

5 Methodik der Schwebstofffrachtbestimmung

5.1 Problematik der Bestimmung einer Schwebstoffjahresfracht

Zur Bestimmung einer Jahresfracht werden Messungen der Stoffkonzentration und des Abflusses benötigt. Das bedeutet, dass die Qualität der Frachtberechnung zunächst von der Analysengenauigkeit (Kapitel 4) und der Probenahmestrategie abhängig ist. Das grundlegende Problem der Frachtermittlung ist die Frage der Repräsentativität des Messpunktes für die räumliche Verteilung der Schwebstoffkonzentration und für deren zeitlichen Verlauf im betrachteten Fließgewässerquerschnitt. Bei der Frachtberechnung geht man davon aus, dass der vorliegende Wert, die fließquerschnittgemittelte Konzentration an Schwebstoff widerspiegelt. Da die Schwebstoffverteilung in einem Fließgewässer jedoch sehr inhomogen sein kann (BfG, 1977), ist es ausschlaggebend ob eine Probennahme am Ufer, im Stromstrich, im Einflussbereich von einmündenden Nebengewässern oder Einleitern erfolgte und in welcher Gewässertiefe und zu welchem Zeitpunkt (Abb. 5-1).

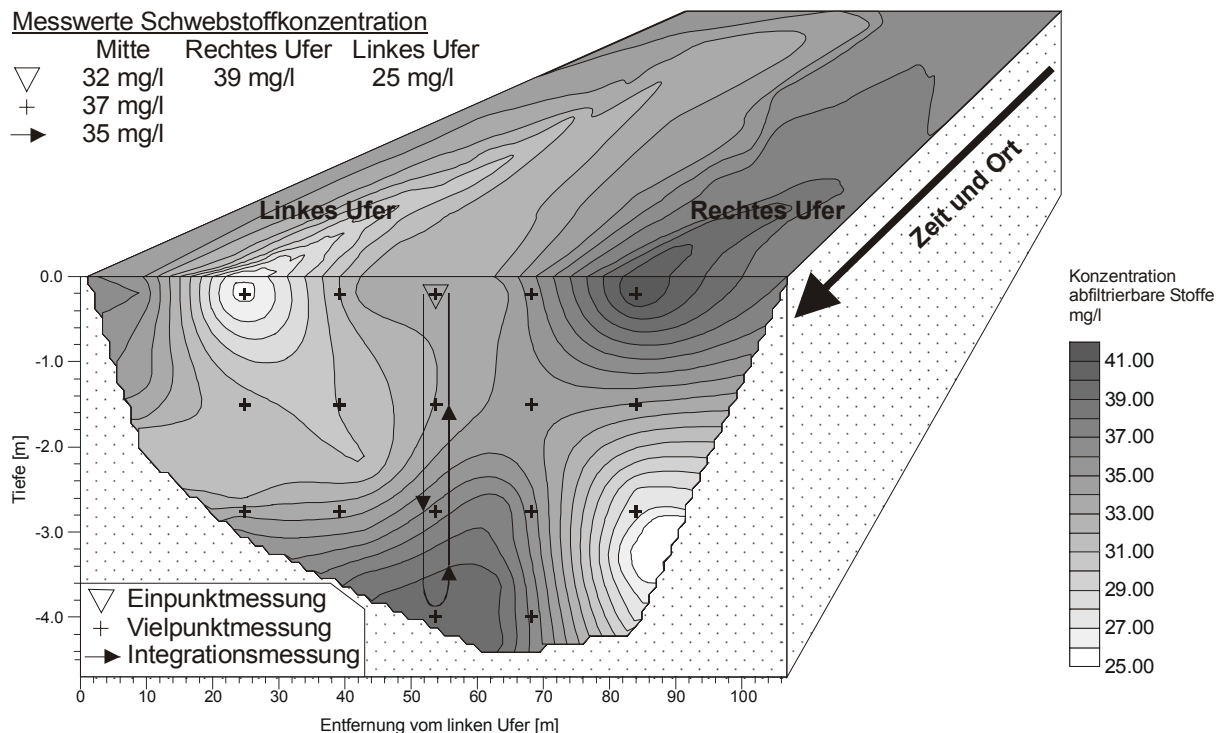


Abb. 5-1: Einfluss der Probenahmeverfahren auf die ermittelte Schwebstoffkonzentration dargestellt am Beispiel der Elbe (Elbe-km 196,5 am 4.5.01).

Des weiteren benötigt die korrekte Frachtberechnung eine hohe Quantität an Daten, wobei wenn möglich alle konzentrationsbeeinflussenden Ereignisse erfasst sein sollten (BfG, 1997). Diese hohe zeitliche Auflösung ist aufgrund des Kostenaufwandes für die Bestimmung der

Schwebstoffgehalte nicht zu erbringen, so dass man versucht aus wenigen Messwerten jährliche Schwebstofffrachten zu berechnen bzw. zu schätzen (SYMADER, 1988; HELLMANN, 1986). Die Datenrecherche zu den vorhandenen Schwebstoffmesswerten im Elbe-EZG hat ergeben, dass die Probenahme an einer Messstelle in der Regel 12-26 mal pro Jahr als Einpunktmessung erfolgt. Da hier also keine kontinuierlichen Messungen vorliegen hat der Messwert immer den Charakter einer Stichprobe, die nur den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen in einem Gewässerpunkt zum Zeitpunkt der Probenahme widerspiegelt. Sowohl der Schwebstoffgehalt als auch die Abflusshöhe eines Fließgewässers können jedoch schon im Tagesverlauf starken Veränderungen unterliegen (SYMADER et. al., 1991), so dass die Hochrechnung eines gemessenen Schwebstofftransports, also gewissermaßen einer Sekundenfracht auf die Tagesfracht, mit Unsicherheiten behaftet ist (SYMADER, 1988; HELLMANN, 1986). In der Gewässerkunde wird daher der Versuch unternommen, eine Schwebstoffjahresfracht auf der Grundlage dieser diskontinuierlichen Messreihen zu schätzen. Dazu dienen verschiedene mathematisch-statistische Berechnungsmethoden (BfG, 1997; LÜBBERT, 1999; BEHRENDT et. al., 2000), die in der vorliegenden Arbeit angewendet und zum Teil modifiziert wurden (Tab. 5-1). Allgemein werden die Methoden, die auf real gemessenen Werten basieren und eine direkte Ableitung einer Fracht ermöglichen (Methoden 1 –3), von denen unterschieden, die ausgehend von einer begrenzten Anzahl an Messwerten auf fehlende Messtage schließen bzw. vollständige, neue Wertereihen generieren (Methoden 4 - 7) (Tab. 5-1). Dies erfolgt zum einen durch die Annahme eines Zusammenhangs zwischen zwei benachbarten Konzentrationswerten (Methode 4) oder durch die theoretische Ableitung von funktionalen Zusammenhängen mit anderen Messgrößen, für die tägliche Messwerte vorliegen. In der Gewässerkunde geht man dabei im allgemeinen von einem ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Abflussgeschehen und der Schwebstoffkonzentration oder dem Schwebstofftransport aus (Methoden 5 und 6). In der Natur ist diese Abhängigkeit zwar tendenziell nachweisbar, jedoch nicht die Regel. Dies hängt u.a. stark von der Quelle der Schwebstoffe ab. Vornehmlich abwasserbürtige Schwebstoffe werden bei höheren Abflüssen verdünnt, wohingegen Schwebstoffe aus Erosionsprozessen im Einzugsgebiet tatsächlich mit dem erhöhten Durchfluss ansteigen. Dies erfolgt in erster Linie in bzw. vor der aufsteigenden Hochwasserwelle (Hysterese-Effekt). Biologische Prozesse, wie die Entwicklung der Primärproduzenten im Jahresverlauf und anthropogene Eingriffe in den Flusslauf werden durch die Beziehung nicht berücksichtigt. Die resultierende Korrelationsbeziehung zwischen der Konzentration bzw. dem Transport und dem Abfluss ist demzufolge trotz einer hohen Messfrequenz oftmals ungenügend. Um diese

Probleme zu umgehen hat man daher versucht entsprechende C-Q- oder T-Q Beziehungen für die aufsteigenden und absteigenden Äste von Hochwasserwellen oder für Winter- und Sommerhalbjahre zu erstellen (Methode 5b).

Nr.	Kurzbeschreibung	Abkürzung
1	Integration des Produktes aus den Jahresmittelwerten der Schwebstoffkonzentration und des Abflusses über das Jahr.	$\bar{C}_{MT} \bar{Q}_{MJ}$
2	Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr.	\bar{F}_{MT}
3	Jahresabflussabhängige Integration des Mittelwertes der Tagesfrachten über das Jahr.	$\bar{F}_{MT-OSPAR}$
4	Lineare Interpolation zwischen den Konzentrationsmesswerten	$F_{lin.Int.}$
5	Konzentration – Abfluss - Beziehung über Abflussklassen:	
5a	- Gesamtjahr	$F_{CQ-Klassen/Jahr}$
5b	- getrennt nach Sommer- / Winterhalbjahr	$F_{CQ-Klassen/Som-Win}$
6	Transport – Abfluss - Beziehung	F_{TQ}
7	Zeitreihenverfahren:	
7a	Konzentration – Zeit - Beziehung	F_{Ct}
7b	Konzentration – Zeit - Beziehung mit Abflussabhängigkeit	$F_{Ct(Q30)}$

Tab. 5-1: Verzeichnis der verwendeten Frachtberechnungsmethoden.

Eine andere Möglichkeit ist die Annahme, dass der Verlauf der Schwebstoffkonzentration einem gesetzmäßigen Jahresgang unterliegt, also zeitabhängig ist (Methode 7). Mittels dieser Methode werden eine Vielzahl von nicht näher charakterisierten naturräumlichen und anthropogenen Faktoren, die ein bestimmtes Schwebstoffregime eines Fließgewässers verursachen, in den Berechnungen berücksichtigt. Die Beziehung gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Rahmenbedingungen über einen Zeitraum konstant bleiben oder sich gleichbleibend verändern. Unperiodisch auftretende Ereignisse in einem Jahresverlauf, die für die Höhe einer Jahresfracht entscheidend sein können, werden durch diese Methode also nicht berücksichtigt.

5.2 Methoden der Schwebstofffrachtberechnung

Liegen eine vollständige Messreihe bzw. eine generierte Wertereihe sowie die zugehörige Pegelreihe vor, so ergibt sich die Jahresfracht als Integral der Tagesfrachten über das zu betrachtende Messjahr:

$$F = \frac{1}{1000 \cdot 1000} \int_{\text{Messwert}} Q(t) \cdot c(t) dt \quad (1)$$

Bei der Umrechnung von Schwebstoffkonzentrationen [mg/l] und Abflüssen [m³/s] zu Tagesfrachten [t/a] ergibt sich als Grundlage für die Frachtermittlungsmethoden der folgende Faktor:

$$\frac{60 \cdot 60 \cdot 24}{1000 \cdot 1000} = 0,0864 \quad .. \quad (2)$$

Die in dieser Arbeit berechneten Schwebstoffjahresfrachten beziehen sich grundsätzlich auf das hydrologische Jahr. Um eine vollständig einheitliche Datenauswertung zu gewährleisten, wurden die im folgenden beschriebenen Methoden als Module in Microsoft Visual Basic 6.0 programmiert und die Berechnung der Schwebstoffjahresfrachten automatisiert.

5.2.1 Methode 1: $\bar{C}_{MT} \bar{Q}_{MJ}$

Ausgehend von der Voraussetzung, dass die gemessene Schwebstoffkonzentration über das hydrologische Jahr keinen größeren Schwankungen unterliegt, wurde der Mittelwert der Konzentration aus den Messwerten (3) gebildet, mit dem Mittelwert aller täglichen Durchflüsse (4) multipliziert und zur Frachtabschätzung über das Jahr integriert (5).

$$\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c(t_i) \quad (3)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} Q_i \quad (4)$$

$$\bar{C}_{MT} \bar{Q}_{MJ} = 365 \cdot 0,0864 \cdot \bar{c} \cdot \bar{Q} \quad (5)$$

5.2.2 Methode 2: \bar{F}_{MT}

Aus den vorhandenen Schwebstoffdaten wurden mit den zugehörigen Abflusswerten die Schwebstofftagesfrachten für das hydrologische Jahr ermittelt. Der Mittelwert der Tagesfrachten wurde konstant über das Jahr zur Jahresfracht integriert (6).

$$\bar{F}_{MT} = 365 \cdot 0,0864 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c(t_i) \cdot Q(t_i) \quad (6)$$

5.2.3 Methode 3: $\bar{F}_{MT-OSPAR}$

Diese, von der OSPAR (1996) favorisierte Methode zur Schätzung einer Schwebstoffjahresfracht, die auf der Methode 2 basiert, führt einen Faktor zur Wichtung der geschätzten Jahresfracht ein (HERATA, 2001). Der Faktor resultiert aus dem Verhältnis zwischen dem mittleren Abfluss des Messjahres (Q_{MJ}) und dem Abflussmittelwert an den realen Messtagen (Q_{MT}). Dadurch können durch die Wahl der Messtage unterrepräsentierte Durchflüsse im Jahresverlauf ausgeglichen werden (7).

$$\bar{F}_{MT} = \frac{Q_{MJ}}{Q_{MT}} \cdot 365 \cdot 0,0864 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c(t_i) \cdot Q(t_i) \quad (7)$$

5.2.4 Methode 4: $F_{lin.Int.}$

Unter der Annahme, dass sich die Schwebstoffkonzentration an den Tagen zwischen 2 Messungen linear ändert, können künstliche Messwerte für diesen Zeitraum interpoliert werden. Aus den sich ergebenden Tageswerten wurden mit Hilfe der vorhandenen täglichen Durchflüsse Tagesfrachten errechnet und über das hydrologische Jahr zu einer Jahresfracht integriert (8). Zur Vervollständigung des hydrologischen Jahres mussten die fehlenden Tage am Anfang oder Ende einer Messreihe extrapoliert werden. Um negative Werte zu vermeiden wurde eine konstante Konzentration angenommen.

$$F_{lin.Int.} = 0,0864 \sum_{i=1}^{365} c_{lin-Int.,i} \cdot Q_i \quad (8)$$

Wurden die Bedingungen, dass weniger als 12 Messtage/Jahr vorhanden waren oder eine Differenz von mehr als 60 Tagen zwischen den Messtagen auftrat, erfüllt, wurde die ermittelte Jahresfracht nicht zur Auswertung herangezogen.

5.2.5 Methode 5: F_{CQ} -Klassen

Diese Regressionsmethode zur Modellierung von Jahresfrachten basiert auf einer möglichen Abhängigkeit der Schwebstoffkonzentration vom Abfluss. Diese Abhängigkeit wird durch eine mathematische Funktion beschrieben, mit deren Hilfe aus einer vollständigen Abflussreihe eine künstliche „Schwebstoffreihe“ modelliert wird. Aus den daraus resultierenden Wertepaaren werden tägliche Frachten ermittelt und zu Jahresfrachten integriert. Da diese einfachen Beziehungen häufig nur schlecht ausgeprägt sind (Abb. 5-2), wurden nach einem Vorschlag des ČHMÚ (SCHMIDT et. al., 1999) in der vorliegenden Arbeit C-Q-Beziehungen über Abflussklassen gebildet. Hierzu wurden zunächst auf der Grundlage der Pegelvorschrift (LAWA & BMV, 1997) aus der Dauerlinie des Abflusses im Beobachtungszeitraum 8 Abflussintervalle nach der Anzahl der Überschreitungstage gebildet.

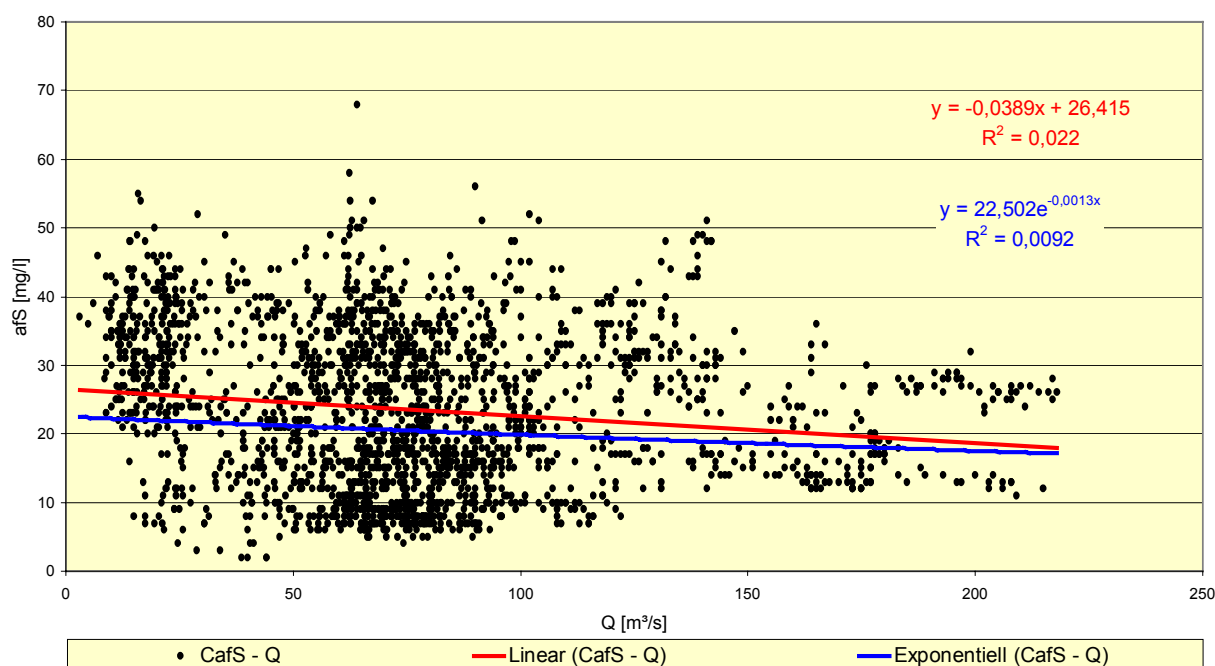


Abb. 5-2: Schlecht ausgeprägte Schwebstoffkonzentration – Abfluss - Beziehung (C-Q) an der BfG-Ms Rathenow (Havel, Bp Rathenow) von 1992-1997 bei werktäglicher Messung der Konzentration.

In jeder Abflussklasse ließen sich getrennt nach dem betrachteten Zeitraum mathematische Mittelwerte bzw. Mediane der Schwebstoffkonzentration bilden und über alle Klassen lineare sowie exponentielle Korrelationsbeziehungen erstellen (Abb. 5-3).

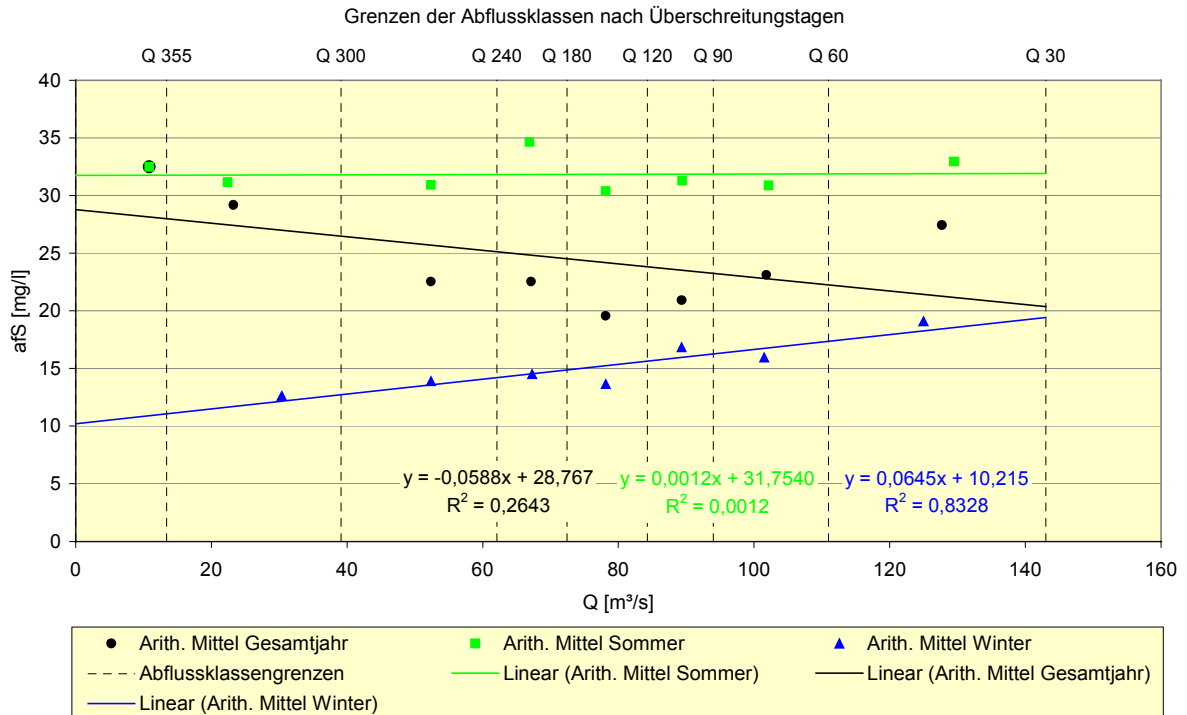


Abb. 5-3: Beispiel der Bildung einer linearen Schwebstoffkonzentration – Abfluss - Beziehung über Abflussklassen anhand der arithmetischen Mittelwerte der CafS-Werte im Jahr, im Sommer- und Winterhalbjahr (BfG Ms Rathenow , Havel, Bp. Rathenow) von 1992 - 1997 bei werktäglicher Messung der Schwebstoffkonzentration).

Für jeden betrachteten Zeitraum ergaben sich demnach 12 mögliche Korrelationsbeziehungen, (Tab. 5-2) von denen, anhand des besten Korrelationskoeffizienten, die engste Beziehung für die Schätzung der Jahresfracht herangezogen wurde. Die getrennt berechneten Halbjahresfrachten wurden zur Jahresfracht aufsummiert.

Zeitraum	Gesamtjahr				Winterhalbjahr (Okt-Mrz)				Sommerhalbjahr (Apr-Sep)			
	Arithm. Mittel		Median		Arithm. Mittel		Median		Arithm. Mittel		Median	
Mittel der Konzentration in der Abflussklasse												
Regressionstyp über alle Abflussklassen	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp	Lin	Exp

Tab. 5-2: Betrachtete Korrelationsmöglichkeiten zwischen der Schwebstoffkonzentration und dem Abfluss über Abflussklassen getrennt nach Zeitraum, mathematischen Mittelwert und Regressionstyp der Beziehung.

Aus der Regressionsmethode über Abflussklassen resultieren daher zwei Schätzfrachten:

Methode 5a: Regressionsbeziehung für das Gesamtjahr: $F_{CQ\text{-Klassen/Jahr}}$

Methode 5b: Regressionsbeziehung getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr: $F_{CQ\text{-Klassen/SomWin}}$

Aus dem Vergleich der Berechnungsergebnisse (Abb. 5-2 und Abb. 5-3) wird deutlich, dass über die Bildung von Abflussklassen zum einen und der Trennung nach Sommer- und Winterhalbjahr zum anderen bessere Ergebnisse als über die einfache Gegenüberstellung von Tageswerten erzielt werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Anzahl der gebildeten Klassen nur eine Regression über 8 Wertepaare gestattet und schon aus diesem statistischen Grund ein günstigeres Bestimmtheitsmaß zu erwarten ist. Zudem werden in der Klassenbildung, aufgrund der Komplexität der Hochwasserstatistik, keine höheren Durchflüsse mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von weniger als 30 Tagen im Jahr berücksichtigt. In der Berechnung werden diese Tage mit dem höchsten berechneten Schwebstoffwert der Abflussklasse Q 60 belegt.

Um eine Vergleichbarkeit und Transparenz zu gewährleisten, sind sowohl die einfachen als auch die Konzentration – Abfluss – Beziehungen über Abflussklassen mit dem besten Bestimmtheitsmaß für das Gesamtjahr und die Halbjahre graphisch für jede quantifizierte Messstelle im Band 2 Anhang H dargestellt.

5.2.6 Methode 6: F_{TQ}

Für die Abschätzung von Jahresfrachten werden in der Gewässermorphologie lineare oder häufiger exponentielle Regressionsbeziehungen zwischen Schwebstofftransport und Abfluss genutzt. (Abb. 5-4).

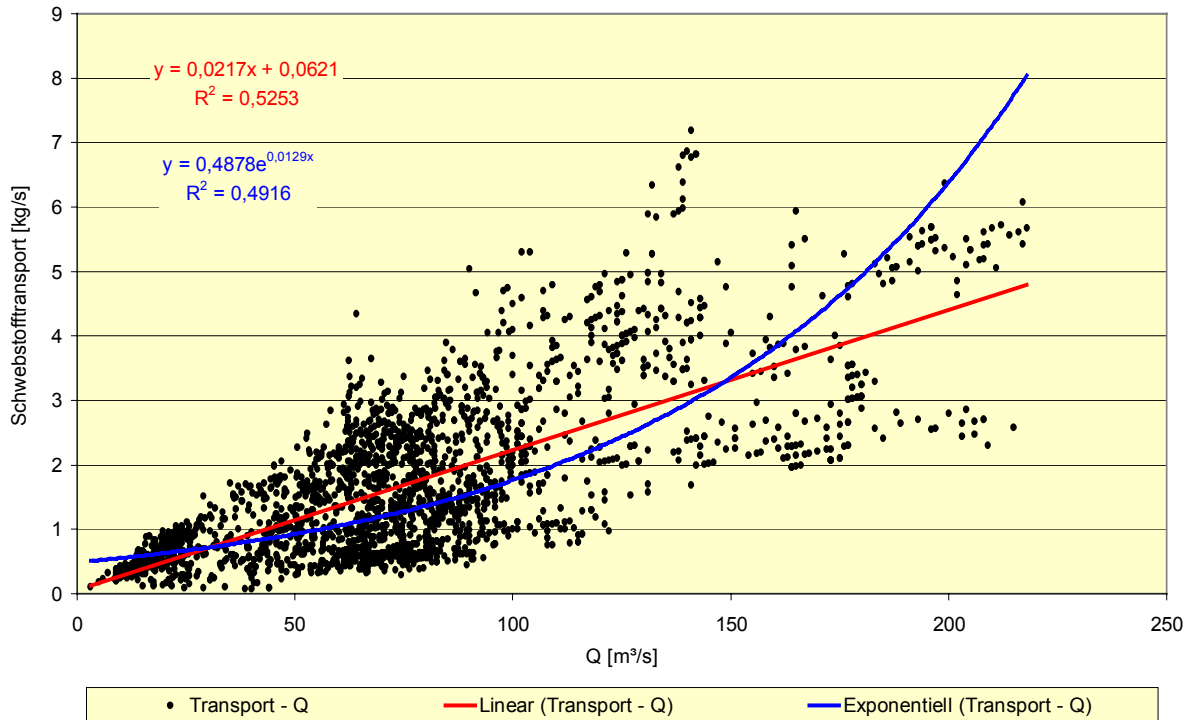


Abb. 5-4: Schwebstofftransport-Abfluss-Beziehung an der BfG Ms Rathenow (Havel, Bp Rathenow) von 1992-1997 bei werktäglicher Messung der Schwebstoffkonzentration.

Die Güte des funktionalen Zusammenhangs wird durch das Bestimmtheitsmaß (R^2) ausgedrückt. Die linearen und exponentiellen Transport – Abfluss - Beziehungen wurden für jede quantifizierbare Messstelle ermittelt, wobei diejenige mit dem besseren Bestimmtheitsmaß auf die vollständige Durchflussreihe zur Berechnung von künstlichen täglichen Schwebstofffrachten angewendet wurde. Die generierten Tagesfrachten wurden zur geschätzten Schwebstoffjahresfracht integriert.

Die ermittelten Transport – Abfluss – Beziehungen sind für jede quantifizierte Messstelle im Band 2 Anhang F graphisch dargestellt sowie als mathematische Funktion im Anhang H zusammengefasst.

5.2.7 Methode 7: F_{Ct}

Diese Methode zur Modellierung von Jahresfrachten basiert auf einer möglichen Abhängigkeit der Schwebstoffkonzentration von der Zeit (Zeitreihe). Im ersten Schritt wird die langfristige Entwicklungstendenz (Trend) einer zu betrachtenden Schwebstoffmessreihe durch eine Regression dargestellt (Abb. 5-5). Im zweiten Schritt werden saisonale Faktoren aus der Relation der langjährigen monatlichen Schwebstoffmittelwerte zum langjährigen Schwebstoffmittelwert gebildet (Tab. 5-3).

Monat	Langjähriges monatl. Mittel afS [mg/l]	Langjähriges Mittel afS [mg/l]	relative Abweichung vom langjährigen Mittel (saisonaler Faktor)
November	13,1	22,9	0,6
Dezember	11,5	22,9	0,5
Januar	12,9	22,9	0,6
Februar	14,9	22,9	0,7
März	22,7	22,9	1,0
April	27,7	22,9	1,2
Mai	27,4	22,9	1,2
Juni	31,0	22,9	1,4
Juli	33,9	22,9	1,5
August	32,7	22,9	1,4
September	26,9	22,9	1,2
Oktober	20,3	22,9	0,9

Tab. 5-3: Beispiel für die Bildung von saisonalen Faktoren (BfG Ms Rathenow, Havel) im Beobachtungszeitraum 1992/1997.

Durch die Multiplikation der saisonalen Faktoren mit den Werten des berechneten Trends ergibt sich ein zyklisches Saisonmuster, das den Verlauf der Schwebstoffkonzentration periodendurchschnittlich widerspiegelt (Abb. 5-5).

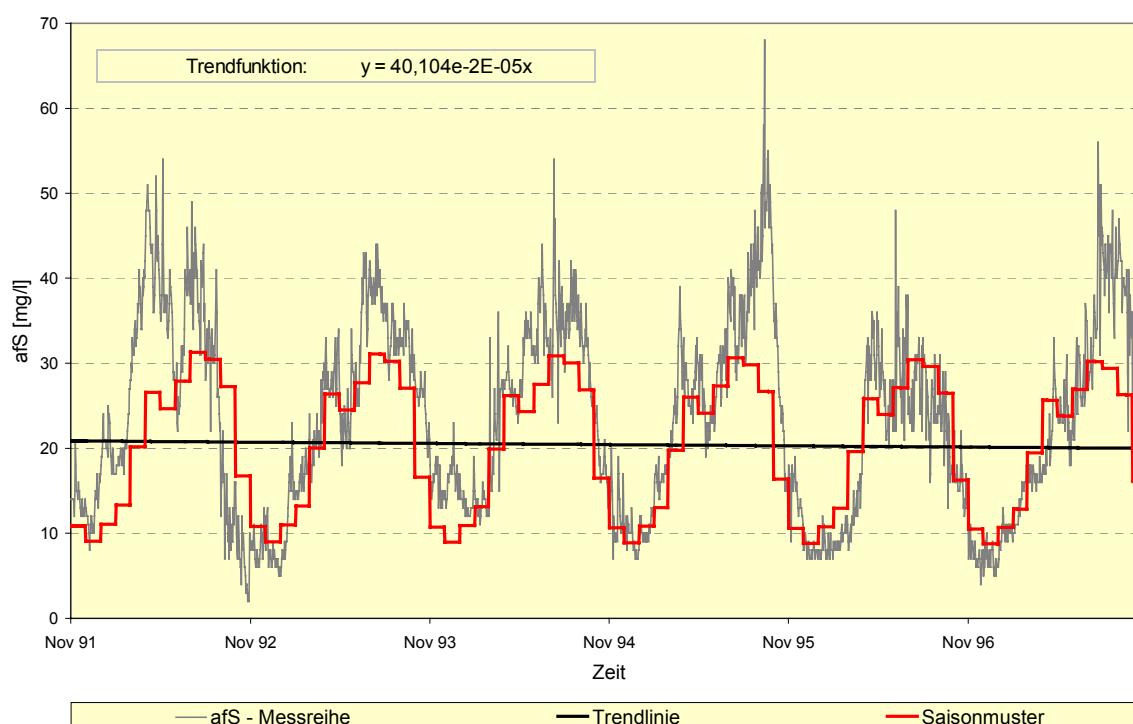


Abb. 5-5: Beispiel für die Bildung des Saisonmusters (BfG Ms Rathenow, Havel) im Beobachtungszeitraum 1992/1997.

Um in der Natur auftretende Schwankungen, die nicht saisonal bedingt sind, zu berücksichtigen wird im dritten Schritt eine irreguläre Komponente eingeführt (LÜBBERT, 1999). Dazu werden in Anlehnung an das Prinzip der saisonalen Faktorenbildung, Faktoren

aus den Relationen aller Schwebstoffwerte der vorliegenden Messreihe zum langjährigen Schwebstoffmittelwert gebildet. Diese Faktoren werden, gesteuert durch einen Zufallszahlengenerator, mit den täglichen Werten des Periodendurchschnitts im Saisonmuster multipliziert, womit die endgültige Schwebstoffzeitreihe generiert wird. Mit Hilfe der zugehörigen täglichen Abflusswerte können dann Tagesfrachten ermittelt und zur Jahresfracht integriert werden.

In dem vorliegenden Bericht wurde die Methode zum einen wie beschrieben

$$\text{Methode 7a} = F_{Ct}$$

und zum anderen unter Einbeziehung einer vierten Komponente

$$\text{Methode 7b} = F_{Ct(Q30)}$$

angewendet.

In der Methode 7b wurde das Abflussgeschehen in dem betrachteten Untersuchungszeitraum in die Modellierung einbezogen. Es wurde angenommen, dass die zu generierende Schwebstoffkonzentration an Tagen, an denen der Q30 überschritten wird, nicht geringer als der Periodendurchschnitt des Saisonmusters ist. Die Einbeziehung dieser vierten Komponente in die Zeitreihenanalyse basiert auf der Annahme, dass eine Abhängigkeit der Schwebstoffkonzentration vom Abfluss an der betrachteten Messstelle gegeben ist und ermöglicht somit eine stärkere Wichtung von Ereignissen in einem ansonsten zyklischen Konzentrationsverlauf.

5.3 Plausibilitätsanalyse der Berechnungsergebnisse und die Ableitung von Schätzintervallen der Schwebstoffjahresfracht

Die unterschiedlichen Verfahren, die zur Berechnung von Schwebstoffjahresfrachten aus den recherchierten afS-Messreihen der Länder angewendet werden, führen naturgemäß zu abweichenden Ergebnissen. Es war daher in jedem Einzelfall notwendig die Plausibilität der berechneten bzw. geschätzten Schwebstoffjahresfracht zu prüfen. Dies erfolgte verbal argumentativ anhand der den Berechnungen zugrunde liegenden Messdaten in zusammenhängender Darstellung mit dem Abflussgeschehen für jedes untersuchte hydrologische Jahr und für jede Messstelle. Bei zeitlich weiter auseinanderliegenden Messungen trat oftmals der Fall auf, dass einzelne Hochwasserereignisse zu stark gewichtet oder über längere Zeiträume interpoliert wurden. In diesen Fällen wurde die Plausibilität durch eine auf den echten Zeitraum des Ereignisses bezogene Nachberechnung kontrolliert

und gegebenenfalls das Ergebnis der Frachtberechnung korrigiert. Die Datengrundlage wurde nicht von Ausreißern o.ä. bereinigt, da in den überwiegenden Fällen Extremwerte der Schwebstoffkonzentration an den benachbarten Messstellen an gleichen Messtagen nachgewiesen werden konnten. Ausschlaggebend für die Überprüfung der Schätzergebnisse waren

- die Quantität der Messdaten im hydrologischen Jahr und ihre
- Repräsentativität im Hinblick auf das hydrologische Geschehen.

In der vorliegenden Arbeit werden daher keine Frachtergebnisse angegeben:

- für Messreihen mit weniger als 12 Messtagen pro Jahr und
- für Messreihen, die hydrologische Ereignisse wie ausgeprägte Hochwassersituationen nicht erfassen.
- für Messreihen, die keine konkreten Werte enthalten sondern nur die Unter- oder Überschreitung von Grenzwerten wiedergeben (<, >, n.n.,... etc.)

Die Berechnungsergebnisse der modellierenden Methoden 4 bis 7 wurden im Falle von unrealistischen Abweichungen der generierten Werte von den tatsächlichen Messdaten oder geringen funktionalen Zusammenhängen (Qualität des Bestimmtheitsmaßes) verworfen. Da die Methoden 1, 2 und 3 und mit Einschränkungen die Methode 4 direkt auf den tatsächlichen Messwerten basieren, wurde diesen die höchste Priorität für die Angabe einer Schätzfracht eingeräumt. Im Ergebnis der Plausibilitätsanalyse liegen 1 bis maximal 9 geprüfte Schätzergebnisse zur Schwebstoffjahresfracht an einer Messstelle vor. Konnte kein Schätzergebnis als realistisch beurteilt werden, z.B. in kleinen EZG der Mittelgebirge mit starken und kurzfristigen Abfluss- und Schwebstoffschwankungen wurde für das entsprechende Messjahr keine Fracht ermittelt. Aufgrund der großen Unsicherheiten bei der Frachtberechnung und den unterschiedlichen Schätzergebnissen, die auch in der Menge nicht zwangsläufig zu einer höheren Qualität des Schätzwertes führen, wird in der vorliegenden Arbeit kein Mittelwert sondern ein geschätzter Variationsbereich der Schwebstoffjahresfracht angegeben (Abb. 5-6). Welche Frachtberechnungsmethoden zur Bildung des Schätzintervalls genutzt wurden, ist in dem jeweiligen Messstellenblatt im Band 2 Anhang F für jedes berechnete hydrologische Jahr angegeben.

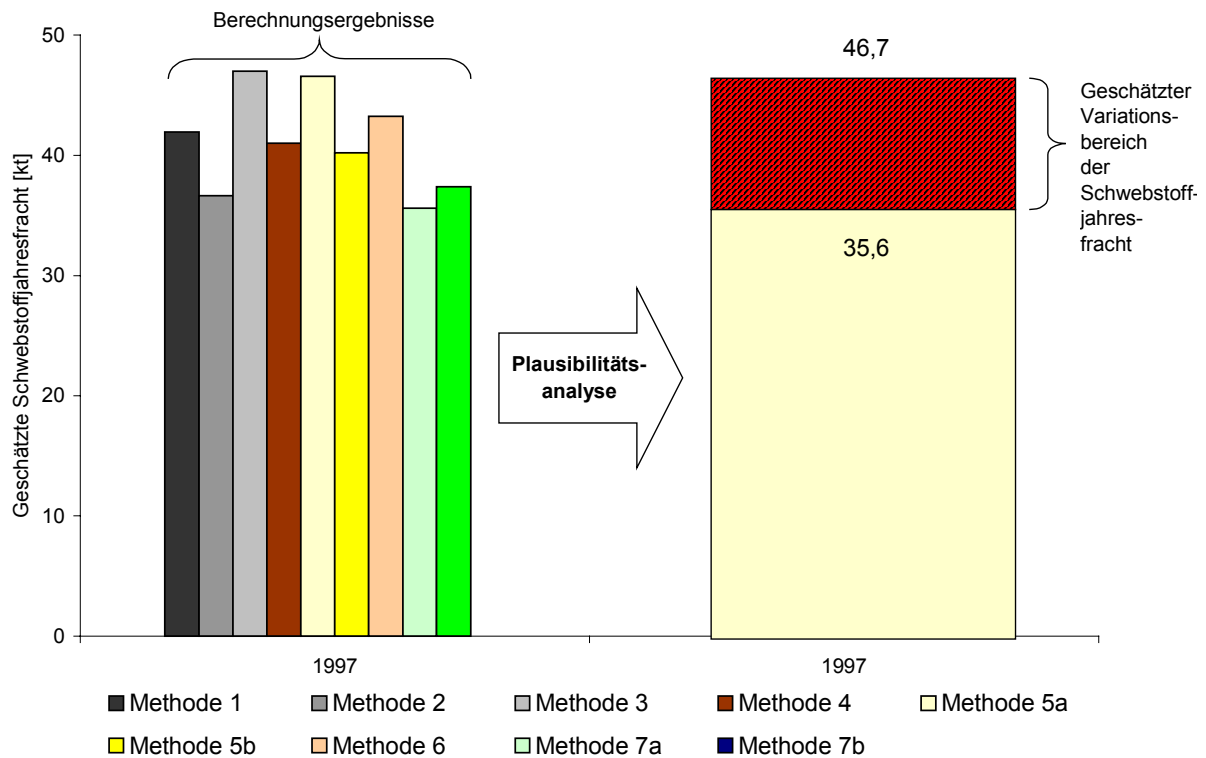


Abb. 5-6: Ablaufschema zur Bildung von Schätzintervallen der Schwebstoffjahresfracht auf der Grundlage von 9 Berechnungsmethoden (z. B. BfG-Ms Rathenow/Havel, 1997).

5.4 Sensitivitätsanalyse der angewandten Methoden zur Berechnung einer Schwebstoffjahresfracht

In einer Sensitivitätsanalyse wird die Ergebnisänderung in Relation zur Änderung der Eingangswerte ermittelt. Die Güte von Frachtberechnungen ist im wesentlichen von der Messfrequenz abhängig. Um Aufschluss über den Einfluss des Probenahmeintervalls auf die Qualität der angewandten Berechnungsmethoden zu erhalten, wurden diese auf ihre Empfindlichkeit gegenüber einer ausgedünnten Messreihe untersucht. Für die Sensitivitätsanalyse wurden zwei Schwebstoffmessreihen der BfG an den Messstellen Calbe-Grizehne/Saale und Rathenow/Havel herangezogen, da hier längere Zeiträume bei werktäglicher Messung der Konzentration und somit praktisch echte Schwebstoffjahresfrachten zur Verfügung standen. Die werktäglichen Messungen wurden wahllos in 14-tägige Messreihen umgewandelt und mittels der beschriebenen Methoden für die Berechnung von Jahresfrachten genutzt. Die Ergebnisse der Berechnung wurden mit den von der BfG ermittelten Schwebstoffjahresfrachten verglichen (Abb. 5-7).

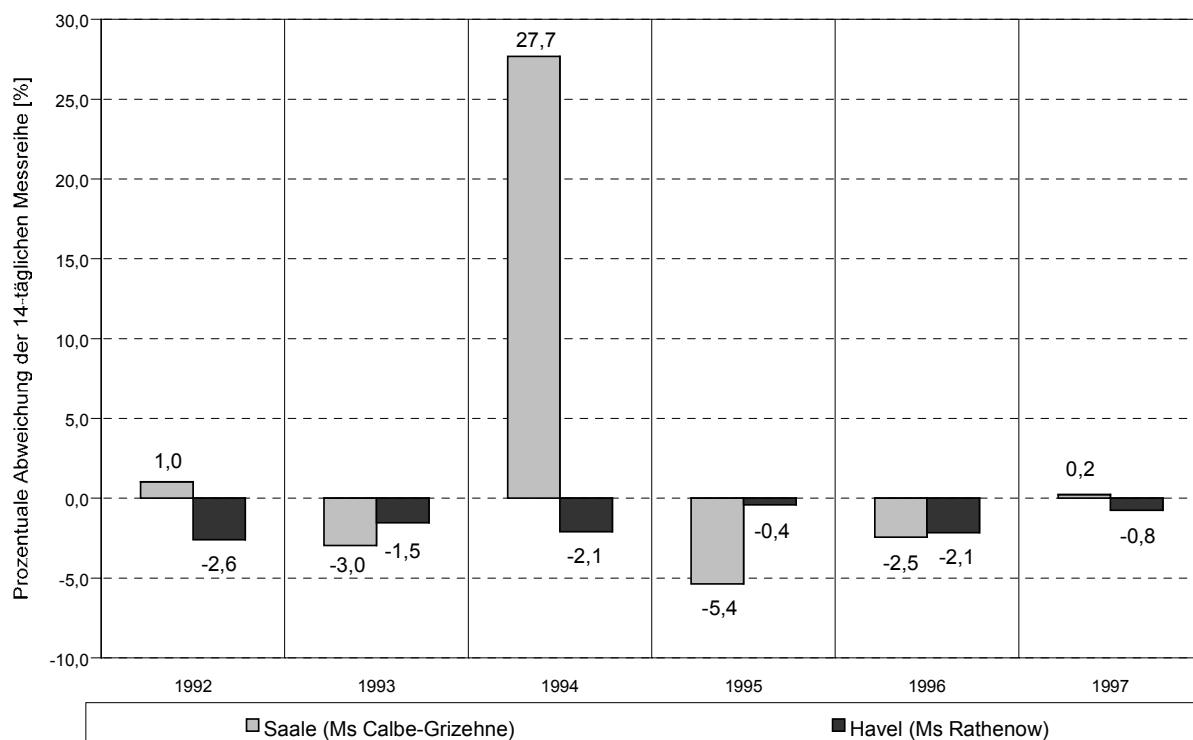


Abb. 5-7: Ergebnis der Sensitivitätsanalyse für die angewandten Methoden zur Berechnung der Schwebstoffjahresfracht in der prozentualen Abweichung des Mittelwertes der berechneten Fracht (14-tägige Messreihe) von der echten Schwebstoffjahresfracht anhand der BfG Messstellen Calbe-Grizehne/Saale und Rathenow/Havel für den Zeitraum von 1992 bis 1997.

Im Ergebnis der Sensitivitätsanalyse konnte festgestellt werden, dass

- die „echte“ Jahresfracht in allen untersuchten Fällen innerhalb des ermittelten Schätzintervalls lag,
- die Frachtberechnung durch die angewandten Methoden in der Regel zu einer leichten Unterschätzung der Schwebstoffjahresfracht in Abhängigkeit von der Abflusshöhe und dem untersuchten Flussgebiet führt (Abb. 5-7) und
- in abflussstarken Jahren (1995) und in Flussgebieten wie der Saale, deren Schwebstoffführung stärker abflussabhängig ist, Schwebstoffjahresfrachten durch die Berechnungsmethoden eher überschätzt werden und die angegebenen Schätzintervalle mit größeren Unsicherheiten behaftet und dadurch größer sind.

Der Fachausschuss „Gewässergüteuntersuchungen“ des DVWK hat sich eingehend mit der Fragestellung angepasster Probenahmestrategien und den Auswirkungen der Probenahmefrequenz auf die Qualität der bestimmten Jahresfracht beschäftigt (SCHREIBER & KRAUSS-KALWEIT, 1999). Eine Frachtberechnung mit der Methode 2 an einer 14-tägigen Chlorid-Messreihe (Einzelproben) führt demzufolge in weniger als der Hälfte der untersuchten Datenreihen zu einem Fehler der kleiner als 10 % ist. Überwiegend „sichere“ Frachtbestimmungen sind erst bei einer 7-tägigen Probenahmefrequenz möglich. Durch die

Anwendung von mathematisch-statistischen Hochrechnungsverfahren (Methoden 4-7) kann die Fehlerwahrscheinlichkeit für Frachtberechnungen jedoch eingegrenzt werden.

