ELSA
Schadstoffsanierung Elbsedimente

ELANA
elbbalanzen.de
Boden
Wasser
Monitoring

HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

Sedimentrückhalt in den Elbauen

Studie zur Erarbeitung des Sedimentrückhaltes in Auen als Teilfunktion des Sedimenttransportgeschehens an der Elbe

Elbehochwasser Juni 2013
Foto: André Künzelmann, UFZ

Frank Krüger, Mathias Scholz, Madlen Kreibich & Martina Baborowski

Abschlussbericht, Februar 2014

Sedimentrückhalt in den Elbauen

Studie zur Erarbeitung des Sedimentrückhaltes in Auen als Teilfunktion des Sedimenttransportgeschehens an der Elbe

Abschlussbericht, Februar 2014

Gefördert im Rahmen von „Schadstoffsanierung Elbesedimente – ELSA“ von der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt in Hamburg

Bearbeitung:
ELANA Boden Wasser Monitoring
Frank Krüger
Zehrener Dorfstr. 22
39619 Arendsee
frank.krueger@elbtalanalyse.de

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
Mathias Scholz, Madlen Kreibich
Department Naturschutzforschung
Permoster Str. 15
04318 Leipzig
mathias.scholz@ufz.de

Martina Baborowski
Department Fließgewässerökologie
Brückstraße 3a
39114 Magdeburg
martina.baborowski@ufz.de

Inhalt

1 Einleitung **1**
2 Kenntnisstand **3**
2.1 Methoden und Ergebnisse zur Untersuchung des Sedimenteintrags 3
2.1.1 Summarische Methoden 3
2.1.2 Ereignisbezogene Methoden 4
2.1.3 Befunde zum Sedimentrückhalt aus Schwebstoffuntersuchungen 8
3 Ziele der Studie **9**
4 Arbeitsschritte/Methodik **10**
5 Ergebnisse **12**
5.1 Überschwemmungsflächen und ihre Landnutzungen entlang der Elbe von der Deutsch-Tschechischen Grenze bis zum Wehr bei Geesthacht 12
5.2 Überflutungshäufigkeiten 14
5.2.1 Überflutungshäufigkeiten von Vorländern 14
5.2.2 Überflutungshäufigkeiten von Vegetations-/Nutzungseinheiten 17
5.3 Zusammenfassung und Interpretation der Sedimenteinträge aus Einzelfallstudien 18
5.3.1 Datengrundlage 18
5.3.2 Eigenschaften von Hochflutsedimenten 19
5.3.3 Steuergrößen des Sedimenteintrages in die Auen 21
5.3.3.1 Zeit, Sedimentvorräte 21
5.3.3.2 Abfluss 22
5.3.3.3 Höhenlage, Überflutungsdauer 25
5.3.3.4 Nutzung 28
5.3.3.5 Morphologische Exposition 28
5.3.3.6 Entfernung 29
5.4 Großräumiger Sedimentrückhalt 32
5.4.1 Auswertungen von Sedimentfallenuntersuchungen 32
5.4.2 Auswertungen von Schwebstofffrachtmessungen 35
5.5 Schadstoffrückhalt **39**
5.6 Defizitanalyse 44
6 Zusammenfassung **45**
7 Empfehlungen für ein Sedimentmanagement **47**
8 Summery **48**
9 Literatur **49**
9 Danksagung **52**

Anhang

Anhang 1 Landnutzungen....53
Anhang 2 Betroffenheit von Landnutzungseinheiten durch spezifische Abflusssituationen in ausgewählten Flussabschnitten....57
Anhang 3 Abflussspez. Betroffenheit von ausgewählten Überschwemmungs-bereichen..61
Anhang 4 Schadstoffretention bei ausgewählten Hochwasserereignissen 65
Anhang 5 Ergebnisse des Extremhochwassers 2013 67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verhältnis ausgewählter Hoch-, Niedrig- und Mittelwassersituationen- zu Jahresfrachten in Pirna. In schwarz: Median-Hochwasser im Winter/Frühjahr sowie Median-Niedrigwasser, Daten BfG. 2

Abbildung 2: Verhältnis ausgewählter Hoch-, Niedrig- und Mittelwassersituationen- zu Jahresfrachten in Calbe/Rosenburg. In schwarz: Median-Hochwasser im Winter/Frühjahr sowie Median-Niedrigwasser in Calbe/Rosenburg, Daten BfG. In weiß: Abschätzung der Schwebstoffverhältnisse auf der Basis von Trübungsdaten, in gelb: Abschätzung der Schwebstofffrachten nach ARGE-Elbe. 2

Abbildung 3: Verhältnis ausgewählter Hoch-, Niedrig- und Mittelwassersituationen- zu Jahresfrachten in Wittenberge. In schwarz: Median-Hochwasser im Winter/Frühjahr sowie Median-Niedrigwasser in Calbe/Rosenburg, Daten BfG. 3

Abbildung 4: Modellierter Sedimenteintrag zwischen Elbe-Kilometern 436-440 (Büttner et. al. 2006)....6

Abbildung 5: Kunstrasen-Sedimentfallen im Elbevorland. 7

Abbildung 6: Überschwemmungsflächen entlang der deutschen, freifließenden Elbe, nach Büchele et al. (2002)....13

Abbildung 7: Landnutzungen der rezenten Auen der deutschen freifließenden Elbe bis Geesthacht auf Basis der DLM 25-Daten. 14

Abbildung 8: Wasserspiegellagen charakteristischer Abflusssituationen an der unteren Mittelelbe zwischen Elbe-km 510 und 520, Fläche der rezenten Aue: 705 ha, berechnet mit FLYS. 15

Abbildung 9: Überflutungsflächen und ihre Betroffenheit bei doppeltem Mittelwasserabfluss sowie bei mittlerem Hochwasserabfluss in ausgewählten Gewässerabschnitten entlang der deutschen freifließenden Elbe. 16

Abbildung 10: Ausuferungshöhen entlang der mittleren Elbe, nach Büchele et al. (2002). ...16

Abbildung 11: Lage der Untersuchungsflächen für die ereignisbezogene Ermittlung von Sedimenteinträgen an der Elbe. 19

Abbildung 12: Sedimenteinträge an der unteren Mittelelbe (Daten: Krüger und Urban 2009), FHW Frühjahrshochwasser, WHW Winterhochwasser. 22

Abbildung 13: Sedimenteinträge am Standort Schönberg Deich zwischen 1997 und 2011, Daten UFZ, es wurden nur Messjahre berücksichtigt, bei denen mindestens drei Einzelbefunde vorlagen. 23

Abbildung 14: Mediane Sedimenteinträge am Standort Schönberg Deich zwischen 1997 und 2011 in Abhängigkeit des Abflusses, es wurden nur Messjahre berücksichtigt, bei denen mindestens drei Einzelbefunde vorlagen. 24

Abbildung 15: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der mittleren Mittelelbe vom Abfluss (Daten UFZ). 24

Abbildung 16: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der unteren Mittelelbe vom Abfluss (Daten UFZ, Leuphana). 25

Abbildung 17: Sedimenteinträge am Standort Schönberg Deich während des Hochwassers 98/99 in Abhängigkeit der Geländehöhe. 26

Abbildung 18: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der mittleren Mittelelbe von der Geländehöhe (Daten UFZ). 27

Abbildung 19: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der unteren Mittelelbe von der Geländehöhe (Daten UFZ, Leuphana). 27

Abbildung 20: Sedimenteinträge bei unterschiedlichen Landnutzungen (Daten UFZ, Leuphana). 28

Abbildung 21: Sedimenteinträge bei unterschiedlichen Landnutzungen (Daten UFZ, Leuphana, Krüger, 2012). 29

Abbildung 22: Sedimenteinträge bei unterschiedlichen Landnutzungen seit 2003, links mittlere Mittelelbe, rechts untere Mittelelbe (Daten UFZ, Leuphana, Krüger, 2012). 29

Abbildung 23: Sedimenteinträge in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe im Untersuchungsgebiet Schönberg Deich bei Elbe km 435-440 (Krüger, 2001). 30

Abbildung 24: Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe an der mittleren und unteren Mittelelbe (Daten UFZ, Leuphana). 31

Abbildung 25: Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe an der mittleren Mittelelbe bei unterschiedlichen Abflusssituationen und bereinigt um den Sandanteil, links ca, 2MQ, rechts ca. MHQ & Extremhochwässer (Daten UFZ). 31

Abbildung 26: Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe an der mittleren Mittelelbe bei unterschiedlichen Abflusssituationen und bereinigt um den Sandanteil, links ca, 2MQ, rechts ca. MHQ & Extremhochwässer (Daten UFZ, Leuphana). 32

Abbildung 27: Identifikation elbnaher und elbferner Bereiche zur Berechnung des großräumigen Sedimentrückhaltes. 33

Abbildung 28: Kalkulierte Sedimenteinträge entlang der Elbe bei unterschiedlichen, ausgewählten Abflusssituationen. 35

Abbildung 29: Schwebstoff-Jahresfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG. 37

Abbildung 30: Schwebstoff-Hochwasserfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG. 37

Abbildung 31: Anteil einzelne Hochwasserfrachten an den Jahresfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG. 38

Abbildung 32: Anteil aufsummierter Hochwasserfrachten an den Jahresfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG. 38

Abbildung 33: Kalkulierter Sedimentrückhalt auf Grundlage von täglich ermittelten Sedimentfrachten der BfG. 39

Abbildung 34: Anteile der Sedimentretetion an der Hochwasserfracht, links auf Basis der fließzeitgerechten Differenzbildung, rechts.auf Basis ereignisbezogener Sedimenteintragsmessungen. 39

Abbildung 35: Kalkulierte PCB (6)-Einträge bei ausgewählten Hochwassersituationen, 2004,2005 und 2006. 43

Abbildung 36: Kalkulierte Quecksilbereinträge bei ausgewählten Hochwassersituationen, 2004,2005 und 2006. 43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kumulierte Frachten in Roßlau, Dessau, Rosenburg und Magdeburg während des Frühjahrshochwassers 2006. 5

Tabelle 2: Einzelfallstudien, Institutionen, Autoren, die mit Hilfe von Kunstrasen-Sedimentfallen Einträge bzw. deren Nähr- und Schadstoffgehalte, teilweise auch Toxizität, in die Auen der Elbe oder in ihren Süßwasserwatten analysiert haben (ergänzt aus Krüger & Urban, 2009) 7

Tabelle 3: Flussabschnitte der freifließenden deutschen Elbe und ihre Überschwemmungsflächen. 12

Tabelle 4: Landnutzungen der Überschwemmungsflächen ausgewählter Flussabschnitte der freifließenden deutschen Elbe. 13

Tabelle 5: Abflussspezifische Betroffenheiten von Landnutzungseinheiten der Überschwemmungsflächen der freifließenden deutschen Elbe. 17

Tabelle 6: Datenbasierte Parameter zur Berechnung des großmaßstäbigen Sedimentrückhaltes. 33

Tabelle 7: Abschätzung des hochwassergebundenen Schwermetall- und Arsenrückhalts in den Auen entlang der deutschen freifließenden Elbe.In fett: ereignisabhängige Sedimentretention > als Hochwasserfracht 40

Tabelle 8: Abschätzung des hochwassergebundenen Rückhaltes organischer Schadstoffe in den Auen entlang der deutschen freifließenden Elbe. In fett: ereignisabhängige Sedimentretention > als Hochwasserfracht 42

1 Einleitung

Die IKSE und die nationalen Elbe-Organisationen beschreiten mit der Erarbeitung eines Sedimentmanagementkonzeptes für die Elbe auch im internationalen Vergleich Neuland (IKSE-Kom24_11-5-1 Anl 01 Meilenstein 1). Extreme Komplexität ist durch die Größe und Internationalität des Elbeflussgebietes sowie durch die vielfältigen Nutzungsanforderungen bei gleichzeitig hoher ökologischer Bedeutung gegeben. Dazu kommen gravierende historische Belastungen durch Bergbau, Industrie und Kommunen, die Berücksichtigung von vielfältigen Binnen- und Meeresaspekten bezüglich der Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie.

Voraussetzung für das angestrebte Sedimentmanagementkonzept ist ein fundiertes Systemverständnis und die Kenntnis der für den Sedimentstatus und –haushalt maßgeblichen Prozesse in den Teilen des Flussgebietes, die im Kontext eines überregionalen Sedimentmanagements relevant sind (IKSE-Kom24_11-5-1 Anl 01 Meilenstein 1). Dabei lassen sich die überregionalen Risiken durch partikuläre und/oder gelöste Schadstoffe hauptsächlich dem tschechischen Teil des Elbegebietes, der Mulde und der Saale zuordnen (FGG Hintergrundpapier Schadstoffe 2009).

In diesem Zusammenhang war die Bedeutung von Hochwasserereignissen für den Sediment- und Schadstoffhaushalt an der Elbe in der Vergangenheit bereits mehrfach Gegenstand der Diskussion. Unter anderem aus dem „FGG Hintergrundpapier Schadstoffe 2009“ geht hervor, dass **Schadstofffrachten den Schlüssel** zum Verständnis des Wechselverhältnisses zwischen den Gebieten, für die ein Risiko besteht, und jenen, von denen das Risiko ausgeht, bilden. Gerade die **Schwebstoffdynamik ist geprägt von den hydrologischen Ereignissen** im Einzugsgebiet. Es ist bekannt, dass insbesondere Hochwasserereignisse die Mobilisierung von (schadstoffbeladenen) Sedimenten begründen. Dabei zeigten verschiedene abschätzende Untersuchungen (siehe folgende Abbildungen 1-3), dass die Schwebstofffrachten von Hochwasserereignissen – **nicht nur von extremen** Hochwässern- einen beträchtlichen Teil der Jahresfrachten ausmachen können. Des Weiteren belegen einzelne ereignisbezogene Untersuchungen, dass während einzelner Hochwasserphasen sehr viel Schwebstoffe/Sedimente/Schadstoffe in den Auen, die ihrerseits vielfältige Funktionen innehaben, zurückgehalten werden.

Die flussbegleitenden Auen sind sowohl Lebensraum für besonders artenreiche und spezialisierte Tier- und Pflanzengemeinschaften als auch Produktionsstätte für Lebens- und Futtermittel. Darüber hinaus sind die rezenten Auen von Bedeutung für den Hochwasserschutz und Sedimentrückhalt. In Abhängigkeit ihrer Größe, Ausprägung und Gestalt sowie ihres Bewuchses können die Auen den Hochwasserabfluss beschleunigen oder vermindern und in gleicher Weise den Sedimenttransport beeinflussen. Daraus wird deutlich, dass für ein umfassendes Systemverständnis der Schwebstofftransport im Gewässer als auch der Sedimenteintrag in die Auen betrachtet werden muss. Insbesondere durch den Sedimenteintrag in Auen wird deutlich, dass Fluss und Aue einander beeinflussende und einander bedingende Teile eines Ökosystems darstellen.

Abbildung 1: Verhältnis ausgewählter Hoch-, Niedrig- und Mittelwassersituationen- zu Jahresfrachten in Pirna. In schwarz: Median-Hochwasser im Winter/Frühjahr sowie Median-Niedrigwasser, Daten BfG.

Abbildung 2: Verhältnis ausgewählter Hoch-, Niedrig- und Mittelwassersituationen- zu Jahresfrachten in Calbe/Rosenburg. In schwarz: Median-Hochwasser im Winter/Frühjahr sowie Median-Niedrigwasser in Calbe/Rosenburg, Daten BfG. In weiß: Abschätzung der Schwebstoffverhältnisse auf der Basis von Trübungsdaten, in gelb: Abschätzung der Schwebstofffrachten nach ARGE-Elbe.

Abbildung 3: Verhältnis ausgewählter Hoch-, Niedrig- und Mittelwassersituationen- zu Jahresfrachten in Wittenberge. In schwarz: Median-Hochwasser im Winter/Frühjahr sowie Median-Niedrigwasser in Calbe/Rosenburg, Daten BfG.

2 Kenntnisstand

2.1 Methoden und Ergebnisse zur Untersuchung des Sedimenteintrags

2.1.1 Summarische Methoden

Der hochwassergebundene Sedimenteintrag in Auen kann nach Rommel (2005) anhand summarischer und ereignisbezogener Methoden ermittelt werden. In Anlehnung daran haben Krüger et al. 2006 Methoden und Ergebnisse zur Ermittlung des räumlich und zeitlich auf unterschiedlichen Skalenebenen variablen Sedimenteintrags vorgestellt:

Langzeitliche Prozesse, die die kumulierten Sedimenteinträge von mehreren Jahrhunderten betrachten, sind z.B. Geländehöhenvergleiche zwischen aktiver und rezent nicht mehr überfluteter Auenbereiche. Seit der Eindeichung haben sich im rechtselbischen Bereich zwischen Elbe-Kilometer 472 und 485 durchschnittliche Geländehöhenunterschiede von 0,75 m ergeben, die sich unter Annahme einer durchschnittlichen Bodendichte von 1,5 g/cm^3 durch jährliche Sedimenteinträge von 1,5 kg/m^2 erklären lassen.

Rommel (2005) nutze Geländehöhenvergleiche von Querprofilen der Jahre 1902 und 1993 um z. B. zwischen Elbe-Kilometern 505 und 525 mittelfristige Höhenänderungen festzustellen. Durchschnittliche Veränderungen betrugen 16 cm, woraus mittlere Sedimenteinträge von 1,7 kg/m^2 bei einer angenommenen Oberbodendichte von 1,0 g/cm^3 resultieren. Die stärkste Sedimentation hat es nach Rommel (2005) im ufernahen Bereich gegeben.

Unter Kenntnis der zeitlichen Belastungsentwicklung und der geogenen Hintergrundgehalte von Schwermetallen haben Krüger et al. (2006) und Schwartz (2001) an einzelnen Boden-

profilen jeweils durchschnittliche Sedimenteinträge während des letzten Jahrhunderts zwischen 0,4 und 11 kg/m^2 ermittelt, wobei auch hier die stärksten Auflandungen in ufernahen Senkenstandorten stattfanden.

Dies deckt sich gut mit Befunden von Barth et al. (1998), die hohe Sedimentationsraten von ca. 3 cm in einer Uferkante bei Aken (Elbe-Kilometer 275) über radichemische Datierungen ermittelten.

Krüger & Urban (2009) veröffentlichten eine ^{137}Cs-Datierung eines Bodenprofils, das im Rahmen einer Diplomarbeit (Hofacker, 2006) im Vorland des Gnevsdorfer Vorfluters bei Elbe-Kilometer 437 untersucht wurde. Es handelt sich um einen Boden in Senkenlage in knapp 200 m Entfernung zur Elbe. Die Datierungsarbeiten haben gezeigt, dass sich die Sedimentationsraten am Standort im Laufe der Zeit deutlich verringert haben. Während zwischen 1963 und 1986 ca. 7,7 kg/m^2*a sedimentierten, verringerte sich der Eintrag zwischen 1986 und der Probennahme um knapp die Hälfte auf 3,8 kg/m^2*a. Dies wird auf Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzung im Einzugsgebiet zurückgeführt als auch auf den Bau des Muldestausee, der aktuell ca. 90 % der Muldeschwebstoffe zurückhält (IKSE, 2005). Des Weiteren wird diskutiert, dass sich die kohäsiven Eigenschaften der Sedimente verändert haben könnten. Albrecht (1960) diskutierte, dass im Wasser treibende Pilze und Schmutzstoffe Fischernetze derart verklebten, das sie nicht mehr fängisch gestellt werden konnten.

Vergleichbare Sedimentationsraten sowie eine vergleichbare Reduktion des Sedimenteintrages lassen sich aus den Arbeiten von Götz et al. (2007) an einem ufernahen Auenboden bei Pevestorf (Elbe-Kilometer 485) ableiten.

Zusammenfassen lässt sich feststellen, dass die Ermittlung des summarischen, kumulierten Sedimenteintrages im Laufe der Zeit deutlich verändert hat. Auch auf Grundlage der kumulierten Betrachtung des Sedimentationsgeschehens durch Querprofilvergleiche als auch in der Betrachtung von einzelnen Bodenprofilen lässt sich schlussfolgern, dass ufernahe und uferferne Auenbereiche einen unterschiedlich starken Sedimenteintrag erfahren haben.

Generell kann hier auch schon festgehalten werden, dass Sedimenteinträge durch die Landnutzung im Einzugsgebiet geprägt sind, und dass auch wasserwirtschaftliche Maßnahmen bzgl. der Sedimentanlieferung eine Rolle spielen können. Des Weiteren scheint nicht nur die Menge, sondern auch die Qualität des Schwebstoffes für dessen Sedimentationseigenschaften verantwortlich zu sein.

2.1.2 Ereignisbezogene Methoden

Den summarischen, langzeitlichen Untersuchungen können die ereignisbezogenen Methoden gegenübergestellt werden. So haben z. B. Krüger et al. (2006) auf Grundlage täglich erhobener Schwebstoffdaten der Bundesanstalt für Gewässerkunde den Sedimentrückhalt während Hochwasserphasen in den Jahren 1997 bis 1999 zwischen den Messstandorten in Wittenberge (Elbe-Kilometer 455) und Hitzacker (Elbe-Kilometer 523) berechnet. Dabei wird

die Annahme getroffen, dass bei Wasserständen bzw. Abflüssen ab dem Ausuferungszustand im Fluss selbst keine Sedimentation feinkörniger Sedimente stattfindet. Jährliche Sedimenteinträge, bezogen auf die gesamte Retentionsfläche von 12.500 ha zwischen den Elbepegeln lagen in diesen Jahren zwischen 0,2 bis 0,8 kg/m^2*a.

Die gleiche Methodik wendeten Baborowski et al. (2007a) an, die während eines Hochwassers im Jahre 2005 eine Reduzierung der Schwebstofffracht zwischen Magdeburg und Wittenberge um 20 % ermittelten.

Das UFZ und ELANA haben in gleicher Weise während des extremen Frühjahrshochwasser im Jahre 2006 in einer 19tägigen Beprobungskampagne an Mulde, Saale und Elbe zwischen Roßlau und Magdeburg zeigen können, dass **bis zu 51 % der täglichen Schwebstofffrachten** in den Auen zurückgehalten werden können und dass während des Betrachtungszeitraums insgesamt auf einer Fläche von 12.500 ha 80.000 t Schwebstoff zurückgehalten wurden, was der kumulierten Fracht von Mulde und Saale entsprach (Tabelle 1, Heise et al. 2008). Durchschnittliche Sedimenteinträge in diesem zudem waldreichen Gebiet lagen bei 0,64 kg/m^2. Darüber hinaus illustriert der Vergleich der ermittelten Hochwasserfrachten mit den Jahresfrachten, die laut Meilenstein 1 des Arbeits- und Zeitplans der Ad hoc Expertengruppe Sedimentmanagement im entsprechenden Elbeabschnitt zwischen 610.000 t und 663.000 t betrugen, dass im Hochwasserereignis (vorbehaltlich aller methodischer Unsicherheiten) 1/3 der Jahresfracht transportiert wurde.

Tabelle 1: Kumulierte Frachten in Roßlau, Dessau, Rosenburg und Magdeburg während des Frühjahrshochwassers 2006.

	Fracht, t
Roßlau, Elbe	194.049
Dessau, Mulde	18.430
Rosenburg, Saale	52.642
Summe	265.120
Magdeburg, Elbe	188.621

Das gleiche Prinzip nutzen auch Hanisch et al. 2005 (in Heise et al. 2008) in einem Forschungsprogramm der Sächsischen Akademie der Wissenschaften. Dort wurden im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2003 im Flusseinzugsgebiet der Saale und ihres größten Nebenflusses der Weißen Elster mehrere Hochwasserereignisse erfasst, die sich hinsichtlich ihres Durchflusses und ihres *Ereignistyps* unterschieden: Die Ergebnisse der Bilanzierungen der Schwebstoffmengen im letzten Abschnitt des Unterlaufs der Weißen Elster zeigen, dass die an 5 verschiedenen Probenahmestellen ermittelte und während dieser Extremereignisse

transportierte Schwebstofffracht zwischen 40 bis 60 % der Jahresfracht einnimmt. Sie ist die Summe aus Bodenerosion, Abwassereinleitungen und Remobilisierung von Flusssedimenten, wobei sich ihre Anteil nur schwer abschätzen lassen.

Die Schätzungen für die dokumentierten Hochwässer der Weißen Elster (darunter das 30-jährige Hochwasser vom November 2002) zeigen, dass pro Hochwasserereignis zwischen ca. 60 bis ca. 80 % der Schwermetallfracht auf der Retentionsfläche (d.h. den Auen) verbleibt (Hanisch et al. 2005).

Diese einfachen Frachtvergleiche an ober- und unterstromigen Gewässerabschnitten lassen – vorausgesetzt es wird im Gewässer selbst an repräsentativen Standorten der Schwebstoff beprobt – Abschätzungen über den gesamten Gewässerabschnitt zu, ohne jedoch im Vorland den Sedimenteintrag differenzierter zu betrachten.

Eine differenzierte Untersuchung des Sedimenteintrages leisteten Büttner et al. (2006) durch die zweidimensionale Modellierung des Sedimenteintrages eines 14 tägigen Hochwasser im Jahr 1998 an der unteren Mittelelbe zwischen km 436-440. Es wurde festgestellt, dass ca. 1.000 t Sediment auf einer Fläche von 200 ha zurückgehalten wurden, wobei ca. 1/3 bis 1/4 des eingetragenen Sediments in Altarmen des Vorlandes sedimentierte, die jedoch nur 10 % der Vorlandfläche ausmachten. Die Untersuchungen veranschaulichten, dass das Sedimentationsgeschehen in Abhängigkeit der Morphologie, der Vegetation und den ereignisbezogenen Überflutungsbedingungen sehr differenziert zu betrachten ist. Zur Validierung der Untersuchungsergebnisse wurden Kunstrasen-Sedimentfallen eingesetzt.

Abbildung 4: Modellierter Sedimenteintrag zwischen Elbe-Kilometern 436-440 (Büttner et. al. 2006).

Standortspezifische, ereignisbezogene Sedimenteinträge lassen sich mit Hilfe von Kunstrasen-Sedimentfallen untersuchen. Dabei handelt es sich um ASTRO-Turf-Kunstrasenstücke der Größe 30*40 cm, die auf PVC-Platten genietet, in mehrfachen Parallelen im Vorland eines Gewässers ausgebracht werden (Abb. 5).

Abbildung 5: Kunstrasen-Sedimentfallen im Elbevorland.

Diese auch international verwendete, robuste Methode zur standortspezifischen Abschätzung des ereignisbezogenen Sediment-, Nähr- und Schadstoffeintrags (z. B. Asselmann und Middelkoop, 1995; Kronvang et al. 2002) wurde auch an der Elbe vielfach angewendet. Tabelle 2 enthält einen Überblick.

Tabelle 2: Einzelfallstudien, Institutionen, Autoren, die mit Hilfe von Kunstrasen-Sedimentfallen Einträge bzw. deren Nähr- und Schadstoffgehalte, teilweise auch Toxizität, in die Auen der Elbe oder in ihren Süßwasserwatten analysiert haben (ergänzt aus Krüger & Urban, 2009).

Institution	Autoren	Projekte	Orte
GKSS	MEISSNER et al. 1994	-	Mittelelbe bei Tangermünde
Uni Hamburg	SCHWARTZ et al. 1997	-	Tideelbe, Untere Mittelelbe
Uni Hamburg	SCHWARTZ 2001	Auenregeneration durch Deichrückverlegung	Untere Mittelelbe, Lenzen/Lütkenwisch
UFZ	FRIESE et al. 2000	Oka-Elbe	
UFZ/ELANA	KRÜGER et al. 2005	ADHOC-Hochwasserprojekt	Obere, Mittlere und Untere Mittelelbe
Uni Lüne-	URBAN in VON	FLOWS	Untere Mittelelbe

Institution	Autoren	Projekte	Orte
burg	HAAREN et al. 2006		
LBEG	KLEEFISCH, 2006	-	Gorleben
UFZ	VON TÜMPLING et al. 2004-2008	AQUATERRA	Mittlere, Untere Mittelelbe, Mulde, Saale
UFZ	VON TÜMPLING, et al. 2005-2009	RIMAX	Mulde
UFZ	BÜTTNER et al. 2006	-	Untere Mittelelbe, Schönberg Deich
UFZ	BABOROWSKI et al. 2007a	-	Fließstrecke Magdeburg-Wittenberge
UFZ	BABOROWSKI et al. 2007b		Untere Mittelelbe-Schönberg Deich
UFZ	SCHOLZ, RUPP ET AL. 2006-2013	TERENO-Plattform Mittelelbe, KLIWAS	Mittlere Mittelelbe, Roßlauer Oberluch, Schönberg Deich
UFZ	RUPP, BOLZE, et al. 2007-2010	Phytoremediation	Untere Mittelelbe, Schönberg Deich
Uni Lüneburg	KRÜGER, URBAN 2007, 2008	RAMWASS	Untere Mittelelbe, Grippel, Wehningen, Radegast
ELANA	KRÜGER 2010	Evaluation Deichrückverlegung Lenzen	Untere Mittelelbe
Uni Lüneburg	KRÜGER, URBAN, seit 2009-2013	KLIMZUG	Untere Mittelelbe

Die Spannbreite der ermittelten Einzelbefunde von der freifließenden Elbe reicht über „Einträge nicht nachweisbar“ bis zu einem maximalen Eintrag reinen Flusssandes von 42 kg/m^2 in einer ufernahen Flutrinne während des Frühjahrshochwasser 2006. Im Median betrugen bei allen hier zur Verfügung stehenden Untersuchungsergebnissen in den zentralen Auen der freifließenden Elbe 0,235 kg/m^2.

2.1.3 Befunde zum Sedimentrückhalt aus Schwebstoffuntersuchungen

Untersuchungen zum Extremen Hochwasser im Sommer 2002 von Baborowski et al. (2004) als auch von Pepelnik et al. (2004) wurden bereits in Böhme et al. (Hrsg. 2005) zusammenfassend dargestellt. Mit Bezug auf den Sediment- bzw. Schwebstofftransport wurden von Pepelnik et al. (2004) während einer Hubschrauber-Längsprofilkampagne in der tschechischen und deutschen oberen Elbe Schwebstoffgehalte in der Wasserphase von größer als 300 mg/l ermittelt. Zum gleichen Zeitpunkt konnten in der mittleren Mittelelbe lediglich Schwebstoffgehalte kleiner als 50 mg/l festgestellt werden. Baborowski et al. (2004) untersuchten die Ganglinien der Schwebstoffgehalte während des Extremereignisses in Magdeburg Fahlberg-List und fanden vier Tage vor dem Hochwasserscheitel maximale Schweb-

stoffgehalte von ca. 80 mg/l. Schon Böhme et al. (2005) schlussfolgerten, dass erhebliche Anteile des Schwebstoffes in den weitläufigen Auen der mittleren Elbe sedimentiert sein müssen. Aus Fotodokumentationen ist bekannt, dass in den Dresdener Auen Sedimentablagerungen von z. T. mehreren Dezimetern auftraten (Hirschenberger in Böhme et. al. 2005). Schwartz fotografierte 2002 Schlämme in Althirschstein (in Krüger & Urban 2009) von mehreren Zentimetern Mächtigkeit, während in den Auen an der unteren Mittelelbe lediglich ein schleierartiger Sedimentbelag beobachtet wurde.

Weiterhin ist bedeutsam, dass Baborowski et al. (2004) zeigen konnten, dass in der freien Wasserphase überwiegend feinkörnige Partikel während des Hochwassers transportiert wurden ,so dass bei sandigen Hochflutsedimenten in Auen von einem standortnahen Transport aus der Flusssohle oder Auskolkungen im ufernahen Bereich ausgegangen werden muss.

3 Ziele der Studie

Sämtliche zuvor genannten Befunde über die Sedimenteinträge in die Auen unterstreichen die Bedeutung des Retentionspotenzials der Auen im Hinblick auf genauere Frachtabschätzungen des stromabwärts gerichteten Stofftransports. Die o. g. Arbeiten verdeutlichen gleichzeitig, dass eine Übertragbarkeit von Einzelergebnissen auf andere Teileinzugsgebiete der Elbe nicht ohne weiteres möglich ist, da die Überflutungsbedingungen durch unterschiedliche große Abflüsse und Nutzungseinheiten sehr variabel sein können. Zwar gibt es seit den 1990er Jahren sehr viele lokale Einzelfallstudien, die der Ermittlung des lokalen Sedimenteintrags in die Elbauen dienten (siehe Tab. 2), jedoch fehlt bis dato eine zusammenfassende Auswertung und Interpretation, die es darüber hinaus ermöglicht, die Retention bestimmenden Faktoren zu identifizieren, und auch an denjenigen Lokalitäten den Sedimentrückhalt abzuschätzen, an denen bisher keine Messungen erfolgt sind. Lösungsansätze hierfür finden sich auch in dem jüngst abgeschlossenen BfN-FuE-Vorhaben, zum Thema Ökosystemfunktionen in Flussauen. In diesem Vorhaben wurden ausgewählte Auenfunktionen wie die Hochwasserretention, der Nährstoffrückhalt, die Emission von Treibhausgasen und der Kohlenstoffvorrat sowie die auentypische Biologische Vielfalt für 79 Flussauen in Deutschland untersucht und bewertet (SCHOLZ et al. 2012). Ergebnisse zu den einzelnen Funktionen zeigen, dass deutschlandweite Potenzialabschätzungen durch eine Verknüpfung mit flächendeckend vorliegenden Merkmalen machbar sind und erstmals eine ökologisch abgeleitete Quantifizierung der Auenleistungen auf dieser Landschaftsebene ermöglicht wurde. In dem o. g. Vorhaben wurden literatur- und algorithmenbasierte Bewertungsansätze entwickelt und angewandt, die auf der Ebene von Kilometersegmenten von Flussauen Abschätzungen zu den einzelnen Funktionen für die deutschlandweite Bearbeitungskulisse erlauben.

Ziel dieser Studie ist es, den großräumigen Sedimentrückhalt entlang der Elbe abzuschätzen. Die Sedimentretention ist wesentlicher Bestandteil des Sedimenthaushaltes. Die Studie dient der Förderung des Prozessverständnisses und damit auch der Erfüllung des Aufgaben

und Zeitplanes des FGG/IKSE Sedimentmanagementkonzeptes. Bis dato war die Sedimentretention in Auen kein Gegenstand des Sedimentmanagements. Dabei könnten retentionsfördernde Maßnahmen unter Beachtung der Hochwasserschutzes aber insbesondere hinsichtlich der großflächigen Bodenkontamination und der aktuell problematischen landwirtschaftlich Nutzung der Auen aufgrund hoher Schwermetall- (Krüger et al. 2005) und vor allem Dioxingehalte (Umlauf et al. 2005) nicht nur neue Nutzungsoptionen für Vorlandflächen eröffnen, sie können vor allem auch unterstromige Schutzgüter vor weiteren Sediment- und Schadstofffrachten bewahren.

Im Rahmen der Studie werden rückwirkend die in Einzelfallstudien ermittelten Sedimenteinträge recherchiert und entlang der Elbe die jeweils die Retention bestimmenden Faktoren, wie z. B. Abfluss, überflutete Auenanteile, Bewuchssituation (Rauhigkeit) usw. soweit es die Datenlage zulässt, identifiziert und systematisiert, um im Vergleich mit den lokalen Analysen auch für großflächigere Einheiten Retentionsleistungen abschätzen zu können.

4 Arbeitsschritte/Methodik

Die Studie gliedert sich in folgende Arbeitschritte auf:

a) Recherche und Aufbereitung der Biotoptypen, resp. der Landnutzungen entlang der Elbe von der Deutsch-Tschechischen Grenze bis zum Wehr bei Geesthacht.

Die Flächenanteile unterschiedlicher Landnutzungen sind für die rezenten Auen der deutschte Elbe in Kilometersegmenten bis zum Wehr Geesthacht bereits bekannt (aus dem BfN-Projekt Bilanzierung von Auen...Brunotte et al. 2009), jedoch nicht nach Lage und Höhe klassifiziert. Die Landnutzungen sind aus dem Digitalen Landschaftsmodell (DLM25 – Maßstab 1:25:000) in 7 Landnutzungsklassen zusammengefasst (Gewässer, Siedlungen, Wald, Grünland, Acker, Feuchtgebiete und Sonstige). Aufgrund des Maßstabes der Eingangsdaten für die Landnutzung ist insbes. die Kategorie Feuchtgebiete in der Elbaue unterrepräsentiert, da sie meist aufgrund ihrer linienhaften Struktur oder Flächengröße dem Grünland zugeordnet wurde. Auch ist eine Unterscheidung von Weichholz- und Hartholzaue nicht möglich. Allerdings ist diese Datengrundlage derzeit die einzige, die die Landnutzung der gesamten rezenten Aue als digitale Datengrundlage zusammenfasst.

Die Größe der Flussabschnitte für die Bilanzierung der Landnutzungen wird an den Messstellen und Pegeln der Bundesanstalt für Gewässerkunde zur Ermittlung der Schwebstofffrachten orientiert.

b) Identifikation der Überflutungshäufigkeiten entsprechender Biotoptypen, Verschneidung der Landnutzungeneinheiten mit Überflutungshäufigkeiten

Aufbauend auf den Arbeitschritt a erfolgt anschließend eine Verschneidung von Landnutzungstypen mit potenziellen Überflutungswahrscheinlichkeiten. Zur Ermittlung der Überflutungswahrscheinlichkeiten wurde flusshydrologische Software (FLYS) der BfG genutzt (BfG

2013). Anzumerken ist, dass die BfG-Sofware FLYS kein hydraulisches Modell ist, sondern zuvor mit Modellen ermittelte Ergebnisse sowie die zugrunde liegenden Geobasis- und Geofachdaten verarbeitet und interpoliert. Die Ergebnisse sind zum einen abhängig vom verwendeten Höhenmodell, das insbes. in bewaldeten Bereichen oder auch zum Zeitpunkt der Befliegung bei wassergefüllten Flutrinnen von der Realität stark abweichen kann. Zum anderen können Überflutungshöhen und –dauern in der Aue immer auch aufgrund des unterschiedlichen Zustandes der Vegetation im Jahresverlauf und verschiedenster anderer Parameter variieren, so dass zu vermuten ist, dass reale Überflutungshöhen und mit ihnen auch Überflutungsdauern in einzelnen Bereichen stark von den durch die FLYS –Software ermittelten Aussagen abweichen können.

Insgesamt ermöglicht das BfG-Modell FLYS, das auf Querschnitten basiert, eindimensional die Überflutungshöhen abzuschätzen und damit die Betroffenheit unterschiedlicher Landnutzungsklassen bei unterschiedlichen Abflüssen zu berechnen. Eine Verschneidung mittels GIS der Überflutungswahrscheinlichkeiten mit den generierten Landnutzungen aus Arbeitschritt a erfolgt flächenbezogen und wird flussabschnittsbezogen interpretiert. Eine Ablage der Ergebnisse kann am Ende für km-Segmente oder auch Flussabschnitte erfolgen, die als Eingangsgröße für die Abschätzung der Sedimentmengen dienen sollen.

c) Zusammenfassung und Interpretation der recherchierbaren Einzelfallstudien und Daten über den hochwassergebundenen Sedimenteintrag an der Elbe seit Anfang der 1990er Jahre

Die Bearbeitung der Rückhaltefunktion erfordert zunächst die Zusammenfassung und Interpretation aller soweit vorhandenen Messwerte über hochwassergebundenen Sedimenteintrag an der Elbe sowie unteren Mulde und Saale seit Anbeginn der 1990er Jahre (siehe Tabelle 1). Es müssen rückwirkend die die Retention bestimmenden Parameter, vor allem die von der Höhe des Hochwassers abhängigen Abflussquerschnitte und betroffenen Überschwemmungsflächen sowie deren Nutzungen identifiziert werden. Auch die Ursprünge des Hochwassers und das angelieferte Sedimentdargebot könnten ggf. Berücksichtigung finden. Die systematische Aufarbeitung und Kategorisierung erlaubt es, im Anschluss auch für diejenigen Flussabschnitte Abschätzungen zu tätigen, an denen keine Messungen vorlagen. Die Berücksichtigung der gemessenen und abgeschätzten Schwebstofffrachten von Bund und Ländern stellt dabei eine Bezugsgröße für die Abschätzung des Rückhaltes dar. Diese Informationen dienen der Validierung der in Arbeitsschritt d geplanten Algorithmenbildung zur Berechnung des Sedimentrückhaltes.

d) Berechnung des Sedimentrückhaltes

Auf Grundlage der recherchierten und berechneten Daten werden mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Tools, wie FLYS, sowie den Ergebnissen der Verschneidung von Landnutzungen und Überflutungswahrscheinlichkeiten, Sedimentretentionsleitungen/Potenziale der Auen unterschiedlicher Elbeabschnitte abgeschätzt.

e) Defizitanalyse und Berichtsfassung

In der Berichtsfassung sollen neben der Darstellung der angewendeten Methodik auch die Retentionsleistungen unterschiedlicher Auenabschnitte visualisiert werden. Dabei ist eine detaillierte Defizitanalyse unerlässlich.

Bereits während der Bearbeitung der Arbeitsschritte a-d erfolgt die Identifizierung von Kenntnis- und Datenlücken, die einerseits die Grundlagen für Fehlerbetrachtungen und Aussagen zur Aussageschärfe darstellen. Andererseits dient die Defizitanalyse dazu, abschließend weiterer Klärungs- und Forschungsbedarf aufzuzeigen.

5 Ergebnisse

5.1 Überschwemmungsflächen und ihre Landnutzungen entlang der Elbe von der Deutsch-Tschechischen Grenze bis zum Wehr bei Geesthacht

Die Auswertung des BfN-Aueninventars (Brunotte et al. 2009) hat ergeben, dass entlang der deutschen freifließenden Elbe insgesamt 56.979 ha Überflutungsflächen vorhanden sind. Tabelle 3 enthält eine Übersicht über die ausgewählten Flussabschnitte und die gesamten Überschwemmungsflächen. Bereits Büchele et al. (2002) haben einen Großteil der Überschwemmungsflächen der Elbe berechnet und dabei deutlich gemacht, dass insbesondere in der mittleren Mittelelbe, ab Elbe km 198, die ausgedehntesten Auen vorkommen (Abbildung 6).

Tabelle 3: Flussabschnitte der freifließenden deutschen Elbe und ihre Überschwemmungsflächen.

Fluss-km bis	Abschnitt	Gesamtfläche in ha
0	Schöna bis Pirna	**548**
34,7	Pirna bis Meißen	**3.083**
83,4	Meißen bis Torgau	**4.633**
154	Torgau bis Wittenberg/Lu.	**7.812**
214,8	Wittenberg bis Aken	**9.287**
274,85	Aken bis Barby	**3.437**
326,6	Barby bis Magdeburg	**4.305**
389,1	Magdeburg bis Tangermünde	**8.550**
454,6	Tangermünde bis Wittenberge	**6.742**
522,6	Wittenberge bis Hitzacker	**4.686**
586	Hitzacker bis Geesthacht	**3.897**
	Gesamtfläche	**56.979**

Daten aus BfN Aueniventar, Brunotte et al. 2009

Abbildung 6: Überschwemmungsflächen entlang der deutschen, freifließenden Elbe, nach Büchele et al. (2002).

Tabelle 4 zeigt auf Grundlage des Deutschen Landnutzungsdaten im Maßstab 1:25.000 die verschiedenen Landnutzungen, differenziert nach Gewässern, Siedlungen, Wäldern, Äckern, Feuchtgebieten, Grünländern sowie weiteren vegetationslose Bereichen. Es zeigte sich, dass Grünländer den überwiegenden Anteil an der Landnutzung des Überschwemmungsbereiches haben (Abbildung 7), dass aber abschnittsspezifisch auch Siedlungen (z. B. Dresden im Abschnitt Pirna-Meißen), Ackerbau (z. B. Meißen-Torgau) oder Wälder (z. B. Wittenberg-Aken und Aken-Barby) große Anteile haben können. Die grafische Darstellung der Nutzungsanteile der einzelnen Auenabschnitte erfolgt im Anhang 1.

Tabelle 4: Landnutzungen der Überschwemmungsflächen ausgewählter Flussabschnitte der freifließenden deutschen Elbe.

Abschnitt	k. A.	Gewässer	Siedlung	Wald	Acker	Feuchtgebiete	Grünland	Vegetationslos
	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Schöna bis Pirna	0	9	167	34	41	0	296	1
Pirna bis Meißen	5	84	945	85	649	6	1.272	37
Meißen bis Torgau	2	195	189	97	1.882	0	2.254	14
Torgau bis Wittenberg/Lu.	5	314	62	314	533	63	6.520	2
Wittenberg bis Aken	0	202	47	3.205	298	45	5.487	2
Aken bis Barby	0	45	13	1.152	770	12	1.445	0

Abschnitt	k. A.	Gewässer	Siedlung	Wald	Acker	Feuchtgebiete	Grünland	Vegetationslos
Barby bis Magdeburg	2	238	232	360	804	17	2.654	0
Magdeburg bis Tangermünde	5	764	52	413	1.383	201	5.686	47
Tangermünde bis Wittenberge	0	481	34	212	266	13	5.736	0
Wittenberge bis Hitzacker	0	289	18	315	101	13	3.920	30
Hitzacker bis Geesthacht	4	273	109	140	77	140	3.118	37
Gesamt	**22**	**2.893**	**1.868**	**6.327**	**6.803**	**509**	**38.387**	**169**

Abbildung 7: Landnutzungen der rezenten Auen der deutschen freifließenden Elbe bis Geesthacht auf Basis der DLM 25-Daten.

5.2 Überflutungshäufigkeiten

5.2.1 Überflutungshäufigkeiten von Vorländern

Für die Berechnung der Überflutungshäufigkeiten wurde die Flusshydrologische Software (FLYS) der Bundesanstalt für Gewässerkunde genutzt. Diese erlaubt die eindimensionale Berechnung von Wasserspiegellagen.

Abbildung 8 veranschaulicht exemplarisch für einen 705 ha großen Abschnitt der unteren Mittelelbe zwischen Elbe-km 510 und 520, welche unterschiedlichen Auenanteile bei den charakteristischen Abflusssituationen Mittelwasser (MQ), Ausuferungsabfluss (1000 m^3/s), doppelter Mittelwasser-Abfluss (2MQ) sowie Mittlerer Hochwasserabfluss (MHQ) überflutet

werden. Hier zeigt sich, dass bei doppeltem Mittelwasserabfluss (MQ2) bereits 55 % der Überflutungsflächen für die Retention beansprucht werden. Bei mittleren Hochwässern werden bereits 94 % der gesamten rezenten Auenfläche überflutet.

In Abbildung 9 werden die Berechnungen über die überfluteten Auenflächen bei unterschiedlichen Abflusssituationen abschnittsweise für die gesamte freifließende Elbe zusammengefasst. Es zeigte sich ein gravierender Unterschied zwischen Elbauenabschnitten unterstromig und oberstromig der Saaleeinmündung. Bei doppeltem Mittelwasserabfluss werden zwischen Deutsch-Tschechischer Grenze und Barby in einzelnen Flussabschnitten nur bis maximal 7 % der rezenten Auen überflutet, während es unterstromig von Barby zwischen 30 und 50 % der Überflutungsflächen sind. Bei mittlerem Hochwasserabfluss gleichen sich die Bedingungen ober- und unterstromig des Saalezuflusses an. An der Mittelelbe sind in den betrachteten Flussabschnitten durchschnittlich bei mittlerem Hochwasserabfluss zwischen 66 und 92 % der rezenten Auen überflutet.

Abbildung 8: Wasserspiegellagen charakteristischer Abflusssituationen an der unteren Mittelelbe zwischen Elbe-km 510 und 520, Fläche der rezenten Aue: 705 ha, berechnet mit FLYS.

Abbildung 9: Überflutungsflächen und ihre Betroffenheit bei doppeltem Mittelwasserabfluss sowie bei mittlerem Hochwasserabfluss in ausgewählten Gewässerabschnitten entlang der deutschen freifließenden Elbe.

Auch Büchele et al. (2002) beschreiben unterschiedliche Betroffenheiten der Überflutungsflächen bei unterschiedlichen Abflusssituationen, indem sie spezifische Ausuferungshöhen berechneten (Abbildung 10). Es zeigte sich, dass im Bereich der Erosionsstrecke (Elbe-km) 120-170 eine deutliche Ausuferung erst im Bereich eines fünfjährlichen Hochwassers erfolgte. Allerdings ist auch festzustellen, dass Auen durch unterstromigen Rückstau dennoch überflutet werden, selbst wenn die hohen Uferbereiche, geprägt durch Uferwälle, noch nicht überflutet sind.

Abbildung 10: Ausuferungshöhen entlang der mittleren Elbe, nach Büchele et al. (2002).

5.2.2 Überflutungshäufigkeiten von Vegetations-/Nutzungseinheiten

Die Untersuchung der Überflutungsflächen bei unterschiedlichen Abflusssituationen hat bereits gezeigt, dass große Teile der rezenten Auen oberstromig der Saalemündung erst bei relativ hohen Abflusszuständen überflutet werden, was durch Auswertungen von Büchele et al. (2002) und über die mit FLYS vorgenommen Simulationen von Ausuferungswasserstände bestätigt wurde. Demzufolge können bei niedrigen Wasserständen nur die Nutzungseinheiten unterstromig der Saalemündung differenzierend auf den Sedimentrückhalt wirken. Dort ist allerdings Grünland die dominierende Nutzungseinheit, gefolgt von Gewässern und Ackerbau. Stark retentionsfördernde Vegetation wie Auenwald kommt kaum vor, so dass diese hier vernachlässigt werden kann.

In den Auenabschnitten oberstromig der Saale, vornehmlich zwischen Wittenberg und Aken sowie zwischen Aken und Barby kommen retentionsfördernde Wälder in großen Flächenanteilen vor. Diese können allerdings erst bei hohen Abflüssen wirksam werden (Tabelle 5). Bei mittlerem Hochwasserabfluss sind insgesamt ca. 80 % der Elbauenwälder überflutet. Zudem ist zu bedenken, dass bei einem rückwärtigen Einstau des Überflutungswassers in die Auen über Altarme oder angeschlossene Stillgewässer die Bedeutung der Rauhigkeit der Vegetation gering ist. Dies ändert sich erst beim Überströmen des Vorlandes in Fließrichtung des Hauptgewässers. In Tabelle 5 sind die abflussspezifischen Betroffenheiten von Landnutzungseinheiten für die gesamte freifließende Elbe zusammengefasst. In Anhang 2 findet sich die Zusammenstellung der Betroffenheiten in einzelnen Flussabschnitten. Höhere Abflusssituationen führen demnach nur noch zu einer geringeren Betroffenheitszunahme der Wälder. Während zwischen Wittenberg und Barby zusammen bei mittlerem Hochwasser ca. 3900 ha Waldflächen überflutet werden, steigt der betroffene Waldanteil bei HQ5 auf 4100 ha. Bei mittleren Hochwasserabflüssen sind ca. 50 % der Ackerflächen und 10 % der Siedlungsflächen vom Hochwasser betroffen, bei HQ 5-Situationen sind es immerhin schon ca. 70 % der Ackerflächen, aber nur 16 % der Siedlungsflächen.

Tabelle 5: Abflussspezifische Betroffenheiten von Landnutzungseinheiten der Überschwemmungsflächen der freifließenden deutschen Elbe.

	k.A.	Acker	Feuchtgebiete	Gewässer	Grünland	Siedlung	Vegetationslos	Wald	Gesamt
2MQ, ha	3,5	683,8	409,1	2149,9	10818,0	29,4	40,1	438,2	14572,1
%	0,9	9,1	71,4	70,9	26,0	1,5	22,5	6,6	23,5
MHQ, ha	263,2	**3688,4**	509,8	2821,4	33189,3	**184,7**	68,5	**5176,6**	45901,8
%	66	**49**	89	93	80	**10**	38	**78**	74

	k.A.	Acker	Feucht-gebiete	Ge-wäs-ser	Grün-land	Sied-lung	Vege-tati-ons-los	Wald	Ge-samt
HQ5, ha	382,3	5190,5	510,9	2860,0	35956,4	311,2	99,1	5664,2	50974,7
%	96	69	89	94	86	16	56	85	82
HHQ, ha	396,8	7514,2	573,1	3033,0	41625,2	**1928,8**	178,0	6663,7	61913,1
%	100	100	100	100	100	**100**	100	100	100

5.3 Zusammenfassung und Interpretation der Sedimenteinträge aus Einzelfallstudien

5.3.1 Datengrundlage

Aus den in Tabelle 2 genannten einzelnen Projekten konnten aus einem Zeitraum von 1997 bis 2011 insgesamt 163 Einzelbefunde, dazugehörig 56 Kornanalysen recherchiert werden. Erst seit 2004 wurden vereinzelt auch an der mittleren Mittelelbe Kunstrasenmatten zur Erfassung des standortspezifischen Sedimentrückhaltes eingesetzt. Es liegen 32 Befunde aus diesem Bereich vor. 131 Befunde gibt es von der unteren Mittelelbe, der Erfassungszeitraum geht bis ins Jahr 1997 zurück. Insgesamt wurden 64 Standorte über 20 Hochwasserereignisse beprobt. Nur 14 dieser Standorte befinden sich oberstromig der Saalemündung. Abb. 11 zeigt die Lage der Untersuchungsflächen entlang der Elbe.

Neun Untersuchungsflächen lagen in Rückdeichungsflächen (sieben in Lenzen, zwei in Roßlau). An 51 Standorten lag Grünlandnutzung vor, 5 Standorte befanden sich Röhrichten, 8 Flächen lagen in Gehözbeständen, wovon sich allerdings 5 in der Rückdeichungsflächen Lenzen befanden. Ein weiterer Gehözstandort befand sich im Untersuchungsgebiet Schönberg Deich, die zwei übrigen Messpunkte im Wald befanden sich auf dem Biberwerder, zwischen Elbe und Alter Elbe in unmittelbarer Nähe zur Saalemündung gelegen.

Die Untersuchungsflächen repräsentieren unterschiedliche morphologische Positionen. Neben den separat zu betrachtenden 9 Rückdeichungsflächen verteilen sich die übrigen Standorte auf Uferbereiche (15 mal), auf abflusslose Senken (9 mal), Plateaustandorte (12 mal) sowie 19 Flutrinnen.

Für fast alle Standorte konnten Gauß-Krüger Koordinaten, Elbe-Kilometrierung, Entfernung zur Elbe, Höhenlage, Nutzung und morphologische Position recherchiert werden.

Abbildung 11: Lage der Untersuchungsflächen für die ereignisbezogene Ermittlung von Sedimenteinträgen an der Elbe.

5.3.2 Eigenschaften von Hochflutsedimenten

Schwartz et al (1997) analysierten bei Elbe Stromkilometer 478 25 Hochflutsedimente aus den Jahren 1996/1997. Diese wiesen Kohlenstoffgehalte zwischen 4,2 und 10,4 %, Anteile an der Fraktion < 20 µm zwischen 24 und 44 %, Sandanteile zwischen 25 und 43 % sowie Cadmiumgehalte zwischen 1,2 und 6,5 mg/kg und Arsengehalte zwischen 13 und 54 mg/kg auf.

Hochflutsedimente, die zwischen 1997 und 1999 im Rahmen des Oka Elbe Projektes (Friese et al. 2000) in der Mäanderschleife Schönberg Deich gewonnen wurden, haben Kohlenstoffgehalte zwischen 4 und 23 %, Anteile an der Fraktion < 20 µm zwischen 4,4 und 70,1 %, Cadmiumgehalte zwischen 2,6 und 18,6 mg/kg sowie Arsengehalte zwischen 9,1 und 108

mg/kg. Die bei der Gewinnung der 20-µm-Fraktion ermittelten Sandanteile beliefen sich auf 30 % im Median.

Baborowski et al. (2007) analysierten 17 Hochflutsedimente in der Mäanderschleife Schönberg Deich (km 435-440). Die Sedimente enthielten Kohlenstoffgehalte zwischen 7 und 13 %, Quecksilber, Cadmium und Arsengehalte jeweils zwischen 3 -6 mg/kg, 5-9 mg/kg und 26-63 mg/kg.

Drei Hochflutsedimente, die im Rahmen von FLOWS an der unteren Mittelelbe untersucht wurden (Von Haaren et al. 2006), weisen Kohlenstoffgehalte zwischen 7,9 und 8,9 %, Anteile an der Schluff- und Tonfraktion zwischen 96 und 97 % und demzufolge Sandanteile von 3-4 % sowie Quecksilbergehalte zwischen 3,5 und 4 mg/kg, Cadmiumgehalte zwischen 5,6 und 6,9 mg/kg sowie Arsengehalte zwischen 17 und 26 mg/kg auf.

Im Rahmen von AQUATERRA wurden sowohl im Untersuchungsgebiet Biberwerder (mittlere Mittelelbe, km 289) als auch in Schönberg Deich (km 435-440) Sedimente gewonnen. Diese enthielten Sandanteile von 28 und 35 % im Median. Der Anteil an der Fraktion < 20 µm betrug 37 und 33 % im Median.

21 Hochflutsedimente, die an der unteren Mittelelbe von Krüger und Urban (2009) untersucht wurden, weisen Kohlenstoffgehalte zwischen 6,3 und 13,3 %, Anteile an der Fraktion < 20 µm zwischen 61 und 89 % sowie Quecksilbergehalte zwischen 2,9 und 11,4 mg/kg, Cadmiumgehalte zwischen 3,7 und 6,4 mg/kg sowie Arsengehalte zwischen 39 und 51 mg/kg auf. Die Sandanteile lagen hier zwischen 1 und 21 %.

Die sieben Hochflutsedimente, die 2010 in der Rückdeichungsfläche Lenzen gewonnen wurden (Krüger, 2012) haben (als Glühverlust ermittelt) zwischen 11,3 und 25 % Humus, Anteile an der Fraktion < 20 µm zwischen 40 und 68 %, die Sandanteile zwischen 1 und 60 % sowie Quecksilbergehalte zwischen 0,6 und 1,8 mg/kg, Cadmiumgehalte zwischen 1,4 und 3,9 mg/kg sowie Arsengehalte zwischen 29 und 79 mg/kg.

Die Eigenschaften der Hochflutsedimente verdeutlichen, dass diese in der Regel feinkörnig und reich an organischer Substanz sind. Ihr Belastungszustand ist bzgl. der ausgewählten Schwermetalle und Arsen immer noch so hoch, dass Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Grünlandnutzung der Elbauen zu erwarten sind. Für die Berechnung des Rückhaltes feinkörniger Sedimente ist es notwendig, den Sandanteil am Eintrag herauszurechnen. Dies geschah in dem Falle, dass eine Kornanalyse vorlag, um den genauen Wert. Im Falle, dass keine Analyse recherchiert werden konnte, erfolgte eine Reduktion des Sedimenteintrags um 30 % im Bereich der mittleren Mittelelbe sowie um 9,5 % im Bereich der unteren Mittelelbe.

Aufgrund der vergleichbar hohen Schadstoffgehalte in Schwebstoffen und Hochflutsedimenten schlugen Baborowski et al. (2007) vor, die Berechnung der flächenhaften Schadstoffeinträge auf Grundlage der Schadstoffgehalte in Schwebstoffen vorzunehmen.

5.3.3 Steuergrößen des Sedimenteintrages in die Auen

5.3.3.1 Zeit, Sedimentvorräte

Die Schwebstoffe, die während Hochwasserereignissen in die Auen transportiert werden, haben unterschiedlichste Quellgebiete. Zum einen stammen sie aus erodiertem Oberbodenmaterial, das während der Schneeschmelze oder durch Niederschlagsereignisse ins Gewässersystem gelangt und dort weitertransportiert wird. Grundsätzlich ist damit zu rechnen, dass mit zunehmender Intensität der Niederschläge oder größeren, abtauenden Schneemassen größere Sedimentfrachten ins Gewässer gelangen. Darüber hinaus ist die gewässerinterne Mobilisierung von Sedimenten bei zunehmenden Abflüssen zu bedenken. So haben Baborowski et al. (2004, 2007) sogenannte Abflussschwellenwerte beschrieben, bei deren Überschreitung an der Elbe eine gewässerinterne Mobilisierung von Sedimenten eintritt. Diese ist begründet in der Überschreitung von kritischen Sohlschubspannungen. Bei Magdeburg liegt dieser Abflussschwellenwert nach Baborowski et al. (2007) bei 800 m^3/s und bei Wittenberge bei 1080 m^3/s. Bei diesen Abflussschwellenwerten ist nach Wirtz (2004) damit zu rechnen, dass die in den Buhnenfeldern bei niedrigen Abflüssen zirkulierenden und sedimentationsfördernden Feldwalzen in erodierende Deckwalzen umgewandelt werden.

Bereits Wilken et al. (1994) haben die Bedeutung aufeinanderfolgender Hochwässer für den Schwebstoff- und Schadstofftransport beschrieben. Sie untersuchten 1994 drei aufeinanderfolgende Hochwässer, die am Pegel Neu Darchau Abflüsse von mehr als 2000 m^3/s überschritten. Sie dokumentieren dabei, dass mit dem ersten Hochwasser der größte Schwebstoff- und auch Schadstofftransport einherging. Sie führten die niedrigeren Frachten der nachfolgenden Hochwässer darauf zurück, dass mangels Zeit die Sedimentdepots in den Buhnenfeldern nicht wieder aufgefüllt werden konnten.

Wirtz (2004) zeigte, dass im Jahr 2001 bei Niedrig- und Mittelwasserabflüssen an der unteren Mittelelbe in mehreren Buhnenfeldern zwischen 159-531 m^3 Sediment angereichert wurden. Das folgende zweijährige Hochwasser führte zu Erosionen (bis 833 m^3) und Akkumulationen (bis 388 m^3) von Sedimenten in Buhnenfeldern und das extreme Sommerhochwasser 2002 führte mit Ausnahme eines Buhnenfeldes zu Erosionserscheinungen von Sedimenten bis maximal 1.320 m^3. Schwartz (2006) dokumentierten Erosionserscheinungen von feinkörnigen, kohäsiven Sedimenten in einem Buhnenfeld bei Elbe-km 420 durch das Sommerhochwasser 2002 in der Größenordnung von 200 m^3, was die Bedeutung von Hochwässern auf die Sedimentdepots in Buhnenfeldern unterstreicht.

Krüger und Urban (2009) konnten mit Hochflutsedimentuntersuchungen an der unteren Mittelelbe den Einfluss aufeinanderfolgender Hochwasserwellen auf den Sedimenteintrag in die Auen untersuchen. Es wurden während vier Hochwasserereignissen Hochflutsedimente zwischen Grippel (km 496) und Radegast (km 555) gewonnen. Die maximalen Abflusshöhen schwankten zwischen 1270 und 1620 m3/s am Pegel Neu Darchau. Die ermittelten Sedimenteinträge zeigt Abbildung 12. Erkennbar ist, dass trotz geringem Abfluss im Jahre 2007 die höchsten Sedimenteinträge ermittelt wurden. Bedeutsam ist, dass zwischen dem Hochwasserereignis im Frühjahr 2007 und dem ersten Winterhochwasser im Januar 2008 noch-

mals der Abflussschwellenwert überschritten wurde. Im Oktober 2007 wurden an der unteren Mittelelbe nochmals Abflüsse von 1060 m3/s erreicht. Somit ist davon auszugehen, dass das zwischenzeitlich gebildete Sedimentdepot mobilisiert und stromabwärts transportiert wurde, so dass für die Folgehochwässer in 2008 nur wenig mobilisierbares Sediment zur Verfügung stand.

Abbildung 12: Sedimenteinträge an der unteren Mittelelbe (Daten: Krüger und Urban 2009), FHW Frühjahrshochwasser, WHW Winterhochwasser.

5.3.3.2 Abfluss

Die Untersuchungen von Hochflutsedimenteinträgen im Untersuchungsgebiet Schönberg Deich bei Elbe km 435-440 zwischen 1997 und 2011 zeigen (Abb. 13), dass während der extremen Hochwasserereignisse die Sedimenteinträge am größten waren. Hier ist insbesondere auch der Flächenbezug von Bedeutung, da auch die hoch- und höchstgelegenen Auenbereiche überflutet wurden und Sedimenteinträge erfahren haben. Aufgrund der teilweise sehr wenigen Messpunkte können im Einzelfall und standortspezifisch auch mal bei niedrigen Abflüssen relativ hohe Sedimenteinträge auftreten. Die Auswertung medianer Sedimenteinträge am Standort Schönberg Deich hat gezeigt, dass bei extremen Abflusssituationen höchste Einträge stattfinden. Während des Hochwassers 2011 wurden jedoch trotz der extremen Abflusssituation nur Einträge, wie sie auch bei mittleren Hochwässern auftreten, gemessen (Abb. 14). Andererseits wurden im Herbst-Winterhochwasser 1998/99 derartig hohe Sedimenteinträge gefunden, wie sie sonst nur bei extremen Hochwässern auftraten.

Die getrennte Betrachtung der Sedimenteinträge an der mittleren Mittelelbe (Abb. 15) sowie an der unteren Mittelelbe (Abb. 16) erfolgt anhand derjenigen Daten, die seit 2003 ermittelt wurden. Zuvor wurden lediglich an der unteren Mittelelbe Sedimenteinträge gemessen, womit ein Ungleichgewicht bestünde, wenn für weiterführende Abschätzungen nur die Daten aus dem Untersuchungsgebiet Schönberg Deich berücksichtigt würden. Außerdem weisen die schwebstoffbürtigen Sedimente im betrachteten Zeitraum noch deutliche Qualitätsunterschiede auf (Daten FGG über Schadstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten zwischen 1997 und 2011). Krüger und Urban (2009) haben bei der Feststellung variierender Sedimentationsraten eines Auenbodens an der unteren Mittelelbe diskutiert, dass möglicherweise die Qualitätsunterschiede von Schwebstoffen und Sedimenten aufgrund ihres variablen Sinkverhalten verantwortlich sind, so dass für vergleichende Untersuchungen von Sedimenteinträgen in verschiedenen Elbabschnitten unbedingt auch vergleichbare Zeiträume Berücksichtigung finden müssen.

Erkennbar ist für beide Elbeabschnitte (Abb. 15 und 16), dass bei zunehmender Abflusshöhe auch die Spannbreite der Sedimenteinträge größer wird. Vereinzelt wurden jedoch auch bei niedrigeren Abflüssen sehr hohe Einträge gemessen. Bei gleicher Abflusshöhe scheint die Nutzungsform relevant, wie die Einträge unter Wald (Abb. 15) illustrieren.

Abbildung 13: Sedimenteinträge am Standort Schönberg Deich zwischen 1997 und 2011, Daten UFZ, es wurden nur Messjahre berücksichtigt, bei denen mindestens drei Einzelbefunde vorlagen.

Abbildung 14: Mediane Sedimenteinträge am Standort Schönberg Deich zwischen 1997 und 2011 in Abhängigkeit des Abflusses, es wurden nur Messjahre berücksichtigt, bei denen mindestens drei Einzelbefunde vorlagen.

Abbildung 15: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der mittleren Mittelelbe vom Abfluss (Daten UFZ).

Abbildung 16: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der unteren Mittelelbe vom Abfluss (Daten UFZ, Leuphana).

5.3.3.3 Höhenlage, Überflutungsdauer

Die Untersuchung der Überflutungshäufigkeiten (Kapitel 5.2.1) illustrierte bereits, dass die Vorländer unterschiedlich häufig und damit einhergehend unterschiedlich lange überflutet werden. Dabei ist die Überflutungsdauer einzelner Standorte zum einen abhängig von der Höhe des Wasserstandes (oder Abflusses). Flutrinnen und Senken sind erwartungsgemäß immer länger überflutet als Plateaustandorte. Darüber hinaus kann die Länge des Hochwasserereignisses von Bedeutung sein. Allerdings zeigten die Untersuchungen von Wilken et al. (1994) und Baborowski et al. (2004), dass die größten Sedimentfrachten in der Regel vor dem eigentlichen Hochwasserscheitel auftreten. Die größten Schwebstoff- oder Sedimentfrachten treten im Zusammenhang mit der Überschreitung des Abflussschwellenwertes auf, in dessen Folge die kritische Sohlschubspannung am Gewässer- oder Buhnenfeldgrund überschritten wird, so dass gewässerinterne Erosion auftritt. Demnach müsste eher die Dauer des Wasseranstiegs bis zur flächenhaften Überflutung als die absolute Dauer eines Hochwasserereignisses den Sedimenteintrag in die Auen beeinflussen. Darüber hinaus hat die Modellierung des Überflutungsgeschehens in der Mäanderschleife bei Schönberg Deich durch Büttner et al. (2006) gezeigt, dass die Überflutungsbedingungen im Vorland sehr variabel sein können. So treten selbst in den zentralen Bereichen der Aue gerade in tiefgelegenen Flutrinnen derartig hohe Fließgeschwindigkeiten auf, dass mit einer Sedimentation von Partikeln kaum zu rechnen ist. In jedem Fall ist immer mit der Überlagerung verschiedener Einflüsse ist zu rechnen, weshalb hier eine Darstellung der Sedimenteinträge in Abhängigkeit

der Geländehöhe erfolgt. Abbildung 17 zeigt die Sedimenteinträge in Abhängigkeit der Geländehöhe zum Mittelwasser vom Herbst-Winterhochwasser 98/99 in der Mäanderschleife Schönberg Deich. Es wird deutlich, dass die höchsten Einträge bei Standorten mit einer Geländehöhe von ca. 0,5 m über dem Mittelwasser erfolgten, tiefergelegene und länger überflutete Positionen aber deutlich niedrigere Einträge erfahren haben. Eine Differenzierung der tiefgelegenen Bereiche in solche, die Sedimentation erfahren oder nicht erfahren, ist nur durch Modellierungsarbeiten möglich. Dies belegen auch die Abbildungen 18 und 19, die anhand der Daten seit 2003 zeigen, dass an der mittleren und unteren Mittelelbe eine einfach abzuleitende Abhängigkeit der Sedimenteinträge von der Geländehöhe nicht besteht. Darüber hinaus lässt sich ggf. aus Abbildung 18 ableiten, dass auch die Nutzungsform, d.h. die Rauhigkeit im Gelände das Sedimentationsgeschehen beeinflusst.

Abbildung 17: Sedimenteinträge am Standort Schönberg Deich während des Hochwassers 98/99 in Abhängigkeit der Geländehöhe.

Abbildung 18: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der mittleren Mittelelbe von der Geländehöhe (Daten UFZ).

Abbildung 19: Abhängigkeit der Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 an der unteren Mittelelbe von der Geländehöhe (Daten UFZ, Leuphana).

5.3.3.4 Nutzung

Die folgende Abbildung 20 lässt einen deutlichen Einfluss der Landnutzung auf den Sedimentrückhalt vermuten. Es muss allerdings beachtet werden, dass insgesamt nur für 8 Waldstandorte Sedimenteintragsdaten vorlagen und das fünf davon in der Rückdeichungsfläche bei Lenzen lagen und bei den vorigen Darstellungen unberücksichtigt blieben. Zwei der untersuchten Waldstandorte befanden sich auf dem Biberwerder, kurz vor der Saalemündung, wo sich außerdem der Abflussquerschnitt der Elbe stark verengt. Weitere fünf Standorten befanden sich unter Röhrichten, wogegen an 51 Messpunkten Grünlandnutzung vorlag.

Abbildung 20: Sedimenteinträge bei unterschiedlichen Landnutzungen (Daten UFZ, Leuphana).

5.3.3.5 Morphologische Exposition

Aus den verschiedenen Datensätzen ließen sich vier unterschiedliche morphologische Einheiten, Ufer, hochgelegene Plateaus, Flutrinnen und abflusslose Senke unterscheiden. Des Weiteren wurden Rückdeichungsflächen separat ausgewertet. Abbildung 21 zeigt Sedimenteinträge in unterschiedlichen morphologischen Einheiten. Erkennbar ist, dass ufernah die höchsten Einträge stattfinden. Dagegen erfuhren Plateaustandorte im Falle ihrer Überflutung niedrige, vergleichbare Einträge wie Flutrinnen und abflusslose Senken. Die Sedimenteinträge in Rückdeichungsflächen scheinen vergleichsweise hoch zu liegen, wobei beachtet werden muss, dass die beiden Rückdeichungsflächen Roßlau und Lenzen gänzlich unterschiedliche Überflutungsregime erfahren. Während in Roßlau die Überflutung im Wesentlichen durch Rückstau, also langsam, eintritt, erfolgt in Lenzen auch eine Überflutung von oberstrom. Die vergleichende Untersuchung des Einflusses der morphologischen Positionen

in den unterschiedlichen Flussabschnitten (Abb. 22) zwischen 2003 und 2001 illustriert des Weiteren, dass in Uferpositionen in beiden Gewässerabschnitten die höchsten Sedimenteinträge stattfinden. Im Gegensatz zur unteren Mittelelbe fehlen bzw. kommen an der mittleren Mittelelbe die niedrigen Einträge kaum vor. Die könnte sich mit Untersuchungen von Barth et al. (1998) decken, die an einer Uferabbruchkante bei Aken durchschnittliche Sedimentationsraten von 3 cm gefunden haben, während Götz et al. (2007) an einem ufernahen Bodenprofil lediglich durchschnittliche Sedimentationsraten von 0,56 cm analysierten.

Abbildung 21: Sedimenteinträge bei unterschiedlichen Landnutzungen (Daten UFZ, Leuphana, Krüger, 2012).

Abbildung 22: Sedimenteinträge bei unterschiedlichen Landnutzungen seit 2003, links mittlere Mittelelbe, rechts untere Mittelelbe (Daten UFZ, Leuphana, Krüger, 2012).

5.3.3.6 Entfernung

Bereits 2001 haben Krüger et al., basierend auf Daten zum Frühjahrshochwasser 1997 darauf hingewiesen, dass die Einträge von Sedimenten in die Auen der Elbe eine deutliche Abhängigkeit von der Distanz der Messpunkte zur Schwebstoffquelle aufweisen (Abb. 23). Die

zusammenfassende Darstellung aller Sedimenteinträge seit 2003 an der mittleren und unteren Mittelelbe (Abb. 24) illustriert erstens, dass sich die hohen Sedimenteinträge in Ufernähe als auch in großer Distanz zur Elbe zwischen den unterschiedlichen Elbabschnitten kaum unterscheiden. Zweitens relativiert sich auch die Bedeutung der Landnutzung auf den Rückhalt. Deutlich wird, dass sich die unersuchten Waldstandorte, also Messpunkte mit hoher Rauhigkeit und einem hohem Retentionspotenzial, allesamt relativ nah an der Elbe befinden und in diesem Bereich vergleichbar hohe Einträge erfahren wir Grünlandstandorte und Röhrichte. Die folgenden Abbildungen 25 und 26 illustrieren die Abhängigkeit der Sedimenteinträge von der Entfernung zur Elbe unter Berücksichtigung verschiedener Abflusssituationen und Elbabschnitte. Dabei werden einerseits Hochwässer seit 2003 zusammengefasst, deren Maximale Abflusshöhen im Bereich des Abflusses 2 MQ liegen. Andererseits werden Abflusssituationen von Hochwässern im Bereich von MHQ und Extremhochwässern zusammengefasst, weil die Untersuchungsergebnisse gezeigt haben, dass nicht immer bei höchsten Abflüssen auch die höchsten Einträge ermittelt wurden. Im Anhang sind auch die Befunde des extremen Hochwassers im Sommer 2013 dargestellt. Da im Rahmen der Studie der Rückhalt feinkörniger Sedimente untersucht werden sollte, wurden die Sedimenteinträge für die Abbildungen 25 und 26 um ihren Sandanteil am Sedimenteintrag bereinigt.

Abbildung 23: Sedimenteinträge in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe im Untersuchungsgebiet Schönberg Deich bei Elbe km 435-440 (Krüger, 2001).

Abbildung 24: Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe an der mittleren und unteren Mittelelbe (Daten UFZ, Leuphana).

Abbildung 25: Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe an der mittleren Mittelelbe bei unterschiedlichen Abflusssituationen und bereinigt um den Sandanteil, links ca, 2MQ, rechts ca. MHQ & Extremhochwässer (Daten UFZ).

Abbildung 26: Sedimenteinträge zwischen 2003 und 2011 in Abhängigkeit der Entfernung der Messpunkte von der Elbe an der mittleren Mittelelbe bei unterschiedlichen Abflusssituationen und bereinigt um den Sandanteil, links ca, 2MQ, rechts ca. MHQ & Extremhochwässer (Daten UFZ, Leuphana).

5.4 Großräumiger Sedimentrückhalt

5.4.1 Auswertungen von Sedimentfallenuntersuchungen

Die Berechnung des großräumigen Sedimentrückhaltes erfolgt datenbasiert. Als Grundlage dienen die um die Sandanteile bereinigten Sedimenteinträge sowie deren Beziehung zur Entfernung der Elbe bei unterschiedlichen Abflusssituationen (siehe Abb. 25 und 26). Dabei wurden die Messergebnisse ähnlicher Abflussverhältnisse gruppiert und gemeinsam ausgewertet.

Es wurden aus den abflussspezifischen Funktionen zwei Sedimentationsräume, elbnah und elbfern, definiert. Die Abgrenzung des elbnahen vom elbfernen Sedimentationsraum erfolgte grafisch. Aus den jeweiligen Messergebnissen innerhalb der Sedimentationsräume wurden Mittelwerte gebildet, um die hohen Sedimenteinträge in unmittelbarer Ufernähe durch Medianbildung nicht unterzurepräsentieren. Das Prinzip wird in der Abb. 27 illustriert. Tabelle 6 zeigt die datenbasierten Eingangsparameter für die Berechnung des Sedimentrückhaltes. Diese Mittelwerte wurden über die betroffenen Flächenanteile hochgerechnet. Eine ähnliche Verfahrensweise nutzen auch Scholz et al. (2012) bei der Berechnung des Phosphorrückhaltes in Auen. Es erfolgte eine Berechnung für die Elbauen von der deutsch tschechischen Grenze bis zur Saalemündung auf Grundlage der Befunde aus dem Raum mittlere Mittelelbe. Die stromabwärtsgelegenen Bereiche wurden auf Grundlage der Daten aus der unteren Mittelelbe berechnet. Eine Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungen erfolgte aufgrund der unzureichenden und unsicheren Datenlage nicht und bleibt zukünftigen Untersuchungen vorbehalten.

Abbildung 27: Identifikation elbnaher und elbferner Bereiche zur Berechnung des großräumigen Sedimentrückhaltes.

Tabelle 6: Datenbasierte Parameter zur Berechnung des großmaßstäbigen Sedimentrückhaltes.

	2MQ		**MHQ**		**HHQ**	
	Breite der elbnahen Sedizone, m	Sedimenteinträge, t/ha nah/fern	Breite der elbnahen Sedizone, m	Sedimenteinträge, t/ha nah/fern	Breite der elbnahen Sedizone, m	Sedimenteinträge, t/ha nah/fern
Grenze bis Barby	140	1,31/-	160	9,5/1,6	160	9,5/1,6
Barby bis Geesthacht	80	6,4/1,5	180	3,16/1,44	230	5,6/2,1

Auf Basis der oben gezeigten Daten lassen sich Abschätzungen der Sedimentretention vornehmen. Mit der ableitbaren Modellvorstellung verbreitert sich mit zunehmendem Abfluss der Raum, der durch starke Sedimentation gekennzeichnet ist. Dies gilt eingeschränkt für die mittlere Mittelelbe. Dies könnte durch die Tiefenerosion begründet sein, die zur Ausbildung von flussnahen Terrassen geführt hat, wie sie insbesondere in den Untersuchungsräumen Wörlitz und Steckby vorzufinden sind. Diese niedrig gelegenen Terrassen sind morphodynamisch aktiv, aber in ihrer Ausdehnung durch die höher gelegene, relativ ältere rezente Aue begrenzt. Des Weiteren zeigt sich, dass die ufernahen Einträge bei MHQ und HHQ an der mittleren Mittelelbe diejenigen an der unteren Mittelelbe übersteigen, während in großer Distanz zur Elbe relativ gleichförmige Sedimenteinträge berechnet werden. Ob damit auch der unterschiedlichen Nutzungsverteilung genügend Rechnung getragen wurde, muss in zukünftigen Untersuchungen geklärt werden.

Insgesamt ergibt sich für die Elbe ein plausibles Bild des differenzierten Sedimentrückhaltes in unterschiedlichen Streckenabschnitten (Abb. 28) und bei unterschiedlichen Abflüssen. Erwartungsgemäß sind die Sedimenteinträge bei höheren Abflüssen in der Regel größer, als bei niedrigen und in weitläufigeren Auen stärker, als bei schmalen Durchflussbreiten. Dies ist besonders bei Abflüssen unter/gleich 2MQ bedeutsam. Bei niedrigen Hochwässern werden die Auen oberstromig von Barby kaum überflutet, weshalb sie auch kaum Sedimentretention zeigen.

Die Berechnungen ergaben Sedimentretentionen entlang der deutschen Elbe bei Abflüssen von 2MQ in Höhe von 44.000 t, bei MHQ in Höhe von ca. 141.000 t und bei Extremhochwässern in Höhe von 223.000 t.
Es wird allerdings angenommen, dass diese Werte, vor allem durch fehlende Messdaten in weiteren Waldstandorten der Mittelelbe eine Unterschätzung darstellen, außerdem fehlen Daten in den weitläufigen Auen im Bereich des Eintritts der Elbe ins norddeutsche Tiefland sowie unterstromig der Saale sowie in den Mündungsbereichen der großen Nebenflüsse.

Abbildung 28: Kalkulierte Sedimenteinträge entlang der Elbe bei unterschiedlichen, ausgewählten Abflusssituationen.

5.4.2 Auswertungen von Schwebstofffrachtmessungen

Für detailliertere Schwebstofffrachtberechnungen hat die Bundesanstalt für Gewässerkunde Daten über tägliche Schwebstofffrachten an Messstationen der Elbe und Saale von 2003 bis 2008 bereitgestellt. Abbildung 29 illustriert, dass die Spannbreite der Schwebstoff-Jahresfrachten mit zunehmender Fließstrecke bis in die untere Mittelelbe kontinuierlich kleiner werden, wobei gleichzeitig die medianen Jahresfrachten ansteigen.

Abbildung 30 zeigt, dass die jährlichen Hochwasserfrachten ebenfalls eine sehr große Spannbreite aufweisen. Diese wird im Verlauf der Elbe-Fließstrecke kleiner, wobei auch hier die medianen Hochwasserfrachten zunehmen. Abbildung 31 zeigt, dass auch entlang der Elbe einzelne Hochwasserfrachten einen erheblichen Anteil an den Jahresfrachten ausmachen. Dabei nimmt der Anteil der Hochwasserfrachten an der Jahresfracht im Verlauf der Fließstrecke kontinuierlich ab. Im Median betragen die Hochwasserfrachten zwischen 24 und 8 %, können bei extremen Ereignissen aber auch 74 bis 30 % der Jahresfracht ausmachen. Abbildung 32 zeigt die jährlich aufsummierten Hochwasserfrachten. Erwartungsgemäß

sind die Spannbreiten ähnlich. Deutlich abweichend zeigen die aufsummierten jährlichen Hochwasserfrachten jedoch Anteile an den Jahresfrachten zwischen 41 und 16 %.

Die überschlägig kalkulierte Sedimentretention auf der Basis der fließzeitgerechten Differenzbildung während der Hochwasserphasen zwischen Frachten an unterschiedlichen Messpunkten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 (Frachtberechnungen der BfG, Abb. 33) ergab, dass bei niedrigen Hochwässern entlang der Elbe zwischen 25.000 t bis 75.000 t (Median: 52.000 t) zurückgehalten werden, bei mittleren Hochwässern sind es zwischen 85.000 und 155.000 t (Median: 120.000), im Extremhochwasser 2006 waren es allerdings knapp 500.000 t.

So ergeben die unterschiedlichen Berechnungsansätze Sedimenteinträge, die sich in ihrer absoluten Höhe bei kleinen bis mittleren Hochwässern über die gesamte Elbestrecke ähneln. Dabei zeigten vor allem mittlere und extreme Hochwässer eine unterschiedliche Verteilung im Gegensatz zu den über Sedimentfallen ermittelten Einträgen in die Auen. Vor allem nahe der Sedimentquelle, am Ort der ersten Aufweitung des Durchflussquerschnittes, bzw. nach der Einmündung der Saale, zeigt sich mittels Differenzbildung starker Sedimentrückhalt.

Des Weiteren werden über die Methode der fließzeitgerechten Differenzbildung diejenigen Rückhalte berücksichtigt, die durch den Anschluss von Altarmen begründet sind. Büttner et al. (2006) formulierten am Beispiel des Untersuchungsgebietes Schönberg Deich, dass Altarme selbst bei geringerer Flächenrelevanz 1/3 bis ¼ des Sedimenteintrags erfahren können. Eine leichte Unterschätzung des Ansatzes durch Differenzbildung für den Abschnitt an der unteren Mittelelbe liegt sicherlich in der Tatsache begründet, dass nur die Elbestrecke bis Hitzacker (km 522) und nicht bis Geesthacht (km 586) berücksichtigt wird.

Abbildung 34 illustriert die Anteile des Sedimentrückhaltes am Hochwassertransportgeschehen entlang der Elbe auf der Grundlage unterschiedlich berechneter Retentionsleistungen. Unabhängig von der Methode wird deutlich, dass die Anteile des Rückhaltes in unterschiedlichen Elbabschnitten verschieden sind. Nennenswert anteiliger Sedimentrückhalt an der Hochwasserfracht tritt erst in der Mittelelbe auf. Auf Grundlage der fließzeitgerechten Differenzbildung werden entlang der Elbe im Median 2,4 bis 27 %, maximal bis 43 % des Schwebstoffes, der Hochwasser transportiert wird, zurückgehalten. Die Berechnungen auf der Grundlage ereignisbezogener Messungen ergaben für mittlere und extreme Hochwässer ereignisbezogene Rückhalte von 12 bis 47 %.

Bezogen auf die Jahresfrachten bei Hitzacker (Daten der BfG zwischen 2003 und 2008) beträgt der Sedimentrückhalt in den Auen entlang der Elbe, ermittelt durch ereignisbezogene Messungen des Sedimenteintrages bei niedrigen Hochwässern ca. 7 %, bei mittleren Hochwässern ca. 23 % und bei extremen Hochwässern bis 30 %. Setzt man dagegen den ereignisbezogenen Rückhalt in den Auen mit der Hochwasserfracht in Hitzacker ins Verhältnis, so wird deutlich, dass zwischen 86 und 162 % der in die Tideelbe transportierten Schwebstoffmengen in den Auen zurückgehalten werden.

Abbildung 29: Schwebstoff-Jahresfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG.

Abbildung 30: Schwebstoff-Hochwasserfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG.

Abbildung 31: Anteil einzelne Hochwasserfrachten an den Jahresfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG.

Abbildung 32: Anteil aufsummierter Hochwasserfrachten an den Jahresfrachten entlang der Elbe zwischen 2003 und 2008 auf Grundlage von täglich ermittelten Daten der BfG.

Abbildung 33: Kalkulierter Sedimentrückhalt auf Grundlage von täglich ermittelten Sedimentfrachten der BfG.

Abbildung 34: Anteile der Sedimentretetion an der Hochwasserfracht, links auf Basis der fließzeitgerechten Differenzbildung, rechts.auf Basis ereignisbezogener Sedimenteintragsmessungen.

5.5 Schadstoffrückhalt

Das Potenzial zum Schadstoffrückhalt wird unter Zuhilfenahme der Daten der Flussgebietsgemeinschaft-Elbe sowie der BfG errechnet. Dabei werden die Schadstoffgehalte aus den vom Hochwasser beeinflussten Monatsmischproben der Messstandorte der FGG-Elbe entsprechend der Tages-Schwebstofffrachten der BfG gewichtet. Berücksichtigung fanden dabei die Hochwasserereignisse aus den Jahren 2004, 2005 und 2006 die Hochwasserabflusssituationen 2MQ, MHQ und Extremhochwasser.

Die Schadstoffretention wird am Beispiel des Quecksilbers sowie anhand der Retention von Polychlorierten Biphenylen (PCB) illustriert. Quecksilber und PCB wurden ausgewählt, weil diese Schadstoffe repräsentativ für Einträge in die Elbe aus unterschiedlichen Teileinzugsgebieten stehen. Nach Heise et al. (2008) erfährt die Elbe die stärksten PCB Einträge aus der Tschechischen Republik, während Quecksilber im Wesentlichen aus der Saale angeliefert wird. Weitere Schwermetalle und Arsen, sowie die Retention ausgewählter organischer Schadstoffe ist im Anhang 4 zusammengestellt.

Auch die stärksten Schadstoffeinträge in die Auen erfolgen an der mittleren und unteren Mittelelbe (Abb. 35 und 36). Dabei zeigen die Auen an der mittleren Mittelelbe, insbesondere oberstromig des Saalezuflusses starken Rückhalt für Schadstoffe mit spezifischer Herkunft aus der oberen Elbe, während an der unteren Mittelelbe Schadstoffe, die aus dem Einzugsgebiet der Saale stammen, ihre stärkste Retention erfahren. So wirken bei der Schadstoffretention ebenso Sedimentfracht in die Auen und die Konzentration des Schadstoffs im Sediment zusammen. Die stärksten Schadstoffeinträge gehen in der Regel mit den größten Sedimenteinträgen in die Auen einher. Das extreme Hochwasser führte in der Regel zu den größten Schadstoffeinträgen. Einschränkend muss festgestellt werden, dass bei vergleichbar hohen Sedimenteinträgen in den Auen der mittleren Mittelelbe starke Konzentrationsunterschiede in den Sedimenten und Schwebstoffen während der Hochwasserphasen dazu führen können, dass bei MHQ-Situationen der Schadstoffrückhalt größer ist als bei extremen Abflusssituationen (Abb. 35).

Die Tabellen 7 (Schwermetalle und Arsen) und 8 (Organika) geben Auskunft über den Schadstoffrückhalt während der repräsentativen Hochwasserereignisse 2004, 2005 und 2006. So wurden z. B. in den gesamten Elbauen 0,1 t (bei 2MQ), 0,2 t (bei MHQ) und 0,4 t (Extremabfluss) Quecksilber zurückgehalten (Tabelle 7, Abb. 36). Dieses entspricht zwischen 9 und 62 % der jeweiligen Quecksilber-Jahresfracht in Schnackenburg und unterstreicht die Bedeutung der Auen beim Schadstoffrückhalt. Bei den Metallen wurden zwischen 2,5 und 62 %, im Median 12,4 %, verglichen mit der Schadstoff-Jahresfracht (FGG, 2014) zurückgehalten.

Noch deutlicher wird die Funktion der Auen, wenn der Hochwasserrückhalt in den Auen entlang der Fließstrecke mit den ereignisbezogenen Frachten in Hitzacker verglichen wird. Zwischen 36 und 134 % der Frachten in Hitzacker sedimentieren ereignisbezogen in den Auen. In Abhängigkeit von Konzentrationen und Frachten können auch mittlere Hochwässer zu einem sehr starken Schadstoffrückhalt führen.

Tabelle 7: Abschätzung des hochwassergebundenen Schwermetall- und Arsenrückhalts in den Auen entlang der deutschen freifließenden Elbe.In fett: ereignisabhängige Sedimentretention > als Hochwasserfracht

		2004/2MQ	2005_2/MHQ	2006/extrem
As	HW-Retention, t	1,1	4,1	4,6
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	45,2	35,8	37,2
	HW/Jahr, %	2,5	11,4	12,3
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	2,2	3,5	3,4
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	51,3	**115,1**	**133,9**
Cd	HW-Retention, t	0,2	0,4	0,6
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	5,2	6,3	2,7
	HW/Jahr, %	4,3	6,8	23,5
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	0,4	0,7	1,2
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	57,9	65,3	53,3
Cr	HW-Retention, t	4,1	10,6	16,7
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	26,4	62,6	32,4
	HW/Jahr, %	15,4	16,9	51,4
	HW-Fracht in Schnackenburg, t**	6,7	9,9	26,3
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	60,8	**106,7**	63,4
Cu	HW-Retention, t	3,9	10,1	14,9
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	70,9	81,9	66,4
	HW/Jahr, %	5,5	12,3	22,4
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	5,7	9,1	23,7
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	68,6	**110,1**	62,8
Ni	HW-Retention, t	2,0	6,4	11,2
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	53,7	65,1	71,1
	HW/Jahr, %	3,7	9,8	15,7
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	3,0	5,4	19,8
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	64,7	**118,2**	56,4
Pb	HW-Retention, t	4,5	12,6	19,0
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	59,5	65,2	40,2
	HW/Jahr, %	7,5	19,3	47,1
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	6,7	11,2	32,8
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	66,8	**112,5**	57,8
Hg	HW-Retention, t	0,1	0,2	0,4
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	1,0	1,4	0,6
	HW/Jahr, %	9,2	14,5	61,7
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	0,1	0,3	1,0
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	65,1	74,9	36,0
Zn	HW-Retention, t	40,8	85,2	111,4
	Jahresfracht in Schnackenburg, t*	699,1	677,9	665,3
	HW/Jahr, %	5,8	12,6	16,8
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	66,8	103,4	193,4
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	61,1	82,4	57,6

*Jahresfrachten in Schnackenburg, Daten FGG-Elbe (2014)
**Tägliche Schwebstofffrachten der BfG, verrechnet mit Stoffgehalten aus Monatsmischproben der FGG-Elbe

Gleiches zeigt sich für organische Schadstoffe. Auf einen Vergleich zwischen Einträgen in die Auen und den Jahresfrachten in Schnackenburg wird hier verzichtet, da seitens der FGG-Elbe (2014), Jahresfrachten, abgeleitet aus Wochenmischproben, nicht vorliegen. Im Gegensatz zu den Schwermetallen zeigte sich, dass der Rückhalt in den Auen von organischen Schadstoffen bei einzelnen Hochwasserwellen im Vergleich zur Hochwasserfracht in Hitzacker deutlich höher ausfällt. Dies ist eigentlich nur dadurch zu erklären, dass die Auen der mittleren Mittelelbe für die Schadstoffe, angeliefert aus der Tschechischen Republik, einen höheren Rückhaltebeitrag leisten, wie es auch Abb. 35 für PCB illustriert. Gänzlich abweichende und unplausible Verhältnisse wurden für Pentachlorphenol ermittelt, ein Indiz für die Notwenigkeit weiterer vergleichender Untersuchungen zwischen Einträgen in die Auen und den Schadstofftransport im Gewässer.

Tabelle 8: Abschätzung des hochwassergebundenen Rückhaltes organischer Schadstoffe in den Auen entlang der deutschen freifließenden Elbe. In fett: ereignisabhängige Sedimentretention > als Hochwasserfracht

		2004/2MQ	2005_2/MHQ	2006/extrem
Σ–PCB	HW-Retention, kg	2,1	8,0	7,2
	HW-Fracht in Hitzacker, kg**	1,5	4,6	6,2
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	**134,6**	**173,9**	**115,4**
Σ–HCH	HW-Retention, kg	2,1	8,0	7,2
	HW-Fracht in Hitzacker, kg**	1,5	4,6	6,2
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	**134,6**	**173,9**	**115,4**
AOX	HW-Retention, t	4,9	12,6	14,9
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	5,7	9,9	22,3
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	86,8	**126,9**	66,9
B(a)p	HW-Retention, t	0,02	0,08	0,06
	HW-Fracht in Hitzacker, t**	0,0	0,0	0,1
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	81,3	**172,6**	**116,8**
TBT	HW-Retention, kg	0,1	1,8	7,4
	HW-Fracht in Hitzacker, kg**	k.A.	2,5	23,1
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	k.A.	73,3	32,0
HCB	HW-Retention, kg	1,6	10,7	10,2
	HW-Fracht in Hitzacker, kg**	1,8	6,5	4,7
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	88,9	**164,4**	**219,3**
PCP	HW-Retention, kg	*0,06*	*0,15*	*0,30*
	HW-Fracht in Hitzacker, kg**	*0,03*	*0,02*	*0,02*
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	*237,15*	*698,04*	*1182,98*
Σ–DDX	HW-Retention, kg	11,5	33,3	35,2
	HW-Fracht in Hitzacker, kg**	6,4	17,8	18,6
	HW-Retention/HW-Fracht in Hitzacker, %	**179,9**	**187,1**	**189,4**

**Tägliche Schwebstofffrachten der BfG, verrechnet mit Stoffgehalten aus Monatsmischproben der FGG-Elbe

Abbildung 35: Kalkulierte PCB (6)-Einträge bei ausgewählten Hochwassersituationen, 2004,2005 und 2006.

Abbildung 36: Kalkulierte Quecksilbereinträge bei ausgewählten Hochwassersituationen, 2004,2005 und 2006.

5.6 Defizitanalyse

Die vorgelegten Ergebnisse von Hochflutsedimenten beruhen auf Studien, in deren Rahmen lokale Veränderungen der Bodenqualität ermittelt werden sollten. Eine repräsentative Verteilung entlang der Elbe liegt nicht vor.
Um die Eigenheiten und Charakteristika der unterschiedlichen Flussabschnitte bei der großmaßstäbigen Berechnung des Sedimentrückhaltes zu integrieren, sind Verbesserungen im Probenahmedesign notwendig:

- Berücksichtigung von Messpunkten an der oberen Elbe
- Berücksichtigung von Messpunkten beim Eintritt der Elbe ins norddeutsche Tiefland, da sich dort die Elbe erstmalig aufweitet und nach Erfahrungen vom extremen Hochwasser 2002 und auf Basis vorgelegter Ergebnisse starker Sedimentrückhalt stattfindet.
- Berücksichtigung von repräsentativen Messpunkten zwischen Mulde und Saale am linken Ufer. Die Untersuchungsgebiete in den rechtselbischen Auen bei Steckby zeigten in Böden keine Beeinflussung durch die Mulde, weil diese bis dorthin nicht gleichmäßig eingemischt wurde (Krüger et al. 2005).
- Berücksichtigung von Messpunkten unterstromig der Saale bis Magdeburg, vor allem um den Saale-bedingten Eintrag in die Auen zu quantifizieren.

Des Weiteren lag keine Repräsentativität bzgl. der auentypischen Nutzungen vor. Während Grünlandstandorte ausreichend vertreten waren, fehlten repräsentative Ergebnisse aus Röhricht- und vor allem Waldstandorten.
Notwendige Verbesserungen:

- Berücksichtigung von Sedimenteinträgen an repräsentativen Waldstandorten – vor allem zwischen Wittenberg und Barby.

Auch aus den Nebenflussmündungen gab es bis dato kaum Informationen über Sedimenteinträge. Gerade, wenn die Elbe hohe Wasserführung zeigt und die Nebenflüsse zurückstauen, ist auch in den weitläufigen Mündungsbereichen der Nebenflüsse mit erheblichen Einträgen zu rechnen.
Notwendige Verbesserungen:

- Berücksichtigung von Sedimenteinträgen an repräsentativen Waldstandorten – vor allem zwischen Wittenberg und Barby.

Darüber hinaus stellt bei allen ereignisbezogenen Frachtberechnungen an der Elbe die ungleichgewichtige Erfassung von Schwebstofffrachten von Mulde und Saale ein Problem dar.
Notwendige Verbesserungen:

- Ereignisbezogene Erfassung von Schwebstofffrachten an beiden Nebenflüssen sowie der Elbe nach einheitlichen Methoden.

Außerdem bestehen, trotz erster Untersuchungen über Vorkommen und Remobilisierungspotenzial von Sedimenten in Seitenstrukturen der Elbe (Heise et al. 2013), nach wie vor Kenntnislücken über hochwasserbedingte Sedimentationsprozesse in den Altarmen der Auen.
Notwendige Verbesserungen:

- Berücksichtigung von Sedimenteinträgen in Altarmen und Stillgewässern der Aue.

Darüber hinaus gibt es weitere Kenntnislücken, die bei detaillierten Betrachtungen an Bedeutung gewinnen. So ist durch fortschreitende Sukzession mit einer Veränderung der Vegetation und Rauhigkeit des Geländes zu rechnen. Dies stellt auch die Nutzung älterer Daten für eine Abschätzung des rezenten Retentionspotenzials in Frage. Darüber hinaus stellten Scholz et al. (2012) fest, dass die Landnutzungsverteilung und die Landnutzungstypen auf Grundlage des DLM 25 relativ unscharf sind.
Die Daten- und Literaturrecherche hat ergeben, dass an fast allen Standorten, an denen Kenntnislücken zum hochwassergebundenen Eintrag bestehen, auch bodenkundliche Untersuchungen fehlen, die einen Rückschluss auf rezente und historische Sedimentationsprozesse in Auen zulassen.

Leider fehlten im Sommer 2013 Arbeitskapazitäten, um das Messprogramm „Hochwasserextreme“ mit ausreichend Sedimentfallenuntersuchungen zu untermauern. Insbesondere die kombinierte Erfassung von Schwebstofffrachten im Gewässer unter Berücksichtigung der Abflussschwellenwerte, kombiniert mit optimierten, lokalen Sedimentationsmessungen in Auen lässt eine deutliche Verbesserung in der Abschätzung der Retentionsleistung erwarten.

Zusammenfassend kann aber festgestellt werden, dass die Ermittlung der Sedimenteinträge mit Hilfe von Sedimentfallen zu insgesamt plausiblen Berechnungen des Sedimentrückhaltes führen. Eine Verbesserung und Anpassung des Probennahmedesigns im Hinblick auf die Erfassung des großmaßstäbigen Sedimenthaushaltes birgt allerdings Potenzial zu weiteren Verbesserungen der Ergebnisse.

6 Zusammenfassung

Diese Studie über den großräumigen Sedimentrückhalt bei Hochwasser in den Auen der freifließenden Elbe diente als Baustein des Sedimentmanagementkonzeptes zum einen der Förderung des Prozessverständnisses beim Sedimenttransport, andererseits diente sie dazu, das Bewusstsein für die Auen als einen Raum des Sedimentmanagements zu schärfen.

Im Rahmen der Studie wurden die Landnutzungen in den Auen der Elbe auf der Grundlage des Digitalen Landnutzungsmodell 1:25.000 ermittelt. Mit einem Flächenanteil von 68 % ist die Grünlandnutzung am weitesten verbreitet, gefolgt von Ackerland (12 %) und Wald (11 %). In kürzeren Abschnitten der sächsischen Elbe sind auch Siedlungsanteile bis 30 % enthalten. Größte Waldanteile liegen im Auenvorland zwischen Wittenberg und Barby vor.

Die breitesten Auen und größten Überflutungsbereiche treten in der mittleren Mittelelbe auf.

Die Analyse der Betroffenheit von Auenarealen bei unterschiedlichen Abflusssituationen hat ergeben, dass, die Elbestrecken, die durch Tiefenerosion betroffen sind (also die Elbestrecke bis zur Einmündung der Saale) deutlich später ausufert. Erst bei Abflüssen um den mittleren Hochwasserabfluss werden die Auen auch oberstromig der Saalemündung weitläufig über-

flutet. Dies bedeutet auch, dass die großen Waldanteile in der mittleren Mittelelbe erst bei hohen Abflüssen für die Schwebstoffretention wirksam werden können.

Das unterschiedliche Überflutungsregime ober- und unterstromig der Saalemündung ist dafür verantwortlich, dass schon bei Abflüssen um 2 MQ in unterstromigen Elbabschnitten Sedimentation in Auen möglich ist.

Die Auswertung von ereignisbezogenen Sedimenteinträgen an unterschiedlichen Standorten an der mittleren und unteren Mittelelbe hat ergeben, dass unabhängig von der Nutzung der Überflutungsauen in den unterschiedlichen Flussabschnitten vergleichbar hohe Sedimenteinträge bei Hochwasser ermittelt wurden. Der Unterschied zwischen Standorten ober- und unterstromig der Saale lag vielmehr im Fehlen von niedrigen Sedimenteinträgen in Flussnähe an den Standorten der mittleren Mittelelbe.

Sedimenteinträge zeigten deutlich Abhängigkeiten von der Abflusshöhe als auch von der Distanz der Messpunkte zur Elbe. Aufbauend auf den Messdaten war es möglich, für drei unterschiedliche Abflusssituationen (2MQ, MHQ und Extremhochwasser) das Retentionspotenzial der Auen für transportierte Sedimente zu ermitteln. Wesentliches Kriterium ist neben der Abflusshöhe die Ausdehnung der Überflutungsauen. Abschätzende Berechnungen ergaben, dass zwischen 7 und 30 %, verglichen mit den Schwebstoff-Jahresfrachten in Hitzacker, in den Auen entlang der Elbe zurückgehalten werden. Bezogen auf die Hochwasserfrachten in Hitzacker liegen die ereignisbezogenen Rückhalte zwischen 86 und 162 %, was den enormen Einfluss der Auen auf den Sedimenthaushalt der Elbe unterstreicht.

Mit den Sedimenteinträgen in die Auen geht der Schadstoffrückhalt einher. In Abhängigkeit von Schwebstofffrachten und Konzentrationen von Schadstoffen können auch bei niedrigeren Hochwässern sehr hohe Schadstoffrückhalte auftreten. Während z. B. Schadstoffe aus dem Teileinzugsgebiet der Saale z.B. nur unterstromig der Saalemündung in den Elbauen zurückgehalten werden können, erfahren Schadstoffe aus der oberen Elbe bereits in den weitläufigen Auen oberstromig der Mulde einen nennenswerten Rückhalt. Dies mag erklären, dass der Gesamtrückhalt dieser Stoffe im Vergleich zu den Frachten in Hitzacker oder Schnackenburg, deutlich größer ausfällt.

Abschließend wurde eine Defizitanalyse durchgeführt. Die Entwicklung eines Probenahmedesigns für Hochflutsedimente unter Berücksichtigung wesentlicher Quellen und Senken für Schweb- und Schadstoffe, am besten ergänzt durch Schwebstoffmessungen in repräsentativen Gewässerabschnitten der Elbe und wichtigsten Nebenflüssen lässt eine weitere, deutliche Verbesserung der hier erzielten Ergebnisse erwarten.

7 Empfehlungen für ein Sedimentmanagement

Die Sedimentretention ist dort am größten, wo die Auen frühzeitig überflutet werden bzw. wo das Überflutungswasser frühzeitig über Altarme in die Auen gelangen kann. Hohe Uferwälle, bewirken oft, dass nur über Rückstau durch Altarme eine Sedimentretention in Auen stattfindet. Die lokale Abtragung von Uferrehnen ermöglicht frühzeitiges Überfluten und Sedimentrückhalt. Die dabei entstehenden morphologischen Veränderungen scheinen nicht derartig gravierend, da in Ufernähe auch natürlicherweise die größte morphologische Dynamik vorherrscht und auch unter aktuellen Bedingungen mit einer neuerlichen Entstehung von Uferwällen gerechnet werden kann. Hier können lokal auch Synergien bzgl. des Hochwasserschutzes erreicht werden, da derartige Abtragungen den Durchfluss erhöhen.
Die Untersuchungen haben ebenfalls gezeigt, dass großflächige Auen viel Sediment zurückhalten. Die Schaffung neuer Überflutungsflächen wird als wirksames Mittel zur Förderung der Sedimentretention angesehen.
Am wirkungsvollsten scheinen Überflutungsflächen jeweils nah an der Sedimentquelle zu sein. Das heißt, bevorzugte, prioritäre Suchräume lägen beim Eintritt der Elbe ins norddeutsche Tiefland. Dort sind bereits großräumige Auen vorhanden, lediglich der Eintritt des Überflutungswassers ist verhindert, da die Elbe zum teil durch die hier besonderes deutliche Sohlerosion sehr tief liegt und Uferrehnen ein Ausufern erst bei höheren Hochwassereignissen ermöglichen. Des Weiteren unterstromig der Mulde, vorzugsweise am linken Ufer, wo mit der Deichrückverlegung im Bereich des Lödderitzer Forstes bzgl. der Sedimentretention bereits viel getan wird, aber auch durch Absenkungen der Uferrehnen und Öffnung von Sommerpoldern noch große Potenziale liegen. Des weiteren zwischen Saalemündung und Magdeburg, vorzugsweise am linken Elbufer, da die Vermischung von Saalewasser und Elbwasser ein Prozess ist, der sich über viele Stromkilometer vollzieht.
Die Begründung neuer Auwälder als wirksames Mittel zur Erhöhung der Rauhigkeit und zur Förderung der Sedimentretention wird als wahrscheinlich gehalten, kann aber hier mangels Datenverfügbarkeit abgebildet werden. Aufgrund der nachhaltigen Schadstoffretention ist in den Auen auch weiterhin mit einer Beeinträchtigung der Schutzgüter Boden und landwirtschaftliche Nutzung zu rechnen, so dass alternative Nutzungsformen angestrebt werden sollten.

8 Summery

Sedimentation in active floodplains has an important role for the sediment management of large rivers. Although the processes for sediment retention are known, only little knowledge exists how to quantify sedimentation in floodplains and where does the sedimentation patterns in large rivers occur. Therefore we have investigated floodplain characteristics like vegetation pattern, inundation frequencies and morphological features for the active floodplains of the free flowing Elbe in Germany. Additionally we assembled and evaluated several site specific sampling campaigns with event related sedimentation data since 1997 to obtain a better understanding of large scale sediment- and pollutant retention. The study was supported by ELSA, City of Hamburg.

Results are showing, that the floodplain vegetation and land use types are heterogeneous distributed along the Elbe. The most important land use units are grasslands (68%), followed by croplands (12%) and forests (11%). Forests have a large proportion only between Wittenberg and Barby. The analyses are showing that forests in active floodplains have a high retention potential for sediments and pollutants, especially during mean flood events. Further the data are showing, that the Elbe river degradation until the confluence of the Saale river reduces inundation frequencies and sedimentation processes during smaller flood events, which points out new research questions concerning the ecological effect of reduced inundation frequencies along the Elbe river floodplains.

Investigation showed that the highest sedimentation rates are deposited along the river banks. As a function of discharge large scale sediment retention we calculated between 40.000 t in case of smaller floods until more than 200.000 t/event in case of extreme flooding for the Elbe floodplains. Going along with these findings, mercury retention can be calculated between 0,08 t – 0,34 t/event, which corresponds with e.g. 8 - 57 % of the annual Hg-discharge in Schnackenburg, underlining the importance of floodplains in the framework of a sediment management concept.

These approximations, based on a set of site specific sampling campaigns, could be improved to a high degree, if a new sampling strategy could be realised, which considers relevant regions between Torgau and Havelberg (including forested areas between Mulde and Saale).

9 Literatur

ALBRECHT, M.-L. (1960): Die Elbe als Fischgewässer. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 10. Jahrgang, Heft 10: 461-465.

ASSELMANN, N. E. M., MIDDELKOOP, H. (1995): Floodplain sedimentation: quantities, patterns and processes. Earth Surf. Process. Landforms 17: 687–697.

BABOROWSKI, M., VON TÜMPLING JR., W., FRIESE, K. (2004): Behavior of suspended particulate matter (SPM) and selected trace metals during the 2002 summer flood in the River Elbe (Germany) at Magdeburg Monitoring station. Hydrology and Earth Sciences 8(2): 135-150.

BABOROWSKI, M., KRÜGER, F., BÜTTNER, O., MORGENSTERN, P., LOBE, I., VON TÜMPLING, W., RUPP, H., GUHR, H. (2007a): Transport and fate of dissolved and suspended particulate matter in the Middle Elbe region during flood events. In: WESTRICH, B., FÖRSTNER, U. (Hrsg.): Sediment dynamics and pollutant mobility in rivers. An interdisciplinary approach Environmental Science and Engineering Springer, Berlin: 197 - 206.

BABOROWSKI, M., BÜTTNER, O., MORGENSTERN, P., KRÜGER, F., LOBE, I., RUPP, H.,V. TÜMPLING, W. (2007B): Spatial and temporal variability of sediment deposition on artificial lawn traps in a floodplain of the River Elbe. Env. Poll. 148 (3):770 - 778.

BARTH, A., JURK, M., WEIß, D. (1998): Concentration and distribution patterns of naturally occurring radionuclides in sediments and flood plain soils of the catchment area of the river Elbe. Water Sci. Technol. 37 (6–7): 257 - 262.

BfG - BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (Hrsg.) (2013): FLYS – Flusshydrologische Software. http://www.bafg.de/DE/08_Ref/M2/03_Fliessgewmod/01_FLYS/flys_node.html

BÖHME, M., KRÜGER F., OCKENFELD K., GELLER, W. (Hrsg) (2005): Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002. UFZ-Bericht, 101 S.

BRUNOTTE, E., DISTER, E. GÜNTHER-DIRINGER, D. KOENZEN, U., MEHL, D. (2009): Flussauen in Deutschland - Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 87.

BÜCHELE, B., EVDAKOV, O., KEINE, S., OTTE-WITTE, K., RITZERT, F., SAUCKE, U., NESTMANN, F. (2002): Geometrie und Morphologie der Elbe (Ist-Zustandserfassung von Einzelparametern in Längs- und Querprofil). In NESTMANN, F., BÜCHELE, B. (Hrsg.): Morphodynamik der Elbe: 66-90.

BÜTTNER, O., OTTE-WITTE, K., KRÜGER, F., MEON, G., RODE, M. (2006): Numerical modelling of floodplain hydraulics and suspended sediment transport and deposition at the event scale in the middle river Elbe, Germany. Acta hydrochim. hydrobiol. 34: 265 – 278.

FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT, FGG-ELBE (1997-2011): Datenportal, Schadstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten.

FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT, FGG-ELBE (2014): Sedimentmanagementkonzept der FGG-Elbe. Entwurf vom 25.11.2013, redaktionell ergänzt am 17.01.2014. 87 S.

FRIESE, K., WITTER, B., BRACK, W., BUETTNER, O., KRUEGER, F., KUNERT, M., RUPP, H., MIEHLICH, G., GROENGROEFT, A., SCHWARTZ, R., VAN DER VEEN, A., ZACHMANN, D. W. (2000): Distribution and fate of organic and inorganic contaminants in a river floodplain – results of a case study on the river Elbe, Germany. In: WISE, D. L., TRANTOLO, D. J., CICHON, E. J., INYANG, H. I., STOTTMEISTER, U. (Hrsg.): Remediation engineering of contaminated SOILS. S. 373-426. MARCEL DEKKER, INC., NEW YORK, BASEL.

GÖTZ, R., BAUER, O.-H., FRIESEL, P., HERRMANN, T., JANTZEN, E., KUTZKE, M., LAUER, R., PAEPKE, O., ROCH, K., ROHWEDER, U., SCHWARTZ, R., SIEVERS, S., STACHEL, B. (2007): Vertical profile of PCDD/Fs, dioxin-like PCBs, other PCBs, PAHs, chlorobenzenes, DDX, HCHs, organotin compounds and chlorinated ethers in dated sediment/soil cores from flood-plains of the river Elbe, Germany. Chemosphere 67: 592 - 603.

HANISCH, C., ZERLING, L., JUNGE, F. W., CZEGKA, W. (2005): Verlagerung, Verdünnung und Austrag von schwermetallbelasteten Flusssedimenten im Einzugsgebiet der Saale. Abh. Sächs. Akad. Wiss. 64(1). Leipzig, 119 Seiten.

HEISE, S., KRÜGER, F., FÖRSTNER, U., BABOROWSKI, M., GÖTZ, R., STACHEL, B. (2008): Bewertung von Risiken durch feststoff-gebundene Schadstoffe im Elbeeinzugsgebiet. Erstellt im Auftrag der Hamburg Port Authority (HPA) und cofinanziert durch die FGG-Elbe. 349 S., Hamburg.

Heise, S. (2013): Durchführung einer Sondierungsuntersuchung zum Risiko durch eine Schadstoffremobilisierung aus Seitenstrukturen der Elbe. ELSA Abschlussbericht 42 S.

HOFACKER, A. (2006): Abschätzung von Sedimentationsraten anhand von geochemischen Tracern und Geländehöhenvergleichen. Diplomarbeit Universität Karlsruhe, 167 S.

INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE, IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet, 258 S.

KLEEFISCH, B.: Unveröffentlichte Daten zum Hochfluteintrag bei Gorleben, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 2006.

KRÜGER, F., MEISSNER, G., GRÖNGRÖFT, A., GRUNEWALD, R. (2005): Flood induced heavy metal and arsenic contamination of Elbe River floodplain soils. Acta hydrochim. hydrobiol. 33 (5): 455-465.

KRÜGER, F., SCHWARTZ, R., KUNERT, M., FRIESE, K. (2006): Methods to calculate sedimentation rates of floodplain soils in the middle region of the Elbe River. Acta hydrochim. hydrobiol. 34: 175 - 87.

KRÜGER, F., URBAN, B.(2007-2008): Unveröffentlichte Daten des RAMWASS-Projektes, 2007-2008.

KRÜGER, F., URBAN, B. (2009): Erfassung partikulärer (Schad)Stoffeinträge in Auen/Überflutungsflächen der Elbe. In Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde:

Aspekte des Schadstoffmonitorings an Schwebstoffen und Sedimenten in der aquatischen Umwelt. 18. Chem. Koll. in Koblenz. BfGBfG 7/2009, ISSN 1866-220X.

KRÜGER, F., URBAN, B. (2011): Aktuelle Datenerfassung im Rahmen von KLIMZUG, seit 2009.

KRONVANG, B., FALKUM, O., SVENDSEN, L. M., LAUBEL, A. (2002): Depositionof sediment and phosphorus during overbank flooding. Verh. Int. Verein. Limnol. 18: 1289 - 1293.

KRÜGER, F. (2012): Boden- und Sedimentqualitäten aus der Rückdeichungsfläche Lenzen. In: Auenreport Spezial: Die Deichrückverlegung bei Lenzen: 24-30.

KRÜGER, F. KUNERT, M., BÜTTNER, O., FRIESE, K., RUPP, H. (2001): Geochemische Zusammensetzung von Hochflutsedimenten an der Elbe bei Wittenberge. In Hrsg. Gesellschaft für UmweltGeowissenschaften: Umweltgeochemie in Wasser, Boden uund Luft – Geogener Hintergrund und anthropogene Einflüsse. Springer: 57-74.

MEISSNER, R., GUHR, H., RUPP, H., SEEGER, J., SPOTT, D. (1994) Schwermetallbelastung von Böden und Elbsedimenten in ausgewählten Gebieten Ostdeutschlands, Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung, 35, 1 - 9, Paul Parey.

PEPELNIK, R., NIEDERGESÄß R., ERBSLÖH, B., AULINGER, A., PRANGE, A. (2004): Längsprofiluntersuchungen zur Beurteilung von Auswirkungen des Hochwassers vom August 2002 auf die Wasser- und Sedimentqualität der Elbe. In: Geller, W., Ockenfeld, K., Böhme, M., Knöchel, A. (Hrsg.): Schadstoffbelastung nach dem Elbe Hochwasser 2002. Endbericht des Ad-Hoc-Verbundprojektes: 82-100.

ROMMEL, J. (2005): Quantifizierung der Geländehöhen-Veränderungen im Vorland der freifließenden deutschen Elbe. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

RUPP, H., BOLZE, S. (2007-2010): Unveröffentlichte Daten über Hochfluteintrag bei Schönberg Deich, Falkenberg.

SCHOLZ, M., MEHL, D., SCHULZ-ZUNKEL, C., KASPERIDUS, H., BORN, W. & K. HENLE (2010): Bewertung von Ökosystemfunktionen in Flussauen in Deutschland. In: EPPLE, C., KORN, H., KRAUS, K., STADLER, J. (Berb.): Biologische Vielfalt und Klimawandel. BfN-Skripten 274: 26-28.

SCHOLZ, M., RUPP, H. (2006-2009): Unveröffentlichte Daten zur Deichrückverlegung Roßlau, Leipzig, Falkenberg.

SCHOLZ, M., MEHL, D., SCHULZ-ZUNKEL, C., KASPERIDUS, H. D., BORN, W., HENLE, K. (2012): Ökosystemfunktionen von Flussauen. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 124, 257 S.

SCHWARTZ, R., DUWE, J. & GRÖNGRÖFT, A. (1997): Einsatz von Kunstrasenmatten als Sedimentfallen zur Bestimmung des partikulären Stoffeintrages in Auen und Marschen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 85-I: 353-357.

SCHWARTZ, R. (2001): Die Böden der Elbaue bei Lenzen und ihre möglichen Veränderungen nach Rückdeichung. Dissertation, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten 48, 391 S.

SCHWARTZ, R. (2006): Geochemical characterisation and erosion stability of fine-graines groyne field sediments of the Middle Elbe River. Acta hydrolcim. hydrobiol. 34: 223-233.

UMLAUF, G., BIDOGLIO, G., CHRISTOPH, EH., KAMPHEUS, J., KRÜGER, F., LANDMANN, D., SCHULZ, AJ., SCHWARTZ, R., SEVERIN, K., STACHEL, B., STEHR, D. (2005): The situation of PCDD/Fs and dioxin like PCBs after the flooding of River Elbe and Mulde in 2002. Acta hydrochim. hydrobiol. 33 (5): 543 - 554.

URBAN, B. (2001): Untersuchungen zu nachhaltiger Bodennutzung und zum Grundwasserschutz im niedersächsischen Elbetal. In: Leitbilder des Naturschutzes und deren Umsetzung mit der Landwirtschaft. Synthesebericht des Forschungsvorhabens, 212 S, Anhang; Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, Suderburg.

VON HAAREN, J., STREUN, M., URBAN, B., EVERS, M., BROCK, J., RUBACH, H. (2006): Auswirkungen anorganischer Stoffeinträge auf die landwirtschaftliche Nutzung in den Hochwasser beeinflussten Auenbereichen der niedersächsischen Elbe. Technical report EU-Project FLOWS, Uelzen und Suderburg.

VON TÜMPLING, W., LOBE, I. (2004-2008): Unveröffentlichte Daten über Hochflutsedimente, gewonnen während des AQUATERRA-Projektes.

VON TÜMPLING, W., BABOROWSKI, M., BÖHME, M., BÜTTNER, O., RODE, M. (2005-2009): Unveröffentlichte Daten über Hochflutsedimente, gewonnen während des RIMAX-Projektes.

WILKEN, R.-D., FANGER, H.-U., GUHR, H. (1994): Ergebnisse der Hochwassermessungen 1993/1994. In: GUHR, H., PRANGE, A., PUNCOCHAR, P., WILKEN, R.-D., BÜTTNER B. (Hrsg.): Die Elbe im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie, 6. Magdeburger Gewässerschutzseminar. Teubner Verlagsgesellschaft: 125-135.

WIRTZ, C. (2004): Hydromorphologische und morphodynamische Analyse von Buhnenfeldern der unteren Mittelelbe im Hinblick auf eine ökologische Gewässerunterhaltung. Dissertation der Freien Universität Berlin, 269 S.

9 Danksagung

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden durch die Freie Hansestadt Hammburg im Rahmen des Projektes „Schadstoffsanierung Elbsedimente – ELSA“ gefördert. Großer Dank gilt Rene Schwartz und Ilka Keller für die inhaltliche und organisatorische Unterstützung und Begleitung dieser Studie. Des Weiteren möchten wir uns bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde - BfG, Koblenz für die Bereitstellung von Daten zu Sedimentfrachten sowie zahlreichen Kollegen für die Bereitstellung von Ergebnissen von Sedimentmessungen aus verschiedenen Forschungsprojekten bedanken. Ein weiterer Dank gilt Olaf Büttner, Peter Heininger, Susanne Heise, Ina Quick, Holger Rupp, Christiane Schulz-Zunkel, Daniel Schwandt und Wolf von Tümpling sowie zahlreichen weiteren Personen, die uns durch ihr Engagement, Fachwissen und Diskussionen in diesem Vorhaben unterstützt haben.

Anhang

Anhang 1 Landnutzungen

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Schmilka ((Elbe-km 0) bis Pirna (Elbe-km 34,7), Gesamtfläche 584 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Pirna (Elbe-km 34,7) bis Meißen (Elbe-km 83,4), Gesamtfläche, 3.083 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Meißen (Elbe-km 154) bis Torgau (Elbe-km 83,4), Gesamtfläche 4.633 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Torgau (Elbe-km 154) bis Wittenberg (Elbe-km 214,8), Gesamtfläche 7.812 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Wittenberg/Lu. (Elbe-km 214,8) bis Aken (Elbe-km 278,8), Gesamtfläche 9.287 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Aken (Elbe-km 274,9) bis Barby (Elbe-km 294,8), Gesamtfläche 3.437 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Barby (Elbe-km 294,8) bis Magdeburg (Elbe-km 326,6), Gesamtfläche 4.305 ha .

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Magdeburg (Elbe-km 326,6) bis Tangermünde (Elbe-km 389,1), Gesamtfläche 8550 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Tangermünde (Elbe-km 389,1) bis Wittenberge Elbe-km 454,6), Gesamtfläche 6.742 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Wittenberge (Elbe-km 454,6) bis Hitzacker 533,6), Gesamtfläche 4.868 ha.

Landnutzung der rez. Auen der Elbe von Hitzacker (Elbe-km 522,6) bis Geesthacht (Elbe-km 586), Gesamtfläche 3897 ha.

Anhang 2 Betroffenheit von Landnutzungseinheiten durch spezifische Abflusssituationen in ausgewählten Flussabschnitten

Tabelle Anhang 2-1: Abflussspezifische Betroffenheiten von Landnutzungseinheiten bei 2MQ der Überschwemmungsflächen der freifließenden deutschen Elbe.

	k.A.	Acker	Feucht-gebiete	Gewäs-ser	Grün-land	Sied-lung	Vege-tati-ons-los	Wald	Gesamt
Schöna bis Pirna	0,0	0,1		7,8	43,6	0,5	0,1	3,0	55,2
Pirna bis Meißen	0,1	1,5	3,2	25,4	84,4	2,9	0,1	4,4	122,1
Meißen bis Torgau	0,0	3,6		165,6	150,5	0,6	0,8	9,8	330,9
Torgau bis Wittenberg	0,9	0,9	32,9	107,8	251,3	0,1		2,0	395,8
Wittenberg bis Aken		0,0	15,0	51,5	177,3	0,9	1,0	6,1	251,7
Aken bis Barby		1,3	2,2	35,9	74,0	0,1		7,1	120,6
Barby bis Magdeburg		138,1	16,4	133,4	1048,1	6,3		81,7	1424,0
Magdeburg bis Tan-germünde	2,5	363,7	180,8	672,3	1815,8	4,2	19,6	233,4	3292,3
Tanger-münde bis Wittenbe*	0,0	149,0	39,2	499,1	3694,8	10,6		54,0	4446,7
Wttenberge bis Hitz-acker		25,4	8,0	255,1	2109,1	0,8	15,3	22,6	2436,3
Hitzacker bis Geest-hacht		0,4	111,5	196,1	1369,1	2,3	3,2	14,1	1696,5
Gesamtflä-che; Elbe	396,8	7514,2	573,1	3033,0	41625,2	**1928,8**	178,0	6663,7	61913,1

Tabelle Anhang 2-2: Abflussspezifische Betroffenheiten von Landnutzungseinheiten bei MHQ der Überschwemmungsflächen der freifließenden deutschen Elbe. Betroffenheiten von > 10 % der Gesamtanteile bei Acker, Siedlung und Wald in fett.

Abschnitt	k.A.	Acker	Feuc ht-ge-biete	Ge-wäs-ser	Grün-land	Sied-lung	Vege-tations-los	Wald	Ge-samt
Schöna bis Pirna	0,1	1,8		9,3	157,4	6,7	0,3	10,0	185,7
Pirna bis Meißen	0,6	61,1	5,4	28,6	529,2	13,7	0,4	24,4	663,4
Meißen bis Torgau	0,1	198,9		176,6	1.006,9	6,4	0,8	33,4	1.423,1
Torgau bis Wittenberg	1,9	201,2	39,0	300,9	5.609,4	4,4	1,5	200,3	6.358,5
Wittenberg bis Aken		286,5	44,9	196,1	5.132,0	15,7	1,7	**2.857,0**	8.533,9
Aken bis Barby		**772,4**	13,5	61,7	1.453,6	7,5		**1.082,5**	3.391,1
Barby bis Magdeburg		584,6	16,7	228,8	2.291,9	83,2		243,2	3.448,3
Magdeburg bis Tanger-münde	4,0	**1.221,1**	200,7	765,6	5.340,1	14,6	32,6	260,6	7.839,2
Tanger-münde bis Wittenbe*	0,0	235,7	40,6	507,4	5.654,7	21,1		161,9	6.621,5
Wttenberge bis Hitz-acker		92,2	9,4	289,6	3.348,4	3,7	22,4	253,3	4.019,0
Hitzacker bis Geest-hacht	0,0	33,0	139,6	256,8	2.665,8	7,6	8,8	50,0	3.161,6
Gesamtflä-che; Elbe	280	7.514	573	3.033	41.625	1.929	178	6.664	61.913

Tabelle Anhang 2-3: Abflussspezifische Betroffenheiten von Landnutzungseinheiten bei HQ5 der Überschwemmungsflächen der freifließenden deutschen Elbe. Betroffenheiten von > 10 % der Gesamtanteile bei Acker, Siedlung und Wald in fett.

Abschnitt	k.A.	Acker	Feuchtgebiete	Gewässer	Grünland	Siedlung	Vegetationslos	Wald	Gesamt
Schöna bis Pirna	0,1	14,5		9,3	217,3	37,2	0,5	14,3	293,4
Pirna bis Meißen	2,2	258,1	5,9	44,8	840,4	53,6	17,6	35,6	1.258,0
Meißen bis Torgau	0,2	**884,5**		193,9	1.818,2	19,5	0,8	55,3	2.972,4
Torgau bis Wittenberg	1,9	379,6	39,1	301,0	6.104,6	8,0	1,5	211,4	7.047,2
Wittenberg bis Aken		301,3	44,9	196,4	5.266,6	19,2	1,7	**2.992,3**	8.822,5
Aken bis Barby		**823,6**	13,7	61,8	1.489,3	9,7		**1.147,3**	3.545,5
Barby bis Magdeburg	0,0	**727,8**	16,7	232,3	2.467,4	101,0		309,2	3.854,3
Magdeburg bis Tangermünde	4,0	**1.403,5**	200,7	766,4	5.678,0	18,6	38,4	350,1	8.459,7
Tangermünde bis Wittenbe*	0,1	237,9	40,7	507,4	5.764,6	25,0		187,3	6.762,8
Wttenberge bis Hitzacker		97,4	9,5	289,8	3.465,7	4,8	25,6	287,1	4.179,9
Hitzacker bis Geesthacht	0,0	62,3	139,7	256,9	2.844,4	14,6	13,0	74,3	3.405,2
Gesamtfläche; Elbe	397	7.514	573	3.033	41.625,2	1.929	178	6.664	61.913

Anhang 3 Abflussspezifische Betroffenheit von ausgewählten Überschwemmungsbereichen

Anhang 3-1: Sedimentfallenstandorte und Überschwemmungsbereiche bei unterschiedlichen Abflusssituationen am Standort Schönberg Deich: MQ, 2MQ, MHQ, HQ5.

Anhang3-2: Sedimentfallenstandorte und Überschwemmungsbereiche bei unterschiedlichen Abflusssituationen am Standort Biberwerder: MQ, 2MQ, MHQ, HQ5.

Anhang 3-3: Sedimentfallenstandorte und Überschwemmungsbereiche bei unterschiedlichen Abflusssituationen am Standort Roßlau: MQ, 2MQ, MHQ, HQ5.

Anhang 3-4: Sedimentfallenstandorte und Überschwemmungsbereiche bei unterschiedlichen Abflusssituationen am Standort Dommitzsch: MQ, 2MQ, MHQ, HQ5.

Anhang 4 Schadstoffretention bei ausgewählten Hochwasserereignissen (2004, 2005, 2006)

Anhang 4-1: Retention von Schwermetallen und Arsen in den Auen der freifließenden deutschen Elbe bei ausgewählten Abflusssituationen, 2MQ (2004), MHQ (2005) und Extremhochwasser (2006).

Anhang 4-2: Retention von organischen Schadstoffen in den Auen der freifließenden deutschen Elbe bei ausgewählten Abflusssituationen, 2MQ (2004), MHQ (2005) und Extremhochwasser (2006).

Anhang 5 Ergebnisse des Extremhochwassers 2013

Während des Extremhochwassers 2013 konnten insgesamt 4 Hochflutsedimente gewonnen werden. Drei auf dem Wehninger Werder (Leuphana, im Rahmen des Projektes Klimzug-Nord) sowie eines im Untersuchungsgebiet Schönberg Deich. Erwartungsgemäß haben die hochgelegenen Standorte Sedimenteinträge erfahren. Ansonsten liegen die Befunde im Rahmen vorheriger Untersuchungen. Die Berücksichtigung der neuesten Befunde führt nicht zu anderen Aussagen bzgl. des Retentionspotenzials.

Zeitreihe der Sedimenteinträge im Untersuchungsgebiet Schönberg Deich, km 435-440, FHW Frühjahrshochwasser, SHW Sommerhochwasser, WHW Winterhochwasser (UFZ).

Zeitreihe der Sedimenteinträge im Untersuchungsgebiet Wehninger Werder, km 512-514, FHW Frühjahrshochwasser, SHW Sommerhochwasser, WHW Winterhochwasser (Leuphana Universität Lüneburg).