

Anlage 6 – Berechnung von Schwebstofffrachten auf Grundlage von quasi-online Trübungsdaten zur Validierung der qualifizierten Frachtschätzung der ARGE-Elbe und zum Vergleich mit den Befunden der BfG.

Um eventuell auftretende Messungenauigkeiten bzw. Unschärfen, die durch Berechnungsverfahren oder ungünstig gelegene Probenahmestellen hervorgerufen werden, besser einzuschätzen, werden die vorhandenen Frachtabeschätzungen der BfG und ARGE-Elbe mittels online erfasster Trübungsdaten validiert.

Die qualifizierte Schätzung der Schwebstofffrachten der ARGE-Elbe und auch die Frachtberechnungen in Naumann et al. 2003 beruhen in der Regel auf der 14täglichen Messung von Schwebstoffkonzentrationen. Die Zwischenräume wurden im Falle der ARGE-Elbe-Daten linear interpoliert und die errechneten Schwebstoffkonzentrationen mit dem Abfluss verrechnet. Damit ist es höchst unwahrscheinlich, dass Mobilisierungsspeaks der Schwebstoffkonzentration, wie sie im Falle von Hochwässern auch sehr kurzzeitig auftreten können, erfasst werden. Und auch typische Hystereseeffekte bleiben unberücksichtigt. Anders stellt sich die Situation mit Trübungsdaten dar, die an Messstellen der ARGE-Elbe/IKSE online ermittelt werden, aber nur an einzelnen Standorten und Zeitabschnitten zur Verfügung standen. Auch Schmidt (2001, in BfG 2003) stellt den Nutzen quasi-kontinuierlicher Trübungsdaten für die Frachtabeschätzung hervor.

Es wurde versucht, auf der Grundlage linearer Regressionen zwischen ermittelten Schwebstoffkonzentrationen und der gemessenen Trübung, den Verlauf der Schwebstoffkonzentrationen während einzelner Ereignisse/Abflusssituationen besser nachzuvollziehen. Dabei zeigte sich, dass dies nicht uneingeschränkt möglich ist, denn jahreszeitliche Schwankungen in der Zusammensetzung der Schwebstoffe können deutlichen Einfluss auf das Trübungs-Messsignal haben. Beispielhaft zeigt Abb. 1 die lineare Regression zwischen Schwebstoffgehalten und Trübungsdaten an der Saale.

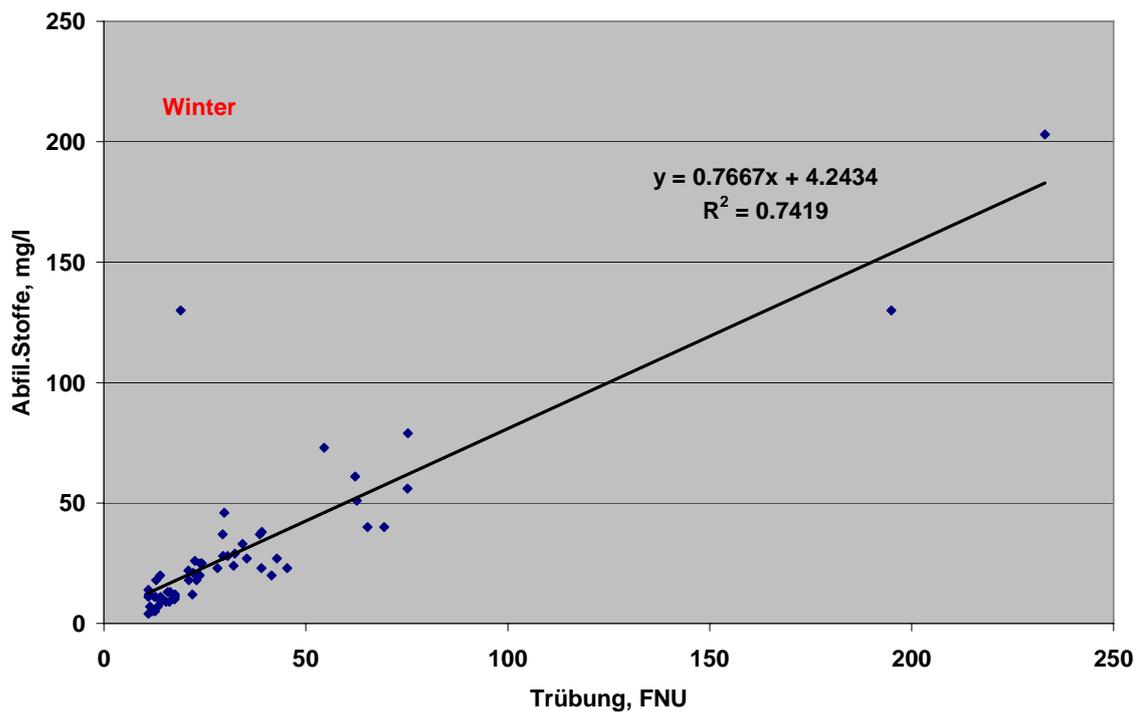
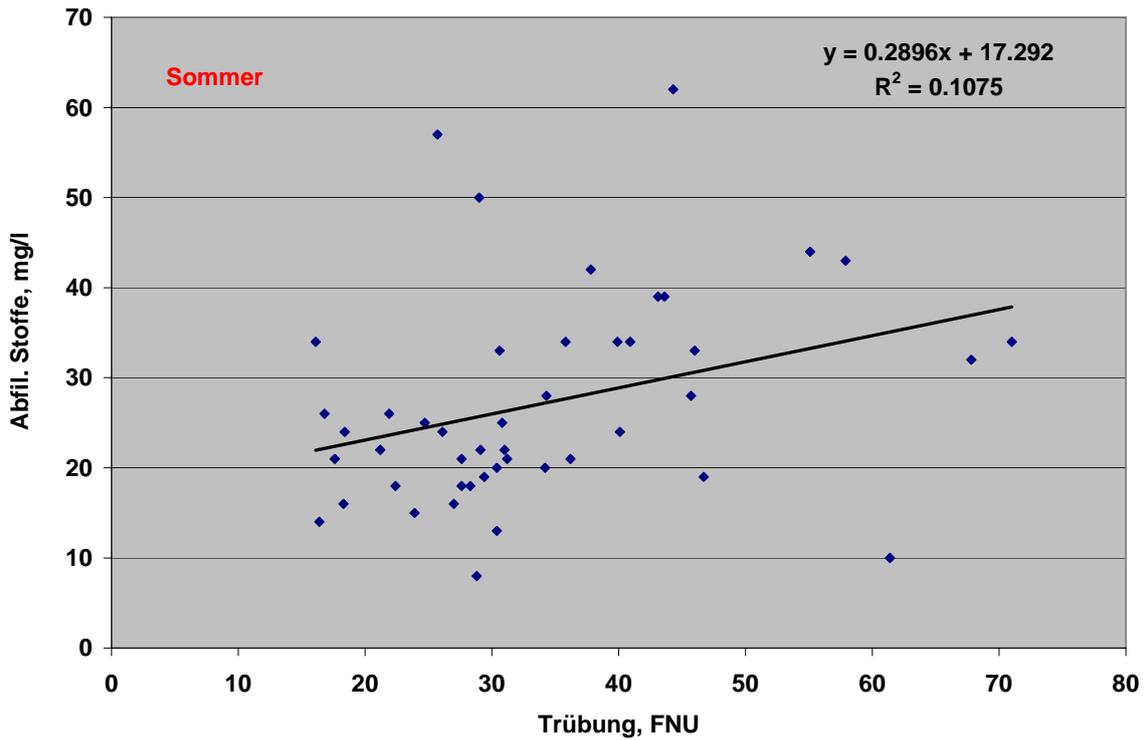


Abb. 1: Lineare Korrelation zwischen Schwebstoffkonzentrationen und Trübung im Sommer- und Winterhalbjahr.

Erkennbar ist, dass es für das Sommerhalbjahr keine Regression gibt, die eine lückenlosere Berechnung von Zeitreihen der Schwebstoffkonzentration zulässt. Andererseits ist im Winterhalbjahr die Anzahl der Trübungsmessungen, die während Hochwasserzeiten durchgeführt wurden und tatsächlich hohe Schwebstoffkonzentrationen aufweisen, sehr gering.

Die auf Grundlage der in Abb. 1 berechneten Beziehung zwischen Trübung und Schwebstoffkonzentrationen im Winter neu berechneten Frachten für die Hochwässer, für die online-Trübungsdaten an der Saale vorlagen (Frühjahrshochwasser 1997, Mittelwasser 1997/1998, Winterhochwasser 1998, Frühjahrshochwasser 1999, Frühjahrshochwasser 2000 und 2001) lassen erkennen, dass auf Grundlage der Trübungsdaten an der Saale noch höhere Frachten geschätzt werden, als es die ARGE-Elbe mittels qualifizierter Schätzung liefert (Abb. 2).

Die Frachten aus der Saale seitens der BfG werden im Hochwasserfall tendenziell um die Hälfte gegenüber der Berechnung aus den Trübungsdaten unterschätzt. Während der Mittelwassersituation 1997/1998 dagegen scheinen sich Lage- und methodische Unterschiede weniger auszuwirken.

Auch die vergleichende Betrachtung des Verlaufs der Schwebstofffrachten (Abb. 3) lässt den Vorteil von online-Messungen (Aufzeichnung des dynamischen Verlaufes) einerseits und evtl. auch den Lageunterschied Rosenberg/Calbe deutlich werden, wobei hier nicht abschließend bewertet werden kann, ob sich zwischen Rosenberg (Messstelle der ARGE) und Calbe (Messstelle der BfG) weitere Sedimentdepots befinden oder ob es sich um Differenzen, begründet durch das komplizierte Abflussregime in Calbe handelt.

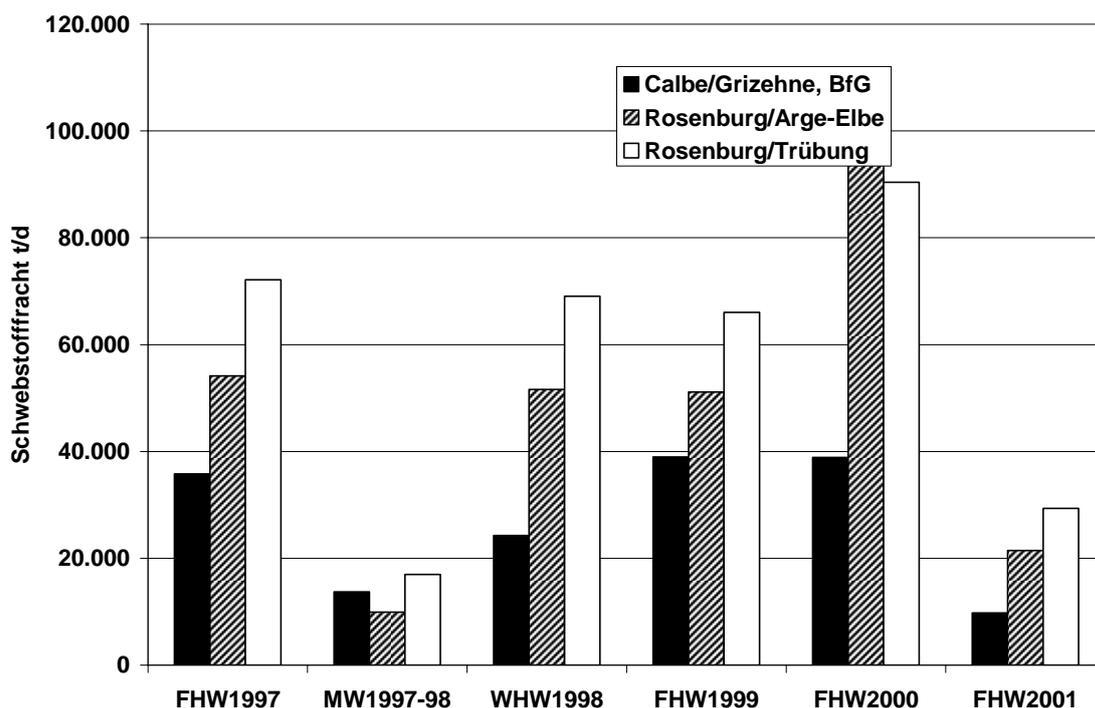


Abb. 2: Differenzen in der Frachtberechnung an der Saale für ausgewählte Abflusssituationen.

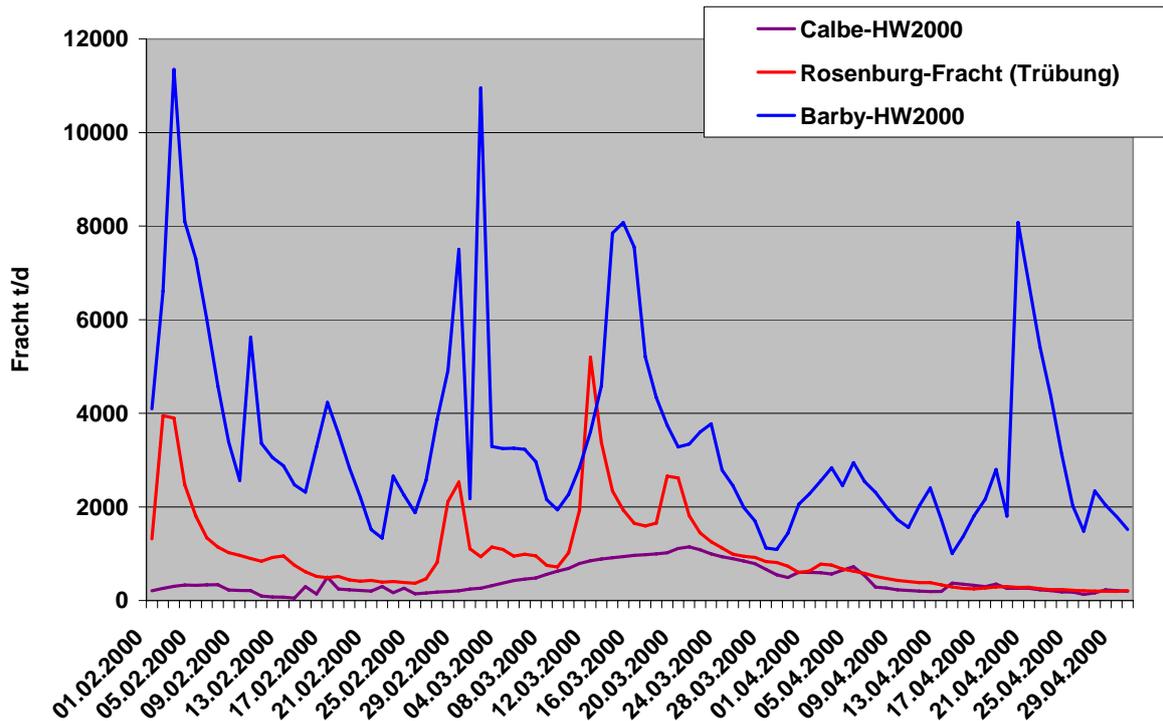


Abb. 3: Die Schwebstofffrachten in Barby und an der Saale auf Grundlage der BfG-Befunde und der online-Trübungsdaten der ARGE-Elbe.

Aber auch durch die Verwendung der Trübungsdaten kann das Problem der Bilanzierung zwischen Aken und Barby nicht endgültig gelöst werden. Abb. 4 zeigt die Frachtdifferenzen zwischen den Standorten Barby und Aken unter der Berücksichtigung verschiedener Frachtberechnungen für die Saale. Dabei ist schon auf die Optimierung der Probenahme an der Messstelle Aken eingegangen worden, so dass es auch nicht erstaunlich ist, dass die größte Minderung der Differenzen im Jahr 2000 zu verzeichnen ist. Festzuhalten bleibt, dass mittels Trübungsdaten an der Saale in jedem Fall eine erkennbare Reduktion der Bilanzdifferenzen erreicht wird. Leider sind die komplett über den Beobachtungszeitraum vorliegenden Trübungsdaten auf die hier gezeigten Zeiträume beschränkt. Mit Bezug auf die Mittelwassersituation (MW1997-98) bleibt festzuhalten, dass auch unter gleichförmigen, wenig dynamischen Wasserstandsschwankungen die Verwendung der lückenlosen Trübungsdaten wenig Vorteile gegenüber anderen Methoden verschafft.

Frachtdifferenzen Barby-Aken/Saalefrachten

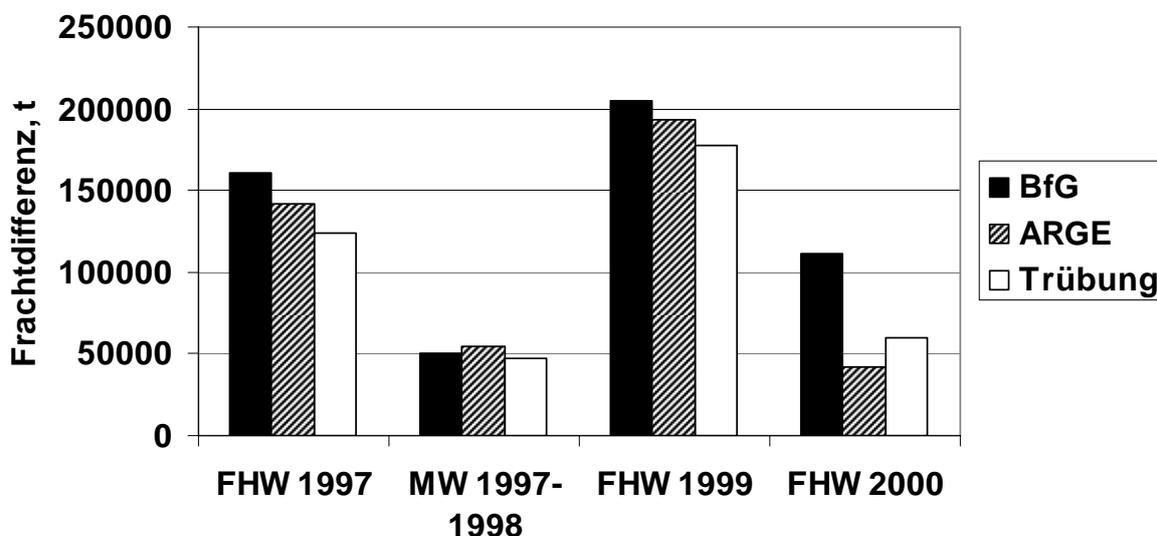


Abb. 4: Frachtdifferenzen zwischen den Standorten Barby und Aken unter Berücksichtigung verschiedener Frachtberechnungen für die Saale.

Die weitere Validierung von Frachtdaten erfolgt ebenfalls auf der Basis von Trübungsdaten, die an den Messstellen der ARGE-Elbe ermittelt wurden. Es werden die Standorte Schmilka, Dessau/Mulde, Magdeburg und Schnackenburg interpretiert. Folgende Regressionsgleichungen wurden zur Berechnung Schwebstoffkonzentrationen als Basis neuer Frachtbetrachtungen an den einzelnen Standorten angewandt (grafische Darstellung im Anhang):

Schmilka: y (Schwebkonzentration) = Trübung * 0.8626 - 1.105; $R^2 = 0,90$

Mulde: y (Schwebkonzentration) = Trübung * 1.3888 - 0.2312; $R^2 = 0,63$

Saale: y (Schwebkonzentration) = Trübung * 0.7667 + 4.2434; $R^2 = 0,74$

Magdeburg: y (Schwebkonzentration) = Trübung * 0.6013 + 2.7152; $R^2 = 0,63$

Schnackenburg.-2000:

y (Schwebkonzentration) = Trübung * 1.7599 - 4.2747; $R^2 = 0,68$

Schnackenburg. ab 00:

y (Schwebkonzentration) = Trübung * 1.2143 - 4.3785; $R^2 = 0,72$

Die Frachtunterschiede auf Grundlage verschiedener Berechnungsverfahren an den Standorten Schmilka, Dessau/Mulde, Magdeburg und Schnackenburg für ausgewählte Zeiträume (Tab. 1) sind in den Abbildungen 5 bis 8 dargestellt.

Dabei fällt auf, dass die Frachten, berechnet auf Grundlage der Trübungsdaten häufig diejenigen der qualifizierten Schätzung der ARGE-Elbe übersteigen, wobei in vielen Fällen eine Annäherung an die Ergebnisse der Frachtberechnung der BfG zu beobachten ist.

Dabei sind die in absoluten Zahlen stärksten Abweichungen in Schmilka beim Frühjahrshochwasser 2000 mit ca. 78000 t, an der Mulde beim Frühjahrshochwasser 2000 mit ca. 46000 t, in der Saale beim Frühjahrshochwasser 1997 mit ca. 18000 t, in Magdeburg beim Frühjahrshochwasser 1999 mit 94000 t und in Schnackenburg beim Winterhochwasser 1998 mit ca. 50000 t aufgetreten. Die geringsten

Unterschiede lassen sich an allen Standorten für die Mittelwassersituation 1997/1998 sowie an der Messstelle Magdeburg während des Winterniedrigwassers 1999 erkennen, was den Vorteil der hochaufgelösten Messungen bzw. der online-Messungen bei variablen Schwebstofffrachten zu Hochwasserzeiten unterstreicht.

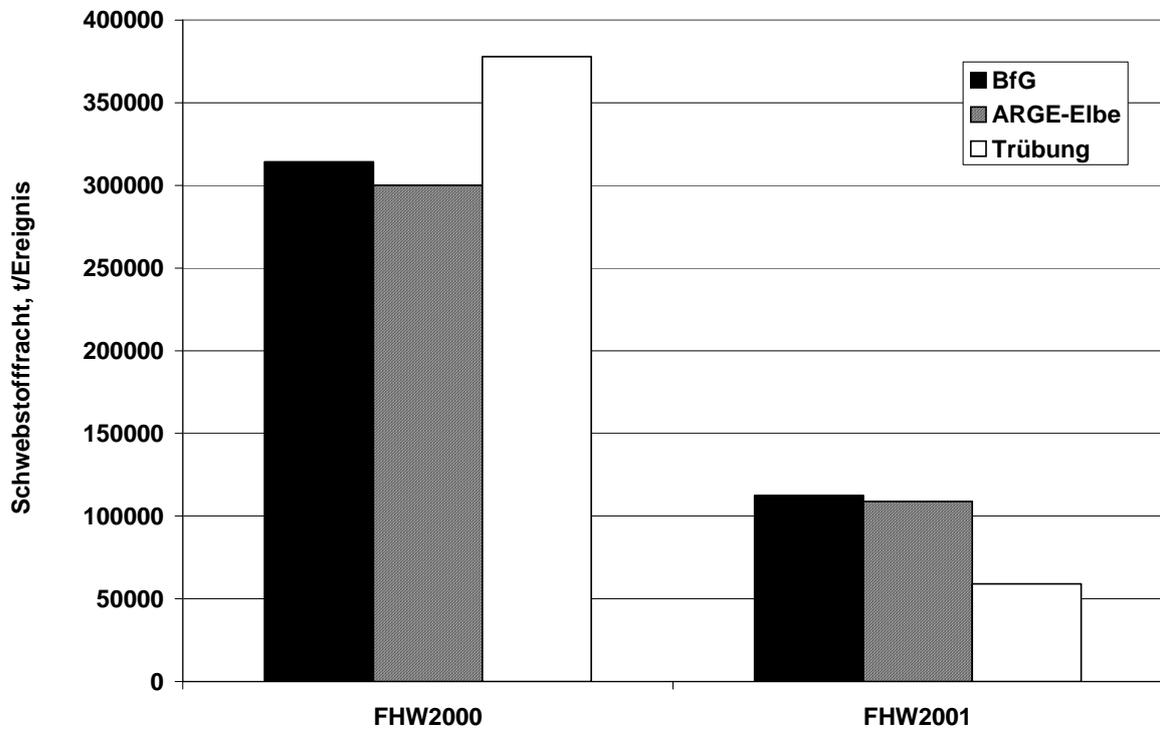


Abb. 5: Vergleiche der Schwebstofffrachten unterschiedlicher Berechnungsverfahren in Schmilka.

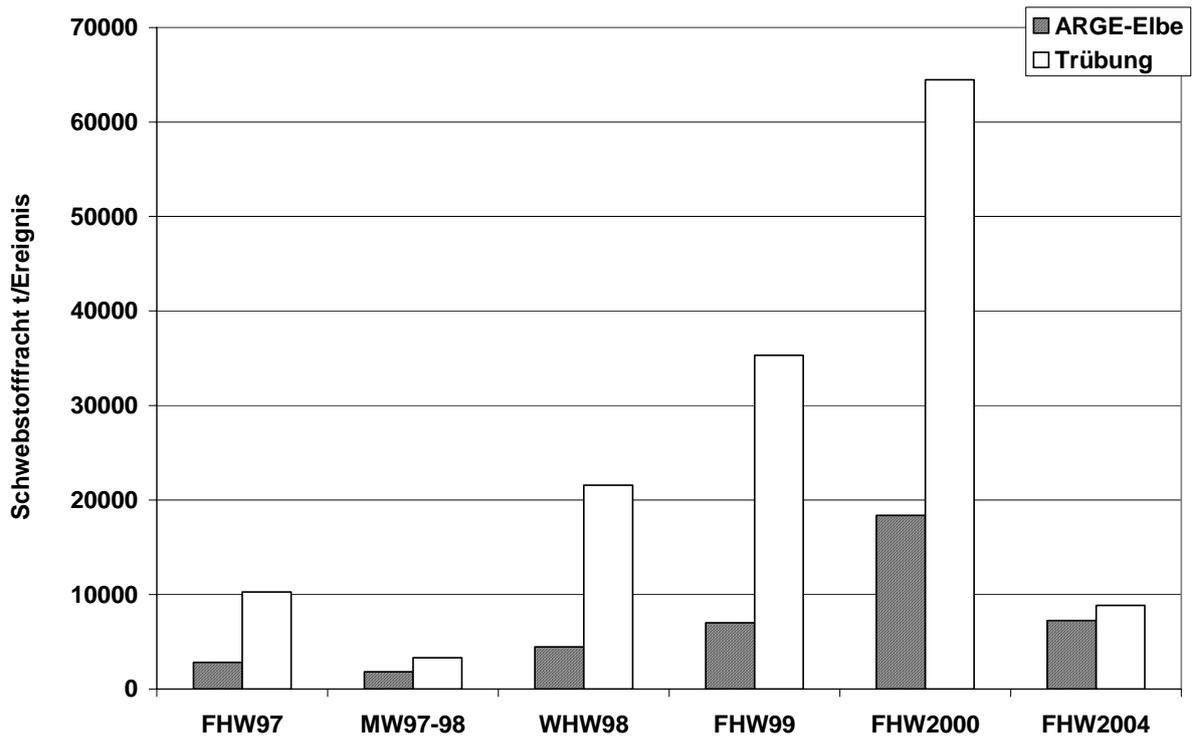


Abb. 6: Vergleiche der Schwebstofffrachten unterschiedlicher Berechnungsverfahren in Dessau.

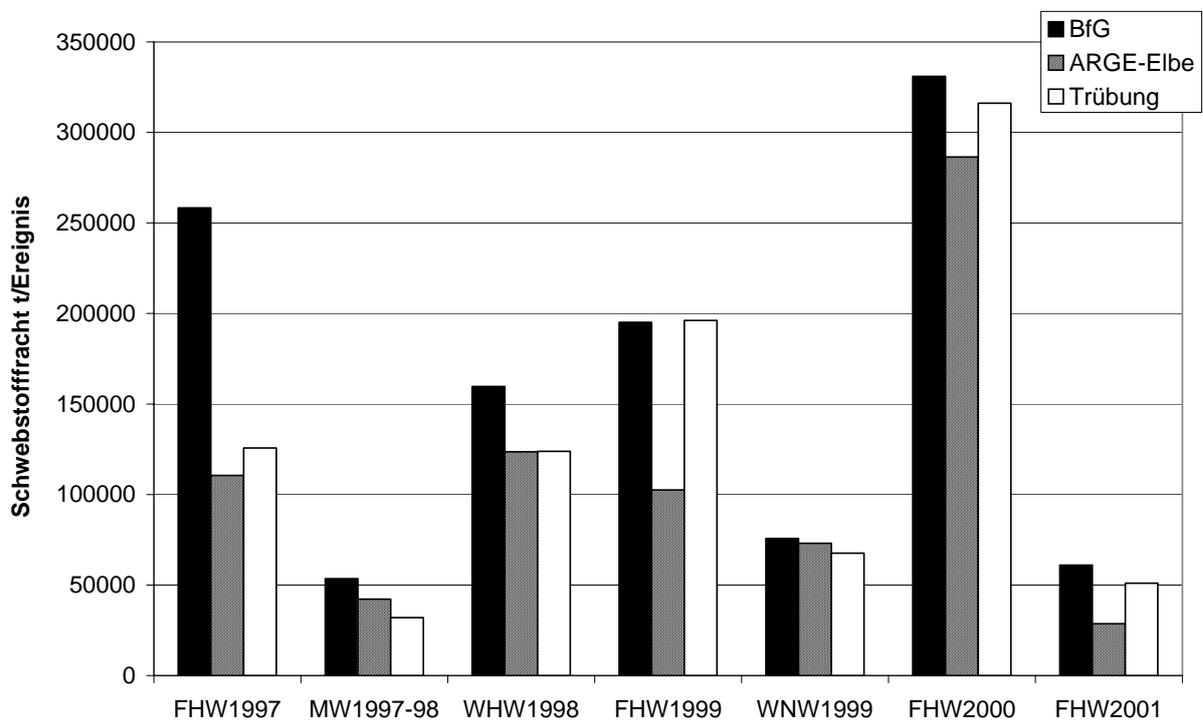


Abb. 7: Vergleiche der Schwebstofffrachten unterschiedlicher Berechnungsverfahren in Magdeburg.

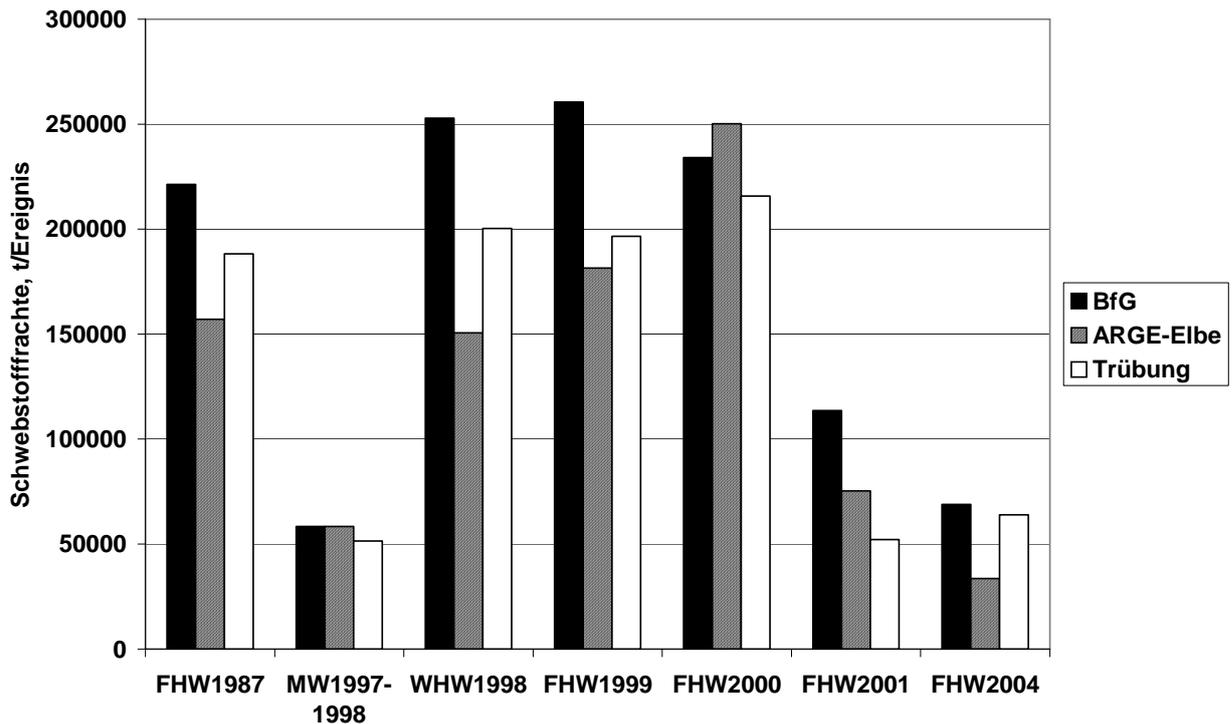


Abb. 8: Vergleiche der Schwebstofffrachten unterschiedlicher Berechnungsverfahren in Schnackenburg.

Verhältnismäßig große Unterschiede zwischen den Methoden der qualifizierten Schätzung und der Frachtberechnung auf Basis der Trübung lassen sich an der Messstelle in Dessau beobachten (Abb. 3-29). Dies kann seine Ursache in der dynamisch variablen Schwebstofffracht der schnell abfließenden Mulde haben. Andererseits wurde mit $R^2=0,63$ das schlechteste Bestimmtheitsmaß ermittelt. Darüber hinaus sind auch an der Mulde die Schwebstoffmessungen für die Ableitung eines Zusammenhangs zwischen Schwebstoffkonzentration und Trübung zu Zeiten wirklich hoher Schwebstoffkonzentrationen selten. Einen entscheidenden Einfluss dürfte auch die große Distanz von 7 km zwischen dem Ort der Trübungsmessung und dem Ort der Probenahme für die Schwebstoffgewinnung haben.

Bilanzbetrachtungen (Abb. 9) zwischen Wittenberg und Aken auf der Grundlage der Messungen der BfG lassen eine Validierung der verschiedenen Ergebnisse aus der Mulde nicht zu, denn es stehen nach dem Jahr 2000 (Veränderung des Probenahmedesigns in Aken) nur für zwei Ereignisse (Frühjahrshochwasser 2000 und Frühjahrshochwasser 2004) online-Trübungsdaten zur Verfügung.

Während beim Frühjahrshochwasser 2000 die Massenbilanz zwischen Aken und Wittenberge noch in der gleichen Größenordnung, wie die geschätzten Frachten der ARGE-Elbe liegen (Abb. 9), so liegen die Differenzen beim Frühjahrshochwasser 2004 schon wieder in der Größenordnung von 20.000 t. Auch die Frachtberechnungen auf Basis der Trübungsdaten lassen keine Annäherung zur einen oder anderen Methode erkennen. Abb. 10 und 11 zeigen den berechneten Verlauf der Schwebstofffrachten auf Basis der Trübungsdaten der Mulde im Vergleich zu Wittenberg und Aken während des Frühjahrshochwassers 2000 und des Frühjahrshochwassers 2004. Dabei erscheinen die absoluten Frachten in der Mulde noch gar nicht unplausibel im

Vergleich zu den Messwerten des UFZ/Uni-Stuttgart/ELANA aus dem Jahr 2006. Während des Hochwassers 2000 wurden in der Mulde am 15.03.2000 Schwebstoffkonzentrationen von 94 mg/l ermittelt. Zwei Wochen später waren es immerhin noch 58 mg/l. Der Abfluss betrug im Scheitel 426 m³/s. Während des Frühjahrshochwassers 2006 wurden maximal lediglich 50,4 mg/l ermittelt bei einem Scheitelabfluss von 650 m³/s. 14 Tage später wurden nur noch ca. 10 mg/l abfiltrierbare Stoffe ermittelt. Somit ist nicht die Schwebstofffracht in ihrer Höhe als solche absolut unwahrscheinlich sondern möglicherweise nur das Verhältnis zur Fracht in Aken. Auch in diesem Zusammenhang sei auf das Kapitel Hochwasser 2006 verwiesen.

Plausibel erscheint dagegen auch der Zusammenhang zwischen kumulierten Abflüssen und den im gleichen Zeitraum betrachteten Schwebstofffrachten (Abb. 12). Erkennbar ist, dass sowohl für die Saale als auch für die Mulde bei höheren Abflüssen die Differenz zwischen den Befunden, einerseits der BfG (Saale) und andererseits der ARGE-Elbe (Mulde) und den „Trübungsfrachten“ größer wird, was insbesondere an der Mulde an dem schnellen Abflussgeschehen und der damit einhergehend schnellen Anstieg der Schwebstoffkonzentrationen einhergehen könnte.

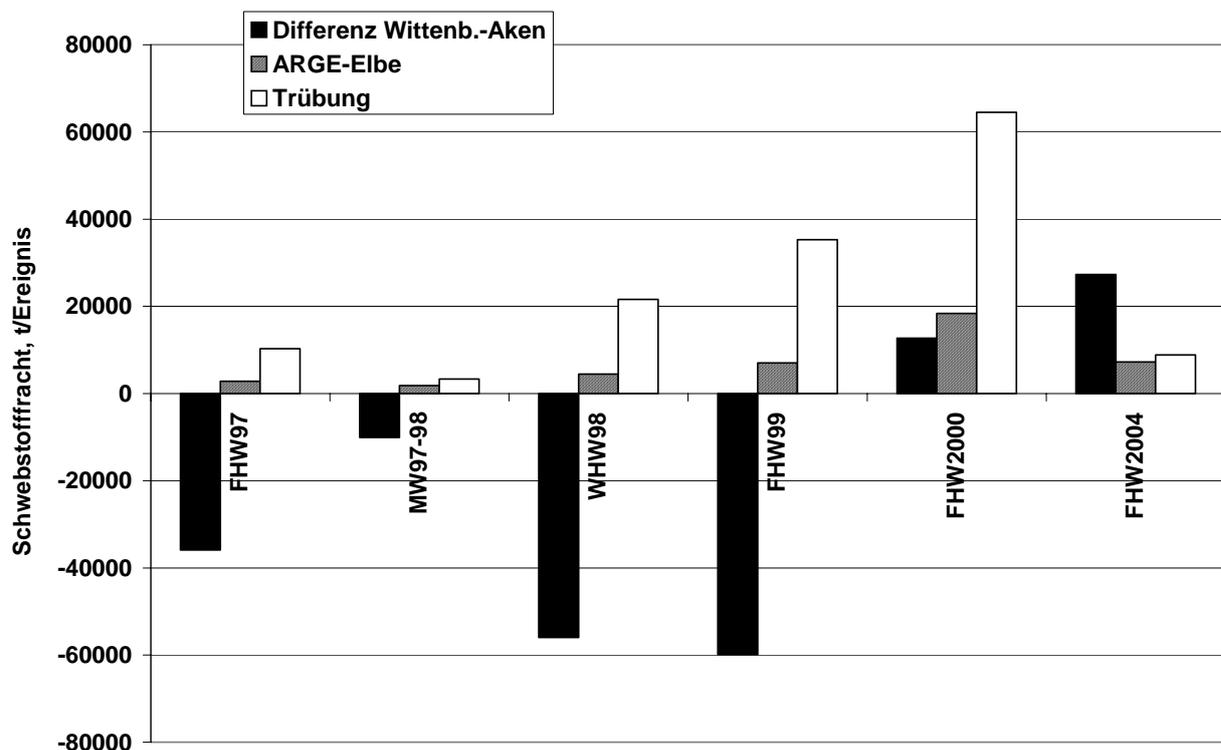


Abb. 9: Differenz der Frachten zwischen Aken und Wittenberg im Vergleich zu berechneten Frachten der Mulde.

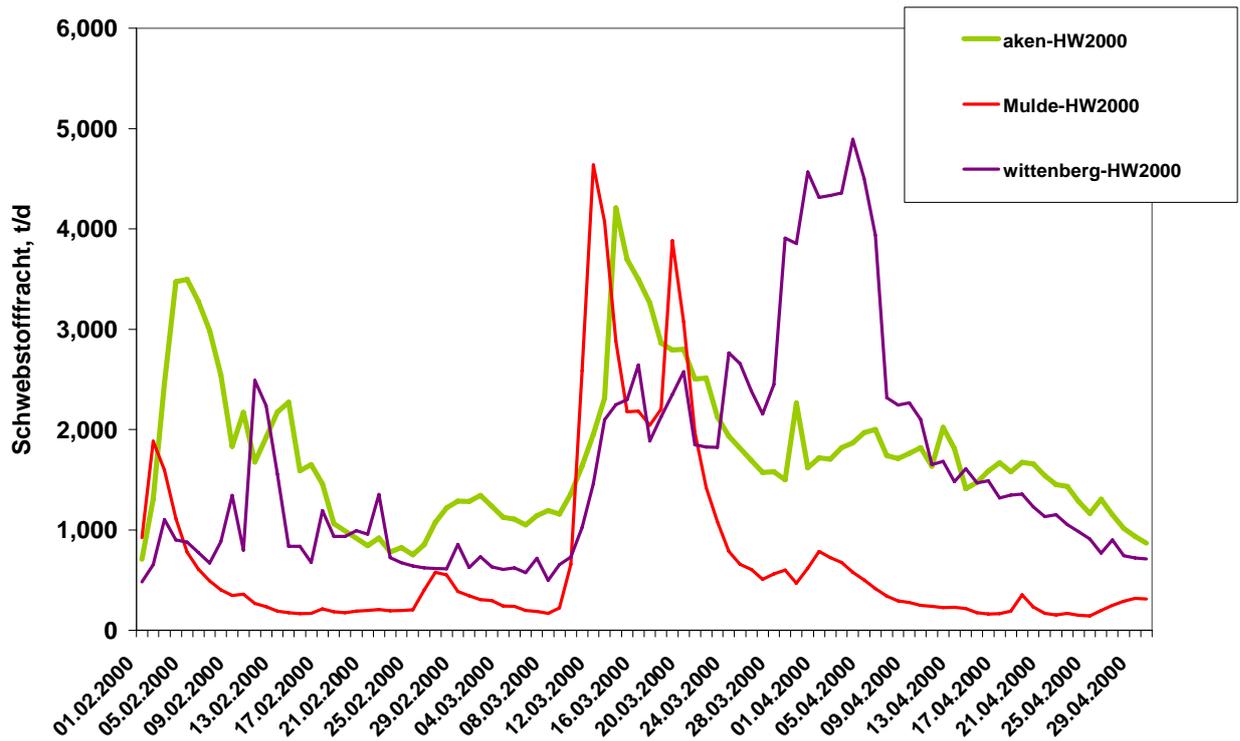


Abb. 10: Verlauf der berechneten Frachten in der Mulde im Vergleich zu den Frachten in Wittenberg und Aken während des Frühjahrshochwassers 2000.

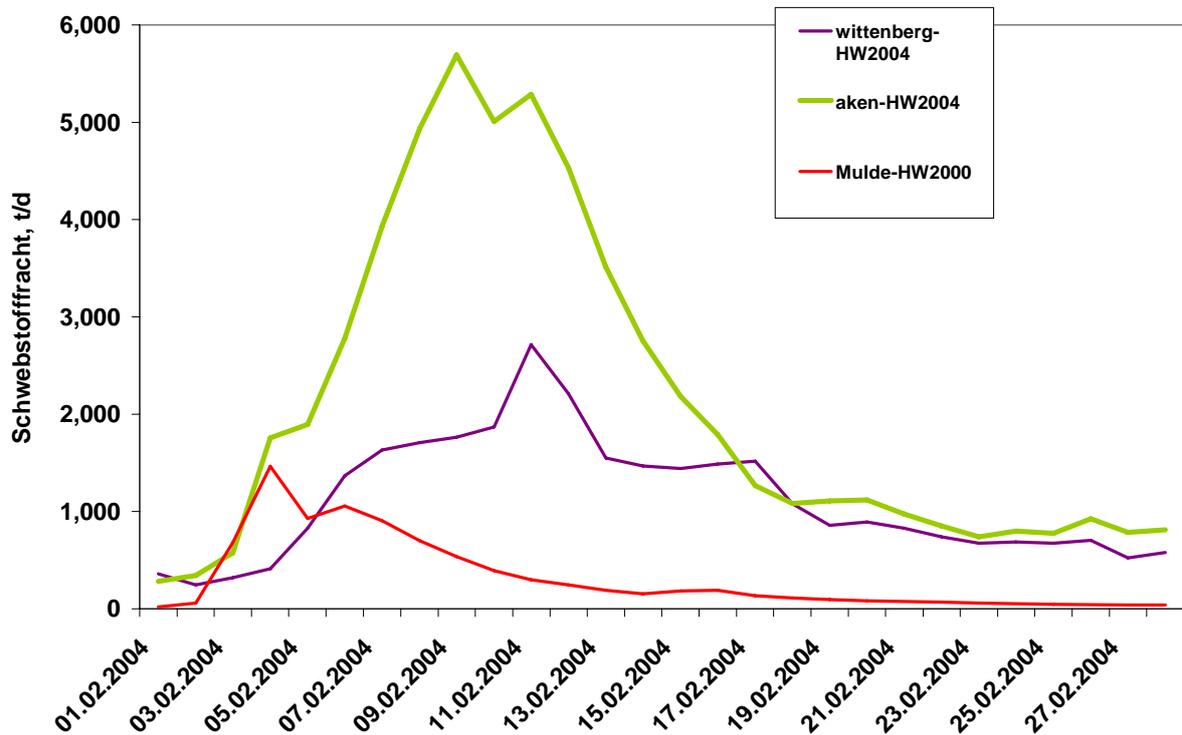


Abb. 11: Verlauf der berechneten Frachten in der Mulde im Vergleich zu den Frachten in Wittenberg und Aken während des Frühjahrshochwassers 2004.

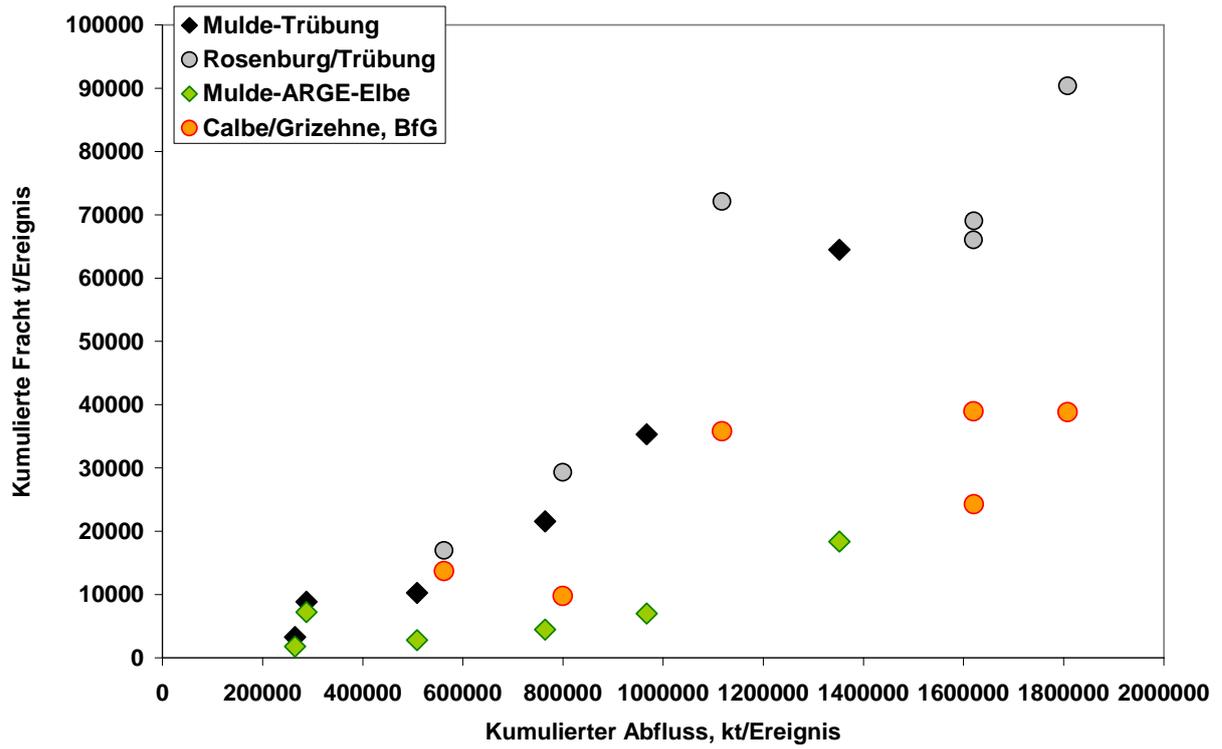


Abb. 12: Kumulierte Abflüsse und Schwebstofffrachten von mehreren Hochwasserereignissen auf Grundlage verschiedener Berechnungsverfahren.