



Bilanzierung des Wasser- und Detritus-Austausches in der Darß-Zingster Boddenkette

Lehrstuhl Physische Geographie der Univ. Greifswald
Institut für Geodatenverarbeitung Hinrichshagen
Biologische Station der Univ. Rostock, Zingst



1. Veranlassung
2. Ergebnisse der Vorstudien
3. Projektdesign
4. Realisation
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung
7. Schlussfolgerungen

EU –WRRL (Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union)

- Will in **allen** EU-Staaten in **allen** regional bedeutsamen Gewässern bis 2015 eine **gute Wasserqualität** erreichen.
- **DZBK: schlechte Wasserqualität** aufgrund hoher Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft seit langer Zeit, Akkumulation von Nährstoffen (Phosphate) im Sediment mit hohem Freisetzungspotential für viele Jahrzehnte,
- **Selbstreinigungszeitraum: > 2050**
- Maßnahme: **Schlickentnahme**
- erreicht nur dann einen **nachhaltigen Effekt**, wenn die Einzugsgebiete der Zuflüsse und das Umland ebenfalls saniert werden.

Ergebnisse der Vorstudien

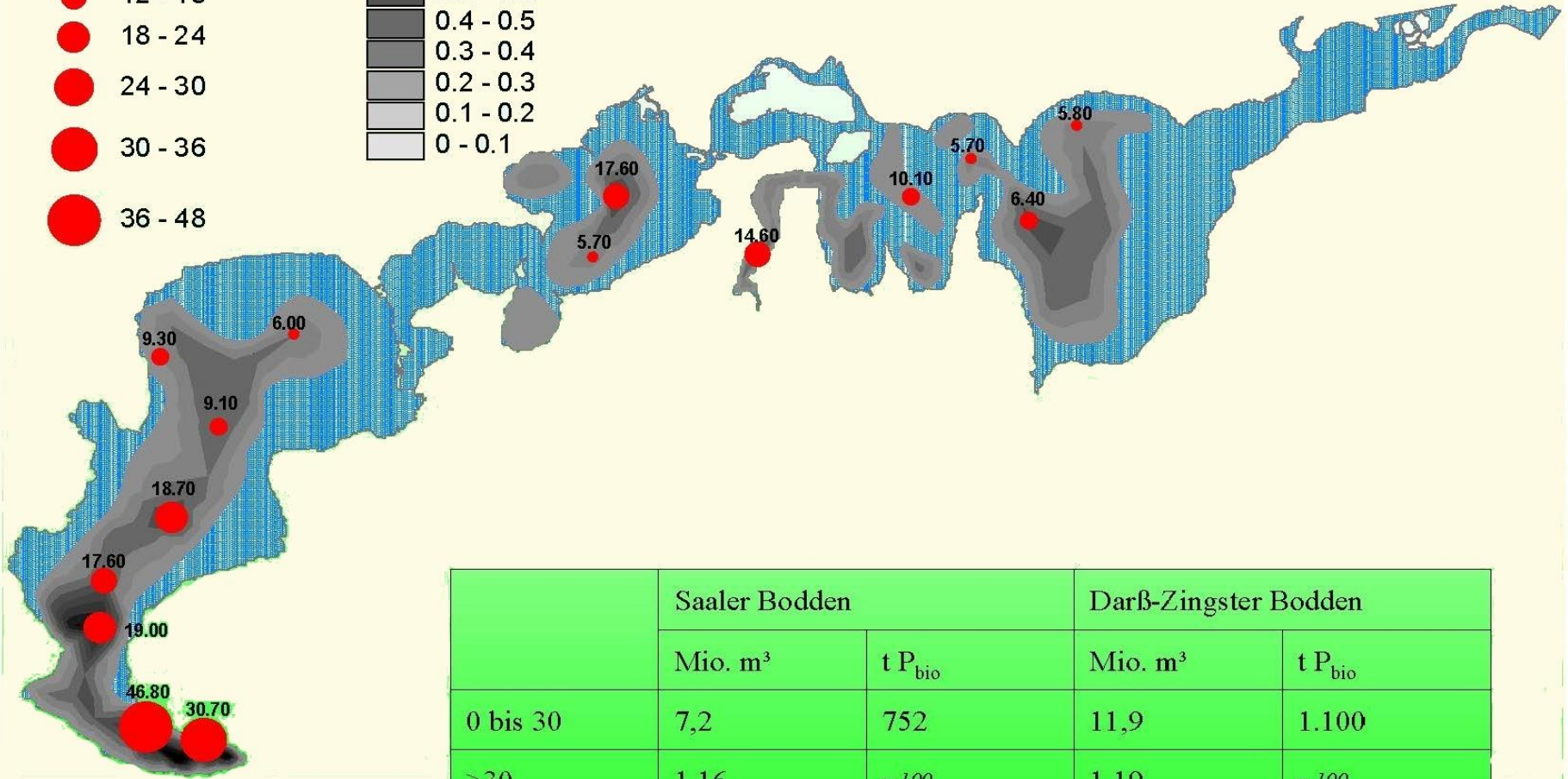
Bioverfügbarer Phosphor (korrigiert) in [g P /m²]

- 0 - 6
- 6 - 12
- 12 - 18
- 18 - 24
- 24 - 30
- 30 - 36
- 36 - 48

AVS-Mächtigkeit [m]

- 0.8 - 1
- 0.7 - 0.8
- 0.6 - 0.7
- 0.5 - 0.6
- 0.4 - 0.5
- 0.3 - 0.4
- 0.2 - 0.3
- 0.1 - 0.2
- 0 - 0.1

Bioverfügbarer Phosphor in den Schlickten der DZBK.
 AVS = Anthropogen veränderte Sedimentschicht



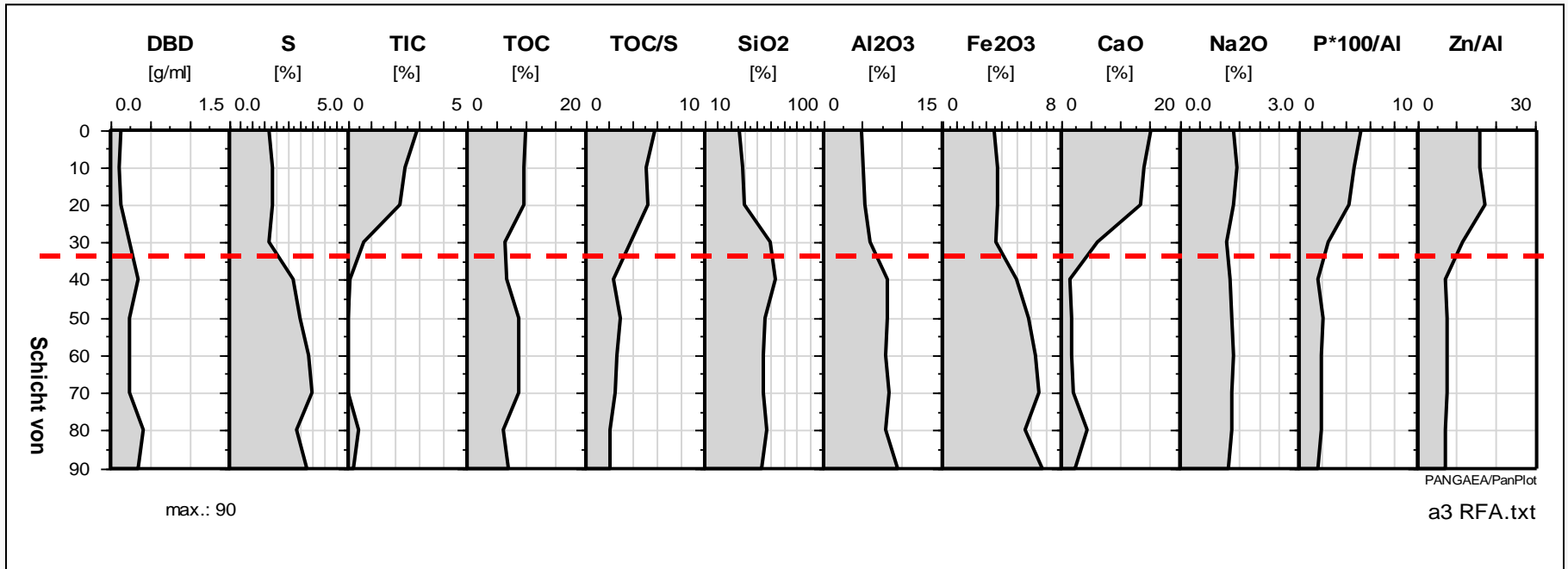
	Saaler Bodden		Darß-Zingster Bodden	
	Mio. m ³	t P _{bio}	Mio. m ³	t P _{bio}
0 bis 30	7,2	752	11,9	1.100
>30	1,16	~100	1,19	~100
AVS gesamt	8,4	~850	13,1	~1.200

64%

70%

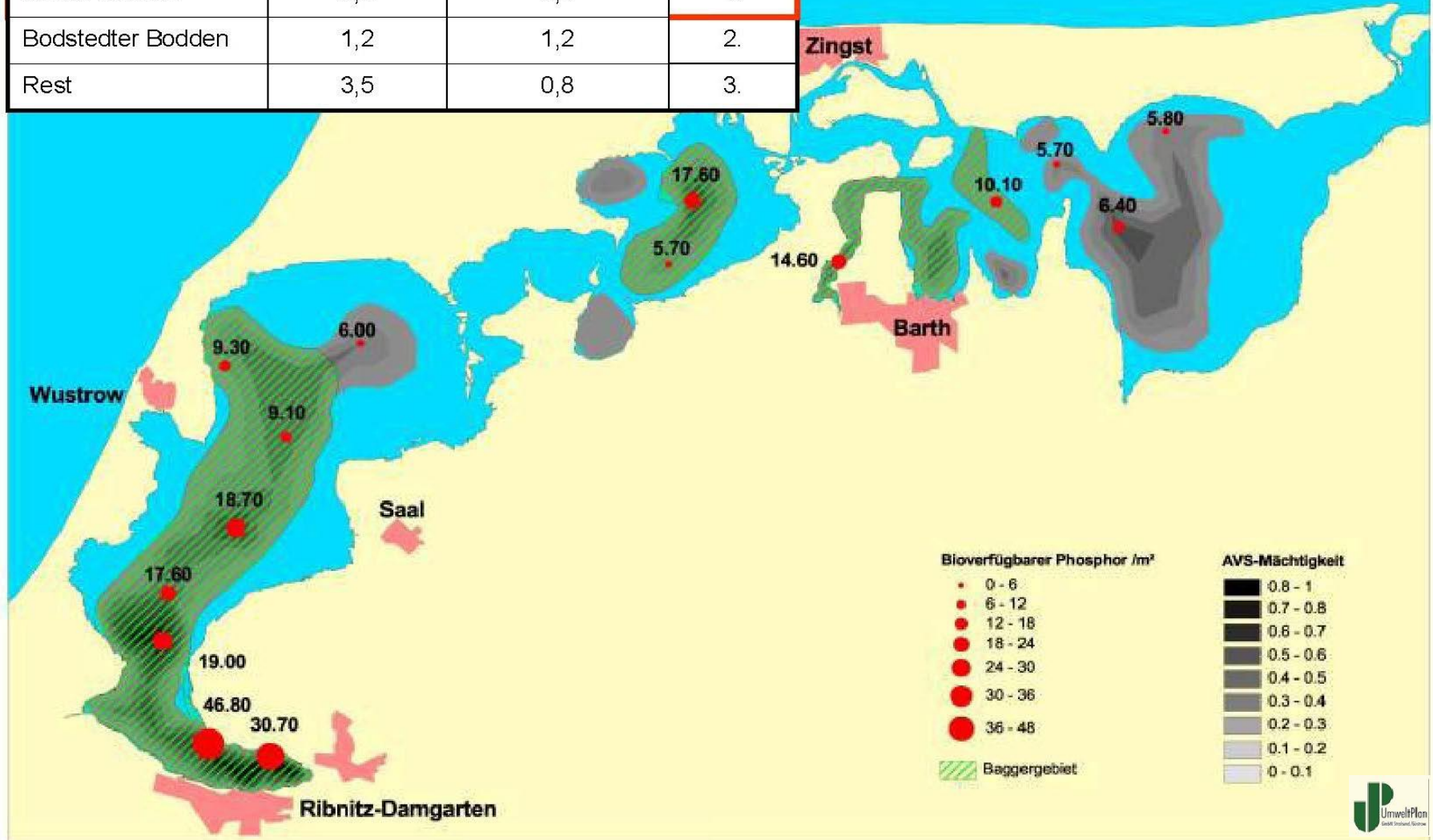
Ergebnisse der Vorstudien

Station A3, südl. Saaler Bodden: > 1m Schlick, AVS ca. 0,35m



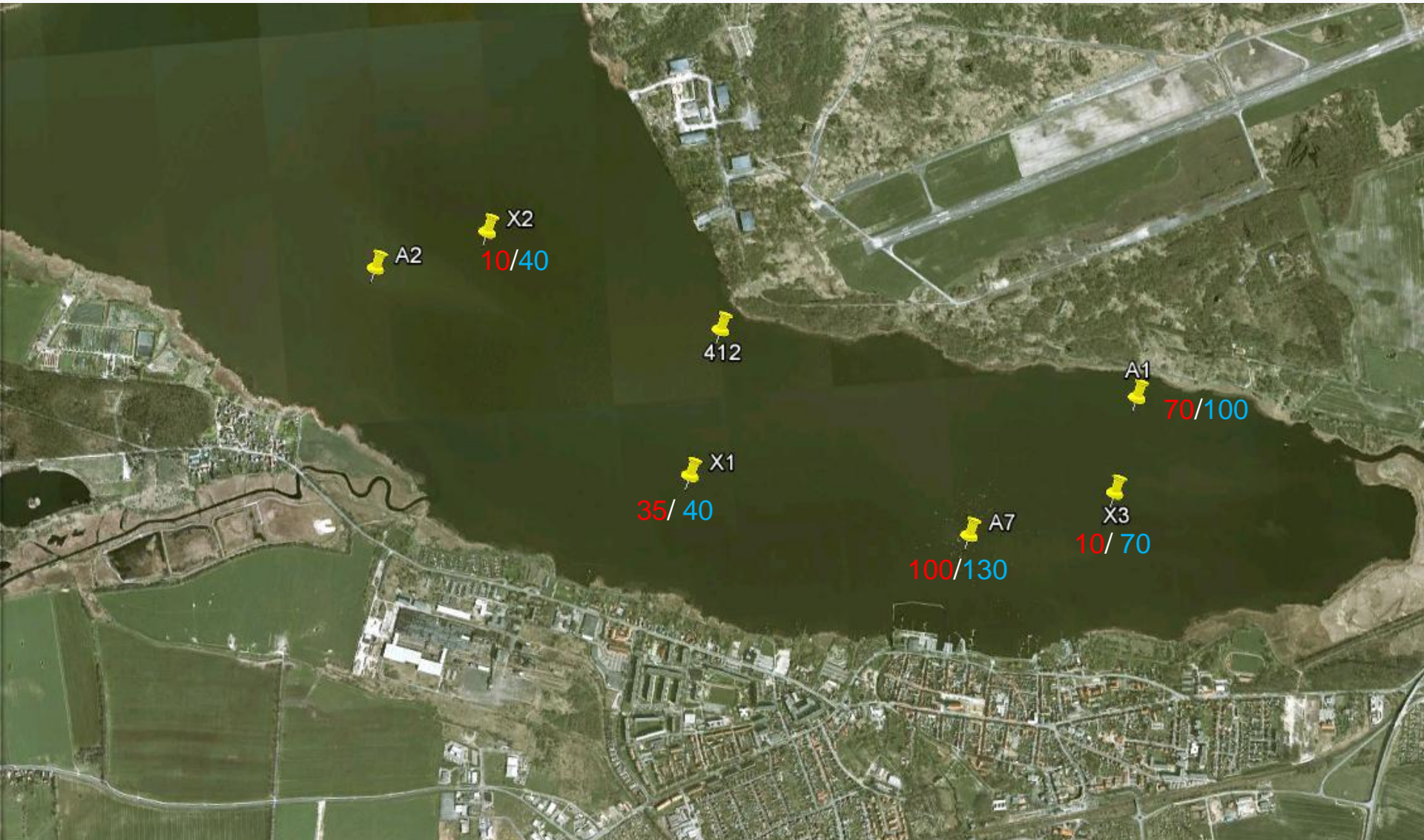
Ergebnisse der Vorstudien

	AVS-Inventar [Mio. m ³]	Entnahmemenge max. [Mio. m ³]	Priorität
DZBK	13,1	8,1	
Saaler Bodden	8,4	6,1	1.
Bodstedter Bodden	1,2	1,2	2.
Rest	3,5	0,8	3.



Ergebnisse

Ermittelte Tiefen [cm] der AVS/marinen Sedimente der Beprobung vom 23.08.2011

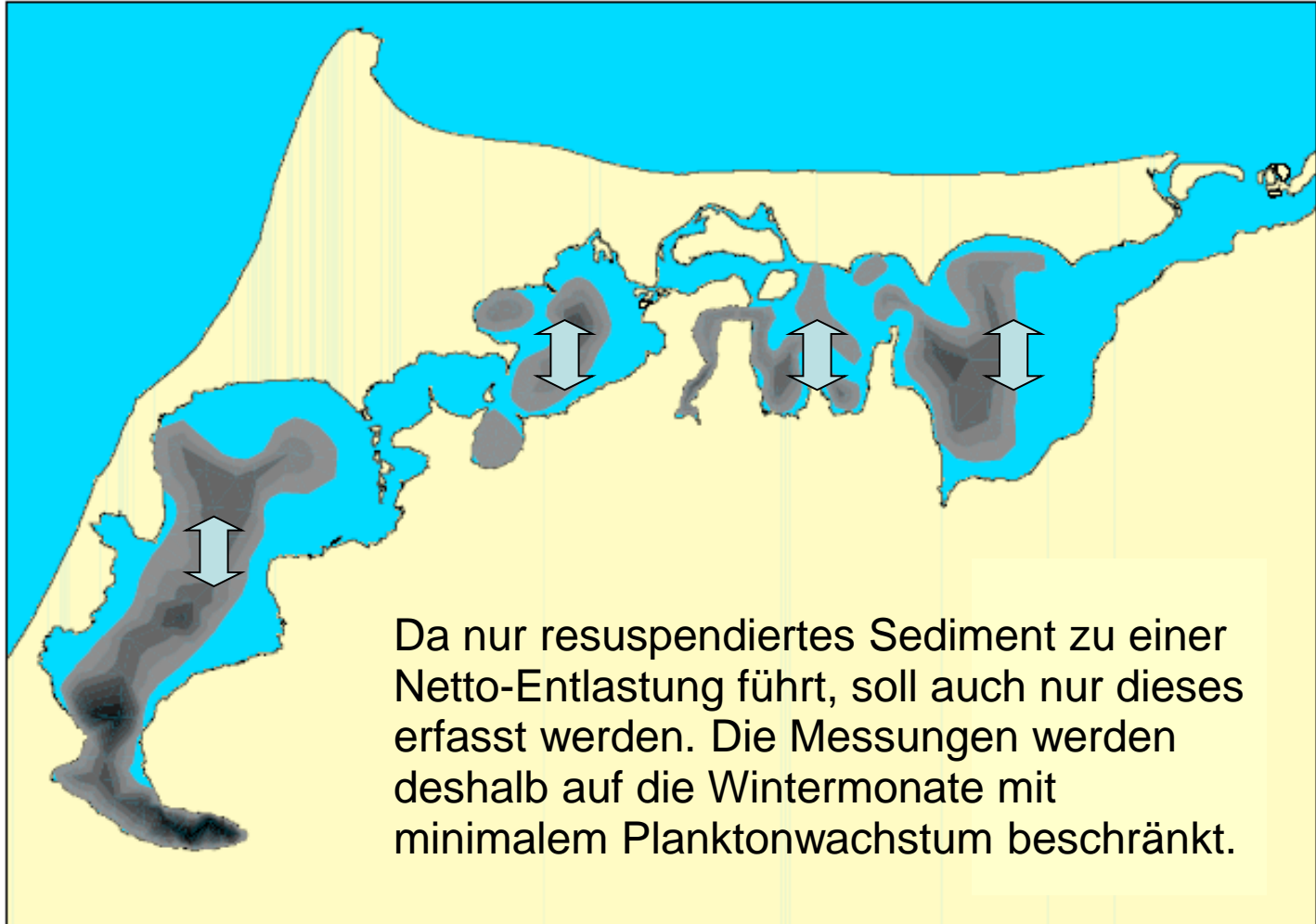


Projektdesign

Ziel des Projektes war die modellgestützte Bilanzierung der Transportvorgänge von **resuspendiertem Sediment** innerhalb und aus der DZBK, um das Abklingverhalten der internen Düngung beschreiben zu können.

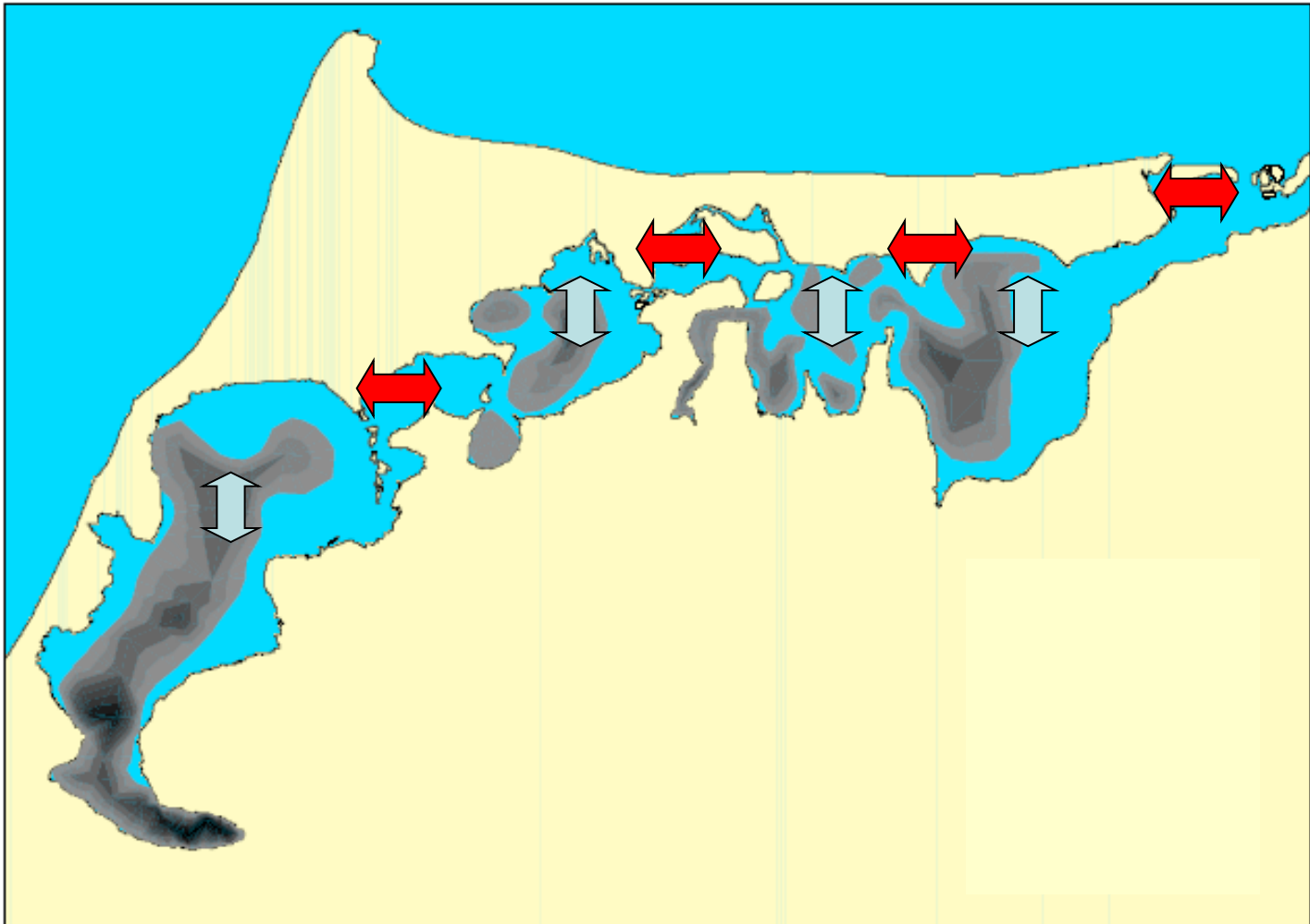


Die Resuspension soll durch eine Funktion beschrieben werden, die Windschub, Sedimentart, Wassertiefe und Sedimentationsgeschwindigkeit berücksichtigt.



Projektdesign

Der Wasseraustausch soll durch ein Modell beschrieben werden, welches den Einfluss von Wind- und Wasserstandsschwankungen berücksichtigt. Durch Kopplung beider Modelle und Integration über die Zeit erhält man die Nettobilanz des Schwebstofftransportes.



Worin liegen die Ursachen, dass bisher alle Modellrechnungen zum Wasseraustausch den Windeinfluss unterschätzten und, besonders im Saaler Bodden, keine befriedigenden Ergebnisse bei der Berechnung der Strömungs- und Transportdynamik erzielt haben?

Beispiel (H.-J. STIGGE): Windstau im Oderhaff bei NW-Sturm: 125 cm

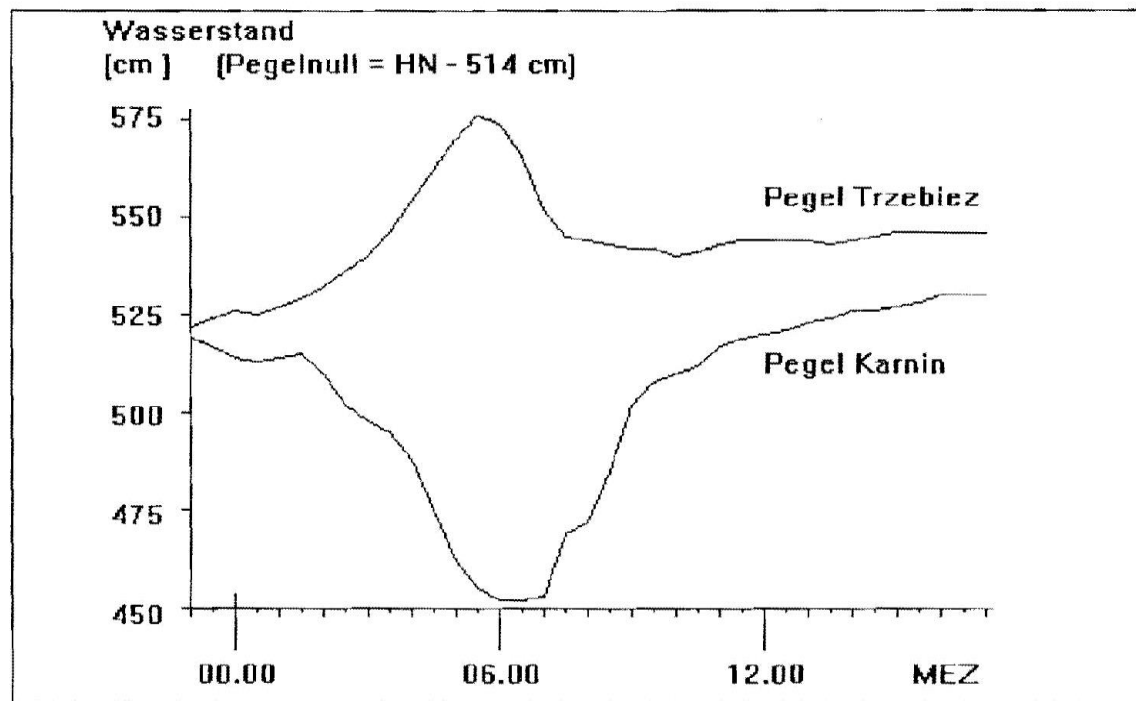
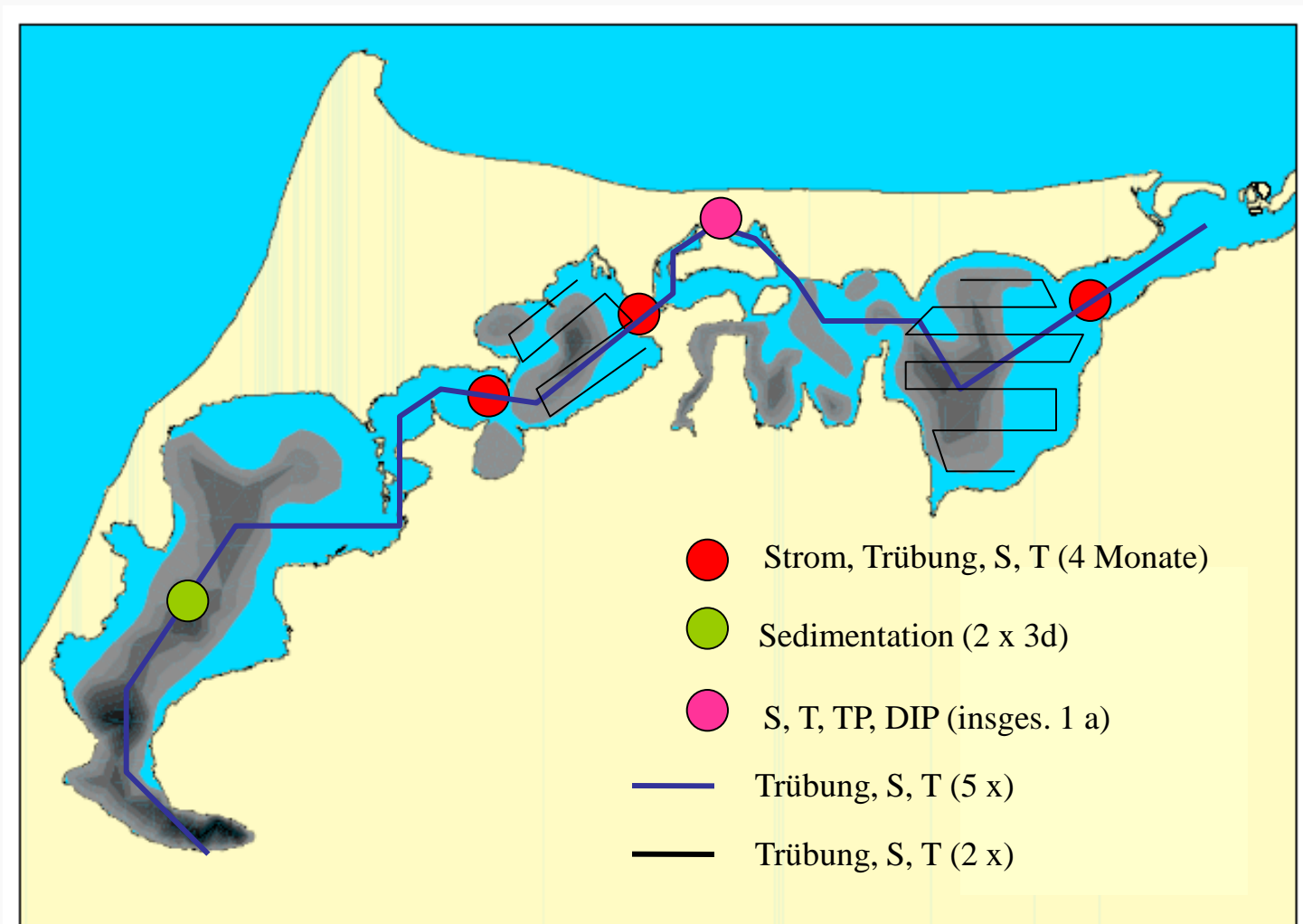


Abb. 3: Wasserstandsentwicklung anlässlich des Nordweststurmes vom 20. 01. 1986 an zwei Pegeln des Oderhaffs

Arbeitsablauf Modellierung:

- Beschaffung der Winddaten und der Wasserstandsdaten als 10 Minutenmittel und Ausführen der Windstau- und Ereignisstatistik,
- Bearbeitung der Tiefen- und Höhenfelder, Vermessung der Kanalquerschnitte und Feststellung der Durchflusscharakteristika
- Erstellung der Modellsteuerung (Startfelder, Windfelder, Solarstrahlungsdifferenz, Luftdruck, Luftfeuchte, Zuflüsse, Niederschläge, Randwerte im NE: Durchflüsse, Salzgehalte, Temperaturen, Inhaltsstoffe)
- Verifikationsläufe mit Salz, aber ohne Schwebstoffe zur Kontrolle der Richtigkeit aller Durchflüsse zu den einzelnen Bodden
- Ermittlung der Suspensionsquellen und deren Intensität, Ankopplung an Wassertransport
- Modell-Berechnung des Jahres 2011

Empirische Datenerfassung

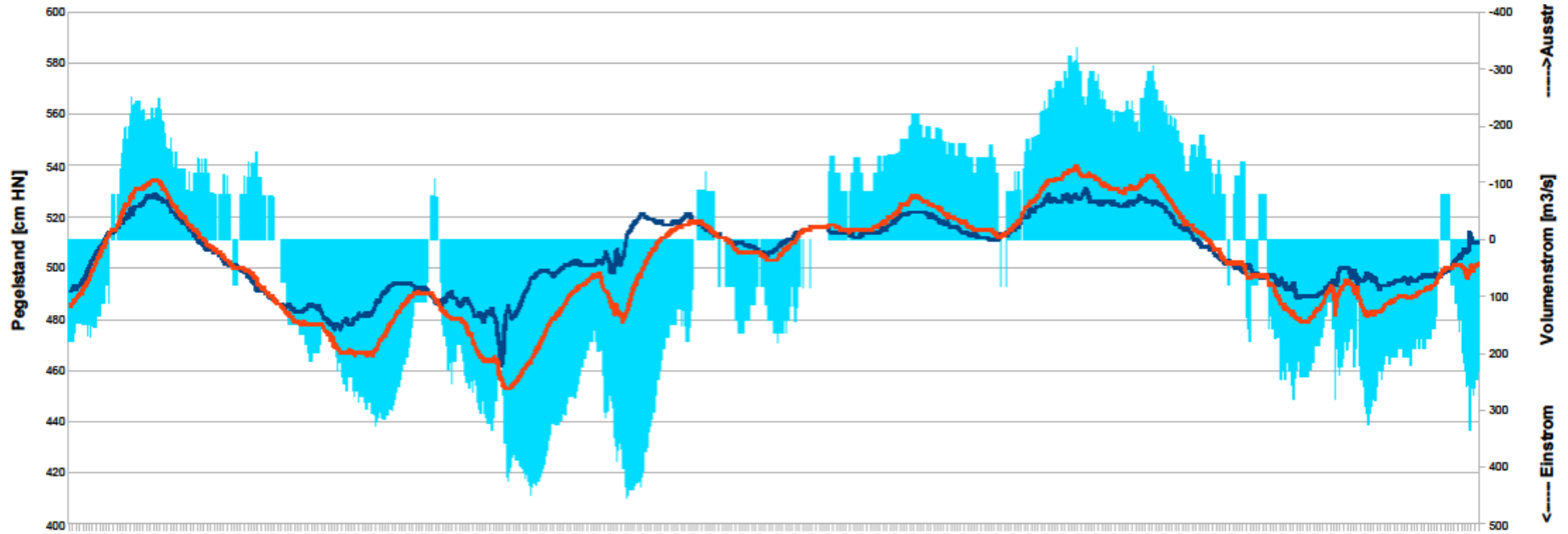


Realisation

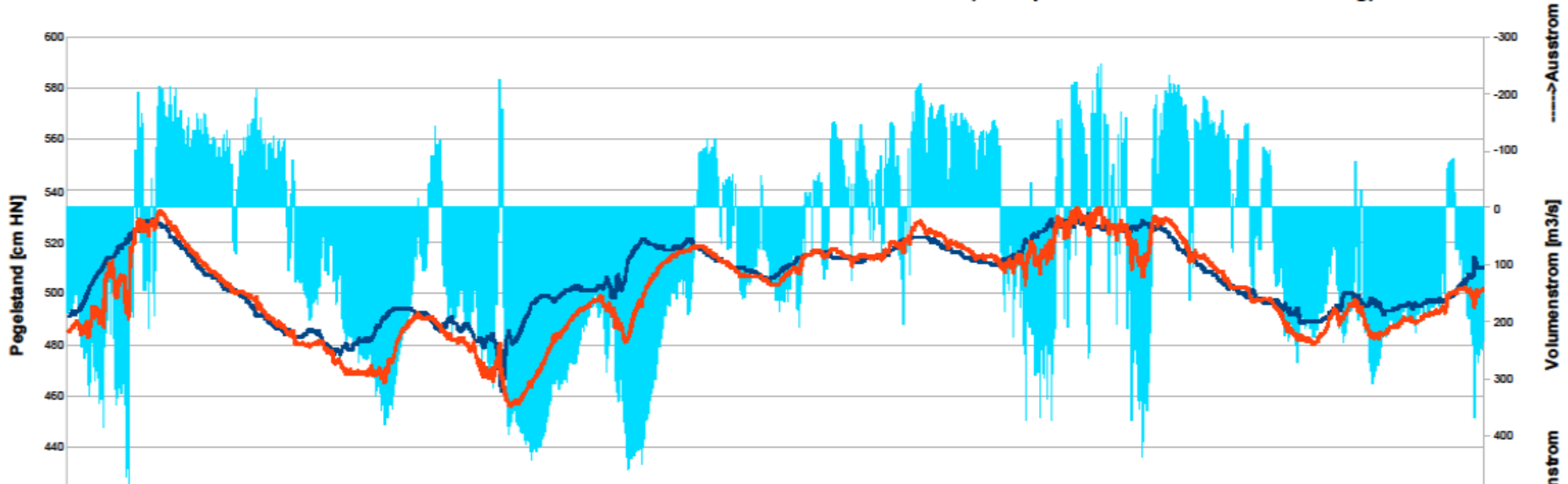
Messtation	Messphase	Messzeitraum	Σ Messtage [d]
Kinnbackenhagen (St. 3)	Frühjahr 2011	28.03. – 12.05.2011	46
	Herbst 2011	08.11. – 29.11.2011	22
	Frühjahr 2012	21.03. – 02.05.2012	33
	Herbst 2012	10.09. – 06.11.2012	58
Nadelhaken (St. 7)*	Frühjahr 2011	29.03. – 11.05.2011	44
	Herbst 2011	25.10. – 03.12.2011	40
	Herbst 2012	07.11. – 06.12.2012	30

Ergebnisse

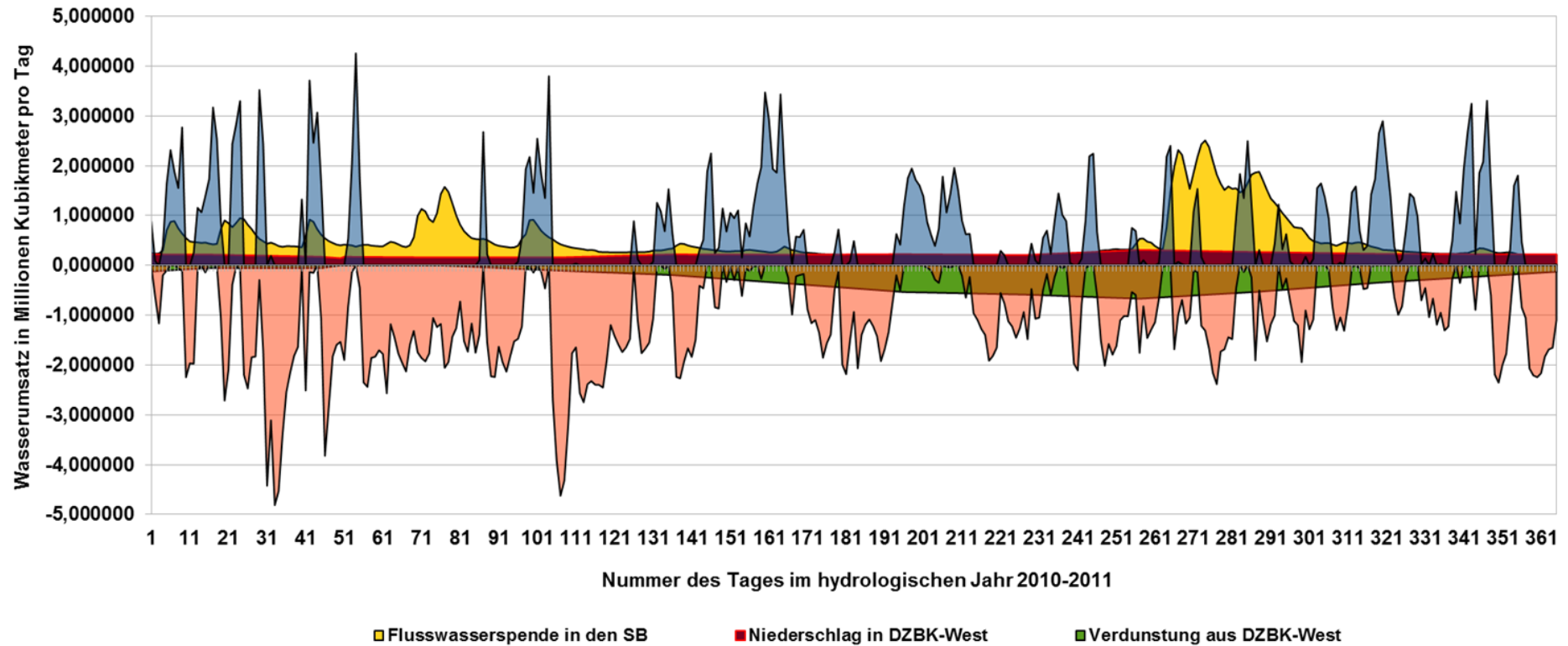
Anpassung der Strömungsberechnung an Messungen für das Profil Meiningenbrücke



Berechnete Volumenströme zwischen Ost- und Westkette (Messphase 1 mit Windstaurechnung)

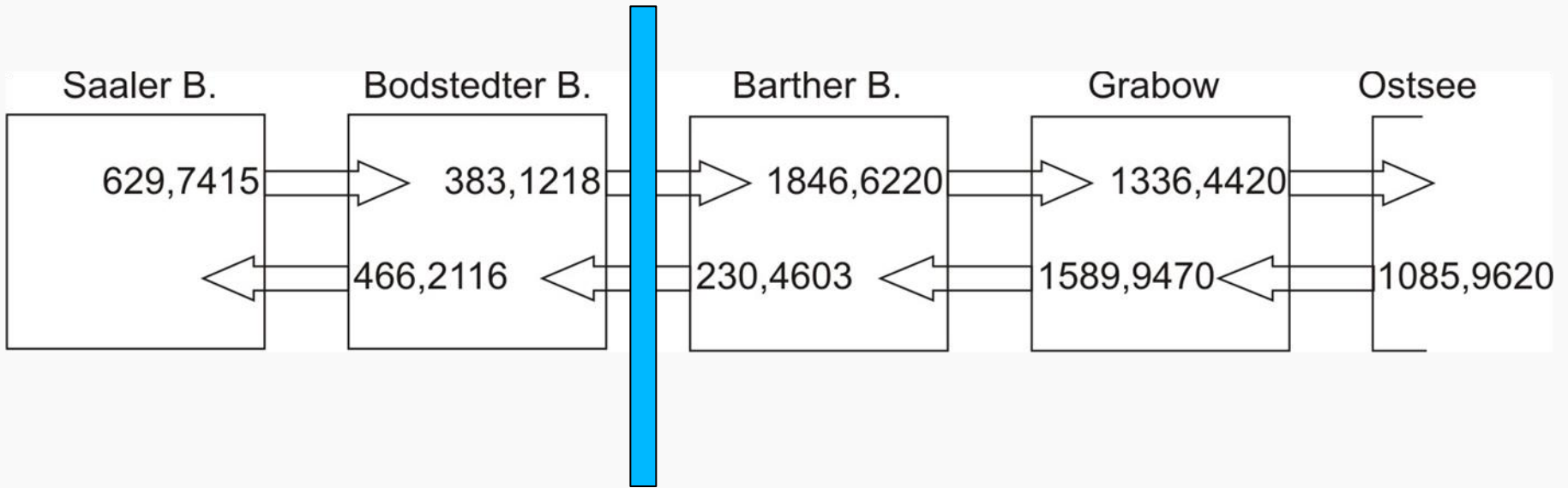


DZBK- Modellierung des Wasseraustausches



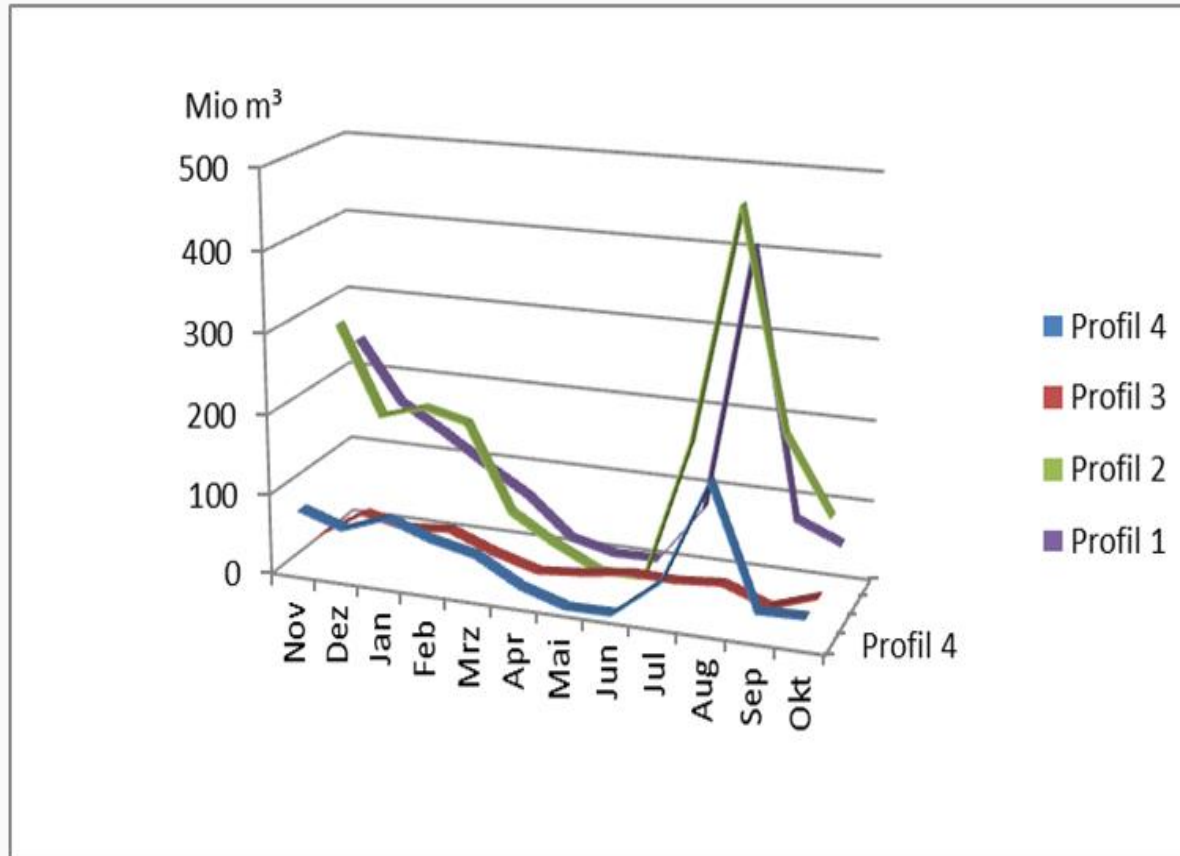
Berechnete Wasserumsätze am Profil 3 im Hydrologischen Jahr 2011 und einige Haushaltsglieder

Ergebnisse



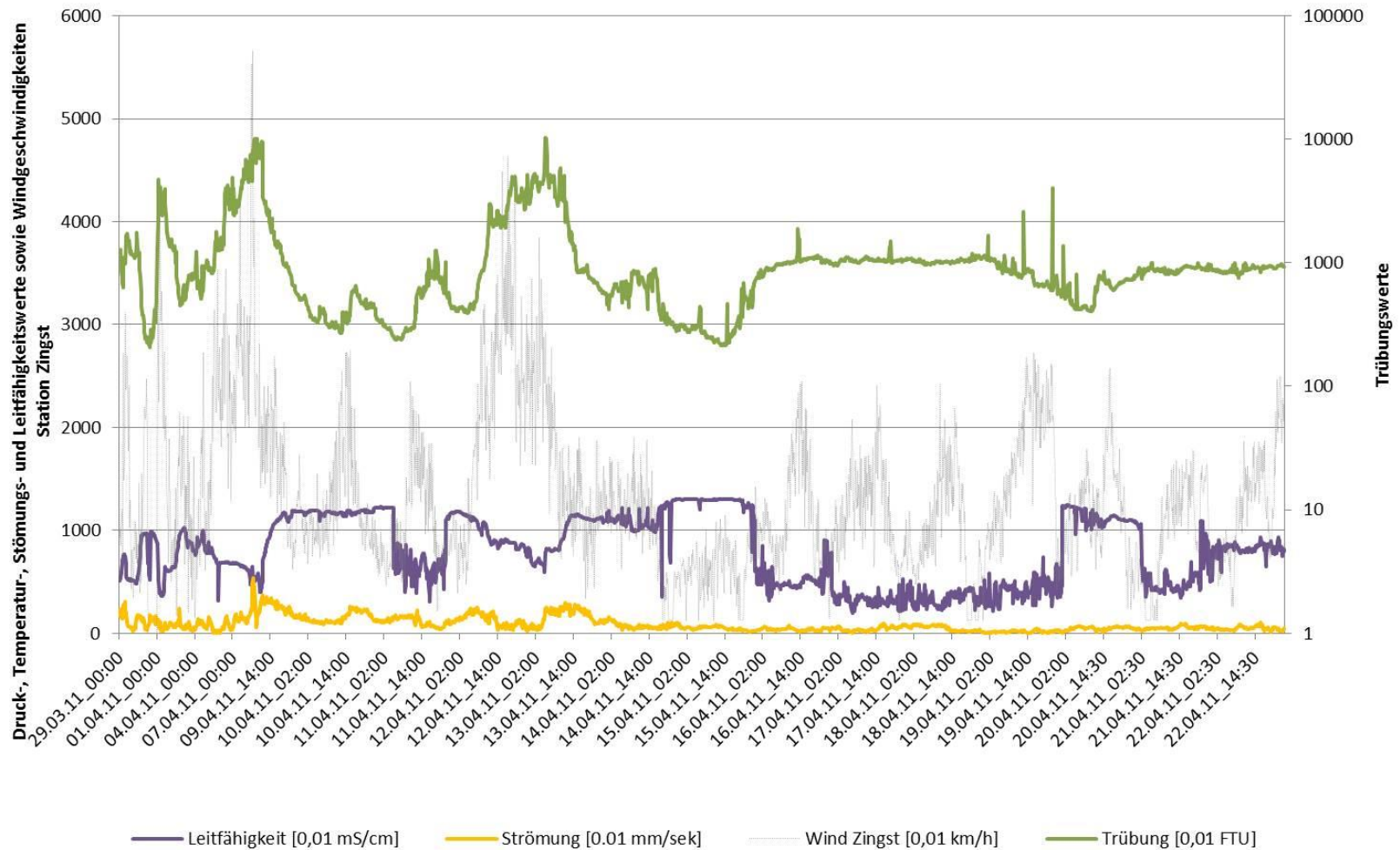
Berechneter Wasseraustausch in der DZBK im Hydrologischen Jahr 2011 (in Mio m³).

Ergebnisse



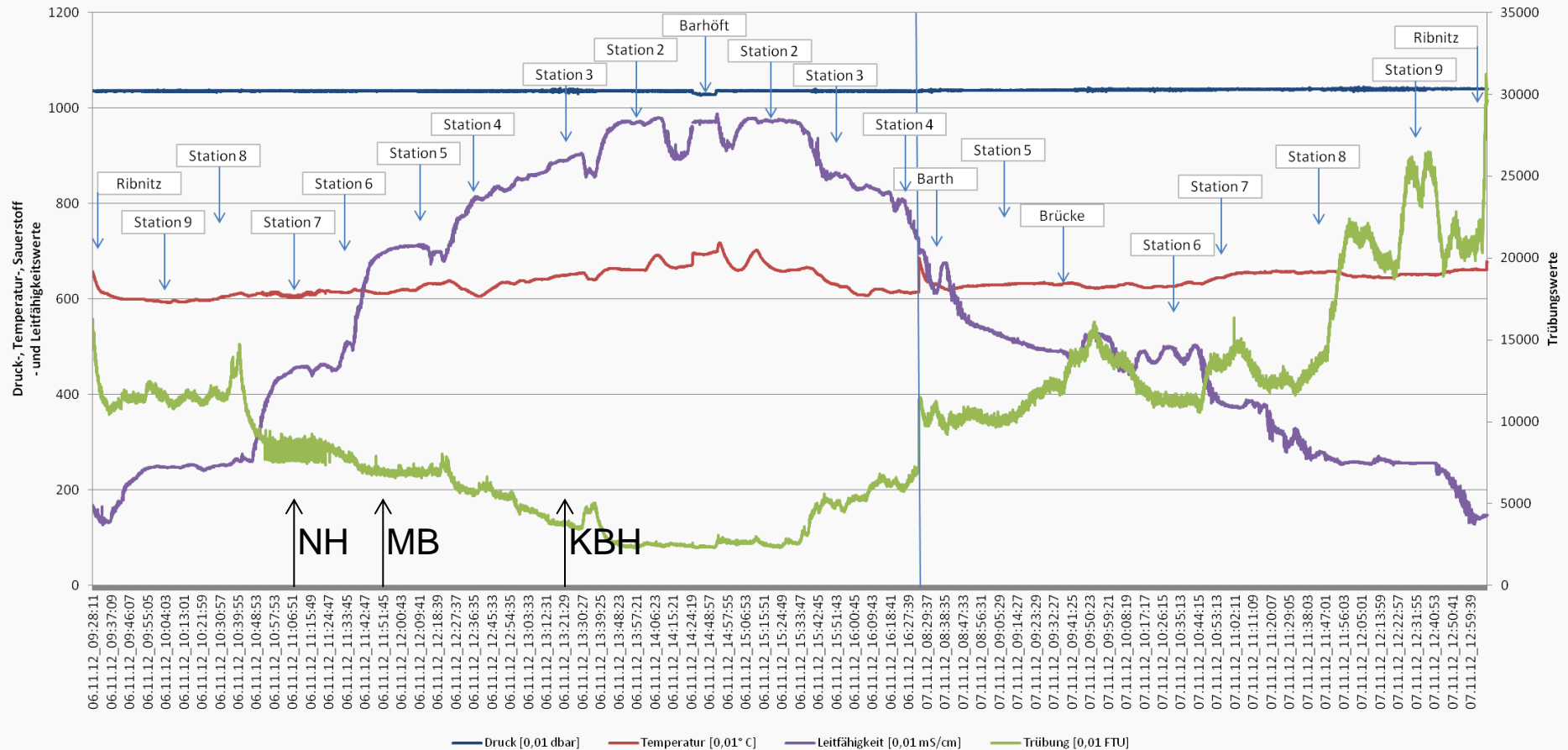
Monatssummen des Ausstroms (in Mio m³) über vier Profile.
1 – Kinnbackenhagen, 2 – Fahrenkamp, 3 – Meiningenbrücke
4 – Nadelhaken

Ergebnisse



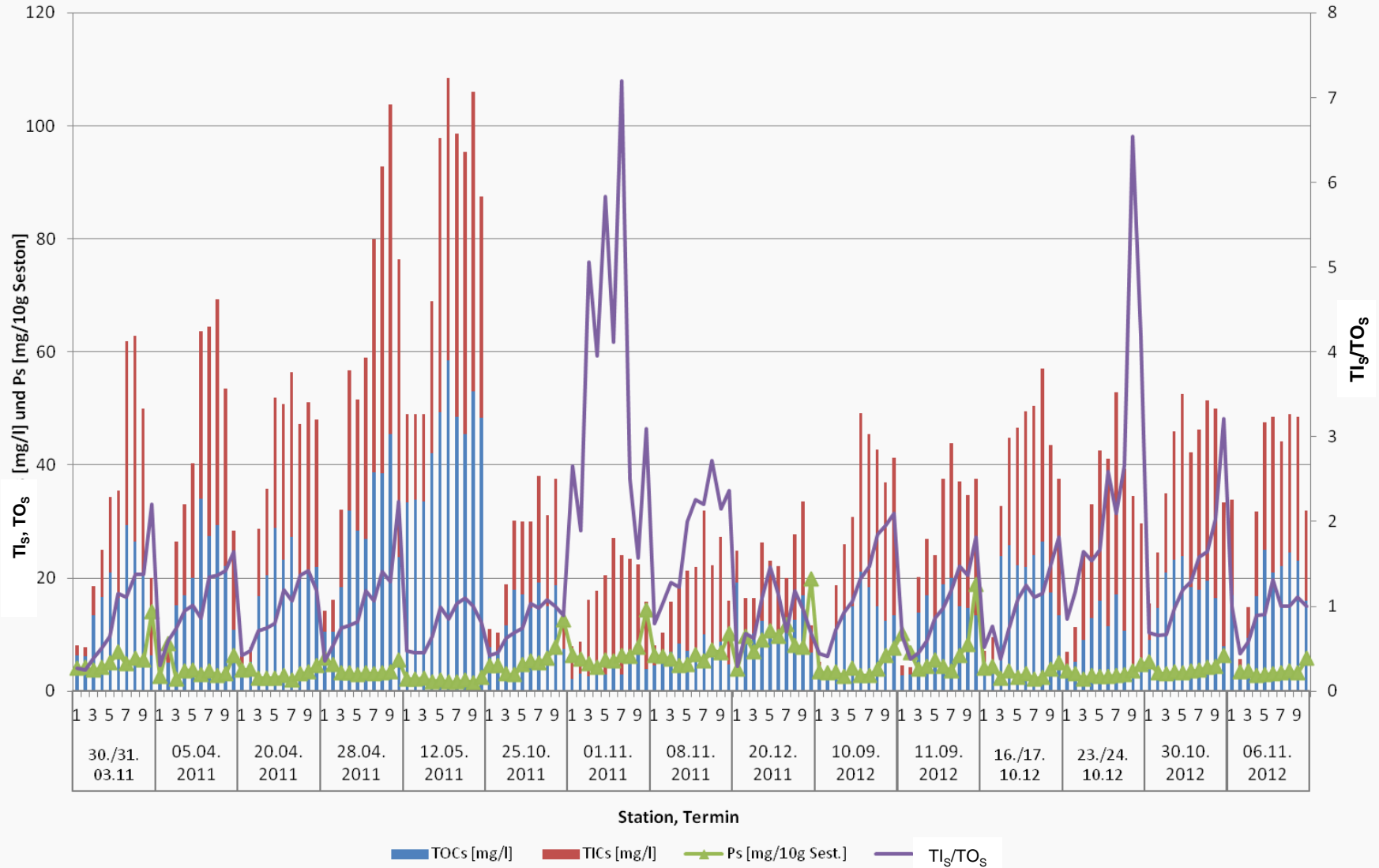
Kontinuierlich aufgezeichnete Messdaten an Station 3, Kinnbackenhagen, 29.3.-22.4.11

Messdaten der Profilfahrt Ribnitz-Barhöft-Barth-Ribnitz am 06. - 07. Nov. 2012



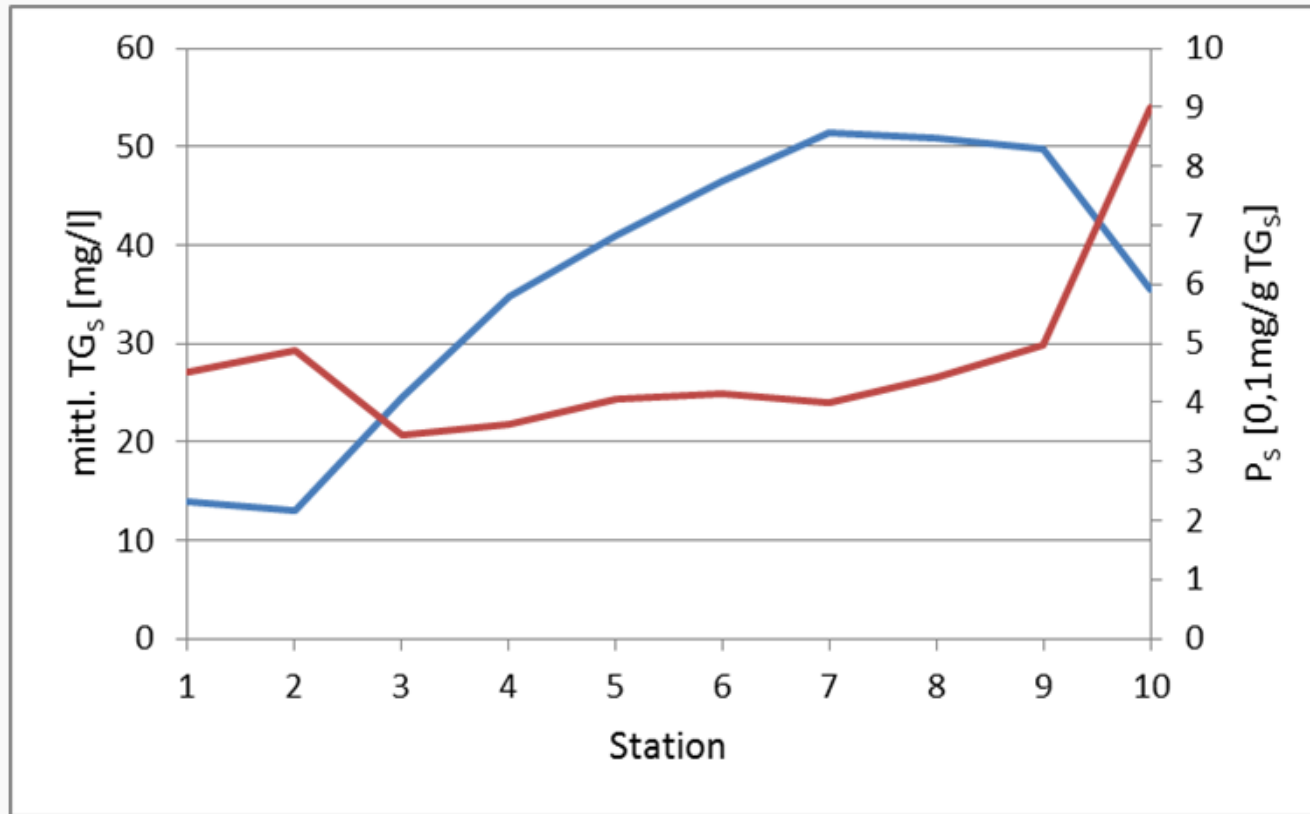
Kontinuierlich aufgezeichnete Messdaten der Längsprofil-Fahrt Ribnitz-Barhöft-Barth-Ribnitz am 6./7.11.2012, NH - Nadelhaken MB - Meiningenbrücke, KBH - Kinnbackenhagen

Ergebnisse



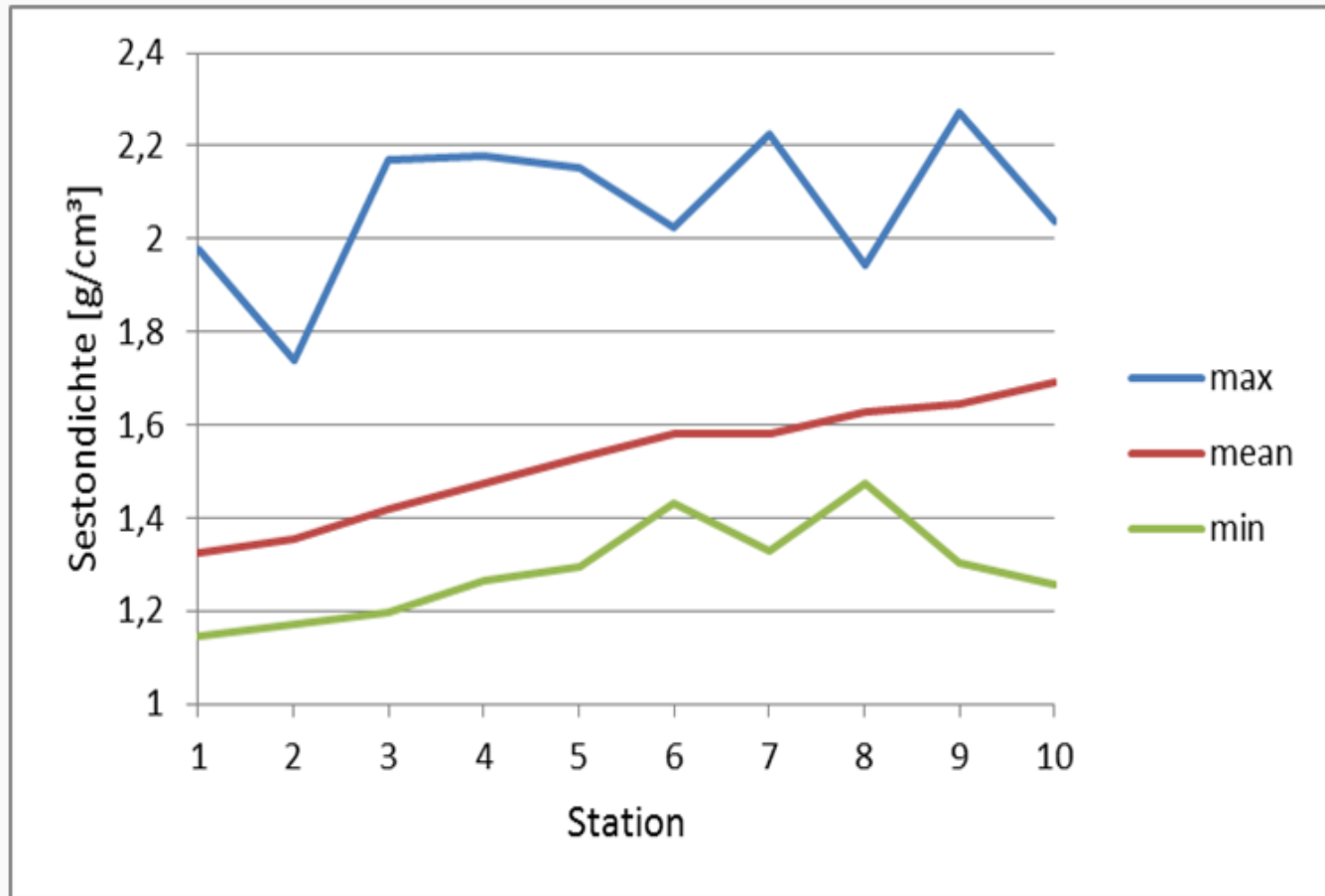
Seston-TG-Mittelwerte TG_S aus jeweils zwei Proben (untergliedert nach Seston, organisch (TO_S) und Seston, anorganisch (TI_S)) sowie Seston-P-Konzentrationen P_S der Stationen 1 bis 10.

Ergebnisse



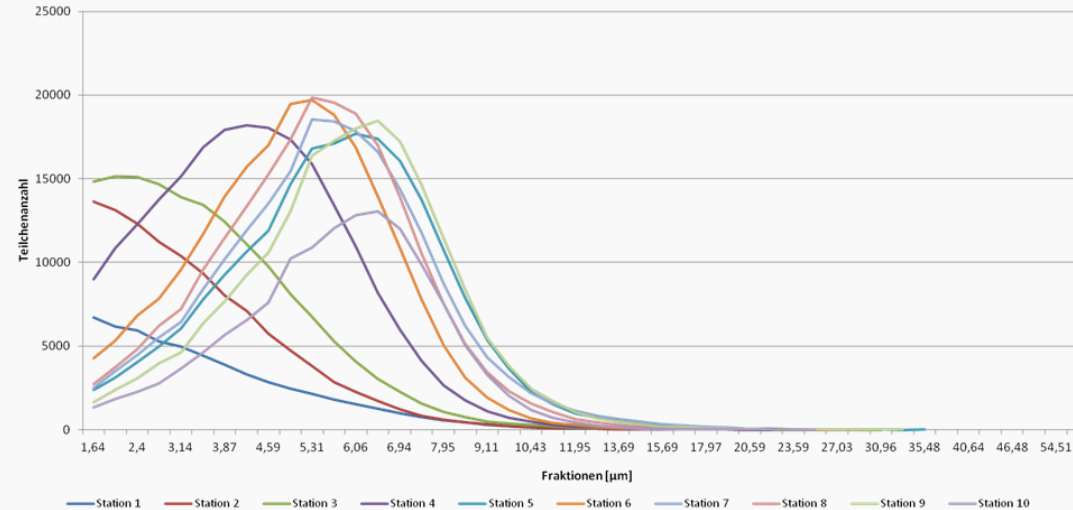
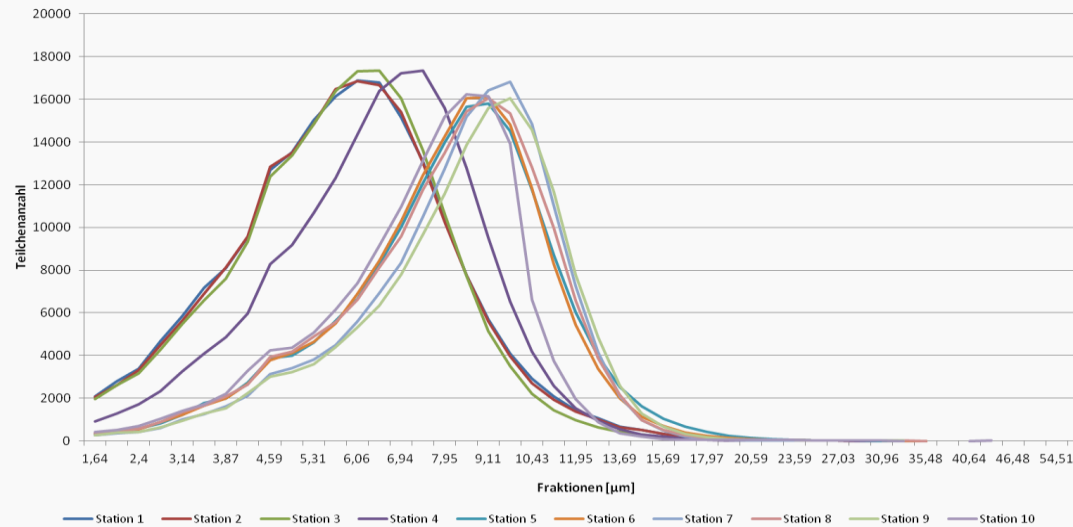
Mittlere Sestonkonzentrationen TG_S (in mg/l, blaue Linie) und P-Konzentrationen des Sestons P_S (in 0,1 mg/g TG_S, rote Linie) der zehn beprobten Stationen, gemittelt über 15 Beprobungen.

Ergebnisse



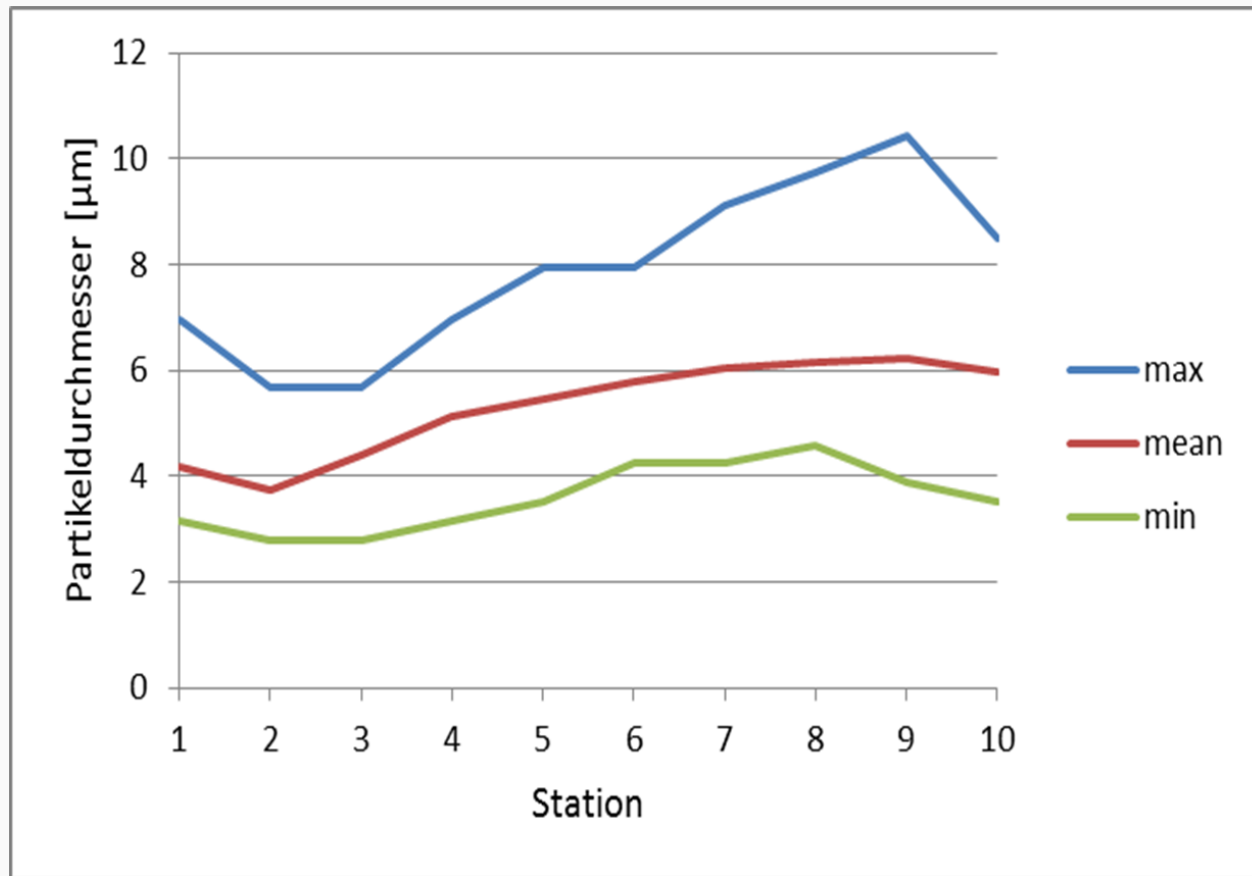
Minimale, durchschnittliche und maximale Dichte des Sestons (in g/cm^3), jeweils gemittelt über 15 Beprobungen der zehn Stationen

Ergebnisse



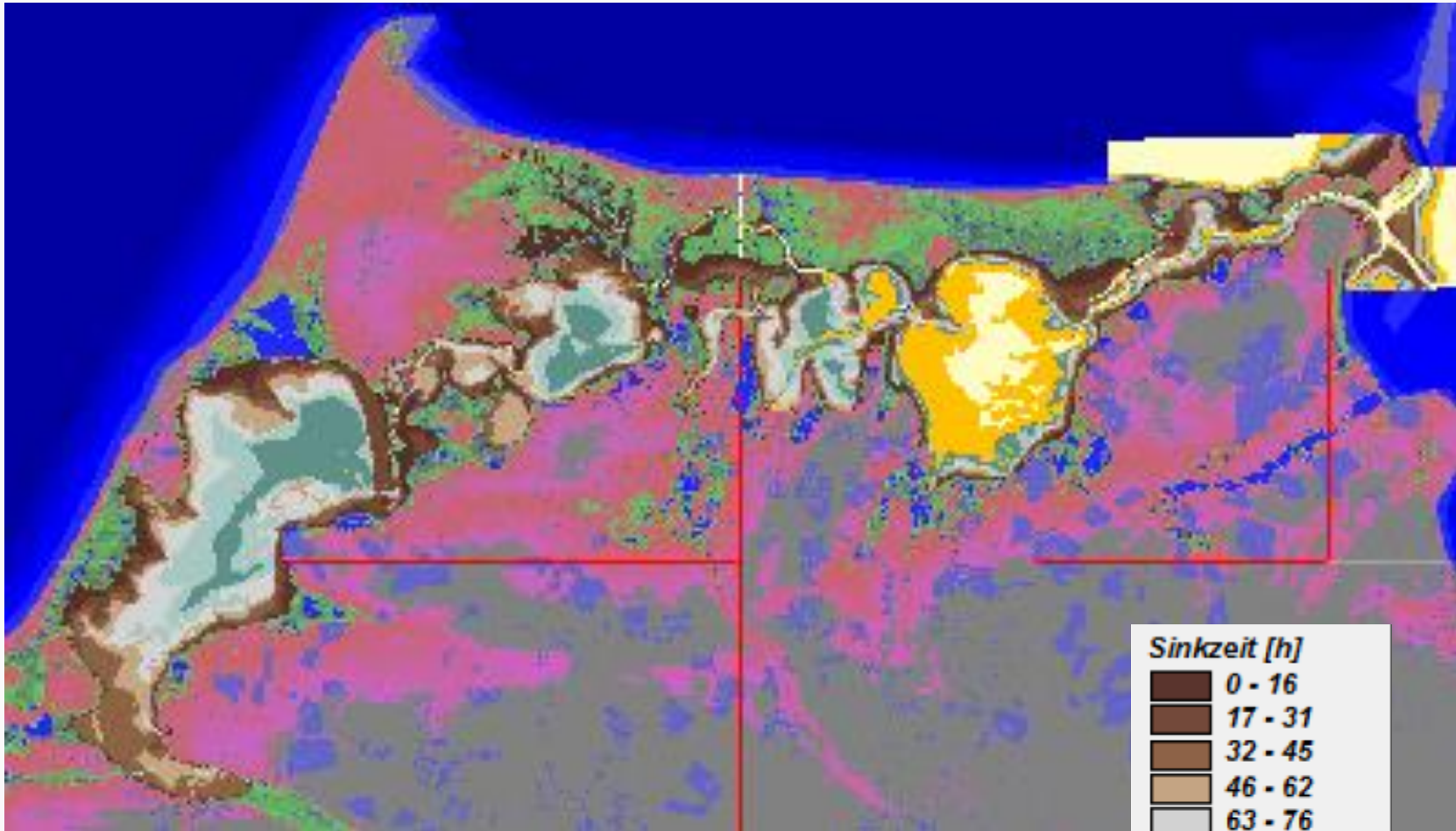
Partikelanzahl je Größenfraktion an den einzelnen Messstationen am 12.05.2011 (oben) und 23./24.10.2012 (unten)

Ergebnisse



Minimaler, durchschnittlicher und maximaler mittlerer Durchmesser x50 [mean, in µm] aus Partikelgrößenbestimmungen (jeweils n=13) während der Profifahrten an den Stationen 1-10.

Ergebnisse



Regionale Differenzierung der Sinkgeschwindigkeiten,
21.12.12, mittleres meteorologisches Jahr

Ergebnisse

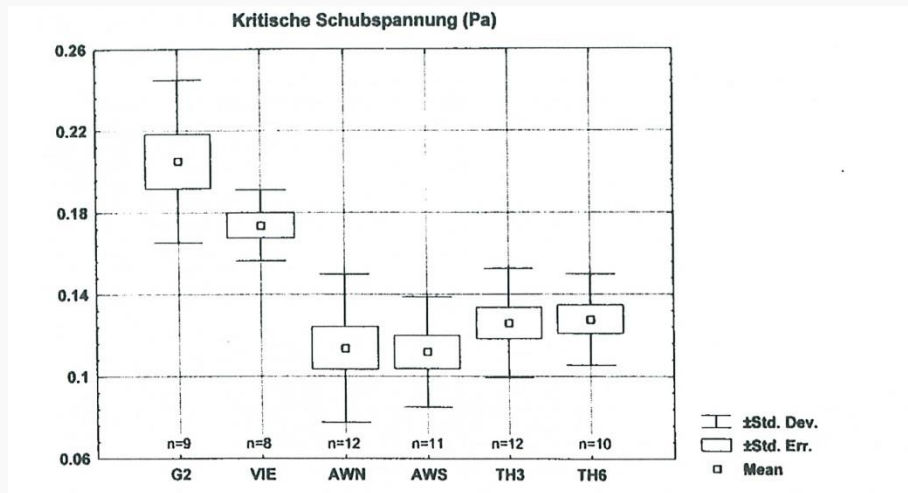


Abb. 4 Kritische Schubspannung der Sedimente im Oderästuar.

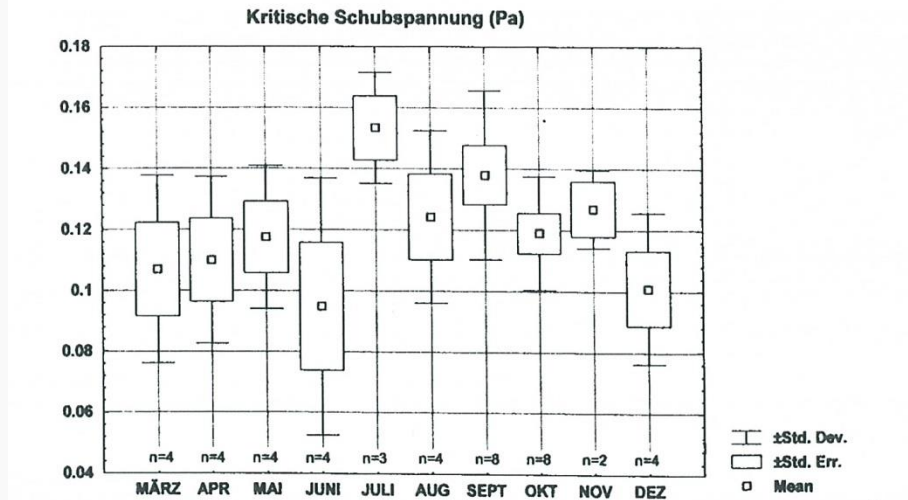


Abb. 5 Jahreszeitliche Abhängigkeit der kritischen Schubspannung der Proben aus dem Achterwasser und dem Kleinen Haff.

Kritische Schubspannung der Sedimente im Oderhaff (Burghardt & Witte 1998)

Ergebnisse

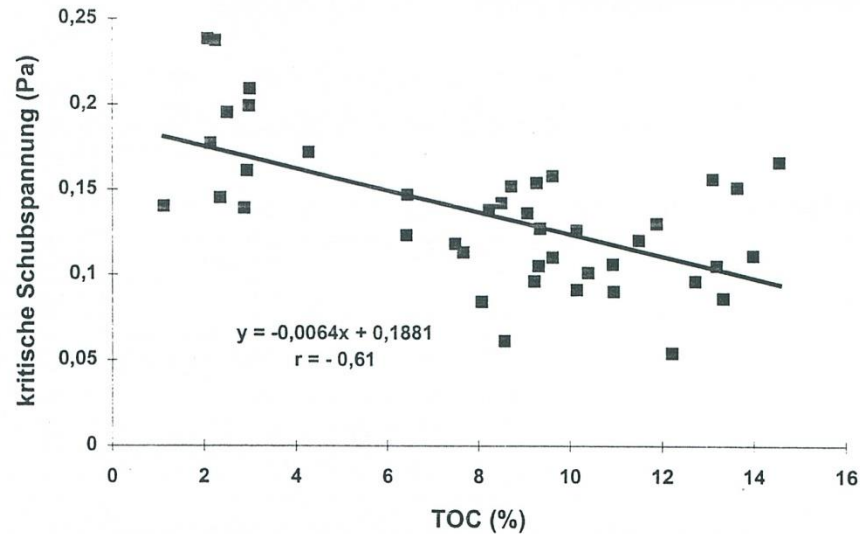


Abb. 6 Korrelation von kritischer Schubspannung und TOC im Sediment.

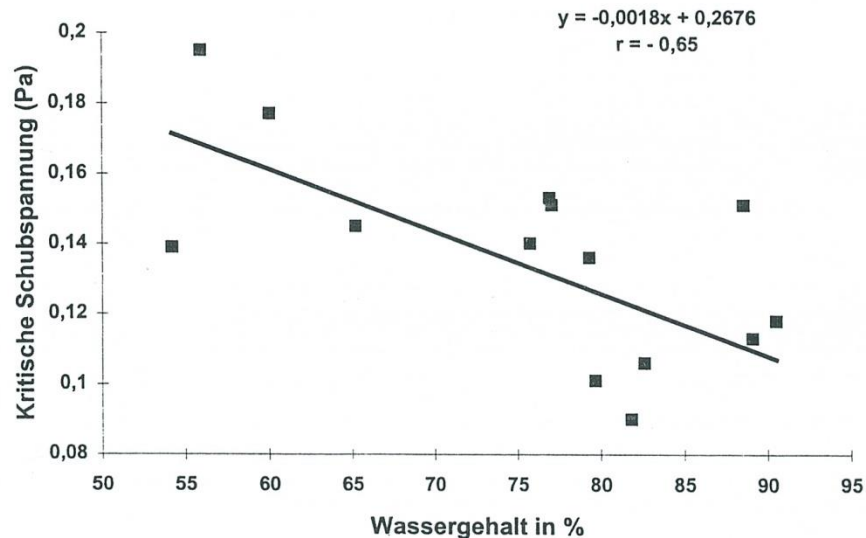
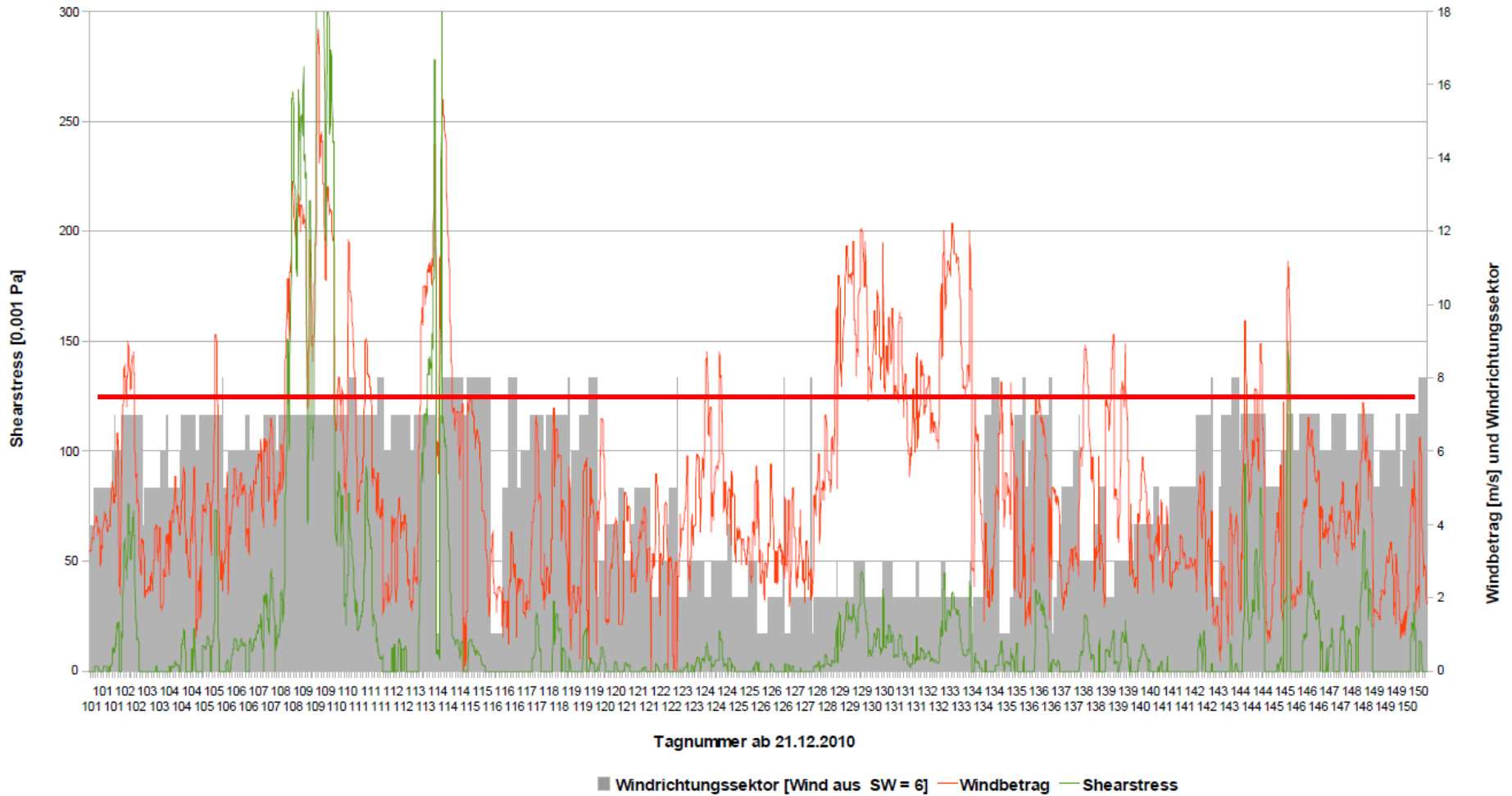


Abb. 7 Korrelation von kritischer Schubspannung und Wassergehalt des Sedimentes.

Kritische Schubspannung in Abhängigkeit von TOC und Wassergehalt des Sedimentes im Oderhaff (Burghardt & Witte 1998)

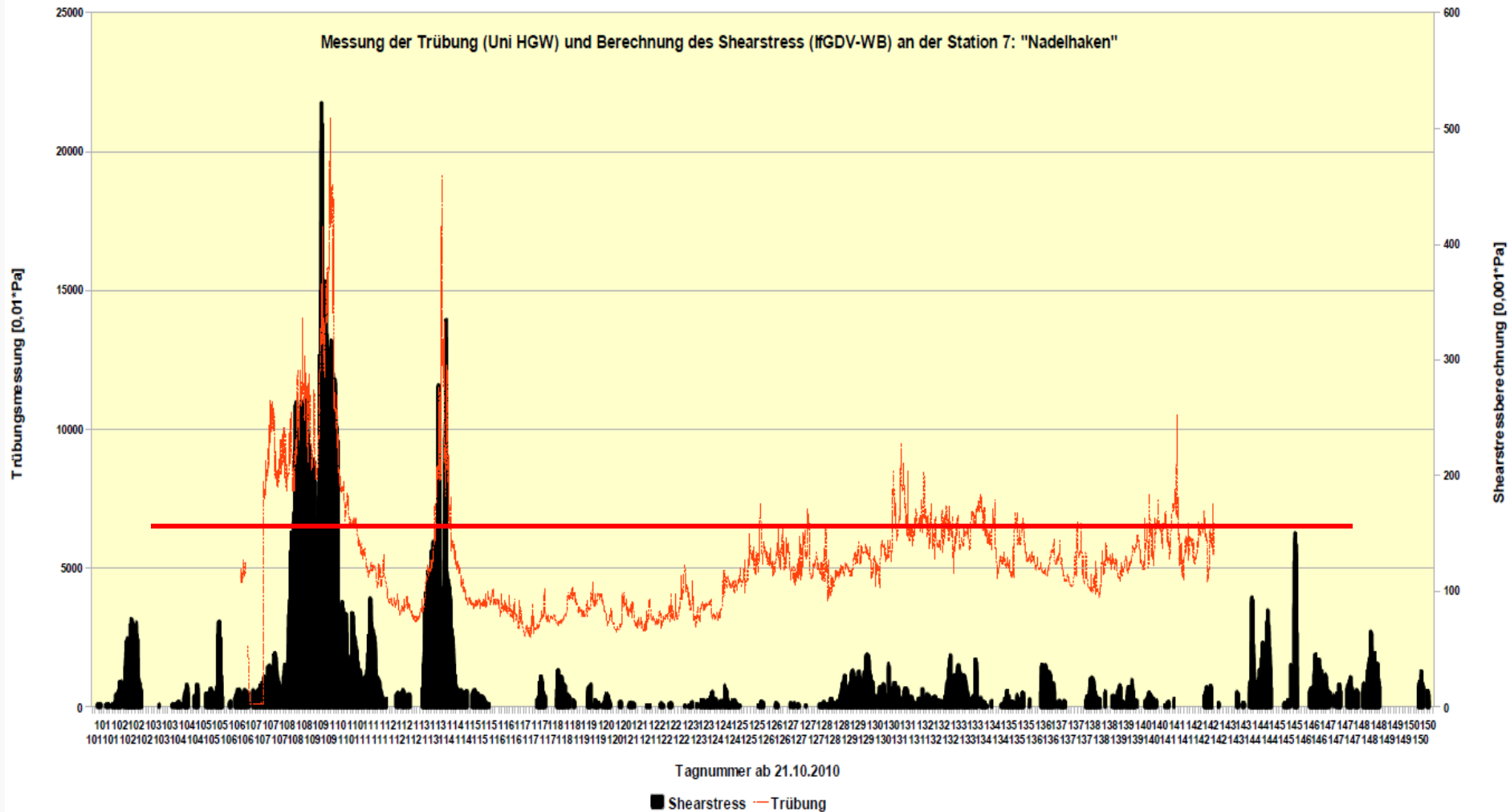
Ergebnisse

Jahresreihe der Shearbelastung an Station 7 (Uni GW) im meteorologischen Jahr 2010/ 2011



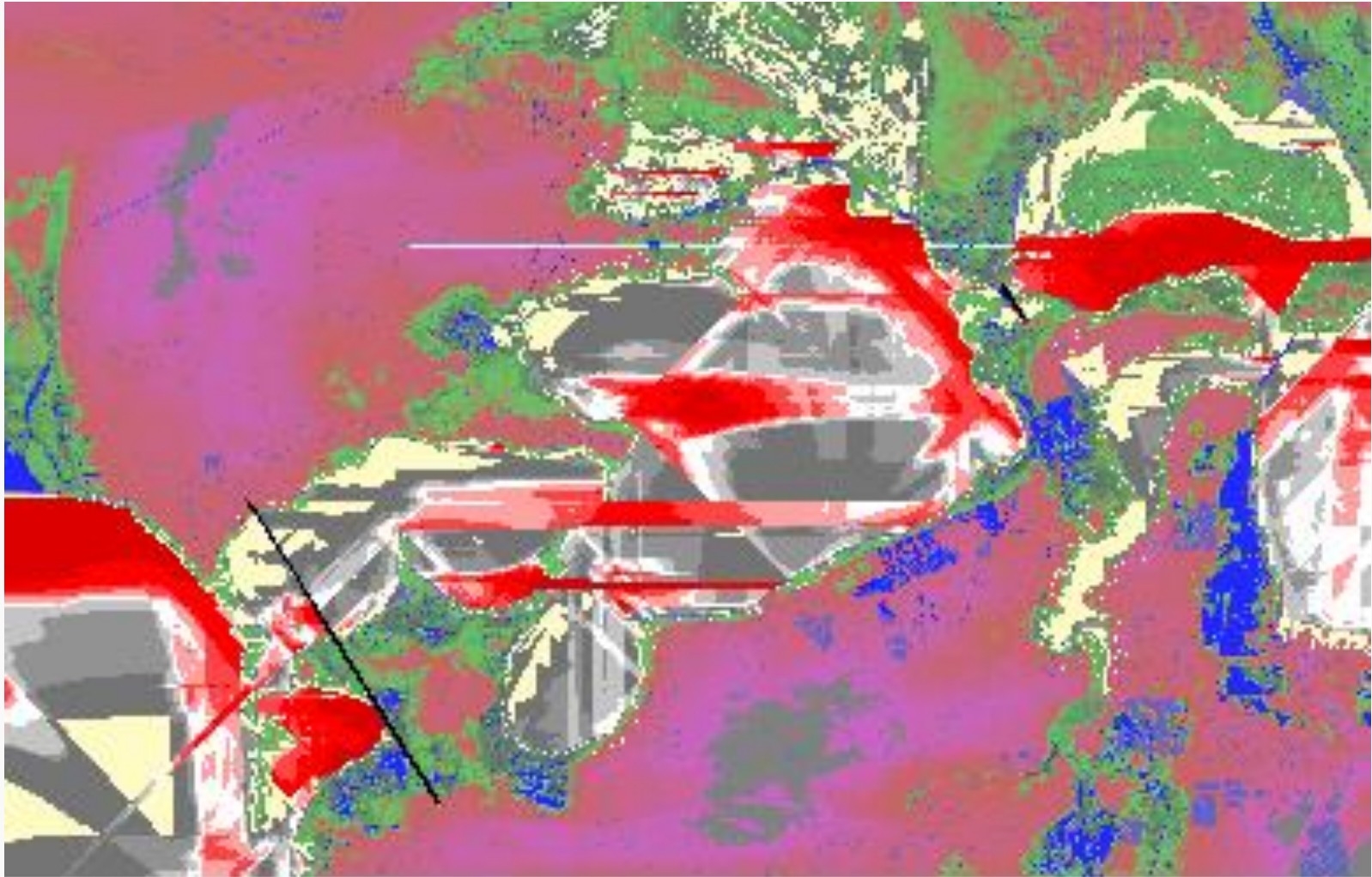
Shearstress-Belastung, Station 7, Nadelhaken, Tag 101-150 des Jahres 2010/11

Ergebnisse



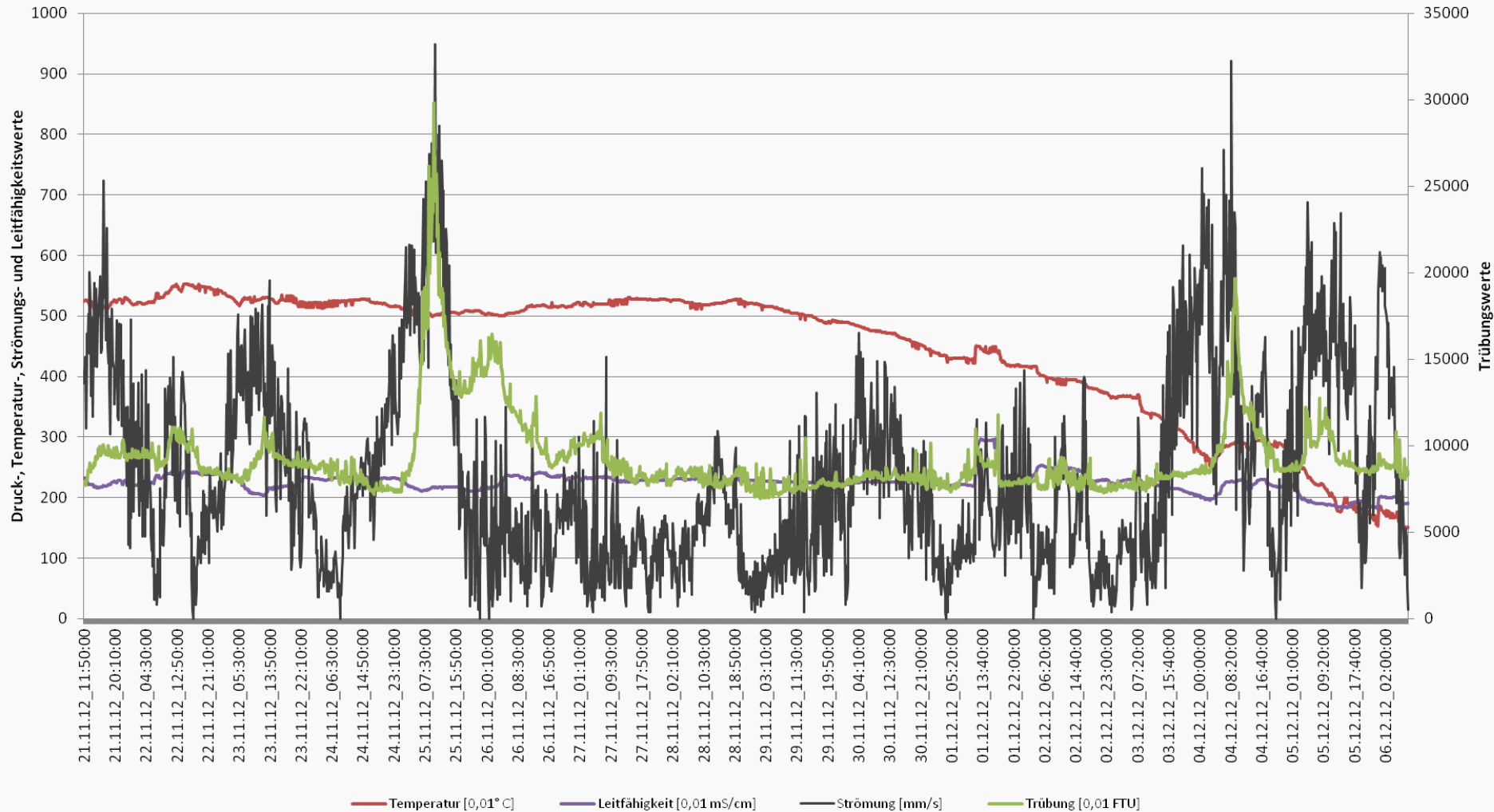
Meswerte der Trübung an Station 7, Nadelhaken, und berechnete Scherspannung (0,01 Pa)

Ergebnisse



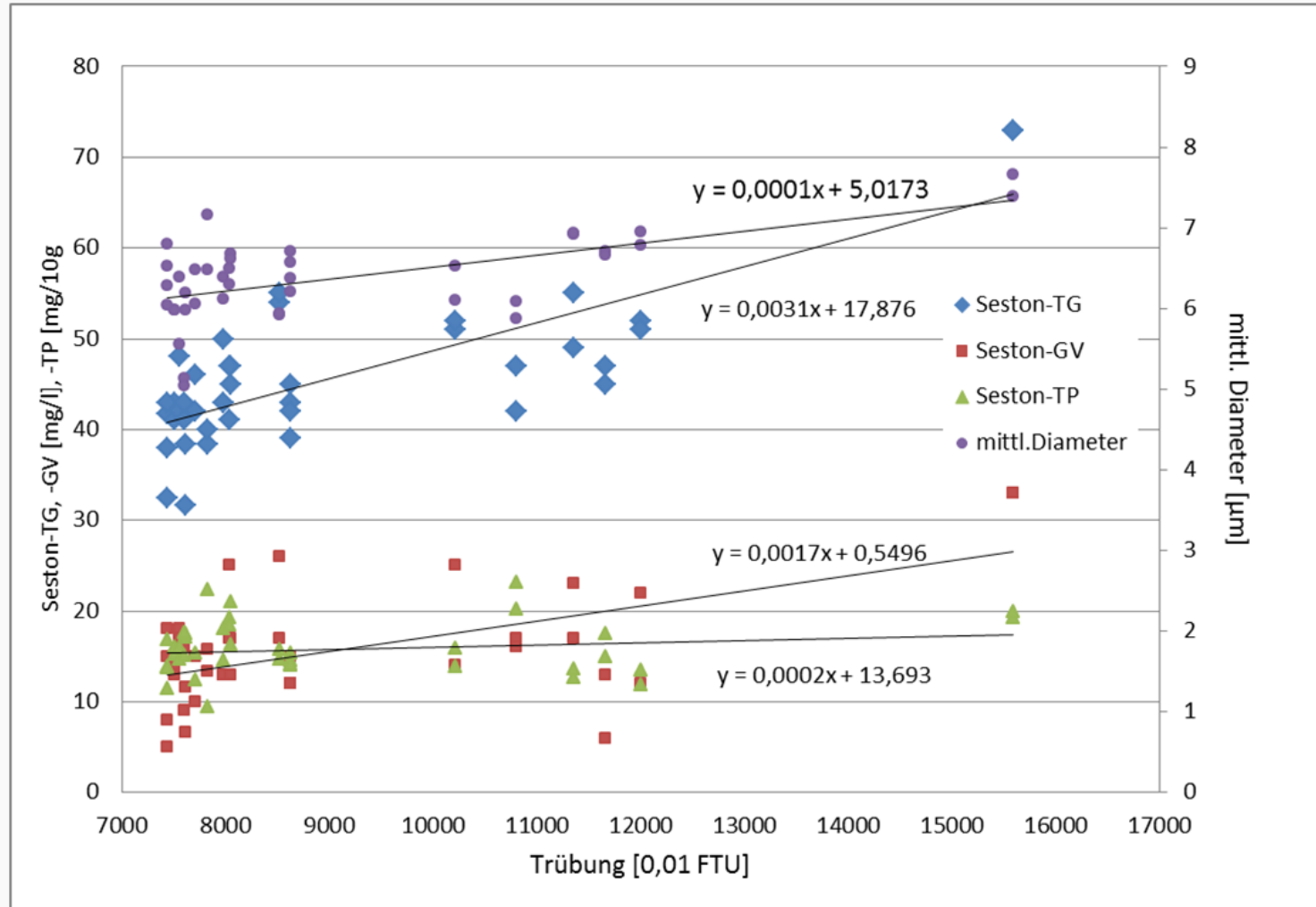
Anzahl der Tage in 2010/11, an denen die Schubspannung $0,25 \text{ Pa}$ überschreitet
(gelb = 0, grau = 1-6, weiß = 7-9, rot = 10-30 Tage)

Ergebnisse



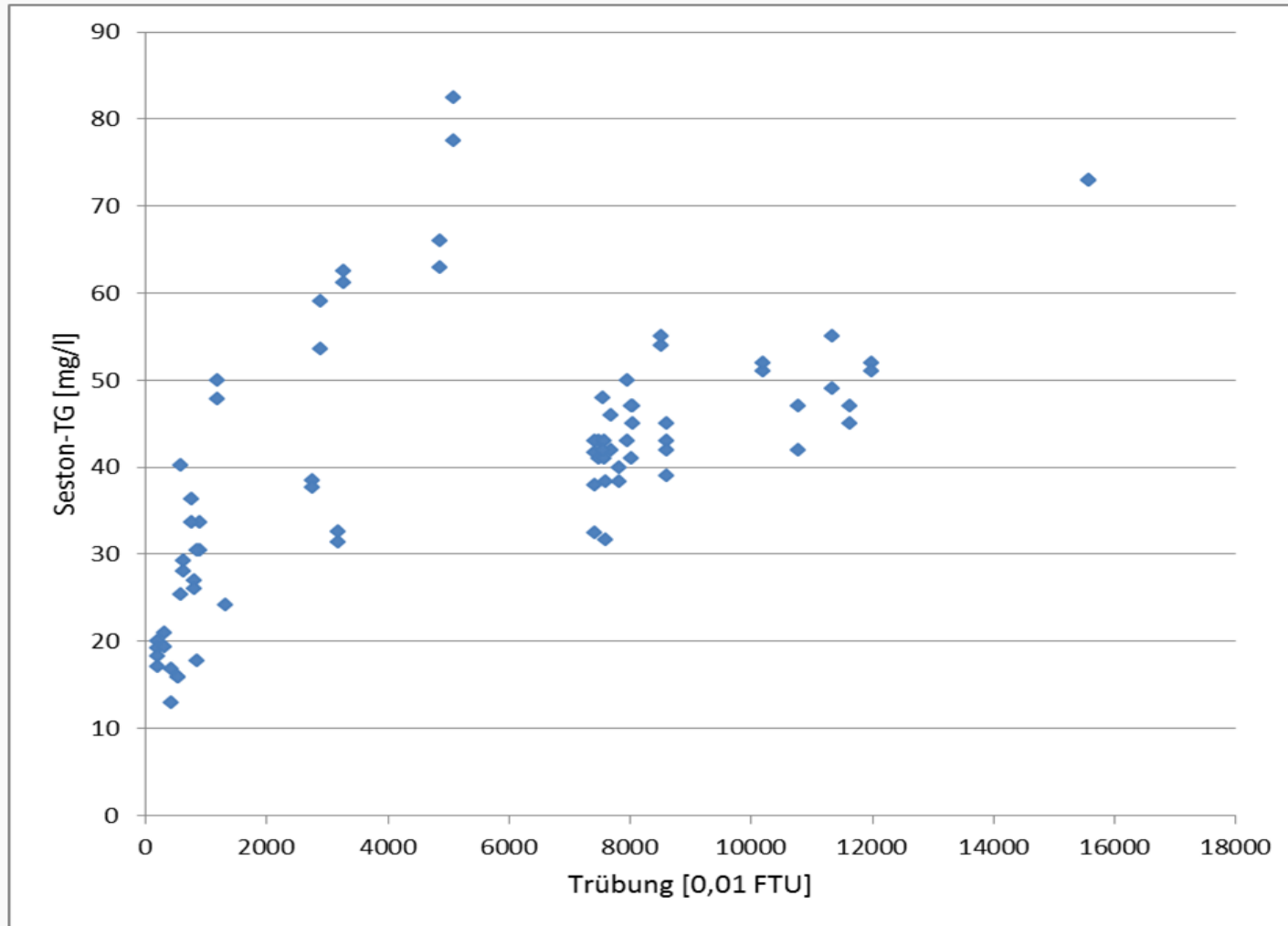
Resuspensionsereignisse, Messdaten von der Station Althagen, 21.11.12 – 6.12.12

Ergebnisse



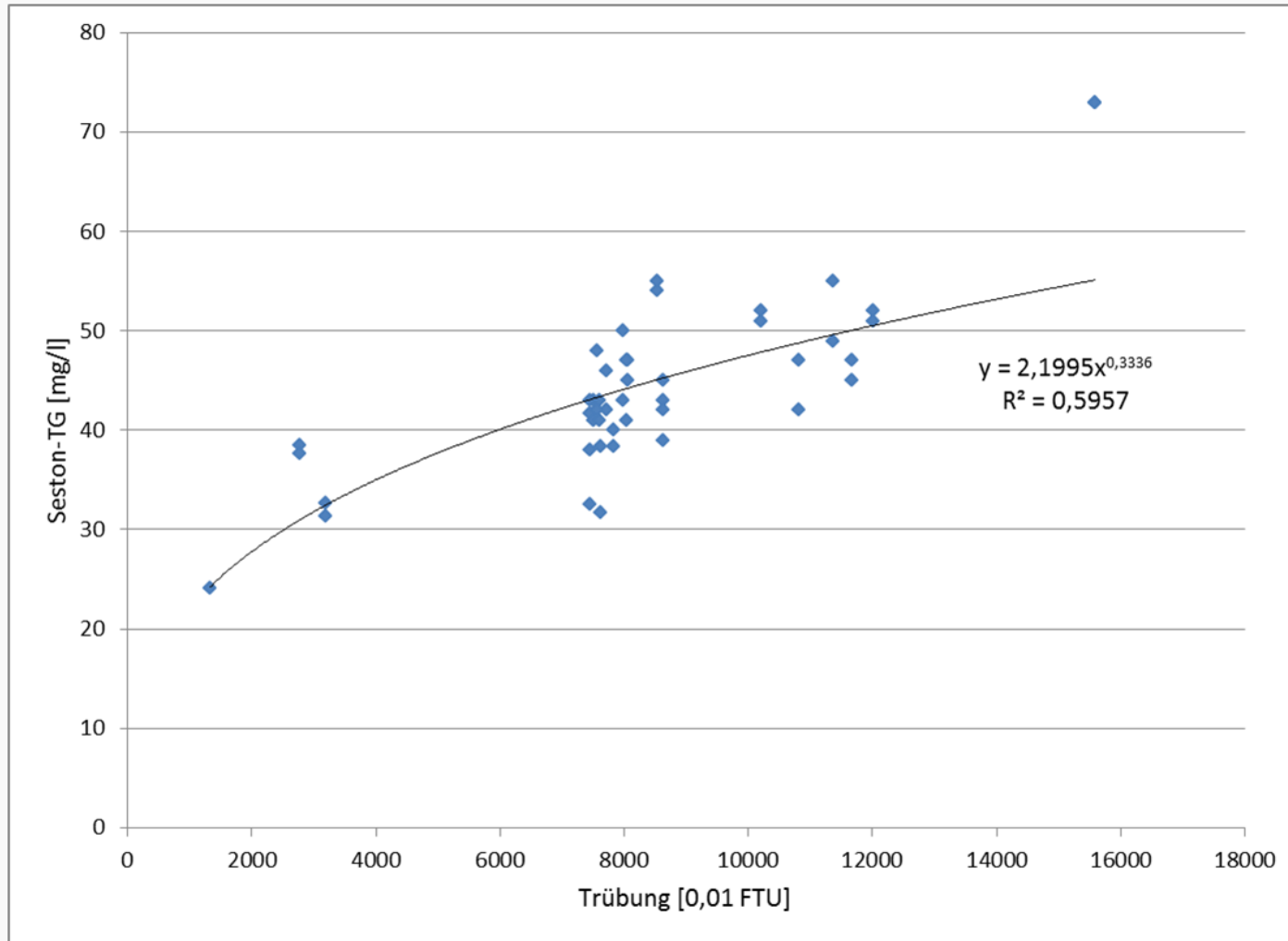
Ergebnisse des Sonderprogramms Althagen zu Menge und Qualität des Sestons bei Resuspensionsereignissen

Ergebnisse



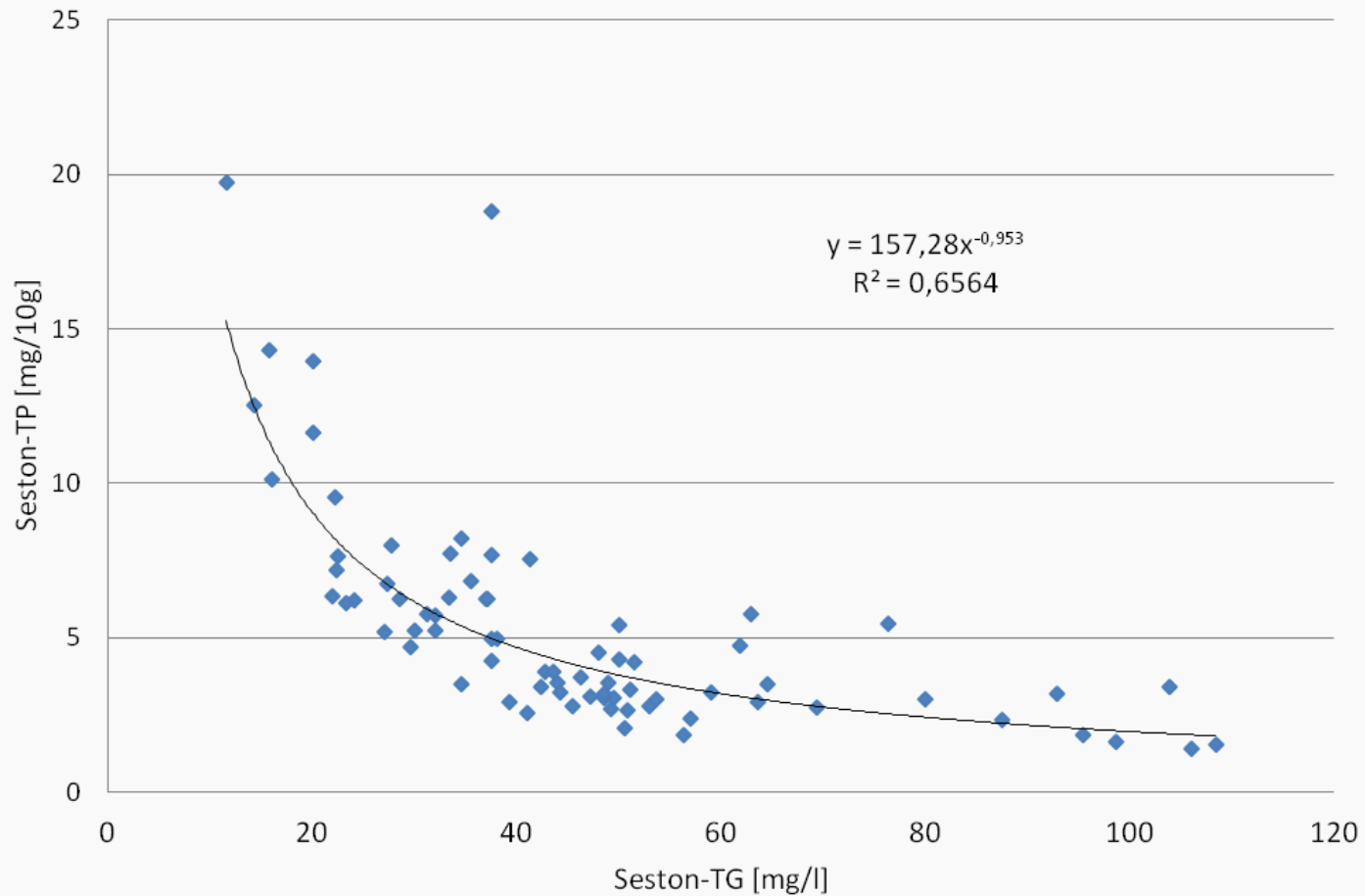
Trübungswerte der stationären Sonden vs. durch Filtration bestimmte Sestonkonzentration an den Stationen 3, 7 und AH.

Ergebnisse



Trübungswerte der stationären Sonden vs. durch Filtration bestimmte Sestonkonzentration an den Stationen im Saaler Bodden, nur Winterwerte

Ergebnisse



Zusammenhang zwischen Seston-TG [mg/l] und P_S -Konzentration [mg/10g],
Stat. 6-10, alle Termine

Auf Grund der Witterungsverhältnisse konnte das Ziel, für die einzelnen Bodden Funktionen zwischen Windstärke/-richtung und Sestonkonzentration zu finden, nicht erreicht werden.

Um Aussagen zum Stofftransport zu treffen, wurden deshalb die täglichen Bestimmungen der Sestonkonzentration (Station Zingst) mit den täglichen Wassertransporten (10min-Werte) über die Meiningen-Enge verrechnet. Für die Seston-P-Konzentration wurde der eben gezeigte Zusammenhang zugrunde gelegt.

Ergebnisse

Monatliche Wasserausstromvolumina sowie Seston- und daran gebundene P-Exporte über das Profil 3 (Meiningenstrom) im Hydrologischen Jahr 2011.

Monat	Ausstrom [Mio m ³]	Nettostrom [Mio m ³]	Brutto-Export Seston [t]	Netto- Export Seston [t]	Brutto- Export P [t]	Netto-Export P [t]
Nov	-25,4044	12,8478	-1025,6670	565,2826	-0,4749	0,2406
Dez	-59,2162	-38,1500	-1758,6729	-1246,1357	-0,7060	-1,0906
Jan	-47,3551	-44,3480	-834,9770	-775,2467	-0,8850	-0,8306
Feb	-52,2825	-36,5074	-2051,0704	-1008,6718	-0,9575	-0,6568
Mrz	-31,2141	-17,5694	-1091,0091	-365,2139	-0,5575	-0,2806
Apr	-15,1703	13,4018	-1068,2902	1024,9949	-0,3302	0,1992
Mai	-20,4606	2,0818	-1613,5154	631,8541	-0,3666	0,0848
Jun	-28,8452	-20,7513	-2813,5861	-1942,9263	-0,5637	-0,4143
Jul	-27,2355	-11,2817	-1735,1407	-462,1811	-0,5277	-0,2195
Aug	-32,1061	-19,1815	-1562,7548	-542,5372	-0,5834	-0,3073
Sep	-11,9582	14,7128	-447,7148	919,0217	-0,2437	0,2297
Okt	-31,8737	-7,9162	-790,3054	49,8283	-0,5807	0,1355
Summe	-383,1217	-152,6614	-16792,7037	-3151,9309	-6,7769	-2,9099

Ergebnisse

Vergleich der auf unterschiedliche Weise zu Tageswerten aggregierten und für die angegebenen Zeiträume aufsummierten Transport-Daten für die Profile 3 und 4 (Pr. 3: 10min-Strömungswerte und tägliche Sestonkonzentration, Pr. 4: 10min-Trübungswerte und tägliche Wassertransporte).

Zeitraum	Profil 4			Profil 3		
	Ausstrom netto [Mio m ³]	P _S - Transport netto [t]	P _S - Transport Ausstrom [t]	Ausstrom netto [Mio m ³]	P _S - Transport netto [t]	P _S - Transport Ausstrom [t]
4.4.-11.5.11	-7,5435	-0,1401	-12,1305	-7,0097	-0,1336	-0,6164
25.-31.10.11	-9,8202	-0,1804	-6,6518	-12,8650	-0,2342	-0,2346

Zusammenfassung

- Ziel war die Bilanzierung der Wasser- und Schwebstofftransporte innerhalb und aus der Darss-Zingster Boddenkette. Es sollte die Frage beantwortet werden, ob und in welchem Zeitraum eine natürliche Entlastung durch Austrag resuspendierten Sedimentes stattfindet.
- Im Bearbeitungszeitraum traten sehr ungünstige Bedingungen (langer Eisgang, wenige Windereignisse, Sperrung der Meiningenbrücke) auf, die zu einem für die Validierung des Schwebstoffmodells zu kleinen und mehrdeutigen Datensatz führten.
- Das HN-Modell spiegelt die internen Schwingungen innerhalb der Bodden u.v.a. die hydrologische Zweiteilung der Boddenkette mit der Meiningen-Enge als teilreflektierendem Rand wider. Die Anpassung an die Pegeldata ist gut, die Angaben zum Wasseraustausch sind zuverlässig.
- Die Resuspension/Sedimentation der Schwebstoffe ist unter Berücksichtigung von Sedimentart, Wassertiefe, Windrichtung und –stärke fertig modelliert. Für eine Validierung sind die Messdaten aber nicht ausreichend. Bei Bedarf könnten in einem Anschlussprojekt die erforderlichen Daten gesammelt und das Tracermodell gerechnet werden.

Zusammenfassung

- Die (winterliche) Schwebstoffverteilung konnte hinsichtlich Konzentration, Partikelgröße, TOC- u. P-Gehalt charakterisiert werden. Dichte und Durchmesser der Partikel nehmen nach Westen hin zu, die Viskosität ab. Die höheren Sinkgeschwindigkeiten ergeben sich deshalb in den inneren Gewässern.
- Der berechnete Wasseraustausch 2011 liegt im Durchschnitt der bisher bekannten Daten. Der Hauptaustausch erfolgte aber im Sommer statt im Winter, der Austausch zwischen Einzelbodden kann größer sein als der Austausch mit der Ostsee. Die Meiningen-Enge wirkt als Tiefpass-Filter.
- Die Schwebstoffbilanz wurde für das Profil Meiningen-Enge aus Tagesmessungen der Sestonkonzentration und 10min-Werten des Wasseraustausches berechnet. Für 2011 wurde ein Netto-Export von 3200 t Seston und 2,9 t P berechnet. Bei einem Eintrag von rd. 15 t P/a ergibt sich daraus keine absehbare Entlastung.
- Auch unter Annahme deutlich häufigerer Wind- und Ausstromereignisse sind Austragsraten von P, die ungefähr die Eintragsraten erreichen, eher unrealistisch. Für eine spürbare Entlastung müsste der Sestonaustrag von 3200 auf 24000 t/a ansteigen.

Schlussfolgerungen

Mit einer natürlichen Verbesserung des Trophiestatus durch Austrag resuspendierten Sedimentes kann nicht gerechnet werden. Die Entlastung der inneren Bodden muss auf andere Weise erfolgen.

Sestonpartikel sind i.d.R. sehr klein und weisen geringe Sinkgeschwindigkeiten auf. Schon geringe Turbulenzen können sie in Schwebelage halten und zu einer dauerhaften Trübung (und eventl. Lichtlimitation) führen.

Resuspendiertes Material dagegen zeigt hohe Sinkgeschwindigkeiten und ist P-arm.

Es bleibt offen, inwieweit der detektierte Phosphor wirklich „bioverfügbar“ ist und in welchem Maße P als limitierender Faktor wirkt. Sollte sich herausstellen, dass das P der Sedimente und Schwebstoffe nicht bioproduktionswirksam ist, würde eine Sedimententfernung nur geringe Effekte zeigen. Zur Rolle des Sediment- bzw. Seston-P sind weitere Untersuchungen unerlässlich.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !