

**Untersuchung von Auswirkungen
temporär erhöhter Abflussmengen auf die Sohlverschlammung von
Stauhaltungen im Oberspreewald**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 28390 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr.-Ing. Konrad Thürmer & Dipl.-Ing. Adrian Schulz

Cottbus, Januar 2014



Der Abschlussbericht (Az: 28390) ist unter:

<http://www.tu-cottbus.de/fakultaet4/de/wassertechnik-und-siedlungswasserbau/forschung/abgeschl-projekte.html>

verfügbar

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Abbildungsverzeichnis | III |
| Tabellenverzeichnis | IV |
| Symbolverzeichnis | V |
| Zusammenfassung | 1 |
| 1. Einleitung | 3 |
| 1.1 Ausgangssituation | 3 |
| 1.2 Zielsetzung | 5 |
| 1.3 Aufgabenstellung | 6 |
| 2. Vorhabensbedingungen | 7 |
| 2.1 Versuchsgewässer | 7 |
| 2.1.1 Eignungstest | 7 |
| 2.1.2 Vermessung Versuchsstrecke | 8 |
| 2.1.3 Einteilung Versuchsstrecke | 9 |
| 2.2 Sedimentbeschaffenheit | 10 |
| 2.2.1 Probenahme | 10 |
| 2.2.2 Bestimmung Trockensubstanz (TS) und Glühverlust | 11 |
| 2.2.3 Dichtebestimmung | 11 |
| 2.2.4 Bodenuntersuchungen nach LAGA | 12 |
| 2.2.5 Sauerstoffzehrung | 14 |
| 2.2.6 Korngrößenverteilung organische Sohlaufage | 14 |
| 2.2.7 Bestimmung der Sinkgeschwindigkeit | 15 |
| 3. Versuche | 16 |
| 3.1 Erster Feldversuch | 16 |
| 3.1.1 Abflussmessung | 17 |
| 3.1.2 FST-Halbkugelmethode | 18 |
| 3.1.3 Fazit Erster Feldversuch | 19 |
| 3.2 Kipprinne | 20 |
| 3.2.1 Theorie Bewegungsbeginn | 20 |
| 3.2.2 Aufbau und Messprogramm Kipprinne | 21 |
| 3.2.3 Ersatzsubstrate | 22 |

| | |
|---|----|
| 3.2.4 Ergebnisse Kipprinnenversuche | 22 |
| 3.3 Einsatz temporärer Schütze | 24 |
| 3.3.1 Ergebnisse zum Einsatz temporärer Schütze | 25 |
| 3.3.2 Fazit aus Versuchen temporärer Schütze..... | 28 |
| 3.4 Einsatz mobiles Schütz | 28 |
| 3.4.1 Aufbau mobiles Schütz..... | 28 |
| 3.4.2 Durchführung und Ergebnisse Einsatz mobiles Schütz..... | 29 |
| 3.4.3 Fazit zum Einsatz eines mobilen Schützes..... | 31 |
| 4. Modellierung Versuchsgewässer..... | 31 |
| 4.1 Modellierungssoftware | 31 |
| 4.2 Aufbau und Kalibrierung des Modells | 33 |
| 4.3 Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeiten..... | 34 |
| 4.4 Implementierung Schütz | 35 |
| 4.5 Abbildung Transportkapazität Sediment..... | 36 |
| 4.6 Fazit Modellierung..... | 36 |
| 5. Feststofftransport..... | 37 |
| 5.1 Ausgewählte Transportformeln | 37 |
| 5.1.1 Transportformel nach C.T. Yang..... | 37 |
| 5.1.2 Transportformel nach FAS Berlin | 37 |
| 5.1.3 Transportformel nach Zanke | 38 |
| 5.1.4 Transportformel nach Einstein-Brown | 38 |
| 5.2 Ergebnisse Transportformeln | 39 |
| 5.3 Fazit Feststofftransport | 39 |
| 6. Information der Öffentlichkeit | 40 |
| 7. Fazit Gesamtvorhaben..... | 40 |
| Literaturverzeichnis..... | 41 |
| Anhang | 44 |
| Anhang 1: Prüfbericht Bodenuntersuchungen nach LAGA | 44 |
| Anhang 2: Anschreiben Bewohner..... | 54 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Lage des Jeschuko Fließ [13] | 7 |
| Abb. 2: Beispiel Querprofil | 8 |
| Abb. 3: Einteilung Versuchsstrecke mit Messstellen..... | 9 |
| Abb. 4: Probenahme mittels Sedimentstecher | 10 |
| Abb. 5: Ungestörte Sedimentprobe | 10 |
| Abb. 6: Verteilung der Summenkurven organische Sohlaufage..... | 15 |
| Abb. 7: Aufnahme Gewässerprofil nach erstem Feldversuch | 16 |
| Abb. 8 OTT ADC Sensor (eigene Aufnahme) | 17 |
| Abb. 9 OTT ADC Steuergerät (eigene Aufnahme) | 17 |
| Abb. 10: Auszug der mittleren Geschwindigkeit im Messquerschnitt | 17 |
| Abb. 11: Versuch FST-Halbkugelmethode..... | 19 |
| Abb. 12: Für Bewegungsbeginn erforderliche Schubspannung nach Shields [23]..... | 20 |
| Abb. 13: Bewegungsbeginn nach Shields [2]..... | 21 |
| Abb. 14: Schema Kipprinne | 21 |
| Abb. 15: Kipprinnenversuch mit Holzspänen | 22 |
| Abb. 16: Protokoll Kipprinnenversuch | 23 |
| Abb. 17: Temporäre Schütztafel und Messwertaufnahme | 24 |
| Abb. 18: Aufnahme Trübungsfahne | 26 |
| Abb. 19: Profilaufnahme (Profil 11) vor und nach dem Einsatz | 27 |
| Abb. 20: Profilaufnahme (Profil 11 + 1m) vor und nach dem Einsatz | 27 |
| Abb. 21: Anbringen mobiles Schütz an Wasserfahrzeug..... | 28 |
| Abb. 22: Feldversuch mit mobiles Schütz..... | 29 |
| Abb. 23: Veränderung der Sohlaufage Profil 4 infolge Einsatz mobiles Schütz | 30 |
| Abb. 24: Veränderung der Sohlaufage im Profil 7 infolge Einsatz mobiles Schütz | 30 |
| Abb. 25 Skizze des Durchlasses | 31 |
| Abb. 26: Modellaufbau mit Hintergrundkarte | 33 |
| Abb. 27: Darstellung der mittleren Fließgeschwindigkeit einzelner Segmente..... | 34 |
| Abb. 28: Side-View Schütz..... | 35 |
| Abb. 29: Ausschnitt Side-View Schütz | 35 |
| Abb. 30: Diagramm Sedimenttransport | 36 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Trockensubstanz (TS) und Glühverlust | 11 |
| Tabelle 2: Dichte org. Sohlaufage..... | 11 |
| Tabelle 3: Analyseergebnisse Mischproben | 12 |
| Tabelle 4: Eluatanalyse | 13 |
| Tabelle 5: Abflüsse erster Feldversuch..... | 18 |
| Tabelle 6: Messwerte Multiparametersonde..... | 25 |
| Tabelle 7: Aufzeichnung Durchflüsse und Wasserspiegellagen zur Kalibrierung..... | 34 |
| Tabelle 8: Gegenüberstellung Ergebnisse Transportformeln..... | 39 |

Symbolverzeichnis

| | | |
|--------------------|-------------------------|--|
| A_f | [m ²] | benetzte Fläche |
| b | [m] | Gerinnebreite |
| C | [m ^{1/2} /s] | Chezy Koeffizient |
| c_e | [-] | Überfallbeiwert |
| C_F | [mg/l] | gesamter Feststoffgehalt |
| c_w | [-] | Querschnittsverengungskoeffizient |
| d_g | [m] | Durchlasshöhe |
| d_k | [m] | Korndurchmesser bei k % Siebdurchgang |
| d_{50} | [m] | Korngröße bei 50% Siebdurchgang |
| d_{90} | [m] | Korngröße bei 90% Siebdurchgang |
| D_* | [-] | Sedimentologischer Korndurchmesser |
| Fr^* | [-] | Feststoff-Froude-Zahl |
| g | [m/s ²] | Schwerebeschleunigung |
| h | [m] | Wassertiefe |
| h_1 | [m] | Wasserstand am Oberwasser |
| h_2 | [m] | Wasserstand am Unterwasser |
| h_* | [m] | Wasserspiegelhöhe, bezogen auf Referenzniveau |
| I | [-] | Gefälle |
| K | [-] | Koeffizient, Einstein-Brown |
| m_F | [kg/(m*s)] | Feststofftrieb |
| m_S | [kg/(m*s)] | Schwebstofftrieb |
| p | [-] | Hohlraumverhältnis |
| Q | [m ³ /s] | Durchfluss |
| q | [m ³ /(m*s)] | Durchfluss, bezogen auf 1m der Gerinnebreite |
| q_{FV} | [m ³ /(m*s)] | Feststofftrieb in Volumen pro Breiten- und Zeiteinheit |
| q_{GV}, q_B, q_G | [m ³ /(m*s)] | Geschiebetrieb in Volumen pro Breiten- und Zeiteinheit |
| q_{lat} | [m ² /s] | seitlicher Abfluss pro Einheitslänge |
| q_{SV} | [m ³ /(m*s)] | Schwebstofftrieb in Volumen pro Breiten- und Zeiteinheit |
| q_0 | [m ³ /(m*s)] | Spezifischer Durchfluss bei Beginn der Geschiebebewegung |
| R | [m] | hydraulischer Radius |
| Re^* | [-] | Feststoff-Reynolds-Zahl |
| $ S_e $ | [-] | Betrag Energieliniengefälle |
| T | [°C] | Temperatur |
| T_Y | [m ³ /(m*s)] | Sedimenttransportkapazität |
| t | [s] | Zeit |
| u_s | [m/s] | Geschwindigkeit über der Wehrkrone |
| v | [m/s] | Fließgeschwindigkeit |
| v_m | [m/s] | mittlere Fließgeschwindigkeit |
| v_{mcr} | [m/s] | kritische mittlere Fließgeschwindigkeit für Bewegungsbeginn der Partikel |
| v_o^* | [m/s] | Schubspannungsgeschwindigkeit an der Sohle |
| v_{ocr}^* | [m/s] | kritische Sohlschubspannungsgeschwindigkeit für den |

| | | |
|------------------|--------------------------|--|
| | | Bewegungsbeginn der Partikel |
| v_{ol}^* | [m/s] | kritische Sohlschubspannungsgeschwindigkeit für die Suspendierung der Partikel |
| v_s | [m/s] | Sinkgeschwindigkeit, mit der Feststoffpartikel infolge Eigengewicht durch die Flüssigkeit fallen |
| W_s | [m] | Durchlassbreite |
| x | [m] | Entfernung |
| z_s | [m] | Sohlhöhe des Durchlasses |
| γ | [kg/m ³] | Wichte von Wasser |
| γ_s | [kg/m ³] | Wichte des Geschiebes |
| | [m ² /s] | Kinematische Zähigkeit |
| ν_0 | [m ² /s] | Kinematische Zähigkeit bei 0°C |
| θ' | [-] | wirksamer Shieldsparameter |
| μ | [-] | seitlicher Einschnürungskoeffizient |
| ρ_F, ρ_S | [kg/m ³] | Dichte der Feststoffe/Sediment |
| ρ_W | [kg/m ³] | Dichte von Wasser |
| τ | [kg/(s ² *m)] | Schubspannung |
| τ_{wi} | [N/m ²] | Schubspannung (Wind) |
| τ_b | [kg/(s ² *m)] | wirksame Schubspannung |
| Φ_B | [-] | Transportintensität (Brown) |
| Ψ | [-] | Strömungsintensität |

Zusammenfassung

Die Untersuchungen temporär erhöhter Abflussmengen auf die organische Sohlaufandung erfolgten in mehreren Teilversuchen. Zu Beginn des Projektes wurde seitens des Kooperationspartners (Landesamt für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz nachfolgend nur noch LUGV genannt) in Absprache mit dem ansässigen Wasser- und Bodenverband „Oberland-Calau“ das Versuchsgewässer (Jeschoko-Fließ) für die Feldversuche zur Verfügung gestellt. Um begleitend zu den Feldversuchen hydraulische Modellierungsversuche durchzuführen wurde das Versuchsgewässer vor Beginn der Tests und nach Abschluss der Feldversuche im Auftrag des LUGV vermessen. Die Länge des Versuchsgewässers beträgt 770 Meter bei einer Breite von 3 – 6 Meter und einer durchschnittlichen Tiefe von 1,2 Metern. Die organische Sohle weist dabei Mächtigkeiten bis zu 0,8 Metern auf. Anhand der Vermessungsdaten wurde ein hydraulisches Modell zur Simulation verschiedener Wasserstände und Durchflüsse erstellt.

In den ersten Tests im Versuchsgewässer erfolgte eine temporäre Durchflusserhöhung durch die Steuerung der beiden Wehranlagen zwischen welchen sich das Versuchsgewässer befindet. Das Ergebnis der ersten Testphase ergab, dass keine merkliche Verlagerung der organischen Sohlaufandung durch eine reine Durchflusserhöhung im Gewässer zu realisieren ist. Es konnte lediglich die oberste locker gelagerte Schlammschicht in Bewegung gesetzt werden.

Um gezielte Modellversuche zum Bewegungsbeginn der Sohle durchzuführen erfolgte in vier Bereichen des Gewässers eine Schlammentnahme zu Analysezwecken. Die physikalischen Eigenschaften (Dichte, Trockensubstanz und organischer Anteil) wurden im Labor des Lehrstuhls Wassertechnik und Siedlungswasserbau bestimmt. Die Bestimmung der Kornverteilung erfolgte am Lehrstuhl Mechanische Verfahrenstechnik. Anhand der Dichte und Kornverteilung wurden zwei Ersatzsubstrate (Polystyrol und Holzspäne) für Modellversuche in der Kipprinne ausgewählt. Die erzielten Ergebnisse für den Bewegungsbeginn fielen dabei sehr unterschiedlich aus. So ergibt die nach Modellgesetzen umgerechnete Geschwindigkeit an der der Sohle für Polystyrol einen Wert von 5,4 cm/s und für die Holzspäne 22,6 cm/s. Vergleichend mit den Beobachtungen im Feld fiel auf, dass Polystyrol das Verhalten von der obersten lockeren Schicht simuliert und die Holzspäne das der eigentlichen Sohlaufange.

Da in der chemischen Analyse ein hohes Sauerstoffzehrungspotential für die Sohlaufange bestimmt wurde, erfolgten die weiteren Feldversuche unter Beobachtung des Sauerstoffgehaltes im Fließgewässer. In den Modellversuchen konnte beobachtet werden, dass der Einsatz einer Schütztafel ein weites Aufreißen der Sohlaufange bewirkt. Aus diesem Grund wurde ein solcher Einsatz auch im Feld erprobt. Hierzu erfolgte der Einbau von vier unterströmten Schütztafeln aus Holz in verschiedenen Profilen um den Fließquerschnitt einzuengen und somit lokal die Fließgeschwindigkeit zu erhöhen. Während des Einbaues und unmittelbar danach war es nicht möglich Geschwindigkeitsmessungen an der Sohle durchzuführen da der Messsensor durch die Aufwirbelung keine Messergebnisse lieferte. Nach dem Abklingen der Verwirbelung stellte sich eine Geschwindigkeit von 21 cm/s an der Sohle ein, womit die Modellergebnisse der Kipprinne bestätigt werden konnten. Der Einsatz der temporär eingebauten Schütztafeln führte allerdings nur in unmittelbarer Nähe zu Abtragungen wodurch dieses Verfahren als nicht geeignet eingestuft werden muss. Die Sauerstoffkonzentration im Gewässer ging allerdings während des Einsatzes nicht deutlich zurück.

Um über die gesamte Fließlänge die organische Sohle zu verlagern erfolgte die Erprobung eines mobilen Schützes, welches hinten an einem Kahn befestigt wird und sowohl unterströmt als auch seitlich umströmt werden kann. Dabei wird unter Nutzung der Fließgeschwindigkeit zum Vortrieb der Fließquerschnitt lokal eingegrenzt und die lokale Fließgeschwindigkeit erhöht. Mittels dieser Methode ist es gelungen in einem Fließabschnitt von 100 Metern innerhalb von 30 Minuten ca. 10 cm der Sohlaufage zu verlagern.

Die Sedimentbewegungen im Versuchsgewässer konnten nicht mittels der Simulationssoftware dargestellt werden, da die vorgefundene Sohle nicht in den Gültigkeitsgrenzen der verwendeten Transportformel liegt. Der Versuch die Menge an bewegter Sohlaufage mittels bekannter Transportgleichungen zu berechnen führt ebenfalls zu stark abweichenden Ergebnissen. Da keine bekannte Transportformel für die im Spreewald vorkommende organische Sohlaufage anwendbar ist. Aus diesem Grund besteht hierfür zusätzlicher Forschungsbedarf um Transportformeln zu finden, die die Verlagerung der feinen organischen Sohlaufage beschreiben können.

Der Ansatz über eine reine temporäre Durchflusserhöhung die organische Sohlaufage zu verlagern führt nicht zum gewünschten Erfolg, da die erzeugten Fließgeschwindigkeiten nicht ausreichen um die Auflage zu bewegen. Allerdings wurde im Rahmen des Vorhabens gezeigt das eine temporäre Durchflusserhöhung dazu beitragen kann, dass sich die Sohlaufage nicht stetig vergrößert.

Die zusätzliche Nutzung eines mobilen Schützes hingegen kann deutliche Abtragungen der Auflage bewirken. Das Verfahren wurde dem Ansässigen Wasser- und Bodenverband vorgestellt und soll weiter erprobt werden.

1. Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Mit der Anerkennung als UNESCO-Biosphärenreservat wurde 1991 der Schutzwürdigkeit des Spreewaldes als durch Menschenhand geprägte Kulturlandschaft Rechnung getragen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Vielzahl an Fließgewässern im Biosphärenreservat. So beträgt die Gesamtlänge, der als Fließe bezeichneten Gewässer, ca. 1575 Kilometer im Niederungsgebiet. Dieses feingliedrige Gewässernetz zwischen den Hauptvorflutern Spree und Malxe prägt das Landschaftsbild im Oberspreewald. Für eine Vielzahl gefährdeter Tier- und Pflanzenarten stellen sich die parkähnlichen Strukturen als bevorzugtes Habitat dar [12].

Jährliche Sommer- wie Winterhochwasser bestimmten bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts das Leben im Spreewald [16]. Um den Hochwasserschutz und die landwirtschaftliche Nutzbarkeit zu gewährleisten sind zwischen 1930 und 1980 umfangreiche Meliorations- und Hochwasserschutzmaßnahmen erfolgt. Mit dem Bau des Nordumfluters wurde hierbei das potentielle Überschwemmungsgebiet enorm verkleinert [17].

Durch das natürlich schwankende Abflussregime der Spree wurden bereits im 19. Jahrhundert wasserbauliche Maßnahmen umgesetzt. So erfolgten Neubauten von Kanälen und Gewässerbegradigungen um die jährlichen Hochwässer schneller ableiten zu können und die Errichtung von regulierbaren Querbauwerken zur Wasserhaltung bei Zeiten geringer Abflüsse [14]. Derzeit werden die Wasserstände und Abflüsse im Spreewald unter Nutzung von >250 Anlagen in 12 Staugürteln geregelt [12].

Infolge der Einleitung von Sumpfungswässern der ehemaligen Braunkohletagebaue der DDR wurde das natürliche Wasserdargebot der Spree deutlich erhöht. Dadurch betrug der Mittelwasserabfluss zwischen 1981 und 1990 ca. 22 Kubikmeter je Sekunde und entsprach dem Doppelten des natürlichen Wasserdargebotes [12]. Die Ableitung der Sumpfungswässer führte zu einem verstärkten Ausbau der Gewässer im Spreewald mit dem Hauptziel der Entwässerung der Niederung. Aufgrund erhöhter Abflüsse und Entsandungsmaßnahmen war die Eintiefung der Gewässer die Folge.

Mit der Einstellung zahlreicher Braunkohletagebaue ab 1990 hat sich die wasserwirtschaftliche Situation des Spreewaldes gravierend geändert. Mittelwasserabflüsse die sich auf die Hälfte reduziert haben, stehen überdimensionierte und teils strukturarme Gewässer gegenüber [12],[15].

Erhebungen zur zukünftigen wasserwirtschaftlichen Entwicklung des Spreewaldes weisen auf eine Zunahme des Wasserdefizits speziell in den Sommermonaten hin [28]. Im Oberspreewald (Raum Burg/Spreewald) sind die Staugürtel teilweise nicht geschlossen. In Zeiten zunehmender Wasserknappheit macht sich das Fehlen der Anlagen besonders bemerkbar und führte zum Einbau von Notstauen. Für die Zukunft sind an diesen Standorten neue Wehranlagen geplant wodurch auch die letzten stärker durchströmten Gewässerabschnitte der Vergangenheit angehören [21].

Das Niederungsgebiet des Spreewalds ist gekennzeichnet durch geringe Gefälleverhältnisse von 0,2 bis 0,1 ‰ [18], [24]. Messungen zur Fließgeschwindigkeit (v), im Rahmen des Gewässerrandstreifenprojekts Spreewald (GWRPS), weisen 76 % der im Oberspreewald untersuchten Gewässer als schwach fließend oder stehend ($v = 0-15$ cm/s) aus. Dabei wird von einem Mittelwasserabfluss von 12 m³/s am Pegel Schmogrow ausgegangen. Lediglich für 28 % der untersuchten Gewässerteilabschnitte konnten „gute Fließverhältnisse“ ($v > 15$ cm/s) im Gewässer festgestellt werden [37].

Durch die stark verringerten Fließgeschwindigkeiten kam es insbesondere im Oberspreewald zu beträchtlichen Schlammauflandungen, wobei die vorhandenen Querbauwerke als Sedimentfallen wirken [37]. Die rückgestauten Bereiche im Oberlauf der Staueinrichtungen können dabei vielfach als lineare Standgewässer charakterisiert werden [29]. Das stetige Anwachsen der Schlammauflage wird durch den beträchtlichen Bestand an Ufergehölzen [9] und die damit verbundenen Laubfrachten begünstigt. Denn die Verbuschung der Gewässerufer bewirkt einen gesteigerten Eintrag allochtho-ner organischer Materials. Längerfristig führt die Gewässerverschlammung zur unerwünschten Sauerstoffzehrung und Freisetzung toxischer Stoffwechselprodukte, wodurch das Habitat psammo- und rheophiler Individuen zunehmend eingeschränkt wird [21], [25]. Aktuell beträgt die Länge der zu entschlammenden Gewässerstrecken ca. 300 km [20]. Bereits bei einer Auflandung von 0,3 m ergibt sich damit ein zu entnehmendes Nassschlammvolumen von 90.000 Kubikmeter je Meter Gewässerb-
breite.

Für das Gewässersystem des Spreewaldes, in welchem die Spree nach SCHARF & BRAASCH 1998 als Fluss des Epipotamals (Barbenregion) besonderen Schutzwertstatus besitzt, stellen die aktuellen Entwicklungen die ökologische Funktionalität längerfristig in Frage [29]. Bei Probebefischungen im Rahmen des DBU-Pilotprojekts „Borstenanlagen im Spreewald“ konnten acht Fischarten nachgewiesen werden, welche in der Roten Liste Brandenburgs und Deutschlands aufgeführt sind. Die Zahl der gefangenen Individuen war jedoch nur gering.

Bereits 1993 wurden die Fließgewässer des Spreewaldes als sehr wichtige, gleichzeitig jedoch auch zunehmend gestörte Lebensräume dargestellt, wobei neben der intensiven Mehrfachnutzung der Gewässerausbau sowie die Gewässerverschlammung als ursächliche Probleme aufgeführt wurden [29]. Ausdrücklich für die regional vorkommenden kleinen Fließgewässer, die zum großen Teil minimale Fließgeschwindigkeiten aufweisen, birgt der Laubeintrag eine erhebliche Belastung [34]. Die sukzessive Verlandung im Oberwasserbereich der Stauhaltungen bewirkt neben der Beeinträchtigung der wasserwirtschaftlichen Funktion (Erhalt der Schiffbarkeit und des Hochwasserschutzes), auch die Minderung der Gewässergüte. So stellt neben der toxischen Produkten des mikrobiellen Umsatzes die verstärkte Akkumulation von Umweltschadstoffen ein Gefährdungspotential dar [27].

Daraus folgend bestimmt die kontinuierliche Entnahme organischer Sohlauflandungen mehr denn je den Erhalt der ökologischen Funktion im Gewässersystem Spreewald. Das Verfahren der Schlamm-entnahme stellt einen schwerwiegenden Eingriff in das Ökosystem dar und ist nur dann langfristig sinnvoll, wenn gleichzeitig eine Verringerung der externen Stoffeinträge erfolgt [24]. In diesem Zusammenhang stehen sich der im Spreewald gleichzeitig forcierte Habitatschutz für rheotypische Arten sowie der durch uneingeschränkten Uferbewuchs generierte Laubeintrag bei minimalen Fließge-
schwindigkeiten unvereinbar gegenüber.

Derzeit erfolgt in der Praxis die Entnahme über Nassbaggerung sowie Saug-Spül-Verfahren. Die notwendige Entnahme der organischen Sohlauflandungen stellt dabei einen erheblichen Kostenfaktor in der Gewässerunterhaltung dar [20]. Aufgrund der Regelungen durch die Brandenburgische Richtlinie „Anforderungen an die Entsorgung von Baggergut“ (BB RL-EvB) entstehen zusätzliche Kosten aufgrund von Analysen des Materials und den daraus bedingten Entsorgungsvorschriften.

Da keine Verbesserung der hydraulischen Situation zu erwarten ist, zwingt die derzeitige Entwicklung zum Handeln, wobei die Verbesserung ökologischer- wie ökonomischer Aspekte in die Etablierung alternativer Lösungsansätze bei der Gewässerentschlammung einfließen muss.

1.2 Zielsetzung

Unter Berücksichtigung der weiterhin rückläufigen Abflüsse und Fließgeschwindigkeiten, zunehmender allochthoner Stoffeinträge sowie der mittelfristigen Schließung des Staugürtelsystems bedroht eine gesteigerte Verschlammung die Gewässerhabitate sowie die traditionelle Gewässernutzung des Spreewaldes. Gleichlaufend rückt die Notwendigkeit ökologisch schwerwiegender sowie kostenintensiver Entschlammungsmaßnahmen in den Focus der Gewässerbewirtschaftung. Wie erste Ergebnisse bereits zeigten, besteht in den Gewässern des Spreewaldes ein deutlicher gewässerspezifischer Zusammenhang zwischen Verschlammungsgrad und der Fließgeschwindigkeit [37].

Die Abflussregulierung der Fließgewässer im Oberspreewaldes ist durch eine intensive Stauhaltung gekennzeichnet. Hinsichtlich des Feststofftransports wirken die Querbauwerke selbst als Sedimentfallen, was sich in erhöhten Schlammauflandungen im unmittelbaren Oberwasserbereich der Stau- und Wehranlagen widerspiegelt und auf eine verstärkte Ablagerung der mitgeführten Feststoffe im strömungsberuhigten Bereich zurückzuführen ist.

Andererseits bietet gerade das komplexe Stauregime Möglichkeiten, die für den Sedimenttransport entscheidenden hydraulischen Größen gezielt zu beeinflussen. Besonders in Zeiten eines erhöhten Wasserdargebots, können durch die strangweise Beschickung einzelner Gewässerstrecken Spüleffekte erzeugt werden und eine Verlagerung organischer Sohlauflandungen bewirken. Der Abfluss soll dabei durch entsprechendes Einpegeln der Staubawerke reguliert werden.

Das in Partnerschaft mit der Regionalabteilung Süd des LUGV sowie in Kooperation mit dem Wasser- und Bodenverband „Oberland Calau“ durchgeführte Projekt beinhaltet die Entwicklung eines ökologisch- und ökonomisch verträglichen sowie praxisorientierten Ansatzes organische Sohlauflandungen durch eine gezielte Erhöhung der Fließgeschwindigkeit zu verlagern. Dies bietet die Aussicht, einen großflächigen Eingriff in das Ökosystem zu vermeiden und kostenintensive Entschlammungsmaßnahmen lokal begrenzen zu können. Der Lösungsansatz wird in mehreren Feldversuchen an einem repräsentativen Spreewaldfließ erprobt.

Die praktische Umsetzung des Forschungsansatzes besitzt ein hohes Übertragbarkeitspotential die Habitatfunktion alluvialer Fließgewässer in entsprechend beeinflussten Gewässerökosystemen längerfristig zu sichern. Dabei baut der Ansatz auf grundlegenden Transportvorgängen intakter Fließgewässer auf und reduziert den ökologisch schwerwiegenden Einsatz der maschinellen Schlammmentnahme im Gewässerverlauf. Das sich daraus ergebende finanzielle Einsparpotential untersetzt die wirtschaftliche Notwendigkeit neue Wege aufzuzeigen und die hydraulischen Gegebenheiten gezielt auszunutzen. Allein im Gewässernetz des Untersuchungsgebiets erwächst aus den Regulierungsmöglichkeiten mit ca. 250 vorhandenen Staueinrichtungen in 12 Staugürteln ein erheblicher Handlungsspielraum. Dabei gewährleistet die Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern die weiterführende Anwendung der Projektergebnisse in der wasserwirtschaftlichen Praxis.

Der von den Ergebnissen ausgehende Nutzen soll sich einerseits in der Etablierung einer entsprechend modifizierten Wasserführung und – Regulierung wiederfinden. Weitere Vorteile können in Erkenntnissen zur Einstellung eines kritischen Strömungszustands gesehen werden, welche bei der Umsetzung von Gewässerumbau- und Renaturierungsmaßnahmen von Interesse sind.

1.3 Aufgabenstellung

Am Beispiel eines Versuchsgewässers soll im Vorhaben die Möglichkeit aufgezeigt werden durch temporär erhöhte Abflüsse die organischen Sohlauflandungen im Spreewald zu verlagern. Dazu muss folglich in Absprache mit dem Kooperationspartner ein für die Feldversuche geeignetes Versuchsgewässer gefunden werden.

Dem Versuchsgewässer ist eine erste Eignungsprüfung zu unterziehen, indem die Möglichkeiten einer temporären Abflusserhöhung nachgestellt werden. Hierbei sind Wasserspiegellagen und Abflüsse zu ermitteln.

Im Auftrag des Kooperationspartners ist das Versuchsgewässer zu vermessen um eine Datengrundlage für das zu erstellende numerische Modell zu erlangen und das Gewässer hinsichtlich seiner Morphologie beschreiben zu können.

Anhand der Vermessungsdaten sind Messstellen auszuweisen und gezielte Feldversuche zur Verlagerung der Sohlaufandung durchzuführen. Die Ergebnisse der Feldversuche (Veränderung des Gewässerprofils) sind zu dokumentieren.

Durch Beprobung und Analyse sind die physikalischen wie chemischen Eigenschaften der organischen Sohle zu bestimmen. Anhand der Analyseergebnisse können mögliche Umweltschäden bei der Umlagerung der Sohlaufage beurteilt bzw. durch angepasste Feldversuche verhindert werden.

Über die Erstellung eines numerischen Modells sollen die Feldversuche nachgebildet werden und Aussagen zum Sedimenttransport möglich sein. Anhand des numerischen Modells lassen sich ferner noch weitere Abflusssituationen abbilden.

Abschließend sollen Aussagen getroffen werden wie in Zukunft ähnliche Gewässertypen mit dieser Problematik der Verschlammung ressourcen- und umweltschonend unterhalten werden können.

2. Vorhabensbedingungen

2.1 Versuchsgewässer

Nach Bewilligung des Projektes erfolgte in Absprache mit dem Kooperationspartner die Auswahl des Versuchsgewässers. Das Jeschuko Fließ befindet sich im Ortsteil Burg/Kauper (Amt Burg/Spreewald) und stellt eine Querverbindung vom Großem Fließ zum Kleinen Fließ dar (siehe Abb. 1). Das Wasserspiegelgefälle des Jeschuko Fließ wird durch die Stauhöhe des Wehres-64 (Wehr Wotta) im Großen Fließ und des Wehres-62 (Wehr Roggatz) im Kleinen Fließ bestimmt. Besagte Wehranlagen befinden sich wenige Meter hinter dem Einlauf (Großes Fließ) beziehungsweise nach dem Auslauf (Kleines Fließ).

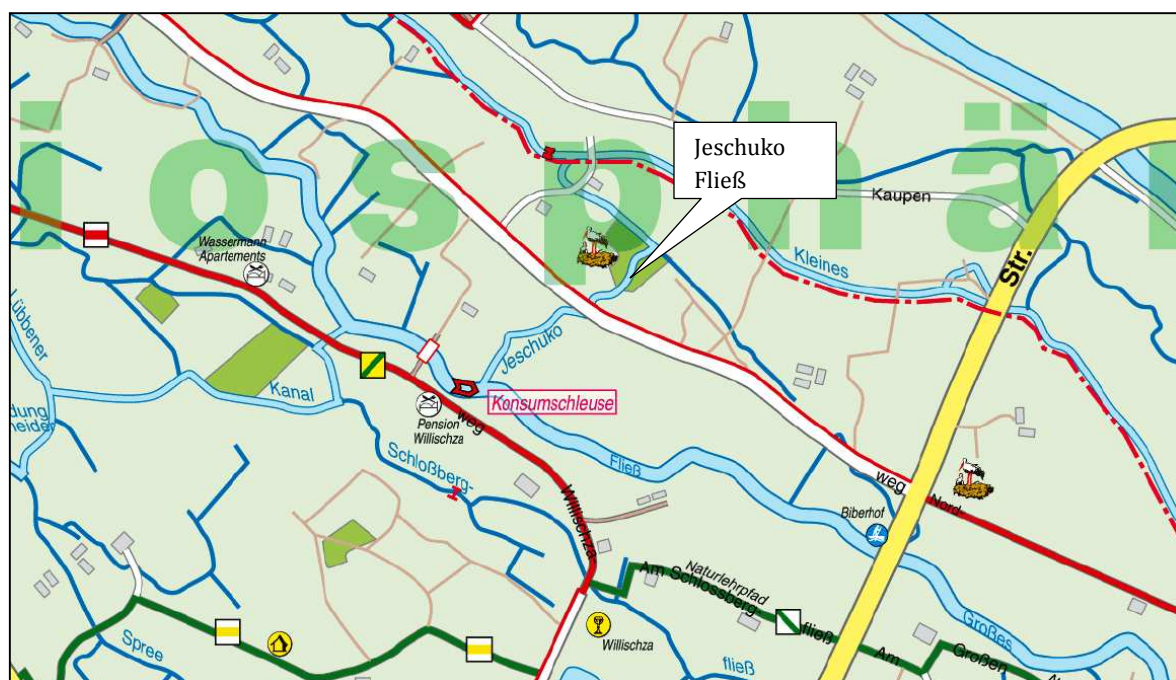


Abb. 1: Lage des Jeschuko Fließ [13]

Während der normalen Gewässerunterhaltung ist das Wasserspiegelgefälle im Jeschuko Fließ nahezu Null, da beide Wehranlagen etwa gleich eingestaut sind. Aus diesem Grund kommt es im Jeschuko Fließ durch minimale Fließgeschwindigkeiten zur Ablagerung organischen Materials.

Dadurch, dass sich das Versuchsgewässer genau zwischen den beiden Wehranlagen befindet, lässt sich eine temporäre Durchflusserhöhung leicht durch unterschiedliche Stauhöhen erzielen. Als weitgehend touristisch (Wasserwanderung) ungenutztes Gewässer eignet sich das Jeschuko Fließ als Versuchsgewässer um ungestörte Feldversuche durchzuführen.

2.1.1 Eignungstest

In einem ersten Eignungstest ging es darum ob im Versuchsgewässer mit wenig Aufwand der Abfluss temporär erhöht werden kann. Dazu wurde das Wehr 64 angestaut (WSP 53,31 ü.NN) und das Wehr 62 weitgehend geöffnet (WSP 53,10 ü.NN). Die Erzeugung des Wasserspiegelgefälles von 0,21 m führte zu einem Durchfluss von 271 Litern je Sekunde im Jeschuko Fließ.

2.1.2 Vermessung Versuchsstrecke

Teil des Vorhabens war es die durchgeführten Feldversuche in einem numerischen Modell nachzubilden. Da die numerische Modellierungssoftware Sobek höhenbezogene Querprofildaten benötigt, wurde über den Kooperationspartners die Vermessung der Versuchsstrecke beauftragt. Hierzu erfolgte während einer ersten Vor-Ort-Besichtigung die Auswahl für die aufzunehmenden Querprofile im Gewässer, wobei die markanten Stellen fotodokumentiert wurden.

Von einem Vermessungsbüro wurden in der Versuchsstrecke 27 Querprofile über eine Gesamtstrecke von 760 m mit GPS und Tachymeter aufgenommen. Die Querprofile sind in Fließrichtung aufsteigend nummeriert (Profil3 Anfang und Profil29 Ende). Aufgenommen wurden Gewässerbreite, Natürliche Sohle, organische Sohlaufgabe und Wasserspiegellage (siehe Abb. 2). Zur leichten Wiederauffindbarkeit der Querprofile während der Feldversuche erfolgte die Markierung mittels Profilstäbe.

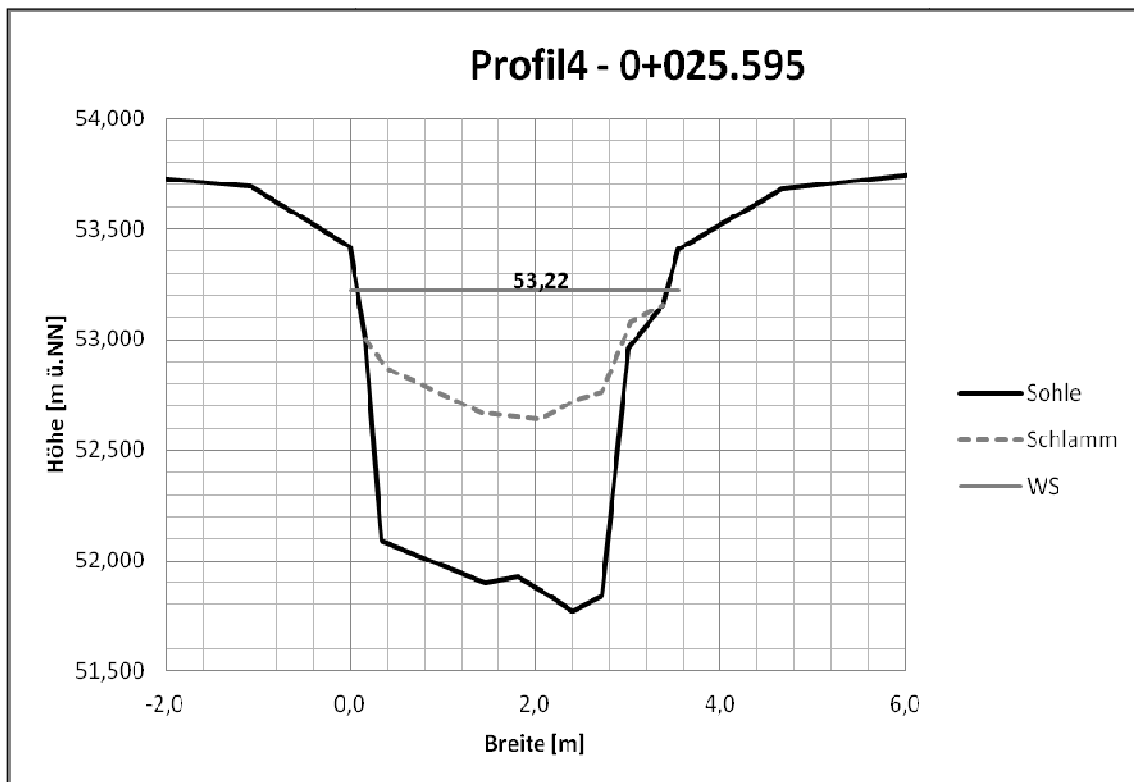


Abb. 2: Beispiel Querprofil

Die Gewässerbreite liegt zwischen 3 und 6 Metern. Die natürliche Sohle im Versuchsgewässer ist laut Vermessungsdaten fast durchgängig von der organischen Sohlaufgabe (Schlamm) bedeckt. Der Schlamm ist auf einem Großteil der Fließstrecke über 0,5m mächtig und verringert den Fließquerschnitt um mehr als die Hälfte. Bei einer durchschnittlichen Breite von ca. 4 Metern und einer Mächtigkeit von einem halben Meter lagern somit rund 1500 Kubikmeter Nassschlammvolumen im Versuchsgewässer.

2.1.3 Einteilung Versuchsstrecke

Anhand der Vermessungsdaten wurde das Versuchsgewässer in verschiedene Transekte eingeteilt und Messstellen zur Erfassung des Abflusses ausgewählt (siehe Abb. 3). Die Aufteilung der Gewässerabschnitte wurde nach der Gewässerbreite vorgenommen. So stellt der erste Abschnitt (1. Transekt) den schmalsten und der fünfte Abschnitt (5. Transekt) den breitesten Teil der Fließstrecke dar.

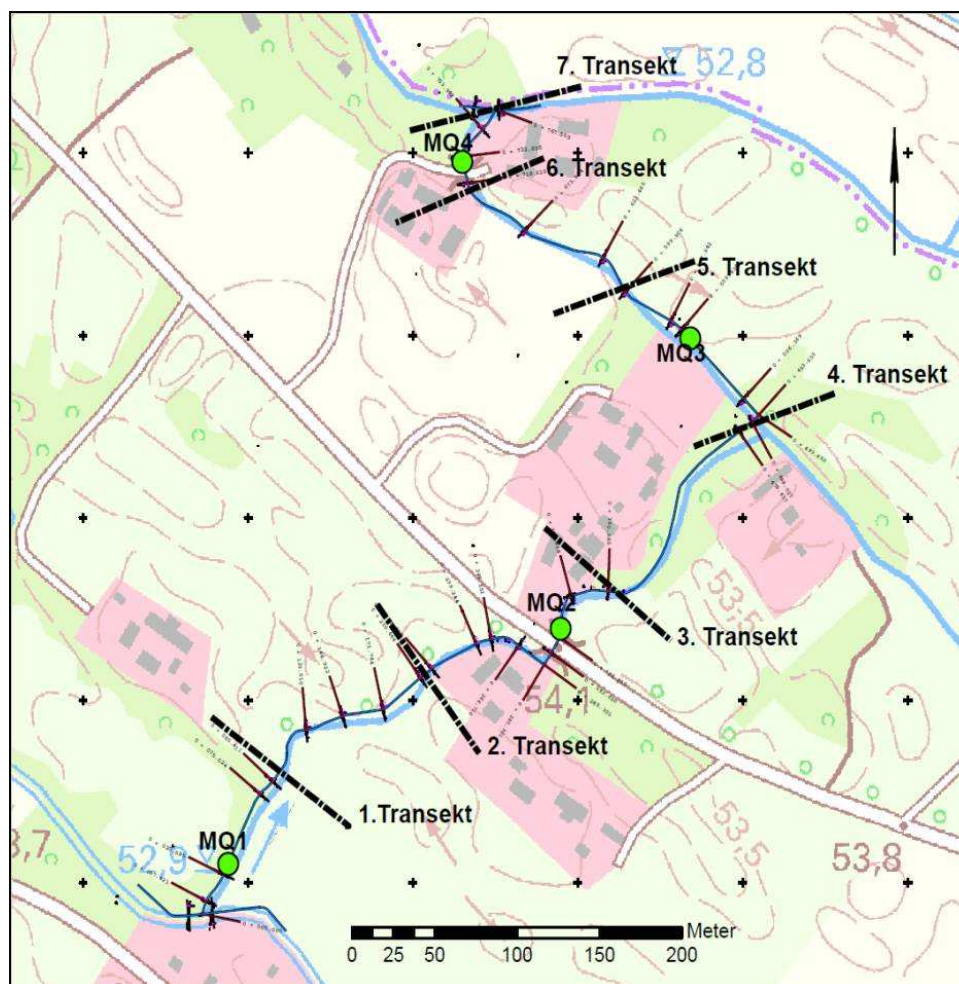


Abb. 3: Einteilung Versuchsstrecke mit Messstellen

Die Wahl der Messstellen zur Durchflusserfassung und Sedimentprobenahme hingegen erfolgte aus rein logistischen Gründen:

- Messstelle 1 (MQ1) befindet sich im Profil 4
- Messstelle 2 (MQ2) Nahe am Profil 15 nachfolgend „Brücke Nordweg“ genannt
- Messstelle 3 (MQ3) im Profil 22 nachfolgend „Brücke Hildebrand“ genannt
- Messstelle 4 (MQ4) in der Nähe des Profils 28 und wird folgend „Brücke Roggatz“ genannt

Mit der Wahl der Messstellen war die gute Erreichbarkeit dieser im Zuge der Feldversuche gegeben. So konnten MQ2 –MQ4 leicht mittels Personenkraftwagen erreicht werden. Dadurch, dass sich MQ1 direkt in der Nähe zum Wehr Wotta befand, stellte sich auch hier eine gute Erreichbarkeit dar.

2.2 Sedimentbeschaffenheit

2.2.1 Probenahme

Zur Entnahme der ungestörten Sedimentproben wurde ein Sedimentstecher von den Brücken heruntergelassen (siehe Abb. 4). Die Probenahme am Profil 4 erfolgte nach dem gleichen Prinzip unter Nutzung von Holzbohlen als Brücke über den Fließquerschnitt.



Abb. 4: Probenahme mittels Sedimentstecher

Die auf diesem Weg entnommenen Proben wurden mit Kunststoffpropfen verschlossen und zur weitergehenden Untersuchung abtransportiert. In Abb. 5 ist ein entnommener Sedimentkern (Brücke Hildebrand) abgebildet.



Abb. 5: Ungestörte Sedimentprobe

2.2.2 Bestimmung Trockensubstanz (TS) und Glühverlust

Nach der Entnahme und dem Transport der Proben fand eine erste Siebung statt, um große Steine, Äste und Laub zu entfernen. Anschließend wurden Mischproben erstellt und der Trockensubstanzgehalt (TS) sowie der Glühverlust bestimmt.

Als Probemasse wurden jeweils zwischen 30 und 55 Gramm Sohlaufgabe in Keramik- bzw. Kunststoffschalen abgefüllt. Die Trocknung fand nach Laborvorschrift bei 105 °C im Trockenschrank statt. Nach dem einstündigen Abkühlen im Exsikkator wurden die Proben erneut gewogen, bevor sie im Muffelofen bei circa 550 °C der Glühprobe unterzogen wurden. Auch hier folgten die Abkühlung im Exsikkator und eine erneute Gewichtsbestimmung. Die Ergebnisse samt Trockensubstanzgehalt und Glühverlust sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Trockensubstanz (TS) und Glühverlust

| Probe | Ort | Gewicht Schale [g] | Gewicht Schale + Sediment [g] | Masse nach Trockenschrank [g] | Masse nach Muffelofen [g] | TS [g] | TS [%] | Glühverlust [g] | Glühverlust [%] |
|-------|----------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------------|-----------------|
| S1 | Br. Nordweg | 41,45 | 88,185 | 47,583 | 45,779 | 6,133 | 13,12 | 1,804 | 29,41 |
| S2* | Profil 4 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S3 | Br. Roggatz | 42,987 | 93,561 | 72,735 | 71,06 | 29,748 | 58,82 | 1,675 | 5,63 |
| S4 | Br. Hildebrand | 22,036 | 55,807 | 26,426 | 25,25 | 4,39 | 13 | 1,176 | 26,79 |

* beim Transport ausgelaufen

Der Trockensubstanz-Gehalt beträgt demnach für die Schlammauflage ca. 13 Prozent bei einem organischem Anteil von 27 bis 30 Prozent (vgl. Probe S1 und Probe S4 Tabelle 1). Die Probe S2 ist hierbei nicht als repräsentativ für die organische Sohlaufgabe zu werten, da diese Probe in einem Bereich mit geringer Schlammächtigkeit (hoher Anteil mineralisches Sediment) gewonnen wurde.

2.2.3 Dichtebestimmung

Die Dichte der organischen Sohlaufgabe wurde nach DIN EN ISO 18753 mittels Pyknometer bestimmt.

$$\rho = \frac{(m_{p2} - m_{p1})}{(m_{p4} - m_{p1}) - (m_{p3} - m_{p2})} \rho_L \quad (1)$$

Tabelle 2: Dichte org. Sohlaufgabe

| Parameter | Wert | Einheit |
|-----------|---------|-------------------|
| m_{p1} | 95,277 | g |
| m_{p2} | 109,548 | g |
| m_{p3} | 205,655 | g |
| m_{p4} | 204,103 | g |
| ρ_w | 0,996 | g/cm ³ |
| ρ_s | 1,117 | g/cm ³ |

Mit der Pyknometermethode ergibt sich eine Dichte von 1,117 g/cm³ für die organische Sohlaufgabe.

2.2.4 Bodenuntersuchungen nach LAGA

Zur bodenkundlichen Untersuchung erfolgte an den Messstellen eine Entnahme von 4 Mischproben. Die Proben wurden in verschließbare 5-Liter-Eimer gefüllt und zu dem akkreditierten Labor (LAG-Lausitzer Analytik GmbH) transportiert. Die Analysewerte der Mischproben sind in Tabelle 3 aufgelistet. Die Grenzwertüberschreitungen für die LAGA-Richtlinie M20 Zustandsklasse 0 und der Brandenburgischen Baggergutrichtlinie sind rot gekennzeichnet. Sofern nur Überschreitungen für die Baggergutrichtlinie auftreten sind diese blau markiert. Zu beachten ist hierbei, dass lediglich die Werte für Profil 15 repräsentativ für die organische Sohlaufgabe sind. Durch die Entnahme von Mischproben kam es zu höheren Einträgen von mineralischem Sediment, was anhand der Werte für den Trockenrückstand zu sehen ist.

Tabelle 3: Analyseergebnisse Mischproben

| Parameter | Profil 4 | Profil 15 | Profil 22 | Profil 28 | LAGA-Richtlinie Z0 | Baggergut-RL | Dimension | Prüfmethode |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------|-----------|------------------|
| Trockenrückstand (TR) | 28,1 | 15,9 | 49,8 | 49,5 | - | - | Ma.-% | DIN EN ISO 11465 |
| Königswasseraufschluss | | | | | | | | DIN EN 13346 |
| Arsen | 10,5 | 15,1 | 4,04 | 3,49 | 10 | 20 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Blei | 32,9 | 54,4 | 15,1 | 12,3 | 40 | 28 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Cadmium | 0,46 | 0,98 | 0,19 | 0,22 | 0,4 | 0,28 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Chrom (gesamt) | 33,6 | 59 | 11,7 | 9,74 | 30 | 21 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Kupfer | 73,4 | 179 | 26,6 | 26,5 | 20 | 14 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Nickel | 25,6 | 44,8 | 10,8 | 11,7 | 15 | 10,5 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Thallium | <0,4 | <0,4 | <0,4 | <0,4 | 0,4 | 0,5 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Quecksilber | 0,18 | 0,33 | <0,1 | <0,1 | 0,5 | 0,07 | mg/kg TR | DIN EN 1483 |
| Zink | 159 | 273 | 56,2 | 58,7 | 60 | 42 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| TOC | 5,1 | 10 | 1,9 | 1,7 | 0,5 | - | Ma.-% TR | DIN ISO 10694 |
| EOX | <1 | <1 | <1 | <1 | 1 | 1 | mg/kg TR | DIN 38414-S17 |
| Kohlenwasserstoffe C10-C40 | 150 | 400 | 170 | 250 | 400 | 400 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Kohlenwasserstoffe C10-C22 | <100 | <100 | <100 | <100 | 100 | 100 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Summe BTX | <0,3 | <0,3 | <0,3 | <0,3 | <1 | <1 | mg/kg TR | DIN 38407 F9 |
| Summe LHKW | <0,19 | <0,19 | <0,19 | <0,19 | <1 | <1 | mg/kg TR | DIN EN ISO 10301 |
| Summe PCB (6) | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 0,05 | 0,035 | mg/kg TR | DIN 38414-20 |
| Summe PAK (EPA) | 0,81 | 5,5 | <0,65 | <0,65 | 3 | 2,1 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| dav. Benz(a)pyren | 0,052 | 0,29 | 0,03 | <0,03 | 0,3 | 0,3 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| Überschreitung Richtwerte LAGA Z0 und Baggergut-RL Überschreitung Richtwerte Baggergut-RL | | | | | | | | |

Anhand der Analyseergebnisse ist festzustellen, dass die Akkumulation von Schwermetallen an der organischen Sohlauflage deutlich über der am mineralischen Sediment liegt. Durch die Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchung ist nachgewiesen, dass ein bedenkenloser Einbau entnommener Sedimente aus dem Versuchsgewässer in der Landschaft nicht möglich ist. Demnach kann die Sohlauflage nicht im Zuge der Gewässerunterhaltung nach gängigen Saug-Spül-Baggerverfahren neben dem Gewässer abgelagert werden.

Bei den herauslösbaren Stoffen überschreiten lediglich die Werte von Sulfat und der elektrischen Leitfähigkeit die Richtlinienwerte (vgl. Tabelle 4). Die umwelttoxischen Schwermetalle können weitestgehend als inert angesehen werden. Der Prüfbericht mit den einzelnen Analysen und Chromatogrammen ist dem Anhang 1 zu entnehmen.

Tabelle 4: Eluatanalyse

| Parameter | Profil 4 | Profil 15 | Profil 22 | Profil 28 | LAGA-Richtlinie Z0 | Baggergut-RL | Dimension | Prüfmethode |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------|-----------|--------------------|
| Eluatkriterien | | | | | | | | DIN 38414-S4 |
| pH-Wert | 6,99 | 7,3 | 6,79 | 6,65 | 6,5-9,5 | - | - | DIN 38404-C5 |
| Temperatur (pH-Mess.) | 24,5 | 24,3 | 24,4 | 24,4 | - | - | °C | DIN 38404-C5 |
| Leitfähigkeit (25°C) | 458 | 534 | 361 | 407 | 250 | - | µS/cm | DIN EN 27888 |
| Chlorid | 11,1 | 21,4 | 6 | 6 | 30 | - | mg/L | DIN EN ISO 10304-2 |
| Sulfat | 132 | 134 | 130 | 158 | 20 | - | mg/L | DIN EN ISO 10304-2 |
| Cyanide (gesamt) | <5 | <5 | <5 | <5 | 5 | - | µg/L | DIN 38405-D13 |
| Arsen | <10 | <10 | <10 | <10 | 14 | - | µg/L | DIN EN ISO 17294-2 |
| Blei | <10 | <10 | <10 | <10 | 40 | - | µg/L | DIN EN ISO 17294-2 |
| Cadmium | <1 | <1 | <1 | <1 | 1,5 | - | µg/L | DIN EN ISO 17294-2 |
| Chrom (gesamt) | <5 | <5 | <5 | <5 | 12,5 | - | µg/L | DIN EN ISO 17294-2 |
| Kupfer | <5 | <5 | <5 | <5 | 20 | - | µg/L | DIN EN ISO 17294-2 |
| Nickel | <5 | <5 | <5 | <5 | 15 | - | µg/L | DIN EN ISO 17294-2 |
| Quecksilber | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,2 | <0,5 | - | µg/L | DIN EN 1483 |
| Zink | 13,9 | 3,8 | 13,9 | 10,3 | 150 | - | µg/L | DIN EN ISO 17294-2 |
| Phenolindex | <10 | <10 | <10 | <10 | 20 | - | µg/L | DIN EN ISO 14402 |
| Überschreitung Richtwerte LAGA Z0 | | | | | | | | |

2.2.5 Sauerstoffzehrung

Um Verklappungen oder größere Umlagerungen von Sedimenten durchzuführen ist nach „Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut im Binnenland“ (HABAB-WSV) das Sediment auf sein Sauerstoffzehrungspotential zu untersuchen. Als kritische Größe wird dabei der Wert $3\text{ g O}_2/\text{kg TS}$ in 3 Stunden genannt.

Zur Analyse des Sauerstoffzehrungspotentials wurden Schlammproben an ein externes Labor übergeben. Die verwendete Prüfmethode des Labors war allerdings nicht geeignet, da kein Wert für die Sauerstoffzehrung in 3 Stunden angegeben werden konnte.

Aus diesem Grund erfolgte die Messung der Sauerstoffzehrung eigenständig nach DIN 38409 Teil 52. Dabei wurde feuchtes Sediment in einer definierten Menge in ausgeliterte Weck-Einmachgläser eingewogen. Mit den speziellen OxiTop-C Messköpfen (Firma WTW) luftdicht verschlossen erfolgte Messung der Druckabnahme im Gefäß. Das Auslesen der Messwerte geschah über Infrarotschnittstellen mittels Auslesegerät OxiTop OC110. Die so erhaltenen Daten (mg/l) liessen sich über die eingewogene Menge (Dichte, TS) in das Sauerstoffzehrungspotential in drei Stunden umrechnen. Für die untersuchte Schlammauflage wurde nach diesem Verfahren ein Wert von **$170\text{ g O}_2/\text{kg TS 3h}$** ermittelt.

Dieser Wert liegt deutlich über den angegebenen kritischen Wert der Sauerstoffzehrung und machte es erforderlich, dass bei den folgenden Feldversuchen der Sauerstoffgehalt im Versuchsgewässer mit erfasst wurde.

2.2.6 Korngrößenverteilung organische Sohlauflage

Zur Analyse des Schlammes erfolgte die Herstellung zweier Mischproben (Brücke Roggatz und Brücke Hildebrand). Bei der ungestörten Probe aus Profil 4 wurde aus drei verschiedenen Schichten eine Mischprobe erstellt um zu prüfen ob es Unterschiede in den Schichtungen der Sohlauflage gibt. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgte am Lehrstuhl Mechanische Verfahrenstechnik der BTU – Cottbus (LS MVT).

Hier wurden die Proben mittels des Laser-Beugungs-Spektrometers Helos untersucht und eine Korngrößenverteilung erstellt. Dabei wurde festgestellt, dass kein signifikanter Unterschied in den verschiedenen Schichttiefen vorliegt (siehe Abb. 6). Der mittlere Korndurchmesser beträgt demnach ca. $30\text{ }\mu\text{m}$ wobei der Bearbeiter unter dem Mikroskop eher eine faserige Struktur der Einzelteilchen bemerkt hat. Was dem Bearbeiter außerdem auffiel, war ein Abdriften der Kurven in Richtung kleinerer Mittelwerte im Verlaufe der Messung. Daher kam es zur Vermutung, dass durch die Messung eine Zerkleinerung von Agglomeraten auftrat, welche zur Abweichung im Messverlauf führte.

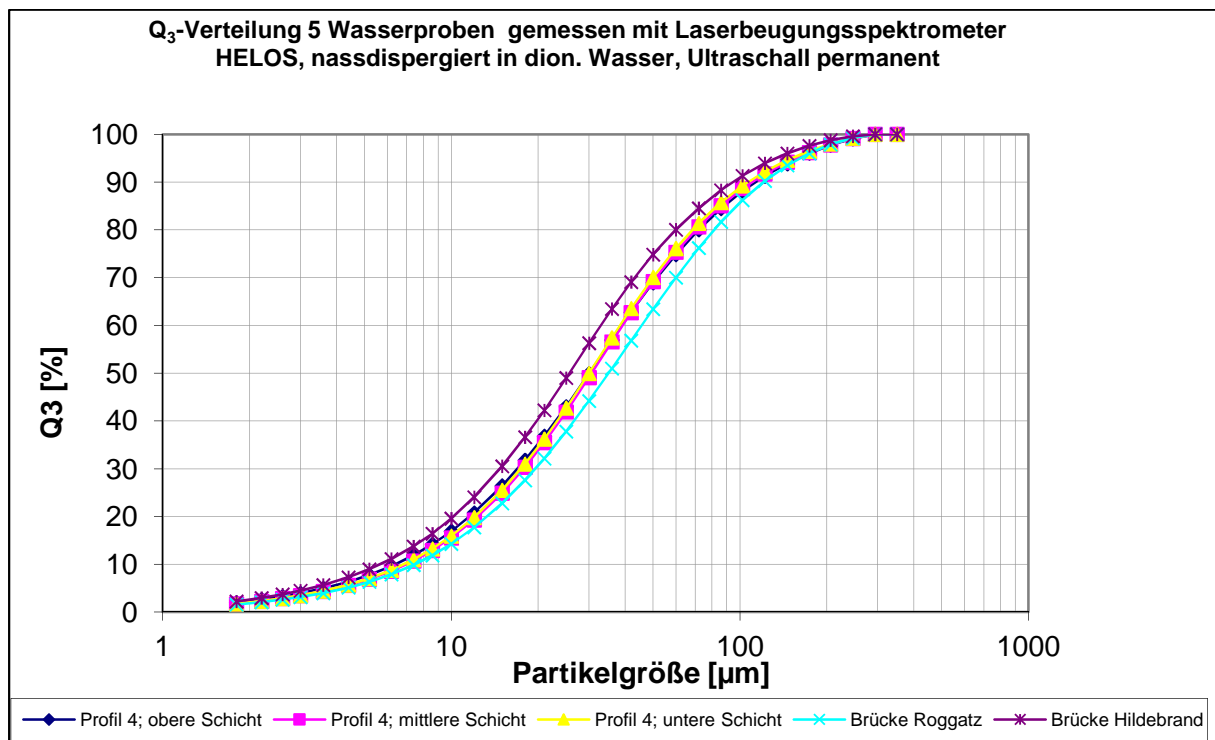


Abb. 6: Verteilung der Summenkurven organische Sohllaufage

2.2.7 Bestimmung der Sinkgeschwindigkeit

Neben der Dichtebestimmung erfolgte die Ermittlung der Sinkgeschwindigkeit. Die Sinkgeschwindigkeit wurde hierbei sowohl nach STOKES (Formel 2) als auch nach CHENG (Formel 2) berechnet.

$$v_s = \frac{d^2}{18\eta} * \frac{\rho_F - \rho_W}{\rho_W} * g \quad (2)$$

$$v_s = \frac{d}{d} * \left(\sqrt{25 + 1,2 * \left(\left(\frac{\rho_F - \rho_W}{\rho_W} * g \right)^{\frac{1}{3}} * d \right)^2} - 5 \right)^{1,5} \quad (3)$$

Für den maßgebenden mittleren Korndurchmesser d_{50} ergibt sich somit nach STOKES eine Sinkgeschwindigkeit von 0,08 mm/s und nach CHENG VON 0,06 mm/s.

3. Versuche

Die Durchführung von Feldversuchen während der Projektlaufzeit gestaltete sich äußerst schwierig, da entgegengesetzt zum Trend das natürliche Wasserdargebot deutlich über dem der vergangenen Jahre lag. Der verspätete Beginn mit den Feldversuchen war somit den im Sommer 2011 dauerhaft erhöhten Wasserständen geschuldet.

3.1 Erster Feldversuch

Nachdem die Vermessung des Versuchsgewässers erfolgt ist und die Eignungsprüfung durchgeführt wurde fand vom 17.10.11 – 24.10.11 der erste Feldversuch statt. Hierzu wurden sämtliche Anwohner und Beteiligte über ein Rundschreiben (siehe Anhang 2) vorab informiert.

Im ersten Feldversuch wurde für den Zeitraum von einer Woche der Durchfluss im Jeschuko Fließ erhöht und nach Beendigung des Feldversuches ausgewählte Gewässerprofile nachvermessen. Somit sollte der Effekt der Abflusserhöhung auf die Morphologie des Gewässers untersucht werden. Während des Feldversuches erfolgten entlang der Fließstrecke Trübungsmessungen um eventuelle Transport- und Lösungsvorgänge zu erfassen.

Nach der Beendigung der Abflusserhöhung im Versuchsgewässer sollten mögliche Veränderungen der Gewässerprofile anhand der Nachvermessungen festgestellt werden. Die Vermessung der einzelnen Gewässerprofile erfolgte hierbei mittels Nivellier und Pegellatte. Dabei wurde versucht möglichst genau dieselben Messpunkte der Ausgangsdaten anzusteuern.

Eine reine Erhöhung des Abflusses führte zu keiner merklichen Verlagerung der organischen Sohle wie Abb. 7 eines beispielhaften Gewässerprofils zeigt. Die ermittelten Abweichungen der Schlammmächtigkeit zwischen der Vorher- Nachhermessung resultieren demnach aus Messungenauigkeiten. Beim ersten Feldversuch konnte lediglich eine leichte Abtragung der oberen locker gelagerten Schlammschicht beobachtet werden. Als zusätzliches Strömungshindernis und eventuelle Sedimentfalle wurden im Verlauf der Fließstrecke zahlreiche Äste im Gewässer vorgefunden.

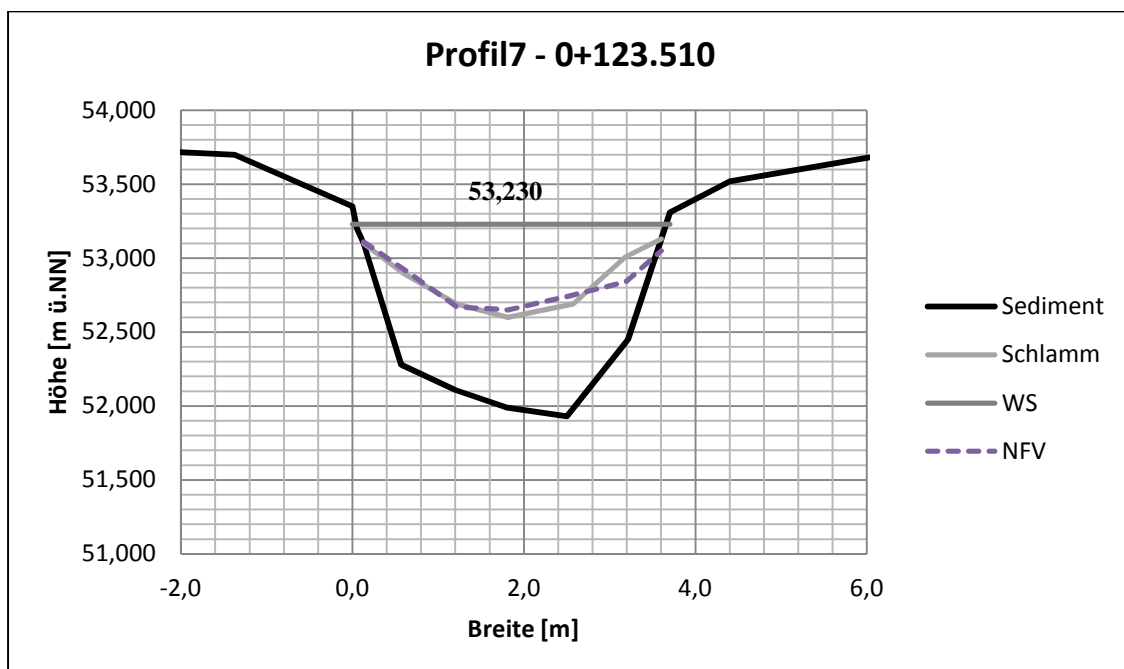


Abb. 7: Aufnahme Gewässerprofil nach erstem Feldversuch

Die Trübungsmessungen entlang der Fließstrecke konnten keinen Effekt hinsichtlich Transport- oder Lösungsvorgänge abbilden, da sich im Zuge der Feldversuche keine Änderung der Trübung ergab. Am 19.10.11 musste der Aufstau am Wehr Wotta etwas zurückgefahren werden, denn der Aufstau im Oberwasser des Wehres führte zu Beeinträchtigungen eines Anliegers.

3.1.1 Abflussmessung

Die Erfassung der Abflüsse im Versuchsgewässer erfolgte mit dem akustischen, digitalen Strömungsmesser OTT ADC (siehe Abb. 8 und Abb. 9) und wurden nach DIN EN ISO 748 aufgenommen. Das Gerät samt Auslese- und Bearbeitungssoftware QReview wurde vom Wasser und Bodenverband „Oberland Calau“ zur Verfügung gestellt.



Abb. 8 OTT ADC Sensor (eigene Aufnahme)



Abb. 9 OTT ADC Steuergerät (eigene Aufnahme)

In Abb. 10 ist hierbei ein Auszug der mittleren Geschwindigkeit über den Messquerschnitt (Ansicht in QReview) dargestellt.

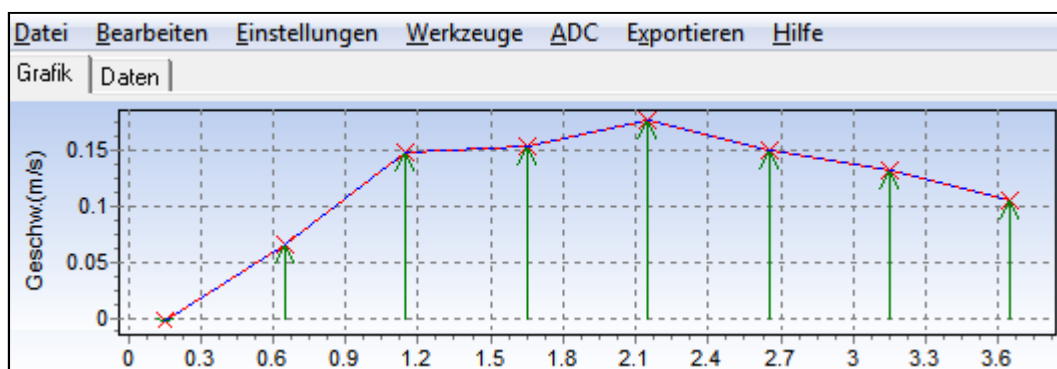


Abb. 10: Auszug der mittleren Geschwindigkeit im Messquerschnitt

Die im ersten Feldversuch erfassten Abflüsse sind in Tabelle 5 aufgelistet. Zu sehen ist hierbei die Abnahme des Volumenstroms am 20.10.11 bedingt durch die Anpassung der Stauregulierung.

Tabelle 5: Abflüsse erster Feldversuch

| Messstelle | Datum | Uhrzeit | Durchfluss [m ³ /s] | Wasserspiegel Wehr Wotta [m ü.NN] | Wasserspiegel Wehr Roggatz [m ü.NN] | Differenz Wasserspiegel [m] |
|----------------|------------|---------|-----------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Br. Nordweg | 17.10.2011 | 14:45 | 0,266 | 53,32 | 53,16 | 0,16 |
| Br. Nordweg | 18.10.2011 | 13:00 | 0,262 | 53,3 | 53,16 | 0,14 |
| Br. Nordweg | 20.10.2011 | 16:30 | 0,2 | 53,26 | 53,16 | 0,1 |
| Br. Nordweg | 21.10.2011 | 11:00 | 0,18 | 53,26 | 53,16 | 0,1 |
| Br. Hildebrand | 21.10.2011 | 12:00 | 0,204 | 53,26 | 53,16 | 0,1 |
| Br. Roggatz | 21.10.2011 | 13:00 | 0,205 | 53,26 | 53,16 | 0,1 |

3.1.2 FST-Halbkugelmethode

Durch hydraulische Parameter wie beispielsweise die an der Gewässersohle wirkende Schubspannung oder die Froudezahl lassen sich Eigenschaften der Strömung in einem Fließgewässer beschreiben. Diese Parameter werden berechnet aus Schätzungen bzw. Messungen weiterer hydraulischer Variablen wie mittlere Fließgeschwindigkeit, Wasserspiegelgefälle, Wassertiefe, Sohlrauheit, Viskosität und Dichte des Wassers. Die Erfassung all dieser Daten ist sehr aufwendig und die damit gewonnenen hydraulischen Parameter beschreiben lediglich die Strömungsverhältnisse an einem bestimmten Punkt des Gewässers bzw. der Gewässersohle. Die komplexen Strömungsverhältnisse an der Sohle des Gewässers sollten darum mittels der FST - Halbkugelmethode nach STATZNER & MÜLLER (1989) erhoben werden um genaue Aussagen bezüglich der tatsächlich im Gewässer vorhandenen Sohlschubspannungen zu treffen.

Das Prinzip ist, dass Halbkugeln gleicher Größe aber unterschiedlicher Dichte der Strömung ausgesetzt werden. Die schwerste, gerade noch verdriftete Halbkugel ist ein Maß für die an der Sohle wirkenden Strömungskräfte. Somit kann die an einem Messpunkt registrierte Halbkugelnummer mit hydraulischen Kenngrößen wie der Schubspannung, der Reynoldszahl oder der Froudezahl korreliert werden.

Zu den Halbkugeln gehört eine metallische Grundplatte mit Auslösemechanismus und horizontaler Ausrichtungsmöglichkeit (integrierte Libelle). Die Grundplatte soll dabei horizontal im Sohlsubstrat eingebaut werden. In einem „Try and Error“-Verfahren wird dann ermittelt welche Halbkugel gerade noch verdriftet wird.

Um das Verfahren praktisch anzuwenden und Aussagen über die tatsächlichen sohlennahen Strömungsbedingungen zu erlangen sind Einzelmessungen in einem erheblichen Umfang durchzuführen. Die Messpunkte im Gewässer sollen dabei sowohl in Längs- wie in Querrichtung zufallsverteilt sein.

Im Rahmen des Vorhabens sollte eine solche Erhebung zwischen Profil 4 bis Profil 7 durchgeführt werden. Die Messpunkte nach einem Zufallsmuster gewählt und erste Testläufe absolviert. Dabei trat das Problem zutage, dass ein Einbau der Grundplatte in der Sohlaufgabe aufgrund zu hoher Dichteunterschiede nicht möglich war. Der Versuch die Grundplatte über eine Aufhängevorrichtung horizontal

auf der Sohlauflage auszurichten schlug ebenfalls fehl (siehe Abb. 11). Aus diesem Grund führte der Versuch zur Anwendung der FST-Halbkugelmethode zum Abbruch.

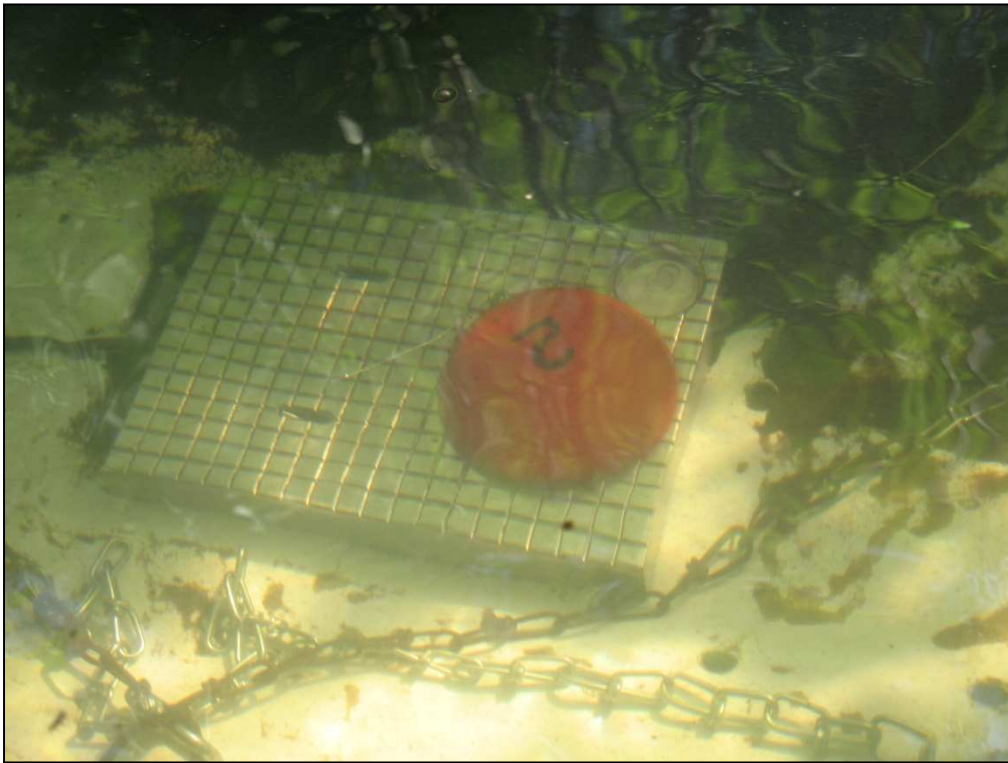


Abb. 11: Versuch FST-Halbkugelmethode

3.1.3 Fazit Erster Feldversuch

Die reine Abflusserhöhung im Versuchsgewässer führt nur zu geringen bis keinen Veränderungen in den beobachteten Querprofilen. Teilweise wird dies auf Störfaktoren wie Äste zurückgeführt, welche eine Art Sedimentfalle bilden. Aus diesem Grund ist vor den folgenden Feldversuchen eine grobe Beräumung vorgesehen. Der Versuch die Strömungsbedingungen an der Gewässersohle mittels FST-Halbkugelmethode schlug fehl da der horizontale Einbau der Grundplatte im spreewaldtypischen Sohlsubstrat nicht möglich ist. Da die erzeugte Abflusserhöhung nicht die gewünschten Erfolge erlangt, werden in den nächsten Versuchsintervallen punktuell Maßnahmen (z.B. durch Schütztafeln) zur Erhöhung der Strömungsintensität durchgeführt.

3.2 Kipprinne

Um Sedimente überhaupt in Bewegung zu setzen, ist eine bestimmte Kraft nötig. Diese entsteht durch den Einfluss der Strömung auf das Sediment und wird als Sohlschubspannung (τ) oder Schleppspannung bezeichnet. Übersteigt die von der Strömung erzeugte Schleppspannung die Widerstandskraft der Sohle, so kommt es zur Verlagerung der Sedimente. Zur Ermittlung des Bewegungsbegins der organischen Sohle erfolgten in der Technikumshalle des Lehrstuhls Wassertechnik und Siedlungswasserbau (LS WT & SWB) Modellversuche an einer Kipprinne.

3.2.1 Theorie Bewegungsbeginn

Eine zentrale Frage beim Feststofftransport ist die Frage nach dem Beginn der Sedimentbewegung. Um diese zu beantworten wurden Ansätze auf Basis einer kritischen Fließgeschwindigkeit oder aber der kritischen Schleppspannung erarbeitet. Der bekannteste Ansatz stammt von SHIELDS. Dieser führte den sogenannten Shields-Parameter θ ein.

$$\theta = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho_w) * g * d_k} \quad (2)$$

Desweiteren besteht ein Zusammenhang von Korndurchmesser und kritischer Shields-Spannung. Das zugehörige Diagramm ist Abb. 12 zu sehen. Dabei wird deutlich, dass für kleine Korngrößen immer eine Mindestschubspannung von $0,154 \text{ N/m}^2$ notwendig ist, da bei kleinen Korngrößen kohäsive Kräfte in den Vordergrund treten [23].

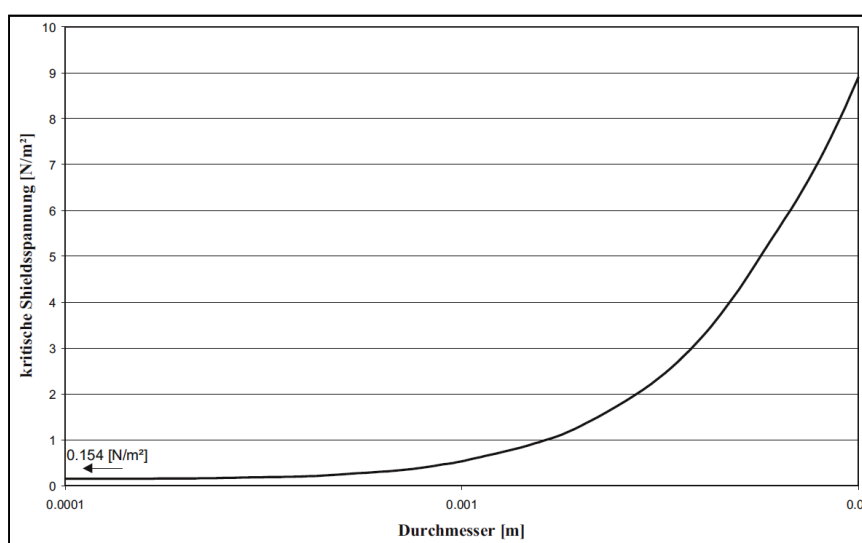


Abb. 12: Für Bewegungsbeginn erforderliche Schubspannung nach Shields [23]

Auf Grundlage seiner Arbeit erstellte er das Shields-Diagramm, das in ähnlicher Form in Abb. 13 zu sehen ist. Durch die Gegenüberstellung der Froudezahl des Kornes (Fr^*) und der Reynoldszahl des Kornes (Re^*) wird der Bewegungsbeginn dargestellt. Zudem ordnete er den Werten die typischerweise auftretenden Bettformen zu. Das Shields Diagramm wurde im Laufe der Zeit von mehreren Autoren angepasst und verändert, jedoch stellt es auch heute noch ein wichtiges Hilfsmittel für die Bestimmung des Bewegungsbeginns dar [3].

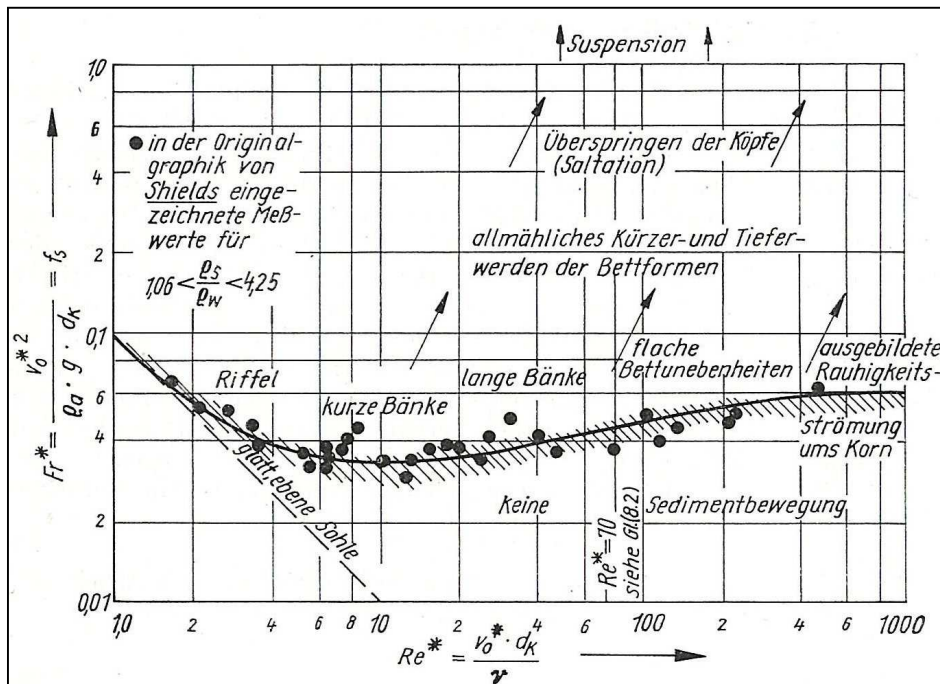


Abb. 13: Bewegungsbeginn nach Shields [2]

3.2.2 Aufbau und Messprogramm Kiprinne

Der Versuchsaufbau bestand aus einer Kiprinne im Technikum des LS WT & SWB. Die Fließlänge beträgt darin ca. 7 Meter bei einer Breite von 0,3 Metern. Die Höhe des Wasserspiegels kann abhängig von der gewünschten Fließgeschwindigkeit frei eingestellt werden, sollte jedoch nicht deutlich über 0,3 Meter betragen.

Das Wasser für die Kiprinne wird aus einem Vorlagebehälter gepumpt und im Kreislauf geführt. Die Größe des Volumenstromes kann über ein Ventil geregelt werden. Der jeweilige Volumenstrom wird über ein magnetisch-induktives Durchflussmessgerät direkt abgelesen. Der schematische Aufbau des Versuchstandes ist in Abb. 14 dargestellt.

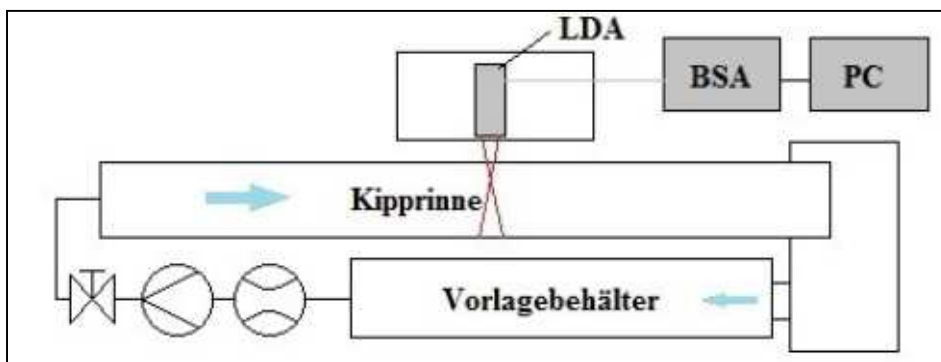


Abb. 14: Schema Kiprinne

Die mittlere Geschwindigkeit konnte anhand des abgelesenen Volumenstroms berechnet sowie punktuell über ein Laser-Doppler-Anemometer (LDA) gemessen werden. In den Versuchen sollten vor allem die Geschwindigkeiten dicht über der Sohle aufgenommen werden, da dort die kritische Geschwindigkeit zum Bewegungsbeginn von besonderem Interesse war.

Aufgrund der Arbeitsweise des LDA's wurden hierbei zwei Stopp-Faktoren einbezogen. Dadurch erfolgte die Messung stets über eine feste Zeitspanne (meist zwei Minuten) sowie über eine feste Anzahl von Messungen. Sobald einer der Stopp-Faktoren erreicht wurde, galt die Messung als beendet. Anschließend erfolgte von allen Messwerten eine Mittelwertbestimmung, sodass anschließend eine Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmt werden konnte. Um kritische Maximalgeschwindigkeiten festzuhalten erfolgte auch die Speicherung aller Einzelmesswerte.

3.2.3 Ersatzsubstrate

In einer dem Vorhaben vorgezogenen Bachelorarbeit wurden natürliche Spreewaldsedimente in der Kipprinne eingebaut. Da es dabei zu erheblichen Verschmutzungen an Versuchsapparatur kam, sollten für die Technikumsversuche andere Substrate zur Anwendung kommen. Dabei kristallisierten sich zwei Substrate als durchaus geeignet heraus:

1. Polystyrol: Dichte laut Kennblatt $1,05 \text{ g/cm}^3$
2. Holzspäne: Dichte ca. $1,2 \text{ g/cm}^3$ (ermittelt durch Pyknometer)

Das Polystyrol wurde als Granulat mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 2-3 mm angeliefert. Um einen höheren Ungleichförmigkeitsgrad zu erlangen, erfolgte eine Schredderung des Materials. Die Holzspäne hingegen ähneln sich stark durch die faserige Struktur der natürlichen Sohlaufgabe.

3.2.4 Ergebnisse Kipprinnenversuche

Der Einbau der Ersatzsubstrate erfolgte in einer Mächtigkeit von ca. 3 cm. Die Aufnahme der Geschwindigkeit mittels LDA wurde weitere 3 cm oberhalb des Sohlsubstrates erfasst (vgl. Abb. 15).

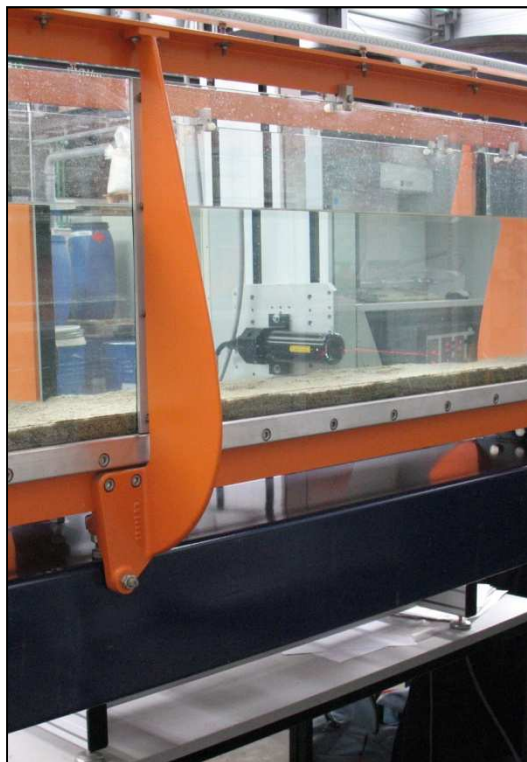


Abb. 15: Kipprinnenversuch mit Holzspänen

Während der Versuche mit dem Ersatzsubstrat wurde die Fließgeschwindigkeit durch Erhöhung des Volumenflusses stetig erhöht und Beobachtungen hinsichtlich der Sedimentbewegungen dokumentiert. In Abb. 16 ist ein Protokoll zu einem Versuch mit den Holzspänen als Ersatzsubstrat abgebildet

| Höhe des Sedimentes: 0,03 m | | | | | |
|---|------------|---------------------------|--------|--------|--|
| Wasserspiegel: 0,3 m über der Rinnensohle | | | | | |
| Länge des Sedimentbereiches: ~2,5 3m bis 5,5m Messung bei 4,4m; 0,03 über Sediment; 0,06 über Sohle; mittig | | | | | |
| Messung bei 1800V; 30dB; 1000 NoB; 100s | | | | | |
| Messung | Durchfluss | gemessene Geschwindigkeit | | | Beobachtung |
| | | erste | zweite | dritte | |
| 1 | 4,98 | 0,069 | 0,068 | 0,069 | keine wahrnehmbare Bewegung |
| 2 | 7,51 | 0,101 | 0,1 | 0,102 | Einsetzen einer Rollbewegung, kaum Abtrag, vor allem im vorderen Bereich |
| 3 | 10 | 0,134 | 0,134 | 0,135 | im vorderen Bereich Rollbewegung über die Breite, hinten nur leicht, nach den Messungen eine gewisse Beruhigung feststellbar, Messung im höheren Messbereich mit 25dB: 0,134 |
| 4 | 12,47 | 0,166 | 0,168 | 0,165 | starker Abtrag im vorderen Bereich; Loslösung bis zur Sohle; hinterer Bereich in Bewegung, allerdings wenig beeinflusst |
| 5 | 15,17 | 0,186 | 0,193 | 0,197 | weiter Abtrag vor allem im vorderen Bereich; sehr starke Zusetzung des Rückhaltenetzes; Validität an der Grenze |
| 6 | | 0,21 | | | Sedimentwanderung von vorn nach hinten; Probleme mit dem Netz Geschwindigkeitserhöhung durch Absenkung der Klappe zum Schutz der Pumpe |
| Laut Modellmaßstab: eine Geschwindigkeit von 0,168m/s entspräche: 0,227 m/s | | | | | |
| eine Zeit von 10min entspräche: 110,8 min | | | | | |

Abb. 16: Protokoll Kipprinnenversuch

Die Ergebnisse der Kipprinnenversuche wurden zur Übertragung auf das natürliche Gewässer nach den Ähnlichkeitsgesetzen des hydraulischen Versuchswesens umgerechnet. Die Geschwindigkeit für den Bewegungsbeginn an der Sohle lässt sich somit in der Kiprinne für das jeweilige Ersatzsubstrat bestimmen:

1. Holzspäne: $v_{\text{Modell}} \approx 17 \text{ cm/s}$ entspricht 22 cm/s in der Natur
2. Polystyrol: $v_{\text{Modell}} \approx 4,5 \text{ cm/s}$ entspricht 5,4 cm/s in der Natur

Die Ergebnisse für das Ersatzsubstrat Polystyrol sollten hierbei die Bedingungen zum Bewegungsbeginn für die oberste locker gelagerte Schicht der organischen Sohlaufgabe widerspiegeln. Wohingegen die Holzspäne das Verhalten der eigentlichen Sohlaufgabe ausdrückt.

In einem weiteren Versuch an der Kiprinne wurde unter dem Einsatz einer unterströmten Schützttafel ein weites aufreißen der Auflage festgestellt. Aus diesem Grund sollte in weiteren Feldversuchen erprobt werden ob sich das natürliche organische Sediment im Versuchsgewässer genauso verhält.

3.3 Einsatz temporärer Schütze

Da in den Modellversuchen der Einsatz eines unterströmten Schützes zu einer weitergehenden Abtragung der Sohlaufage führte, wurde selbiges am Versuchsgewässer erprobt. Durch den Einbau eines Schützes sollte im Zuge der Abflusserhöhung der Fließquerschnitt eingegrenzt werden um somit die Fließgeschwindigkeit lokal zu erhöhen. Hierzu erfolgte die Anfertigung von 4 Schütztafeln aus Holz. Die Breite der konstruierten Tafeln belief sich zwischen 3 - 6 Metern bei einer Höhe von 0,35 – 0,4 Metern. Der Aufbau der Tafeln erfolgte aus Platzgründen direkt vor Ort. Aus diesem Grund wurden nach diesem Prinzip keine Versuche in den Transekten 4 und 6 durchgeführt, da diese Gewässerabschnitte nur über den Wasserweg erreichbar waren.

Die Tafeln wurden beim Einbau mittels Holzpfähle gegen Verdriftung gesichert. Ausgehend von den Analyseergebnissen der Sauerstoffzehrung erfolgte zusätzlich die Aufnahme der Sauerstoffkonzentration (gemessen mit Multiparametersonde) entlang der Fließstrecke. In Abb. 17 ist eine der eingesetzten Schütze und die Erfassung der Sauerstoffkonzentration abgebildet.

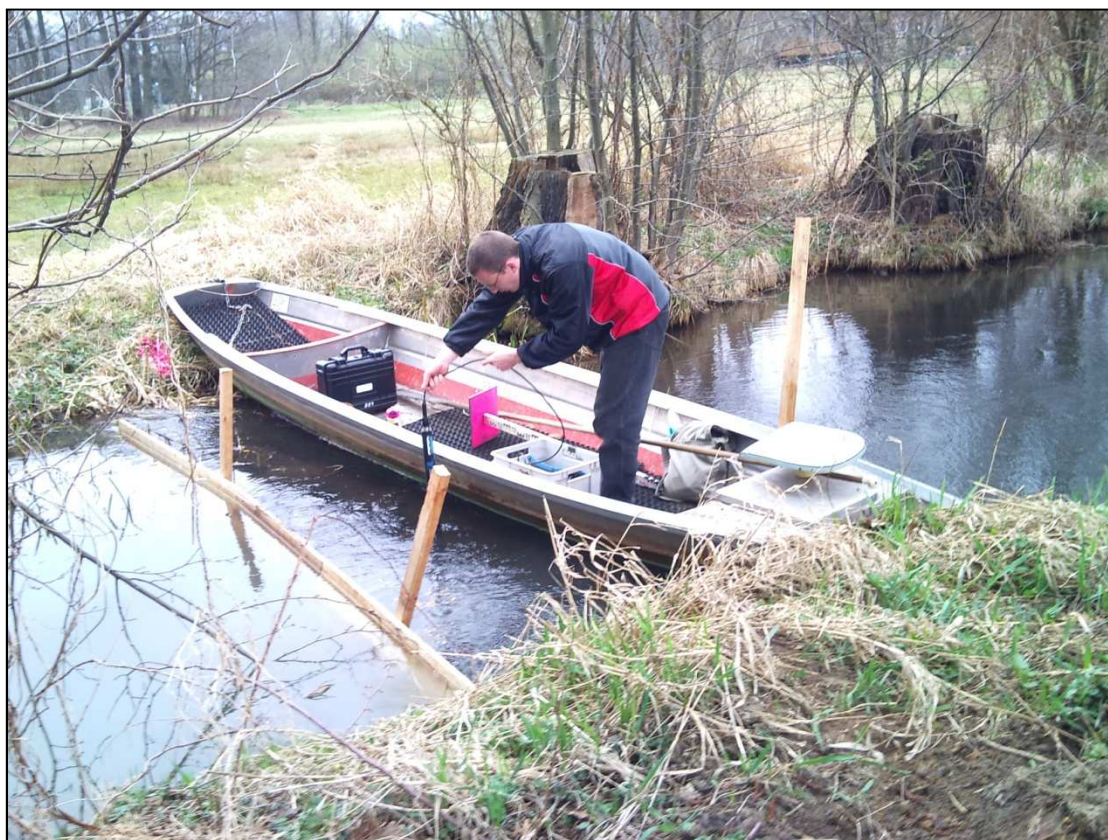


Abb. 17: Temporäre Schütztafel und Messwertaufnahme

Vor dem Einbau der Schütztafeln erfolgte die Aufnahme der ausgewählten Querprofile über Nivellier und Messlatte. Dabei wurden gezielt bekannte Querprofile angesteuert um eine bessere Datengrundlage zu erhalten. Zusätzlich zu den bekannten Profilen wurden jeweils die Gewässerquerschnitte einen Meter in Fließrichtung dahinter aufgenommen. Dadurch sollte ein weites aufreißen der Sohlaufage wie es in den vorangegangenen Modellversuchen beobachtet wurde dokumentiert werden. Unmittelbar nach dem Einbau sollte eine Geschwindigkeitsmessung an der Gewässersohle durchgeführt werden um Aussagen über die benötigte Fließgeschwindigkeit zum Bewegungsbeginn treffen zu können.

3.3.1 Ergebnisse zum Einsatz temporärer Schütze

Wie bei den ersten Feldversuchen erfolgte vor dem Einbau der Schütze die Erfassung des Abflusses und der Wasserspiegellagen. Zusätzlich wurde anhand der Analyseergebnisse die Sauerstoffkonzentration im Gewässer mittels Multiparametersonde überwacht. Einen Auszug der Messwerte während eines Versuches zum Einsatz temporärer Schütze ist in Tabelle 6 dargestellt.

In Profil 14 wurde hierbei vor dem Beginn eine Nullmessung durchgeführt um Veränderungen im Verlauf des Versuches festzustellen. Im Zuge des Feldversuches kam es demnach zu keiner deutlichen Abnahme der Sauerstoffkonzentration im Gewässer, wodurch eine negative Wirkung auf die Ichthyofauna ausgeschlossen wurde.

Tabelle 6: Messwerte Multiparametersonde

| Ort | Tiefe m | Temp °C | pH - | SpCond µS/cm | O2 % | O2 mg/l | Trübung NTUs |
|---------------|------------|------------|---------|-----------------|---------|------------|-----------------|
| Profil14 | 0,1 | 10,41 | 7,27 | 913,1 | 100,8 | 11,38 | 7,3 |
| | 0,2 | 10,41 | 7,31 | 913 | 99,1 | 11,19 | 7,9 |
| | 0,3 | 10,4 | 7,36 | 913 | 98 | 11,07 | 9,1 |
| | 0,4 | 10,41 | 7,4 | 913,2 | 98,6 | 11,13 | 10,2 |
| Profil11 + 1m | 0,1 | 10,77 | 7,72 | 902,1 | 111,8 | 12,51 | 10,2 |
| | 0,2 | 10,65 | 7,68 | 906,3 | 106,2 | 11,92 | 12,1 |
| | 0,3 | 10,64 | 7,65 | 907,1 | 104,2 | 11,7 | 153,4 |
| Profil11 + 1m | 0,1 | 10,64 | 7,62 | 907,6 | 102,5 | 11,51 | 1 |
| | 0,2 | 10,64 | 7,62 | 907,5 | 102,2 | 11,48 | 36,7 |
| Profil12 | 0,1 | 10,7 | 7,74 | 907 | 102,9 | 11,54 | 41,2 |
| | 0,2 | 10,68 | 7,72 | 907 | 101,2 | 11,36 | 44,2 |
| | 0,3 | 10,68 | 7,7 | 907,4 | 100,5 | 11,27 | 29,2 |
| | 0,4 | 10,68 | 7,69 | 907,4 | 100,8 | 11,31 | 34,2 |
| Profil13 | 0,1 | 10,7 | 7,68 | 907,2 | 101,9 | 11,43 | 16,6 |
| | 0,2 | 10,69 | 7,67 | 907,1 | 99,5 | 11,16 | 19,2 |
| | 0,3 | 10,69 | 7,68 | 907,2 | 99,6 | 11,16 | 23,2 |
| | 0,3 | 10,7 | 7,67 | 906,9 | 100 | 11,21 | 21,9 |
| | 0,4 | 10,69 | 7,67 | 907,3 | 100,1 | 11,22 | 23,2 |
| Profil14 | 0 | 10,67 | 7,64 | 908,2 | 100,8 | 11,31 | 21,3 |
| | 0,1 | 10,71 | 7,64 | 907,3 | 99,9 | 11,2 | 15,4 |
| | 0,2 | 10,71 | 7,64 | 907,5 | 100,1 | 11,22 | 16,3 |
| | 0,3 | 10,71 | 7,64 | 907,6 | 99,9 | 11,19 | 15,8 |
| | 0,4 | 10,71 | 7,65 | 907,5 | 99,9 | 11,19 | 14 |
| | 0,5 | 10,71 | 7,65 | 907,4 | 99,9 | 11,19 | 12,5 |
| Profil15 | 0,1 | 10,75 | 7,66 | 907,3 | 100,1 | 11,21 | 20,3 |
| | 0,2 | 10,75 | 7,66 | 907,1 | 100,1 | 11,21 | 19,2 |
| | 0,3 | 10,75 | 7,66 | 907,4 | 99,7 | 11,17 | 15,6 |
| | 0,4 | 10,75 | 7,66 | 907,3 | 99,8 | 11,18 | 17 |

Im Rahmen des Feldversuches kam es zu keiner gesteigerten Umsetzung des organischen Materials oder einer vermehrten Freisetzung anorganischer Verbindungen. Dies war an der durchgehend konstanten Leitfähigkeit erkennbar.

Bei dem Einsatz temporärer Schütze wurde ein deutlicher Anstieg der Trübung im Gewässer durch die Aufwirbelung der Sohlaufklappe erzeugt. Dies stellte sich als beachtliche Trübungsfahne an der Mündung des Jeschuko Fließes dar (siehe Abb. 18). Die Aufnahme erfolgte vom Wehr Roggatz entgegengesetzt zur Fließrichtung im Kleinen Fließ.



Abb. 18: Aufnahme Trübungsfahne

Unmittelbar nach dem Einbau eines Schützes waren keine Geschwindigkeitsmessungen an der Gewässersohle durchführbar. Aufgrund der hohen Aufwirbelung der Sohlaufklappe ließ sich mit dem Durchflussmessgerät kein Wert festhalten. Nach ca. 30 Minuten konnte ein Abklingen der Abtragung im Bereich des Schützes festgestellt werden.

Daraufhin erfolgte eine Geschwindigkeitsmessung an der Gewässersohle. Dabei wurde ein Wert für die Fließgeschwindigkeit von 0,21 m/s festgehalten. Eine derartige punktuelle Aufnahme der Geschwindigkeit geschah an allen ausgewählten Versuchsquerschnitten. Die Ergebnisse dieser Aufnahmen lagen stets im Bereich 0,20...0,22 m/s. Daraus folgte die Annahme, dass ab Überschreitung der Geschwindigkeit von 0,22 m/s Abtragungen der Sohlaufklappe stattfanden.

Nach dem Rückbau der Schütze konnte im unmittelbaren Bereich der Schütztafeln visuell ein Krater festgestellt werden. Dies führte schon vor der Nachmessung zu der Annahme, dass kein weites Aufreißen der Sohlaufklappe stattfand.

Wie in Abb. 19 und Abb. 20 zu sehen ist, erfolgte nur im unmittelbaren Einbaubereich eine deutliche Verlagerung der Sohlaufklappe während schon ein Meter dahinter kein messbarer Effekt erreicht wurde.

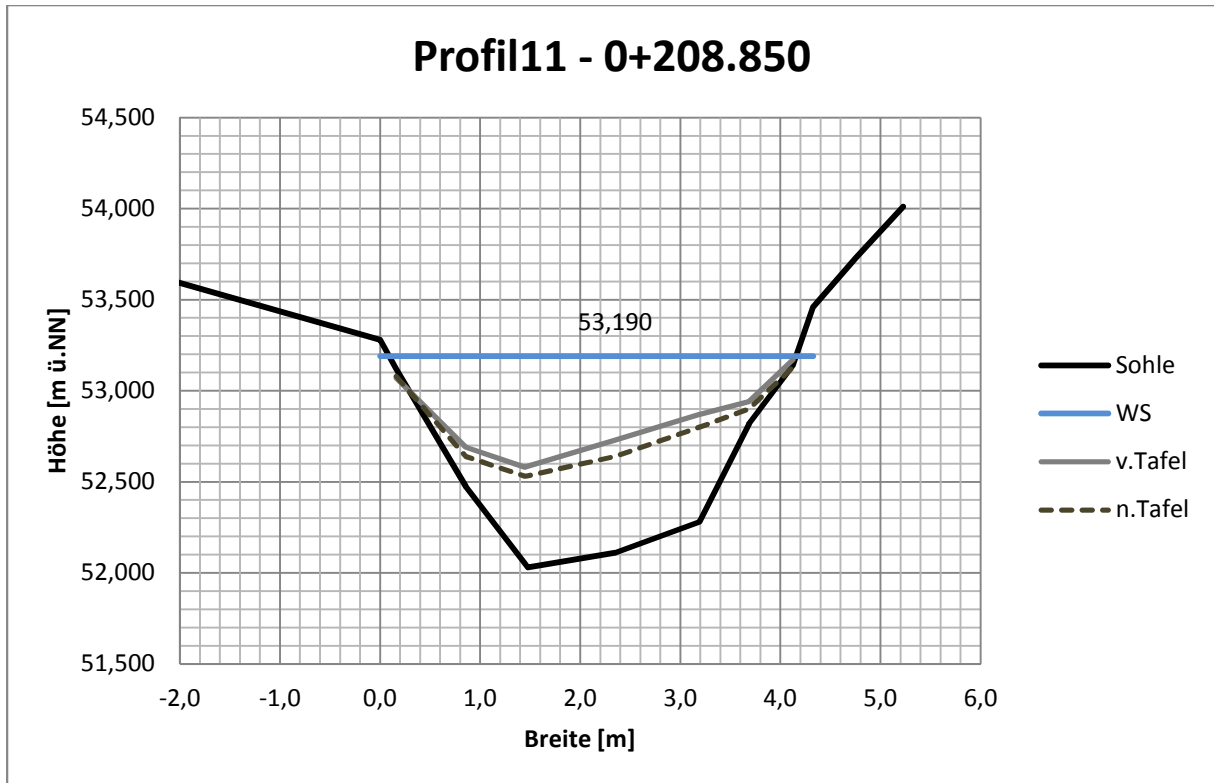


Abb. 19: Profilaufnahme (Profil 11) vor und nach dem Einsatz

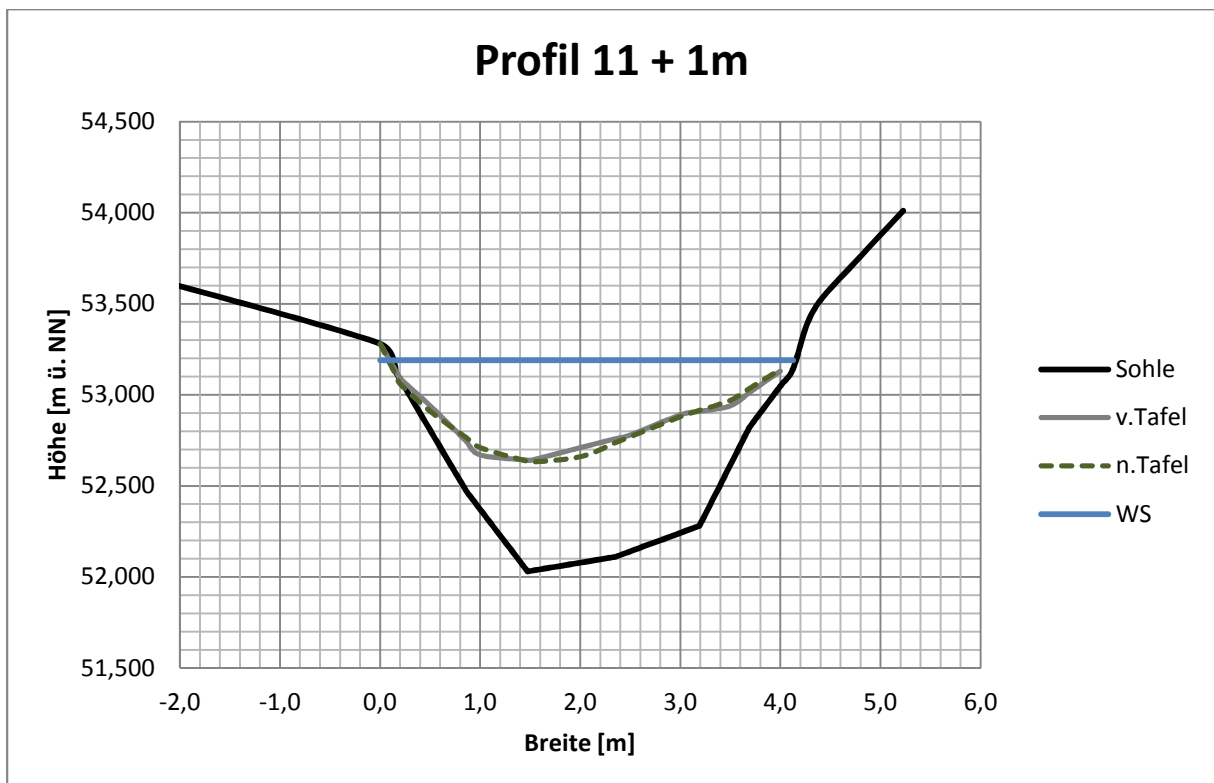


Abb. 20: Profilaufnahme (Profil 11 + 1m) vor und nach dem Einsatz

3.3.2 Fazit aus Versuchen temporärer Schütze

Der Einsatz temporärer Schütze bewirkte keine Gefährdung für die Ichthyofauna. Es erfolgten nur Verlagerungen der Sohlauflage im Bereich der Schütze. Somit stellte diese Maßnahme keine Alternative zur Umsetzung in der praktischen Gewässerunterhaltung dar. In Form von punktuellen Geschwindigkeitsaufnahmen konnten die Ergebnisse der Kipprinnenversuche zum Bewegungsbeginn ($v_{crit} \approx 0,23 \text{ m/s}$) bestätigt werden. Zur durchgehenden Verlagerung der Sohlauflage im Versuchsgewässer sollte eine mobile Vorrichtung zur Querschnittseinengung erprobt werden.

3.4 Einsatz mobiles Schütz

Im Rahmen der letzten Feldversuche wurde letztmalig vom 23.04.13 – 25.04.13 der Abfluss im Jeschuko Fließ erhöht und der Einsatz einer mobilen Vorrichtung zur Querschnittseinengung erprobt. Hierzu sollte ein mobiles Schütz am Heck eines Kahnens befestigt werden. Über die Eintauchtiefe konnte somit eine Einengung des Fließquerschnittes im Gewässer erreicht werden.

3.4.1 Aufbau mobiles Schütz

Der Aufbau des eingesetzten Schützes bestand im Groben nur aus zwei Teilen. Den ersten Teil stellte eine alte Motorhaube eines SEAT Cordoba mit einer Breite von ca. 1,3 m als Schütztafel dar. An die Motorhaube wurden zwei Stahlprofile geschweißt. Um die Schütztafel mit der Aufhängevorrichtung verbinden zu können erfolgten in bestimmten Abständen Bohrungen im Profilstahl. Den zweiten Teil der Vorrichtung bildete die Aufhängevorrichtung mit welcher das Schütz am Kahn befestigt werden konnte und hinsichtlich der Eintauchtiefe flexibel einsetzbar war. Das Anbringen der mobilen Vorrichtung ist in Abb. 21 zu erkennen



Abb. 21: Anbringen mobiles Schütz an Wasserfahrzeug

3.4.2 Durchführung und Ergebnisse Einsatz mobiles Schütz

Wie bei den Vorangegangenen Feldversuchen erfolgten auch vor dem Einsatz des mobilen Schützes die vorherige Vermessung der zu bearbeitenden Gewässerprofile und die Erfassung des Abflusses sowie der Wasserspiegellagen. Mögliche Veränderungen der Sauerstoffkonzentration während der Versuche wurden ebenfalls über Messungen der Multiparametersonde kontrolliert.

Die Erprobung des mobilen Schützes fand auf einer Fließstrecke von ca. 100 Metern zwischen Profil 4 (Transekt 1) und Profil 7 (Transekt 2) statt. Der Durchfluss im Rahmen des Feldversuches betrug 0,215 Kubikmeter die Sekunde bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit von 0,16 m/s (gemessen im Profil 4). Die Eintauchtiefe des mobilen Schützes zur lokalen Querschnittseinengung wurde hierfür mit 0,3 Metern gewählt.



Abb. 22: Feldversuch mit mobiles Schütz

Unter der Nutzung der vorhandenen Fließgeschwindigkeit als Vortrieb wurden 100 Meter der Versuchsstrecke innerhalb von 30 Minuten bearbeitet. Dabei erfolgte die Regulierung der Vortriebsgeschwindigkeit durch manuelles Abbremsen mittels Rudel (siehe Abb. 22). Das Abbremsen war erforderlich um mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit beim zurücklegen der Teststrecke zu gewährleisten. Dadurch wurden Gewässerabschnitte mit einer schnelleren Fließgeschwindigkeit ausgeglichen und ein gleichmäßiger Abtrag gewährleistet.

Die Nachvermessung der bearbeiteten Profile ergab einen fast durchgängigen Abtrag von 10 cm der Sohlaufandung je Profil (vgl. Abb. 23 und Abb. 24). Im Zuge der Durchführung des Feldversuches konnten auch beim Einsatz des mobilen Schützes keine signifikanten Abnahmen der Sauerstoffkonzentrationen entlang der Fließstrecke festgestellt werden.

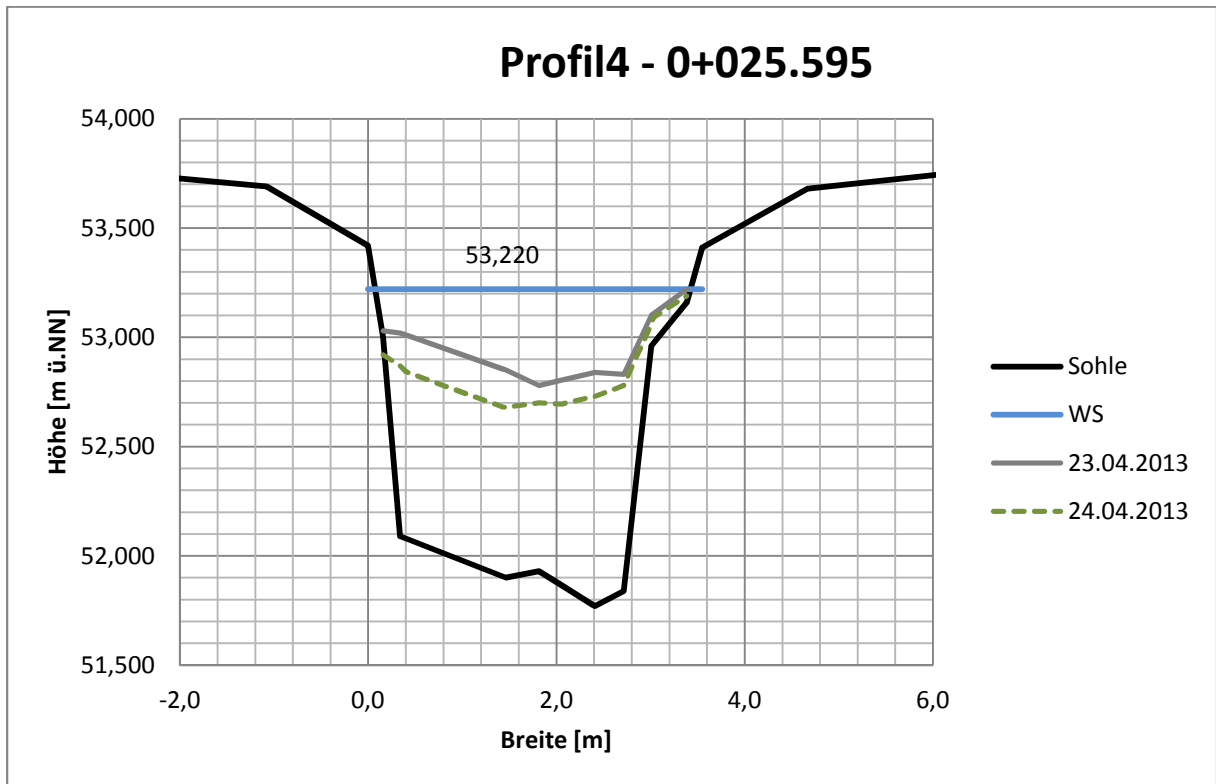


Abb. 23: Veränderung der Sohlaufage Profil 4 infolge Einsatz mobiles Schütz

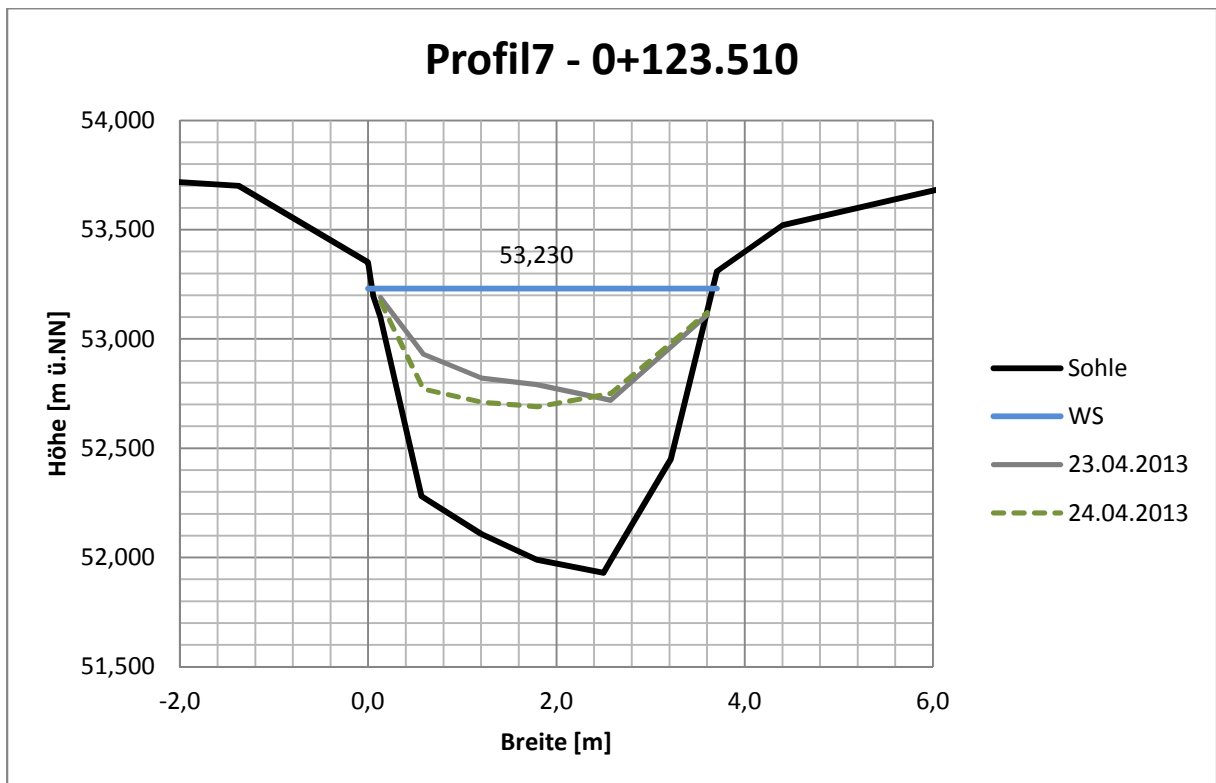


Abb. 24: Veränderung der Sohlaufage im Profil 7 infolge Einsatz mobiles Schütz

3.4.3 Fazit zum Einsatz eines mobilen Schützes

Die Verwendung eines mobilen Schützes führte zu einer erheblichen Verlagerung der organischen Sohlaufgabe. So wurden schon in bei einer Eintauchtiefe von 30 cm innerhalb kurzer Zeit 10 cm der Sohle in Bewegung versetzt. Der Einsatz einer solchen Vorrichtung eignet sich demnach zur Anwendung für kleine Fließgewässer in der gegenständlichen Gewässerunterhaltung. Es gilt weiterhin noch zu prüfen inwieweit das Verfahren durch eine Anpassung der Breite des Schützes (möglichst flexibel wählbar) zu verfeinern ist. Durch die Ausnutzung der vorhandenen Strömung zum Vortrieb und den Verzicht auf jegliche Maschinentechologie stellt das Verfahren eine ressourcen- und umweltschonende Alternative in der Gewässerunterhaltung dar. Das Prinzip des Einsatzes wurde dem zuständigen Wasser- und Bodenverband „Oberland Calau“ vorgestellt und soll in Zukunft weiter erprobt werden.

4. Modellierung Versuchsgewässer

Zum Aufbau eines Simulationsmodells für das Versuchsgewässer erfolgte im Vorfeld die Aufnahme von 27 Querprofilen auf einer Fließstrecke von 760 m.

4.1 Modellierungssoftware

Zur Nachbildung verschiedener Abflussereignisse im Versuchsgewässer sollte die Modellierungssoftware SOBEK verwendet werden. Unter der Prämisse im Modell auch den Sedimenttransport zu beleuchten wurde das Teilmodul SOBEK-River verwendet. Die Grundlagen dieses Moduls sind 1D Berechnungen des Flussschlauches. Die 1D Berechnung erfolgt dabei über die St. Venant'sche Gleichung. Die numerische Lösung erfolgt über die Finite-Differenzen-Methode (FDM). Die Abbildung des Flussschlauches erfolgt in Segmente und Kalkulationspunkte. So wird der Wasserstand in den Kalkulationspunkten ausgegeben und in den Segmenten Durchfluss und Geschwindigkeit dargestellt.

Nachfolgend sind die Berechnungsgrundlagen der Software aus dem Hilfe-Tool dargestellt:

Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \quad (3)$$

Impulsgleichung:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + g * A_f * \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g * Q * |Q|}{C^2 * R * A_f} - b * \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0 \quad (4)$$

Durchlass :

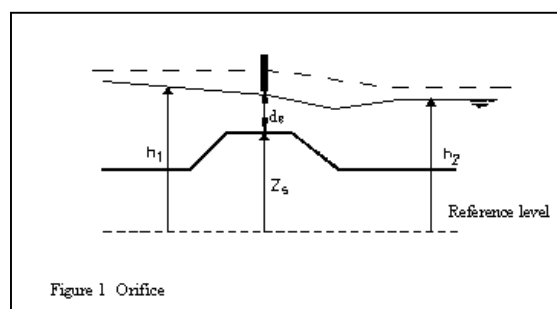


Abb. 25 Skizze des Durchlasses

Die Berechnung des Durchflusses wird in 4 Fälle unterschieden.

1. Freier Durchfluss

$$Q = c_w * W_S * \mu * d_g \sqrt{2 * g * (h_1 - (z_S + \mu * d_g))} \quad (5)$$

$$A_f = W_S * \mu * d_g \quad (6)$$

2. Rückgestauter Durchfluss

$$Q = c_w * W_S * \mu * d_g \sqrt{2 * g * (h_1 - h_2)} \quad (7)$$

$$A_f = W_S * \mu * d_g \quad (8)$$

3. Vollkommener Überfall

$$Q = c_w * W_S * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * g * (h_1 - z_S)^{\frac{3}{2}}} \quad (9)$$

$$A_f = W_S * \frac{2}{3} * (h_1 - z_S) \quad (10)$$

4. Unvollkommener Überfall

$$Q = c_e * c_w * W_S * \left(h_1 - z_S - \frac{u_s^2}{2 * g} \right) * \sqrt{2 * g * (h_1 - h_2)} \quad (11)$$

$$A_f = W_S * \left(h_1 - z_S - \frac{u_s^2}{2 * g} \right) \quad (12)$$

Welcher der 4 Fälle zur Berechnung herangezogen wird unterscheidet die Software nach folgenden Bedingungen:

$$1. \text{ Freier Durchfluss: } h_1 - z_S \geq \frac{3}{2} * d_g \ \& \ h_2 \leq z_S + d_g \quad (13)$$

$$2. \text{ Rückgestauter Durchfluss: } h_1 - z_S \geq \frac{3}{2} * d_g \ \& \ h_2 > z_S + d_g \quad (14)$$

$$3. \text{ Vollkommener Überfall: } h_1 - z_S < \frac{3}{2} * d_g \ \& \ h_1 - z_S > \frac{3}{2} * (h_2 - z_S) \quad (15)$$

$$4. \text{ Unvollkommener Überfall } h_1 - z_S < \frac{3}{2} * d_g \ \& \ h_1 - z_S \leq \frac{3}{2} * (h_2 - z_S) \quad (16)$$

Die Sedimenttransportkapazität wird entweder nach FRIJLINK oder nach VAN RIJN ausgegeben:

$$\text{Frijlink: } T_V = d_{50} * \sqrt{g * \mu * R * |S_e|} * 5 * e^{\frac{-0,27 * d_{90}}{\mu * R * |S_e|}} \quad (17)$$

$$\text{Van Rijn: } T_V = 0,05 * v_m * \left(\frac{v_m - v_{mcr}}{\sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} * g * d_{50}}} \right)^{2,4} * \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{1,2} \quad (18)$$

4.2 Aufbau und Kalibrierung des Modells

Um einen besseren Überblick zu gewährleisten wurde zuerst eine georeferenzierte Hintergrundkarte (im map*-Format) aus dem vorhandenen ESRI-GIS-Datensatz erstellt.

Aus den Vermessungsdaten erfolgte die Implementierung eines Linienshapefiles zur Abbildung des Flussschlauches. Die Höhendaten wurden den Zeichnungsunterlagen entnommen und über die Gewässerbreite in x/y-Werte umgewandelt. Dadurch war es möglich die 27 eingemessenen Querprofile als Cross-Sections einzufügen. Das somit aufgebaute Grundmodell ist Abb. 26 dargestellt.

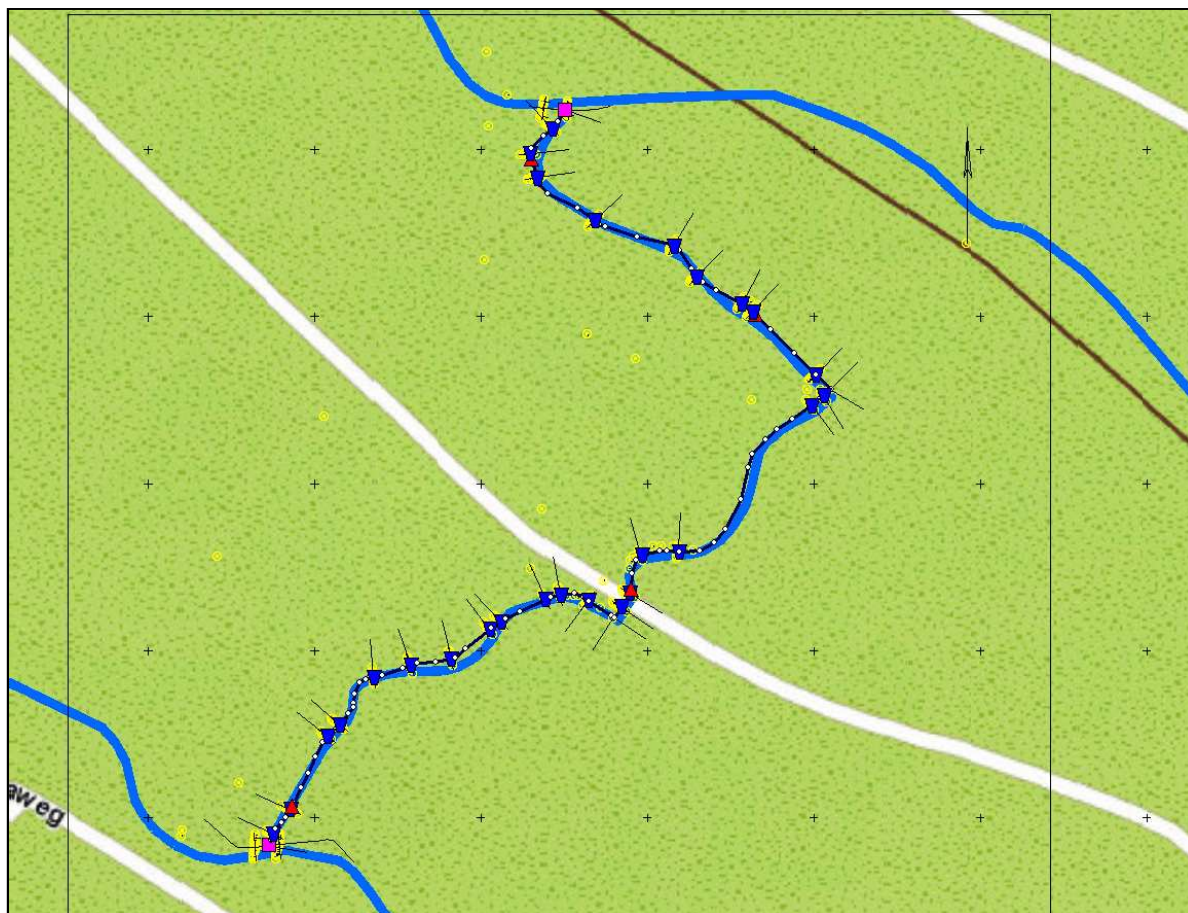


Abb. 26: Modellaufbau mit Hintergrundkarte

Für die Beschreibung der Sohlrauheit wurde der Manning-Strickler-Beiwert auf $20 \text{ [m}^{1/3}/\text{s]}$ gesetzt. Die Ausgangsbedingung für den Einlaufbereich stellte eine $Q(t)$ -Funktion dar. Die Endbedingung des Modells war der Wasserspiegel über der Zeit.

Die Kalibrierung des Modells erfolgte anhand aufgenommener Wasserstände und Durchflüsse vom März 2012 (siehe Tabelle 7). Der Wert vom 29.03.12 (Brücke Nordweg) wurde dabei für die Kalibrierung nicht verwendet, da es sich hierbei um eine Fehlmessung handelte. Nach der Kalibrierung wurden die Wasserspiegelunterschiede zwischen Modell und Messwert von ca. 1 cm erreicht. Mit Hilfe des Modells sollte nun untersucht werden, welche Auswirkungen Querschnittseinengungen und Änderungen des Wasserspiegellagengefälles auf die Fließgeschwindigkeit haben.

Tabelle 7: Aufzeichnung Durchflüsse und Wasserspiegellagen zur Kalibrierung

| Messstelle | Datum | Uhrzeit | Durchfluss [m ³ /s] | Wasserspiegel Wehr Wotta [m ü.NN] | Wasserspiegel Wehr Roggatz [m ü.NN] | Differenz Wasserspiegel [m] |
|--------------------|-------------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Profil 4 | 26.03.2012 | 09:15 | 0,214 | 53,2 | 53,08 | 0,12 |
| Br. Roggatz | 26.03.2012 | 12:30 | 0,211 | 53,22 | 53,1 | 0,12 |
| Br. Nordweg | 27.03.2012 | 10:45 | 0,214 | 53,24 | 53,1 | 0,14 |
| Br. Roggatz | 28.03.2012 | 12:45 | 0,208 | 53,24 | 53,1 | 0,14 |
| <i>Br. Nordweg</i> | <i>29.03.2012</i> | <i>12:30</i> | <i>0,185</i> | <i>53,25</i> | <i>53,1</i> | <i>0,15</i> |
| Br. Roggatz | 29.03.2012 | 14:30 | 0,23 | 53,25 | 53,1 | 0,15 |
| Br. Roggatz | 30.03.2012 | 11:00 | 0,254 | 53,29 | 53,13 | 0,16 |

4.3 Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeiten

Anhand des kalibrierten Modells ließen sich nun für verschiedene Abflussereignisse die mittleren Fließgeschwindigkeiten einzelner Segmente bestimmen (siehe Abb. 27). Das hier abgebildete Ergebnis spiegelt den Fall des höchst gemessenen Abflusses wieder. Demnach lag der Maximalwert der mittleren Fließgeschwindigkeit bei 0,21 m/s. Allerdings fiel auch auf, dass große Teile der Fließstrecke, selbst bei stark erhöhten Abflüssen, Geschwindigkeiten von unter 0,15 m/s aufwiesen. Die Ergebnisse ließen insbesondere in den Transekten 4 bis 7 auf überdimensionierte Gewässerprofile schließen in denen nur durch lokale Einengungen des Fließquerschnittes die benötigten Fließgeschwindigkeiten erzeugt werden können.

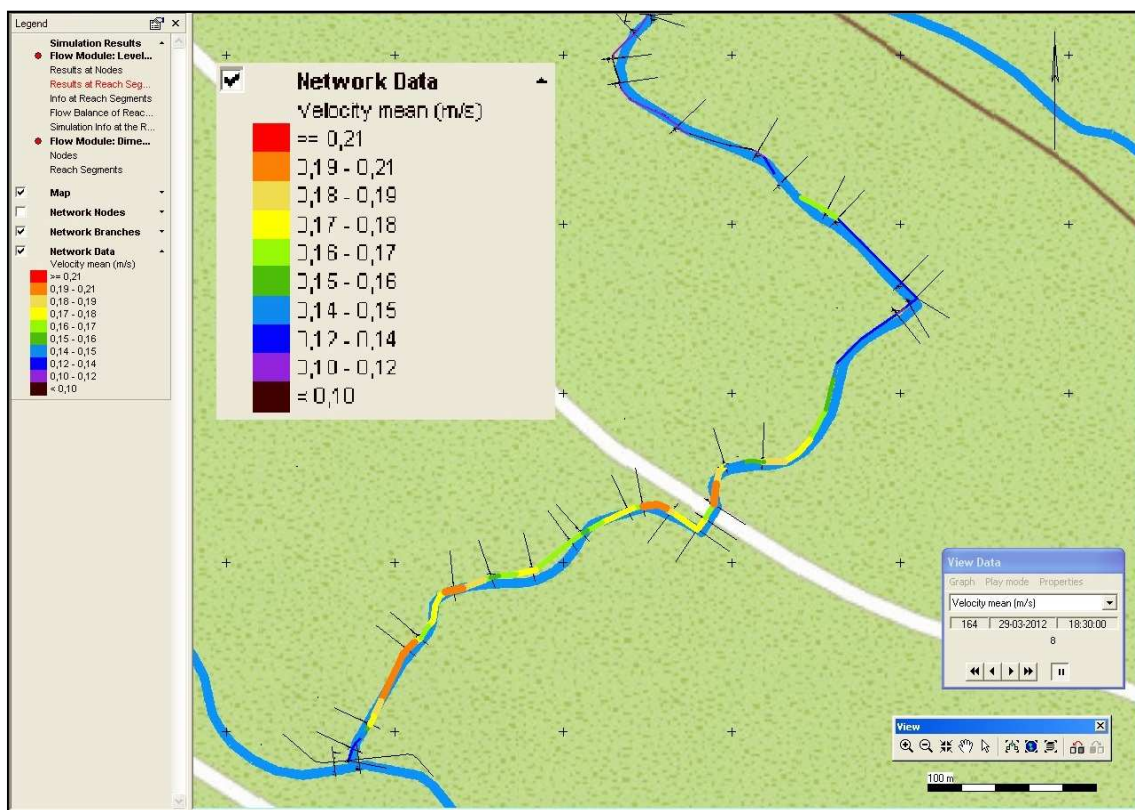


Abb. 27: Darstellung der mittleren Fließgeschwindigkeit einzelner Segmente

4.4 Implementierung Schütz

Um die erfolgten Feldversuche im Vorfeld zu Optimieren beziehungsweise die Versuche nachzubilden wurden in das Modell unterströmte Schütze integriert. In Abb. 28 ist der Einbau eines Schützes zwischen Profil 18 und Profil 19 dargestellt. Die Öffnungsweite von 18 cm wurde bei einer Eintauchtiefe von ca. 30 cm gewählt. Die Ermittlung der resultierenden Geschwindigkeit im Segment ergab eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 40 cm/s. Diese Geschwindigkeit sollte anhand der Kipprinnenversuche genügen um die Sohlauflage in Bewegung zu setzen.

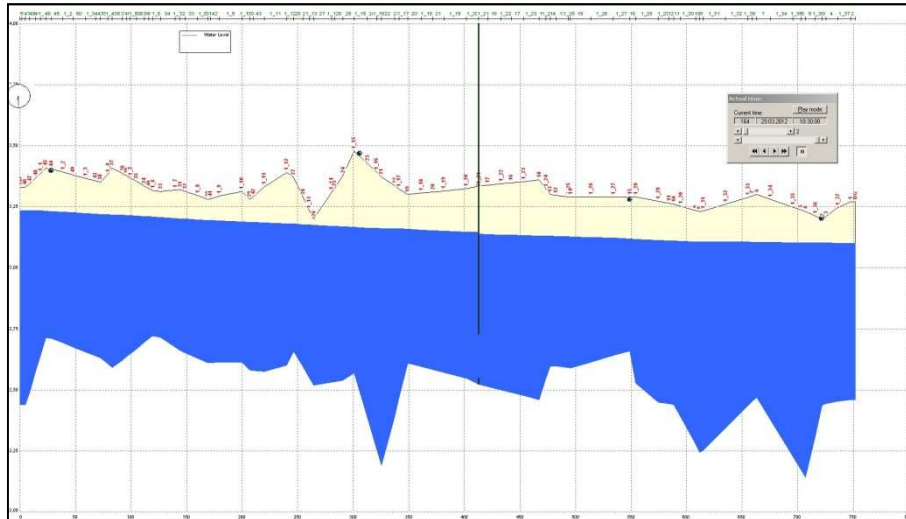


Abb. 28: Side-View Schütz

Die Ergebnisse der Modellierung hinsichtlich der Eintauchtiefe wurden auf die Feldversuche übertragen. Durch den Einbau des Schützes kam es zu einem leichten Rückstau (siehe Abb. 29). Dieser leichte Aufstau von ca. 1 cm konnte auch im Feld beobachtet werden.

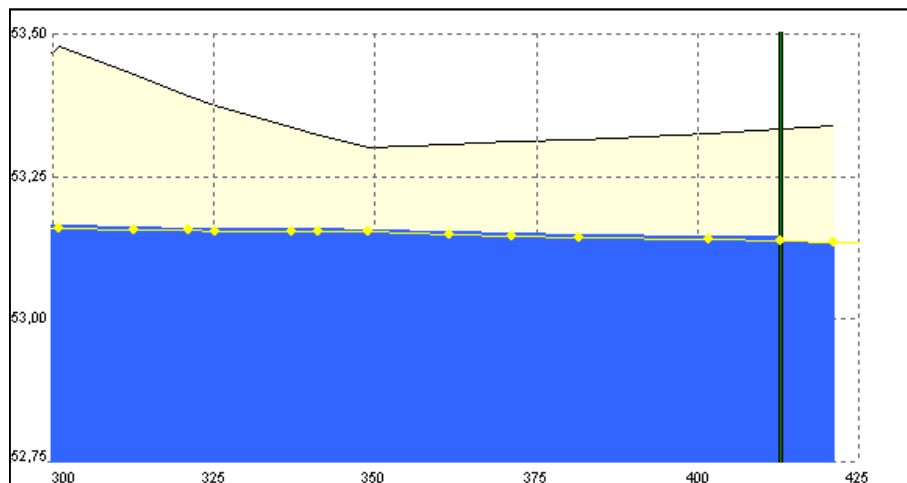


Abb. 29: Ausschnitt Side-View Schütz

Anhand des Modells war es somit möglich an jeder beliebigen Stelle ein Schütz zu implementieren und die Öffnungsweite individuell zu variieren.

4.5 Abbildung Transportkapazität Sediment

Anhand der Modellierung sollten auch Aussagen hinsichtlich des Sedimenttransportes möglich sein. Für die Transportberechnungen wurde dabei das Modell verwendet dessen Durchfluss dem höchsten gemessenen entspricht. Nach erfolgter Simulation und Auswertung musste allerdings festgestellt werden, dass die verwendete Software nicht geeignet ist um den Sedimenttransport und die daraus folgende Veränderung der Gewässermorphologie abzubilden. So ergaben die Simulationen stets das Ergebnis für Null Transport (vgl. Abb. 30).

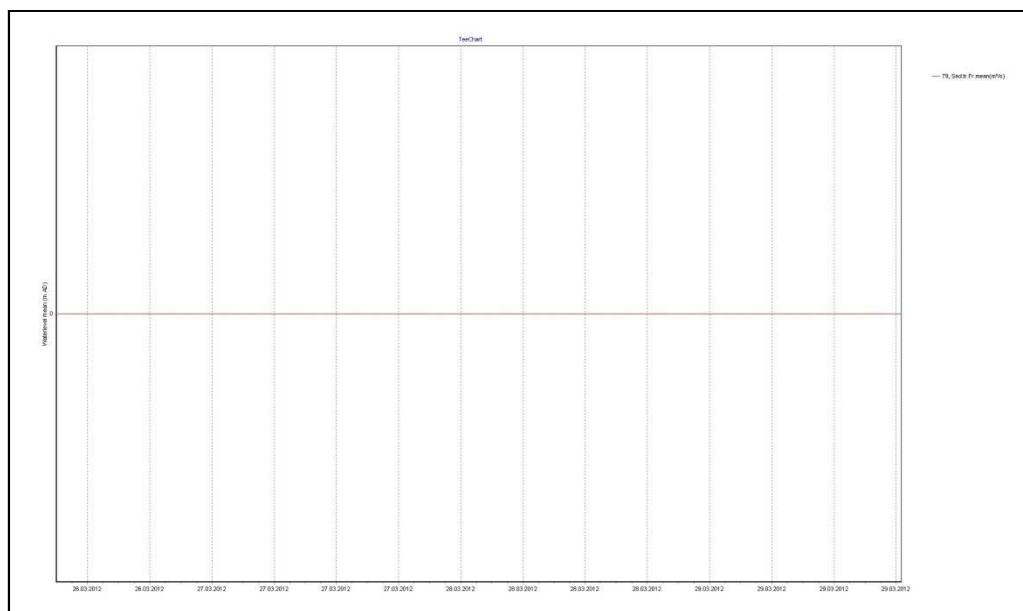


Abb. 30: Diagramm Sedimenttransport

Der Grund für dieses Ergebnis wurde der verwendeten Software zugrundegelegt, da keine Möglichkeit bestand die Dichte des eigentlichen Sohsubstrates in die Berechnungen der Software einzubeziehen. So war es nur möglich die tatsächlichen Korndurchmesser anzugeben.

4.6 Fazit Modellierung

Die Modellierungssoftware war geeignet um verschiedene Abflussereignisse und Wasserspiegeldifferenzen darzustellen bzw. nachzubilden. Das erstellte Modell konnte unterstützend zu den Feldversuchen hinsichtlich derer Vorbereitung und Durchführung eingesetzt werden.

Demgegenüber stand die Nicht-Anwendbarkeit des Sedimenttransporttools für die Spreewaldsedimente organischen Ursprungs. Somit war es nicht möglich den Sedimenttransport im Versuchsgewässer mittels numerischer Simulation nachzubilden.

5. Feststofftransport

Da die Modellierungssoftware SOBEK mit dem Modul River keine Ergebnisse hinsichtlich des Feststofftransportes erbrachte wurden hierfür bekannte Transportformeln gegenübergestellt.

5.1 Ausgewählte Transportformeln

Nachfolgend sind die betrachteten Transportformeln und deren Gültigkeitsbereich aufgelistet.

5.1.1 Transportformel nach C.T. Yang

Die Formel von Yang 1973 berechnet den Gesamtfeststofftrieb, also Schwebstofftrieb und Geschiebetrieb. Yang geht davon aus, dass die „unit-streampower“ maßgebend für den Sedimenttransport ist. Zunächst wurde die Formel für sandiges Sediment entwickelt, später auf Kies erweitert. Hier wird mit der Formel für Sand gerechnet [5][26][35].

$$m_F = C_F * 0,001 * h * v_m \quad (19)$$

$$\log C_F = 5,435 - 0,286 * \log \frac{v_s * d_{50}}{v_s} - 0,457 * \log \frac{v_0^*}{v_s} +$$

$$\left(1,799 - 0,409 * \log \frac{v_s * d_{50}}{v_s} - 0,314 * \log \frac{v_0^*}{v_s} \right) * \log \left(\frac{v_m * l}{v_s} - \frac{v_{mcr} * l}{v_s} \right) \quad (20)$$

$$1. \quad 0 < \frac{v_s * d_{50}}{v_s} < 70 \quad \frac{v_{mcr}}{v_s} = \frac{2,5}{\log \left(\frac{v_s * d_{50}}{v_s} \right) - 0,06} + 0,66 \quad (21)$$

$$2. \quad \frac{v_s * d_{50}}{v_s} \geq 70 \quad \frac{v_{mcr}}{v_s} = 2,05 \quad (22)$$

Gültigkeitsbereich:

$$0,137 \leq d_{50} \leq 1,71 \text{ mm}$$

$$0,134 \leq b \leq 532 \text{ m}$$

$$10 \leq C_F \leq 585000 \text{ mg/l}$$

$$0,01 \leq h \leq 15,2 \text{ m}$$

$$\rho_F = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$0,043 \leq l \leq 27,9 \text{ ‰}$$

keine Spülfracht

$$0,229 \leq v_m \leq 1,966 \text{ m/s}$$

$$0 \leq T \leq 34,3 \text{ °C}$$

5.1.2 Transportformel nach FAS Berlin

Die Formel der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (FAS) basiert auf die von SCHOKLITSCH entwickelte Formel. Grund der Anpassung war, dass die SCHOKLITSCH-Formel aus Versuchen mit grobem Geschiebe und großem Sohlgefälle aufgestellt wurde und das Arbeitsgebiet der damaligen FAS, heute Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Flüsse mit kleinem Gefälle und feinem Geschiebe darstellte. Gültigkeitsbereiche sind nicht beschrieben. Die Ergebnisse der Formel sind jedoch für Elbe, Oder u.a. Flachlandflüsse bestätigt worden [3][11][31].

$$q_G = 0,00417 * I^{0,5} * (q - q_0) \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}} \right] \quad (23)$$

$$q_0 = 0,26 * \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{\frac{5}{3}} * \frac{d^{\frac{3}{2}}}{I^{\frac{3}{16}}} \quad (24)$$

5.1.3 Transportformel nach Zanke

Die von Zanke 1982 aufgestellte Formel berechnet den Schwebstoff- und Geschiebetrieb auf Grundlage von Schubspannungen. Ein Spezialfall des Sedimenttransport liegt bei $v_{0l}^* < v_0^* < v_{ocr}^*$ vor. In diesem Fall ist ein Suspensionstransport möglich, aber die Partikel an der Sohle werden nicht aufgewirbelt. Somit ist der tatsächliche Suspensionstransport wesentlich geringer als der berechnete [5][35].

$$m_F = q_{FV} * \rho_F * p \quad (25)$$

$$m_s = q_{SV} * \rho_F * p \quad (26)$$

$$q_{GV} = \frac{1}{p} * 6,36 * 10^{-4} * \left(\frac{v_0^{*2} - v_{ocr}^{*2}}{v_s^2} \right) * D_*^4 * \vartheta \quad (27)$$

$$q_{SV} = \frac{1}{p} * 6,36 * 10^{-5} * \frac{h}{h_1} * \left(\frac{(v_0^{*2} - v_{ocr}^{*2}) * (v_0^{*2} - v_{0l}^{*2})}{v_s^4} \right) * D_*^4 * \vartheta * \left(\frac{-}{0-} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (28)$$

$$v_{0l}^* = 0,4 * v_s \quad (29)$$

$$v_{ocr}^* = v_{o1}^* + v_{o2}^* - (v_{o1}^* * v_{o2}^*)^{0.5} \quad (30)$$

$$v_{o1}^* = 0,27 * \left(\frac{\rho_F - \rho_W}{\rho_W} * g * d_{50} \right)^{0.5} \quad (31)$$

$$v_{o2}^* = 0,5 * \left(\frac{\rho_F - \rho_W}{\rho_W} * g * \vartheta \right)^{\frac{1}{3}} \quad (32)$$

$$v_0 = 1,78 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (33)$$

5.1.4 Transportformel nach Einstein-Brown

Diese Formel bezieht sich auf den Ansatz von H.A. Einstein. Einstein ging von wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen aus, welche den Sedimenttransport als Funktion der Größen Transportintensität Φ und Strömungsintensität Ψ beschreiben ($\Psi=f(\Phi)$) [3]. Nach dieser Vorstellung sind die turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen im Gewässer verantwortlich für die Sedimentbewegung. Der Vorstellung nach wird das Korn durch Sprünge transportiert [23][36].

$$q_B = \Phi_B * d_{50} * \sqrt{\left(\frac{\rho_F}{\rho_W} - 1 \right) * g * d_{50}} \quad (35)$$

$$\Phi_B = 40 * K * (\theta')^3 \quad (36)$$

$$K = \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{36 * \vartheta^2}{\left(\frac{\rho_F}{\rho_W} - 1 \right) * g * d_{50}^3}} - \sqrt{\frac{36 * \vartheta^2}{\left(\frac{\rho_F}{\rho_W} - 1 \right) * g * d_{50}^3}} \quad (37)$$

$$\theta' = \frac{\tau_b' / \rho_W}{\left(\frac{\rho_F}{\rho_W} - 1 \right) * g * d_{50}} \quad (38)$$

$$\tau_b' = \frac{1}{2} * \rho_W * \left(\frac{0,06}{\left(\log \left(\frac{12 * h}{2,5 * d_{50}} \right) \right)^2} \right) * v_m^2 \quad (39)$$

5.2 Ergebnisse Transportformeln

Die Berechnungen ergaben sich aus den Sedimentdaten und den Ergebnissen der Modellierung. Die Formeln wurden auf ein Profil von 3 m Breite und einer Geschwindigkeit von 0,2 m/s angewendet. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse für den Bereich maximaler Geschwindigkeiten sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Gegenüberstellung Ergebnisse Transportformeln

| | Yang | Zanke | | FAS | Einstein - Brown |
|-------------------|--------------------------|-----------|--------------|-----------------------|------------------------|
| Einheit | Geschiebe & Schwebstoffe | Geschiebe | Schwebstoffe | Geschiebe | Geschiebe |
| m ³ /s | 2,964*10 ⁻⁴ | 0,144 | 0,792 | 1,05*10 ⁻⁴ | 2,184*10 ⁻⁷ |
| m ³ /d | 25,608 | 12441,6 | 68558,4 | 0,907 | 0,019 |

Das Ergebnis der Formel nach Zanke fiel deutlich über den der anderen Formeln aus. Demzufolge wäre nach Zanke bereits nach einem Tag die komplette Sohlaufage abgetragen. Da ein solch enormer Abtrag in der Natur nicht beobachtet wurde, kann die Formel nach Zanke nicht auf die Spreewaldtypischen Sedimente angewandt werden.

Der Gültigkeitsbereich der Formel von Yang korreliert nicht komplett mit den natürlichen Bedingungen im Versuchsgewässer. Abweichungen vom Gültigkeitsbereich zeigt der d₅₀-Wert und mittlere Geschwindigkeit. Desweiteren wurde die Formel für rein mineralisches Sediment höherer Dichte entwickelt. Mit 25,6 m³/d ist der Transport vergleichend zu den Ergebnissen von FAS und Einstein-Brown relativ hoch. Allerdings ist bei Yang Geschiebetransport und Schwebstofftransport inbegriffen.

Das Ergebnis der Formel nach FAS ist kritisch zu betrachten, da weder Geschwindigkeit noch Schleppspannung darin einfließen.

Im Vergleich zu den anderen Formeln ergab sich nach Einstein –Brown die niedrigste Transportrate und bildete somit am ehesten den Sedimenttransport ab.

5.3 Fazit Feststofftransport

Der Sedimenttransport stellt komplexes Thema dar, dass noch zusätzlicher Forschung bedarf. Exakte Ergebnisse anhand der Transportformeln sind nicht zu erwarten, da die verwendeten Ansätze nicht alle physikalischen Prozesse umfassen und Vereinfachungen darstellen. Insbesondere bei der numerischen Simulation im Einklang mit physikalischen Modellversuchen besteht Handlungsbedarf.

Es müssen Formeln gefunden werden die auch den Transport der spreewaldtypischen organischen Sedimente beschreiben können. Für die Verhältnisse im Spreewald mit den geringen Fließgeschwindigkeiten und der organischen Auflage, die mit ihrer Dichte nur knapp über der von Wasser liegt, gibt es noch keine Transportformel.

6. Information der Öffentlichkeit

Im Zuge des Vorhabens erfolgte jeder Feldversuch in enger Absprache mit den Kooperationspartnern und eine Information für sämtliche Anwohner. Poster zur Information über das Projekt wurden an Ämter und Tourismusbüros ausgegeben. Ein Poster mit den Hauptergebnissen des Vorhabens wird auf demselben Weg der Öffentlichkeit zugänglich gemacht

Die erzielten Ergebnisse wurden dem ansässigen Wasser- und Bodenverband als Anwender und dem Kooperationspartner präsentiert. Weitere Präsentationen der Ergebnisse erfolgen auf öffentlichen Veranstaltungen von Gemeinden und des Kooperationspartners.

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften unter dem Verweis auf den Projektförderer sind geplant. Der Abschlussbericht wird auf der Homepage des Bewilligungsempfängers zum Download bereitgestellt.

7. Fazit Gesamtvorhaben

Die Verlagerung der organischen Sohlaufgabe durch die temporäre Erhöhung des Abflusses im Versuchsgewässer war nicht erfolgreich. So führte die Abflusserhöhung zu äußerst geringen bis keinen Veränderungen der Gewässermorphologie. Mit der abschließenden Nachvermessung des Versuchsgewässers konnte allerdings festgestellt werden, dass die temporäre Durchflusserhöhung ein weiteres anwachsen der organischen Sohlaufgabe verhindern konnte. So ließen sich nachwievor Schlammmächtigkeiten von bis zu 0,8 m nachweisen. Bei Betrachtung, dass ca. 20 Jahre keine Entschlammungsmaßnahmen im Versuchsgewässer durchgeführt wurden ergibt sich ein jährliches Wachstum von ca. 4 cm. Zur Vermeidung derartiger hoher Schlammauflagen erscheint eine Anpassung im Ufergehölzmanagement unausweichlich.

Durch Technikumsversuche an einer Kipprinne konnte die zum Bewegungsbeginn benötigte Geschwindigkeit bestimmt und Empfehlungen für weitere Feldversuche abgeleitet werden. Der daraus folgende Einsatz temporärer Schütze bewirkte nur Verlagerungen im unmittelbar nahen Bereich der Schütze. Demzufolge ist es keine Alternative zur Umsetzung in der angewandten Gewässerunterhaltung. Mit der Verwendung eines mobilen Schützes konnte eine erhebliche Verlagerung der organischen Sohlaufgabe erreicht werden. Der Einsatz eignet sich besonders zur Anwendung in kleine Fließgewässer. Dabei gilt noch zu prüfen inwiefern das Verfahren durch eine mögliche flexibel gestaltete Breite des Schützes zu verfeinern ist. Unter Nutzung der Strömung und den Verzicht auf jegliche Maschinentechologie stellt das Verfahren eine ressourcen- und umweltschonende Alternative in der Gewässerunterhaltung dar.

Über das numerische Modell konnten Abflussereignisse im Versuchsgewässer dargestellt und nachgebildet werden. Das erstellte Modell wurde genutzt um weitergehende Feldversuche vorzubereiten und die sich daraus ergebenden Fließgeschwindigkeiten und Wasserspiegellagen darzustellen. Dadurch, dass sich die Modellierungssoftware nicht zur Abbildung des Sedimenttransportes eignete konnten diesbezüglich keine Aussagen getroffen werden. Der Sedimenttransport ist als Thema sehr komplex und bedarf noch weiterer Forschungsarbeit. Besonders die Verknüpfung gewonnener Erkenntnisse aus physikalischen Modellgesetzen in der numerischen Simulation könnten für die Zukunft entscheidende Fortschritte bringen. Hierbei sollten Formeln empirisch ermittelt werden die auch den Transport der spreewaldtypischen organischen Sedimente beschreiben können. Für die spreewaldtypischen Verhältnisse geringer Fließgeschwindigkeiten und organischer Sohlaufgabe, existiert bisher keine Transportformel.

Literaturverzeichnis

| | |
|------|---|
| [1] | Amtsblatt für Brandenburg: <i>Brandenburgische Richtlinie Anforderungen an die Entsorgung von Baggergut (BB RL – EvB)</i> , 12. Jahrgang, Nr. 33, Potsdam, 2001 |
| [2] | Bollrich, G. et. al.: <i>Technische Hydromechanik Band 1, Grundlagen</i> . Verlag für Bauwesen GmbH, Berlin, 1992 |
| [3] | Bollrich, G. et. al.: <i>Technische Hydromechanik Band 2, Spezielle Probleme</i> . Verlag für Bauwesen, Berlin, 1989 |
| [4] | Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG): <i>Handlungsanweisung für den Umgang mit Baggergut im Binnenland (HABAB-WSV), 2. überarbeitete Fassung</i> , BfG-Bericht 1100, Koblenz, 2000 |
| [5] | Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft & Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV): <i>Fließgewässermodellierung - Arbeitsbeheft Feststofftransport und Gewässermorphologie</i> , Wien: AV + Astoria Druckzentrum, 2011 |
| [6] | DIN 38409-52: <i>Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H), Bestimmung der Sauerstoffzehrung in n Tagen</i> , Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1987 |
| [7] | DIN EN ISO 18753: <i>Hochleistungskeramik - Bestimmung der absoluten Dichte keramischer Pulver mit einem Pyknometer (ISO 18753:2004)</i> , Deutsche Fassung EN ISO 18753, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005 |
| [8] | DIN EN ISO 748: <i>Hydrometrie - Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern (ISO 748:2007)</i> , Deutsche Fassung EN ISO 748:2007, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008 |
| [9] | Donath, A., Mummert, S., Rothe, K., Bolte, M., Wach, A.: <i>Studienprojekt „Burger Gewässernetz“</i> , Abschlussbericht, unveröffentlicht, Lehrstuhl Ökosysteme und Umweltinformatik, BTU Cottbus, 2006 |
| [10] | DVWK: <i>Feststofftransport in Fließgewässern-Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis, H. 87, Parey; Hamburg, Berlin 1988</i> |
| [11] | Glazik, G.: <i>Ergebnisse neuerer modellmäßiger Untersuchungen über die Geschiebepbewegung in Flachlandflüssen</i> , In: <i>Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau</i> , (Hrsg.): <i>Schriftenreihe Wasser- und Grundbau</i> Heft 29. S. 189-222, Berlin 1971. |
| [12] | http://www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/98621 (Stand 09.07.09) |
| [13] | http://www.spreewaldkarte.de/ (Stand 08.08.09) |
| [14] | Köhler, F.: <i>Die Veränderung des hydrographischen Netzes im Spreewald im Wandel der Zeiten</i> , Dissertation, Sächsische Technische Hochschule zu Dresden, Tageblatt-Haus Coburg, 1934 |
| [15] | Köhler, J., Gelbrecht, J., Pusch, M.: <i>Die Spree, Zustand, Probleme, Entwicklungsmöglichkeiten</i> , <i>Limnologie aktuell</i> , Band 10, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2002 |
| [16] | Krausch, H.-D.: <i>Burger und Lübbenauer Spreewald</i> , Akademie Verlag, Berlin 1981 |
| [17] | Krausch, H.-D.: <i>Burger und Lübbenauer Spreewald, Werte der deutschen Heimat</i> , Verlag Hermann Böhlhaus Nachfolger Weimar, Leipzig 1994 |

| | |
|------|---|
| [18] | Krausch, H.-D.: <i>Die Pflanzenwelt des Spreewaldes</i> , A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 1960 |
| [19] | Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): <i>Anforderungen an die stoffliche Verwertung mineralischer Abfälle - Technische Regeln –, Teil 3, Probenahme und Analytik</i> , LAGA Mitteilung 20, 2003 |
| [20] | Landesumweltamt Brandenburg RS 6: <i>mündliche Mitteilungen, Besprechung möglicher Forschungsansätze</i> , Hr. Dr. Kuppetz, Herr Dipl.-Ing. R. Selka, 07.09.2009 |
| [21] | Landesumweltamt Brandenburg: <i>Pilotprojekt Borstenanlagen im Spreewald, Abschlussbericht</i> , Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes, Band 54, Potsdam 2007 |
| [22] | Landgraf, L., Rowinsky, V., Moritz, I., Koch-Lehker, A., Meisel, S., Hoth, D., Schönemann, C., Marschall, K. & Gottwald, P.: <i>Leitfaden zur Renaturierung von Feuchtgebieten in Brandenburg</i> . Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Band 50, 2004 |
| [23] | Malcharek, A.: <i>Sedimenttransport und Morphodynamik</i> . Universität der Bundeswehr München, München, 2009 |
| [24] | Meyer, A.: <i>Die Melioration des Spreewaldes</i> , Inaugural-Dissertation, Triltsch & Huther, Berlin, 1935 |
| [25] | Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MUNR): <i>Richtlinie für die naturnahe Unterhaltung und Entwicklung von Fließgewässern im Land Brandenburg</i> , Unze-Verlagsgesellschaft, Potsdam 1997 |
| [26] | Moser, K.: <i>Reference Manual Bed Load Analyzer</i> . Technische Universität Graz, Graz, 2011 |
| [27] | Müller, P.: <i>Transport und selektive Sedimentation von Schwebstoffen bei gestautem Abfluß</i> , Diss. Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart, 1985 |
| [28] | Quast, J., Dietrich, O.: <i>Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt von Feuchtgebieten - Modelluntersuchungen am Beispiel des Spreewaldes</i> . In: Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, 43, Heft 1, S.65-76, 2004 |
| [29] | Scharf, R., Braasch, D.: <i>Die sensiblen Fließgewässer des Landes Brandenburg 3. Beitrag zu ihrer Erfassung und Bewertung-Kreise Spree-Neiße und Oberspreewald-Lausitz, kreisfreie Stadt Cottbus</i> . In: Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, Heft 2, 1998, S.133-141 |
| [30] | Schemel, H. J., Ufer, C.: <i>Gesamtkonzept für das Biosphärenreservat Spreewald - ein Schutz-, Sanierungs- und Entwicklungskonzept mit besonderer Berücksichtigung von Landwirtschaft und Tourismus als Erwerbsquellen</i> . Auftraggeber: Umweltbundesamt, UBA-Texte 23/93, Berlin 1993 |
| [31] | Schoklitsch, A.: <i>Handbuch des Wasserbaus</i> , Band 1, 2. Auflage, Springer-Verlag, Wien 1950 |

| | |
|------|--|
| [32] | Siedlung und Landschaft-Luckau, IPP Hydro Consult GmbH Beeskow, GMBmbH Senftenberg: <i>Pflege- und Entwicklungsplan für das Gewässerrandstreifenprojekt Spreewald</i> , Entwurf, Stand Januar März 2004 |
| [33] | Statzner, B., Müller, R.: <i>Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in lotic Benthos</i> , In: research. - Freshwater Biology, Heft 21, S. 445-459, 1989 |
| [34] | Warnke, P.: <i>Zur natürlichen Verunreinigung kleiner stehender Gewässer durch Fal-laub</i> . In: Fortschritt der Wasserchemie und ihrer Grenzgebiete 8, S. 143-151, 1968 |
| [35] | Zanke, U.: <i>Grundlagen der Sedimentbewegung</i> , Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1982 |
| [36] | Zhou, L.: <i>SEDIMENT TRANSPORT</i> , Aalborg University, Aalborg 2001 |
| [37] | Zweckverband Gewässerrandstreifenprojekt Spreewald: <i>Pflege- und Entwicklungsplan für das Gewässerrandstreifenprojekt Spreewald</i> , Entwurf, Lübbenau 2004 |

Anhang

Anhang 1: Prüfbericht Bodenuntersuchungen nach LAGA

20. Juli 2012

171K



Lausitzer Analytik GmbH
Südstraße 7, 03130 Spremberg/OT Schwarze Pumpe

BTU Cottbus
LS Wassertechnik & Siedlungs.
Herrn Adrian Schulz
Siemens-Halske-Ring 8
03046 Cottbus

Lausitzer Analytik GmbH

Südstraße 7
03130 Spremberg/
OT Schwarze Pumpe

Prüfbericht

Projektbezeichnung: **Bodenuntersuchungen nach LAGA**

Auftrag-Nr.: **12/00540**
Prüfbericht-Nr.: **120718022**
Auftraggeber: **BTU Cottbus**
Ihre Auftrags-Nr.: **ohne**
Probenehmer: **Auftraggeber**
Probeneingang: **04.07.2012**
Prüfzeitraum: **04.07.2012 bis 18.07.2012**
Untersuchungsergebnisse: **Seite 2 bis 5**
Anlagen: **Chromatogramme**

Schwarze Pumpe, den 18.07.2012


Petra Harkányi
Geschäftsführerin


Michaela Kerger
Laborleiterin

DATUM

TELEFON
03564-69-2662

TELEFAX
03564-69-6603

E-MAIL
info@lausitzer-analytik.de
www.lausitzer-analytik.de

GESCHÄFTSFÜHRERIN
Dipl.-Chemikerin Petra Harkányi

SITZ DER GESELLSCHAFT
Spremberg

HANDELSREGISTER
Amtsgericht Cottbus
HRB 3129

BANKVERBINDUNG
Landesbank
Baden-Württemberg
BLZ 60050101
Konto-Nr. 2478018



LAG - A Vattenfall company





Auftrag-Nr.: 12/00540
Prüfbericht-Nr. 120718022

Lausitzer Analytik GmbH, Schwarze Pumpe, Südstraße 7, 03130 Spremberg

Prüfergebnis:

Probenbezeichnung: P4 0 + 025,595

Probenahme am: 04.07.2012

Probe-Nr.: 201210233

Freigabe: MKE

| Untersuchungsparameter | Analysenwert | Dimension | Prüfmethode |
|--------------------------------|--------------|-----------|--------------------|
| Trockenrückstand (TR) | 28,1 | Ma.-% | DIN ISO 11465 |
| Königswasseraufschluss | | | DIN EN 13346 |
| Arsen | 10,5 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Blei | 32,9 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Cadmium | 0,46 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Chrom, gesamt | 33,6 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Kupfer | 73,4 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Nickel | 25,6 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Thallium | <0,4 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Quecksilber | 0,18 | mg/kg TR | DIN EN 1483 |
| Zink | 159 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| TOC | 5,1 | Ma.-% TR | DIN ISO 10694 |
| EOX | <1 | mg/kg TR | DIN 38414-S17 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C40 | 150 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C22 | <100 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Summe BTX | <0,3 | mg/kg TR | DIN 38407 F9 |
| Summe LHKW | <0,19 | mg/kg TR | DIN EN ISO 10301 |
| Summe PCB (6) | <0,02 | mg/kg TR | DIN 38414-20 |
| Summe PAK (EPA) | 0,81 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| dav. Benzo(a)pyren | 0,052 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| Eluatkriterien | | | DIN 38414-S4 |
| pH-Wert | 6,99 | | DIN 38404-C5 |
| Temperatur (pH-Mess.) | 24,5 | °C | DIN 38404-C5 |
| elektr. Leitfähigkeit bei 25°C | 458 | µS/cm | DIN EN 27888 |
| Chlorid | 11,1 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Sulfat | 132 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Cyanide, gesamt | <5 | µg/l | DIN 38405-D13 |
| Arsen | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Blei | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Cadmium | <1 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Chrom, gesamt | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Kupfer | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Nickel | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Quecksilber | <0,2 | µg/l | DIN EN 1483 |
| Zink | 13,9 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Phenolindex | <10 | µg/l | DIN EN ISO 14402 |



Auftrag-Nr.: 12/00540
Prüfbericht-Nr.: 120718022

Lausitzer Analytik GmbH, Schwarze Pumpe, Südstraße 7, 03130 Spremberg

Prüfergebnis:

Probenbezeichnung: P15 0 + 293,020

Probenahme am: 04.07.2012

Probe-Nr.: 201210234

Freigabe: MKE

| Untersuchungsparameter | Analysenwert | Dimension | Prüfmethode |
|--------------------------------|--------------|-----------|--------------------|
| Trockenrückstand (TR) | 15,9 | Ma.-% | DIN ISO 11465 |
| Königswasseraufschluss | | | DIN EN 13346 |
| Arsen | 15,1 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Blei | 54,4 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Cadmium | 0,98 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Chrom, gesamt | 59,0 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Kupfer | 179 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Nickel | 44,8 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Thallium | <0,4 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Quecksilber | 0,33 | mg/kg TR | DIN EN 1483 |
| Zink | 273 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| TOC | 10,0 | Ma.-% TR | DIN ISO 10694 |
| EOX | <1 | mg/kg TR | DIN 38414-S17 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C40 | 400 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C22 | <100 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Summe BTX | <0,3 | mg/kg TR | DIN 38407 F9 |
| Summe LHKW | <0,19 | mg/kg TR | DIN EN ISO 10301 |
| Summe PCB (6) | <0,02 | mg/kg TR | DIN 38414-20 |
| Summe PAK (EPA) | 5,5 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| dav. Benzo(a)pyren | 0,29 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| Eluatkriterien | | | DIN 38414-S4 |
| pH-Wert | 7,30 | | DIN 38404-C5 |
| Temperatur (pH-Mess.) | 24,3 | °C | DIN 38404-C5 |
| elektr. Leitfähigkeit bei 25°C | 534 | µS/cm | DIN EN 27888 |
| Chlorid | 21,4 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Sulfat | 134 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Cyanide, gesamt | <5 | µg/l | DIN 38405-D13 |
| Arsen | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Blei | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Cadmium | <1 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Chrom, gesamt | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Kupfer | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Nickel | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Quecksilber | <0,2 | µg/l | DIN EN 1483 |
| Zink | 3,8 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Phenolindex | <10 | µg/l | DIN EN ISO 14402 |



Lausitzer Analytik GmbH, Schwarze Pumpe, Südstraße 7, 03130 Spremberg

Auftrag-Nr.: 12/00540
Prüfbericht-Nr. 120718022

Prüfergebnis:

Probenbezeichnung: P22 0 + 559,836

Probenahme am: 04.07.2012

Probe-Nr.: 201210235

Freigabe: MKE

| Untersuchungsparameter | Analysenwert | Dimension | Prüfmethode |
|--------------------------------|--------------|-----------|--------------------|
| Trockenrückstand (TR) | 49,8 | Ma.-% | DIN ISO 11465 |
| Königswasseraufschluss | | | DIN EN 13346 |
| Arsen | 4,04 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Blei | 15,1 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Cadmium | 0,19 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Chrom, gesamt | 11,7 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Kupfer | 26,6 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Nickel | 10,8 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Thallium | <0,4 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Quecksilber | <0,1 | mg/kg TR | DIN EN 1483 |
| Zink | 56,2 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| TOC | 1,9 | Ma.-% TR | DIN ISO 10694 |
| EOX | <1 | mg/kg TR | DIN 38414-S17 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C40 | 170 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C22 | <100 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Summe BTX | <0,3 | mg/kg TR | DIN 38407 F9 |
| Summe LHKW | <0,19 | mg/kg TR | DIN EN ISO 10301 |
| Summe PCB (6) | <0,02 | mg/kg TR | DIN 38414-20 |
| Summe PAK (EPA) | <0,65 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| dav. Benzo(a)pyren | 0,030 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| Eluatkriterien | | | DIN 38414-S4 |
| pH-Wert | 6,79 | | DIN 38404-C5 |
| Temperatur (pH-Mess.) | 24,4 | °C | DIN 38404-C5 |
| elektr. Leitfähigkeit bei 25°C | 361 | µS/cm | DIN EN 27888 |
| Chlorid | 6,0 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Sulfat | 130 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Cyanide, gesamt | <5 | µg/l | DIN 38405-D13 |
| Arsen | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Blei | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Cadmium | <1 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Chrom, gesamt | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Kupfer | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Nickel | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Quecksilber | <0,2 | µg/l | DIN EN 1483 |
| Zink | 13,9 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Phenolindex | <10 | µg/l | DIN EN ISO 14402 |



Auftrag-Nr.: 12/00540
Prüfbericht-Nr. 120718022

Lausitzer Analytik GmbH, Schwarze Pumpe, Südstraße 7, 03130 Spremberg

Prüfergebnis:

Probenbezeichnung: P28 0 + 733,605

Probenahme am: 04.07.2012

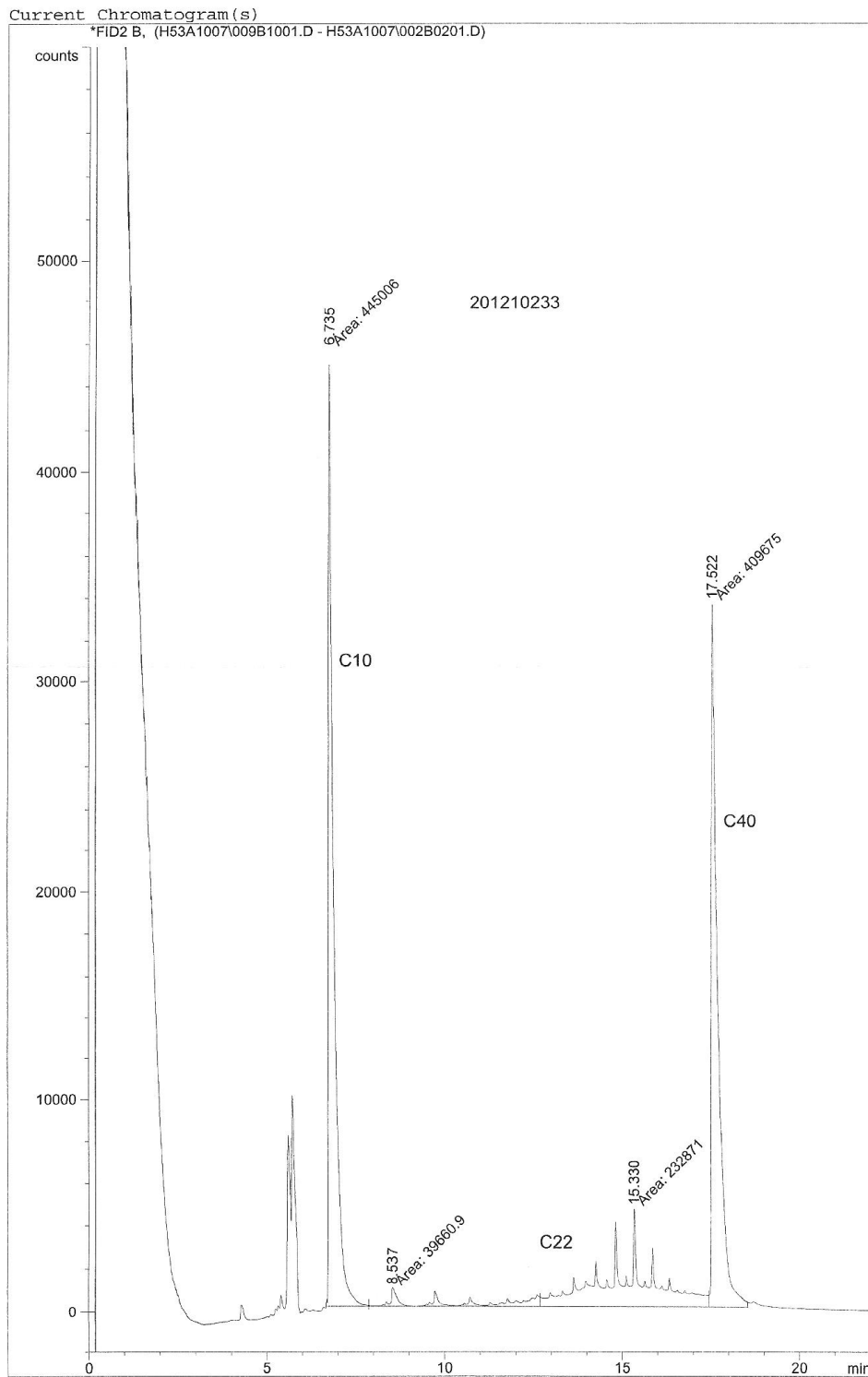
Probe-Nr.: 201210236

Freigabe: MKE

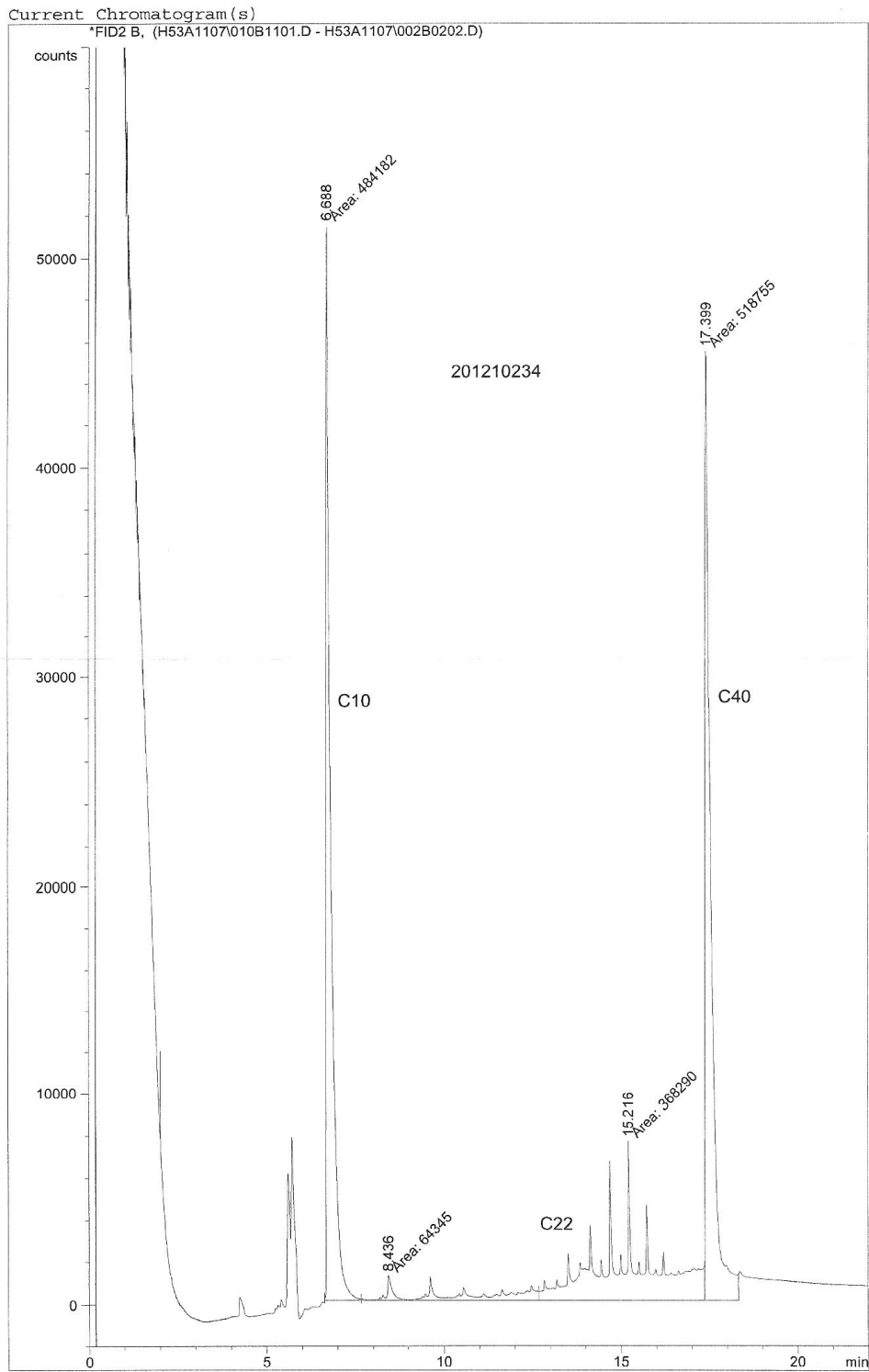
| Untersuchungsparameter | Analysenwert | Dimension | Prüfmethode |
|--------------------------------|--------------|-----------|--------------------|
| Trockenrückstand (TR) | 49,5 | Ma.-% | DIN ISO 11465 |
| Königswasseraufschluss | | | DIN EN 13346 |
| Arsen | 3,49 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Blei | 12,3 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Cadmium | 0,22 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Chrom, gesamt | 9,74 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Kupfer | 26,5 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Nickel | 11,7 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Thallium | <0,4 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| Quecksilber | <0,1 | mg/kg TR | DIN EN 1483 |
| Zink | 58,7 | mg/kg TR | DIN EN ISO 11885 |
| TOC | 1,7 | Ma.-% TR | DIN ISO 10694 |
| EOX | <1 | mg/kg TR | DIN 38414-S17 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C40 | 250 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Kohlenwasserstoffe C10- C22 | <100 | mg/kg TR | DIN ISO 16703 |
| Summe BTX | <0,3 | mg/kg TR | DIN 38407 F9 |
| Summe LHKW | <0,19 | mg/kg TR | DIN EN ISO 10301 |
| Summe PCB (6) | <0,02 | mg/kg TR | DIN 38414-20 |
| Summe PAK (EPA) | <0,65 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| dav. Benzo(a)pyren | <0,030 | mg/kg TR | DIN ISO 13877 |
| Eluatkriterien | | | DIN 38414-S4 |
| pH-Wert | 6,65 | | DIN 38404-C5 |
| Temperatur (pH-Mess.) | 24,4 | °C | DIN 38404-C5 |
| elektr. Leitfähigkeit bei 25°C | 407 | µS/cm | DIN EN 27888 |
| Chlorid | 6,0 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Sulfat | 158 | mg/l | DIN EN ISO 10304-2 |
| Cyanide, gesamt | <5 | µg/l | DIN 38405-D13 |
| Arsen | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Blei | <10 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Cadmium | <1 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Chrom, gesamt | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Kupfer | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Nickel | <5 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Quecksilber | <0,2 | µg/l | DIN EN 1483 |
| Zink | 10,3 | µg/l | DIN EN ISO 17294-2 |
| Phenolindex | <10 | µg/l | DIN EN ISO 14402 |

Die Prüfergebnisse beziehen sich nur auf die Prüfgegenstände.
Der Bericht darf ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums auszugsweise nicht vervielfältigt werden.
Die Akkreditierung gilt für alle in der Urkunde aufgeführten Parameter.

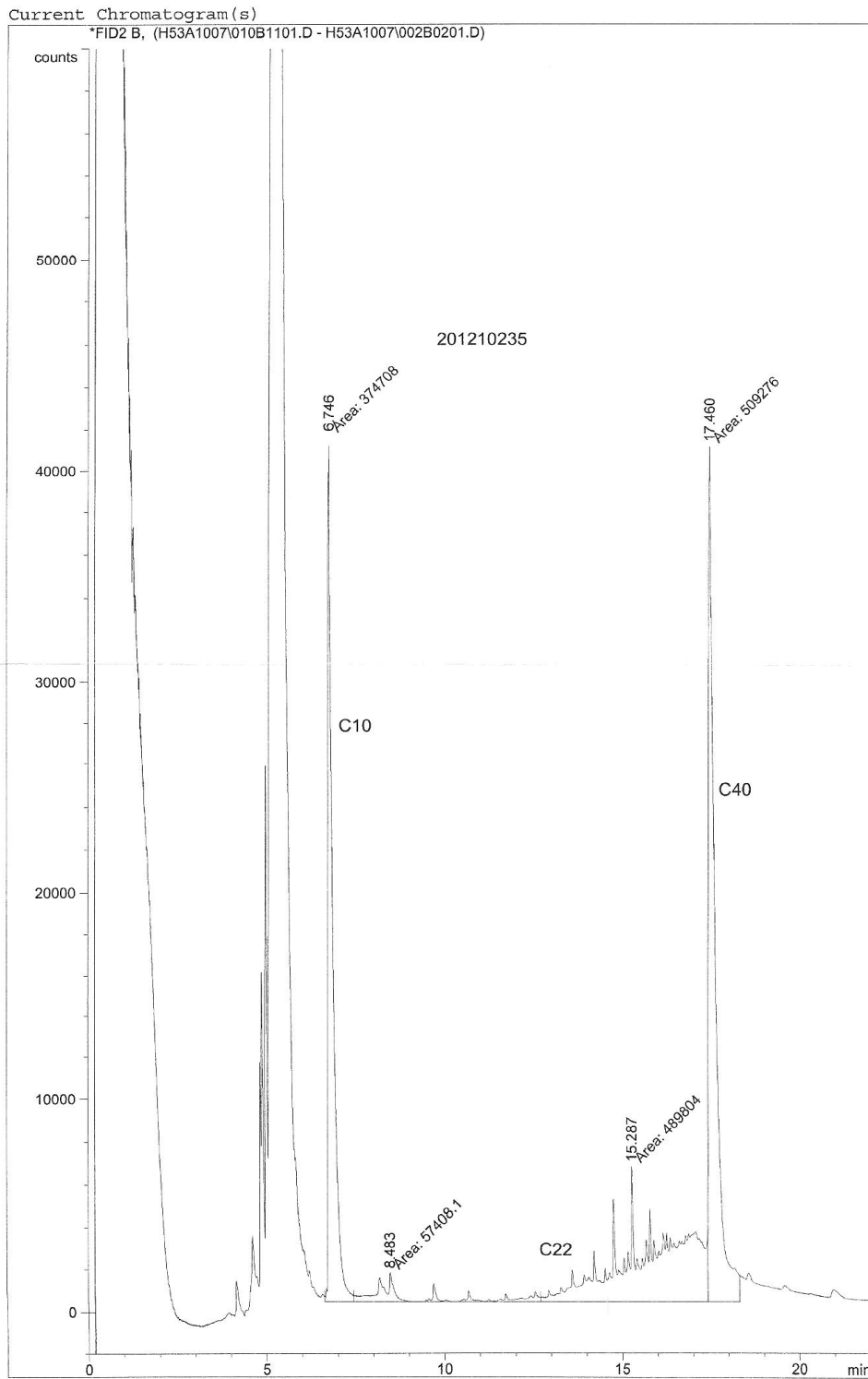
Print of window 38: Current Chromatogram(s)



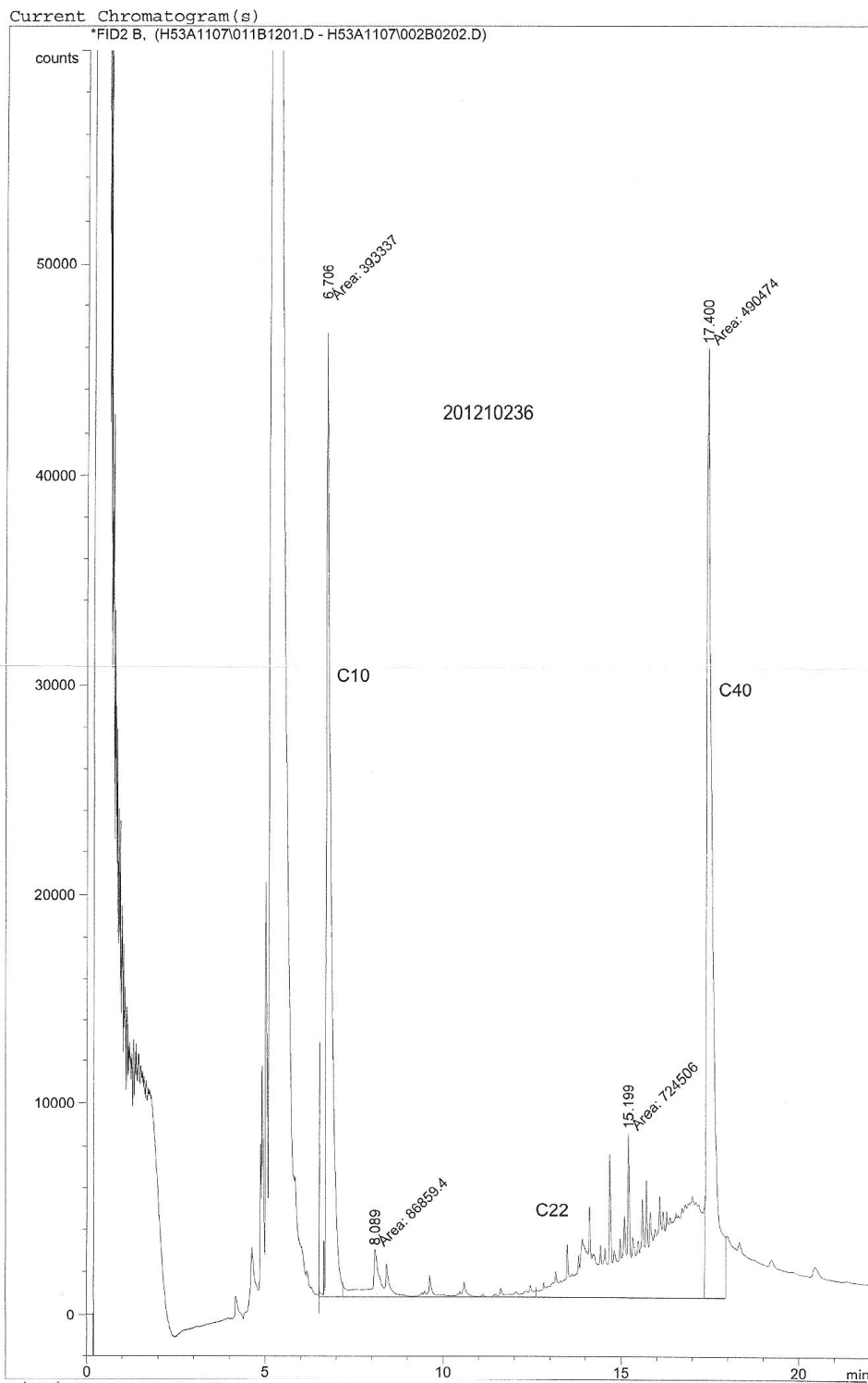
Print of window 38: Current Chromatogram(s)



Print of window 38: Current Chromatogram(s)



Print of window 38: Current Chromatogram(s)



Anhang 2: Anschreiben Bewohner

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus

BTU Cottbus - Postfach 10 13 44 - 03013 Cottbus

Anwohnerinformation

Fakultät 4
Lehrstuhl Wassertechnik und
Siedungswasserbau

Siemens-Halske-Ring 8
03046 Cottbus
Deutschland

Dr.-Ing. K. Thürmer
Vertretungsprofessor
T +49 (0)355 69 43 03
F +49 (0)355 69 30 25
E wassertechnik@tu-cottbus.de
www.tu-cottbus.de

Cottbus, 6. Oktober 2011

Sehr geehrte Damen und Herren,

in Absprache mit dem Wasser- und Bodenverband und dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz führt die BTU Cottbus im Zeitraum vom 17.10.11 – 24.10.11 einen Feldversuch durch.

Dieser Feldversuch läuft im Rahmen des Deutsche Bundesstiftung Umwelt Forschungsprojektes: „Untersuchung von Auswirkungen temporär erhöhter Abflussmengen auf die Sohlverschlämzung von Stauhaltungen im Oberspreewald“.

Dazu wird oberhalb des Wehres Wotta (Konsumschleuse) Wasser angestaut, wodurch bis hin zum Düker mit erhöhten Wasserständen zu rechnen ist. Im Zuge des Feldversuches werden dadurch erhöhte Durchflüsse im Kleinen Fließ und im Jeschuko-Fließ erzeugt.

Nach Beendigung des Feldversuches werden die Wasserstände wieder zurückgeregelt.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an unseren Mitarbeiter.

Es grüßt Sie freundlich,

Dr.-Ing. Konrad Thürmer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Adnan Schütz
T +49 (0)355 69 43 15
E adnan.schuetz@tu-cottbus.de