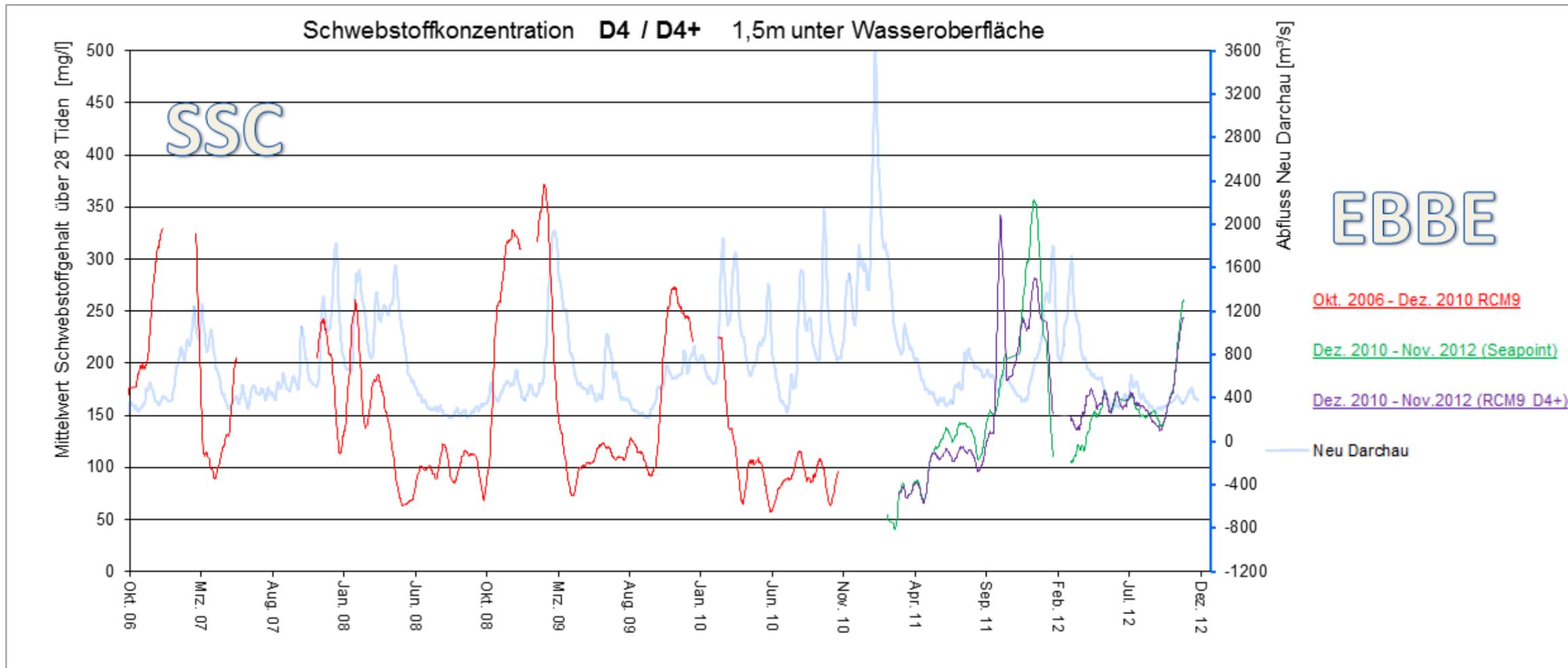
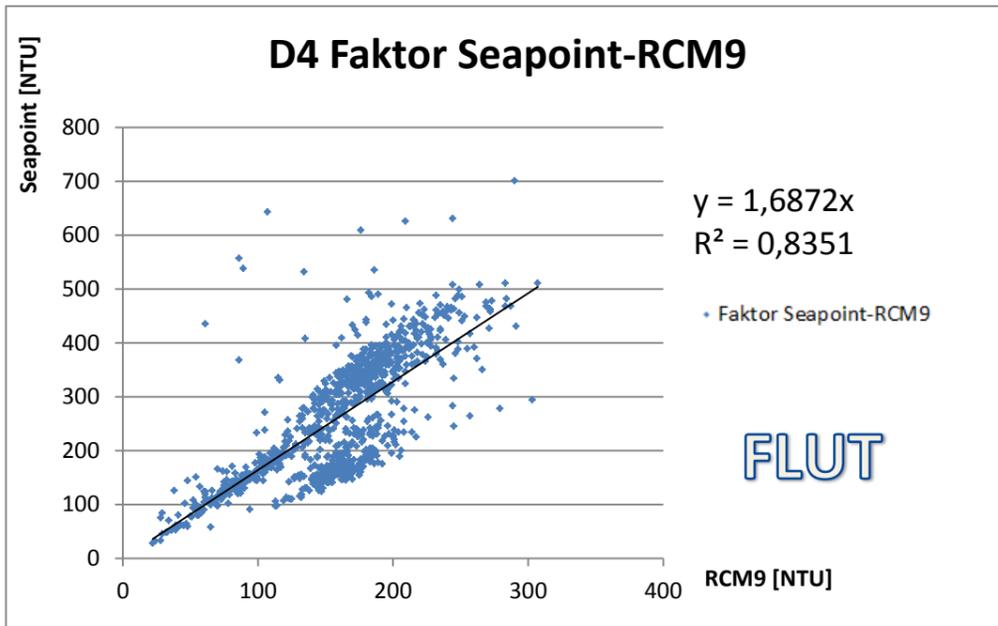


Abbildung 89:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012,
D4 / D4+ , 1,5m unter Wasseroberfläche, Ebbe

D4 / D4+

1,5 m über Gewässersohle / FLUT

Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012



	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor FLUT:	1,6872	
Umrechnungsfaktoren FLUT:	2,5308	1,5

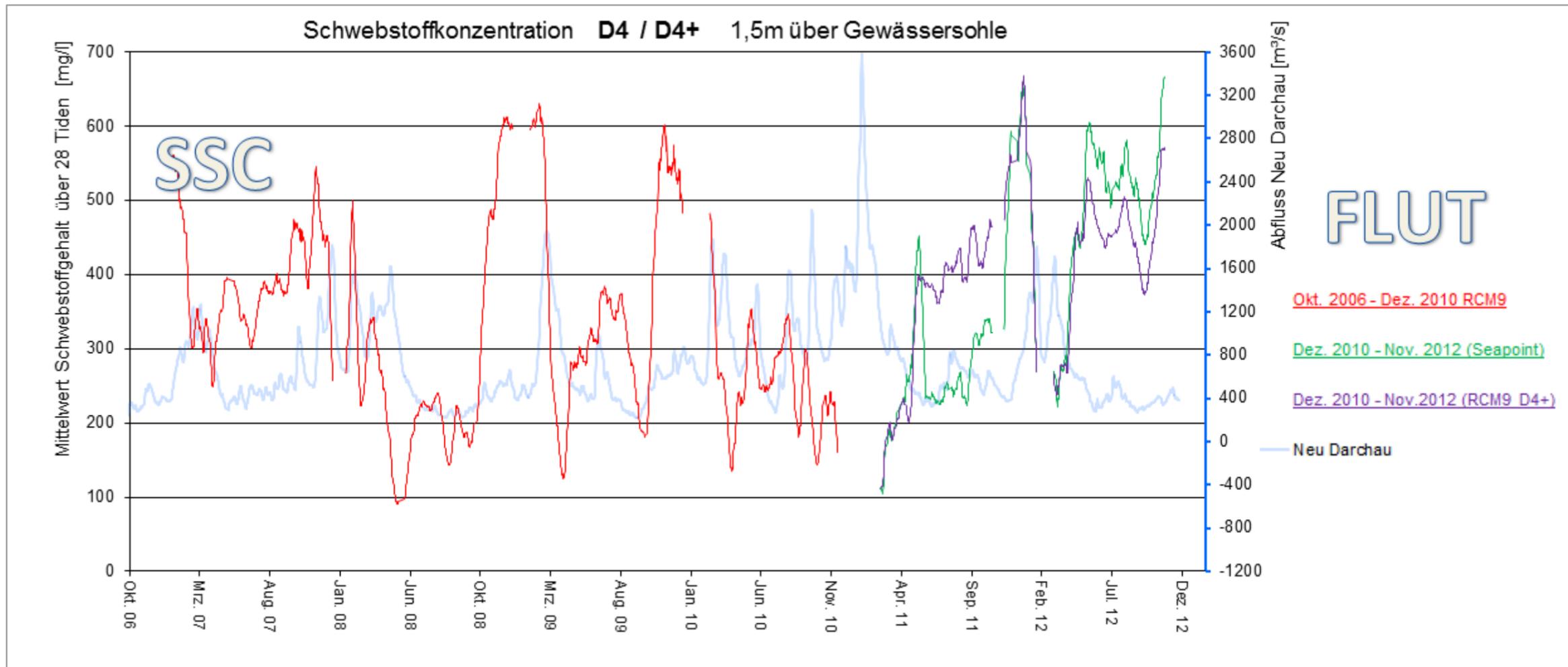
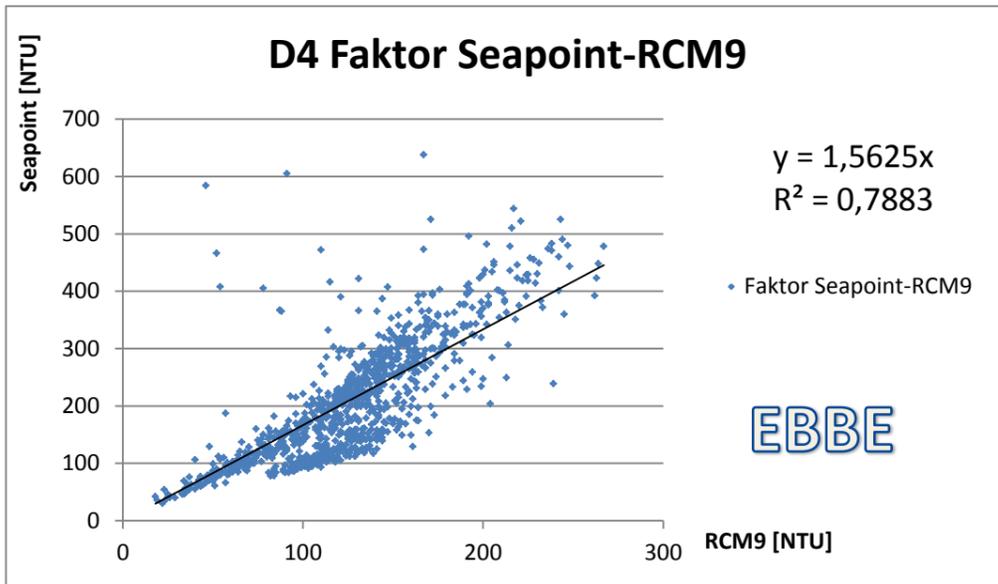


Abbildung 90:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012,
D4 / D4+ , 1,5m über Gewässersohle, Flut

D4 / D4+

1,5 m über Gewässersohle / EBBE

Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012



	RCM9	Seapoint
ermittelter Faktor EBBE:	1,5625	
Umrechnungsfaktoren EBBE:	2,34375	1,5

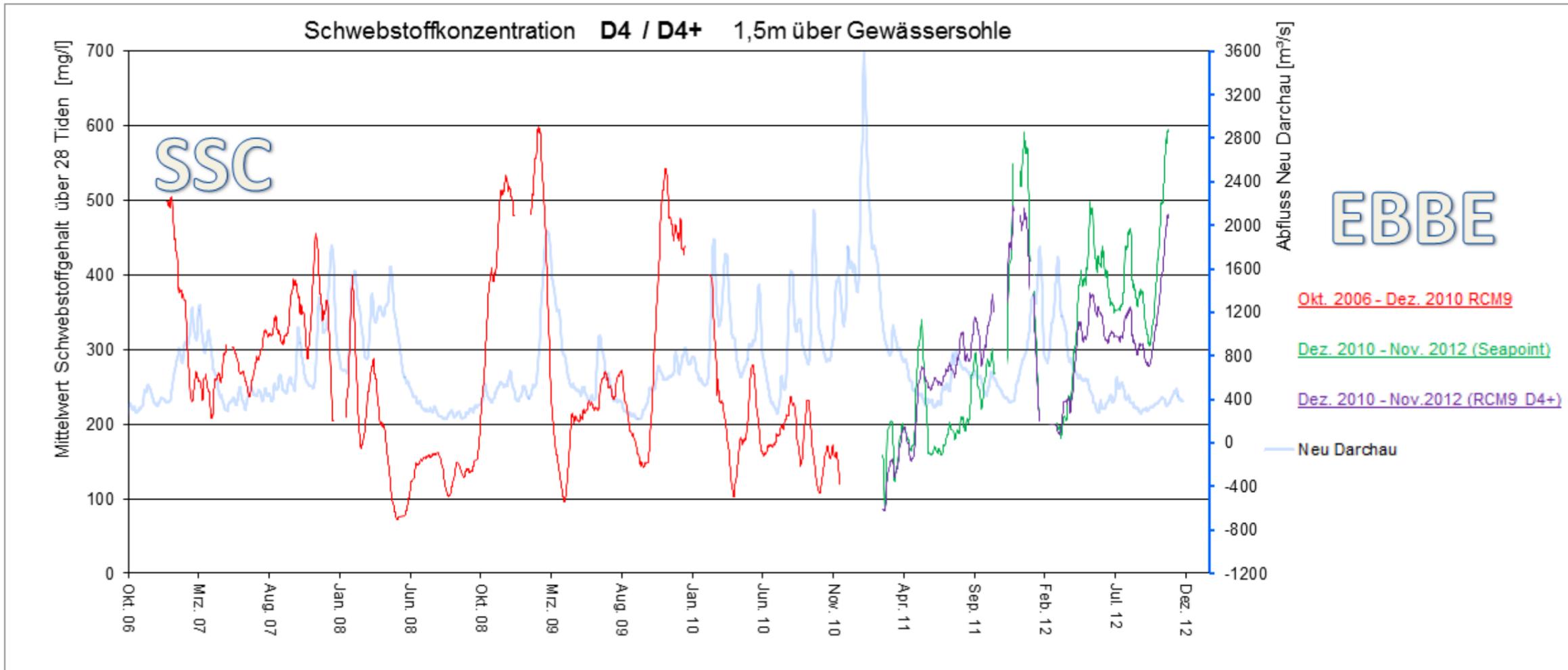


Abbildung 91:
Schwebstoffkonzentration [mg/l] von Oktober 2006 bis November 2012,
D4 / D4+ , 1,5m über Gewässersohle, Ebbe

5.1. Auswertung der aufgestellten Zeitreihen

Betrachtung der Schwebstoffkonzentrationen über Vergleichsmessstationen D1+ und D4+

Positiv zu sehen ist das Ergebnis des direkten Vergleichs der beiden Funktionen D1 mit D1+ und D4 mit D4+ im Zeitraum 2011 bis 2012. Hier sind Übereinstimmungen durch die Umrechnung mit Hilfe der Kalibrierfunktionen deutlich zu erkennen. Zu hinterfragen ist, weshalb bei den Dauermessstationen D1/D1+ die Abweichungen in den Schwebstoffkonzentrationen deutlich geringer sind als bei D4/D4+, wo insbesondere an der Gewässersohle extreme Unregelmäßigkeiten erkennbar sind.

Ein wahrscheinlicher Grund hierfür ist der Einsatz unterschiedlicher RCM9-Messgeräte während des Messzeitraums. Hier bleiben die Ergebnisse der in Kapitel 2.3 vorgestellten Vergleichsmessungen abzuwarten. Derzeit wird diese These durch die Aussagen von GRELLUS (02/2013) und MAUSHAKE (02/2013) gefestigt, dass „die Trübungssonden der RCM9-Geräte unterschiedlich kalibriert wurden“.

Betrachtung der Schwebstoffkonzentrationen im Allgemeinen:

Das Schwebstoffregime der Tide-Elbe wird durch den gewichtigsten Einflussfaktor, dem Oberwasserzufluss aus dem Einzugsgebiet, gekennzeichnet. Nach GKSS (2007) „steuert das Oberwasser [...] die Stärke der Dichtezirkulation und damit die Lage und Stärke der Trübungszone sowie den Eintrag von Elbe-Schwebstoff in die deutsche Bucht“ (vgl. nochmals entsprechende Diskussionen in Kapitel 2 und 3).

Dieses ist in den Schwebstoffzeitreihen deutlich bei hohen Abflussspitzen zu erkennen, da bei Hochwasserereignissen das Oberwasser die gesamte Trübungszone Richtung Mündung schiebt und dabei einen größeren Teil an Schwebstoff als bei normalen Abflussverhältnissen in die Nordsee transportiert. Im Gegensatz dazu ist bei anhaltendem Niedrigwasser mit erhöhten Schwebstoffen im Hamburger Bereich zu rechnen. Hier wird durch „Tidal Pumping“ der Schwebstoff stromaufwärts transportiert.

Unabhängig vom Oberwasser sind saisonale Effekte in den Herbst- und Wintermonaten zu erkennen. Dort findet man höhere Schwebstoffgehalte als in den Sommermonaten. Mögliche Ursachen wurden bereits in Kapitel 3 diskutiert.

Betrachtung der Schwebstoffkonzentrationen bei Dauermessstation D1/ D4:

Vergleicht man den Schwebstoffgehalt an den Stationen D1 und D4 bei Ebbe und Flut, so ist bei beiden Stationen durch den stärkeren Flutstrom die Trübung bzw. die Konzentration des Schwebstoffes bei Flut größer als bei Ebbe.

Des Weiteren wird bei D4 durch den höheren Schwebstoffgehalt deutlich, dass sich in diesem Abschnitt der Tideelbe das Maximum der Trübungszone befindet.

Auffällig sind die Schwebstoffkonzentrationen bei D1 und D4 nach hohen Abflussspitzen. Diese zeigen erst einen niedrigen Trend und steigen dann an. Unterschiede sind bei normalem Abfluss zu erkennen, da hier bei D4 Trübungsspitzen zeitnah zum Abfluss zu erkennen sind.

5.2. Datenerfassung: Punktuell – Gesamtes Querprofil

Die Erfassung der Daten von den Dauermessstationen erfolgt punktuell. Demzufolge muss die Genauigkeit bzw. Ungenauigkeit jeder Messung bedacht werden, denn Schwebstoffe sind im Flussquerschnitt nicht homogen verteilt. Somit kann die Konzentration zeitlich und örtlich sehr stark schwanken. Dies ist auch durch auftretende aufsteigende Schwebstoffwolken zu sehen, die aus verdichteten suspendierten Schwebstoffteilchen bestehen. Aus diesem Grund können zwei an gleicher Stelle nacheinander oder nebeneinander gezogene Proben stark voneinander abweichen (www.lfu.bayern.de).

Die Schwebstoffkonzentrationen im gesamten Querschnitt kann durch ADCP-Messungen mit begleitenden Probenahmen erfasst werden (vgl. MAUSHAKE, 2007). Entsprechende Messkampagnen wurden in der Vergangenheit seitens der BAW bereits in der Tideelbe erprobt (vgl. hierzu auch STRÖMICH, 2011), zukünftig ist eine Vergabe entsprechender Messungen von seitens des WSA Hamburg auf den Messprofilen der Dauermessstationen D1 bis D4 geplant. Ziel ist es, so zukünftig die Verteilung der Schwebstoffe im gesamten Querprofil und damit mittelfristig in Verbindung mit den Schwebstoffgehaltszeitreihen der Dauermessstationen auch jährliche Schwebstoffgesamtfrachten/Profil besser abschätzen zu können.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

Aus nautischen und finanziellen Anliegen können diese Messungen nur selten durchgeführt werden. Des Weiteren ist die Auswertung der vielen gemessenen Rohdaten ein hoher Aufwand, der sehr viel Zeit in Anspruch nimmt.

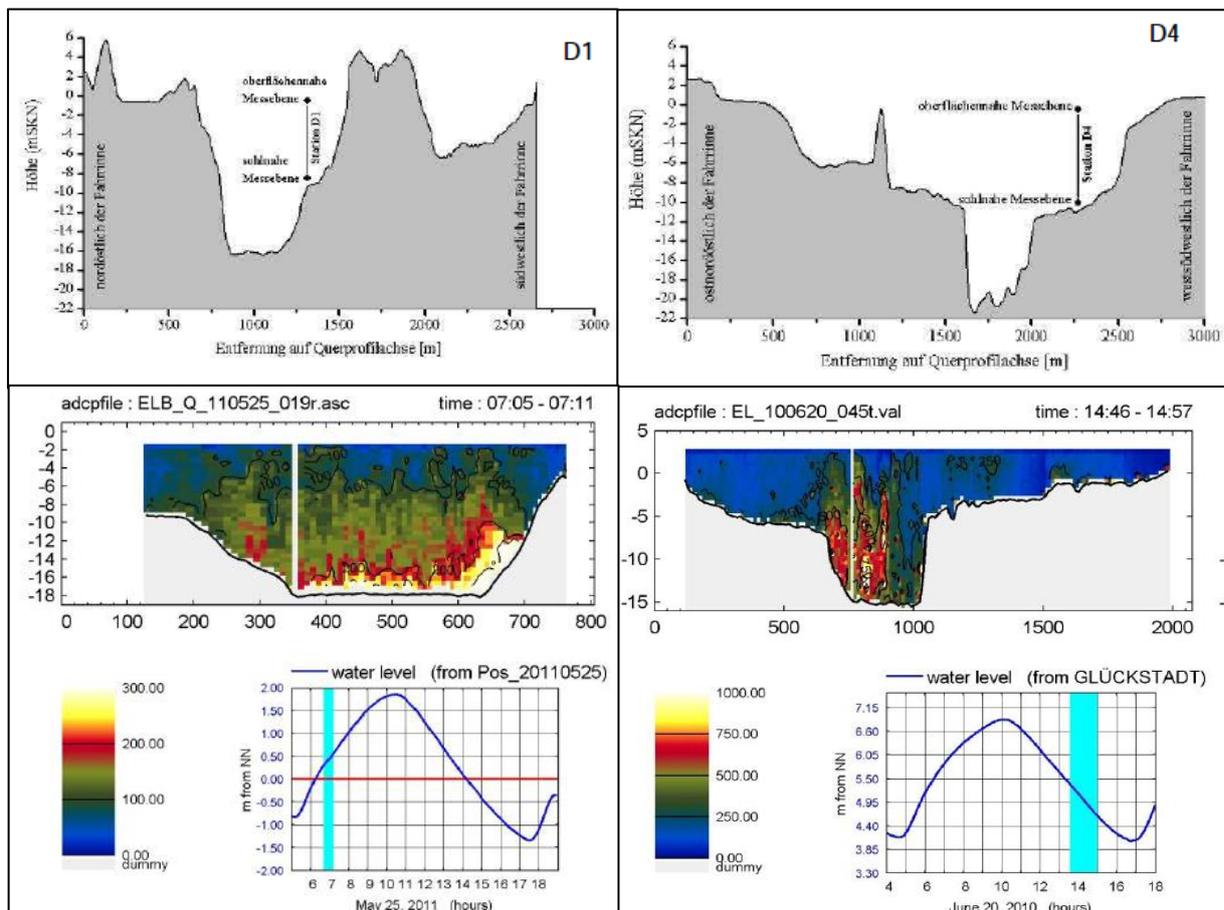


Abbildung 92:

punktueller Messung (oben) im Vergleich (spiegelverkehrt) zur ADCP-Messung (unten)

Quellen:

oben: BfG 2012

unten: Aqua Vision, Juni 2011

6. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, für seitens des WSA Hamburg seit 2011 an Dauermessstationen in der Tideelbe eingesetzte Messgeräte (Messplattform Seaguard, Fa. Aanderaa, mit Trübungssensoren der Fa. Seapoint) Kalibrierfunktionen für die Umrechnung von Trübungsmesswerten in Schwebstoffkonzentration aufzustellen. Bei der Trübungsmessung handelt es sich um ein indirektes Messverfahren zur Erfassung des Schwebstoffgehaltes, wobei der gemessene Trübungswert abhängig vom Sensorentyp quantitativ stark variiert. Die Aufstellung von Kalibrierfunktion soll den Vergleich mit anderen direkten oder indirekten (z.B. akustischen) Messungen sowie Modellergebnissen zum Schwebstoffgehalt in der Tideelbe ermöglichen. Außerdem ist die Kalibrierung für das WSA Hamburg notwendig, um im Zeitraum 2006 – 2010/11 mit einem anderen Gerätetyp erfasste Trübungszeitreihen mit den Zeitreihen des neuen Gerätetyps zu verbinden.

In der Arbeit wurden zunächst Veranlassung für Trübungs- und Schwebstoffmessungen, WSV-Messnetz, sowie die eingesetzte Messtechnik im Detail vorgestellt (Kapitel 2). Anschließend erfolgte eine Aufbereitung von Trübungszeitreihen für die WSV-Dauermessstationen D1 (Wedel) und D4 (Rhinplatte) sowie eine Diskussion zu den die Trübung bzw. den Schwebstoffgehalt beeinflussenden jahreszeitlichen und hydrologischen Einflussgrößen (Kapitel 3).

In Kapitel 4 wurde schließlich das Vorgehen bei den Schwebstoffprobenahmen an den Dauermessstationen sowie die sich anschließende Laboranalytik erläutert. Für sechs in 2011/2012 durchgeführte Probenahmen wurden die Ergebnisse aufbereitet und Kalibrierfunktionen aufgestellt. Im Ergebnis konnten von MAUSHAKE (2011) an der Weser aufgestellte Umrechnungsfaktoren bestätigt werden. Demnach lassen sich die Trübungsmesswerte der Seapoint-Sensoren mit einem Faktor von 1,5 in Schwebstoffgehalte umrechnen, wobei deutlich herauszustellen ist, dass es sich um eine Abschätzung mit Schwankungsbreiten um ± 30 bis 40% handelt. Aufgrund der variierenden Schwebstoffeigenschaften im Gewässer (Organikgehalt, Struktur des Schwebstoffes) und wechselnder Strömungsbedingungen ist der Umrechnungsansatz fehlerbehaftet.

Im abschließenden Teil der Arbeit wurden der ermittelte Umrechnungsfaktor und die für Kapitel 3 erstellten Trübungszeitreihen verwendet, um auf ihrer Grundlage Schwebstoffgehaltszeitreihen für die Dauermessstationen D1 und D4 im Zeitraum 2006 bis

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

2012 aufzustellen. Die Ergebnisse wurden nochmals im Hinblick auf Einflussgrößen und Relevanz sowie Genauigkeit diskutiert.

Für die Zukunft ist festzuhalten, dass weitere Schwebstoffprobenahmen erforderlich (und seitens des WSA Hamburg bereits geplant) sind, um die Umrechnungsansätze weiter zu verifizieren. Um mittel- bis langfristig quantitative Abschätzungen zum jährlichen Schwebstofftransport über die gesamte Gewässerbreite treffen zu können, sind zudem ergänzende ADCP-Querprofilmessungen mit Probenahmen im Bereich der WSV-Dauermessstationen erforderlich.

Für die nächsten Schwebstoffprobenahmen an den Dauermessstationen ist zu überlegen, die Probenahme an spezifischen Zeitpunkten durchzuführen, so dass man z.B. bei Hochwasserspitzen, bei hohen/geringen Algenanteilen oder bei niedrigen/warmen Wassertemperaturen Daten bekommt, um unbekannte Einflussgrößen bei der langjährigen Betrachtung besser abzudecken. Weiterhin wäre bei einzelnen Probenahmen für eine genauere Einschätzung der Kalibrierung eine ergänzende Korngrößenanalytik sinnvoll.

7. Literaturverzeichnis

AANDERAA DATA INSTRUMENTS: Turbidity Sensor 4112, <http://www.aadi.no>, 10/2009.

AQUA VISION: Suspended sediment measurements in the Elbe, June 2011, AV_DOC_110023_Elbe_Presentations, 01/2011.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: www.lfu.bayern.de, (25.02.2013, 15.00 Uhr).

BERGEMANN M.: Die Trübungszone in der Tideelbe- Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung, Wassergütestelle Elbe, Ort unbekannt, 2004.

BLOHM W., OHLE N., ENTELMANN I., RICKING M. und KÖRNER A.: Besuch der Wassergütemessstation Seemannshöft, Magdeburger Gewässerschutzseminar, 2012.

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE: "BMU-Projekt "Verbesserung der Datengrundlage zur Bewertung hydrologischer Extreme" ". from <http://undine.bafg.de/>, 2012.

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE: WSV Sedimentmanagement Tideelbe, Strategien und Potenziale- eine Systemstudie-. Ökologische Auswirkungen der Umlagerung von Wedeler Baggergut, Koblenz, 2008.

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE: Schwebstoffdynamik im Längsverlauf der Tideelbe, Koblenz, September 2012 (unveröffentlicht).

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich: Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der morphodynamischen Prozesse, Hamburg, 2006.

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich: In – situ Kalibrierung von Trübungssonden, Zwischenergebnisse einer Kooperation zwischen WSA Bremerhaven und BAW, Hamburg, 02/2013.

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich: Suspended sediment measurements in the Elbe, June 2011, Hamburg, 09/2011.

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU: Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der morphodynamischen Prozesse, Hamburg, 2006.

CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.: OBS-3A Turbidity and Temperature Monitoring System, Utah, 04/2008.

CHEMTRONIC WALTEMODE GmbH: Normen und Wissenswertes zur Trübungsmessung. <http://www.monitek.de/grundl/trubstan.html#Anchor-Formazi-21058>, Ort unbekannt, Datum unbekannt (22.01.2013, 11.03 Uhr).

CHRISTIANSEN H.: Sedimentation in Hamburger Hafenbecken - Ursachen und Maßnahmen zur Verminderung -. In: Die Küste, 2010.

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

ENTELMANN I., B. GÄTJE: Sedimentmanagement in der Tideelbe – Optimierung von Umlagerungsstrategien, Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, WSA HH, 2012.

ENTELMANN I: Probleme in der Peildatenauswertung vor dem Hintergrund der Schwebstoffdynamik in der Trübungszone, Wedel, 12/2012.

GOLOMBECK P.: Mdl. Besprechung, Auswertung der Schwebstoffprobenahme im Laborcontainer der HPA, Hamburg, 01/2013.

GRELLUS Z.: Mdl. Besprechung, Schwebstoffmessungen Elbe in der Bundesanstalt für Wasserbau, Rissen, 02/2013.

HEISE S., F. KRÜGER, M. BABOROWSKI, B. STACHEL, R. GÖTZ und U. FÖRSTNER: Bewertung der Risiken durch Feststoffgebundene Schadstoffe im Elbeinzugsgebiet. Im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft Elbe und Hamburg Port Authority, erstellt vom Beratungszentrum für integriertes Sedimentmanagement (BIS/TuTech) an der TU Hamburg-Harburg. 349 Seiten. Hamburg, 2007.

HABERSACK H., M. HAIMANN, W. KERSCHBAUMSTEINER und P. LALK. Schwebstoffe in Fließgewässern, Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes. Lebensmittelministerium.at. Wien, 2008.

HILLEBRAND G., Schwebstoffmonitoring am Oberrhein, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M3 – Grundwasser, Geologie, Gewässermorphologie, 02/2010.

HILLEBRAND G., Transportverhalten kohäsiver Sedimente in turbulenten Strömungen - Untersuchungen im offenen Kreisgerinne. Karlsruhe, Universität Karlsruhe, 2008.

INFORMATIONSPLATTFORM UNDINE: <http://undine.bafg.de/>, (02.03.2013, 10.00 Uhr)

KAPPENBERG J., FANGER H.-U.: Sedimenttransportgeschehen in der tidebeeinflussten Elbe, der deutschen Bucht und in der Nordsee, GKSS Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft, Geesthacht, 2007.

KAPPENBERG J.: Langzeitmessung der Trübung im Elbe-Ästuar unterhalb von Hamburg, Institut für Küstenforschung, Präsentation, 08/2007.

LANG G.: Zur Schwebstoffdynamik von Trübungszone in Ästuarien, Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen der Universität Hannover, Bericht Nr. 26/1990.

LEBENSministerium: Schwebstoffe im Fließgewässer. Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2008.

MAUSHAKE C.: Untersuchungen zur Schwebstoffdynamik im Elbästuar auf Basis von ADCP-Messungen. In: Die Küste, Heft 72, Heide i. Holstein, 2007.

MAUSHAKE C.: Mdl. und schriftl. Mitteilung, Fachaustausch zu Schwebstoffmessungen und monitoring, Rissen, (22./23. 11/2011).

Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe

MAUSHAKE C.: Mdl. Besprechung, Schwebstoffmessungen Elbe in der Bundesanstalt für Wasserbau, Rissen, 02/2013.

METHODOLOGICAL EDUCATION FOR THE SOCIAL SCIENCES: www.mesosworld.ch
(31.01.2013, 14.34 Uhr).

PORTAL-TIDEELBE: Projekte, <http://www.portal-tideelbe.de/Projekte/index.html>, Ort
unbekannt, (01.02.2013, 09.12 Uhr).

SIEFERT W.: Das Sturmflutgeschehen in der Tideelbe und der Einfluss von
Fahrrinnenvertiefungen. HANSA - Schifffahrt - Schiffbau – Hafen, 1994.

SPINGAT F.-M.: Analyse der Schwebstoffdynamik in der Trübungszone eines Tideflusses.
Dissertation im Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen
Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Otterndorf, 1997.

STRÖMICH S.: Messprogramme zur Erfassung des Schwebstoffgehaltes in der Tideelbe.
Bachelor-Arbeit im Major Ingenieurwissenschaften Bau-Wasser-Boden, Wasser- und
Bodenmanagement. Leuphana Universität Lüneburg, 2011.

WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG UND HPA: Strombau- und
Sedimentmanagementkonzept für die Tideelbe (2008), [http://www.hamburg-port-
authority.de/de/presse/studien-und-berichte/Documents/SB-SM-Konzept-HPA-WSV.pdf](http://www.hamburg-port-authority.de/de/presse/studien-und-berichte/Documents/SB-SM-Konzept-HPA-WSV.pdf),
(02.03.2013, 20.15 Uhr).

WEILBEER H.: Vortragsunterlagen „Schwebstoffmessungen in Ästuaren – Bedeutung für die
Modellierung“. Fachaustausch Trübungsmessungen, Bundesanstalt für Wasserbau
22.11.2011 (unveröffentlicht).

WINTERSCHIED A., H. LEUCHS, T. LÜLLWITZ und B. BASCHEK: Fernerkundliches Monitoring
des Schwebstoffhaushalts der Tideelbe. In: Geoinformationen für die Küstenzone, Band 3,
Points Verlag, Norden – Halmstadt, 2011.

8. Anhang

Auf der sich im Anhang befindenden CD sind folgenden Daten gespeichert:

- „Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe“ als Word-Datei
Dateiname: **Trü-Schweb-Messung_03.2013(.docx)**
- „Auswertung von Trübungs- und Schwebstoffgehaltsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung in der Tideelbe“ als PDF-Datei
Dateiname: **Trü-Schweb-Messung_03.2013(.pdf)**
- Zeitreihen (2006-2012) mit entsprechenden Werten für die Messungen an der Gewässeroberfläche
Dateiname: **Auswertung_Oberfläche(.xlsx)**
- Zeitreihen (2006-2012) mit entsprechenden Werten für die Messungen an der Gewässersohle
Dateiname: **Auswertung_Sohle(.xlsx)**
- Kalibrierfunktionen mit entsprechenden Messwerten der Dauermessstation D1
Dateiname: **K-Funktionen_D1(.xlsx)**
- Kalibrierfunktionen mit entsprechenden Messwerten der Dauermessstation D4
Dateiname: **K-Funktionen_D4(.xlsx)**
- Kalibrierfunktionen mit entsprechenden Messwerten der Dauermessstation LZ1
Dateiname: **K-Funktionen_LZ1(.xlsx)**