1. Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Sedimentfracht und Geosysteme

Geosysteme werden entscheidend von Verwitterung, Erosion und dem abschließenden Transport der durch sie freigesetzten Stoffe gesteuert. Dabei werden nach einschlägigen Schätzungen im Jahr etwa $20*10^9$ t an Sedimenten, vorwiegend als Suspensionsfracht, in die Ozeane transportiert (WALLING & WEBB 1996). Bei einer mittleren Lagerungsdichte von etwa 1,3 g/cm^3 (MORRIS & FAN 1997, EINSELE & HINDERER 1997) entspricht dies 380 Mio. Güterwagons, die aneinander gereiht 96 mal um den Äquator reichen würden[1]. An vielen Mündungstrichtern werden so viele Schwebstoffe angeliefert, dass sich regelrechte Trübefahnen bilden, die weit in die Ozeane hinein reichen und sogar auf Satellitenbildern zu erkennen sind (Abb. 1). Die wirklichen Dimensionen sind jedoch noch wesentlich größer, da nur ein Bruchteil der mobilisierten Sedimente auch tatsächlich die Ozeane erreicht. Der weitaus größte Teil, Schätzungen gehen von 90% aus (SMITH et al. 2001, WALLING 1983, BOYCE 1975), wird innerhalb der Einzugsgebiete als Schwemmfächer, Flugsediment, oder Kolluvium abgelagert, lange bevor die Mündung erreicht ist. Nimmt man die genannten Werte als Grundlage, dann würden in einem durchschnittlichen Einzugsgebiet pro Jahr etwa 2000 t/km^2 an Sedimenten mobilisiert, von denen aber nur 200 t/km^2 die Weltmeere erreichen.

Der mittlere globale Wert von 200 t/km^2/a wird auf regionaler Ebene zum Teil beträchtlich über- oder unterschritten. In einigen Einzugsgebieten findet überhaupt kein Sedimentaustrag statt, in anderen werden dagegen Extremwerte von teilweise über 55000 t/km^2/a erreicht (MILLIMAN et al. 1995). Besonders deutlich zeigen sich die Unterschiede in einer Karte zur rezenten Verteilung der Sedimentfracht (MILLIMAN & MEADE 1983; Abb. 1). Danach werden in den Regionen des asiatisch-pazifischen Raums die weitaus größten Sedimentmassen mobilisiert. Hingegen gelangen im periglazialen Klimabereich oder in Afrika und Australien, von einigen Ausnahmen abgesehen, nur geringe Mengen in die Flüsse. Einen eher durchschnittlichen Sedimentaustrag, der zwischen beiden Extremen liegt, weisen die übrigen Geozonen auf, wie z.B. der südamerikanische Kontinent oder die USA.

[1] Berechnet unter Berücksichtigung eines häufig verwendeten Güterwagens der Deutschen Bundesbahn (Typ Fcs 084, offener Schüttgutwagen mit 40 m^3 Ladevolumen, vgl. www.stinnes-freight-logistics.de).

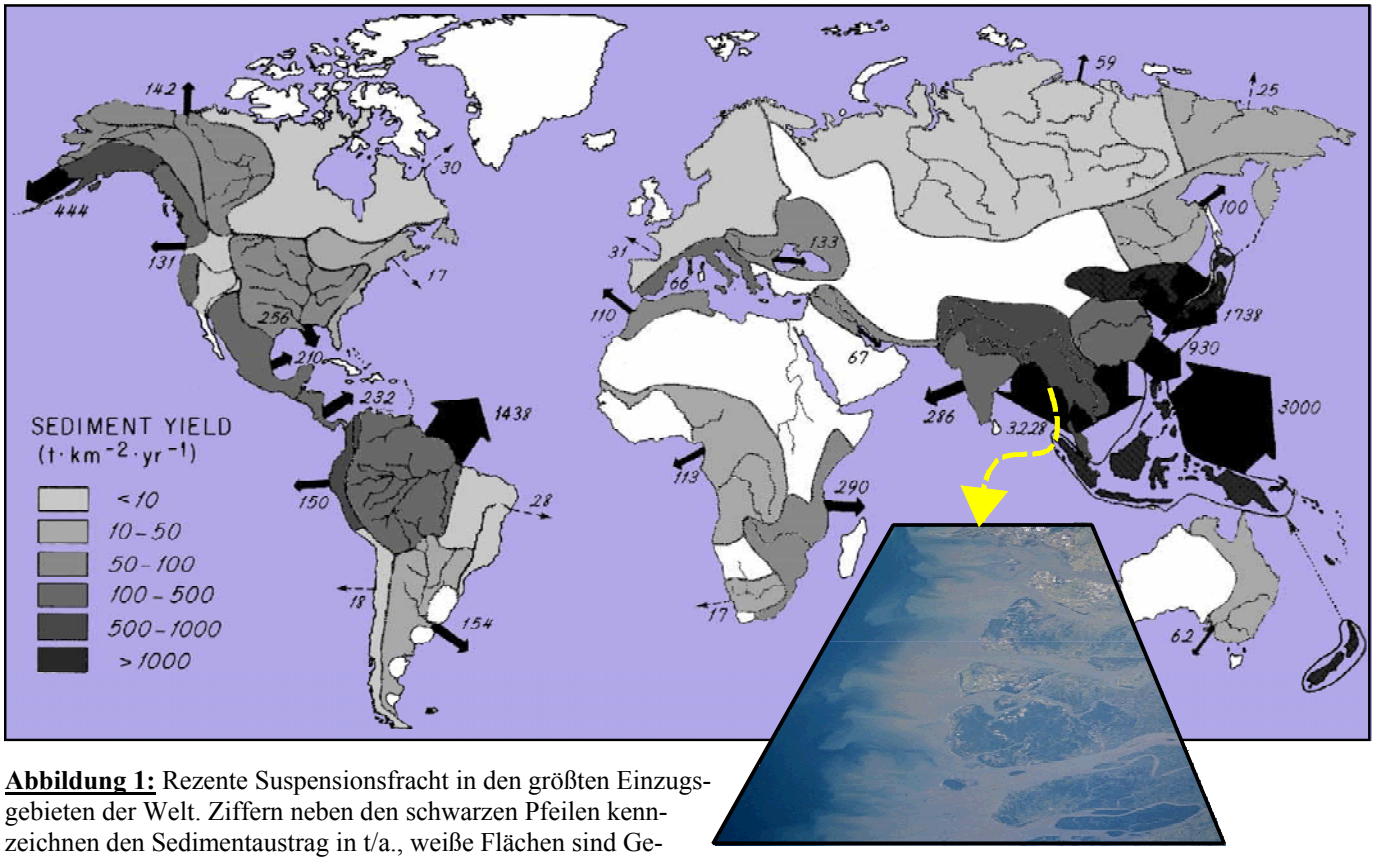

Abbildung 1: Rezente Suspensionsfracht in den größten Einzugsgebieten der Welt. Ziffern neben den schwarzen Pfeilen kennzeichnen den Sedimentaustrag in t/a., weiße Flächen sind Gebiete, aus denen keine Messwerte vorliegen (Quelle: MILLIMAN & MEADE 1983). Gekipptes Bild: Trübefahnen an der Mündung des Irrawaddy. Das Bild wurde im November 1997 außerhalb der Regenzeit aufgenommen. (Quelle: NASA Earth Observations Database, http://earth.jsc.nasa.gov/sseop/efs).

Abbildung 2: Sedimentfrachten in Abhängigkeit verschiedener geoökologischer Prozesse. Links: Zusammenfluss von Inn, Donau und Ilz bei Passau. Unterschiedliche Belastung aufgrund anderer Niederschläge, Böden, Landnutzung und Topographie in den Einzugsgebieten (Quelle: Scott Socolofsky, Universität Karlsruhe). Rechts: Trübefahnen des Moore Creek in Alabama nach einem Hurrikan im September 1998 (Quelle: James G. Carver, University of South Alabama, USA).

Die regionalen Unterschiede der Sedimentfracht haben ihre Ursache in der Art und Dynamik der landschaftsgestaltenden Prozesse. Diese führen zur Verwitterung, Erosion und zum Abtransport von Gesteins- und Bodenschichten (ALLEN 1997, AHNERT 1996, GOUDIE 1995, SUMMERFIELD 1991). Das an den Hängen mobilisierte Material gelangt über das Flusssystem in die Täler und wird dort abgelagert oder bis in die Ozeane transportiert. Neben festen Partikeln finden zusätzlich noch weitere Transfers statt: Wasser, Energie und im Wasser gelöste Substanzen. Weil auch diese Größen von ähnlichen Prozessen beeinflusst werden, lassen sich anhand der Sedimentpartikel als repräsentativem und leicht zu messendem Faktor wichtige Rückschlüsse ziehen, sowohl über die Geosysteme selbst, als auch über die dort aktiven Prozesse (WANIELISTA et al. 1996). So ist z.B. ein hoher Sedimentaustrag mit einem hohen Energieumsatz, einer starken Dynamik und einem relativ instabilen Geoökosystem verbunden. Eine niedrige Sedimentfracht ist hingegen ein Zeichen eines stabilen Geoökosystems mit geomorphologischen Prozessen geringer Intensität (Abb. 2).

Die Sedimentfracht erlaubt jedoch nicht nur Rückschlüsse über die landschaftsgestaltenden Prozesse in einem Einzugsgebiet, sie übt auch ihrerseits einen starken Einfluss auf flussabwärts liegende Geosysteme aus. Dies zeigt sich vor allem in größeren Flusssystemen, wo die Dynamik der Flussebenen und -deltas wesentlich durch die Prozesse in den Oberläufen gesteuert wird. Zu den dadurch verursachten Folgewirkungen gehören u.a.:

1. Die Ablagerung von Schwebstoffen in Reservoiren, Seen und Hafenbecken,
2. Veränderungen im Wärmehaushalt, der Wassertrübung und der Sauerstoffversorgung in den Oberflächengewässern und die dadurch ausgelösten Folgen für Flora und Fauna,
3. Veränderung der chemischen Zusammensetzung von Flusssedimenten und der Gewässer durch verlagerte chemischen Substanzen (Eutrophierung, Verschmutzung, etc.)

(vgl. u.a. STANLEY & DOYLE 2003, WÜEST 2003, WCD 2000, EINSELE & HINDERER 1997, MORRIS & FAN 1997, WALLING 1997a, WANIELISTA et al. 1996, CLARK 1985).

Zur in ökonomischer Hinsicht wohl gravierendsten Folgewirkung zählt die Sedimentation in Stauseen. Nach den Angaben von MAHMOOD (1987) gehen dadurch jedes Jahr etwa 1% des weltweiten Stauseevolumens verloren. Bezogen auf die ursprünglichen Kapazitäten entspricht dies einem Rückgang von bisher insgesamt 20% (MCCARTNEY et al. 2000). In einigen Reservoiren war die Ablagerung so stark, dass diese innerhalb kurzer Zeit vollständig mit Sedimenten verfüllt wurden (Abb. 3; vgl. WCD 2000, MORRIS & FAN 1997, USDA-NRCS 1983, DENDY &

CHAMPION 1978). Doch selbst vergleichsweise geringe Einträge führen noch zu spürbaren Nutzungseinschränkungen und hohen Kostenbelastungen, z.B. durch eine geringere Speicherkapazität, durch die Verschlämmung von Turbinen oder durch Maschinenschäden.

Betriebstechnische Maßnahmen vor Ort wie das Ausbaggern von Sedimenten, Spülungen oder ein verändertes Wassermanagement (ATKINSON 1996, MORRIS & FAN 1997, MAHMOOD 1987) lösen das Sedimentationsproblem von Stauseen nicht, da sie mit einem grundlegenden Zielkonflikt verbunden sind. Mit ihnen lässt sich zwar die Menge an Ablagerungen reduzieren, dies geschieht jedoch immer auf Kosten der Wasserverfügbarkeit. Sei es dass aktiv Wasser abgelassen werden muss (vor dem Ausbaggern oder im Zuge von Spülungen) oder durch betriebstechnische Maßnahmen weniger Wasser gespeichert werden kann (z.B. mit einem Sediment Routing, bei dem nur das weniger mit Sediment belastete Wasser einer zurückgehenden Flutwelle gespeichert wird; vgl. MORRIS & FAN 1997).

Abbildung 3: Verfüllung von Stauseen durch Sedimentablagerungen am Beispiel des Lake Accontink (Virginia, USA) (Quelle: USDA-NRCS 1983).

Im Endeffekt führen einmal mobilisierte Sedimentmassen fast immer zu einer Verminderung der Staudammkapazität, entweder auf eine direkte (= Sedimentation) oder mehr indirekte Weise (= vermindertes Wasservolumen durch vorbeugende Schutzmaßnahmen). Wenn dadurch in der Vegetationsperiode weniger Wasser für Bewässerungszwecke bereit steht, ist dies besonders kritisch. Unter den Bedingungen einer intensivierten Landwirtschaft ist die Wasserverfügbarkeit zum wichtigsten ertragslimitierenden Faktor geworden (AUERSWALD 1991). Ein Bewässerungsdefizit kann weder durch eine gesteigerte Düngung noch durch eine intensivere Bearbeitung kompensiert werden.

Eine ebenso gravierende Folgewirkung des Sedimenttransports sind Nährstoffe und toxisch wirksame Substanzen, die zusammen mit den Schwebstoffen oder als Lösungsfracht in die Täler eines Einzugsgebiets gelangen. Zu ihnen zählen Nitrate, Phosphate, Schwermetalle, Radionuklide, Pestizide und alle Arten von organischen Verbindungen. Während die Nährstoffe eine großflächige Eutrophierung verursachen, steigt mit den mobilisierten Schadstoffen die Gefahr einer Kontamination der grundwasserführenden Schichten. Das Risiko ist besonders hoch, wenn sich die mobilisierten Schadstoffe den Tiefenlinien des Reliefs sammeln und auf diese Weise die Konzentration pro Flächeneinheit merklich erhöht wird.

Die weitreichenden Folgen des Sedimenttransports, die hier nur beispielhaft angedeutet werden können, zeigen, dass eine Beschäftigung mit der Sedimentfracht und den Prozessen, die zu ihrer Mobilisierung führen, keine rein akademische Angelegenheit ist. Als integraler Bestandteil überregionaler Stoffkreisläufe hat der Sedimenttransport in einem Geoökosystem eine ebenso große Bedeutung, wie etwa der Wasser- oder Energietransfer. Eine herausragende Bedeutung hat die Sedimentfracht insbesondere für den historisch arbeitenden Geowissenschaftler, weil mit ihr rezente und vergangene Prozesse in den Einzugsgebieten bewertet und rekonstruiert werden können. Direkt gemessene Sedimentfrachten in Flüssen geben Auskunft über die rezent ablaufenden Prozesse. Sedimentablagerungen in den Senken und Tiefenlinien des Reliefs dokumentieren dagegen die vergangenen Prozesse.

Eine grundlegende Voraussetzung für Rückschlüsse der genannten Art ist die genaue Kenntnis der Zusammenhänge zwischen der Sedimentfracht und den sie beeinflussenden Prozessen. D.h. ein Modell, das die Höhe der Sedimentfracht als Folge der geoökologischen Prozesse in einem Einzugsgebiet quantitativ beschreibt. Mit einem solchen Modell wird die Berechnung der rezent mobilisierten Sedimentfracht ebenso möglich, wie die Rekonstruktion vergangener Prozesse anhand der in den Senken abgelagerten Sedimentfracht (DA-Systeme, vgl. Abb. 4). Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an weiteren praktischen Anwendungen, bei denen die Prognose der Sedimentfracht von Nutzen sein kann, wie z.B. zur:

- Erstellung flächendeckender und hochauflösender Karten zum Sedimenttransport. Bestehende Übersichtskarten wie etwa diejenige von MILLIMAN & MEADE (1983) (Abb.1) zeigen nur den Sedimentaustrag der größten Einzugsgebiete. Aussagen zur räumlichen Verteilung innerhalb können daraus nicht abgeleitet werden.

- Berechnung des Sedimenteintrags in die Ozeane und in lokale oder regionale Senken bzw. zu Prognosen über die Lebensdauer von Seen (EINSELE & HINDERER [1997, 1998], WALLING & WEBB 1996).
- Simulationen der Auswirkungen des globalen Wandels auf die Sedimentfracht und die davon betroffenen Gebiete (z.B. Prognosen zur Bedrohung von Korallenriffen aufgrund steigender Sedimenteinträge; vgl. MCLAUGHLIN et al. 2003).
- Abschätzung der ökologischen und ökonomischen Folgekosten des Sedimenteintrags in Seen, Reservoire, Hafenbecken und Auen (MORRIS & FAN 1997, MAHMOOD 1987).
- Erstellung von Konzepten zur Reduzierung der Sedimentfracht in einem Einzugsgebiet, z.B. durch die Auswahl geeigneter Schutzflächen, mit denen der Bodenaustrag am wirkungsvollsten reduziert werden kann (SCHÄUBLE 1999).

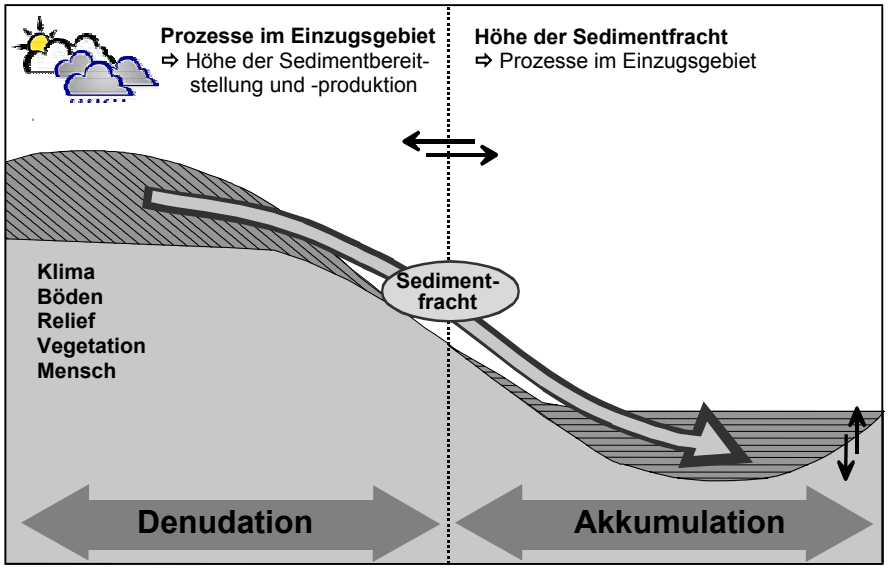

Abbildung 4: Sedimentfracht und geoökologische Eigenschaften in einem Einzugsgebiet. Denudations-Akkumulations-Systeme (DA-Systeme) nach EINSELE & HINDERER (2001, 1998).

Angesichts des hohen Nutzwertes in einer Zeit großer globaler Veränderungen sind genaue Modelle zur Simulation der Sedimentfracht bzw. zur Rekonstruktion der sie bedingenden Prozesse notwendiger denn je. Dies umso mehr, als die negativen Folgen des Sedimenttransports kaum mehr vor Ort bewältigt werden können. Wegen der enormen Reichweite und Dimension der Sedimentmassen müssen vorbeugende Schutzmaßnahmen immer im gesamten Einzugsgebiet und unter Berücksichtigung aller dort vorherrschenden Prozesse ergriffen werden.

1.2 Fragestellung und Inhalt

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung eines neuartigen GIS-gestützten Modells zur Simulation der fluviatilen Sedimentfracht im überregionalen Skalenbereich. Es sollte die Möglichkeit bieten, den Sedimentaustrag allein anhand der grundlegenden geoökologischen Eigenschaften in einem Einzugsgebiet (Klima, Relief, Boden, Vegetation; Abb. 4) hinreichend genau zu bestimmen.

Überregionale Sedimentfrachtmodelle gibt es bereits in großer Zahl, wie z.B. globalen Gleichungen von FOURNIER (1960), AHNERT (1970), PINET & SOURIAU (1988), MILLIMAN & SYVITSKI (1992), LUDWIG & PROBST (1998), HOVIUS (1998) oder HARRISON (2000). Sie basieren auf einfachen Regressionsformeln mit denen die Sedimentfracht eines Einzugsgebiets anhand weniger Schlüsselvariablen berechnet wird. Im Gegensatz zu speziellen Abtrags- und Transportmodellen wie USLE, SWAT, WEPP oder EUROSEM berücksichtigen sie nicht nur die denudativ-fluviatil wirksamen Prozesse, sondern simulieren den gesamten Sedimentaustrag, u.a. auch diejenigen Partikel, die durch Massenverlagerungen oder glazialen Transport in die Flüsse gelangen. Als empirische und überregionale Modellformeln sind sie immer dort von Vorteil, wo die auf der lokalen Skalenebene angesiedelten Abtrags- und Transportmodelle unzureichend sind, wie z.B.:

- für die Berechnung von Bodenabtrag und Sedimentfracht in großen überregionalen Einzugsgebieten anhand leicht zu ermittelnder Schlüsselparameter,
- zur Ermittlung des Sedimenteintrags in Stausseen, geschlossene Becken und Ozeane,
- zur Rekonstruktion von Paläo-Sedimentflüssen anhand abgelagerter Beckensedimente,

Die grundsätzlichen Anwendungsmöglichkeiten der globalen Sedimentfrachtmodelle lassen sich zur Zeit jedoch nicht uneingeschränkt nutzen. Dies liegt an ihrer mangelnden Genauigkeit und der Tatsache, dass sie alle aus Regressionsanalysen entstanden sind, bei denen nur die mittleren Eigenschaften ganzer Einzugsgebiete verwendet wurden, wie etwa der monatliche Niederschlag oder die durchschnittlichen Höhenunterschiede. Keine Berücksichtigung fanden das zeitlich-räumliche Zusammenspiel der Steuerfaktoren oder anthropogene Eingriffe in das Flusssystem, z.B. wenn ein starker und örtlich begrenzter Niederschlag auf einen ausgetrockneten und unbewachsenen Boden fällt (= zeitlich-räumliches Zusammenspiel) oder ein Staudamm einen Großteil der transportierten Fracht zurückhält (= anthropogene Eingriffe). Werden diese Zusammen-

hänge – wie bei allen existierenden globalen Modellgleichungen – nicht beachtet, dann bleiben wesentliche Mechanismen des Bodenabtrags und des Sedimenttransports unberücksichtigt. Als Folge werden Sedimentfrachten simuliert, die stark von den wirklich auftretenden Werten abweichen, sobald eine Anwendung außerhalb des Modelldatensatzes erfolgt.

Zur Behebung dieser Missstände wurden im Verlauf der vorliegenden Arbeit die grundlegenden methodischen Probleme der globalen Sedimentfrachtmodelle analysiert und mögliche Alternativen entwickelt. Dabei entstanden eine ganze Reihe an Einzelkonzepten und Strategien, die in ein umfassendes GIS-gestütztes Modellkonzept eingebracht wurden. Dieses wird im Folgenden als *AGISY (Advanced GIS-Based Sediment Yield Model)* bezeichnet und beschreibt eine Vorgehensweise, bei der ein – durch Regressionsanalysen erstelltes – Sedimentfrachtmodell in mehreren Schritten so lange verbessert wird, bis eine optimale Übereinstimmung zwischen der Modellgleichung und den realen Sedimentfrachten hergestellt ist. Im Gegensatz zur Methodik der existierenden Modellgleichungen können hierbei sowohl das zeitlich-räumliche Zusammenwirken als auch die anthropogenen Eingriffe in einem Flusssystem berücksichtigt werden. Die Umsetzung von AGISY erfolgt durch das im Rahmen der Arbeit erstellte GIS-gestützte Auswertungsprogramm STools (Sediment Yield Tools). STools wurde in den Programmiersprachen C/C++ und Avenue geschrieben und stellt Funktionen zur Verfügung, die für Analysen zur Sedimentfracht und zur Umsetzung von AGISY notwendig sind. Dazu gehören Routinen zur iterativen Verbesserung einer Modellformel und Routinen, mit denen sich das Rückhaltevermögen von Staudämmen berücksichtigen lässt.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der neuen Modellkonzeption wurden zwei Geographische Informationssysteme[2] aufgebaut, ein *globales GIS* mit Mess- und Geodaten aus allen Kontinenten, und ein *regionales GIS* mit spezifischem Datenmaterial vom Gebiet der USA. Beide Informationssysteme dienten dazu,

- das neu entwickelte Modellkonzept AGISY praktisch umzusetzen,
- eine verlässliche Modellformel zur Simulation der Sedimentfracht zu erstellen, und
- die Aussagekraft der bisherigen globalen Modellgleichungen anhand eines einheitlichen Datensatzes zu überprüfen.

[2] Der Begriff Geographisches Informationssystem (GIS) kann auf unterschiedliche Weise gebraucht werden, zur Bezeichnung eines Computerprogramms oder einer interaktiven Verbindung zwischen Hardware, Software und den dazugehörenden Daten. In der vorliegenden Arbeit wird mit dem Begriff GIS allein immer nur eine Software verstanden. Tritt der Begriff GIS in Kombination mit einem Adjektiv auf, dann ist damit ein Informationssystem gemeint, also eine Kombination von Software und Datenmaterial (z.B. globales GIS = globale Geodaten, gespeichert in einem Projekt mit verschiedenen Analyseroutinen), vgl. dazu ZEILER 1999, BILL 1996, BILL & FRITSCH 1991, STAR & ESTES 1990.

Der parallele Aufbau zweier Geoinformationssysteme ergab sich aus dem Umstand, dass die neue Modellkonzeption AGISY zur Zeit noch nicht auf globaler Ebene umgesetzt werden kann. Dies liegt an der mangelnden Verfügbarkeit wichtiger Geodaten. So fehlen auf der einen Seite spezielle Geodaten zur Charakterisierung der Einzugsgebiete, z.B. flächendeckende Zeitreihen zum globalen Klima oder Daten über das Rückhaltevermögen von Stauseen. Auf der anderen Seite sind die im globalen Maßstab verfügbaren Messdaten zur Sedimentfracht zum größten Teil unzuverlässig (vgl. Kap. 2.3). Die weltweit einzige Region in der AGISY mit den zur Zeit verfügbaren Mitteln umgesetzt werden kann sind die Vereinigten Staaten von Amerika. Nur in den USA gibt es öffentlich zugängliche Sedimentfrachtdatenbanken, spezielle Geodaten zur Charakterisierung der Einzugsgebiete (z.B. flächendeckende Zeitreihen zur Niederschlagsintensität der letzten 100 Jahre) und hydrologische Datensätze, mit denen sich das Sedimentrückhaltevermögen von Stauseen und Dämmen berechnen lässt. In allen übrigen Ländern fehlen diese Datensätze oder sie sind öffentlich unzugänglich bzw. nicht dokumentiert[3]. Um dennoch eine global anwendbare Modellformel zu erstellen und die Aussagekraft der bestehenden globalen Sedimentfrachtformeln umfassend zu bewerten, wurden daher zwei Ansätze parallel verfolgt:

- In einer weltweiten Auswertung wurden die global wirksamen Faktoren ermittelt und eine neue Modellformel zur globalen Simulation der Sedimentfracht erstellt. Die Berechnung erfolgte nach Art der bestehenden globalen Modelle, d.h. über eine multiple Regressionsanalyse und ohne die erweiterten Möglichkeiten von AGISY.
- In einer regionalen Auswertung wurde die neue Modellkonzeption AGISY für das Gebiet der USA umgesetzt. Neben einer grundsätzlichen Anwendbarkeitsstudie konnten stark verbesserte regionale Modellformeln erstellt werden. Diese sind US-spezifisch und somit nur eingeschränkt auf andere Regionen übertragbar, sie liefern jedoch wichtige Hinweise über die mit AGISY erreichbare Genauigkeit.

Vom inhaltlichen Aufbau ausgehend gliedert sich die vorliegende Arbeit in einen *theoretischen Teil* (Kapitel 2-3), in dem die grundlegenden Methodiken und Modelle zur Simulation der Sedimentfracht beschrieben werden, und einen *analytischen Teil* (Kapitel 4-6), in dem sie mit einem globalen und regionalen GIS umgesetzt und auf ihre Zuverlässigkeit hin bewertet werden.

[3] In den USA sorgt der sogenannte „Freedom of Information Act“ für eine optimale Zugänglichkeit von Geodaten. Danach müssen einmal mit Steuergeldern erstellte Daten öffentlich gemacht und kostenneutral weitergegeben werden, d.h. es dürfen nur die Kosten verlangt werden, welche die Weitergabe der Daten verursacht (z.B. der Preis für eine CD-ROM). Als praktische Konsequenz sind in den USA alle wichtigen Geodaten in digitaler Form verfügbar, im Gegensatz zu anderen Ländern. Informationen zum „Freedom of Information Act“ finden sich unter: http://foia.fbi.gov.

- Kapitel 2 befasst sich mit den prinzipiellen Möglichkeiten zur Simulation der Sedimentfracht im überregionalen Maßstabsbereich. Neben einer Skizzierung der wichtigsten Methoden (Kapitel 2.1-2.2) werden aktuelle Modellgleichungen einer grundsätzlichen Kritik unterzogen. Es werden die wichtigsten Mängel analysiert, welche mit AGISY Schritt für Schritt überwunden werden (Kapitel 2.3).
- Darauf aufbauend beschreibt Kapitel 3 die Grundzüge des neu entwickelten Modellkonzepts AGISY, das je nach Datenlage in einer reduzierten oder erweiterten Form umgesetzt werden kann. Bei der reduzierten Version wird nur das räumliche Zusammenspiel der Steuerfaktoren berücksichtigt (Kapitel 3.1), bei der erweiterten Form auch die Einflüsse von Staudämmen und des zeitlichen Wandels (Kapitel 3.2-3.4). In der vorliegenden Arbeit konnte AGISY aufgrund der Datenlage nur in den der USA vollständig umgesetzt werden.
- In Kapitel 4 wiederum werden alle Daten und Parameter beschrieben, die bei den nachfolgenden GIS-gestützten Analysen Verwendung finden, Messdaten zur Sedimentfracht (Kapitel 4.1), Geodaten zur Charakterisierung der Einzugsgebiete (Kapitel 4.2) und die daraus abgeleiteten Einflussparameter (Kapitel 4.3).
- Die Ergebnisse aller Auswertungen sind in Kapitel 5 dargestellt, dem analytischen Hauptteil der vorliegenden Arbeit. Neben allgemeinen Erkenntnissen, die bei zukünftigen Sedimentfrachtmodellen beachtet werden müssen (Kapitel 5.1), liegt das Augenmerk auf den neu berechneten Modellgleichungen (Kapitel 5.2-5.4). Diese finden sich nach Skalenebene getrennt in Kapitel 5.3 (Globale Modelle, erstellt ohne AGISY) bzw. in Kapitel 5.4 wieder (Regionale Modelle der USA, erstellt mit AGISY und STools).
- Der analytische Teil endet in Kapitel 6 mit einer kritischen Bewertung der gewonnenen Simulationsformeln und ihrer Methodik (Kapitel 6.1). Ergänzend wird eine Reihe praktischer Anwendungen vorgestellt, die den Nutzen von Sedimentfrachtmodellen illustrieren (Kapitel 6.2).
- Den Schlusspunkt der vorliegenden Arbeit bildet Kapitel 7 mit einer kurzen Zusammenfassung unter Hinweis auf noch bestehende Forschungslücken.

Weitergehende technische Erläuterungen und Dokumentationen zum verwendeten Datenmaterial finden sich im Anhang. Zusätzlich sind auf einer beiliegenden CD-ROM mehrere Beispieldaten, Dokumentationen zu technischen Aspekten und die wichtigsten Programmroutinen enthalten. Zusammen mit dem ebenfalls beigefügten Programm STools können so Methodik und Resultate selbst überprüft und angewandt werden.