Morphologische Prozesse in Fließgewässern.

Exemplarische Untersuchungen zu Sedimentfrachten und ihren Quellen an ausgewählten Fließgewässern des Norddeutschen Tieflandes sowie dem allgemeinen Schichtungsverhalten fluvialer Sedimente.

Diplomarbeit im Studiengang Umweltwissenschaften

vorgelegt von:

Christian Friedrich

geboren am 2.8.1979

Matrikelnummer 2142641

Mittelweg 6, 21335 Lüneburg

Leuphana Universität Lüneburg

Fakultät III – Umwelt und Technik

Institut für Ökologie und Umweltchemie

Erstgutachter:

Prof. Dr. Brigitte Urban

Zweitgutachter:

Dr. Reinhard Altmüller

Juli 2008

Zum Gebrauch

- Hervorhebungen im Text werden *kursiv* dargestellt.
- Um die Orientierung im Text zu vereinfachen, werden die Namen der Gewässer *kursiv* geschrieben.
- Namen von Personen werden im Text in KAPITÄLCHEN geschrieben.
- Quellen werden in Form von Fußnoten zitiert.
- Eine Auflistung der zitierten Literatur findet sich am Ende der Arbeit.
- Abkürzungen werden bei ihrer ersten Erwähnung im Text erläutert.
- Anmerkungen, die den Fluss des Textes stören, stehen in Fußnoten.
- Fotos finden sich über die ganze Arbeit verteilt und sind nicht zwingend allein dem Kapitel zuzuordnen in dem sie sich befinden.
- Um dem wissenschaftlichen Stil dieser Arbeit den allgemeinen Gepflogenheiten zu unterwerfen, spreche ich von mir als *„der Autor“*.

Es folgt eine kurze Erläuterung zu im Text verwendeten Begriffen, die sich nicht oder nur bedingt aus dem Text erschließen lassen.

Akkumulationsraum: Dieser Begriff wurde gewählt, um eine möglichst umfassende Interpretation von Akkumulation in ihrer räumlichen Verteilung zu ermöglichen. Darunter zu verstehen sind alle Orte, an denen sich Sedimente sammeln können. Weiterführende Erläuterungen finden im Text statt.

natürliche Gewässer: Mangels genauerer Ausdrucksformen wird dieser Begriff dem Kontext entsprechend sowohl im Bezug auf den Zustand eines Gewässers verwendet als auch dann, wenn ein Gewässer natürlichen Ursprungs ist. Das Gegenteil eines Gewässers natürlichen Ursprungs ist ein künstliches Gewässer.

Sandfang/Sedimentfalle: Die beiden Begriffe werden synonym verwendet, sofern es im Text um die großvolumigen Sedimentfallen an Hache und Hasenburger Bach geht.

Sedimentationsereignis: Als Sedimentationsereignis bezeichnet wird das durch einen Zeithorizont begrenzte Auffüllen eines Akkumulationsraums unter vergleichsweise konstanten Bedingungen bezüglich der für die Akkumulation zur Verfügung stehenden Sedimente und der Abflussverhältnisse des Gewässers. Zurückblickend werden alle untersuchten Sedimentationsvorgänge in den Sandfängen und am Teich des Eykbachs als ein Sedimentationsereignis gesehen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung....5
2. Grundlagen....7
Erosion und Akkumulation als wesentliche Einflussfaktoren der Gewässermorphologie. .8
Sedimentfracht....10
Ursachen für unnatürlich hohe Sedimentfrachten und Überformung der Gewässer....11
3. Untersuchte Gewässer....14
3.1 Hache und Nebengewässer Menninghäuser Beeke, Twillbeeke....14
Geographische Lage 14
Länge und Gefälle des Gewässers, Größe des Einzugsgebietes....14
Naturräumliche Einheit, Geologie und Böden....14
Niederschläge....15
Abflussmengen....15
Nutzung und menschliche Prägung....15
3.2 Hasenburger Bach....22
Geographische Lage 22
Länge und Gefälle des Gewässers, Größe des Einzugsgebietes....22
Naturräumliche Einheit, Geologie und Böden....22
Niederschläge....22
Nutzung und menschliche Prägung....23
3.3 Eykbach....25
Geographische Lage 25
Länge und Gefälle des Gewässers, Größe des Einzugsgebietes....25
Naturräumliche Einheit, Geologie und Böden....25
Niederschläge....26
Abflussmengen....26
Nutzung und menschliche Prägung....26
4. Methoden 29
4.1 Auswahl der Gewässer und Festlegung der Messstellen....29
4.2 Quantitative Messung der Sedimentfracht....29
Aufbau und Funktion der Sedimentfallen....30
Sedimententnahme und Entfernen organischer Bestandteile....34
Wiegen und Entnahme von Mischproben....34
Bestimmung des Sedimentzuwachses im zeitlichen Verlauf 34
4.3 Bodenprobenahme 35
Ackerflächen....35
Niedermoor/Ufer:....37
4.4 Entnahme der Sedimentkerne aus den Sedimentfallen vom Typ 2 und dem Teich am Eykbach....39
4.5 Messungen des Sohlniveaus....41
4.6 Qualitative Analyse der Sedimente und Bodenproben....41
Bestimmung der Trockensubstanz sowie des organischen und mineralischen Anteils....41
Bestimmung der Korngrößenverteilung....42
4.7 Niederschlagsdaten....42
4.8 Statistische Auswertung und Darstellung....42
5. Ergebnisse....45
5.1 Gewässerbezogene Darstellung der Sandfrachten in Mengen....45
Hache und Nebengewässer Menninghäuser Beeke, Twillbeeke....45

Hache....46
Twillbeeke....47
Menninghäuser Beeke....49
Hasenburger Bach....50
Eykbach....51
5.2 Gewässerbezogene Darstellung der Korngrößenverteilung innerhalb der Sedimentfrachten....52
Hache....52
Twillbeeke I....53
Twillbeeke II....53
Menninghäuser Beeke....54
Hasenburger Bach....54
Eykbach....55
5.3 Korngrößenverteilung der Bodenproben aus Uferbereichen und Ackerflächen....55
Äcker Twillbeeke und Menninghäuser Beeke....56
Ufer Hache....56
Ufer Hasenburger Bach....57
5.4 Vergleich der Sedimentfrachten mit Bodenproben der Ufer und Ackerflächen für die Hache....59
5.5 Vergleich der Sedimentfrachten aus Hache und Hasenburger Bach mit Sedimentfrachten aus Twillbeeke, Menninghäuser Beeke und Eykbach....60
5.6 Sedimentkerne und Grobheitsfaktoren aus den Sedimentfallen vom Typ 2 an Hache und Hasenburger Bach sowie aus dem Teich am Eykbach....60
Sedimentkerne Hache....61
Sedimentkerne Hasenburger Bach....62
Sedimentkerne Teich Eykbach....63
Grobheitsfaktoren Hache....64
Grobheitsfaktoren Hasenburger Bach....64
Grobheitsfaktoren Eykbach....64
5.7 Statistische Auswertung zum Schichtungsverhalten....64
5.8 Schwankungen des Sohlniveaus....65
5.9 Trocken gefallene Gewässerabschnitte als Zwischenlager für Sedimente....66
5.10 Tiefenerosion im Auslaufbereich des Sandfangs Hache....66
6. Diskussion....67
6.1 Sedimentfrachten und ihre Quellen....67
Rückschlüsse aus dem Vergleich von Sedimentfrachten und Niederschlägen....67
Rückschlüsse anhand der Korngrößenverteilungen der Sedimente und Bodenproben....68
Rückschlüsse anhand des mengenmäßigen Aufkommens der Sedimentfrachten in Haupt- und Nebengewässern an der Hache....69
Rückschlüsse anhand der Schwankungen des Sohlniveaus....69
Übergreifende Rückschlüsse anhand der gemessenen Sedimentfrachten....69
Weiterführende Interpretationen....69
Repräsentativität der Daten....70
6.2 Schichtungsverhalten der Sedimente und Ausbildung einer Kiesschicht....71
Einwandern der Sedimente in eine Sedimentfalle Typ 2 – ein einfaches Beispiel für Sedimentschichtung....71
Ausbildung einer Kiesstrecke über feineren Sedimenten....73
Allgemeine Rückschlüsse zum Schichtungsverhalten und der Ausbildung von Kiesschichten....75
Genese von Kiesstrecken entlang der Gewässer....77

6.3 Auswirkungen des Klimawandels....79
6.4 Methodenkritik....79
Sedimentfallen und ihre Unschärfen....79
Verdichtung der Sedimente in den Sedimentfallen vom Typ 2....80
Geringe Anzahl an Bodenproben von landwirtschaftlichen Flächen und Ufern....80
Inkonsistente Darstellung der Ergebnisse....80
7. Schlussfolgerungen....81
Maßnahmen an Hache und Nebengewässern....83
Hasenburger Bach....83
Eykbach....84
8. Zusammnefassung....84
9. Ausblick....85
10. Literaturverzeichnis....86
Danksagung....88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung des Hjulström-Diagramms....8
Abbildung 2: Wirkende Kräfte in Abhängigkeit von Korngröße und Lage eines Korns. 9
Abbildung 3: Verkürzung und Verlegung des Gewässerlaufs im Zuge des Wiesenbaus. 13
Abbildung 4: Einzugsgebiet Hache....18
Abbildung 5: Ansichten der Hache....19
Abbildung 6: Einzugsgebiet Twillbeeke....20
Abbildung 7: Ansichten der Twillbeeke....20
Abbildung 8: Einzugsgebiet Menninghäuser Beeke....21
Abbildung 9: Ansichten der Menninghäuser Beeke....21
Abbildung 10: Einzugsgebiet Hasenburger Bach....24
Abbildung 11: Ansichten des Hasenburger Baches....25
Abbildung 12: Einzugsgebiet Eykbach....28
Abbildung 13: Ansichten des Eykbachs....28
Abbildung 14: Sedimentfalle Typ 1, Eykbach....31
Abbildung 15: Anlegen der Sedimentfalle Typ 1, Menninghäuser Beeke....31
Abbildung 16: Setzen der Einlaufschwelle für Sandfang Hache (Typ 2)....32
Abbildung 17: Temporärer Forschungssandfang Menninghäuser Beeke....33
Abbildung 18: Temporärer Forschungssandfang Hache....33
Abbildung 19: Wiegen und Entnahme von Mischproben an Menninghäuser Beeke....34
Abbildung 20: Darstellung der Probestellen für Bodenproben an Twillbeeke....36
Abbildung 21: Darstellung der Probestellen für Bodenproben an Menninghäuser Beeke....36
Abbildung 22: Darstellung der Probestellen für die Uferproben am Hasenburger Bach....37
Abbildung 23: Darstellung der Probestellen für die Uferproben an der Hache. 38
Abbildung 24: Probestellen für Sedimentkerne....39-40
Abbildung 25: Moorbohrer auf schwimmender Unterlage....40
Abbildung 26: Sedimentfrachten und Niederschläge für Hache bei Steimke 46
Abbildung 27: Sedimentfrachten und Niederschläge für Twillbeeke I 47
Abbildung 28: Sedimentfrachten und Niederschläge für Twillbeeke II....48
Abbildung 29: Sedimentfrachten und Niederschläge für Menninghäuser Beeke....49
Abbildung 30: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Hasenburger Bach....50
Abbildung 31: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Eykbach....51
Abbildung 32: Korngrößenverteilung Hache gesamt....52
Abbildung 33: Korngrößenverteilung Twillbeeke I gesamt....53

Abbildung 34: Korngrößenverteilung Twillbeeke II gesamt. 53
Abbildung 35: Korngrößenverteilung Menninghäuser Beeke gesamt.....54
Abbildung 36: Korngrößenverteilung Hasenburger Bach gesamt.....54
Abbildung 37: Korngrößenverteilung Eykbach gesamt.....55
Abbildung 38: Korngrößenverteilung Bodenproben der Ackerflächen an Twillbeeke und Menninghäuser Beeke.....56
Abbildung 39: Korngrößenverteilung Ufer der Hache.....56
Abbildung 40: Korngrößenverteilung Ufer des Hasenburger Baches, Niedermoorhorizont.....57
Abbildung 41: Korngrößenverteilung Ufer des Hasenburger Baches, Sandhorizont.....57
Abbildung 42: Grabungen in die Uferböschung hinein.....58
Abbildung 43: Körnungslinien der Sedimente aus Hache, Twillbeeke und Menninghäuser Beeke sowie Bodenproben aus Ufer und Ackerflächen.....59
Abbildung 44: Körnungslinien der Sedimente aus Hache, Twillbeeke und Menninghäuser Beeke sowie aus Eykbach und Hasenburger Bach.....60
Abbildung 45: Sedimentkerne des Sandfangs an der Hache.....61
Abbildung 46: Sedimentkerne Hasenburger Bach.....63
Abbildung 47: Sedimentkerne Teich Eykbach.....63
Abbildung 48: Teich am Eykbach am 22.1.2008.....63
Abbildung 49: Verteilung der Grobheitsfaktoren über die vier Horizonte für die Sedimentfalle des Typs 2 an der Hache.....65
Abbildung 50: Einwandern der Sedimente in einen Sandfang.....72
Abbildung 51: Ausbildung einer Kiesschicht am Eykbach-Teich.....74
Abbildung 52: Partikelbewegung in einen Akkumulationsraum hinein.....75
Abbildung 53: Ausbreitung von Kiesstrecken entlang der Gewässer im zeitlichen Verlauf.....78
Abbildung 54: Kiesdämme in Staffelung.....82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erläuterungen Sedimentfalle Typ 1.....30
Tabelle 2: Erläuterungen Sedimentfalle Typ 2.....30
Tabelle 3: Beispieltabelle.....43
Tabelle 4: Beispieltabelle.....44
Tabelle 5: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Hache bei Steimke (Typ 2).…46
Tabelle 6: Sedimentfrachten und Niederschläge für Hache bei Steimke (Sedimentfalle Typ 2).....46
Tabelle 7: Sedimentfrachten und Niederschläge für Twillbeeke I (Sedimentfalle Typ 1).....47
Tabelle 8: Sedimentfrachten und Niederschlage für Twillbeeke II (Sedimentfalle Typ 1).....48
Tabelle 9: Sedimentfrachten und Niederschläge für Menningh. Beeke (Sedimentfalle Typ 1). ….49
Tabelle 10: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Hasenburger Bach (Typ 2)…50
Tabelle 11: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Eykbach (Typ 2).....51
Tabelle 12: Grobheitsfaktoren mit Mittelwert zu den Horizonten der Sedimentkerne, Hache. …..64
Tabelle 13: Grobheitsfaktoren mit Mittelwert zu den Horizonten der Sedimentkerne, Hasenburger Bach. 64
Tabelle 14: Grobheitsfaktoren mit Mittelwert zu den Horizonten der Sedimentkerne, Hasenburger Bach.....64
Tabelle 15: Ergebnisse der One way ANOVA.....65

1. Einleitung

Sand ist das prägende Element der Gewässersohlen unserer Bäche und Flüsse. Kaum ein existierendes Fließgewässer im Norddeutschen Tiefland zeigt ein anderes Bild. Nur selten finden wir Kies und Totholz in nennenswertem Umfang. Das legt für den Betrachter den Schluss nahe, man habe es hier, wenn nicht mit dem natürlichen, dann doch wenigstens mit einem naturnahen Zustand zu tun.

Woher allerdings nehmen wir unser Bild vom natürlichen respektive naturnahen Zustand? Schließlich gibt es im Norddeutschen Tiefland kein noch so kleines Fließgewässer, das nicht irgendwann vom Menschen direkt oder indirekt verändert wurde.[1]

Wir leben in einer Gesellschaft, die annähernd hundert Prozent ihrer Landesfläche dafür nutzt, menschliche Bedürfnisse zu befriedigen. Dieser fast ausschließlich zweckgebundene Umgang des Menschen mit Natur und Landschaft hat dazu geführt, dass es in Deutschland keinen Ort gibt, der nicht in irgendeiner Form menschlichen Einflüssen unterliegt.

Fließgewässer stehen durch ober- und unterirdische Wasserbewegungen mit der gesamten Fläche ihres Einzugsgebietes in direkter oder indirekter Verbindung. Im Vergleich zu anderen natürlichen Systemen sind sie daher im Hinblick auf stoffliche Einträge besonders exponiert. Verstärkt wird diese Exposition durch Entwässerungs- und Abwassersysteme von Acker-, Siedlungs- und Infrastrukturflächen. Die Lauflänge solcher künstlichen Systeme übertrifft oftmals die der natürlichen Gewässer um ein Vielfaches.[2] Neben einer generellen Begünstigung von Schadstoffeinträgen aus der Fläche gelangen durch Bodenerosion mobilisierte Feststoffe entlang dieser Eintragspfade in unsere Gewässer.[3] Als direkte Folge davon ist vielerorts eine Versandung der Gewässersohle zu beobachten, welche mitunter verheerende Konsequenzen für die im Gewässer beheimateten Organismen hat. In diesem Zusammenhang sind mobile Feststoffe als Schadstoffe zu sehen, deren Quellen im Sinne des Vorsorge- und Vermeidungsgrundsatzes sowie des Verursacherprinzips als integraler Bestandteil der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) festgestellt und, soweit es möglich ist, reduziert werden müssen.

Die ökologische Bedeutung der natürlichen Substratvielfalt wurde in der Vergangenheit durch verschiedene Untersuchungen belegt.[4] Ebenso finden sich zahlreiche wissenschaftlich begründete Hinweise auf die schädliche Wirkung mobiler Feinsedimente auf den Lebensraum der Fließgewässer.[5]

Der durch Bodenerosion verursachte Bodenabtrag wirkt schädigend sowohl auf angrenzende Systeme als auch auf die Flächen selbst, wobei die ökologischen Folgeschäden in

1 Hierbei handelt es sich um eine These des Autors.
2 Hierbei handelt es sich um eine These des Autors, die nur für die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Gewässer mit Sicherheit gelten kann.
3 Altmüller, Dettmer 1996; Altmüller et al. 2006 und Tent 2005.
4 Vgl. hierzu u.a. Speth, Böttger 1993; Bo et al. 2007
5 Vgl. hierzu u.a. Altmüller, Dettmer 1996, Altmüller et al. 2006 und Naden et al. 2003.

und an den Gewässern die unmittelbaren Schäden für die Landwirtschaft bei weitem übertreffen.[6] Angesichts der prognostizierten Tendenz zu häufigeren Starkniederschlägen und Hochwassern in den Winterhalbjahren[7] ist von einer weiteren Zunahme der Stoffeinträge durch den Klimawandel auszugehen.

Diese Arbeit soll einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, welche Zusammenhänge derzeit unsere Gewässersohlen prägen und inwieweit ihre Beschaffenheit naturnahen Verhältnissen entsprechen kann. Das besondere Augenmerk liegt dabei auf Feinsedimenten und den aus ihnen hervorgehenden Sedimentfrachten[8] sowie grundlegenden morphologisch wirksamen Prozessen an der Gewässersohle.

Vor dem geschilderten Hintergrund besteht die erste Aufgabe dieser Arbeit darin, an einer Auswahl kleiner und mittelgroßer Fließgewässer des Norddeutschen Tieflandes, die von sandigen Sedimenten dominiert werden, die jeweiligen Sedimentfrachten zu bestimmen und darüber hinaus zu versuchen, anhand ihrer Zusammensetzung Rückschlüsse auf ihre Herkunft zu ziehen. Ebenfalls untersucht wird, welche Sedimentfracht ein kleines, weitgehend ungestörtes Fließgewässer mit sich führt.

Um ein Bild von der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Sedimentfrachten einzelner Gewässer zu erhalten, wurden Sedimentfallen angelegt und ab November 2006 über einen Zeitraum von sieben Monaten an fünf, zum Teil miteinander verbundenen Fließgewässern, ständige quantitative und qualitative Geschiebemessungen durchgeführt. Die in diesem und dem direkt anschließenden Zeitraum gesammelten Sedimentproben wurden auf Grundlage ihrer Korngrößenverteilungen mit Bodenproben aus den Einzugsgebieten und den Uferbereichen verglichen. Um die Abhängigkeit der Sedimentfrachten von den Abflussraten der Gewässer darzustellen wurden die Messergebnisse den Niederschlagsmengen im Einzugsgebiet gegenübergestellt.

Ein zweiter Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Untersuchung von morphologisch wirksamen Mechanismen des Sedimenttransports und der Sedimentation im Hinblick auf die Genese typischer Sohlsubstrate in Fließgewässern des Tieflandes. Es bestand aufgrund eigener Beobachtungen die Vermutung, dass durch strömungsbedingte Sortierungseffekte eine systematische Anreicherung grober Kornfraktionen im obersten Horizont der Gewässersohle stattfindet, die zur Ausbildung von Kiesbetten führt.[9]

Dazu wurde das Schichtungsverhalten der Sedimente innerhalb zweier Sedimentfallen

6 Vgl. Baade 1994.

7 Vgl. Climate change 2007, 2007, S. 549-550.

8 Die Problematik der Sedimenteinträge zum Anlass nehmend, wurde durch das damalige Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung im Auftrag des Landkreises Diepholz in den Jahren 2004 und 2005 eine Studie zur „Abschätzung der partikulären Stoffeinträge (Sandfrachten) durch Bodenerosion am Beispiel ausgewählter Gewässerabschnitte an Hache, Delme und Rohrbach“ durchgeführt. Aus den Ergebnissen ging nicht eindeutig hervor, in welchem Maße Bodenerosion Ursache für die hohen Sedimentfrachten in den untersuchten Gewässerabschnitten sein kann. Die vorliegende Arbeit ist in dieser Hinsicht auch als eine Folgeuntersuchung dieser Studie zu sehen.

9 Allgemein lassen sich nach Ansicht des Autors zwei grundlegend verschiedene Geneseprozesse von Kiesbetten unterscheiden: (1) hauptsächlich auf selektiver Akkumulation beruhend und (2) hauptsächlich auf selektiver Erosion beruhend. Die Untersuchungen dieser Arbeit beschränken sich auf die Genese durch selektive Akkumulation.

untersucht, die kontinuierlich über den gesamten Untersuchungszeitraum Sedimente akkumulierten. Zusätzlich wurde ein Teich beprobt, in dem seit ca. 20 Jahren eine ungestörte Sedimentation der aus seinem Zufluss stammenden Feststoffe stattfindet und daher natürliche Sedimentationprozesse über einen relativ langen Zeitraum nachvollziehbar macht.

Aus den vorliegenden Untersuchen lassen sich Aussagen zum morphologischen und dem damit verbundenen ökologischen Zustand der untersuchten Gewässer ableiten. Weiterhin ergeben sich aus den nachgewiesenen Zusammenhängen Anforderungen für zukünftige Renaturierungsmaßnahmen.

Da die Wirkzusammenhänge bei einem Großteil der Fließgewässer des Norddeutschen Tieflandes mit denen der untersuchten Fließgewässer vergleichbar sind, ist ein hohes Maß an Übertragbarkeit anzunehmen.

In diesem Sinne richtet sich diese Arbeit an EntscheidungsträgerInnen aus Behörden und Verbänden sowie WissenschaftlerInnen, in deren Aufgabenbereich die Umsetzung der EG-WRRL fällt und somit die Erhaltung und Wiederherstellung des guten bzw. sehr guten ökologischen Zustandes heimischer Fließgewässer.

Durch wechselseitige Beziehungen zwischen Fließgewässern und den an sie grenzenden Lebens- und Bewirtschaftungsräumen besteht zudem eine Verbindung des Themas mit weiteren Fragestellungen aus dem Bereich Naturschutz und Landnutzung. Genannt sei zum einen die Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, kurz FFH-Richtlinie) mit ihren Schutzbestimmungen unter anderem für Lebensräume und Organismen, die direkt oder indirekt an intakte Fließgewässer gebunden sind. Zum anderen stellt sich die Frage nach der wirksamen Umsetzung der Bewirtschaftungsauflagen für landwirtschaftliche Nutzflächen im Rahmen der Verordnung der Europäischen Gemeinschaft Nr. 1782/2003 und den darin zusammengefassten so genannten Cross-Compliance-Regelungen, die auf eine nachhaltige Flächennutzung abzielen und unter anderem den durch die Bewirtschaftung bedingten Bodenabtrag verhindern sollen.

Der Aufbau des weiteren Textes ist kapitelweise untergliedert in einen Grundlagenteil zu fluviatilen Prozessen und menschlichen Einflüssen auf heutige Gewässer, die Beschreibung der untersuchten Gewässer und ihres Einzugsgebietes, die methodische Herangehensweise an die Fragestellung, die Darstellung der Ergebnisse sowie die Diskussion selbiger. Den Abschluss bilden Schlussfolgerungen und Ausblick.

2. Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden wesentliche Grundlagen fluviatiler Prozesse und anthropogener Veränderungen der Gewässer dargelegt, auf denen die Bearbeitung dieses Themas fußt und die die Ausrichtung der vorliegenden Untersuchung verständlich machen sollen. Zunächst wird ein Überblick über zentrale morphologisch wirksame Zusammenhänge und Mechanismen gegeben, wobei versucht wird, auch komplexere Ansätze in

der gebotenen Kürze wiederzugeben, soweit diese von grundlegender Bedeutung für diese Arbeit sind. Darauf folgt eine Auseinandersetzung mit menschlichen Einflüssen auf unsere Fließgewässer, die als Ursache für die heutige Prägung der Gewässer anzunehmen sind.

Erosion und Akkumulation als wesentliche Einflussfaktoren der Gewässermorphologie

Erosion und Akkumulation sind prägende Prozesse innerhalb der Ausbildung geomorphologischer und insbesondere fließgewässermorphologischer Strukturen.[10] Auf der zeitlichen Ebene betrachtet liegt als weiterer Prozess neben Erosion und Akkumulation der Transport des zuvor erodierten und anschließend akkumulierten Materials (vgl. Abbildung 1).

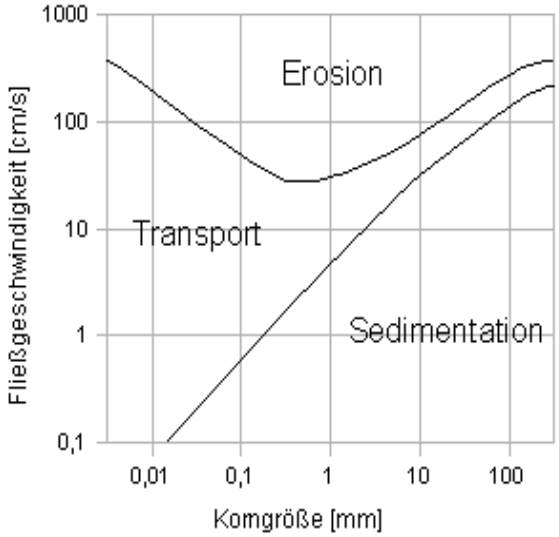


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung des Hjulström-Diagramms. Die Kurven beschreiben den Beginn von Erosion, Akkumulation und Transport in Abhängigkeit von Korngröße und Fließgeschwindigkeit für gleichförmiges Material. Verändert nach Hjulström (1935), S. 298.

Alle drei Prozesse tragen zu einer Sortierung der im Gewässer vorhandenen Partikel bei,[11] die im Längsverlauf eines Gewässers zum so genannten „*Downstream Fining*" führt, welches das flussabwärts gerichtete, sukzessive Kleinerwerden des mittleren Korndurchmessers der Sedimente beschreibt.[12]

Erosion bezeichnet in Fließgewässern den linearen Abtrag von Feststoffen entlang der Gewässerrinne. Sie wirkt sowohl in die Breite (Lateral- oder Seitenerosion) als auch in die Tiefe (Vertikal- oder Tiefenerosion). Im Allgemeinen geht man bei nicht durch Kohäsion gebundenen Partikeln von selektiver Erosion aus, was dem Zusammenhang Rechnung trägt, dass feines Material einfacher und damit schneller erodiert wird als grobes. Entsprechend der „*Equal Mobility Hypothesis*" zeigt sich jedoch innerhalb eines Erosionsprozesses in Gemischen unterschiedlicher Korngrößen eine annähernd gleichförmige

10 Vgl. beispielhaft Hjulström 1935, Easterbrook 1999, S. 96 ff und S.144 ff und Kern 1995, S.3.
11 Vgl. Powell 1998.
12 Vgl. Paola et al. 1992.

Abtragsgeschwindigkeit über alle vorhandenen Korngrößen hinweg.[13] Wesentlich für diesen Prozess ist das so genannte *„Hiding"* (zu deutsch Verstecken) kleinerer Partikel hinter oder unter größeren Partikeln. Im weiteren Sinne ist darunter das Herausragen über das durchschnittliche Sohlniveau und das Hineinragen einzelner Partikel in die Strömung zu verstehen (s. Abbildung 2). Bei fortwährendem Abtrag kommt es zur Ausbildung einer Deckschicht, deren Dicke ein bis zwei Diameter der größten vorhandenen Kornfraktion beträgt und die darunter liegende feinere Partikel vor der Verdriftung schützt.[14] Folglich trifft - zumindest bis sich eine solche Deckschicht ausgebildet hat - die Annahme der selektiven Erosion uneingeschränkt zu.

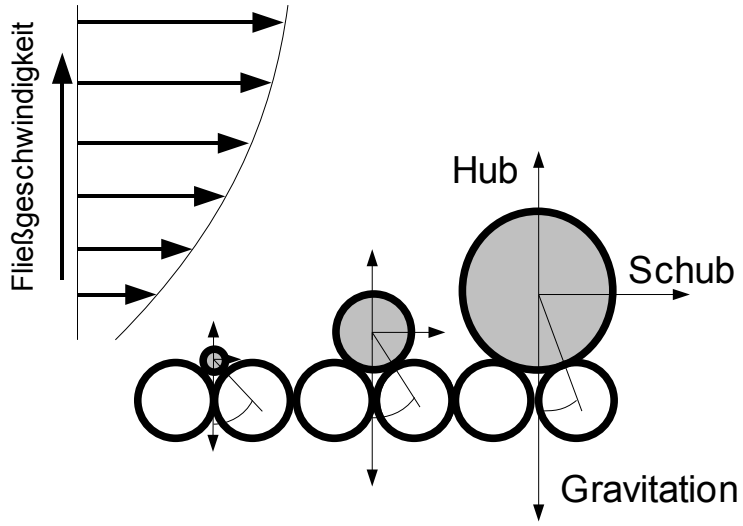


Abbildung 2: Wirkende Kräfte in Abhängigkeit von Korngröße und Lage eines Korns. Zur Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen Herausragen und Deckung im Bezug auf den Effekt des „Hiding". Verändert nach Richards (1990) in: Powell (1998) sowie Petts und Fosters (1985).

Als *Akkumulation* ist der der Erosion entgegengesetzte Prozess der Ansammlung bzw. Anhäufung zu verstehen. Bei Fließgewässern spricht man typischer Weise von Sedimentation. Als Ursachen für Sedimentation in Fließgewässern können genannt werden:

(1) Die Fließgeschwindigkeit fällt unter den für den Transport nötigen Wert - entweder durch geringeren Abfluß oder durch Strömungsvarianz im Längs- und Querschnitt des Gewässers.

(2) Die Geschiebefracht ist so groß, dass die Fließgeschwindigkeit zum vollständigen Transport nicht ausreicht.

Allgemein findet Sedimentation also dann statt, wenn die Schleppkraft des Wassers nicht ausreicht, das vom Gewässer bis zu einem Punkt bewegte Material weiter zu transportieren.

Durch Erosion in und an Gewässern mobilisierte Partikel werden von der Strömung *transportiert* und lagern an weiter unterhalb liegenden Stellen zeitweise oder dauerhaft als Sedimente ab.

13 Vgl. Powell 1998.
14 Vgl. Powell 1998.

Die kinetische Energie des fließenden Wassers (in direkter Abhängigkeit der Reliefenergie) sowie die Größe, das Gewicht und die Form der einzelnen Partikel sind ausschlaggebend für die räumliche und zeitliche Verteilung dieser drei eng miteinander verbunden Prozesse. Unter natürlichen Bedingungen entstehen so typische Bett- und Gerinneformen, die wiederum selbst in erheblichem Maße auf die Strömungsvarianz des Gewässers einwirken.[15]

Vor diesem Hintergrund lassen sich drei typische Zonen eines Fließgewässers unterscheiden:

- die Erosionszone, in der die Erosion überwiegt,
- die Übergangszone mit einem ausgeglichen Verhältnis von Erosion und Akkumulation und
- die Akkumulationszone, in der die Akkumulation überwiegt.[16]

Sedimentfracht

Betrachtet man die Summe aller von einem Gewässer transportierten Partikel über einen bestimmten Zeitraum, spricht man von der Sedimentfracht.[17]

Die Sedimentfracht lässt sich untergliedern in Schwimmfracht, Suspensionsfracht (Schwebfracht) und Geschiebefracht (Bodenfracht).[18] In Abhängigkeit von der Schleppkraft des Wassers ist der Übergang von Geschiebefracht zu Suspensionsfracht fließend. Als charakteristisch für die Geschiebefracht ist die Art ihrer Fortbewegung zu sehen, die am Boden oder mit überwiegendem Bodenkontakt geschieht und sich in Rutschen, Rollen und Springen untergliedert.[19] So kann es sein, dass bei geringem Abfluss der überwiegende Teil der bewegten Feinsedimente zur Geschiebefracht gerechnet wird, sie jedoch bei stärker werdendem Abfluss nach und nach in Suspension übergehen.

Die Beschaffenheit der für die angeführten Prozesse zur Verfügung stehenden Partikel ist in erster Linie durch die geologischen Verhältnisse innerhalb des Einzugsgebiets bestimmt. Im Norddeutschen Tiefland herrschen Ablagerungen der vergangenen Eiszeiten vor. Die Zusammensetzung dieser Ablagerungen respektive der in morphologische Prozesse eingebundenen Partikel ist dementsprechend vorwiegend von Sanden und Kiesen geprägt.[20]

Das Relief des Norddeutschen Tieflandes ist im Mittel von einem relativ geringen Gefälle

15 Vgl. beispielhaft Mangelsdorf, Scheurmann 1980 S.107 ff.
16 Angelehnt an Reusch 2004.
17 Nach Schmidt 1984, S. 79 erfolgt eine weitere Aufteilung der Sedimentfracht in Lösungsfracht und Feststofffracht. Die in Lösung gehenden Bestandteile lassen sich jedoch nach Ansicht des Autors nicht unter Sedimente fassen, da sie nicht der üblichen Interpretation folgend sedimentieren, sondern lediglich als neue chemische Verbindung ausfallen können und erst dann sedimentieren.
18 Es handelt sich hierbei um eine weit gefasste Auslegung in Anlehnung an {Schmidt, S. 79}, in der sowohl mineralische als auch organische Bestandteile einbezogen werden. Zanke 1982; Zanke 2002beschreibt Sedimente jeweils nur in Abhängigkeit ihrer Korngröße, was im Gegensatz zu Schmidt einen mineralischen Ursprung der Sedimente nahe legt.
19 Vgl. McCullough 2001, S.6 und Allan 1995, S. 8.
20 Vgl. Meynen 1962.

geprägt. Demzufolge ist unter natürlichen Vorraussetzungen im Vergleich zu den Verhältnissen in Mittelgebirgen oder Gebirgen bzw. deren Vorländern von generell geringeren Sediment- und im besonderen Geschiebebewegungen auszugehen, da eine relativ geringe Reliefenergie vorherrscht und die durch Schmelzwasser gespeisten Hochwasser ausbleiben. Dennoch bestehen oftmals große Unterschiede im Gefälle zwischen Gewässern, die über die Geesthänge in tiefer gelegene Täler fließen[21] und den an sie anschließenden Gewässern, die typischer Weise durch die Ausprägung von Niedermoorböden charakterisiert sind. Der natürliche Anteil des von kleinen Gewässern gelieferten Geschiebes kann als Beitrag zum gesamten Geschiebehaushalt eines Einzugsgebietes dadurch von erheblicher Bedeutung sein.[22]

Da die Menge des transportierten Materials mit zunehmendem Abfluss steigt,[23] nehmen Hochwasser in Bezug auf Sedimentfracht und formende Umlagerungsprozesse eines Gewässers eine herausragende Stellung ein.

Ursachen für unnatürlich hohe Sedimentfrachten und Überformung der Gewässer

Altmüller und Dettmer[24] sehen als wesentliche Quellen unnatürlich hoher Sandfrachten (als ein Teil der Sedimentfracht) durch Niederschläge verursachte Erosion auf vegetationslosen Ackerflächen, intensive Unterhaltung der Gewässer und Gräben sowie das Ablassen von Fisch- und Mühlenteichen.

Daneben bestehen Sedimentquellen in der durch dynamische Laufverlagerung der Gewässer verursachten Seiten- und Tiefenerosion. Diese sind in naturnahen kleinen und mittleren Gewässern des Norddeutschen Tieflandes jedoch wenig ausgeprägt.[25] Einerseits ist unter natürlichen Bedingungen die hydromechanische Belastung innerhalb des Gerinnes relativ gering, da die durch den hohen Waldanteil im Einzugsgebiet herrschende Retension ausgleichend auf den Abfluss wirkt. Im Falle eines Hochwassers treten die nahe an der Geländeoberkante fließenden Gewässer schnell über die Ufer und die Kraft des Wassers verteilt sich in der Fläche. Andererseits wirken die in weiten Teilen als natürliche Begleitvegetation auftretenden dichten Bestände der Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) als natürliche Uferbefestigung und verhindern damit wirksam die Seitenerosion.[26] Weiterhin von großer Bedeutung ist der Anteil an grobem Hartsubstrat in der Gewässersohle. Je gröber die Zusammensetzung des Substrats, desto höher ist der Widerstand der Gewässersohle gegen die Kraft des Wassers. Eine Tiefenerosion findet unter diesen Bedingungen nur bedingt statt.

Folgend werden anthropogene Veränderungen der Fließgewässer in einem kurzen Abriss dargestellt. Dadurch soll ein Überblick über den Grad der Entfernung vom natürli-

21 Diese Gewässer zählen typischer Weise zu denen erster und zweiter Ordnung nach Strahler.
22 Vgl. Kern 1995, S. 176 sowie Mangelsdorf, Scheurmann 1980, S.59.
23 Vgl. Hjulström 1935, S.298.
24 Vgl. Altmüller, Dettmer 1996 und Altmüller et al. 2006.
25 An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass natürliche Gewässerabschnitte fast nicht mehr zu finden sind. Als Folge davon lässt sich im Grunde keine zu hundert Prozent zutreffende Aussage über den natürlichen Zustand der Gewässer treffen. Es handelt sich also bei diesbezüglichen Aussagen lediglich um eine Tendenz oder Annäherung.
26 Vgl. Dickhaut, Schwark 2005, S.34 ff.

chen Zustand der Gewässer ermöglicht werden.

Der Beginn der menschlichen Einflussnahme auf hiesige Fließgewässer lässt sich aus der bestehenden Literatur nicht eindeutig zurückverfolgen. Wahrscheinlich ist jedoch eine stete Zunahme des Einflusses seit den frühen Formen des Ackerbaus, welche in die Zeit der neolithischen Revolution 4500-3000 v. Chr. fallen.[27]

Durch das sukzessive Offenlegen der Landschaft und die Versiegelung der Flächen wurde seither die Retensionsleistung der Fläche und die Resistenz der Böden gegen Erosion stark reduziert. Als eine Folge davon läuft das von Niederschlägen stammende Wasser schneller aus der Fläche zusammen und sammelt sich in den Gewässern, in denen der hydraulische Stress zunimmt. Neolithische und mittelalterliche Hochzeiten der Entwaldung führten zusammen mit Extremniederschlägen zu Ablagerungen des so genannten Auenlehms mit Mächtigkeiten bis zu mehreren Metern, der aus vom Wasser mitgeführtem erodiertem Schluff und Humus besteht.[28]

Jüngere Veränderungen der Fließgewässer sind vorwiegend im Ausbau der Gewässer und der Erschließung des Talraums für die Landwirtschaft zu sehen.

Eine besondere Rolle kommt dabei dem Wiesenbau zu, der sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts stark ausbreitete, und weite Teile der Gewässerlandschaften völlig überformte. Mit großem Aufwand wurden damals die Gewässer aus ihren eigentlichen Betten in neue Profile verlegt und in regelmäßigen Abständen mit Stauanlagen versehen. In der Fläche legte man Rinnen und Gräben an, über die das periodisch angestaute Wasser zunächst auf die Wiesen gelangte um dort seine Nährstofffracht abzugeben und anschließend wieder zurück ins Gewässer fließen konnte. Bereits einfache Anlagen konnten so eine Ertragssteigerung der Wiesen von bis zu fünfzig Prozent erreichen.[29]

Um die feuchten Niedermoorböden des Talraumes besser nutzen zu können, wurden vielerorts Moorkulturen angelegt, wodurch die Böden zumindest teilweise flächenhaft übersandet wurden. Diese Sande bilden heute eine Quelle von Sedimentfrachten, sobald es zu übermäßigen Seitenerosion in den Gewässern kommt.

27 Vgl. Küster 1995, S.73 Becker, Urban 2006 und Caspers et al. 2004.
28 Vgl. Caspers et al. 2004 und Koenzen in Sommerhäuser 2003.
29 Vgl. Grottian 2004.

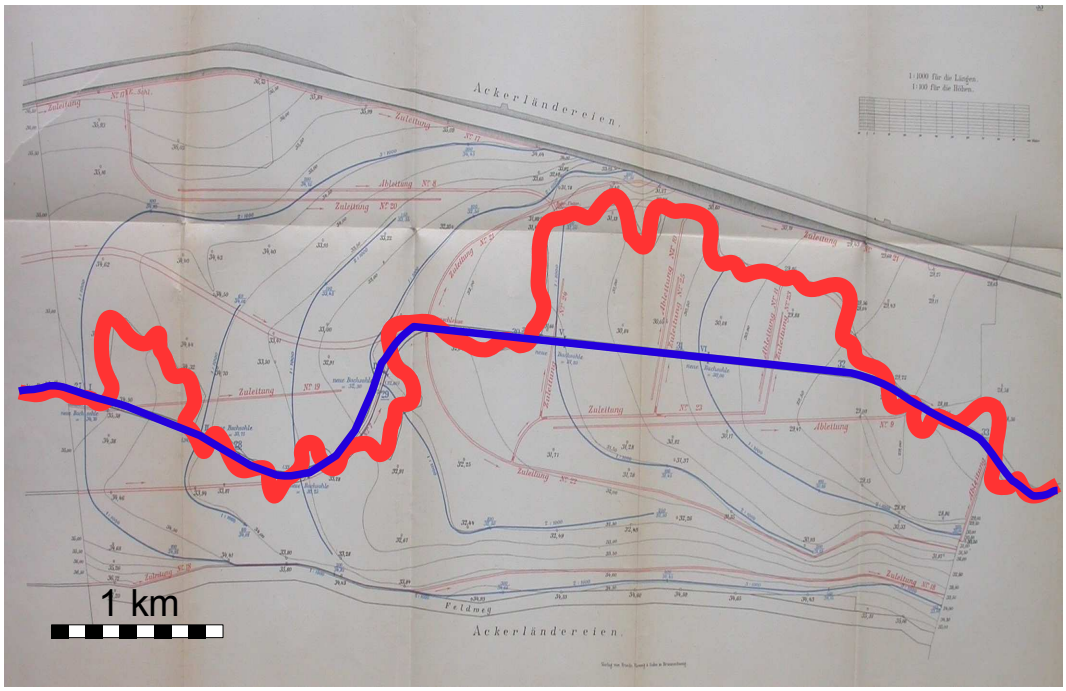


Abbildung 3: Verkürzung und Verlegung des Gewässerlaufs im Zuge des Wiesenbaus. Um welches Gewässer es sich handelt ist nicht bekannt. Rot dargestellt ist der alte Verlauf, blau der neue. In der Länge stehen 3500 m des alten Verlaufs 2300 m des neuen Verlaufs gegenüber. Das entspricht einer Laufverkürzung um ca. 34Prozent. Quelle: Dünkelberg 1894, S.193, Graphische Erweiterung: eigenen Darstellung.

Zuletzt soll hier auf mögliche Ursachen für das Fehlen von kiesigen Bestandteilen in den heutigen Gewässern eingegangen werden. Dabei ist zunächst als wesentlicher Grund die Laufverlegung der Gewässer anzusehen. Wie in Abbildung 3 eindrucksvoll zu sehen ist, wurde in der Vergangenheit der Verlauf der Gewässer stark verändert. Im Beispiel liegt das Gewässerbett nach dem Eingriff fast vollständig im Niedermoorkörper, der aufgrund seiner Genese vorwiegend organisch geprägt ist. Sollte sich vormals Kies im Bachbett befunden haben, steht dieser nun nicht mehr zur Stabilisierung der Gewässersohle zur Verfügung. Daneben wurden und werden die kiesigen Fraktionen bei Vertiefungen sowie Unterhaltungsmaßnahmen dem Gewässer entzogen.[30] Als weitere Ursache für das Fehlen von Kies kann auf die Entnahme von Kies als Baumaterial hingewiesen werden. Was gegenwärtig in großem Maßstab an Flüssen mit hoher Geschiebefracht betrieben wird, war in der Vergangenheit ein nahe liegendes Verfahren zur Rohstoffgewinnung.[31]

In den heute vorzufindenden Gewässern sind die oben beschriebenen als natürlich anzusehenden Bedingungen also fast sämtlich vom Menschen verändert, sodass es einerseits zu einer systematischen Begünstigung von Erosion innerhalb und außerhalb der Gewässer kommt und andererseits das Fehlen von kiesigen Bestandteilen der Gewässersohle zumindest für Teilstrecken erklärbar ist.

30 Vgl. Altmüller et al. 2006.
31 Vgl. Altmüller et al. 2006 und Kern 1995b, S. 940.

3. Untersuchte Gewässer

Es folgt eine Darstellung der untersuchten Gewässer und ihrer Einzugsgebiete mit ihren charakteristischen Merkmalen, resultierend aus Geologie, Geomorphologie und Bodenbeschaffenheit, Niederschlägen sowie den menschlichen Nutzungsformen und Prägungen. Zur Auswahl der Gewässer siehe Kapitel 4.1.

3.1 Hache und Nebengewässer Menninghäuser Beeke, Twillbeeke

Geographische Lage

Die Gewässer liegen im Landkreis Diepholz zwischen Syke und Hache südlich von Bremen.

Länge und Gefälle[32] des Gewässers, Größe des Einzugsgebietes[33]

Im untersuchten Abschnitt der *Hache* von der Ortschaft Hache bis Steimke beträgt die Länge des Hauptgewässers 20,3 Kilometer bei einem durchschnittlichen Gefälle von ca. 0,125 Prozent. Das zugehörige Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 86 Quadratkilometern.

Die *Twillbeeke* erstreckt sich über eine Länge von ca. 2,4 Kilometern bei einem durchschnittlichen Gefälle von ca. 0,75 Prozent. Ihr Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 3 Quadratkilometern.

Die *Menninghäuser Beeke* erstreckt sich über eine Länge von ca. 2,4 Kilometern bei einem durchschnittlichen Gefälle von ca. 0,5 Prozent. Die *Heide Beeke* als Nebengewässer der *Menninghäuser Beeke* erstreckt sich über 5,5 Kilometer, ihr Gefälle beträgt ca. 0,18 Prozent. Das gesamte Einzugsgebiet der *Menninghäuser Beeke* umfasst eine Fläche von 8,2 Quadratkilometern.

Naturräumliche Einheit, Geologie und Böden

Das untersuchte Einzugsgebiet liegt in der Syker Geest als Teil der Ems-Hunte-Geest.

Der reliefbildende Untergrund wird von den großen Geestplatten zwischen Weser- und Emstal geprägt, welche überwiegend Reste saaleeiszeitlicher Grundmoränen sind.[34]

Während der Weichselkaltzeit kam es zu äolischen Flottsandablagerungen, die große Teile des Gebiets in wechselnder Mächtigkeit bedecken.[35]

---

32 Die Gefälle der jeweiligen Gewässerstrecken (für die Beschreibung der untersuchten Gewässer) wurden aus den Topografischen Karten im Maßstab 1:5000 bzw. - falls diese keine Höhenlinien enthielten - aus den Topografischen Karten im Maßstab 1:25000 und 1:50000 errechnet.

33 Die Flächen der jeweiligen Einzugsgebiete (für die Beschreibung der untersuchten Gewässer) wurden auf der Grundlage der durch das NLWKN und den Landkreis Diepholz zur Verfügung gestellten Shape-Daten der Teileinzugsgebiete in einem Geographischen Informationssystem (ArcView 3.2 der Firma ESRI) errechnet.

34 Entnommen aus Theodor Müller in Meynen 1962.

35 Nach Geologischer Karte 1:50.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie und

Nach der Karte der Bodenlandschaften wird der Talraum der *Hache* dem Gebiet ehemaliger Moore, die weiteren Flächen des Einzugsgebietes dem Sandlössverbreitungsgebiet zugerechnet.[36]

Der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 entsprechend wird der Bodentyp im Talraum als Erd-Niedermoor, auf den übrigen Flächen als Pseudogley-Parabraunerde, Gley-Braunerde oder Plaggenesch angesprochen.[37]

Gemäß der Bodenschätzkarte beherrschen lehmige Sande und sandige Lehme das Untersuchungsgebiet.[38]

Niederschläge

Im Zeitraum zwischen 1931 und 1960 (ohne 1945/46) lagen die Jahresniederschlagssummen bei durchschnittlich ca. 700 Millimetern und zehnjährige Maximalwerte, gemessen über 72 Stunden, erreichten 70 Millimeter.[39] Zwischen 1951 und 1980 lagen die durchschnittlichen Jahresniederschlagssummen bei 712 Millimetern am Flughafen Bremen und 684 Millimetern in Diepholz.[40] In Syke lag im Jahr 2007 die Niederschlagssumme bei 773 Millimetern.[41]

Abflussmengen

2006 lag der durchschnittliche Abfluss am Pegel Steimke bei ca. 550 Litern pro Sekunde.[42]

Nutzung und menschliche Prägung

Fast der gesamte Talraum der ***Hache*** wird entweder forstwirtschaftlich oder als extensiv bewirtschaftetes Weideland genutzt. Dabei machen Grünland und Wald jeweils ungefähr die Hälfte aus. Im Waldanteil sind neben zahlreichen Erlenpflanzungen (*Alnus glutinosa*) teilweise ausgedehnte Fichtenbestände (*Picea abies*) zu finden. Die Pflanzungen gehen nach Aussagen von Passanten und Anwohnern in den meisten Fällen auf Pflanzungen aus der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts zurück, als die vormals zur Gewinnung von Futter genutzten Weiden im Talraum nicht mehr benötigt wurden. Vor allem die Fichtenbestände zeigen deutliche negative Beeinträchtigungen, die auf die hohen Grundwasserstände im Talraum zurückzuführen sind. Viele Bäume sind durch Stürme entwurzelt worden. Der Zustand vieler Waldflächen spricht dafür, dass sie von den Besitzern zumindest teilweise aufgegeben wurden, da die gepflanzten Strukturen nach und nach verfallen und keine Neupflanzungen mehr vorgenommen werden.[43] Natürliche

---

Theodor Müller in Meynen 1962.

36 Nach Karte der Bodenlandschaften 1:200.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.

37 Nach Bodenübersichtskarte 1:50.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.

38 Nach Bodenschätzkarte 1:25.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.

39 Nach Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik (alte Bundesländer).

40 Nach Müller-Westermeier 1990.

41 Daten für die Messstation Syke wurden zur Verfügung gestellt durch die Meteomedia AG.

42 Daten zur Verfügung gestellt durch das Niedersächsische Landesamt für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz.

43 Auf diesen Umstand wird deshalb hingewiesen, weil die so genannten Raumwiderstände für eventuell zu planende

Waldbestände sind nicht bekannt, wenn auch auf der Höhe der *Menninghäuser Beeke* einzelne Erlen mit einem Alter von deutlich über fünfzig Jahren zu finden sind. Auf Teilstrecken bestimmen Weiden (*Salix spec.*) die ufernahen Bestände.

Als Altlast der Zeiten intensiverer Nutzung sind tiefe Entwässerungsgräben sowie Drainagen fast durchgehend anzutreffen. Auch wenn diese nur noch in wenigen Fällen unterhalten werden, erfüllen sie nach wie vor ihre das Grundwasser senkende Wirkung mit allen negativen Konsequenzen für den ökologischen Zustand des Talraums. Als besonders augenfällig und alarmierend sind die hohen Einträge von Eisenocker aus den Gräben ins Gewässer zu sehen.[44]

Die ehemalige Rieselwiesenwirtschaft im Talraum ist als ein gravierender Eingriff in die Gewässerstrukturen anzunehmen. Noch heute existieren zahlreiche Reste ehemaliger Stauanlagen. Vielerorts finden sich frische Uferabbrüche mit zum Teil erheblichen Ausmaßen. Dies ist als Folge der Vertiefung und Begradigung sowie der verstärkten Abflussmengen zu sehen.

Zuletzt wurden in den 1960er Jahren intensive Baggerarbeiten zur Vertiefung der *Hache* durchgeführt.[45] Seither werden an verschiedenen Stellen leichte Unterhaltungsmaßnahmen vorgenommen, die als gröbsten Eingriff das Entfernen umgestürzter Bäume und das Zurückschneiden oder Fällen einzelner Bäume beinhalten.

Die Bemühungen um die *Hache* und die Erreichung ihres naturnahen Zustands gehen zurück bis Mitte der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts, als begonnen wurde, eine Auswahl an für jeden der in Niedersachsen vertretenen Naturräume typischen Gewässer zu treffen, um diese in das Konzept des Niedersächsischen Fließgewässerschutzsystems[46] zu integrieren. Seither wurden diverse Renaturierungsmaßnahmen durchgeführt, an deren oberster Stelle die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit steht, die in einer ersten Annäherung durch das Entfernen sämtlicher Querbauwerke seit dem Jahr 2000 zumindest für Teile der Fischfauna besteht.

Dennoch sind bis heute weite Teile der *Hache* als Lebensraum für die meisten Fließgewässerorganismen nicht geeignet, da abgesehen von wenigen Teilstrecken die nötigen Strukturen für eine Wiederbesiedlung fehlen.[47]

Die ***Twillbeeke*** ist den Grad ihrer Naturnähe betreffend ein herausragender Einzelfall unter den Nebengewässern der *Hache* und reich an vergleichsweise naturnahen Strecken. Sie liegt zu weiten Teilen in einem von Buchen (*Fagus sylvatica*) dominierten Waldstück in einem Muldental, welches einen natürlichen Puffer gegenüber Einflüssen der umliegenden Ackerflächen darstellt. Im unteren Bereich des Waldstücks hat sich ein Erlenbruch etabliert, dessen hoher Grundwasserstand offenbar stark durch den Rückstau des

Renaturierungsmaßnahmen auf wirtschaftlich uninteressanten Flächen verhältnismäßig gering sein dürften.

44 Vgl. Madsen 2006.

45 Mündliche Mitteilung durch Herrn Prüser, ehem. Verbandsvortseher des Hache-Hombach-Verbandes, am 9.10.2006.

46 Vgl. Rasper et al. 1991.

47 Hierbei handelt es sich um eine persönliche Einschätzung des Autors, der weite Teile der Hache zu Fuß oder vom Wasser aus erkundet hat.

unterhalb anschließenden Fischteichs beeinflusst ist, und in der derzeitigen Ausprägung an dieser Stelle (bei sonst vergleichsweise starkem Gefälle des Tals) eher unnatürlich erscheint. Der Fischteich mit seinem ca. zwei Meter hohen Damm stellt eine unüberwindbare Wanderbarriere für Fische und Wirbellose dar und ist als maßgebliche Beeinträchtigung für das Gewässer zu erachten. Im unterhalb des Fischteiches liegenden Bereich zeigt der Bach ebenfalls deutliche Defizite auf. Darunter fallen zwei Sohlabstürze von einem bzw. einem halben Meter mit jeweiliger Verrohrung. Zudem ist der Bach im Abschnitt unterhalb der Kreisstraße 125 sehr stark eingetieft. Durch Unterhaltungsmaßnahmen wurden in der Vergangenheit regelmäßig die steilen Ufer und die Sohle von ihrem Bewuchs befreit und zum Teil stark beschädigt, was eine fortschreitende Vertiefung verursachte.[48] Als ebenfalls erhebliche Beeinträchtigung einzustufen sind unkontrollierte Einleitungen eines landwirtschaftlichen Betriebes, die den Abschnitt unterhalb des Fischteiches im Zeitraum der Untersuchungen zeitweise stark eutrophierten.

Wie an allen dem Autor bekannten Nebengewässern der *Hache* ist auch an der *Twillbeeke* der Oberlauf verlängert und wird als Vorfluter für die Entwässerung landwirtschaftlicher Flächen genutzt. Dies stellt eine systematische Begünstigung von schädlichen Stoffeinträgen dar und führt zu erhöhtem hydraulischem Stress im Gewässer. Als ein Ergebnis von Kiesentnahme und erhöhtem hydraulischem Stress ist die rückschreitende Erosion im Oberlauf zu sehen.

Trotz der erwähnten Pufferwirkung des Waldgebietes wurden während der Untersuchungen mehrfach Sedimenteinträge aus anliegenden Ackerflächen dokumentiert, die durch Abschwemmungen während Starkniederschlägen verursacht wurden.

Die ***Menninghäuser Beeke*** stellt ein durch den Menschen extrem überformtes Gewässer dar. Es ist auf der gesamten Lauflänge begradigt und weist nur rudimentär naturnahe Bereiche auf. Bachbegleitende Gehölze beschränken sich auf Fichten sowie wenige Schwarzerlen.

Oberhalb der Landstraße 356 fehlen fast jegliche Strukturen im Gewässer und in Zeiten geringer Niederschläge fällt das Gewässer ab einer Entfernung von wenigen hundert Metern zur Landstraße trocken. Damit ist spätestens ab der Ortschaft Menninghausen nicht mehr von einem natürlichen sondern von einem künstlichen Gewässer zu sprechen. Zählt man die Heide Beeke - sie liegt ebenfalls zumeist trocken - als Zufluss der *Menninghäuser Beeke* zusammen mit der *Menninghäuser Beeke* als ein Gewässer, übersteigt die Länge der künstlichen Laufstrecke die der natürlichen um den Faktor 3, wobei nur Gewässer zweiter Ordnung eingerechnet sind - private Gräben wurden außen vor gelassen.

48 Mündliche Mitteilung durch Herrn Günther Thörel, Eigentümer der Flächen unterhalb der K 125, am 7.1.2007.

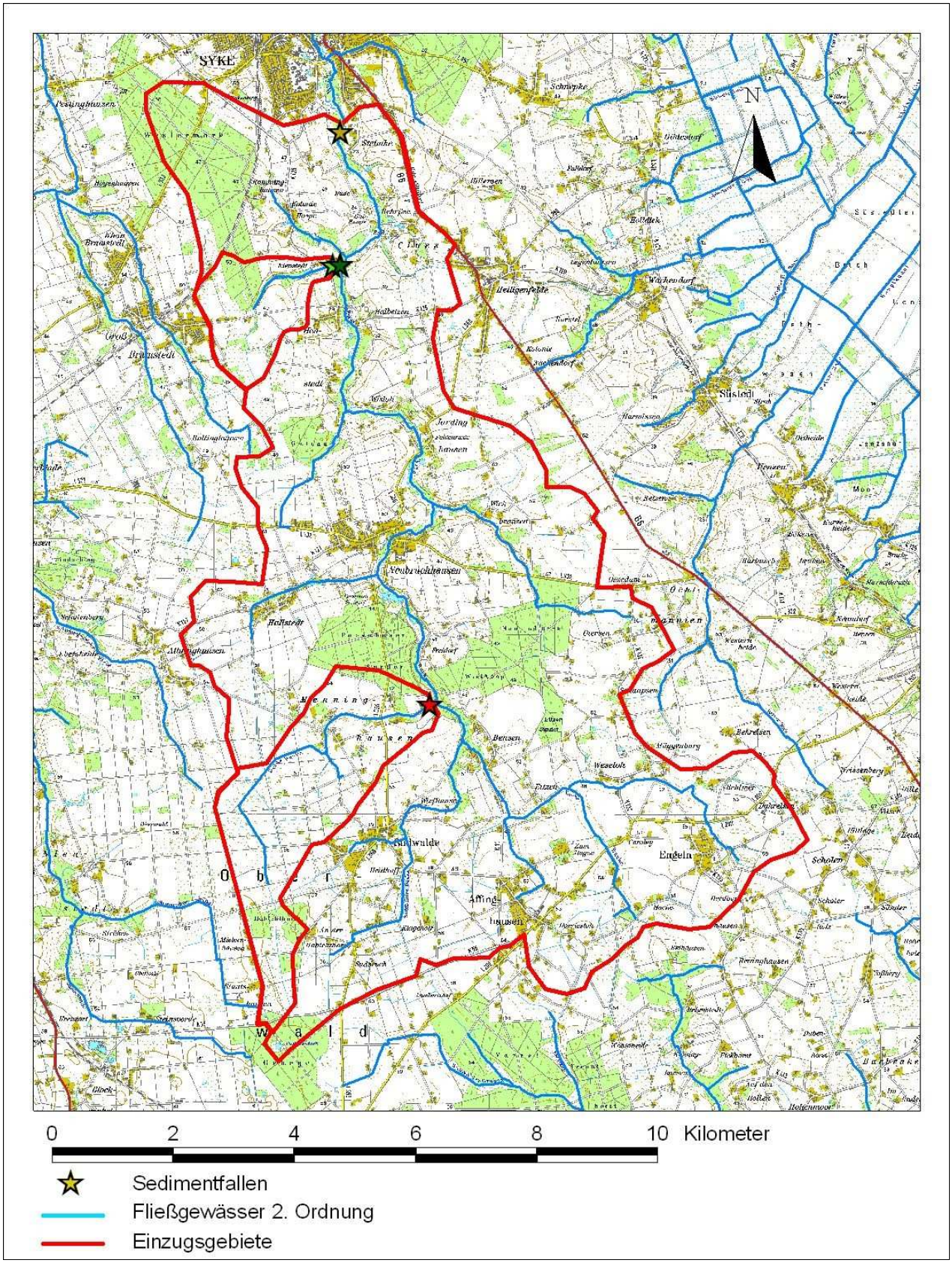


Abbildung 4: Einzugsgebiet Hache. Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2005 GLL LGN.

Abbildung 5: Ansichten der Hache. Von links oben nach rechts unten: 1 km südlich Menninghäuser Beeke, 500 m südlich Twillbeeke, an Menninghäuser Beeke, bei Bensen.

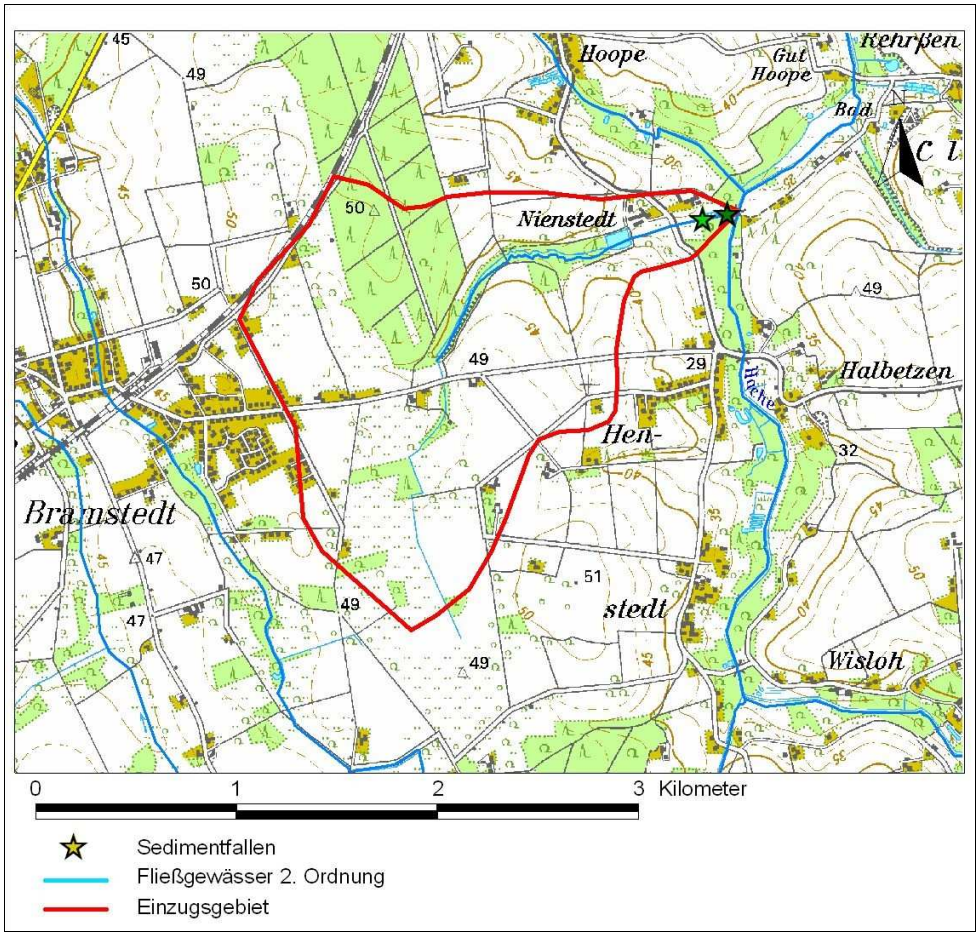


Abbildung 6: Einzugsgebiet Twillbeeke. Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2005 GLL LGN.

Abbildung 7: Ansichten der Twillbeeke. Von links oben im Uhrzeigersinn: Sohle an Sedimentfalle I mit Spuren der Räumung, Strecke zwischen Sedimentfalle I und II, Waldabschnitt 700 m oberhalb Fischteich.

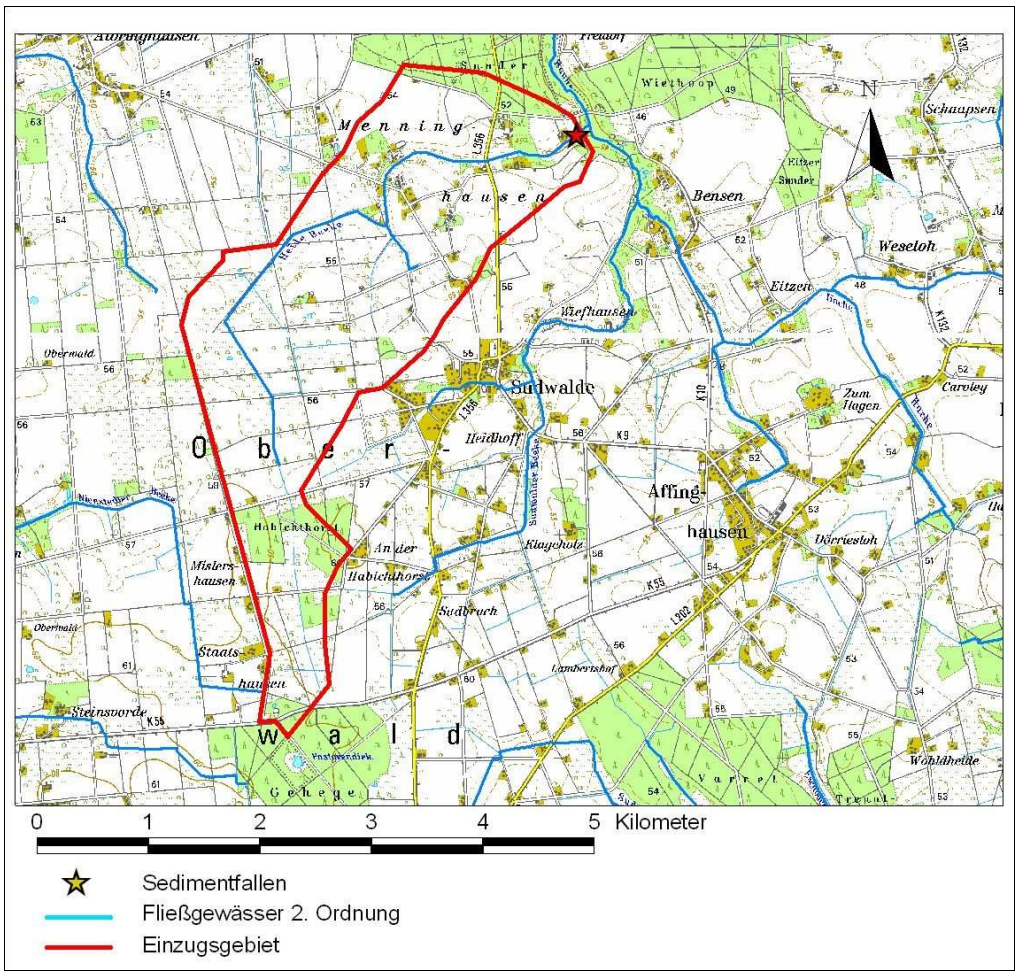


Abbildung 8: Einzugsgebiet Menninghäuser Beeke. Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2005 GLL LGN.

Abbildung 9: Ansichten der Menninghäuser Beeke. Von links im Uhrzeigersinn: 1 km oberhalb Sedimentfalle, Heide Beeke bei Menninghausen, Sohle an der Sedimentfalle.

3.2 Hasenburger Bach

Geographische Lage

Das Gewässer liegt im Landkreis Lüneburg wenige Kilometer südwestlich der Stadt Lüneburg.

Länge und Gefälle des Gewässers, Größe des Einzugsgebietes

Im untersuchten Abschnitt beträgt die Länge des Gewässers 4,7 Kilometer bei einem Gefälle von ca. 0,21 Prozent. Das ebenfalls untersuchte Nebengewässer Südergellerser Bach hat eine Länge von 3 Kilometern.

Die Größe des untersuchten Einzugsgebietes beträgt 39,5 Quadratkilometer.

Naturräumliche Einheit, Geologie und Böden

Das untersuchte Einzugsgebiet ist Teil der Luheheide, welche eine Untereinheit der Lüneburger Heide und des Wendlands darstellt.

Der Untergrund wird durch Ablagerungen aus Elster- und Saaleeiszeit geprägt.[49]

Nach der Karte der Bodenlandschaften wird der Talraum des *Hasenburger Baches* und Südergellerser Bachs dem Gebiet der Moore und dem Verbreitungsgebiet fluvialer und glazifluvialer Sedimente zugerechnet.[50]

Der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 entsprechend wird der Bodentyp im Talraum des *Hasenburger Baches* hauptsächlich als Gley mit Erd-Niedermooraufl age, südlich der Bundesstraße 209 als Erd-Niedermoor bzw. Gley angesprochen. Am Südergellerser Bach kommen Erd-Niedermoor und Podsol-Gley vor.[51]

Die Bodenschätzkarte gab für dieses Untersuchungsgebiet zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch keine flächendeckenden Aussagen.[52]

Niederschläge

Im Zeitraum zwischen 1931 und 1960 (ohne 1945/46) lagen die Jahresniederschlagssummen bei durchschnittlich ca. 650 Millimetern und zehnjährige Maximalwerte, gemessen über 72 Stunden, erreichten 70 Millimeter.[53] Zwischen 1951 und 1980 lagen die durchschnittlichen Jahresniederschlagssummen bei 612,5 Millimetern in Lüneburg.[54] In Deutsch Evern bei Lüneburg lag im Jahr 2007 die Niederschlagssumme bei 918,1 Millimetern.[55]

49 Entnommen aus Theodor Müller in Meynen 1962.
50 Nach Karte der Bodenlandschaften 1:200.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.
51 Nach Bodenübersichtskarte 1:50.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.
52 Nach Bodenschätzkarte 1:25.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.
53 Nach Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik (alte Bundesländer).
54 Nach Müller-Westermeier 1990.
55 Die Daten für die Messstation Deutsch Evern wurden zur Verfügung gestellt durch die Meteomedia AG.

Nutzung und menschliche Prägung

Der Talraum des *Hasenburger Baches* wird vorwiegend extensiv als Mähwiesen und Weideland bewirtschaftet sowie forstwirtschaftlich genutzt. Im Bereich südlich der Bundesstraße 209 finden sich zudem große Ackerflächen mit teilweise starken Hangneigungen und direkter Entwässerung ins Gewässer. Am Südergellerser Bach finden sich ähnliche Verhältnisse, allerdings sind hier auch die weiter entfernten Ackerflächen über Nebengewässer und Gräben mit dem Bach verbunden.

Die beiden Gewässer liegen oft tief ins Gelände eingeschnitten. Vergleichsmessungen von alten Bachbetten zum aktuellen Sohlniveau des *Hasenburger Baches* ergaben einen Höhenunterschied von ca. einem Meter. Die Ufer befinden sich auf weiten Strecken in einem instabilen Zustand. Steile Abbrüche, an denen Rohböden offen liegen, finden sich fast überall entlang der Strecken.

Das erhebliche Aufkommen von Eisenocker kann an vielen Stellen als Zeichen von Grundwasserabsenkung gesehen werden.

Es ist anzunehmen, dass weite Teile der ehemaligen Niedermoorböden durch Übersandung urbar gemacht wurden, was sich an den hohen Sandanteilen der oberen Horizonte zeigt (s. Ergebnisse).

Morphologisch intakte Strecken sind selten, aber dennoch vorhanden. Sie sind jedoch sämtlich durch Feinsedimentfrachten und Eisenockerablagerungen stark beeinträchtigt, ausgenommen eines einzelnen Quellbereichs am *Hasenburger Bach*.

Unterhaltung findet durch den Unterhaltungsverband nur auf einer kleinen Teilstrecke in Form von Mäharbeiten statt. Allerdings scheint sich ein Kreis von Einzelpersonen gebildet zu haben, deren Ziel es ist, jegliches Totholz aus dem Gewässer zu entnehmen. So wurde während der Untersuchungen mit erstaunlichem Aufwand und Präzision, die gesamte Strecke des *Hasenburger Baches* von der Quelle bis nach Heiligenthal auf einer Länge von über vier Kilometern völlig leer geräumt. Somit sind heute weite Teile des Hasenburger und Südergellerser Baches als Lebensraum für die meisten Fließgewässerorganismen nicht geeignet, da abgesehen von wenigen Teilstrecken die nötigen Voraussetzungen für eine Wiederbesiedlung fehlen.[56]

56 Hierbei handelt es sich um eine persönliche Einschätzung des Autors.

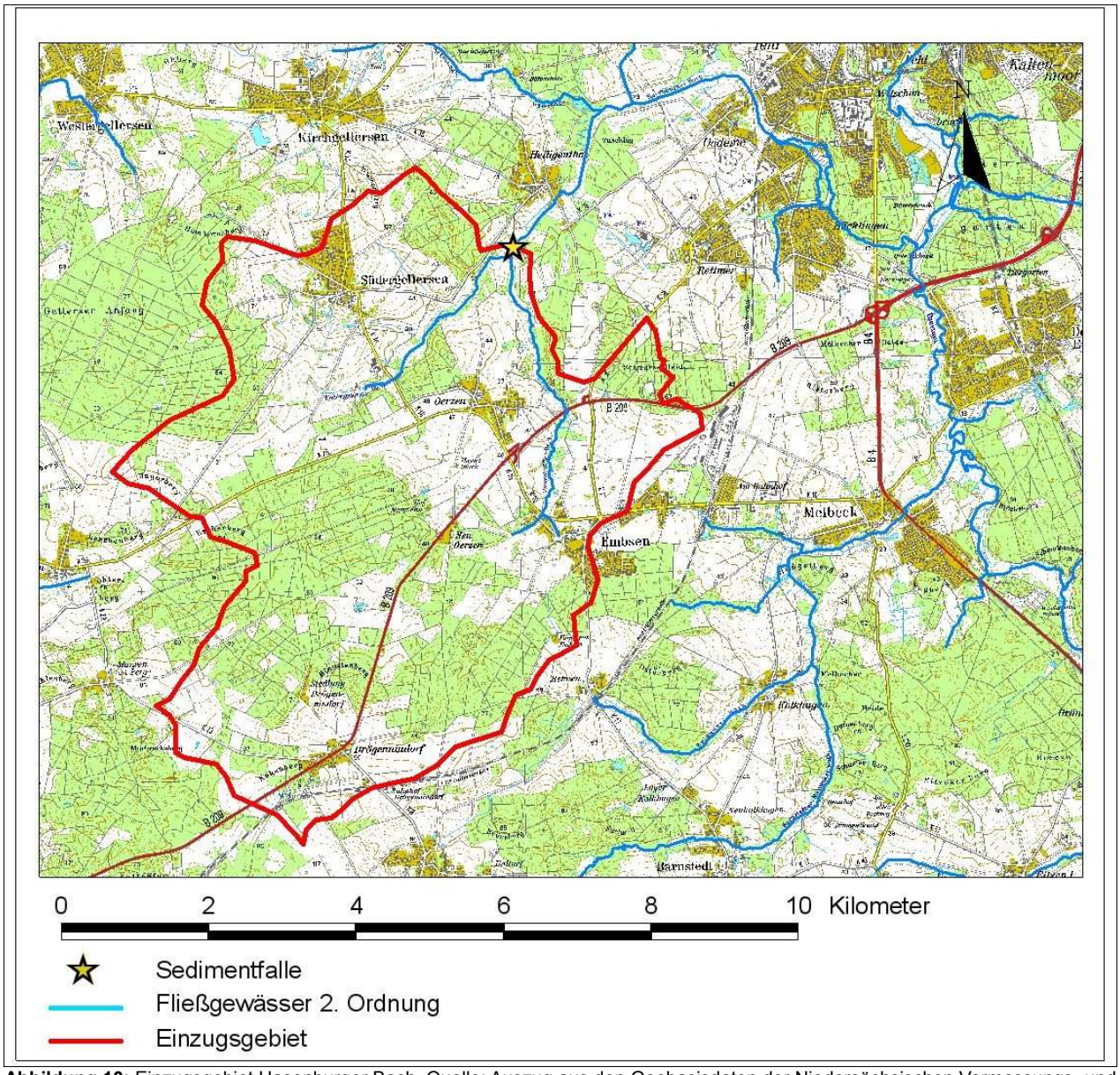


Abbildung 10: Einzugsgebiet Hasenburger Bach. Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2005 GLL LGN.

Abbildung 11: Ansichten des Hasenburger Baches. Von links oben nach rechts unten: Südergellerser Bach westlich von Heiligenthal, Hasenburger Bach 3 km nördlich der B 209, Hasenburger Bach 4 km nördlich der B 209, Hasenburger Bach oberhalb des Sandfangs.

3.3 Eykbach

Geographische Lage

Das Gewässer liegt im Landkreis Harburg ca. 35 Kilometer südlich von Hamburg im Garlstorfer Wald der gleichnamigen Gemeinde Garlstorf.

Länge und Gefälle des Gewässers, Größe des Einzugsgebietes

Im untersuchten Abschnitt beträgt die Länge des Gewässers ca. 460 Meter bei einem Gefälle von ca. 2,2 Prozent.
Die Größe des untersuchten Einzugsgebietes beträgt 0,8 Quadratkilometer.

Naturräumliche Einheit, Geologie und Böden

Das untersuchte Einzugsgebiet liegt auf der Grenze zwischen Luheheide und Hohe Heide, welche Bestandteile der Lüneburger Heide sind.

Der reliefbildene Untergrund wird von einem Endmoränenzug des Seeve-Stadiums geprägt. Dieser wird aus sandigem Kies, der oft reich an größerem Geschiebe ist, aufge-

baut.[57] Während der Weichselkaltzeit kam es zu weiteren Ablagerungen von Ton, Schluff und Sand.[58]

Nach der Karte der Bodenlandschaften wird das Einzugsgebiet des *Eykbach*s dem Verbreitungsgebiet fluvialer und glazifluvialer Sedimente zugerechnet.[59]

Der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 entsprechend wird der Bodentyp als Podsol-Braunerde angesprochen.[60]

Genauere Angaben zu den Bodenbestandteilen liegen dem Autor zum Zeitpunkt der Bearbeitung nicht vor.

Niederschläge

Im Zeitraum zwischen 1931-1960 (ohne 1945/46) lagen die Jahresniederschlagssummen bei durchschnittlich ca. 750 Millimetern und zehnjährige Maximalwerte, gemessen über 72 Stunden, erreichten 80 Millimeter.[61] Die durchschnittlichen Niederschlagssummen in Gödenstorf betrugen in den Zeiträumen

- 1960-1969: 698 Millimeter,
- 1970-1979: 646 Millimeter,
- 1980-1989: 780 Millimeter,
- 1990-1999: 750 Millimeter,
- 2000-2006: 873 Millimeter.

2007 erreichte die Niederschlagssumme 1206 Millimeter.[62]

Abflussmengen

Selbst gemessen wurden am 14.3. 1,35 Liter pro Sekunde am Ende der untersuchten Teilstrecke (Einlauf des Teiches unterhalb der Sedimentfalle). Werte für den Auslauf des Teiches lagen in den Monaten Juli bis November 1981 zwischen 1,7 und 2,2 Liter pro Sekunde.[63]

Nutzung und menschliche Prägung

Es ist davon auszugehen, dass der Standort zu den historisch alten Wäldern zu zählen ist.[64] Dem entsprechend ist das Einzugsgebiet mit Ausnahme der Wege vollständig bewaldet. Der Bestand wird von Buchen (*Fagus sylvatica*), Fichten (*Picea abies*), Lärchen (*Larix decidua*) und einzelnen Eichen (*Quercus petraea*) sowie einem kleinen Bestand an

57 Entnommen aus Theodor Müller in Meynen 1962
58 Nach Geologischer Karte 1:50.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.
59 Nach Karte der Bodenlandschaften 1:200.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.
60 Nach Bodenübersichtskarte 1:50.000 aus: Kartenserver des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie.
61 Nach Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik (alte Bundesländer).
62 Gemessen und zur Verfügung gestellt durch Herrn Karl Petersen, Gödenstorf bei Salzhausen.
63 In Meyer-Jenin 1982, S.15
64 Mündliche Mitteilung durch Herrn Friedrichs, Revierleiter der Klosterförsterei Garlstorf, am 3.06.2008.

Schwarzerlen (*Alnus glutinosa*) geprägt, wobei Buchen, Erlen und Eichen den Ufer- und Böschungsbereich des Baches dominieren. Nadelhölzer treten erst in einigem Abstand zum Gewässer auf.

Die Fläche ist im Besitz der Klosterforsten und wird insbesondere im direkten Umfeld des Baches auf sehr umsichtige Weise bewirtschaftet. Als sehr positiv ist das Verbleiben einzelner umgestürzter Bäume zu sehen, die einen sehr selten gewordenen Lebensraum für viele Organismen, deren Verbreitung sich aufgrund des Verlusts geeigneter Habitate auf wenige Rückzugsgebiete beschränkt. Als Beispiel sei hier auf die Population des Feuersalamanders (*Salamandra salamandra*) im Umfeld des Baches hingewiesen. Bei Waldarbeiten, die auch hier unter Einsatz schweren Geräts vorgenommen werden, bleibt das direkte Umfeld des Baches ungestört.

Innerhalb des untersuchten Abschnitts des *Eykbach*s befindet sich ein ehemaliger Fischteich, der bis ca. 1990 die Quelle des Bachs fasste. Heute sind noch deutliche Überreste des Damms vorzufinden. Der Abfluss des Quellwassers erfolgt jedoch weitestgehend ungehindert.

Direkt an den untersuchten Abschnitt anschließend besteht ein bereits im 19. Jahrhundert dokumentierter Teich, dessen Ursprung vermutlich auf eine Tongrube zurückgeht.[65] Dieser wurde Ende der 1980er Jahre um eine Flachwasserzone erweitert und von Sedimentablagerungen vollständig befreit. Seither wurden keine Eingriffe mehr getätigt. Eine menschliche Nutzung findet nicht statt.

65 Mündliche Mitteilung durch Herrn Friedrichs, Revierleiter der Klosterförsterei Garlstorf, am 7.12.2007.

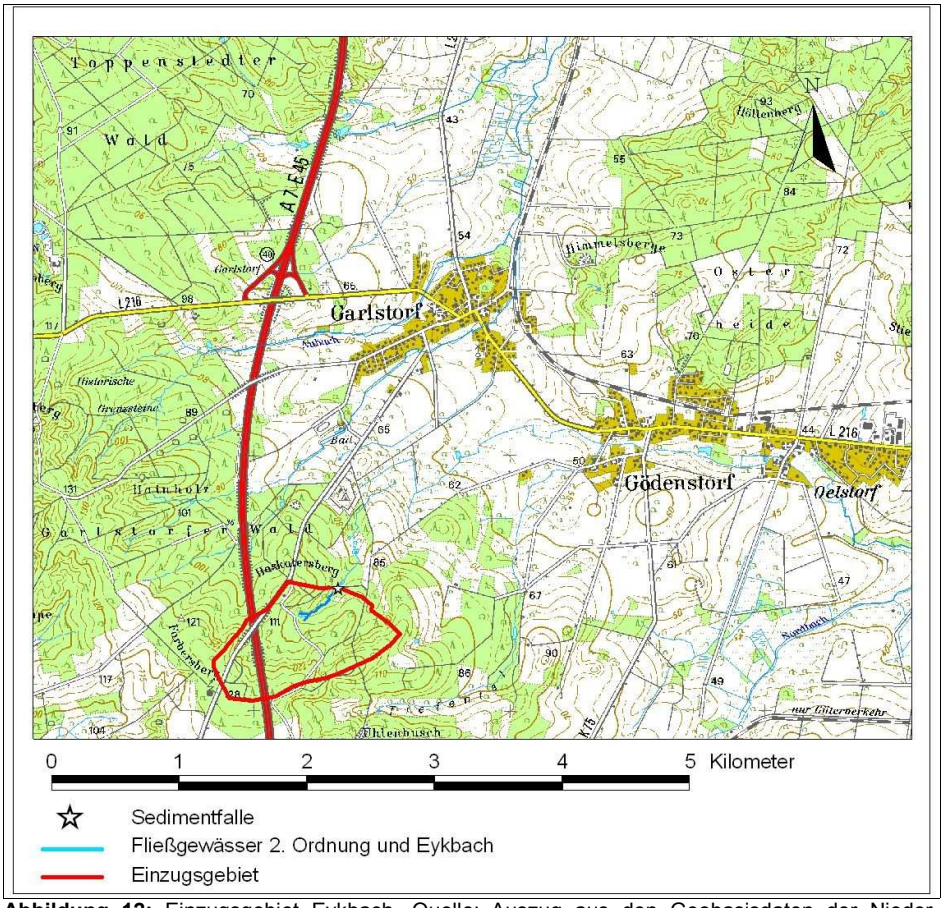


Abbildung 12: Einzugsgebiet Eykbach. Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2005 GLL LGN.

Abbildung 13: Ansichten des Eykbach. Von links oben nach rechts unten: 200, 250 und 50 m oberhalb der Sedimentfalle, Quelle in ehemaligem Teich.

4. Methoden

Da im Rahmen dieser Arbeit mehrere Fragestellungen behandelt wurden, kam ein Set von verschiedenen Methoden zur Anwendung. In diesem Kapitel werden die angewandten Methoden nach ihrer jeweiligen Zugehörigkeit zur entsprechenden Fragestellung bzw. den Fließgewässern, in denen sie angewendet wurden dargestellt.

4.1 Auswahl der Gewässer und Festlegung der Messstellen

Vor Beginn der Arbeit bestand zunächst die Frage welche Gewässern geeignete Bedingungen für die Durchführung der geplanten Untersuchungen bieten. Zu beachten galt in erster Linie, dass die Gewässer messbare Sedimentfrachten aufweisen, was jedoch kaum ein Problem darstellen sollte. Das zweite Kriterium lag in der Durchführbarkeit der Untersuchungen vor Ort, welche zum einen die Erreichbarkeit Gewässer und zum anderen die Unterstützung der verantwortlichen Behörden und Verbände bedeutete. Maßgebliche Unterstützung bei der Suche nach möglichen Anlaufstellen und Gewässern sowie finanziellen Mitteln erhielt der Autor von verschiedenen Einzelpersonen, ohne die ein Gelingen der Arbeit kaum denkbar gewesen wäre.

Der *Eykbach* wurde ausgewählt, da an ihm die Möglichkeit bestand naturnahe Verhältnisse im Bezug auf die Sedimentfrachten zu erforschen.

Die Festlegung der Messstellen (Sedimentfallen) an den Gewässern wurde durch die Zugänglichkeit der einzelnen Gewässer sowie die Erlaubnis der Eigentümer bestimmt. An *Menninghäuser Beeke* und *Twillbeeke* wurden die Sedimentfallen so nahe wie möglich an die Mündung zur *Hache* platziert[66], am *Eykbach* kurz vor der Einmündung in den Teich.

4.2 Quantitative Messung der Sedimentfracht

Das Ziel der Messungen war es, aussagekräftige Daten über die sich in den Gewässern bewegenden Sedimentfrachten zu erhalten. Nach eingehender Prüfung der zur Verfügung stehenden Messmethoden, fiel die Wahl auf Sedimentfallen, nach dem Prinzip eines Passivsammlers, der bodennahe Sedimentfrachten annähernd vollständig akkumuliert.

Sedimentfallen basieren auf dem Prinzip einer Querschnittserweitung des Gewässerpro-

66 Der Grund dafür zwei Sedimentfallen an der Twillbeeke anzulegen lag ursprünglich in dem konzeptionellen Versuch, die Sedimentfrachten beider Fallen jeweils den Quellen innerhalb der über ihnen liegenden Strecken bis zur jeweils nächsten Sedimentbarriere zuzurechnen - für Twillbeeke I also die Strecke bis zum Fischteich, für Twillbeeke II die Strecke bis Twillbeeke I. Für Twillbeeke II hätte dies bedeutet, vorwiegend die Frachten zu sammeln, die durch die intensive Unterhaltungsmaßnahmen (inkl. Aufreißen der Uferböschung und Gewässersohle) auf diesem Teilstück des Baches mobilisiert wurden. Durch die dauerhaft hohen Niederschläge des Frühjahrs kam es vermutlich zu einem Überschreiten der Sedimentbarriere am Fischteich und einem stark erhöhten Eintrag neuerlich mobilisierter Sedimente in die Teilstrecken, auf denen gemessen wurde. Durch die Fehlplazierung der Sedimentfalle Twillbeeke I nahe eines Sohlabsturzes, der für stark turbulente Strömungen innerhalb der Sedimentfalle sorgte, wurden Teile der Einträge über Twillbeeke I hinaus transportiert. Dadurch wurde das ursprüngliche Konzept zweier voneinander getrennter Teilstrecken unbrauchbar.

fils. Die Sedimente wandern in den aufgeweiteten Bereich ein und bleiben hier aufgrund der fehlenden Schleppkraft liegen.

Zum Einsatz kamen Sedimentfallen zwei unterschiedlicher Typen verschiedener Größe, die in regelmäßigen Abständen beprobt wurden. Die Beprobung bestand je nach Typ des Sandfangs (siehe unten) aus einer Entnahme und Wiegen der Sedimente oder einer Messung des Zuwachses der Sedimente.

Aufbau und Funktion der Sedimentfallen

Aufbau, Funktionsweise und Art der Beprobung werden zunächst tabellarisch dargestellt (s. Tabelle 1 und 2) und im Anschluss weiter erläutert. Skizzen zum Aufbau beider Typen sind am Ende des Abschnitts angefügt (s. Abbildung 17 und 18).

Tabelle 1: Erläuterungen Sedimentfalle Typ 1

Typ 1	
Fassungsvermögen:	etwa zwischen 0,4 m³ und 3,5 m³
Dauer Sedimentakkumulation:	ein Beprobungszyklus
Beprobungsart:	Entleeren per Hand (und Schaufel), anschließendes Verfüllen der Sedimente in Säcke, Wiegen und Entnahme von Mischproben für Laboruntersuchungen am Ende des Untersuchungszeitraums.
Beprobungszyklus:	zweiwöchig, soweit möglich; zeitweise mehrmals pro Woche
Erosionssperre Einlauf:	ja
Erosionssperre Auslauf:	ja
Anwendung an:	Eykbach, Twillbeeke, Menninghäuser Beeke

Tabelle 2: Erläuterungen Sedimentfalle Typ 2

Typ 2	
Fassungsvermögen:	≈ 400 m³ bzw. ≈ 550 m³
Dauer Sedimentakkumulation:	über den gesamten Untersuchungszeitraum
Beprobungsart:	Bestimmung der Zunahme von Sedimenten mittels Messstange, Entnahme von Bohrkernen für Laboruntersuchungen am Ende des Untersuchungszeitraums.
Beprobungszyklus:	zweiwöchig, soweit möglich
Erosionssperre Einlauf:	ja
Erosionssperre Auslauf:	nein
Anwendung an:	Hache, Hasenburger Bach

Die Sedimentfallen vom *Typ 1* wurden mit Teichfolie ausgelegt und mit Erosionssperren

am Ein- und Auslauf gegen rückschreitende Erosion gesichert. Dazu wurden Bretter, die der Breite der Gewässersohle entsprechen, an Pflöcken befestigt und ins Sediment getrieben. Um zu gewährleisten, dass die Fließgeschwindigkeit vor und hinter den Sedimentfallen und damit auch der Geschiebetransport von den Sedimentfallen unbeeinträchtigt blieb, wurden diese Erosionssperren so eingebracht, dass sie genau mit dem zum Zeitpunkt des Einbaus vorgefundenen Sohlniveau des Gewässers abschlossen (s. Abbildung 14, 15 und 17).

Abbildung 14: Sedimentfalle Typ 1, Eykbach.

Abbildung 15: Anlegen der Sedimentfalle Typ 1, Menninghäuser Beeke.

Typ 2 war im Falle des *Hasenburger Baches* bereits durch den zuständigen Unterhaltungsverband hergestellt. Der Sandfang wird seit 1985 im Rahmen der Unterhaltungspflicht des Gewässer- und Landschaftspflegeverbandes Mittlere und Obere Ilmenau betrieben, um die jährlich anfallenden Sedimentfrachten aus den unterhalb liegenden Gewässerabschnitten fern zu halten. Erosionssperren sind an Ein- und Auslauf durch Schüttungen aus Grobschotter und eingeschlagene Pfähle realisiert. Die Abmessungen betragen rund 55 Meter in der Länge, durchschnittlich 4,7 Meter in der Breite und 2,2 Meter in der Tiefe (ausgehend vom Sohlniveau des Baches).

Der Sandfang an der *Hache* (ebenfalls Typ2) wurde am 23.11.2006 auf der Länge von zunächst 60 Metern mit einer Breite von fünf Metern und einer Tiefe von einem Meter (ausgehend vom Sohlniveau des Baches) angelegt und am 5.3.2007 auf 80 Meter verlängert (s. Abbildung 16 und 18).

Abbildung 16: Setzen der Einlaufschwelle für Sandfang Hache (Typ 2).

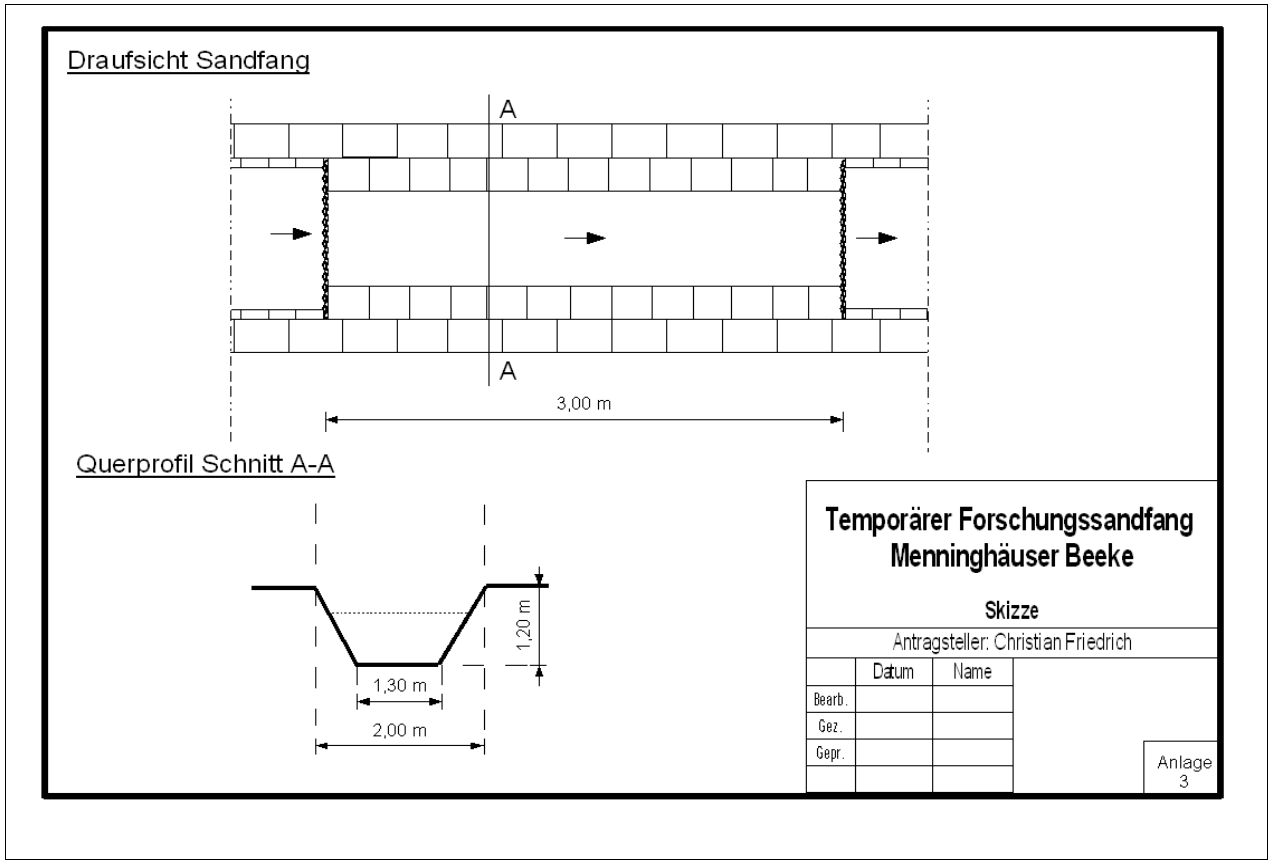


Abbildung 17: Temporärer Forschungssandfang Menninghäuser Beeke beispielhaft für Sedimentfalle Typ 1, Auszug aus Genehmigungsverfahren.

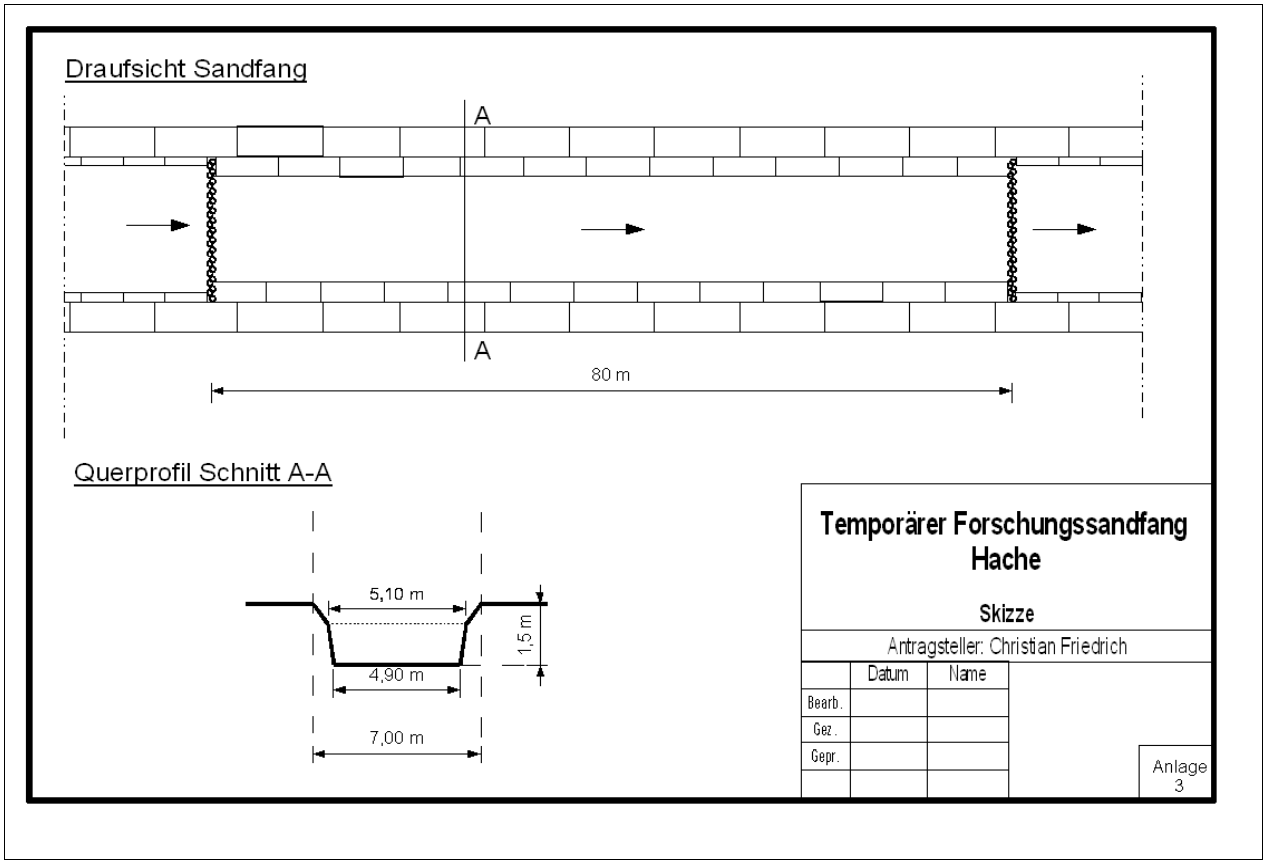


Abbildung 18: Temporärer Forschungssandfang Hache. Beispielhaft für Sedimentfalle Typ 2, Auszug aus Genehmigungsverfahren, verändert.

Sedimententnahme und Entfernen organischer Bestandteile

Die Entnahme des in den Sedimentfallen vom Typ 1 akkumulierten Materials geschah durch manuelles Herausschaufeln. Das Material wurde in 100 Liter fassende Wannen gegeben und dort so weit wie möglich von eingelagertem organischem Material befreit, welches zuvor durch intensives Rütteln und Aufwirbeln der Masse an die Oberfläche gebracht worden war. Das nun im Wesentlichen auf mineralische Bestandteile reduzierte Sediment wurde in Säcke verfüllt und am Ufer zwischengelagert.

Wiegen und Entnahme von Mischproben

Nach Abschluss des Messzeitraums wurden die Säcke mit einer Zeigerschnellwaage[67] bzw. bei Gewichten bis zehn Kilogramm mit einer Federwaage[68] gewogen (s. Abbildung 19).

Unter Verwendung eines Hohlmeiselbohrers (auch Pürckhauer genannt), der an mindestens sieben gleichmäßig verteilten Stellen senkrecht bis zum Boden in die Säcke eingeführt wurde, erfolgte an *Menninghäuser Beeke* und *Twillbeeke* die Entnahme von Mischproben zu ca. 500 Gramm (s. Abbildung 19). Diese wurden luftdicht verschlossen und für die spätere Laboranalyse aufbewahrt. Die am *Eykbach* entnommenen Sedimente wurden komplett aufbewahrt. Das Wiegen dieser geschah nach vollständiger Trocknung im Labor.

Abbildung 19: Wiegen und Entnahme von Mischproben an Menninghäuser Beeke.

Bestimmung des Sedimentzuwachses im zeitlichen Verlauf

Da eine Entnahme der Sedimente aus den Sedimentfallen des Typs 2, bedingt durch die

67 Waage mit einem Messbereich bis 100 Kilogramm in Ableseschritten zu 500 Gramm mit einer Genauigkeit von +/- 1 Prozent vom Endwert (Hestellerangabe).

68 Prezisionswaage der Firma Pesola mit einem Messbereich bis 10 Kilogramm in Ableseschritten zu 100 Gramm mit einer Genauigkeit von +/- 0,3 Prozent vom Endwert (Herstellerangabe).

großen Mengen, nicht möglich war, wurde versucht die Volumenzunahme der akkumulierten Sedimente im zeitlichen Verlauf zu dokumentieren. Hierzu wurde durch Begehung (im Falle der *Hache*) sowie Begehung und Befahrung durch ein Floß bzw. „Bellyboat“ (im Falle des *Hasenburger Baches*) mittels Messstangen an zuvor festgelegten Messpunkten die Höhe der eingewanderten Sedimente erfasst.

Das aus der Summe der einzelnen Messpunkte hervorgehende Gitternetz bestand aus mehreren Transekten mit jeweils fünf über die Breite der Sedimentfalle verteilten Punkten mit Abständen von jeweils siebzig Zentimeter zueinander und zu den Ufern. Die Abstände der Transekte untereinander lagen, in Abhängigkeit der Unterschiede innerhalb des jeweiligen Reliefs der Sedimentablagerungen, bei 0,5, 1, 5 und 10 Metern. Auf diese Weise erfolgte eine Zusammenfassung von Bereichen gleicher Reliefgegebenheiten und gleicher bzw. ähnlicher Lagerungsverhältnisse bezüglich der bis zum Zeitpunkt der Messung erreichten Verdichtung. Diese Annahme beruht auf der subjektiven Einschätzung des Autors und stellt eine Unschärfe bezüglich der Messgenauigkeit dar, da die im Laufe der Zeit durch das Eigengewicht der Sedimente fortschreitende Verdichtung mangels genauerer Daten nicht weiter in die Ergebnisse einbezogen werden konnte. Wie stark die Verdichtung im zeitlichen Verlauf wirkte, ist mit Sicherheit von der Tiefe des jeweiligen Sandfangs abhängig. Besonders ins Gewicht fällt dieser Faktor demzufolge am Sandfang des *Hasenburger Baches* mit einer Tiefe von ca. zwei Metern. Am Sandfang der *Hache* mit nur einem Meter Tiefe ist der Einfluss vergleichsweise gering anzunehmen.

Für die Ergebnisdarstellung erfolgte eine Trennung zwischen Sedimenten mit bzw. ohne tragende Sandauflage, wobei eine tragende Sandauflage als Indikator für eine fortgeschrittene Verdichtung gewertet wird.

4.3 Bodenprobenahme

Ackerflächen

Die Stellen für Bodenprobenahmen auf Ackerflächen wurden nach eigenem Ermessen dort plaziert, von wo aus ein Übertrag erodierten Materials in ein Gewässer wahrscheinlich oder sogar bereits beobachtet worden war (vgl. Abbildung 20 und 21).

Die einzelnen Stellen wurden in einem Quadrat von vierzig mal vierzig Zentimeter bis in dreißig Zentimeter Tiefe beprobt. Die daraus hervorgegangenen Mischproben wurden luftdicht verpackt und zwischengelagert.

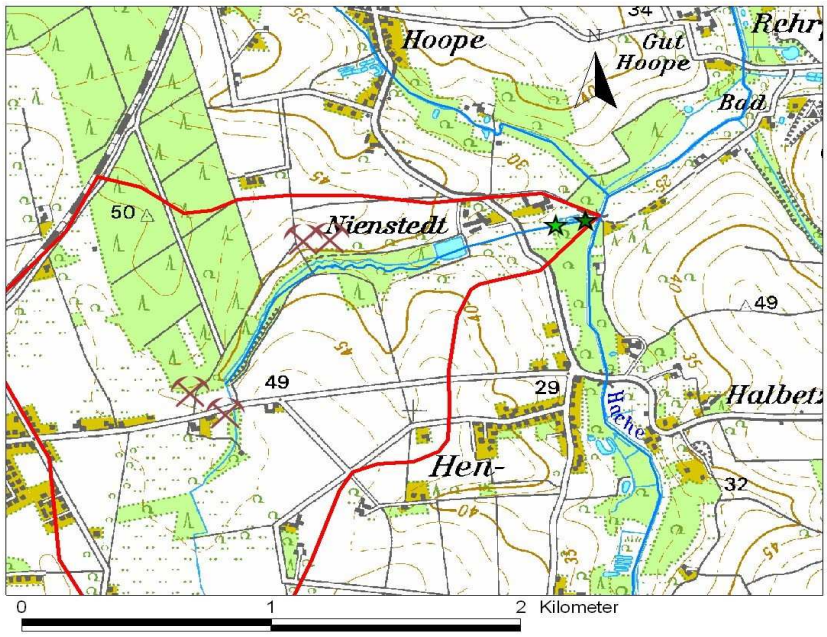


Abbildung 20: Darstellung der Probestellen für Bodenproben an Twillbeeke.Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2005 GLL LGN.

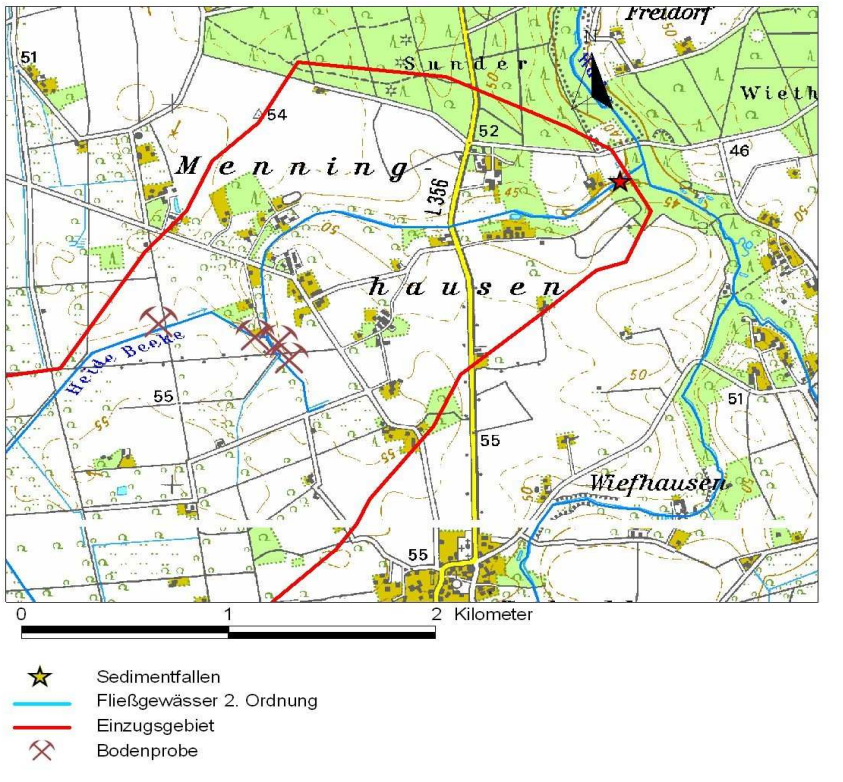


Abbildung 21: Darstellung der Probestellen für Bodenproben an Menninghäuser Beeke. Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2005 GLL LGN.

Niedermoor/Ufer:

An den Gewässern *Hache* und *Hasenburger Bach* wurden die Böden im Uferbereich beprobt, um Aufschluss über die Zusammensetzung zu erhalten und diese mit der Zusammensetzung der Sedimente in den Gewässern zu vergleichen.

Die Festlegung der Probestellen erfolgte über ein Geographisches Informationssystem (ArcView 3.2 der Firma ESRI) anhand topografischer Karten im Maßstab 1:5000 (Deutsche Grundkarte) in Verbindung mit Shape-Daten der Gewässerläufe.

Die Beprobung erfolgte mit Hohlmeißelbohrern in zwei Varianten mit unterschiedlichen Beprobungstiefen. Durch vertikales Einschlagen des Gerätes in den Boden und anschließendes Herausziehen wurden Bohrkerne entnommen und zur späteren Laboruntersuchung luftdicht verpackt. Zusätzlich wurden am *Hasenburger Bach* an allen Probestellen die Ufer angegraben, um ein besseres Verständnis der Bodenbeschaffenheit zu erhalten. An der *Hache* konnte dies aus Zeitgründen nur einzelnen Stellen geschehen.

Die Beprobungstiefe lag entsprechend des verwendeten Gerätes am *Hasenburger Bach* bei einem Meter, an der *Hache* bei drei Metern.

Am *Hasenburger Bach* wurden acht, über die gesamte Länge der untersuchten Fließstrecke verteilte Stellen mit jeweils 500 Metern Abstand zueinander ausgewählt, wovon eine (Probestelle 4) nicht zugänglich war und deshalb nicht beprobt werden konnte (vgl. Abbildung 22). Die Zuordnung der Probestellen erfolgte über die Gewässerkilometer, das Aufsuchen anhand der Topografischen Karte im Maßstab 1:5000 (Deutsche Grundkarte). Die Beprobungen erfolgten jeweils an der Oberkante der Uferböschung falls diese vorhanden war. An Abbruchkanten lag die Einschlagstelle des Hohlmeißelbohrers ca. 30 Zentimeter entfernt von der Kante. Die Proben wurden in Bodenhorizont und Sandhorizont geteilt, luftdicht verpackt und zwischengelagert.

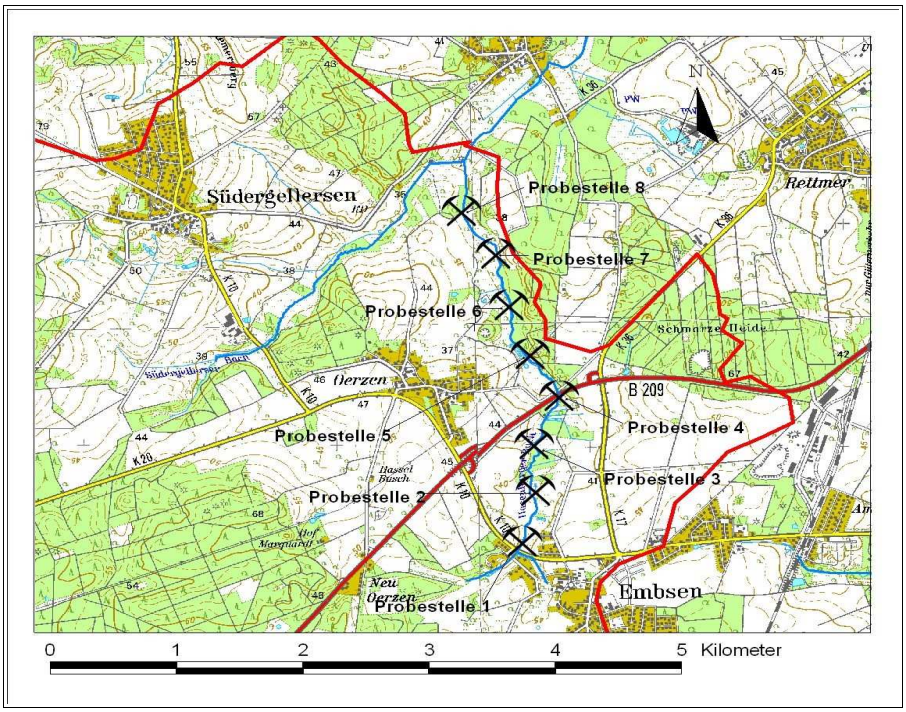


Abbildung 22: Darstellung der Probestellen für die Uferproben am Hasenburger Bach.

An der *Hache* wurden fünf, über die gesamte Länge der Fließstrecke verteilte Stellen ausgewählt, mit Abständen von mehreren Kilometern zueinander (vgl. Abbildung 23). Die Zuordnung der Probestellen erfolgte über die Gewässerkilometer, das Aufsuchen analog zum *Hasenburger Bach* anhand der Topografischen Karte im Maßstab 1:5000. Aufgrund des an der *Hache* verwendeten schweren Beprobungsgerät, erfolgte die Wahl der Probestellen hier vorwiegend nach der Zugänglichkeit. So kamen nur Probestellen in der Nähe von befahrbaren Brücken in Frage. Um den Einfluss des Straßen- bzw. Brückenbaus auf den beprobten Boden auszuschließen, wurden die Proben in Entfernungen von 30 bis 100 Metern zu den Bauwerken genommen. Die Proben wurden in Horizonte zu jeweils einem Meter unterteilt, luftdicht verpackt und zwischengelagert. Für die weitere Analyse wurden nur die Teile der Proben verwendet, die als Niedermoorboden angesprochen werden konnten. Etwaige Sand- oder Kiesschichten die in fast jeder Probe vorkamen, jedoch maximal fünf Prozent der Gesamtprobe ausmachten sowie Wurzelteile wurden bei der Analyse nicht weiter beachtet. Dies ist vor allem dem Umstand geschuldet, dass das Einbeziehen unter den gegebenen Voraussetzungen einen methodisch kaum leistbaren Mehraufwand bedeutet hätte. Dazu erschien das Auslassen aufgrund des geringen Anteils an der Gesamtprobe keinen bedeutenden Unterschied zu machen. Die Horizonte tiefer als 200 Zentimeter finden keinen Eingang in die Ergebnisdarstellung, da sie aufgrund ihrer relativen Lage zum Fließgewässer nicht als Sedimentquellen in Frage kommen.

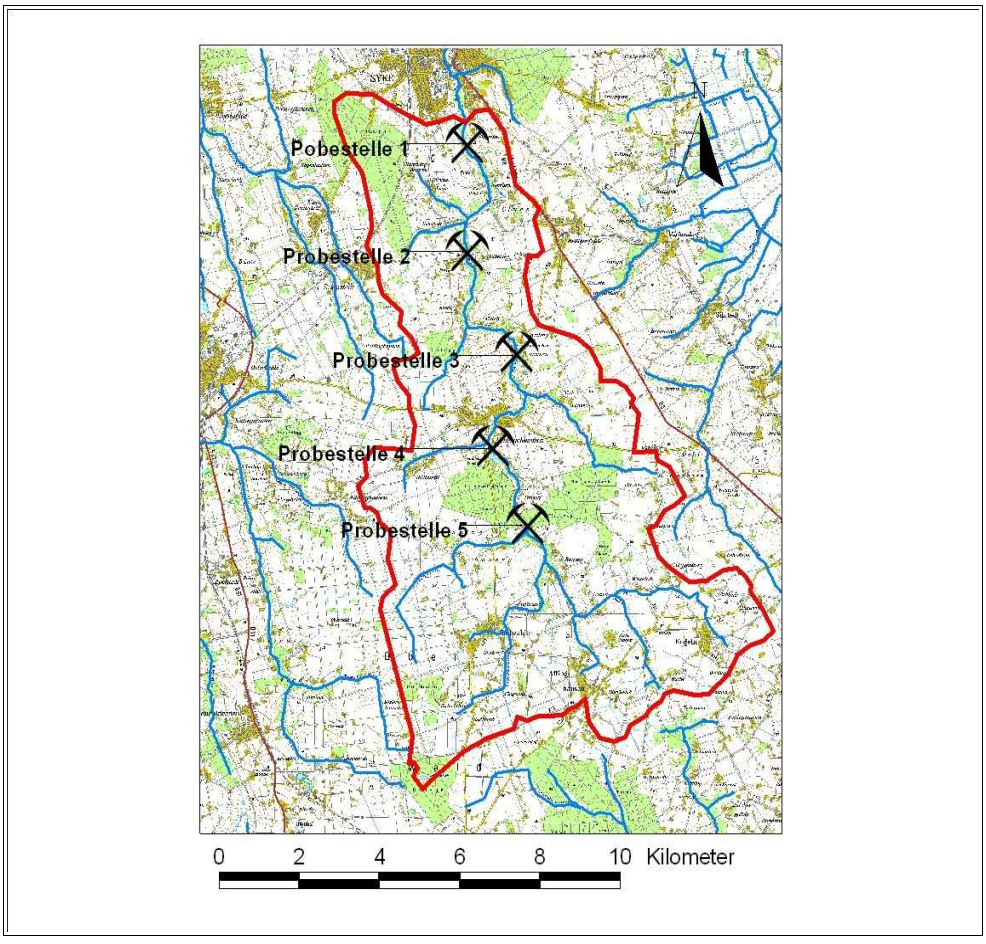
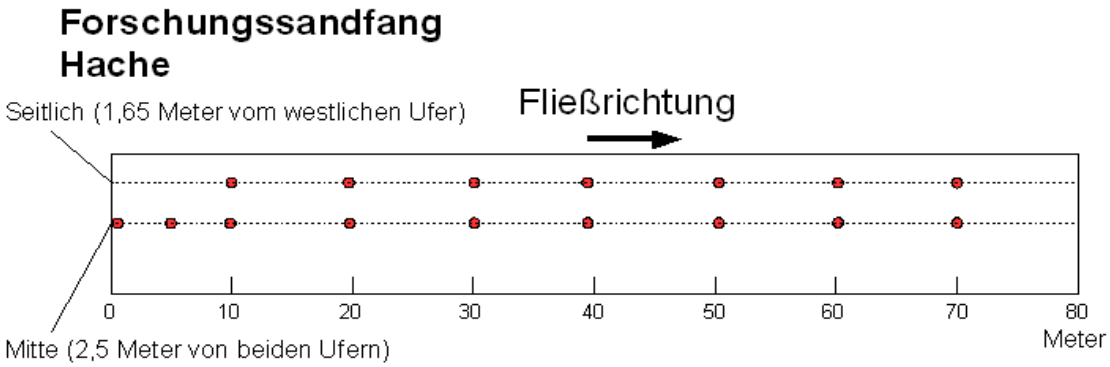


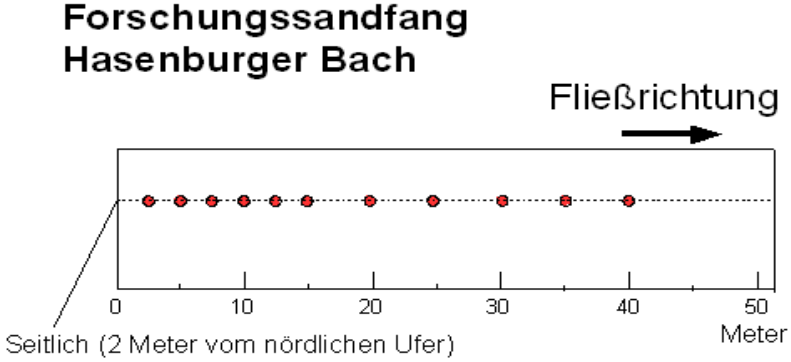
Abbildung 23: Darstellung der Probestellen für die Uferproben an der Hache.

4.4 Entnahme der Sedimentkerne aus den Sedimentfallen vom Typ 2 und dem Teich am Eykbach

Aus den Sedimentfallen des Typs 2 an *Hache* und *Hasenburger Bach* sowie dem Teich am *Eykbach* wurden zum Ende des Messzeitraumes Sedimentkerne gezogen, um die genaue Zusammensetzung der Sedimente feststellen zu können und sie auf signifikante Unterschiede in der vertikalen Ebene hin überprüfen zu können. Dabei wurde die vertikale Ebene der Sandfänge bzw. des Teichs bis zur maximalen möglichen Tiefe beprobt und soweit möglich in vier untereinander liegende Horizonte untergliedert. An der *Hache* ergaben sich so Horizonte von 0-25, 25-50, 50-75 und 75-100 Zentimetern. Der Horizont 0-25 ist dabei der oberste, 75-100 der unterste Horizont. Analog dazu teilten sich die Horizonte am *Hasenburger Bach* in 50 Zentimeterschritten in 0-50, 50-100, 100-150 und 150-200 Zentimeter. Am *Eykbach* ergaben sich zwei bzw. vier Horizonte von 0-25, 25-50, 50-75 und 75-87 Zentimetern. Die genauen Positionen der Probestellen sind in Abbildung 24 dargestellt.

Die Beprobung wurde mit einem Moorbohrer durchgeführt, der die Entnahme semi-gestörter Proben erlaubt (vgl. Abbildung 25). Durch senkrechtes Eindrücken oder Einschlagen des Moorbohrers wird er in die gewünschte Tiefe gebracht. Durch Drehen um 180° schneidet das Gerät eine halbzylindrische Probe aus dem Sediment und schließt diese in sich ein. Die Länge eines so gewonnenen Sedimentkerns beträgt 50 Zentimenter. Die Sedimentkerne wurden fotografiert und dann den zu beprobenden Horizonten entsprechend aufgeteilt, luftdicht verpackt und zwischengelagert.





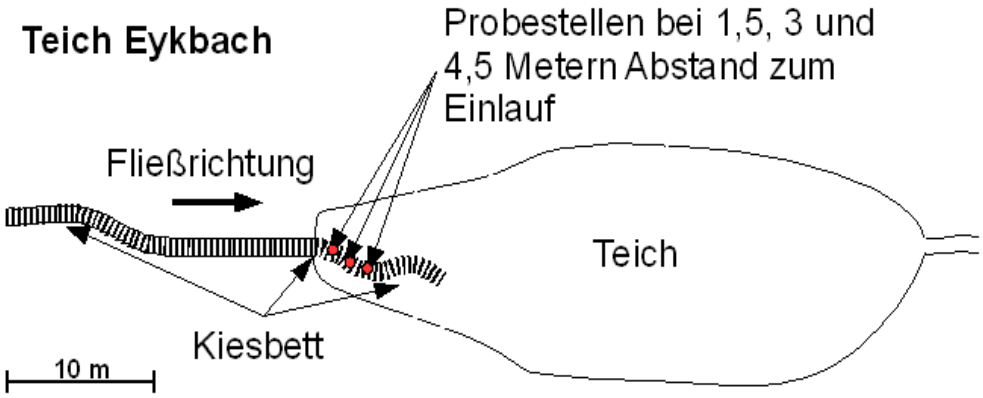


Abbildung 24: Probestellen für Sedimentkerne.

Abbildung 25: Moorbohrer auf schwimmender Unterlage.

Aufgrund eines Missverständnisses konnte die Probenahme am *Hasenburger Bach* nicht analog zur *Hache* durchgeführt werden, da der Sandfang teilweise geräumt worden war, bevor die Untersuchungen abgeschlossen wurden. Da jedoch nur an der befahrbaren Seite des Sandfangs Material entnommen wurde, blieb ein Teil der Sedimente unberührt und konnte beprobt werden.

4.5 Messungen des Sohlniveaus

Das Sohlniveau wurde an den Einlaufschwellen der Sedimentfallen gemessen. Die gemessenen Werte werden im Ergebnisteil als maximale Differenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten gemessenen Sohlniveau wiedergegeben.

4.6 Qualitative Analyse der Sedimente und Bodenproben

Die Analyse der Proben hatte einerseits zum Ziel, die Korngrößenverteilung innerhalb der verschiedenen Proben aus Ufer, Acker und Gewässer zu bestimmen, um sie später auf ihrer Unterschiede hin vergleichen zu können. Andererseits sollte für die in den Sedimentfallen vom Typ 1 gesammelten Proben der mineralische Anteil herausgefunden werden, um darauf aufbauend Aussagen über die Masse der gemessenen Sedimente treffen zu können und diese innerhalb einzelner und zwischen den verschiedenen Sedimentfallen vergleichen zu können.

Bestimmung der Trockensubstanz sowie des organischen und mineralischen Anteils

Als erster Schritt wurden aus den bereits als Mischproben vorliegenden Einzelproben der Sediment- und Bodenproben von *Hache*, *Menninghäuser Beeke*, *Twillbeeke* und *Hasenburger Bach* erneut für jede Einzelprobe Mischproben gezogen, um sie auf ihre Trockenmasse zu reduzieren. Der Anteil an Wasser wurde durch Wiegen vor und nach der Trocknung ermittelt. Je geringer die Homogenität einer Probe (bezüglich Wasseranteil und Korngrößenverteilung), desto größer wurde die Einwaage bemessen. Diese lag vor der Trocknung zwischen 20 und 300 Gramm. Damit sollte die Wahrscheinlichkeit einer Verfälschung der Ergebnisse durch unzureichende Repräsentativität weitestgehend ausgeschlossen werden. Die Dauer der Trocknung lag entsprechend des Gewichtes und Wasseranteils bis zur Gewichtskonstanz bei 24 bis 72 Stunden. Für die Proben des *Eykbach*s wurde eine andere Vorgehensweise gewählt. Hier lagen wie bereits erläutert 100 Prozent der entnommen Proben (also keine Mischproben) für die Analyse bereit. Aufgrund der Mengen, wurde hier auf eine Lufttrocknung über die Dauer von mindestens 3 Monaten bei Raumtemperatur zurückgegriffen.

Im nächsten Schritt sollte der organische Anteil ermittelt werden. Dazu wurden die getrockneten Proben von *Hache*, *Menninghäuser Beeke*, *Twillbeeke* und *Hasenburger Bach* je nach Größe für drei bis zehn Stunden im Muffelofen bei 560° Celsius „vermuffelt“, soll heißen, ihr organischer Anteil wurde verbrannt. Der mineralische Restbestandteil, auch Glührückstand genannt ergab sich aus den Gewichten der Proben vorher und nachher. Im Falle des *Eykbach*s wurde der organische Anteil erst später während der Korngrößenanalyse ermittelt. Dazu wurden Mischproben der Siebrückstände der einzelnen Siebe analog zum oben beschriebenen Vorgehen beprobt, soweit dies nach optischer Prüfung nötig war, da die Trennung von organischem und mineralischen Material bereits während der Entnahme aus der Sedimentfalle mit großer Genauigkeit vollzogen wurde.

Die erhaltenen Werte für Wassergehalt und organischen Anteil wurden dem zuvor er-

mittelten Gewicht der Gesamtproben abgezogen, sodass am Ende dieser Analyse ein rein aus dem mineralischen Bestandteil bestehender Wert für jede einzelne Probe vorlag, der nun zum weiteren Vergleich der Proben untereinander herangezogen werden konnte.

Bestimmung der Korngrößenverteilung

Durch die Bestimmung der Korngrößenverteilung sollte es ermöglicht werden, die verschiedenen Proben untereinander vergleichbar zu machen und so Rückschlüsse auf die mögliche Herkunft der in den Gewässern vorgefundenen Sedimente ziehen zu können. Dieses Verfahren wurde auf alle Proben von Ufer, Acker und Sedimenten angewandt.

Bestimmt wurden die Massenanteile der in den Proben vorhandenen Körnungsgruppen. Dazu wurden für *Hache*, *Menninghäuser Beeke*, *Twillbeeke* und *Hasenburger Bach* die Glührückstände der Einzelproben verwendet und im Verfahren der Trockensiebung durch eine Siebkaskade aus genormten Prüfsieben gelassen. Die Maschenweiten der Siebe betrugen 6,3, 2, 1, 0,63, 0,2, 0,1 und 0,063 Millimeter. Die Proben des *Eykbach*s wurden bei Probengrößen bis zehn Kilogramm komplett gesiebt. Bei größeren Proben wurden Mischproben zu einem Kilogramm verwendet. Hinzu kam hier durch die Anwesenheit von Mittel- und Grobkies eine weitere Siebung durch ein Drahtgeflecht mit einer Maschenweite von 12 Millimetern. Diese Siebung wurde auch bei Proben über zehn Kilogramm für die komplette Probe vorgenommen. Die Ermittlung des Gewichtes geschah durch Wiegen der Siebe ohne (vor dem Sieben) und mit Siebrückstand.

Für die Sedimentfallen des Typs 1 wurden die nun vorliegenden Werte, falls ein Beprobungstag aus meherern Einzelproben bestand, ihrem prozentualen Anteil entsprechend zu einer Probe zusammengefasst, sodass am Ende dieser Analyse die Korngrößenverteilung für jeden einzelnen Beprobungstag vorlagen, die nun zum weiteren Vergleich der Proben untereinander herangezogen werden konnte.

4.7 Niederschlagsdaten

Die Niederschläge innerhalb der jeweiligen Einzugsgebiete können als Indikatoren für Abflussmengen in den Gewässern herangezogen werden.[69] Die Daten wurden nicht selbst erhoben, sondern stammen für das Einzugsgebiet der *Hache* von der Messstation Syke, für das Einzugsgebiet des *Hasenburger Baches* von der Messstation Deutsch Evern (beide Teil des Messnetzes der Meteomedia AG) und für den *Eykbach* von einer privaten Messstelle in Gödenstorf (unterhalten von Herrn Karl Petersen). Alle Daten liegen in 24-Stunden-Messwerten vor.

4.8 Statistische Auswertung und Darstellung

Die quantitativen Daten für die Sedimentfrachten der einzelnen Gewässer wurden als Grafiken zusammen mit den Niederschlägen dargestellt und falls sinnvoll durch Tabellen ergänzt. Aufgetragen sind jeweils die Sedimentfrachten sowie die Niederschläge in

69 Vgl. Altmüller 2005, S.119

Form von Einzelwerten und Summenkurven.

Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse werden als Summenkurven über den gesamten untersuchten Zeitraum für jede Messstelle wiedergegeben und durch Tabellen ergänzt. Die Bearbeitung der Grafiken und Tabellen erfolgte mit OpenOffice 2.4.

Um der Frage des postulierten Schichtungsverhaltens innerhalb fluviatiler Akkumulationsprozesse nachzugehen, bestand zunächst der Bedarf, eine geeignete Ausdrucksform der spezifischen Beschaffenheit einer Probe im Bezug auf ihre Zusammensetzung zu finden. Ausgedrückt werden sollte auf möglichst einfache Weise, ob in einer Probe eher grobe oder eher feine Partikel vorherrschen bzw., ob grobe Partikel anwesend sind oder nicht. Dazu wurde der „Grobheitsfaktor“ entwickelt.

Unter dem *Grobheitsfaktor* ist ein statistischer Hilfswert zu verstehen, der es ermöglicht, die gewonnene Korngrößenverteilung einer Probe entsprechend ihres Anteils an groben Fraktionen zu gewichten. Dabei findet eine Übergewichtung der groben Fraktionen sowie eine Untergewichtung der feinen Fraktionen statt.

Das zugrunde gelegte Prinzip beruht auf der Multiplikation der prozentualen Gewichtsanteile der jeweiligen Fraktionen an der Gesamtprobe mit der Maschenweite des entsprechenden Prüfsiebes in Millimetern. Durch Addieren der erhaltenen Einzelwerte gelangt man zum Grobheitsfaktor. Die Siebrückstände kleiner 0,063 mm finden in der Berechnung keine Berücksichtigung, da ihre tatsächliche Zusammensetzung nicht weiter bestimmt wurde.

Ein Beispiel soll die Funktionsweise des Grobheitsfaktors verdeutlichen. Dazu werden zwei in ihrer Zusammensetzung völlig verschiedene Proben nebeneinander gestellt und anhand des Grobheitsfaktors verglichen.

Tabelle 3: Beispieltabelle

Probe A	
Maschenweite der Siebe [mm]	Gewicht Rückstand [%]
12	14,92
6,3	3,4
2	4,28
1	5,33
0,63	7,69
0,2	31,13
0,1	19,06
0,063	6,44
<0,063	7,76

Probe B	
Maschenweite der Siebe [mm]	Gewicht Rückstand [%]
12	0
6,3	0
2	0
1	0
0,63	0,37
0,2	4,84
0,1	15,46
0,063	11,17
<0,063	68,16

Wie in Tabelle 3 zu sehen enthält Probe A erheblich mehr grobe Anteile als Probe B.

Der Grobheitsfaktor wird wie folgt bestimmt:

Tabelle 4: Beispieltabelle

Probe A		
Rechenoperation		
12 *	14,92 =	178,98
6,3 *	3,4 =	21,41
2 *	4,28 =	8,55
1 *	5,33 =	5,33
0,63 *	7,69 =	4,84
0,2 *	31,13 =	6,23
0,1 *	19,06 =	1,91
0,063 *	6,44 =	0,41
Summe (=Grobheitsfaktor):		**227,66**

Probe B		
Rechenoperation		
12 *	0 =	0
6,3 *	0 =	0
2 *	0 =	0
1 *	0 =	0
0,63 *	0,37 =	0,23
0,2 *	4,84 =	0,97
0,1 *	15,46 =	1,55
0,063 *	11,17 =	0,7
Summe (=Grobheitsfaktor):		**3,45**

Wie deutlich wird, schlagen beim Grobheitsfaktor der Probe A die 14,92 Prozent Massenanteil größer 12 Millimeter maßgeblich zu Buche und machen fast 80 Prozent des Endwerts aus.

Es handelt sich hierbei um ein recht einfaches Mittel, um zu einer deutlichen Darstellung von An- oder Abwesenheit grober Bestandteile einer Probe zu gelangen. Die Anwendung des Faktors beschränkt sich im Rahmen dieser Arbeit auf die Darstellung der Grobheit einzelner Beprobungshorizonte innerhalb der dauerhaft akkumulierenden Sandfänge an *Hache* und *Hasenburger Bach* und dem Teich am *Eykbach*.

Um das Schichtungsverhalten der Sedimente besser verstehen zu können, wurde der Abschnitt des Sandfangs an der *Hache* (Typ 2) zwischen 10 und 40 Metern (Abstände zum Einlauf des Sandfangs) eingehend statistisch untersucht. Die räumliche Eingrenzung derAnanlyse auf einen bestimmten Abschnitt erfolgte, da sich die Sedimentation innerhalb des ausgewählten Bereichs unter relativ konstanten Bedingungen vollzog.[70]

Die prüfende Frage lautete: *Besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den vier Horizonten bezüglich ihres Grobheitsfaktors?*

Die aus den Korngrößenverteilungen hervorgehenden Grobheitsfaktoren der Einzelproben wurden entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu einem der vier Horizonte (siehe oben) einer Varianzanalyse (One-way Analysis of Variances (ANOVA)) mit einem anschließenden multiplen Vergleich auf den geringsten signifikanten Unterschied (Least significant difference Post Hoc Test) unterzogen. Die Auswertung erfolgte in SPSS 15.

70 Die konstanten Bedingungen wurden aus den Beobachtungen vor Ort abgeleitet. Der sich mit der Zeit ausbildende typische Schwemmkegel, der die Front der einwandernden Sedimente kennzeichnet, war bereits in relativ deutlicher Form erkennbar, als die Sedimente die 10-Meter-Marke des Sandfangs erreichten. Dieser Kegel ist wesentlich für die Strömungsbedingungen, unter denen die Sedimente wandern. Im Gegensatz dazu war die Verfüllung des Bereiches zwischen null und zehn Metern deutlich durch die sich an der Abbruchkante am Einlauf (Spundwand) bildenden turbulenten Strömungen gekennzeichnet. Der Bereich hinter der 40-Meter-Marke wurde während der Untersuchungen nochmals ausgebaggert. Dabei wurden die Sedimente, die sich dort bis dahin abgelagert hatten entnommen. Insofern wurde an dieser Stelle die Homogenität der sich ausbildenden Schichten gestört. Damit sind die Daten für ein gegenüber solchen Ungleichheiten sensibles statistisches Auswertungsverfahren nicht optimal.

5. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit präsentiert. Die Darstellung ist gegliedert in zwei Hauptteile. Der erste Teil beinhaltet:

- quantitative und qualitative Aussagen über die gemessenen Sedimentfrachten,
- die Korngrößenverteilung der Bodenproben aus Ackerflächen und Niedermoorböden und
- eine Gegenüberstellung der charakteristischen Korngrößenverteilung der beprobten Ackerflächen, Niedermoorböden und Sedimente.

Der zweite Teil widmet sich den Ergebnissen zum Schichtungsverhalten der Sedimente und untergliedert sich in:

- einer Darstellung der Sedimentkerne aus den Sedimentfallen vom Typ 2 und vom Teich am Eykbach sowie den zugehörigen Groheitsfaktoren für die jeweiligen Horizonte und
- den dazu erstellten statistischen Auswertungen.

5.1 Gewässerbezogene Darstellung der Sandfrachten in Mengen

In diesem Abschnitt erfolgt die graphische und tabellarische Darstellung der gemessenen Sedimentfrachten unter Berücksichtigung der Niederschlagsmengen. Die Darstellungen werden im Text erläutert. Die Gliederung folgt der Zugehörigkeit der Daten zu den einzelnen Gewässern und Sedimentfallen.

Hache und Nebengewässer Menninghäuser Beeke, Twillbeeke

Die Grafiken und Tabellen werden kurz erläutert und mit einzelnen Hinweise auf Besonderheiten versehen, um die Daten leichter diskutierbar zu machen. Die Durchschnittswerte für die Anteile an organischer Substanz und Wasser für die Sedimentfallen des Typs 2 werden in den Beschriftungen der zugehörigen Grafiken angegeben.

Hache

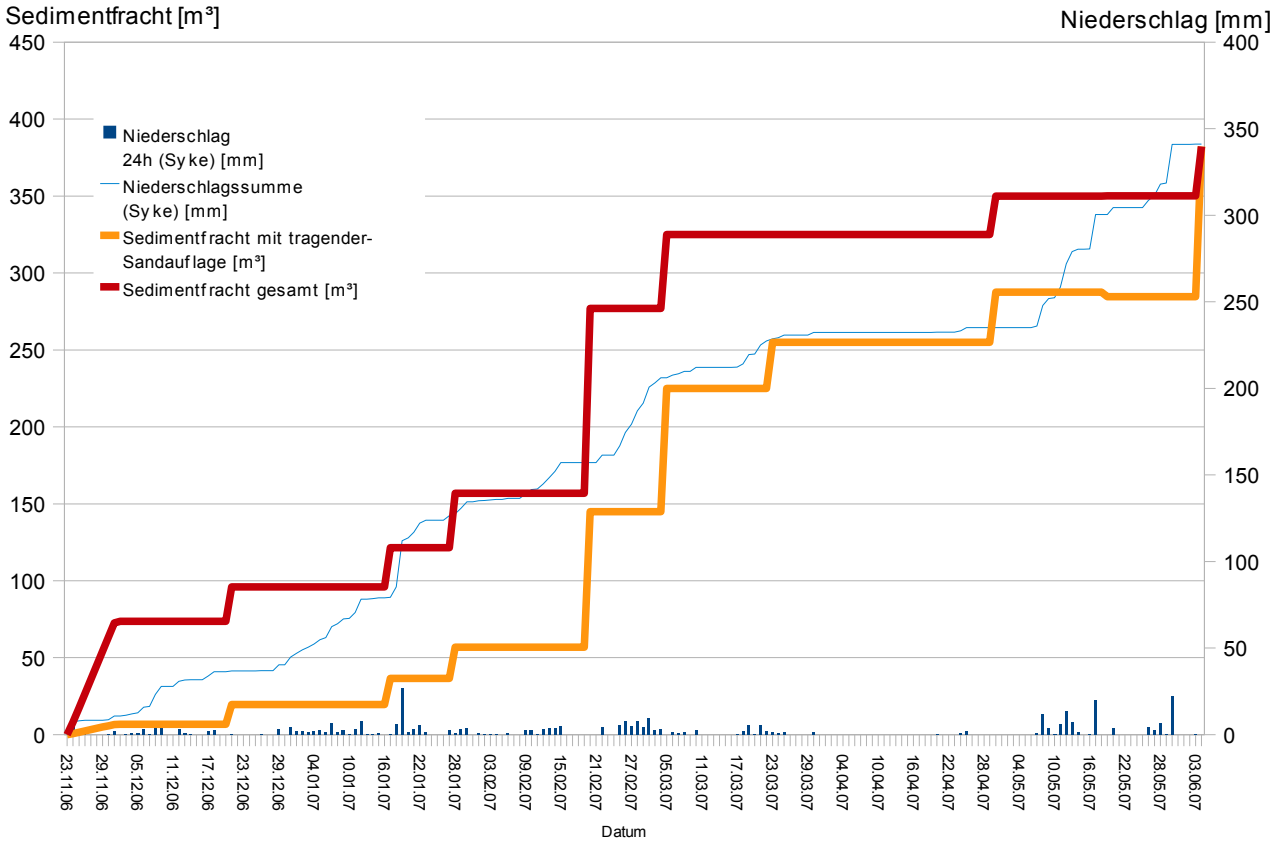


Abbildung 26: Sedimentfrachten und Niederschläge für Hache bei Steimke (Sedimentfalle Typ 2). Der durchschnittliche Wassergehalt der beprobten Sedimente lag bei 38,91%, der durchschnittliche Anteil organischer Masse bei 7,38 % (der Trockensubstanz). Zur Inkonsistenz der Darstellung siehe Methodenkritik.

Auffällig am Sandfang der *Hache* ist der Verlauf der Kurven für die Sedimentfracht mit tragender Sandauflage und für die gesamte Sedimentfracht. Die Summen der Sedimentfrachten entfernen sich zunächst von einander, um sich dann den gleichen Werten zu nähren. Dieser Verlauf wiederholt sich über den Messzeitraum zweimal (vgl. Abbildung 26 und Tabelle 6).

Tabelle 6: Sedimentfrachten und Niederschläge für Hache bei Steimke (Sedimentfalle Typ 2).

Datum der Messung	Niederschlagssumme (Syke) [mm]	Niederschlagssumme von Messung zu Messung (Syke) [mm]	Sedimentfracht mit tragender Sandauflage [m³]	Sedimentfracht ohne tragende Sandauflage [m³]	Sedimentfracht gesamt [m³]
23.11.06	0	0	0	0	0
02.12.06	10,8	10,8	6,7	67,0	73,7
21.12.06	36,8	26,0	19,6	76,5	96,1
17.01.07	79,4	42,6	36,6	85,0	121,6
28.01.07	127,5	48,1	56,9	100,0	156,9
20.02.07	157,1	29,6	144,9	132,0	276,9
05.03.07	206,1	49,0	225,0	100,0	325,0
30.04.07	235,2	29,1	287,5	62,5	350,0
19.05.07	300,5	65,3	284,6	65,6	350,3
04.06.07	341,1	40,6	382,2	0,0	382,2

Twillbeeke

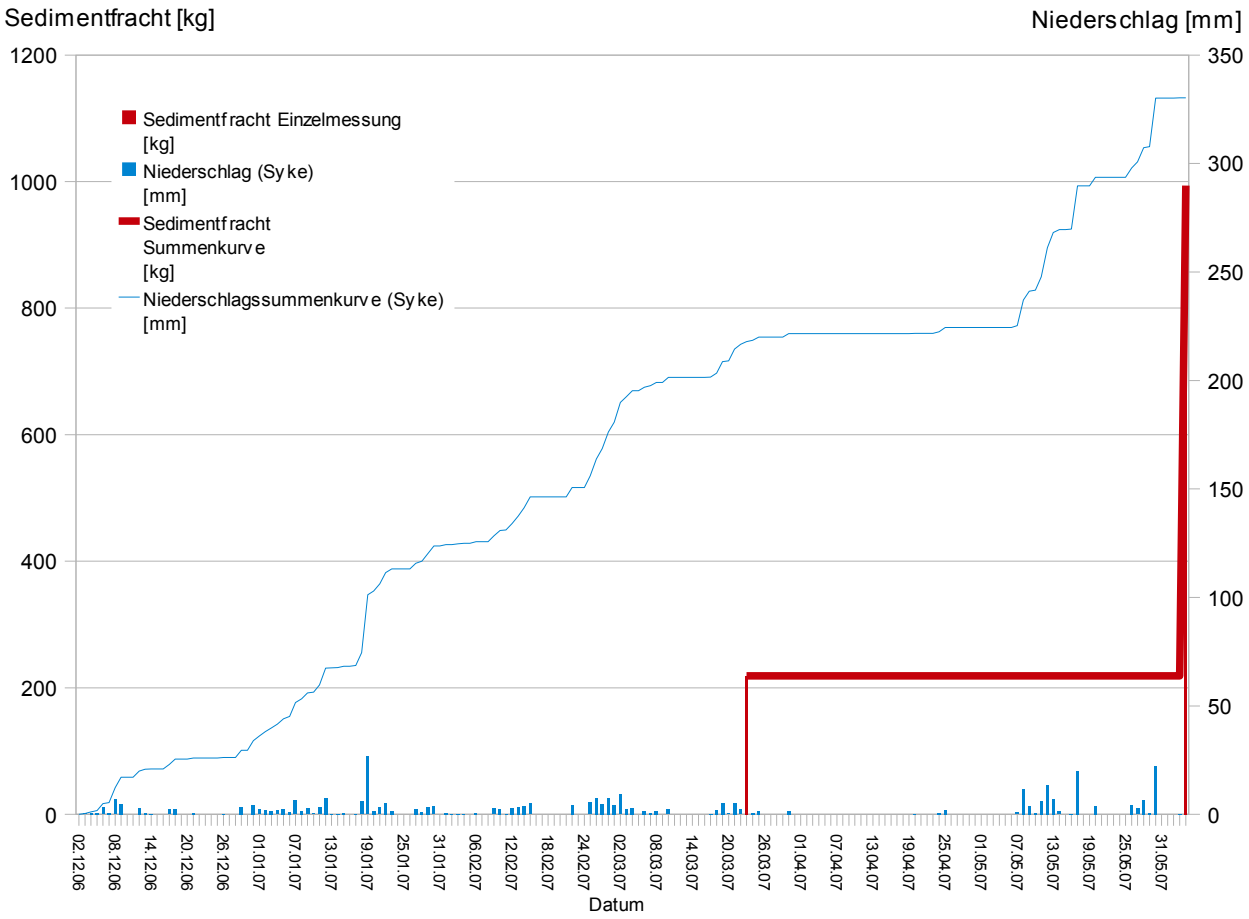


Abbildung 27: Sedimentfrachten und Niederschläge für Twillbeeke I (Sedimentfalle Typ 1).

Auffällig am Sandfang *Twillbeeke I* ist der starke Anstieg der Frachten bei relativ geringen Niederschlägen im Zeitraum vom 23.3. bis 4.6.2007 (vgl. Abbildung 27 und Tabelle 7). Aufgrund eines methodischen Fehlers mussten die Einzelmessungen hier zu zwei Werten zusammengefasst werden.

Tabelle 7: Sedimentfrachten und Niederschläge für Twillbeeke I (Sedimentfalle Typ 1).

Datum der Messung	Niederschlagssumme (Syke) [mm]	Niederschlagssumme von Messung zu Messung (Syke) [mm]	Gewicht Einzelmessung [kg]	Gewicht Summe [kg]
02.12.06	0	0	0	0
23.03.07	217,9	217,9	219,07	219,07
04.06.07	330,3	112,4	774,54	993,61

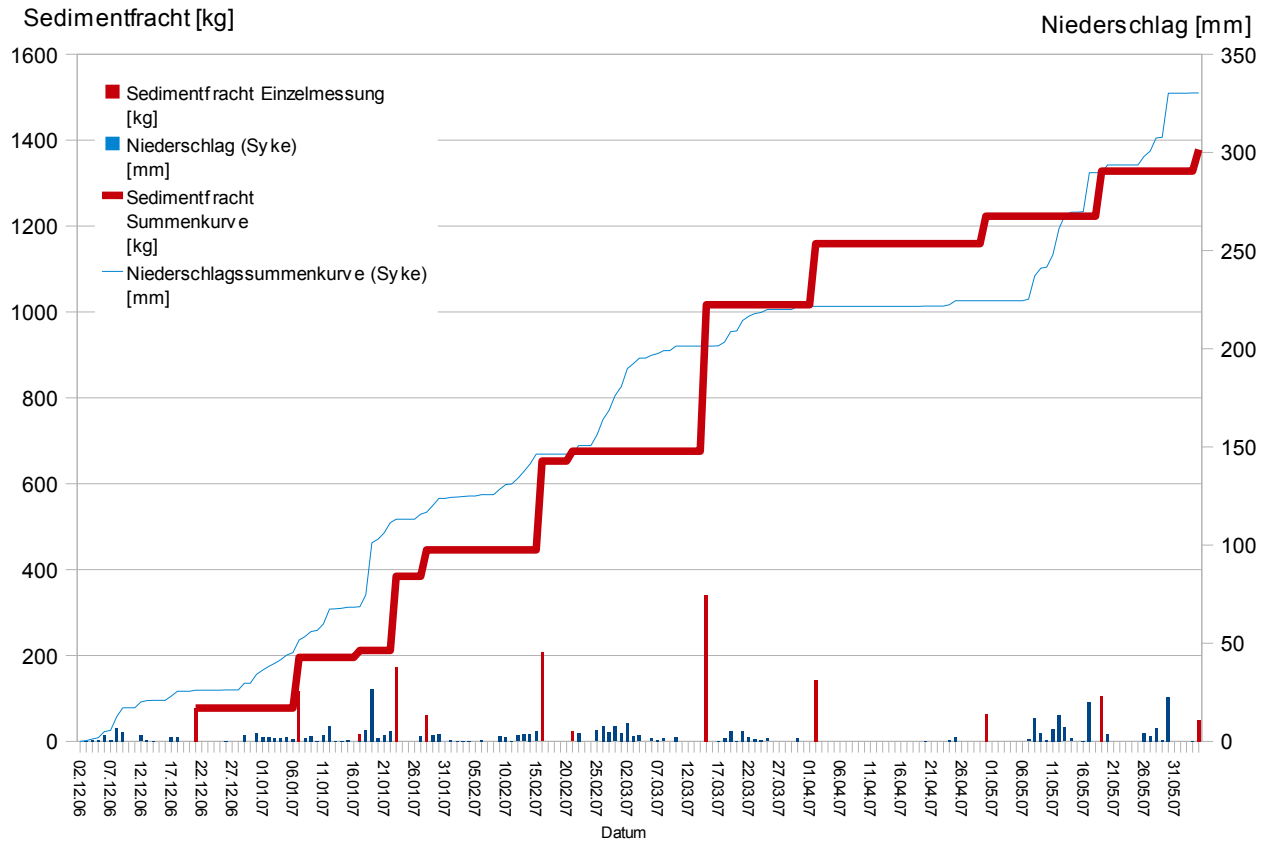


Abbildung 28: Sedimentfrachten und Niederschläge für Twillbeeke II (Sedimentfalle Typ 1).

Die Verläufe der Kurven für Niederschlag und Sedimentfracht zeigen an der Sedimentfalle *Twillbeeke II* eine gute Übereinstimmung (vgl. Abbildung 28 und Tabelle 8).

Tabelle 8: Sedimentfrachten und Niederschlage für Twillbeeke II (Sedimentfalle Typ 1).

Datum der Messung	Niederschlagssumme (Syke) [mm]	Niederschlagssumme von Messung zu Messung (Syke) [mm]	Gewicht Einzelmessung [kg]	Gewicht Summen [kg]
02.12.06	0	0	0	0
12.12.06	2,9	2,9	77,43	77,43
07.01.07	34,5	31,6	118,11	195,54
17.01.07	51,5	17,0	15,90	211,45
23.01.07	96,0	44,5	172,87	384,32
28.01.07	99,6	3,6	61,71	446,03
16.02.07	129,2	29,6	206,67	652,71
21.02.07	129,2	0,0	22,75	675,45
15.03.07	184,3	55,1	341,42	1016,87
02.04.07	204,5	20,2	142,32	1159,19
30.04.07	207,3	2,8	63,59	1222,78
19.05.07	272,6	65,3	105,48	1328,26
04.06.07	313,2	40,6	49,81	1378,07

Menninghäuser Beeke

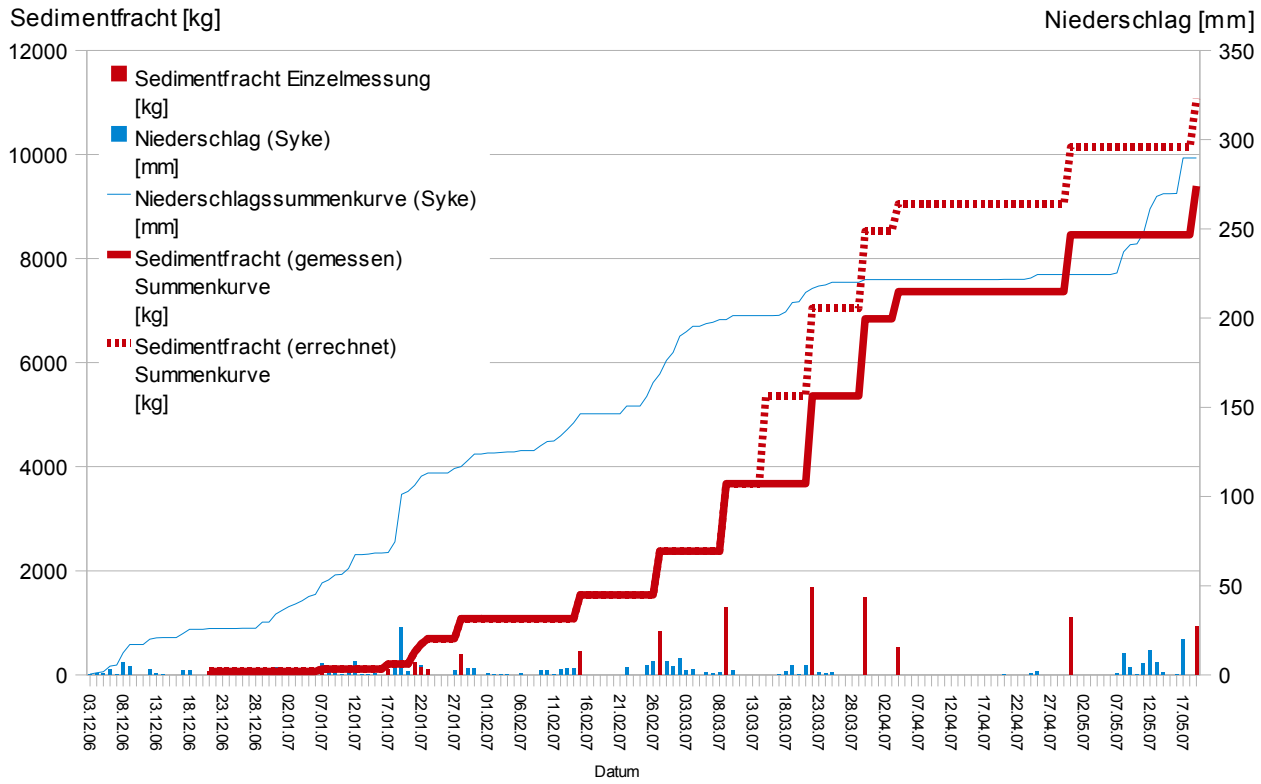


Abbildung 29: Sedimentfrachten und Niederschläge für Menninghäuser Beeke (Sedimentfalle Typ 1). Die errechnete Sedimentfracht bezieht die theoretisch zu veranschlagende Mengen mit ein, die aus Zeitgründen am 15.3. nicht entnommen werden konnten. Die Sedimentfalle war bereits am 13. vollständig angefüllt (Kleingünther mündlich am 16.3.) Die Kontrolle am 15. ergab, dass das Material bereits sehr verdichtet lagerte. Für den theoretischen Wert hinzugerechnet wurden 1680 kg, was eine rückläufige aber dennoch hohe Transportrate voraussetzt. Dies scheint gerechtfertigt durch die weiterhin hohe Sedimentfracht bei geringen Niederschlägen im anschließenden Zeitraum, repräsentiert durch die Messung am 30.3.2007.

Die Kurvenverläufe für die Sedimentfalle an der *Menninghäuser Beeke* zeigen, dass die Sedimentfracht in der Zeit nach den höchsten Niederschlägen erhöht blieb (vgl. Abbildung 29 und Tabelle 9).

Tabelle 9: Sedimentfrachten und Niederschläge für Menninghäuser Beeke (Sedimentfalle Typ 1).

Datum der Messung	Niederschlagssumme (Syke) [mm]	Niederschlagssumme von Messung zu Messung (Syke) [mm]	Gemessene Sedimentfracht [kg]	Gemessene Sedimentfracht Summe [kg]	Errechnete Sedimentfracht Summen [kg]
03.12.06	0,4	0,4	0	0	0
21.12.06	26,0	25,6	66,98	66,98	66,98
07.01.07	51,6	25,6	47,33	114,31	114,31
17.01.07	68,6	17,0	94,48	208,79	208,79
21.01.07	106,2	37,6	233,95	442,74	442,74
22.01.07	111,4	5,2	150,13	592,87	592,87
23.01.07	113,1	1,7	103,27	696,15	696,15
28.01.07	116,7	3,6	383,15	1079,30	1079,30
15.02.07	146,3	29,6	458,31	1537,61	1537,61
27.02.07	168,6	22,3	839,79	2377,40	2377,40
09.03.07	199,1	30,5	1299,42	3676,82	3676,82
22.03.07	216,6	17,5	1682,72	5359,55	7041,55
30.03.07	221,6	5,0	1480,19	6839,74	8521,74
04.04.07	221,6	0	523,94	7363,68	9045,68
30.04.07	224,4	2,8	1094,37	8458,05	10140,05

Hasenburger Bach

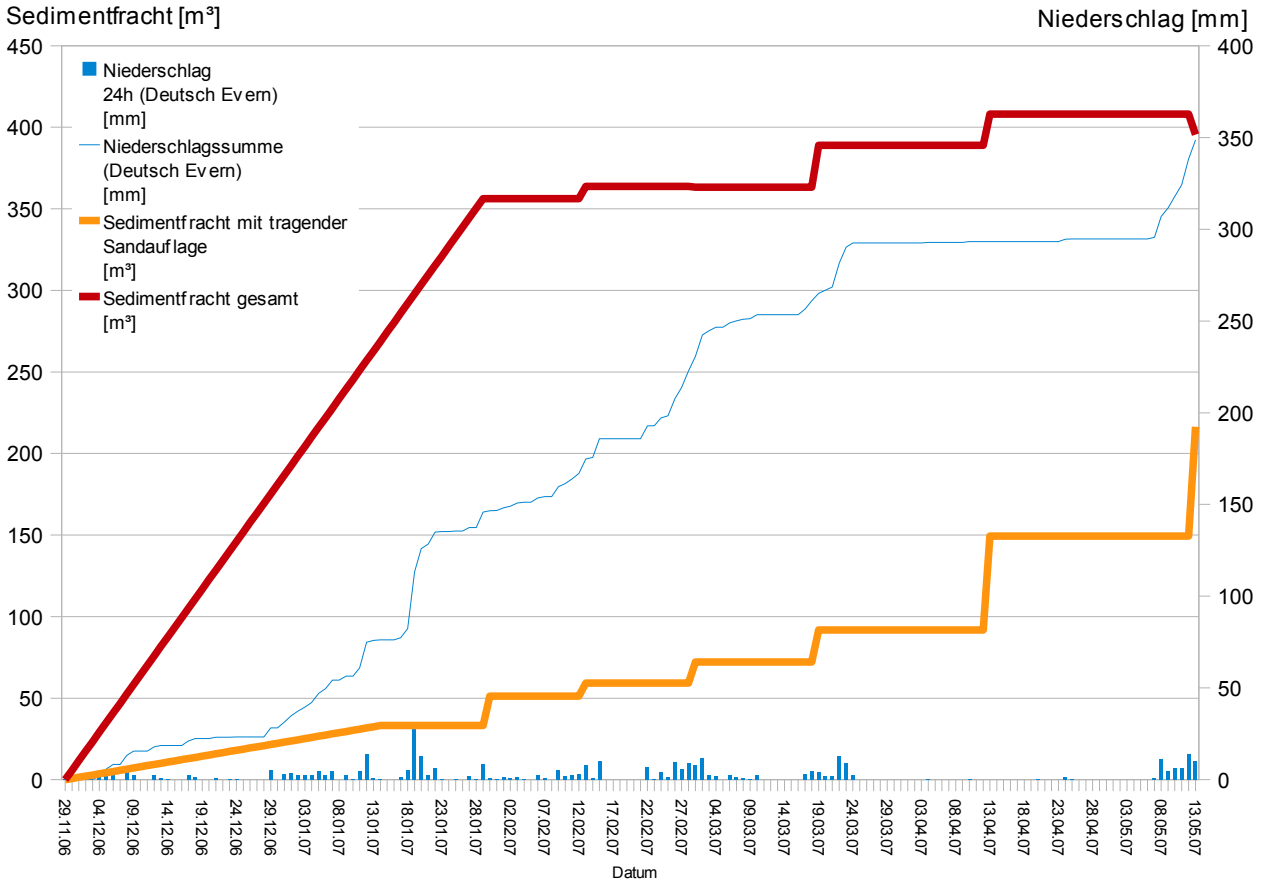


Abbildung 30: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Hasenburger Bach (Typ 2). Der durchschnittliche Wassergehalt der beprobten Sedimente lag bei 52,03%, der durchschnittliche Anteil organischer Masse bei 12,67% (der Trockensubstanz). Zur Inkonsistenz der Darstellung siehe Methodenkritik.

An der Sedimentfalle des *Hasenburger Baches* fällt auf, dass der erste Messwert für die gesamte Sedimentfracht (rot) zunächst stark ansteigt und vom 15.1. an deutlich flacher verläuft. Die Summenkurve der verdichteten Sedimente (orange) zeigt das umgekehrte Bild: nach fast linearem Anstieg bis zum 19.3. wird sie zum Ende hin deutlich steiler. Beide Verläufe gehen zunächst weit auseinander und nähern sich gegen Ende des Messzeitraums deutlich einander (vgl. Abbildung 30 und Tabelle 10).

Tabelle 10: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Hasenburger Bach (Typ 2)

Datum der Messung	Niederschlagssumme (Deutsch Evern) [mm]	Niederschlagssumme von Messung zu Messung (D. Evern) [mm]	Sedimentfracht mit tragender Sandauflage [m³]	Sedimentfracht ohne tragende Sandauflage [m³]	Sedimentfracht gesamt [m³]
29.11.06	0,1	0,1	0	-	-
15.01.07	76,2	76,1	33,16	-	-
30.01.07	146,5	70,3	51,31	304,88	356,18
13.02.07	174,8	28,3	59,29	304,56	363,85
01.03.07	230,8	56,0	72,19	291,11	363,29
19.03.07	265	34,2	91,78	297,09	388,87
13.04.07	293,2	28,2	149,30	258,86	408,16
13.05.07	348,6	55,4	216,46	178,99	395,45

Eykbach

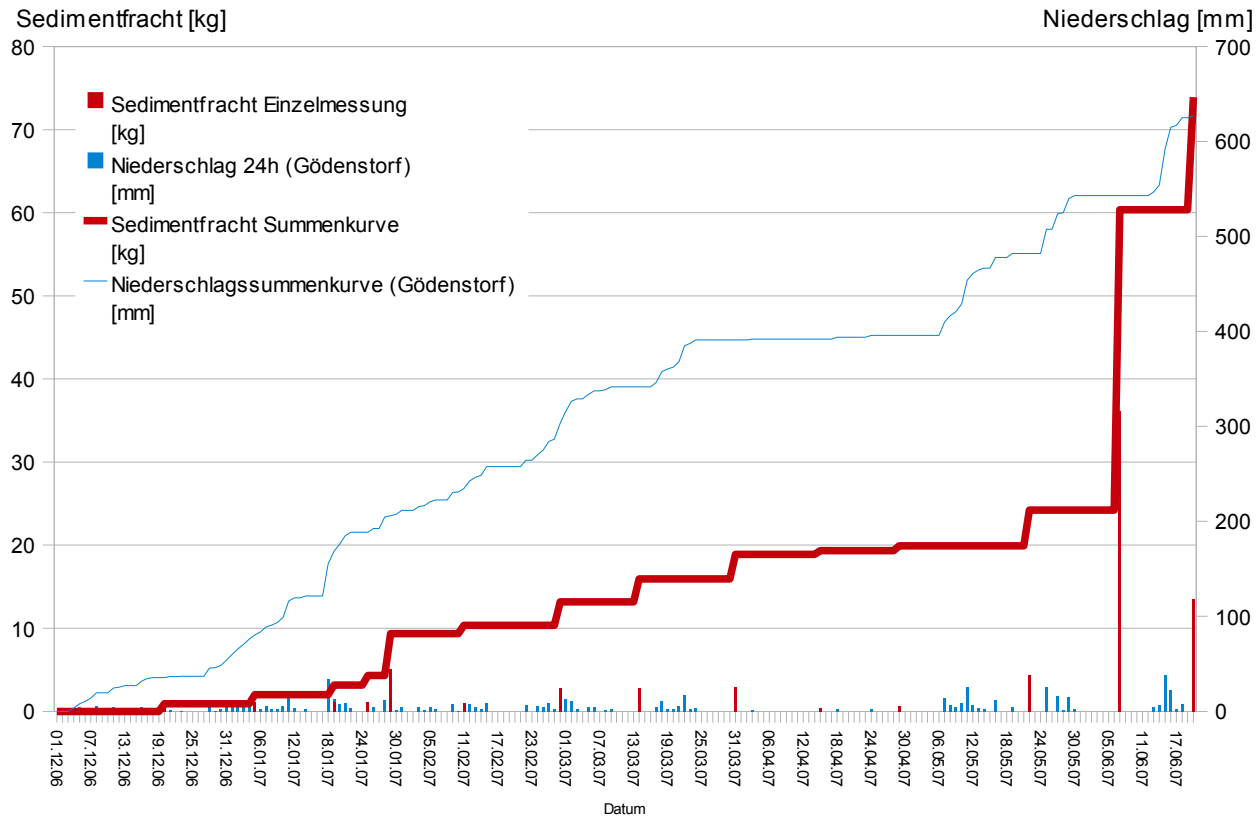


Abbildung 31: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Eykbach (Typ 2).

Die Summenkurve der Sedimentfracht am *Eykbach* zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Summenkurve der Niederschläge. Auffällig ist der starke Zuwachs der Sedimentfracht in der Zeit vom 22.5. bis 7.6.2007 (vgl. Abbildung 31 und Tabelle 11).

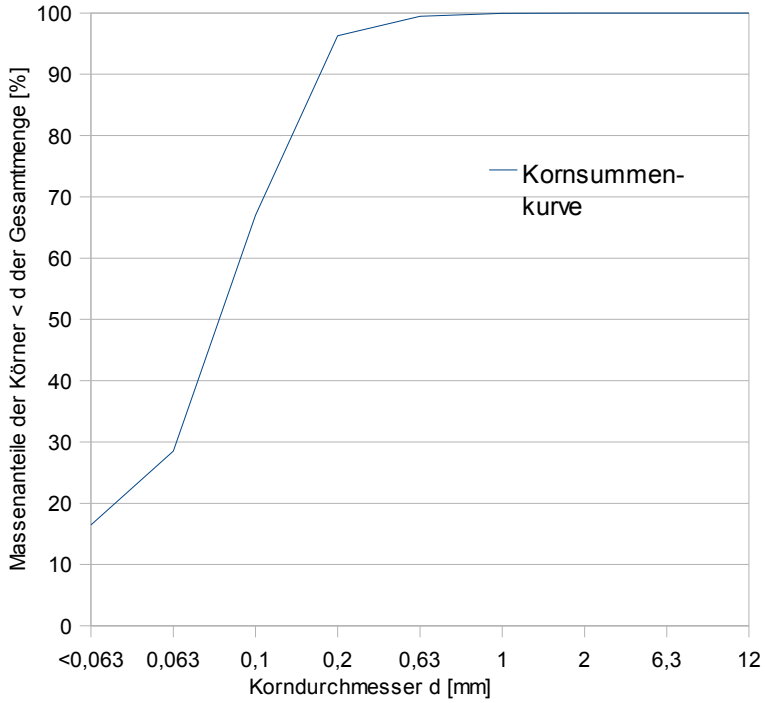
Tabelle 11: Sedimentfrachten und Niederschläge für Sedimentfalle Eykbach (Typ 2).

Datum der Messung	Niederschlagssumme [mm]	Niederschlagssumme von Messung zu Messung [mm]	Gemessene Sedimentfracht [kg]	Gemessene Sedimentfracht Summe [kg]
01.12.06	0,0	0,0	0,00	0,00
20.12.06	35,5	35,5	0,93	0,93
05.01.07	80,5	45,0	1,07	1,99
19.01.07	168,5	88,0	1,18	3,17
25.01.07	188,5	20,0	1,12	4,30
29.01.07	206,0	17,5	5,04	9,34
11.02.07	234,5	28,5	1,02	10,35
28.02.07	303,5	69,0	2,80	13,16
14.03.07	341,5	38,0	2,78	15,94
31.03.07	391,0	49,5	2,95	18,88
15.04.07	392,0	1,0	0,44	19,32
29.04.07	396,0	4,0	0,58	19,91
22.05.07	482,0	86,0	4,32	24,23
07.06.07	543,0	61,0	36,14	60,36
20.06.07	627,0	84,0	13,53	73,89

5.2 Gewässerbezogene Darstellung der Korngrößenverteilung innerhalb der Sedimentfrachten

Es folgt eine grafische[71] und tabellarische Aufstellung der Korngrößenverteilung innerhalb der untersuchten Gewässer sowie der Bodenproben von Ackerflächen und Ufer.

Hache

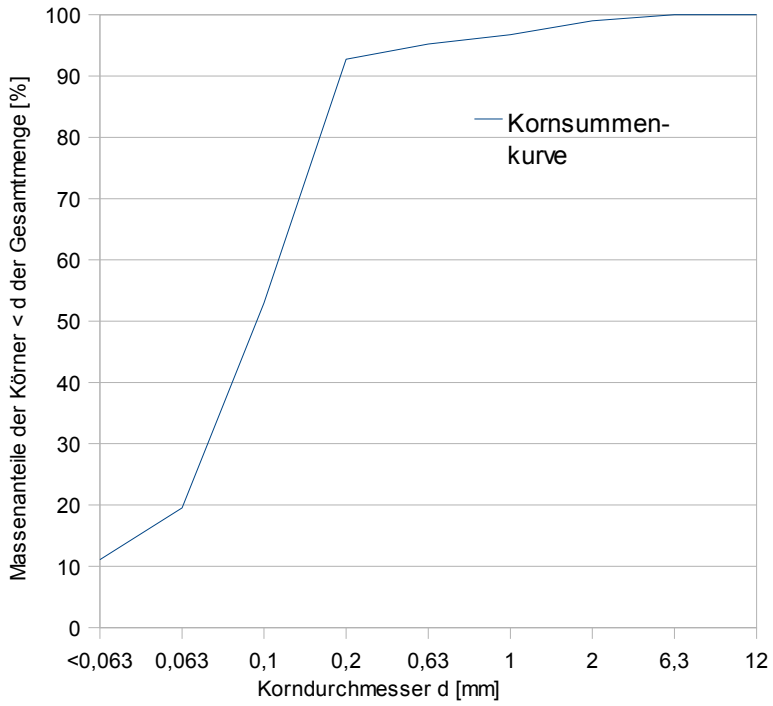


Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0
2	0,06
1	0,47
0,63	2,35
0,2	28,73
0,1	40,52
0,063	11,38
<0,063	16,48

Abbildung 32: Korngrößenverteilung Hache gesamt.

71 Zur Inkonsistenz der grafischen Darstellung siehe Kapitel 6.4.

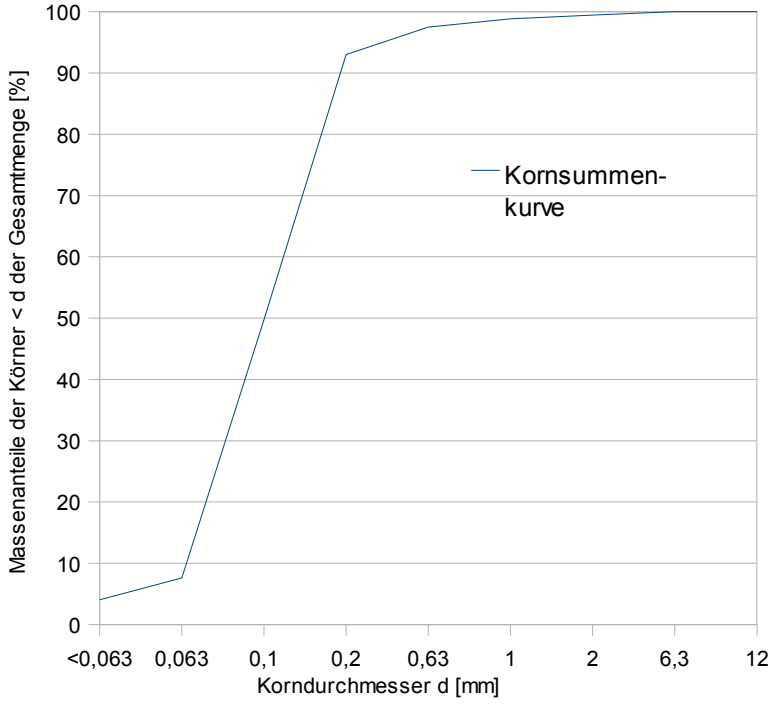
Twillbeeke I



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0,98
2	2,24
1	1,56
0,63	2,48
0,2	39,79
0,1	33,43
0,063	8,43
<0,063	11,09

Abbildung 33: Korngrößenverteilung Twillbeeke I gesamt.

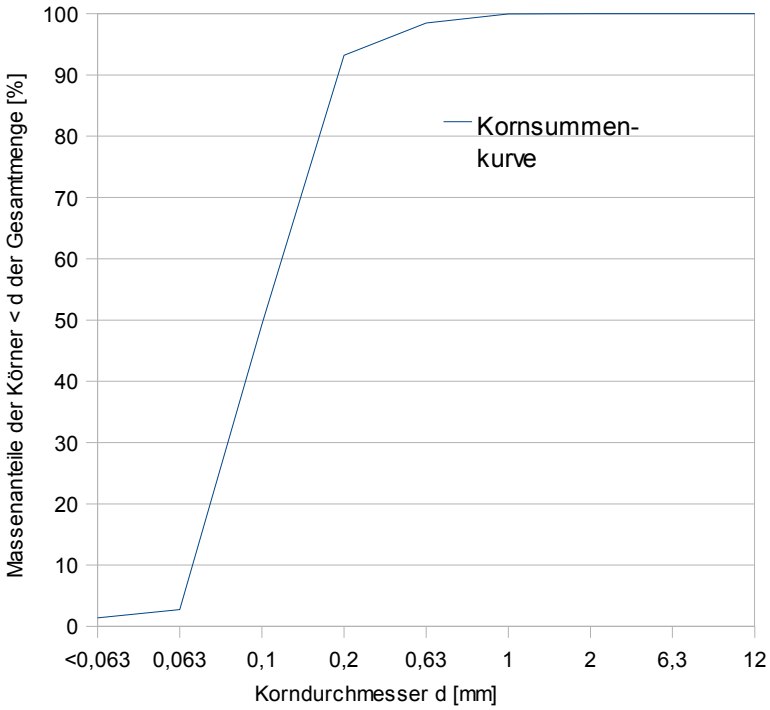
Twillbeeke II



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0,53
2	0,63
1	1,33
0,63	4,52
0,2	43,27
0,1	42,12
0,063	3,57
<0,063	4,03

Abbildung 34: Korngrößenverteilung Twillbeeke II gesamt.

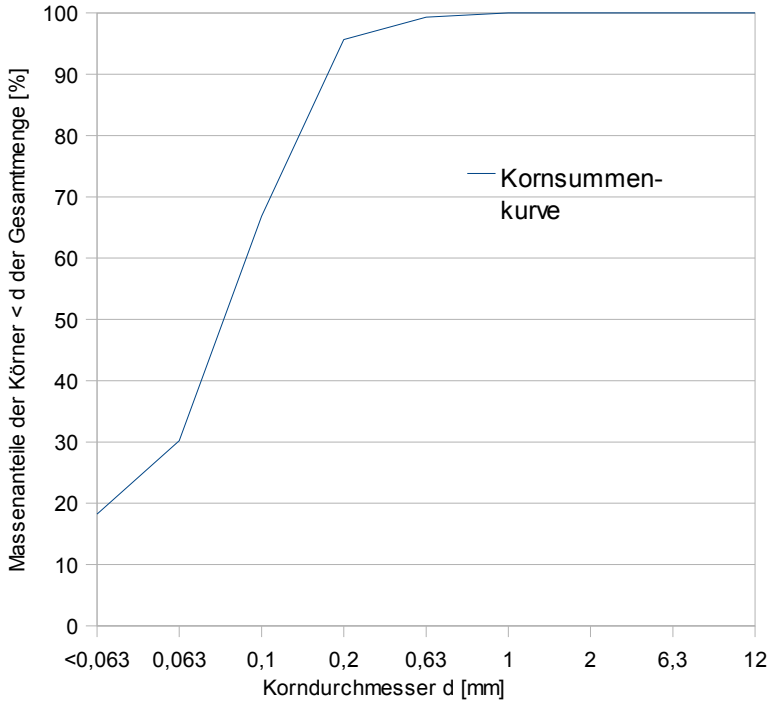
Menninghäuser Beeke



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0
2	0,05
1	1,48
0,63	5,26
0,2	43,94
0,1	46,49
0,063	1,38
<0,063	1,39

Abbildung 35: Korngrößenverteilung Menninghäuser Beeke gesamt.

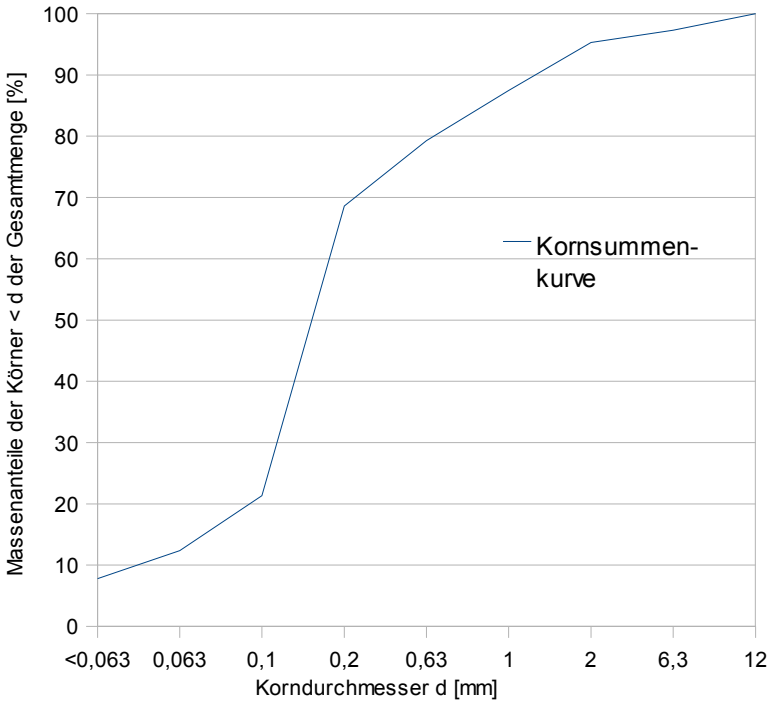
Hasenburger Bach



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0
2	0
1	0,69
0,63	3,66
0,2	28,8
0,1	36,64
0,063	11,98
<0,063	18,22

Abbildung 36: Korngrößenverteilung Hasenburger Bach gesamt.

Eykbach



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	2,72
6,3	1,98
2	7,84
1	8,18
0,63	10,66
0,2	47,31
0,1	8,94
0,063	4,58
<0,063	7,79

Abbildung 37: Korngrößenverteilung Eykbach gesamt.

5.3 Korngrößenverteilung der Bodenproben aus Uferbereichen und Ackerflächen

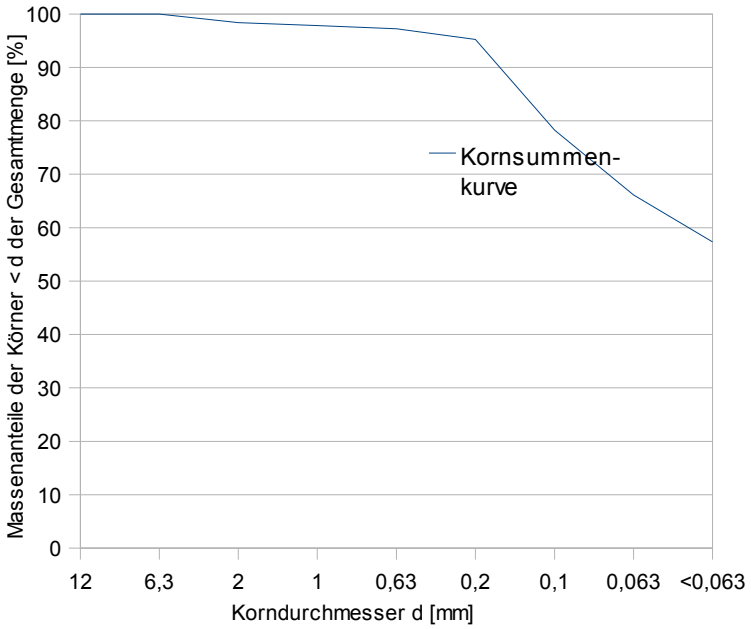
Wiedergegeben werden die Körnungslinien über alle Proben jeweils für die untersuchten Gewässer *Hache* und *Hasenburger Bach*.

Die Angaben zu den Uferproben der *Hache* beziehen sich auf die Proben von der Geländeoberkante bis in die Tiefe von zwei Metern unter der Geländeoberkante.

Die Uferproben des *Hasenburger Baches* sind untergliedert in Boden- und Sandhorizont. Dies beruht auf der Tatsache, dass an allen Probestellen bis auf Probestelle 8 ein von feinen bis groben Sanden und Kiesen durchsetzter Horizont angetroffen wurde, der von mehr oder weniger stark mineralisierten Niedermoorböden überlagert wird. Diese sind meist durch Übersandung (s. Kapitel 3.2) gekennzeichnet.[72]

72 Zur Inkonsistenz der grafischen Darstellung siehe Kapitel 6.4.

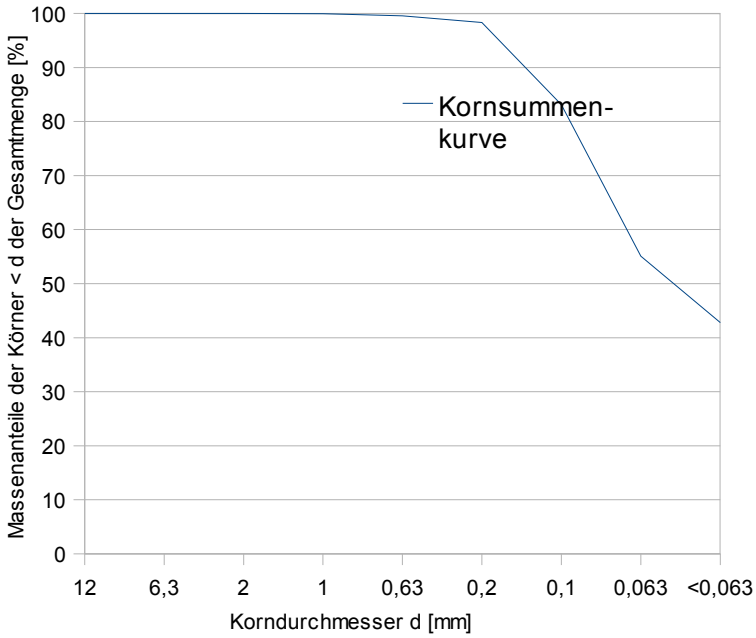
Äcker Twillbeeke und Menninghäuser Beeke



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	1,63
2	0,53
1	0,6
0,63	1,99
0,2	16,97
0,1	12,12
0,063	8,83
<0,063	57,32

Abbildung 38: Korngrößenverteilung Bodenproben der Ackerflächen an Twillbeeke und Menninghäuser Beeke.

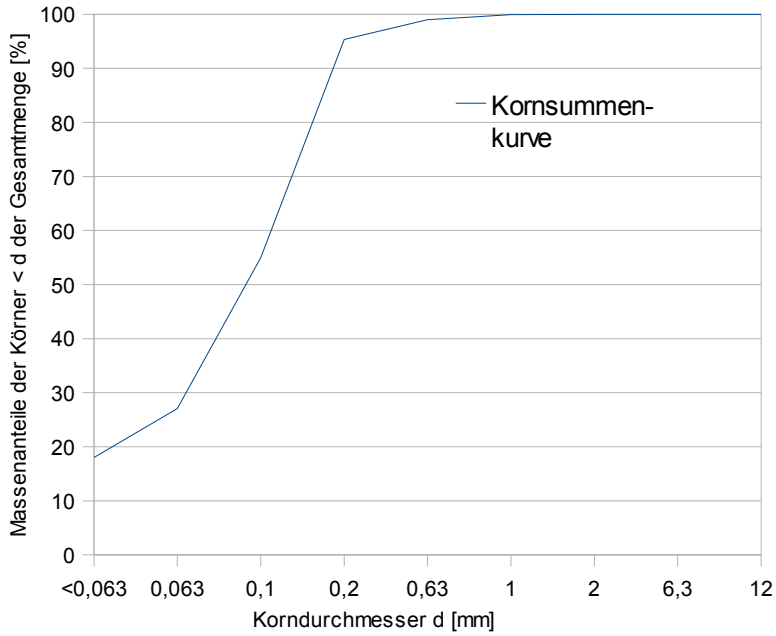
Ufer Hache



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0
2	0,07
1	0,34
0,63	1,26
0,2	15,23
0,1	28,03
0,063	12,29
<0,063	42,78

Abbildung 39: Korngrößenverteilung Ufer der Hache von Geländeoberkante bis zwei Meter unter Geländeoberkante.

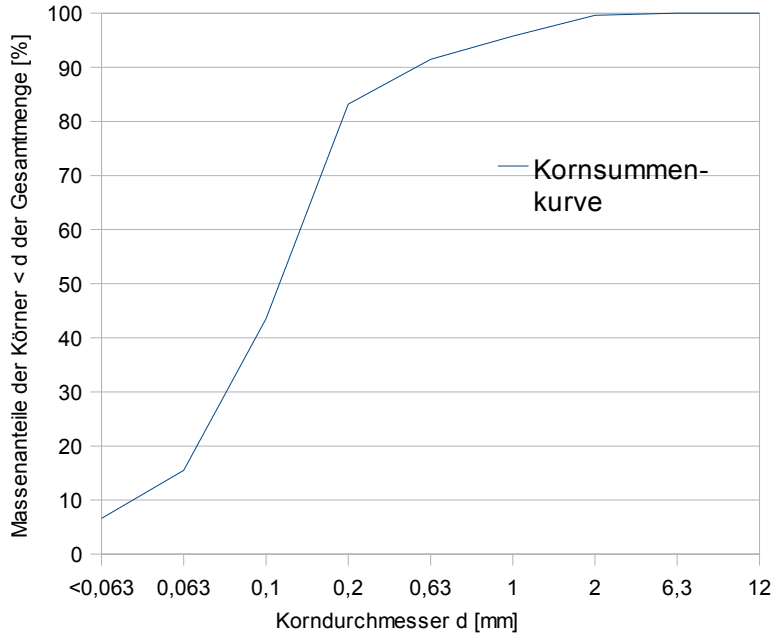
Ufer Hasenburger Bach



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0
2	0,08
1	0,92
0,63	3,66
0,2	40,36
0,1	27,92
0,063	9,06
<0,063	18,01

Abbildung 41: Korngrößenverteilung Ufer des Hasenburger Baches, Niedermoorhorizont.

Abbildung 40: Korngrößenverteilung Ufer des Hasenburger Baches, Sandhorizont.



Maschenweite d [mm]	Massenanteil [%]
12	0
6,3	0,36
2	3,85
1	4,32
0,63	8,27
0,2	39,62
0,1	28,1
0,063	8,89
<0,063	6,59

Abbildung 42: Grabungen in die Uferböschung hinein. Von oben gegen den Uhrzeigersinn: HasenburgerBach Probestelle 3, Hasenburger Bach Probestelle 2, Südergellerser Bach 1,5 km westlich von Heiligenthal.

Die Bilder in Abbildung 42 zeigen unterschiedlich stark ausgebildete Sandhorizonte unter den Niedermoorböden an Hasenburger und Südergellerser Bach. Ihre Mächtigkeit nimmt mit zunehmender Entfernung zum Gewässer ab, in vierzig bis hundert Zentimetern Entfernung verschwinden sie ganz. Ihre Entstehung ist unklar.[73]

73 Denkbar ist jedoch, dass es sich Sedimente der Gewässer handelt, welche aus den vergangenen Jahrzehnten stammen und durch instabil gewordene Böden (Entwässerung, Mineralisierung) überdeckt wurden.

5.4 Vergleich der Sedimentfrachten mit Bodenproben der Ufer und Ackerflächen für die Hache

Ein Vergleich der wiedergegebenen Körnungslinien soll die spezifischen Unterschiede der jeweiligen Korngrößenverteilung verdeutlichen.

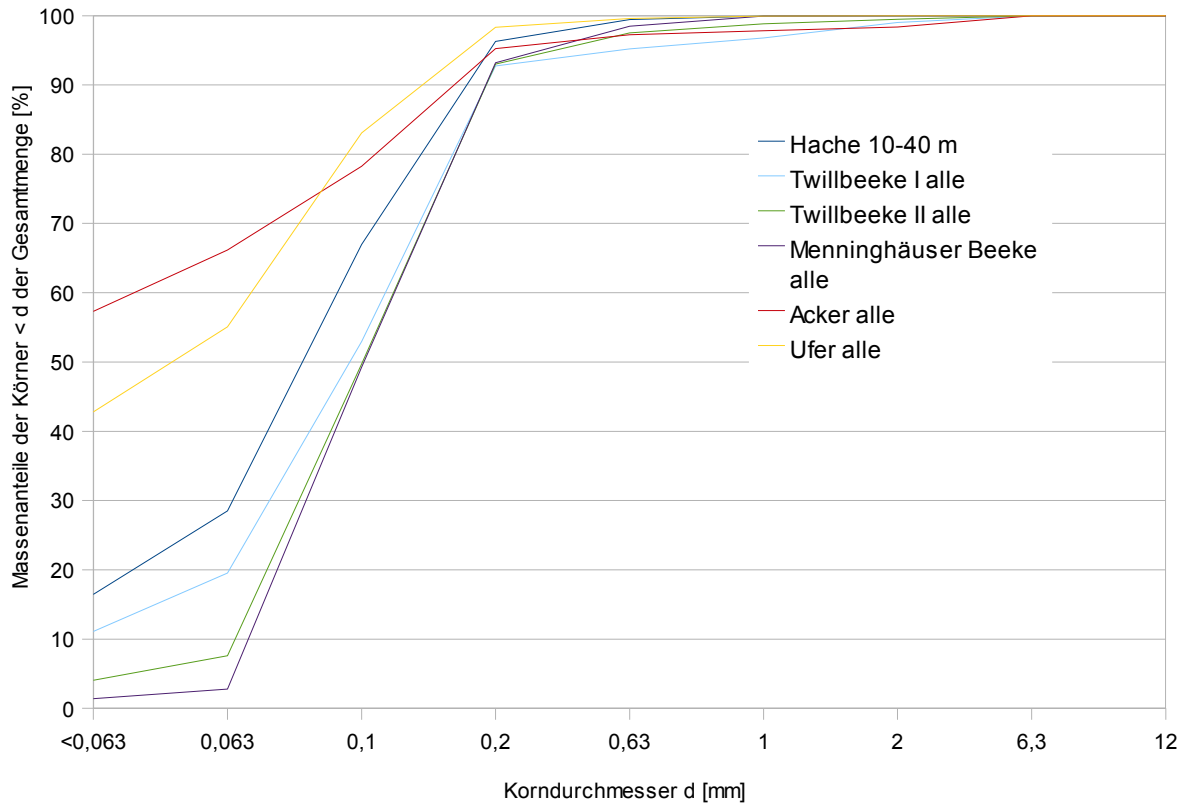


Abbildung 43: Körnungslinien der Sedimente aus Hache, Twillbeeke und Menninghäuser Beeke sowie Bodenproben aus Ufer und Ackerflächen. Die Kurvenverläufe zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Beprobungsgruppen.

Wie Abbildung 43 zeigt, besitzen Ufer und Äcker erheblich mehr feine Anteile als die Sedimente aller hier gezeigten Sedimentfallen, wobei die Sedimente des Sandfangs *Hache* mehr Anteile kleiner 0,1 Millimeter aufweisen als die übrigen Sedimente. Deutlich wird auch, dass die Ackerböden im Vergleich zu den Ufern einen relativ hohen Anteil an Fraktionen größer 0,2 Millimeter besitzen, wohingegen dieser bei den Ufern fast völlig fehlt.

5.5 Vergleich der Sedimentfrachten aus Hache und Hasenburger Bach mit Sedimentfrachten aus Twillbeeke, Menninghäuser Beeke und Eykbach

Diese Darstellung soll stellvertretend die Korngrößenverteilung eines naturnahen Gewässers (*Eykbach*) mit der Körngrößenverteilung anthropogen veränderter Gewässer wiedergeben und einen Vergleich zwischen *Hache* und *Hasenburger Bach* ermöglichen.

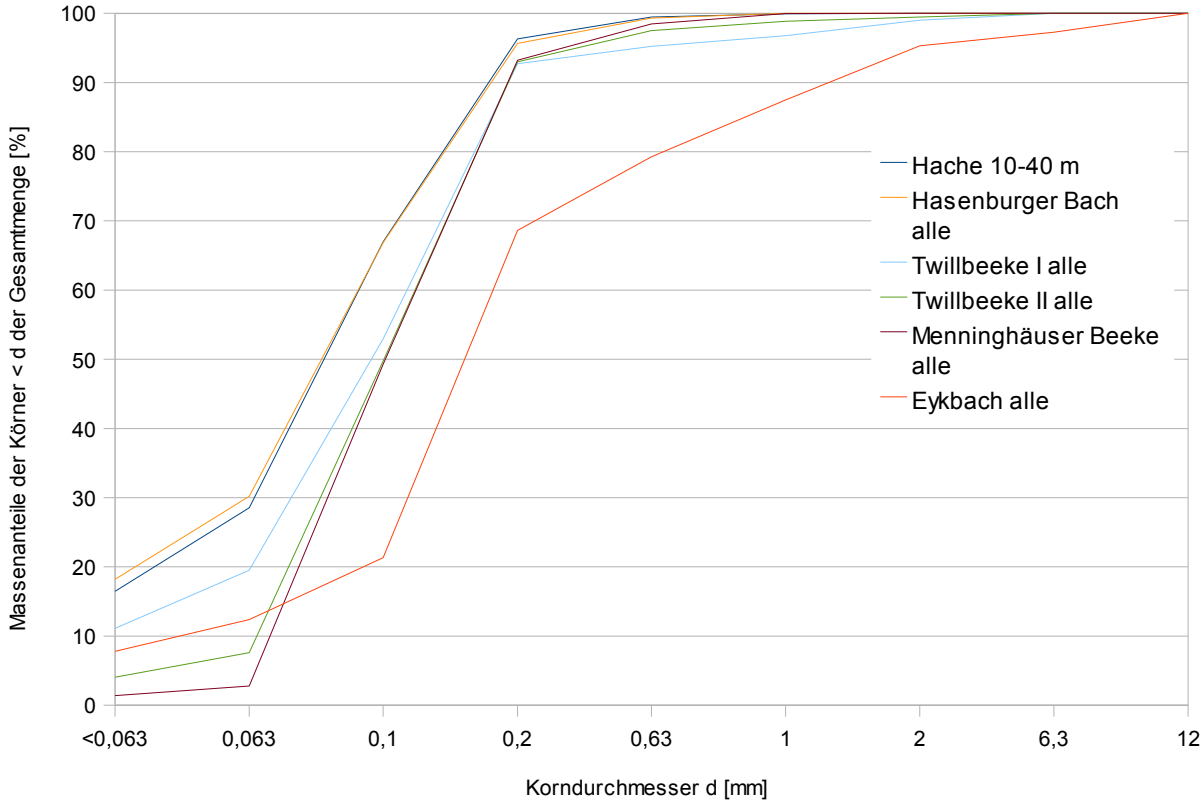


Abbildung 44: Körnungslinien der Sedimente aus Hache, Twillbeeke und Menninghäuser Beeke sowie aus Eykbach und Hasenburger Bach.

Besonders deutlich wird in Abbildung 44 die fast vollkommene Übereinstimmung der Korngrößenverteilungen von *Hache* und *Hasenburger Bach*. Die Sedimentfrachten des *Eykbachs* zeichnen sich zum einen durch die höchsten gemessenen Anteile an groben Fraktionen aus (bis über 50 Millimeter im Durchmesser), zum anderen lässt sich im Vergleich zu den übrigen Gewässern eine gleichmäßigere Verteilung der Anteile an den verschiedenen Fraktionen über das gesamte Spektrum erkennen.

5.6 Sedimentkerne und Grobheitsfaktoren aus den Sedimentfallen vom Typ 2 an Hache und Hasenburger Bach sowie aus dem Teich am Eykbach

Nachfolgend werden alle gezogenen Sedimentkerne in zusammengefügter Form gezeigt. Soweit für sinnvoll erachtet befinden sich Hinweise auf Besonderheiten im Beschriftungstext. Die zu den Horizonten gehörenden Grobheitsfaktoren werden anschließend in Tabellen wiedergegeben.

Sedimentkerne Hache

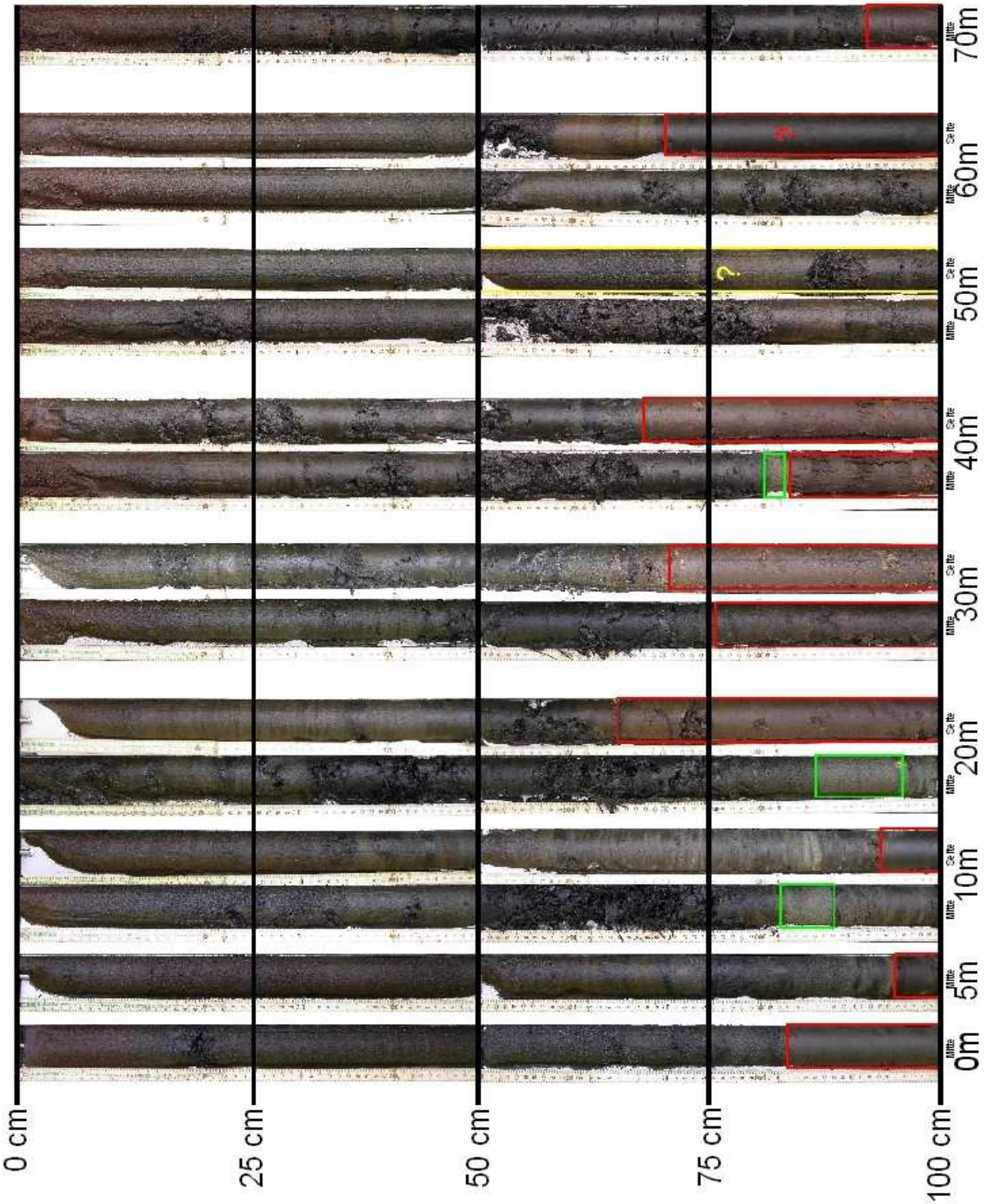


Abbildung 45: Sedimentkerne des Sandfangs an der Hache. Zu sehen sind gröbere, meist leicht rostrote Sande in den oberen Horizonten und feinere eher dunkelbräunlich bis schwarze Schlick-Sedimente mit hohem Anteilen an organischem Material und feinen Sanden in den unteren Horizonten. Rot umrandete Bereiche scheinen aus Niedermoorboden zu bestehen, der beim Ausbaggern des Sandfangs nicht entfernt wurde. Grün gekennzeichnet sind Schichten gröberen Sandes, die aller Wahrscheinlichkeit nach während des Baggerns aus den oberen Horizonten nach unten gesunken sind. Sie wurden somit nicht durch Akkumulationsprozesse während des Messzeitraums dorthin verfrachtet. Der gelb umrandete Sedimentkern wurde offensichtlich falsch zugeordnet und gehört eigentlich in die Horizontebene 0-50 cm.

Sedimentkerne Hasenburger Bach

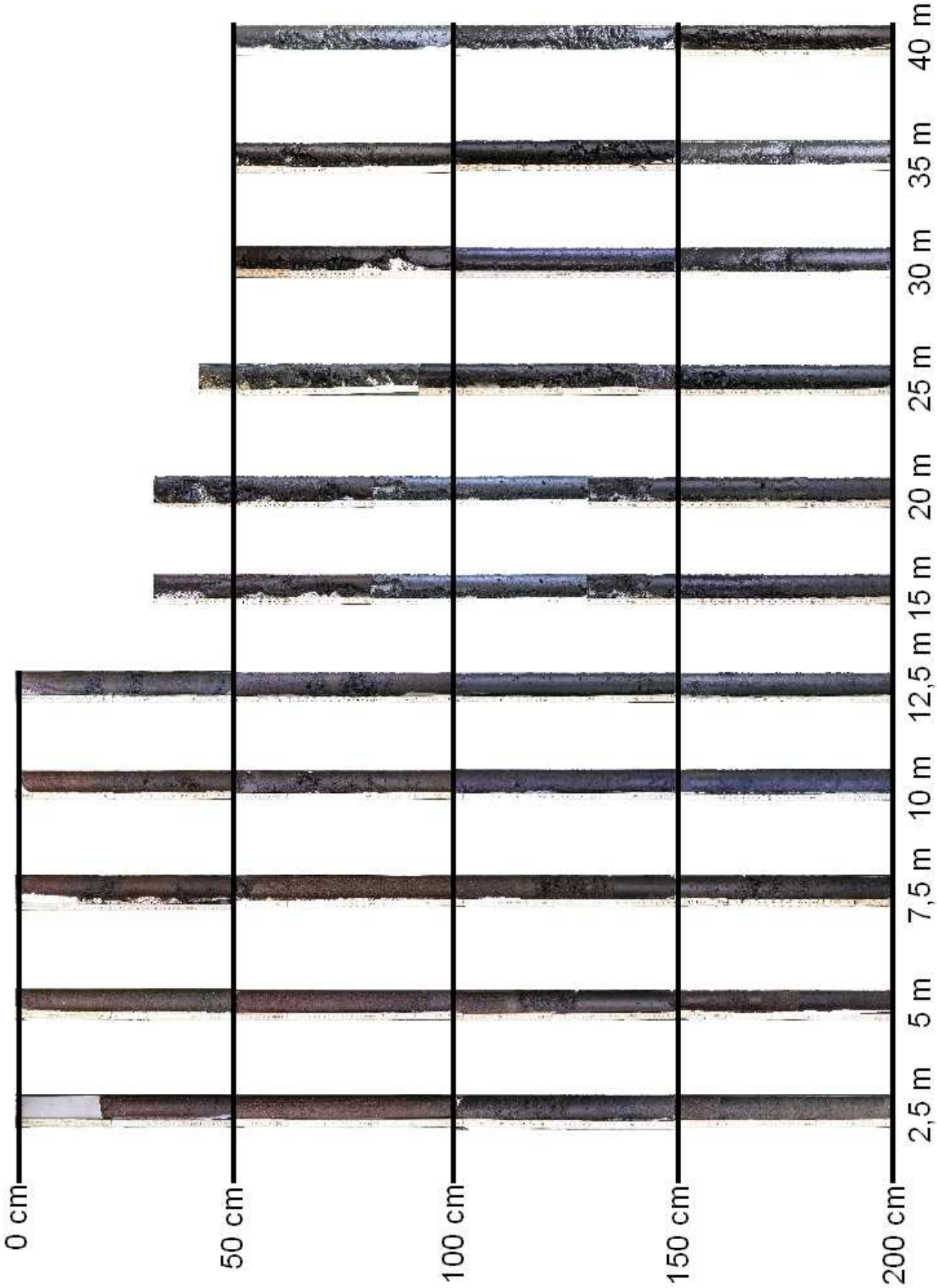


Abbildung 46: Sedimentkerne Hasenburger Bach. Zu sehen sind gröbere Sande (leicht rostrot) in den oberen Horizonten und feinere eher dunkelbräunlich bis schwarze Schlick-Sedimente mit hohem Anteil an organischem Material in den unteren sowie weiter vom Einlaufbereich entfernten Horizonten. Dadurch dass der Sandfang zum Zeitpunkt der Beprobung nicht vollständig mit Sedimenten gefüllt war, gehen die letzten sechs Sedimentkerne nicht über volle zwei Meter.

Sedimentkerne Teich Eykbach

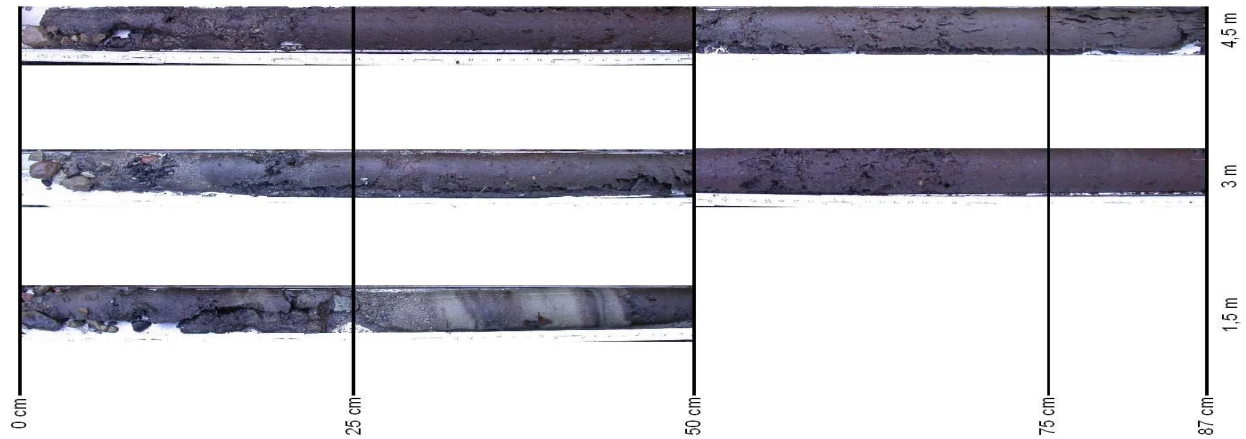


Abbildung 47: Sedimentkerne Teich Eykbach, gezogen 1,5, 3 und 4,5 Meter entfernt von der Brücke (siehe unten). Klar zu erkennen ist eine Kiesschicht, die die Sedimente zu oberst abschließt und sehr feine Sedimente in den unteren Horizonten.

Abbildung 48: Teich am Eykbach am 22.1.2008.

In den Abbildungen 45 bis 47 lässt sich erkennen, dass zwischen den verschiedenen Horizonten deutliche Unterschiede bezüglich der Sedimentbeschaffenheit bestehen. In Abbildung 45 und 46 lässt sich anhand der leicht rötlichen Färbung der gröberen Sande erkennen, dass sich diese im obersten Horizont konzentrieren. Die untersten Horizonte bestehen hingegen aus sehr feinen Sedimenten mit hohem Schlickanteil.

Abbildung 48 verdeutlicht die örtlichen Gegebenheiten am beprobten Teich des *Eykbachs*. Rechts im Bild befindet sich eine Brücke unterhalb derer der *Eykbach* in den Teich mündet. Die im Vordergrund zu sehenden Gräser wachsen auf dem innerhalb der letzten zwanzig Jahre entstandenen Verlandungsbereich. Auf dem Verlandungsbereich hat sich ein neues Bachbett gebildet, das auf einer Länge von ca. 7 Metern eine wenige Zentimeter dicke Kieschicht aufweist (vgl. Abbildung 47).

Grobheitsfaktoren Hache

Tabelle 12: Grobheitsfaktoren mit Mittelwert zu den Horizonten der Sedimentkerne, Hache.

	0 Mitte	5 Mitte	10 Mitte	10 Seite	20 Mitte	20 Seite	30 Mitte	30 Seite	40 Mitte	40 Seite	50 Mitte	50 Seite	60 Mitte	60 Seite	70 Mitte
0-25 cm:	20,54	22,79	20,39	21,35	16,11	17,67	19,83	14,36	18,65	14,76	18,97	17,14	19,24	17,54	21,53
25-50 cm:	19,97	29,04	13,89	14,2	11,86	8,89	11,1	9,81	9,5	13,1	17,98	17,08	23,99	18,79	8,82
50-75 cm:	28,36	19,55	6,67	10,07	7	6,4	5,77	13,14	6,5	6,66	11,99	21,78	11,8	8,94	6,19
75-100 cm:	17,65	14,22	12,32	10	16,79	4,68	5,86	4,58	8,63	4,96	10,61	11,45	9,48	1,59	8,42
Mittelwert:	21,63	21,4	13,32	13,91	12,94	9,41	10,64	10,47	10,82	9,87	14,89	16,86	16,13	11,71	11,24

Die Mittelwerte der Grobheitsfaktoren zeigen zunächst eine Abnahme der Grobheit der Sedimente im Sandfang der *Hache* vom Einlauf des Sandfangs bis 20 m, dann einen Anstieg und anschließend eine erneute Abnahme.

Grobheitsfaktoren Hasenburger Bach

Tabelle 13: Grobheitsfaktoren mit Mittelwert zu den Horizonten der Sedimentkerne, Hasenburger Bach.

	2,5 m	5 m	7,5 m	10 m	12,5 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m
0-50 cm:	25,55	23,97	20,6	17,03	15,87	11,42	8,36	7,5	-	-	-
50-100 cm:	26,41	30,99	31,69	13,78	14,57	9,95	4,76	4,88	6,25	4,24	2,78
100-150 cm:	17,05	14,69	18,36	19,72	6,51	5,55	6,2	7,67	5,87	4,19	5,48
150-200 cm:	24,45	19,48	15,18	13,61	13,81	14,48	6,77	11,52	8,55	11,8	8,7
Mittelwert:	23,36	22,28	21,46	16,04	12,69	10,35	6,52	7,89	6,89	6,74	5,65

Die Mittelwerte der Grobheitsfaktoren zeigen eine kontinuierliche Abnahme der Grobheit der Sedimente im Sandfang des *Hasenburger Baches* von der ersten bis zur letzten Probestelle (vgl. Tabelle 13).

Grobheitsfaktoren Eykbach

Tabelle 14: Grobheitsfaktoren mit Mittelwert zu den Horizonten der Sedimentkerne, Hasenburger Bach.

	1,5 m	3 m	4,5 m
0-50 cm:	227,66	287,37	254,65
25-50 cm:	35,06	6,24	3,45
50-75 cm:	-	5,86	6,86
75-87 cm:	-	6,87	2,75
Mittelwert:	131,36	76,59	66,93

Die Mittelwerte der Grobheitsfaktoren zeigen eine kontinuierliche Abnahme der Grobheit der Sedimente im Teich am *Eykbach* (vgl. Tabelle 14).

5.7 Statistische Auswertung zum Schichtungsverhalten

Nachfolgend werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung wiedergegeben, die Aussagen über signifikante Unterschiede in der Korngrößenverteilung zwischen den beprobten Horizonten für die Sedimentfalle des Typs 2 an der *Hache* ermöglichen sollen. Die Analyse fand anhand der Grobheitsfaktoren statt.

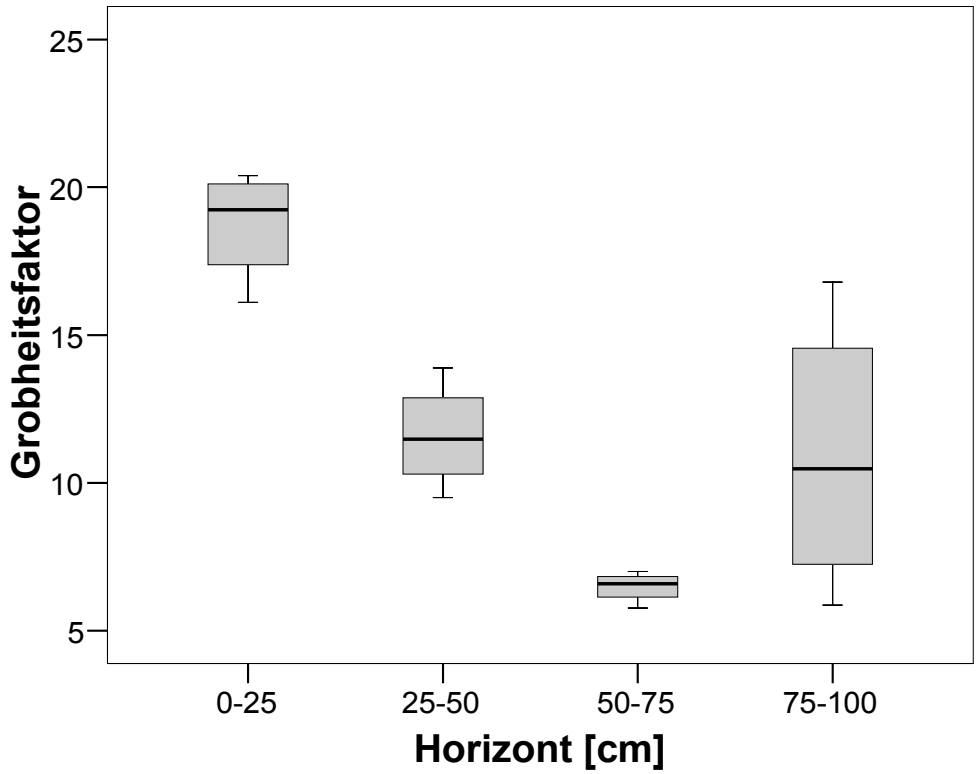


Abbildung 49: Dargestellt ist die Verteilung der Grobheitsfaktoren über die vier Horizonte für die Sedimentfalle des Typs 2 an der Hache. Für die Auswertung verwendet wurden vier Probestellen mit Abständen von jeweils zehn Metern (Mitte 10 m, Mitte 20 m, Mitte 30 m, Mitte 40 m).

Im untersuchten Abschnitt des Sandfangs an der *Hache* nehmen die Mittelwerte der jeweiligen Grobheitsfaktoren über die ersten drei Horizonte deutlich ab, im vierten Horizont steigt er wieder an (vgl. Abbildung 49)

Tabelle 15: Ergebnisse der One way ANOVA.

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Horizonten	309,082	3	103,027	13,910	< 0,001
Innerhalb der Horizonte	88,880	12	7,407		
Gesamt	397,962	15			

Der Vergleich der Mittelwerte auf den geringsten signifikanten Unterschied (LSD) zeigt, dass sich die Werte der Grobheitsfaktoren für die drei obersten Horizonte klar von einander unterscheiden. Die ermittelten Unterschiede der Grobheitsfaktoren sind signifikant für die folgenden Horizonte: 0-25 cm und 25-50 cm ($p < 0{,}01$), 0-25 cm und 50-75 cm ($p < 0{,}001$), 0-25 cm und 75-100 cm ($p < 0{,}01$), 25-50 cm und 50-75 cm ($p < 0{,}05$).

5.8 Schwankungen des Sohlniveaus

Die Sohlen der untersuchten Gewässer *Hache*, *Menninghäuser Beeke* und *Twillbeeke* zeigten über die Zeit deutliche Niveauunterschiede. Während an der *Hache* die maximale Differenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten gemessenen Sohlniveau bei fünf Zentimetern lag, erreichte sie an der *Menninghäuser Beeke* zwanzig Zentimeter und an der

Twillbeeke acht Zentimeter. Nach den Aussagen des ehemaligen Verbandsvorstehers des Hache-Hombach-Verbandes, Herrn Prüser, ist die Sohle der *Hache* nach den letzten Vertiefungen Mitte der 1960er Jahre um dreißig bis fünfzig Zentimeter angewachsen.[74] Am *Eykbach* konnten keine messbaren Schwankungen festgestellt werden. Da am *Hasenburger Bach* die Einlaufschwelle des Sandfangs (Steinschüttung) keinen geeigneten Bezugspunkt darstellte, wurden hier keine Messungen durchgeführt.

5.9 Trocken gefallene Gewässerabschnitte als Zwischenlager für Sedimente

An der *Menninghäuser Beeke* innerhalb Menninghausens konnte ein Paket von mehreren Tonnen „zwischengelagerter" Sedimente ausgemacht werden, das nur während hoher Abflüsse als Sedimentquelle zur Verfügung steht bzw. sich schubweise weiterbewegt.

5.10 Tiefenerosion im Auslaufbereich des Sandfangs Hache

Unmittelbar nach der Fertigstellung des Sandfangs konnte eine sukzessive Eintiefung der Gewässersohle (bis 75 Zentimeter unter das vormalige Niveau) im Auslaufbereich des Sandfangs beobachtet werden. Dies wird auf das Fehlen mobiler Sedimente zurückgeführt, welche im Regelfall eine Art mobilen Schutzschild für die darunter liegenden Sedimente darstellen. Dabei erodierte die Gewässersohle soweit, dass die unter den Sedimenten der vergangenen Jahrzehnte liegenden Niedermoorböden zu Tage traten. Eine erneute Anhebung der Sohle setzte erst ein, als der Sandfang bereits soweit gefüllt war, dass erhebliche Teile der Sedimentfracht nicht mehr durch ihn zurückgehalten wurden.

74 Diese Aussage bezieht sich auf die Uferzone. Die Auflandung in der Mitte des Gewässers kann also deutlich höher liegen.

6. Diskussion

Dieses Kapitel gliedert sich entsprechend der zwei parallel behandelten Fragestellungen in zwei Hauptteile:

- die Diskussion der Rückschlüsse, die sich aus den Ergebnissen zu den Sedimentfrachten der einzelnen Gewässer und ihrer Quellen ziehen lassen und
- die Diskussion der Rückschlüsse, die sich aus dem Schichtungsverhalten der Sedimente in den Sandfängen und im Teich am *Eykbach* insbesondere in Bezug auf die Ausbildung von Kiesschichten ziehen lassen.

In einem gesonderten Unterkapitel wird kurz auf mögliche Konsequenzen des Klimawandels eingegangen.

6.1 Sedimentfrachten und ihre Quellen

Zunächst werden die Ergebnisse auf die Frage hin diskutiert, ob die Summenkurven der Sedimentfrachten bestimmten Mustern unterliegen und ob sich anhand der Zusammensetzung der verschieden beprobten Sedimente und Böden erkennen lässt, welche Quellen für die Sedimentfrachten der jeweiligen Gewässer in Frage kommen und welche nicht. Abschließend werden methodisch bedingte Unschärfen angesprochen, die für die Repräsentativität der Daten von Bedeutung und bei der Interpretation selbiger zu beachten sind.

Rückschlüsse aus dem Vergleich von Sedimentfrachten und Niederschlägen

Die Summenkurven der Sedimentfrachten zeigen je nach Gewässer unterschiedliche Verläufe. Weitgehende Übereinstimmungen zwischen den Verläufen der einzelnen Summenkurven bestehen erwartungsgemäß im Anstieg während der Phase der höchsten Niederschläge im Frühjahr 2007. Dieser Zusammenhang ist hinlänglich bekannt (vgl. Kapitel 2). Die Werte zeigen jedoch auch, dass nach hohen Niederschlägen die Sedimentfracht nicht sofort abnimmt, sondern weiterhin hoch bleibt und mitunter ihren Höhepunkt erst einige Zeit nach den höchsten Niederschlägen erreicht. Für einen solchen Zusammenhang sprechen im Grunde alle Messungen. Besonders gut verdeutlichen dies jedoch die Messungen an der *Menninghäuser Beeke* in der Zeit vom 21.1. bis 30.3.2007 und am *Eykbach* in der Zeit vom 22.5. bis 7.6.2007. An beiden Gewässern gehen die Sedimentfrachten erst allmählich einem Maximum entgegen, der erst erreicht wird, als die stärksten Niederschläge (25.2.-5.3.2007 an der *Menninghäuser Beeke* und 7.5.-16.5.07 am *Eykbach*) bereits mehrere Tage zurück liegen. Die erhöhten Messwerten in der Zeit nach hohen Niederschlägen werden als Indiz für eine *Nachlaufzeit* hoher Transportraten gewertet, deren Ursache in der Mobilisierung und Umlagerung der Sedimente während hoher Abflüsse zu liegen scheint. Es ist anzunehmen, dass die Stabilität der umgelagerten Sedimente zunächst gering ist, was ihren Weitertransport begünstigt.

In den Sedimentfallen vom Typ 2 gehen die Summen von Gesamtfracht und verdichteter Fracht zunächst auseinander, um später erneut zusammen zu laufen bzw. sich zu nähern. An der *Hache* wiederholt sich diese Abfolge nachdem der Sandfang am 20.2.2007 vergrößert wurde. Die Erklärung für diese Beobachtung wird in den systematisch bedingten abnehmenden Akkumulationsraten der Sandfänge gesehen, da Querschnitt und Volumen der Sandfänge durch die einwandernden Sedimente verkleinert werden. Bei zunächst sehr großem Querschnitt und Volumen können besonders feine, zunächst noch in Suspension bewegte Sedimente gut akkumuliert werden. Nähern sich die akkumulierten Sedimente dem Niveau des eigentlichen Bachbettes (Querschnitt und Volumen werden kleiner), bleiben die feinen Sedimente in Suspension und gehen über den Sandfang hinweg (vgl. Abbildung 50), wohingegen die Sedimentationsbedingungen für gröbere Sedimente fast keiner Veränderung unterliegen.

Die Ursache für den überproportionalen Anstieg der Kurve für die gesamte Sedimentfracht am *Hasenburger Bach* zu Beginn der Messungen ist vermutlich der Umstand, dass nach der Leerung des Sandfangs am 29.11.2006 keine Aussage über die Sedimente gemacht werden konnte, die während der Leerung im Sandfang verbliebenen waren.[75] Es ist deshalb denkbar, dass ein großer Teil, der bei der ersten Messung erfassten Sedimente nicht während des Untersuchungszeitraums in den Sandfang gelangte, sondern bereits vorher.

An der *Twillbeeke* zeigen sich in den beiden Sedimentfallen gegenläufige Trends. Während bei Twillbeeke I die Werte der letzten Hälfte des Untersuchungszeitraums deutlich höher liegen als in der ersten Hälfte, ist es bei Twillbeeke II umgekehrt. Eine Erklärung hierfür liegt wahrscheinlich in der gewählten Anordnung der beiden Sedimentfallen (vgl. Kapitel 4), die dazu führte, dass die durch die hohen Frühjahrsniederschläge mobilisierten Sedimente aus dem Bereich oberhalb des Fischteichs zum größten Teil in der ersten der beiden Sedimentfallen verblieben.

Rückschlüsse anhand der Korngrößenverteilungen der Sedimente und Bodenproben

Die Körnungslinien der untersuchen Proben zeigen keine eindeutigen Zusammenhänge auf, nach denen die Sedimente der Gewässer einer bestimmten Quelle zuzuordnen sind. Die Unterschiede der für die *Hache* untersuchten Proben aus Ackerflächen und Ufern liegen vorwiegend in den gröberen Fraktionen größer 1 mm. Diese sind in den Proben der Ackerflächen vorhanden, in den Proben der Ufer hingegen fehlen sie fast völlig. Dieser Unterschied erscheint jedoch marginal, wenn berücksichtigt wird, dass in den Uferproben vorkommende Sandschichten nicht in die Ergebnisse eingegangen sind. Am *Hasenburger Bach* ist durch die Sandschichten in den Uferbereichen (welche im Vergleich zur *Hache* einen erheblich größeren Anteil der Uferböden ausmachen) eine Zuordnung der Sedimente zu einer bestimmten Quelle ebenfalls nicht möglich. Hinzu kommt, dass hier keine Daten zu den Böden der Ackerflächen erhoben wurden. Auf der Grundlage der Korngrößenverteilungen ist also anzunehmen, dass sowohl Erosion auf den Flächen als

75 Ein Floß stand erst ab dem 30.1.2007 zur Verfügung. Zuvor konnten keine Messungen außerhalb der Sedimente mit tragender Sandschicht stattfinden.

auch Seitenerosion (Uferabbrüche) einen Anteil an den Sedimentfrachten haben.

Rückschlüsse anhand des mengenmäßigen Aufkommens der Sedimentfrachten in Haupt- und Nebengewässern an der Hache

In der Summe stehen ca. 12 Tonnen rein mineralischer Sedimentfracht aus *Menninghäuser Beeke* und *Twillbeeke* ca. 380 m³ weitgehend unverdichteter Sedimentfracht der *Hache* entgegen. Für einen wissenschaftlich korrekten Vergleich sind diese Werte aufgrund ihrer unterschiedlichen Einheiten nicht geeignet. Dennoch kann gesagt werden, dass der Beitrag der untersuchten Nebengewässer an der Sedimentfracht der *Hache* erheblich ist.

Rückschlüsse anhand der Schwankungen des Sohlniveaus

Die Schwankungen des Sohlniveaus lassen darauf schließen, dass die Gewässer bedeutende Akkumulationsräume für Sedimente darstellen. Zu dieser Aussage führt insbesondere die Tatsache, dass die Sohle der *Hache* in den letzten Jahrzehnten um einige Dezimenter angewachsen ist. Bei der *Hache* handelt es sich vorwiegend um Feinsedimente, welche vom Gewässer schnell abtransportiert werden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass in der näheren Vergangenheit die Mengen eingetragener Sedimente dauerhaft auf hohem Niveau lagen.

Übergreifende Rückschlüsse anhand der gemessenen Sedimentfrachten

Anhand der hohen Sedimentfrachten und der Beobachtungen vor Ort lässt sich erkennen, dass die Sohlen der untersuchten Gewässer (mit Ausnahme des *Eykbachs*) ein hochgradig instabiles System widerspiegeln. Das heutige Sohlniveau insbesondere von *Hache* und *Hasenburger Bach* kann nur durch massive Einträge erklärt werden. Ein Rückgang der Sedimentfrachten würde zu einer sofortigen Eintiefung der Gewässersohle führen. Als klares Indiz hierfür werden die Beobachtungen an der *Hache* gewertet, wo unmittelbar nach der Fertigstellung des Sandfangs eine sukzessive Eintiefung der Gewässersohle im Auslaufbereich des Sandfangs stattfand.

Weiterführende Interpretationen

Nachdem die bisher angeführten Interpretationen keinen eindeutigen Hinweis auf die Hauptursache der Sedimentfrachten der *Hache* geben, sollen hier weitere Argumente angeführt werden, die zur Klärung der Frage nach der Herkunft der Sedimente dienen können.

Um der Frage nachzugehen, in welchem Umfang die *Seitenerosion* als Ursache für die Sedimentfrachten der *Hache* in Frage kommt, wird folgend eine vorsichtige Hochrechnung angestellt, wohlweislich dass diese keinen wissenschaftlichen Anspruch haben kann. Dabei soll verdeutlicht werden, welche Ausmaße die Seitenerosion im Niedermoorkörper der *Hache* haben müsste, um die gemessenen Sedimentfrachten zu erklären.

In der *Hache* wurden rund 380 m³ Sedimentfracht gemessen. Nach Abzug des Wasseranteils und des organischen Materials kommt man auf eine Masse von ungefähr 450 Ton-

nen für die mineralischen Bestandteile (mit einer veranschlagten Dichte von 2,5 g/cm³) der Sedimentfracht[76]. Ausgehend von einer ungefähren Trockenrohdichte des bereits zu Teilen mineralisierten Niedermoorbodens von 0,25 g/cm³[77] gelangt man zu einem Volumen von ca. 1800 m³ Niedermoorboden, das von der *Hache* auf einer Strecke von zwanzig Kilomentern erodiert werden müsste, um zu einer Sedimentfracht zu gelangen, die der gemessenen entspricht.[78] Übertragen auf den Zeitraum von nur sieben Monaten erscheint dieser Wert sehr hoch und obwohl vielerorts Uferabbrüche zu sehen sind, dürfte die Summe der durch Seitenerosion eingetragenen Sedimente in der Realität deutlich geringer ausfallen. Auch wenn es sich hierbei nur um eine Annäherung handelt und die zugrunde gelegten Werte nicht zwingend den Tatsachen entsprechen, liegt es nahe, die Seitenerosion als Sedimentquelle von eher untergeordneter Bedeutung anzusehen.

Dass *Tiefenerosion* innerhalb der *Hache* keine ausschlaggebende Rolle spielen kann, erschließt sich aus der geschilderten Tendenz, nach der das Sohlniveau zwar kurzfristigen Schwankungen unterliegt, in der Bilanz jedoch ein Anwachsen innerhalb der vergangenen Jahrzehnte stattgefunden hat.

Gehen wir davon aus, dass das die Wirkzusammenhänge während des Untersuchungszeitraums sowie die Messergebnisse in Grenzen repräsentativ sind, sprechen also wesentliche Argumente gegen Seiten- und Tiefenerosion als Hauptursache für die hohen Sedimentfrachten. Als nachvollziehbare Ursachen verbleiben demnach die Erosion auf der Fläche, in den Nebengewässern und in den an sie grenzenden künstlichen Entwässerungssystemen.

Repräsentativität der Daten

Alle Schlussfolgerungen zu den Ursachen für die hohen Sedimentfrachten können nur gelten, wenn das Erosions- und Sedimentationsregime in der jüngeren Vergangenheit im wesentlichen unverändert geblieben ist. Dies ist dann der Fall, wenn sowohl die Landnutzung im Einzugsgebiet (mit ihren systematischen Folgen für die Erosion) als auch das Abflussregime im Gewässer mit seinen wesentlichen Faktoren Gefälle, Profilbeschaffenheit und Abflussmenge nahezu gleich geblieben sind. Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass diese Bedingungen an allen untersuchten Gewässern erfüllt wurden.[79] Es bestehen dennoch Unsicherheiten, inwieweit die starken Niederschläge im Unterschungszeitraum zu einem verzerrtem Abbild der tatsächlichen Verhältnisse geführt haben. Die aufsummierten Geschiebefrachten lassen sich deshalb nicht pauschal auf Ver-

76 Nach Kuntze et al. 1994, S.160 liegt die Dichte der Bodenbestandteile aus Mineralböden bei 2,5-2,7 g/cm³.

77 Nach Kuntze et al. 1994, S.160 liegt die Trockenrohdichte von Moorböden bei 0,05-0,5 g/cm³ je nach Zersetzungsgrad und Entwässerung. Der gewählte Wert ist nur eine grobe Richtmarke, die nicht nachgeprüft wurde.

78 In dieser Berechnung wird davon ausgegangen, dass hundert Prozent der mineralischen Bestandteile des erodierten Niedermoorbodens von der Sedimentfalle erfasst werden.

79 Nach Aussagen der zuständigen Personen der Unterhaltungsverbände, Herrn Peter Neumann (Hache-Hombach-Verband) und Herrn Ulrich Ostermann (Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände, Uelzen), lagen die gemessenen Frachten an Hache und Hasenburger Bach im Rahmen der zu erwartenden Mengen. An der Hache werden seit 1999 und 2000 Sandfänge unterhalten, aus denen jährlich zwischen 800 und 1000 m³ Sediment entnommen werden. Für den Hasenburger Bach liegen keine entsprechenden Daten vor. Die Hochwasser im Untersuchungszeitraum entsprachen einem fünf- bis maximal zehnjährigen Hochwasser.

gangenheit und Zukunft übertragen.

Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Interpretation der vorliegenden Daten besteht in den untersuchten Systemen selbst. Denn genau betrachtet lässt sich die Herkunft eines einzelnen Sandkorns nicht mit Gewissheit bestimmen. Dies ist vornehmlich der Tatsache geschuldet, dass die Gewässer einen erheblichen Akkumulationsraum für die Sedimente darstellen, was sich am Schwanken des Sohlniveaus (s. o.) sowie Paketen „zwischengelagerter" Sedimente in trocken gefallen Abschnitten (s. o.) ablesen lässt. Einmal eingetragene Sedimente können daher an den unterschiedlichsten Stellen eines Gewässers für unbestimmte Zeit zurückgehalten werden, bevor sie eine Messstelle erreichen. Zusammen mit der Tatsache, dass es während des relativ kurzen Untersuchungszeitraumes kein herausragendes Eintragsereignis gab, ist das Zurückverfolgen der Eintragswege auf der Ebene einzelner Ereignisse im Rahmen dieser Arbeit nicht leistbar.

6.2 Schichtungsverhalten der Sedimente und Ausbildung einer Kiesschicht

Dieser Teil der Diskussion konzentriert sich auf die Interpretation der Sedimentkernproben und den vor Ort Beobachtungen an den Sedimetfallen vom Typ 2 und am *Eykbach*. Im Vordergrund steht die Frage nach allgemein gültigen Mustern, die sich aus den Ergebnissen ableiten lassen und den sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Morphogenese von Tieflandbächen. Es wird dabei vorwiegend auf Schaubilder zurückgegriffen, die die Zusammenhänge bildlich verdeutlichen sollen. Zunächst werden die Grundzüge der Sedimentation innerhalb eines Sandfangs dargestellt, gefolgt von der Darstellung der Sedimentationsverhältnissen am Teich des *Eykbachs*. Daran anschließend werden Überlegungen zum allgemeinen Schichtungsverhalten fluviatiler Sedimente formuliert und ebenfalls durch ein Schaubild verdeutlicht. Die daraus abzuleitenden Konsequenzen für die Genese von Kiesstrecken entlang der Gewässer bilden den Abschluss dieses Unterkapitels.

Einwandern der Sedimente in eine Sedimentfalle Typ 2 – ein einfaches Beispiel für Sedimentschichtung

Gute Bedingungen für die Untersuchung des Schichtungsverhaltens fluviatiler Sedimente lieferten die großen Sandfänge in *Hache* und *Hasenburger Bach* mit ihren rund 400 bzw. rund 550 m³ Fassungsvermögen zum einen durch ihre Größe und zum anderen durch die annähernd störungsfreie Sedimentation über jeweils mehr als ein halbes Jahr. Anhand der Sedimentkernproben der beiden Sandfänge an *Hache* und *Hasenburger Bach* und den vor Ort Beobachtungen während der Messungen lässt sich deutlich erkennen, dass das Einwandern der Sedimente in einen Akkumulationsraum nach bestimmten Mustern erfolgt. Die folgende Darstellung soll verdeutlichen, welche Rolle die spezifischen Seidimentationseigenschaften der einwandernden Sedimente dabei spielen.

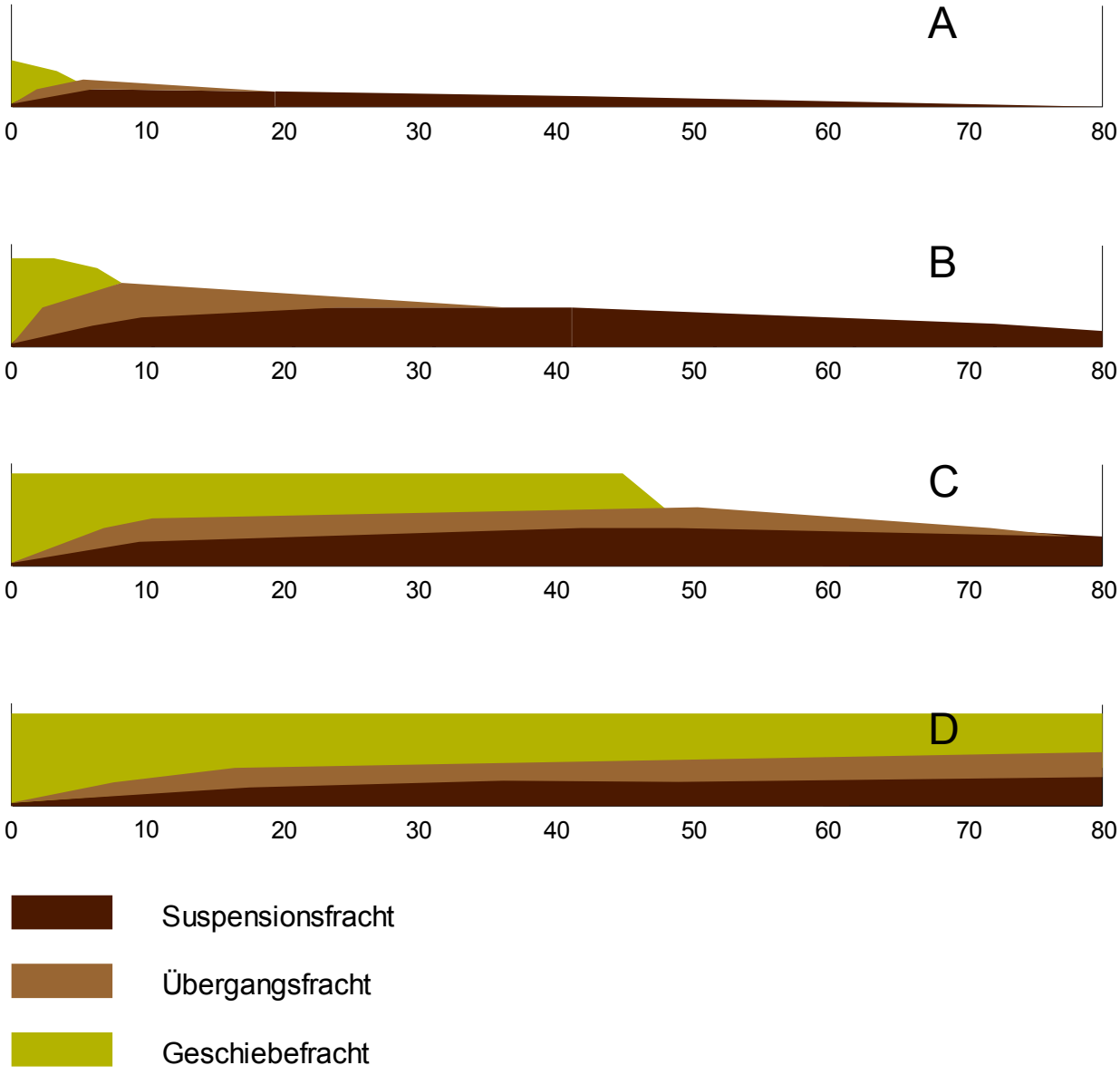


Abbildung 50: Einwandern der Sedimente in einen Sandfang (Typ 2; Hache, stark vereinfacht). Die schematische Darstellung zeigt das Einwandern der Sedimente in zeitlicher Reihenfolge (von A nach D). Die Werte 0 bis 80 stehen für die Distanz zum Einlaufbereich in Metern. Unterschieden werden Sedimente, die sich als Suspensionsfracht (dunkelbraun), Geschiebefracht (gelbbraun) oder teils als Geschiebe- teils als Suspensionsfracht - hier als Übergangsfracht (hellbraun) bezeichnet – bewegen.

In Abbildung 50 ist zu sehen, wie zunächst überwiegend aus der Suspensionsfracht stammende Sedimente in die Sedimentfalle einwandern und nach und nach von der Übergangs- und Geschiebefracht überlagert werden. Der Geschiebeanteil wird dabei immer größer und überwiegt zuletzt gegenüber den übrigen Bestandteilen, deren Volumen durch die zunehmende Verdichtung und Mangels mengenmäßigem Zuwachs ab einem bestimmten Punkt nicht mehr zunimmt und gegen Ende sogar schrumpft. Ein Zuwachs an feinen Sedimenten findet zuletzt nicht mehr statt, da die Strömungsverhältnisse innerhalb der Sedimentfalle deren weitere Sedimentation nicht mehr zulassen.

Betrachtet man die Mittelwerte der Grobheitsfaktoren der Sedimentfalle am *Hasenburger*

Bach (vgl. Tabelle 13) zeigt sich, dass bis zum Abschluss des Sedimentationprozesses[80] die Sedimente mit größerer Distanz zum Einlaufbereich feiner werden. Daraus geht hervor, dass sich während der Sedimentation eine Sortierung der Sedimente in Abhängigkeit ihrer Korngröße vollzieht. Hierin werden Parallelen zum eingangs erwähnten „downward fining" gesehen, wobei die Bezugsgröße nicht das gesamte Gewässer ist sondern die Sedimentfalle selbst.

Da die Geschiebefracht aus den gröbsten Bestandteilen des transportierten Materials besteht, lässt sich bereits durch diese Darstellung erkennen, wie sich die groben Sedimente systematisch über feineren Sedimenten ablagern. Dieser Zusammenhang spiegelt sich in der Verteilung der Grobheitsfaktoren über die Horizonte sowie den Sedimentkernproben aus den Sandfängen und am Teich des *Eykbachs* wieder (vgl. Abbildung 45, 46, 47, 49 und Tabelle 12, 13, 14).

Die Tatsache, dass in den Sedimentkernproben in den Sandfängen regelmäßig gröbere Fraktionen in den untersten Horizonten gefunden wurden (vgl. Abbildung 45, 46, 49 und Tabelle 12, 13,), wird auf die Baggerarbeiten während der Erstellung der Sandfänge zurückgeführt, bei denen offenbar Teile der oberen Horizonte nach unten gesunken sind.

Ausbildung einer Kiesstrecke über feineren Sedimenten

Um den Verteilungsprozess unterschiedlich großer Kornfraktionen während eines fluviatilen Sedimentationsereignisses zu verstehen, ist es hilfreich den Prozess der Sedimentation über ein möglichst umfangreiches Spektrum an Korngrößen bei gleich bleibenden Bedingungen über einen möglichst langen Zeitraum zu verfolgen. Annähernd ideale Bedingungen hierzu sind am *Eykach* zu finden, wo ein vergleichsweise naturnahes Gewässer in einen Teich mündet, in dem sich die Sedimentfracht über die vergangenen 20 Jahre vollständig ablagern konnte.

80 Am Hasenburger Bach wurde der Sandfang beprobt lange bevor seine Kapazität erschöpft war.

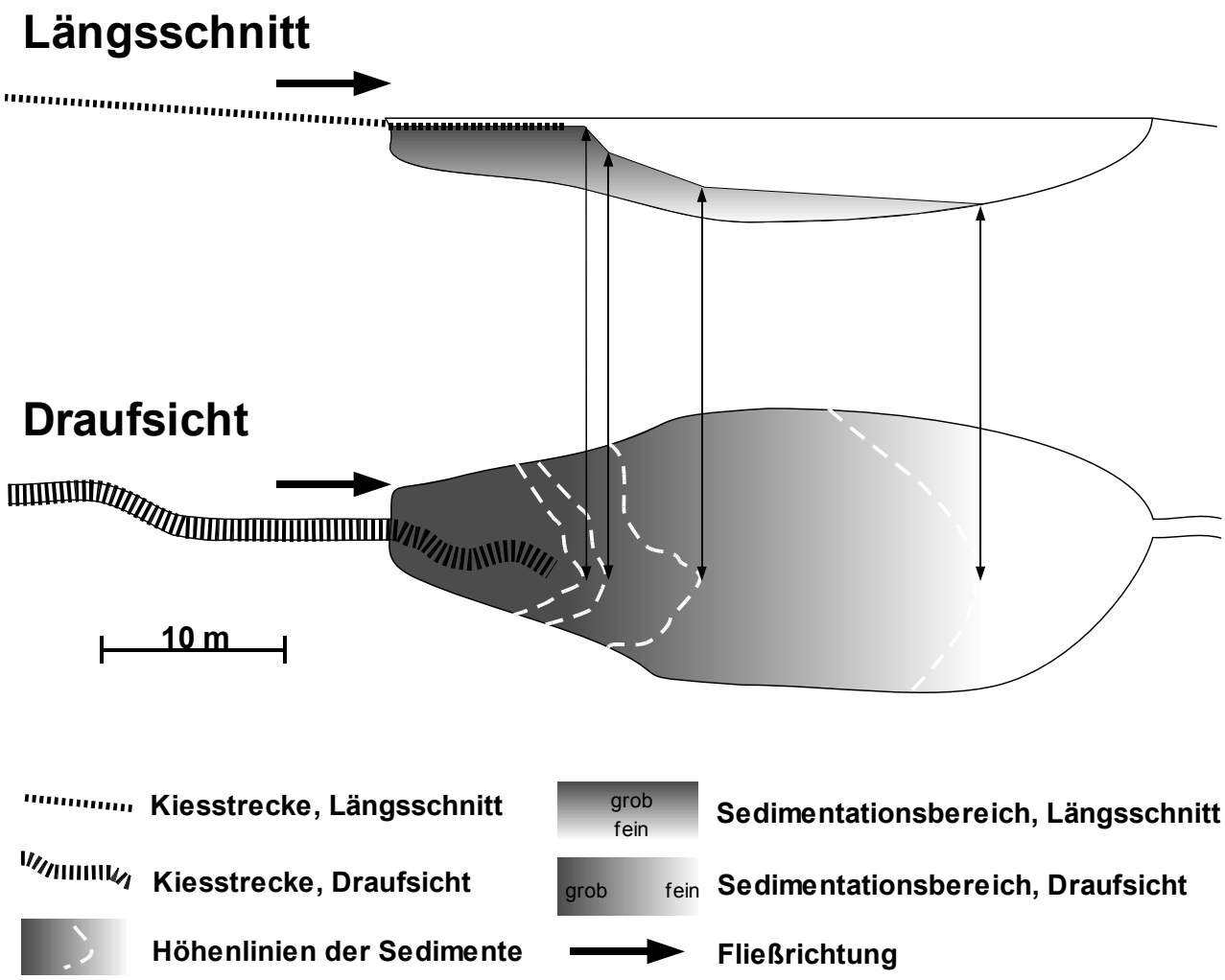


Abbildung 51: Ausbildung einer Kiesschicht am Eykbach-Teich. Die schematische Abbildung zeigt den gegenwärtigen Aufbau der Sedimente des Teichs ca. 500 m unterhalb der Quelle des Eykbachs, so wie er aufgrund der Sedimentkernbeprobung angenommen wird.

Der als Farbverlauf von dunkel nach hell dargestellte Sedimentationsbereich in Abbildung 51 wird von einer Kiesstrecke überlagert. Im Unterschied zu *Hache* und *Hasenburger Bach* besteht die Sedimentfracht des *Eykbachs* zu erheblichen Anteilen aus Kiesen (vgl. Abbildung 37 und 47). Diese Kiese wurden offenbar durch das Fließgewässer in den bereits durch feine Sedimente angefüllten Verlandungsbereich des Teichs verfrachtet und bilden hier eine Kiesstrecke von mehreren Zentimetern Dicke. Bemerkenswert ist, dass das Einwandern der Kiese trotz des sehr geringen Gefälles (innerhalb des Verlandungsbereiches) stattfindet. Die Kiesstrecke ist auf einen schmalen Streifen begrenzt, welcher ungefähr so breit ist, wie der Bach selbst. Sollte die Sedimentation auch in Zukunft ungestört von statten gehen, ist davon auszugehen, dass der Teich irgendwann gänzlich durch die Sedimentfracht des *Eykbachs* angefüllt sein wird und die derzeit noch voneinander getrennten Abschnitte oberhalb und unterhalb des Teiches durch ein neu entstandenes Kiesbett verbunden sein werden.

Allgemeine Rückschlüsse zum Schichtungsverhalten und der Ausbildung von Kiesschichten

Im Folgenden sollen die bisherigen Interpretationen der vorgefundenen Sedimentschichtung verallgemeinert und mit aktuellen Theorien zur Ausbildung von Kiesschichten über feineren Sedimenten abgeglichen werden. Dazu wird zunächst ein Schaubild angeführt auf dessen Grundlage eine allgemeine Hypothese formuliert werden soll.

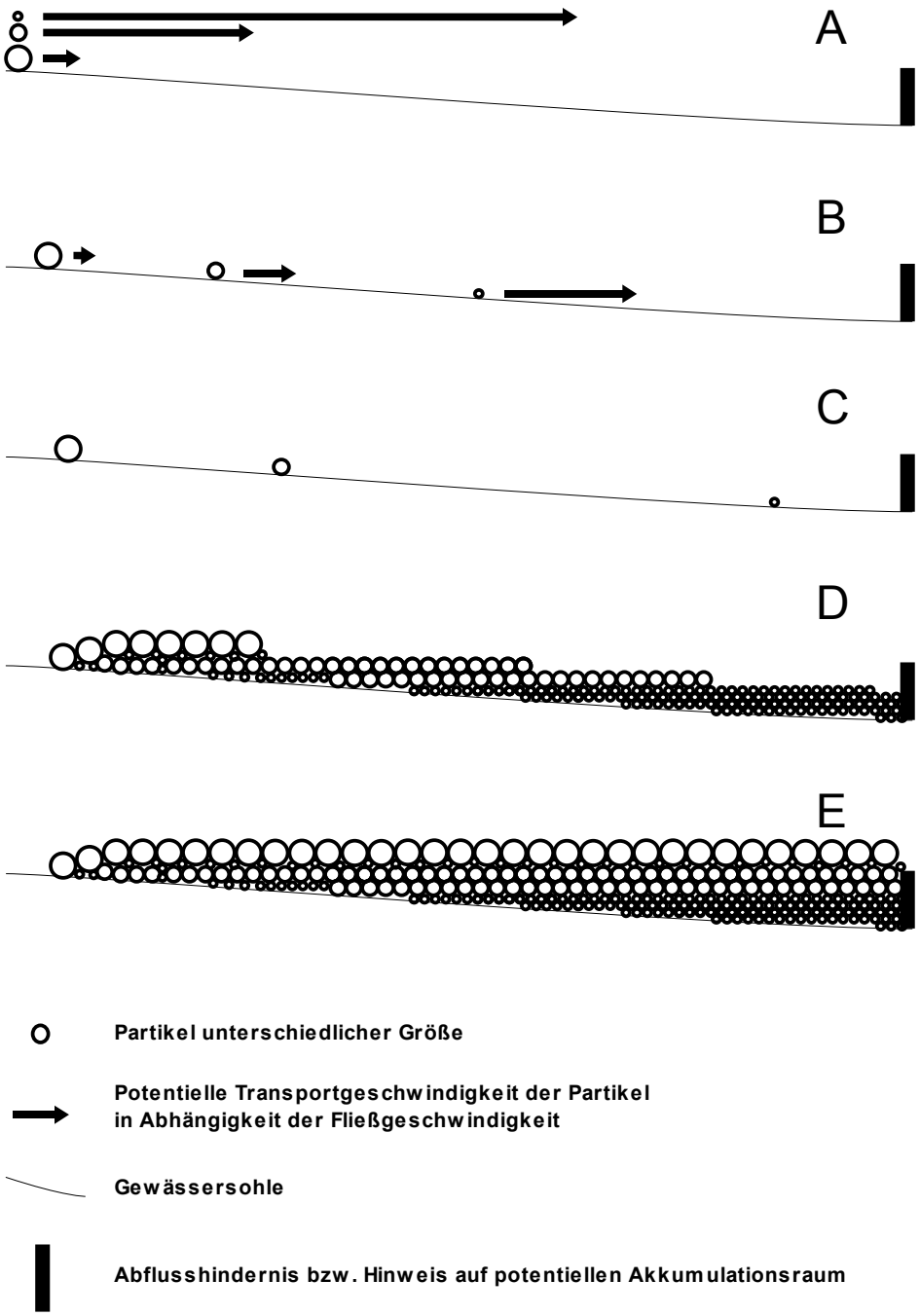


Abbildung 52: Partikelbewegung in einen Akkumulationsraum hinein. Die schematische Dartsellung zeigt, wie Partikel in drei verschiedenen Größen abhängig von ihrer potentiellen Transportgeschwindigkeit bei gleich bleibendem Abfluss und gleich bleibendem Nachschub einwandernder Sedimente in einen Akkumulationsraum einwandern (A und B) und dort sedimentieren (C, D und E). D bildet den vorläufigen Endzustand der Akkumulation, in dem die gröbste verfügbare Fraktion der Partikel die Deckschicht bildet.

Akkumulationsräume sind nicht zwingend an ein Abflusshindernis gebunden, sondern

entstehen stets dann, wenn an einer Stelle zu einem Zeitpunkt die Menge an transportierbarem Material größer ist, als die Menge die von der Schleppkraft des Gewässers zu diesem Zeitpunkt transportiert werden kann. Daher ist der in Abbildung 52 dargestellte Prozess im Grunde losgelöst von einem Rückstau zu betrachten. Der aufgezeigte Mechanismus greift über das gesamte Spektrum von Korngrößen, sodass bei gleich bleibenden Bedingungen eine stete Zunahme gröberer Sedimente von den unteren zu den oberen Horizonten eines Akkumulationsraumes anzunehmen ist.

Die bisherigen Ausführungen führen zu folgender *Hypothese,* anhand derer sich die meisten Messungen und Beobachtungen bezüglich der Sedimentschichtung erklären lassen, die in diese Arbeit Eingang gefunden haben (vgl. Abbildung 45, 46, 47, 49 und Tabelle 12, 13, 14).

Das Schichtungsverhalten wird durch die Trägheit der Sedimente sowie die unidirektionale Kraft des fließenden Wassers bestimmt. Das Zusammenspiel beider Faktoren führt zu unterschiedlich schnellen Bewegung der Sedimente, in Abhängigkeit ihres Gewichtes im Verhältnis zu ihrer Oberfläche sowie ihrer Exposition gegenüber der Strömung. Bei sehr feinem Sediment kann Kohäsion eine Rolle spielen, sowie bei grobem Sediment die Verkeilung. Überwiegt die Menge an potentiell transportierbarem Sediment der erosiven Kraft des fließenden Wassers, entstehen Akkumulationsräume.[81] Diese werden zuerst von den schneller bewegten, feinen Sedimenten erreicht, erst danach wandern auch die gröberen Sedimente in den Akkumulationsraum ein. Bei unverändertem Nachschub an Sedimenten aller vorhandenen Korngrößen verkleinert sich der Querschnitt des Akkumulationsraumes und die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Akkumulationsraumes steigt. Dadurch kann zunehmend weniger feines Material sedimentieren, wohingegen das Einwandern groben Materials nach und nach erleichtert wird. Dessen gröbste Bestandteile bilden schließlich die Deckschicht und verhindern so die Erosion der unter ihnen lagernden Sedimente.

In der englischsprachigen Fachliteratur existieren verschiedene Ansätze, die die Ausbildung von Kiesschichten über feineren Sedimenten zu erklären versuchen. Lunt und Bridge (2007) kommen auf experimentellem Wege zu dem Schluss, dass sie Entstehung eines so genannten *„open-framework gravel“* (eine von Hohlräumen durchsetzte Kiesschicht) auf der Trennung von Sand und Kies am Scheitelpunkt von Kies- und Sandformationen an der Gewässersohle basiert.[82] Ihre Ergebnisse sind nur bedingt auf hiesige Gewässer übertragbar, da sie von deutlich höheren Fließgeschwindigkeiten ausgehen, als im Tiefland erreicht werden. Dennoch zeigen ihre Versuche, dass das Überlagern feiner Sedimente durch gröbere einen systematischen Ursprung hat. Der theoretische Ansatz von Hand (1997) fußt auf ähnlichen Überlegungen wie den oben angeführten. Er schlägt vor, das so genannte *„inverse grading“* (inverse Sortierung) innerhalb von Turbiditen durch das strömungsbedingte Zurückbleiben gröberer Sedimente hinter feineren zu

81 Für die Entstehung der Akkumulationsräume kann es zwei Gründe geben: entweder die Fließgeschwindigkeit nimmt ab und unterschreitet einen kritischen Wert, oder die Sedimentfracht nimmt zu und überschreitet einen kritischen Wert.

82 Lunt, Bridge 2007

erklären.[83] Da Turbidite Ablagerungen aus Suspensionsströmen sind, ist ebenfalls nur von einer bedingten Übertragbarkeit auf die hier präsentierten Ergebnisse auszugehen. Dennoch liegen die Erklärungsansätze sehr nahe beieinander und es erscheint naheliegend, dass es sich trotz unterschiedlicher Ausgangsbedingungen um das selbe Prinzip fluviatiler Sedimentation handelt.

Weitere Parallelen können zu unterschiedlichen Phänomenen physikalisher Natur gezogen werden, die sich unter dem Sammelbegriff der *„inversen Segregation"* fassen lassen. Darunter ist das systematische nach oben Wandern grober Partikel bzw. nach unten Wandern feiner Partikel zu verstehen, sobald in einem Gemisch unterschiedlich großer Partikel Hohlräume entstehen.

In Anbetracht der bisherigen Ausführungen handelt es sich offenbar um ein grundlegendes physikalisches Prinzip, das zwangsläufig zu einer Ausbildung von Deckschichten aus Kies führt, sobald Kiese einen ausreichend großen Anteil an der Sedimentfracht ausmachen.

Genese von Kiesstrecken entlang der Gewässer

Es folgen Überlegungen zur Morphogenese der Fließgewässer des Tieflandes, unter Berücksichtigung der o. g. Annahmen zur Ausbildung von Kiesschichten.

83 Hand 1997

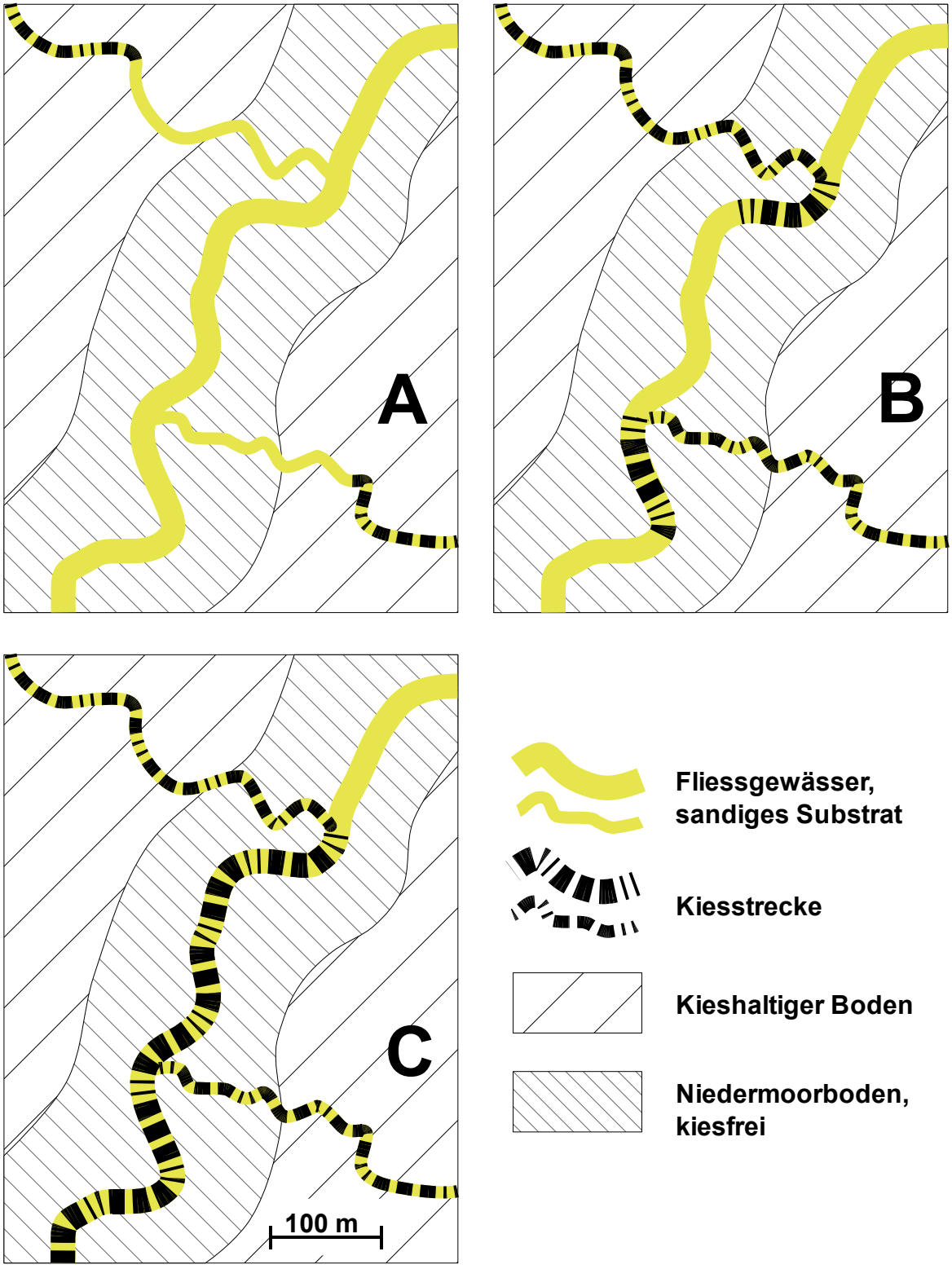


Abbildung 53: Ausbreitung von Kiesstrecken entlang der Gewässer im zeitlichen Verlauf. Die schematische Darstellung zeigt die Ausbreitung von Kiesstrecken in stark idealisierter Form, so wie sie für viele Gewässer des Norddeutschen Tieflandes angenommen wird. Von den Nebengewässern kommend (A) erfolgt eine sukzessive Ausbreitung bis hin zur vollständigen Überlagerung des Gewässerbettes durch Kies (B und C).

Als Kiesquellen stehen in diesem Beispiel (Abbildung 53) hauptsächlich die Oberläufe bzw. Nebengewässer zur Verfügung, die aufgrund ihres relativ starken Gefälles keinen eigenen Niedermoorkörper bzw. kein eigenes Alluvium ausbilden. Folglich stehen für

ihre Geschiebefracht alle im Gelände vorhandenen Korngrößen zur Verfügung. A zeigt ein frühes Stadium, in dem Kies in bedeutenden Mengen nur im Bereich der Oberläufe den Substrattyp bestimmt. Von diesem Zustand ausgehend erfolgt die sukzessive Ausbreitung und Akkumulation grober Sedimente bis ins nächst größere Gewässer (B). Das Stadium C zeigt schließlich den vorläufigen Endzustand, in dem Kies den vorherrschenden Substrattyp im gesamten Fließgewässersystem darstellt.

Die Darstellung kann auf die Morphogenese natürlicher sowie anthropogen veränderter Gewässer bezogen werden. In welchem Stadium sich ein Gewässer heute befindet ist in erster Linie von der Art und Intensität der menschlichen Eingriffe abhängig. Der heutige Zustand an den untersuchten Gewässern *Hache* und *Hasenburger Bach* ist an den meisten Teilstrecken mit dem Stadium A gleichzusetzen, wobei vorhandene Kiesstrecken vielfach durch Feinsedimentfrachten überlagert sind.

6.3 Auswirkungen des Klimawandels

Die zu erwartenden klimatischen Veränderungen führen zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen in den Winterhalbjahren. Daher ist einerseits von einer Zunahme der Stoffeinträge durch Erosion auf der Fläche auszugehen. Andererseits werden die mit den Starkniederschlägen einhergehenden Hochwasser zu größeren hydromechanischen Belastungen in den Gewässern führen, was zunächst als eine negative Auswirkung auf die Gewässer gedeutet werden kann. Dennoch haben extreme Hochwasser in der Vergangenheit auch zu positiven Konsequenzen für Gewässer geführt, indem sie morphodynamische Prozesse auslösten, die zu einer strukturellen Verbesserung führten.[84]

6.4 Methodenkritik

Sedimentfallen und ihre Unschärfen

Um die tatsächliche Sedimentfracht eines Fließgewässers zu messen, ist es notwendig den kompletten Durchsatz des vom Gewässer transportierten Materials an einer Messstelle zu erfassen. Wie in der Einleitung beschrieben, gliedert sich die Sedimentfracht in Schwimm-, Suspensions- und Geschiebefracht, wobei Geschiebe- und Suspensionsfracht fließend ineinander übergehen und deshalb unter natürlichen Bedingungen nicht klar voneinander zu trennen sind. Somit ist davon auszugehen, dass die von den Sedimentfallen erfassten Anteile der Geschiebefracht je nach Stärke des Abflusses stark schwankten. Je geringer der Abfluss war, desto höher lag theoretisch der Anteil an feinen Sedimenten, die von den Sedimentfallen erfasst wurden. Als wesentlich für die Akkumulationsraten feiner Sedimente, insbesondere der Suspensionfracht ist die durch Volumen und Querschnitt der Sedimentfalle erreichte Herabsetzung der Fließgeschwindigkeit. Sowohl Volumen als auch Querschnitt wurden bei den Sedimentfallen vom Typ 1 innerhalb eines Beprobungszyklus, bei den Sedimentfallen vom Typ 2 über die Dauer des Mess-

84 Vgl. Stowasser in Johannsen 2006, S.143-172.

zeitraums kleiner. Daraus ergab sich ein sukzessives Abnehmen der Akkumulationsraten bis hin zum völligen Aussetzten der Akkumulation je weiter der Messzeitraum fortgeschritten war (bei Typ 2) beziehungsweise je länger die letzte Leerung zurücklag (bei Typ 1). Da die Sedimentfallen des Typs 1 mit einem viel geringeren Volumen ausgestattet waren als die Sedimentfallen des Typs 2 fiel bei ihnen dieser Faktor viel stärker ins Gewicht. An der *Menninghäuser Beeke* wurde der Sandfang in der Zeit vom 17.1. bis 30.3.2007 sechs mal vollständig gefüllt angetroffen. Besonders hoch waren die „Verluste“ durch das Hochwasser in Verbindung mit dem Orkan Kyrill im Januar 2007. Die sonst am Boden transportierten Sande wurden über die Ufer hinaus ins Gelände (bis ca. einen Meter über die Böschungskante hinaus) verfrachtet. Wie viel der Sedimentfracht dadurch nicht gemessen werden konnte bleibt unklar. Da die Suspensionsfracht nur dann sedimentieren kann, wenn die Fließgeschwindigkeit entsprechend sinkt, sind die Sedimentfallen des Typs 1 generell schlechter für das Sammeln dieser Fraktionen geeignet. Bei der Interpretation der Messwerte sollte dies stets berücksichtigt werden. Für beide Typen gilt, dass je weiter sie gefüllt sind die Akkumulationsraten für feinere Kornfraktionen sinken. Da in den Sedimentfallen des Typs 1 die Masse und in denen des Typs 2 das Volumen bestimmt wurde, ist ein direkter Vergleich der Messwerte nicht möglich.

Verdichtung der Sedimente in den Sedimentfallen vom Typ 2

Wie bereits in Kapitel 4 beschrieben, bestand eine erhebliche Unschärfe der Messungen durch die zunehmende Verdichtung des akkumulierten Materials über die Dauer des Messzeitraums. Wie stark die Verdichtung im zeitlichen Verlauf wirkte, kann mangels fehlender Daten über die Lagerungsdichte nicht beschrieben werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, das die Verdichtung von der Tiefe des jeweiligen Sandfangs abhängt. An der Sedimentfalle des *Hasenburger Bach*s mit einer Tiefe von ca. zwei Metern ist dieser Zusammenhang recht deutlich anhand der während der Begehung verzeichneten merklichen Zunahme an Stabilität festzumachen, deren Maximum am Ende der Messungen erreicht wurde. Vom Ufer betrachtet, war dieser Zusammenhang nicht erkenntlich, da das Sohlniveau des Einlaufbereichs bereits sehr früh auf das des Bachbetts angewachsen war. Das legt den Schluss einer bereits vollständigen Ausfüllung dieses Teils des Sandfangs nahe. Am Sandfang der *Hache* mit nur einem Meter Tiefe ist der Einfluss vergleichsweise gering anzunehmen. Hier konnte bereits nach wenigen Wochen kein deutlicher Unterschied in der Festigkeit der eingewanderten Sedimente, deren Niveau das des Bachbetts erreicht hatte, und dem Bachbett selbst festgestellt werden.

Geringe Anzahl an Bodenproben von landwirtschaftlichen Flächen und Ufern

Mit insgesamt nur acht Bodenproben von landwirtschaftlichen Flächen und 5 Uferproben ist die Anzahl von Replikaten an der *Hache* sehr gering. Dies bedeutet, dass nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, ob die erhobenen Daten repräsentativ sind. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass sie für die Bestimmung eines Trends ausreichen.

Inkonsistente Darstellung der Ergebnisse

Bei der graphischen Darstellung der Sedimentfrachten für die Sedimentfallen vom Typ 2 gelang das verwendete Programm (OpenOffice 2.4) an seine gestalterischen Grenzen. So war es nicht möglich, die Balken und Linien der Diagramme so anzuordnen, dass die Balken der 24 h Niederschlage nicht von den Linien der Sedimentfrachten überdeckt wurden. Deshalb wurde in einigen Fällen ein linearer Anstieg der Frachten von der Erstellung der Sedimentfalle bis zur ersten Messung simuliert. Ein anderer Weg, alle wiedergegebenen Werte sichtbar zu machen, konnte nicht gefunden werden.

Ebenfalls nicht richtig dargestellt werden konnte die X-Achse bei Grafiken zu den Körnungslinien. Die üblicher Weise verwendete in mehrere Abschnitte unterteilte und logarithmierte Achse konnte in OpenOffice nicht erstellt werden. Als Alternative wurde ein gleichmäßiger Abstand von Beschriftungspunkt zu Beschriftungspunkt gewählt. Damit besitzt die X-Achse keine konsistente Skalierung.

7. Schlussfolgerungen

Die aufgezeigten Zusammenhänge weisen darauf hin, dass die derzeitige Beschaffenheit der Sohlsubstrate in den Gewässern *Hache* und *Hasenburger Bach* nicht als natürlich oder naturnahe gelten können. Ihre Gewässersohlen stellen hochgradig instabile Systeme dar, deren Entstehung nur durch massive Sedimenteinträge erklärt werden kann. Da das Erscheinungsbild dieser Gewässer denen vieler anderer im Norddeutschen Tiefland gleicht, ist davon auszugehen, dass die beschriebenen Wirkungsmechanismen weit verbreitet sind. Zukünftige Planungen zur Renaturierung von Fließgewässern sollten zwingend auf eine weitestgehende Entkopplung von natürlichen Systemen (im Längsverlauf der Bäche also möglichst bis zur Quelle) und künstlichen Systemen ausgerichtet sein. Bei einer flächendeckenden Umsetzung könnten so die Einträge von Feinsedimeten auf ein tolerierbares Maß herabgesetzt werden. Beispiele für entsprechende Maßnahmen sind u.a. bei Baade[85] zu finden.

Trotz der schädigenden Wirkung erhöhter Feinsedimentfrachten sind diese ebenfalls als Chance für konkrete Renaturierungsmaßnahmen wahrzunehmen. Am Beispiel der *Hache* wurde erläutert, dass durch die massiven Sedimenteinträge eine deutliche Sohlanhebung stattgefunden hat. Bevor der Sedimenteintrag durch entsprechende Maßnahmen gestoppt wird, sollte das derzeitige Niveau festgeschrieben, oder dort wo es möglich ist mithilfe weiterer Sedimentakkumulationen nochmals angehoben werden. Auf diesem Wege lassen sich sowohl die Feinsedimentfrachten für unterhalb liegende Strecken reduzieren, als auch vergleichsweise günstige Renaturierungsmaßnahmen an den Gewässern durchführen. Eine mögliche Form der Anwendung, der im Rahmen dieser Arbeit gewonnen Erkenntnisse soll folgend durch ein Schaubild erklärt werden. Anschließend werden Schlussfolgerungen für die untersuchten Gewässer skizziert.

85 Baade 1994

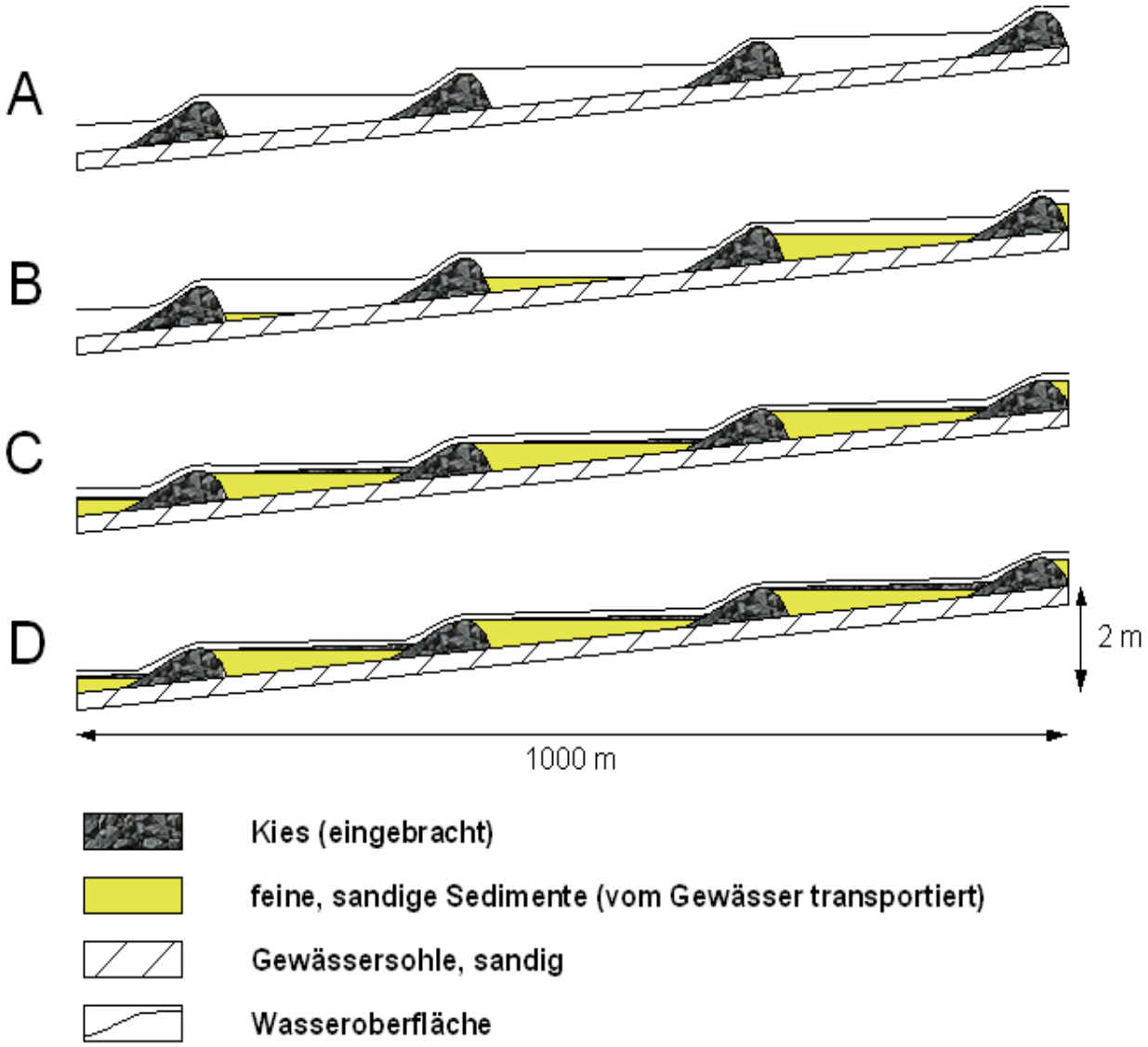


Abbildung 54: Kiesdämme in Staffelung. Die schematische Darstellung zeigt eine mögliche Anwendung der aus dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse innerhalb einer Renaturierungsmaßnahme. Ausgehend von einem eingetieften Gewässer mit labiler, sandiger Sohle, werden Dämme aus Kies eingebracht (A). In den dadurch entstehenden Akkumulationsräumen kann das feine, vom Gewässer transportierte Material sedimentieren (B und C). Es füllt den Akkumulationsraum solange, bis das Profil soweit eingeengt ist, dass die Strömung eine weitere Sedimentation feinen Materials nicht mehr zulässt. Von diesem Zeitpunkt an kann der gröbere Kies, für dessen Transport die Strömung nun ausreicht, über das feine Sediment wandern und so die Gewässersohle auf einem neuen, höher gelegen Niveau festlegen (C und D).

Die Abstände der Kiesdämme in Abbildung 52 sind idealer Weise so gewählt, dass die Stauwurzel jeweils bis zum nächsten Damm reicht. Von einer strukturellen Verbesserung der Gewässersohle und der Eindämmung typischer Probleme vertiefter Gewässer ist aber selbst bei nicht optimaler Durchführung auszugehen. Inwieweit es nötig sein kann, die Zugabe von Kies zu wiederholen, hängt vorwiegend vom vormaligen Gewässerprofil ab. Da zum Auffüllen der Akkummulationsräume erhebliche Mengen an Feinsediment nötig sind, kann das Funktionieren der vorgestellten Methode nur an Gewässern mit unnatürlich hohen Feinsedimentfrachten angenommen werden. Bei Maßnahmen über große Gewässerstrecken hinweg ist es sinnvoll das Einbringen der Kiesdämme von den untersten Gewässerabschnitten beginnend sukzessive entgegen der Fließrichtung vorzunehmen. Damit kann verhindert werden, dass das für die in Fließrichtung weiter unten liegenden Akkumulationsräume benötigte Material auf oberhalb liegenden Strecken zu-

rückgehalten wird.

Die gewonnenen Erkenntnisse über das Schichtungsverhalten der Sedimente können konkrete Hinweise zur Entstehung natürlicher Gewässerbetten geben. Darüber hinaus ermöglichen sie ein besseres Verständnis derzeitiger Gewässerstrukturen und erlauben Rückschlüsse über ihre Nähe zum natürlichen Zustand. Aufgrund der systematischen Ausbreitung von Kiesstrecken ist mit einiger Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass weite Teile unserer Gewässer von Kiesbetten dominiert waren, bevor der Mensch begonnen hat durch seine fortwährenden Eingriffe die natürlichen Strukturen nach und nach zurück zu drängen (vgl. Kapitel 1).

Maßnahmen an Hache und Nebengewässern

An der *Hache* konnte anhand der durchgeführten Untersuchungen gezeigt werden, dass die hohen Sedimentfrachten aller Wahrscheinlichkeit nach nicht durch das Gewässer selbst verursacht werden. Ihr Ursprung ist vielmehr in der Erosion auf landwirtschaftlichen Flächen und in den Gräben, die sie entwässern, zu suchen.

Um Einträge zukünftig zu verhindern, sollte eine Trennung der natürlichen Gewässer von ihren künstlichen beziehungsweise stark veränderten Zuläufen vorangetrieben werden. Dazu erscheint es unumgänglich, überall dort Sandfänge anzulegen, wo Einträge zu erwarten sind. Zu beachten ist dabei, dass gerade die Nebengewässer eine wichtige Rolle bei der Wiederbesiedelung der *Hache* durch fließgewässertypische Organismen spielen können.[86] In diesem Sinne sind sie in gleichem Maße von Feinsedimentfrachten frei zu halten wie die *Hache* selbst. Inwieweit erosionsmindernde Maßnahmen auf den Flächen durchsetzbar sind, kann nicht beurteilt werden, sollte aber im Sinne des Verursacherprinzips zumindest in Erwägung gezogen werden.

Im gleichen Maße wie die Verminderung der Einträge sind die Anhebung der Gewässersohle und das Einbringen von Hartsubstrat als Ziele zur nachhaltigen Etablierung der gewässertypischen Strukturen sowie der Unterbindung der derzeitigen stark ausgeprägten Ufererosion anzustreben. Nur die Verbindung der genannten Maßnahmen kann zu einer nachhaltigen Verbesserung des ökologischen Zustands der *Hache* und ihrer Nebengewässer führen.

Hasenburger Bach

Die hohen Sedimentfrachten des *Hasenburger Baches* konnten anhand der durchgeführten Untersuchungen nicht einwandfrei erklärt werden. Dies liegt vorwiegend an der nicht untersuchten Quantität der aus Nebengewässern eingetragenen Sedimente. Es ist sehr wahrscheinlich das Zusammenwirken von mehreren Faktoren als Ursache für erhöhte Einträge zu sehen. Sowohl die veränderten Abflussbedingungen durch Begradigungen und Vertiefungen im Gewässer und die nutzungsbedingte Entwässerung des Einzugsgebietes als auch die anthropogen veränderte Zusammensetzung der Böden im Talraum

86 Besonders an der Twillbeeke liegt es nahe, dass durch ihre strukturelle Vielfalt ein Rückzugsraum für Fließgewässerorganismen erhalten wurde.

des Baches sind als starke Beeinträchtigung zu werten. Gemeinsam bewirken diese Faktoren eine systematische Begünstigung von Sedimenteinträgen und Sedimenttransport.

Um dieser Tendenz entgegen zu wirken sind verschiedene Maßnahmen denkbar. Ganz allgemein sollte die Priorität in Analogie zu den Aussagen zur *Hache* in der Anhebung der Gewässersohle und dem Einbringen von Hartsubstrat liegen sowie in der weitestgehenden Entkopplung des natürlichen Gewässers von seinen künstlichen bzw. stark veränderten Zuläufen.

Konkret sollte dies bedeuten, dass zusätzliche Sandfänge in den Zuläufen errichtet werden. Weiterhin sollte überprüft werden, in wie weit stark von Erosion betroffene Ackerflächen einer besonderen Beobachtung zu unterziehen sind und dem Verursacherprinzip folgend Einzelmaßnahmen an diesen Flächen die Minderung erosionsbedingter Einträge erzielen können.

Dort wo bereits Sandfänge unterhalten werden, ist zu prüfen, ob deren Dimensionen ausreichend sind.

Eykbach

Wie bereits geschildert stellt der untersuchte Abschnitt des *Eykbachs* ein herausragendes Beispiel eines naturnahen Gewässers dar. Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustands, die über die derzeitigen Ansätze hinaus gehen, sind für diesen Teil des Gewässers derzeit nicht ersichtlich.

8. Zusammnefassung

Eine vollständige Klärung der Frage, woher die gemessenen Sedimentfrachten der untersuchten Gewässer im einzelnen kommen, ist auf der Grundlage der erhobenen Daten derzeit nicht möglich. Für die *Hache* konnte jedoch gezeigt werden, dass Seitenerosion bedingt durch die Zusammensetzung der im Talraum vorherrschenden Niedermoorböden eine eher untergeordnete Rolle spielen dürfte und Tiefenerosion zumindest für das Hauptgewässer nahezu auszuschließen ist. Die Korngrößenverteilung der Sedimente und Bodenproben aus Ackerflächen und Ufern lieferte keine verwertbaren Anhaltspunkte für die Herkunft der Sedimentfrachten im Bezug auf eine bestimmte Quelle. Dennoch zeigen die hohen Sedimentfrachten der Nebengewässer *Menninghäuser Beeke* und *Twillbeeke*, dass diese einen erheblichen Anteil an der Sedimentfracht des Hauptgewässers haben. In der Summe legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass die Gewässersohlen der *Hache* und des *Hasenburger Baches* hochgradig instabile Systeme darstellen, deren heutiges Niveau im Falle der *Hache* nur durch massive Sedimenteinträge aus der Fläche und den sie entwässernden Grabensystemen zu erklären ist. Am *Hasenburger Bach* ist aufgrund der flächenhaften Übersandung des Talraums und ausgeprägter Sandhorizonte in den Uferböden nicht auszuschließen, dass die aus Uferabbrüchen stammenden Sedimenteinträge einen weiteren erhebliche Anteil am Gesamtaufkommen der Sedimentfracht haben.

Maßnahmen zur generellen Reduzierung der Stoffeinträge sollten sowohl die Frachten der Nebengewässer als auch die Seitenerosion erfassen. Erreicht werden kann dies durch das Trennen künstlicher von natürlichen Gewässern durch Sandfänge sowie das Anheben der Gewässersohle.

Anhand von Sedimentkernproben konnte aufgezeigt werden, dass ein offenbar grundlegender physikalischer Mechanismus zu einer systematischen Anreicherung der gröbsten verfügbaren Sedimente im obersten Horizont der Gewässersohle führt. Kiese, die aus den Oberläufen der Gewässer stammen werden mit der Strömung in unterhalb liegende Gewässerabschnitte verfrachtet. Es ist anzunehmen, dass in Gewässern mit eigenem Alluvium oder Niedermoorkörper so Kiesstrecken entstehen können, obwohl die Böden der Uferbereiche nicht über entsprechende Kornfraktionen verfügen.

9. Ausblick

Die Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Arbeiten führen zu einer Reihe von offenen Fragen, welche weitere Forschungen erfordern:

(1) Die theoretischen Ansätze zum Schichtungsverhalten der Sedimente sollten durch die Erforschung weiterer Gewässer untermauert werden. Geeignet erscheinen dazu insbesondere Durchflussmoore, die nicht vom Menschen verändert wurden.

(2) Soweit möglich sollten Altarme der untersuchten Gewässer aufgesucht und auf historische Sedimentablagerungen untersucht werden, anhand derer Rückschlüsse auf die frühere Zusammensetzung der Gewässersohle gezogen werden können.[87] Dabei sollte das Alter der Sedimentschichten mittels Pollenanalyse bestimmt werden, um ein genaueres Bild der Genese der Gewässer zu erhalten.

(3) Das Einbringen von Kiesdämmen sollte versuchsweise auf kleiner Strecke erfolgen und durch begleitende Untersuchungen auf seine Wirksamkeit geprüft werden.

87 Vgl. Reschke-Lamprecht, Lamprecht 2004.

10. Literaturverzeichnis

Climate change 2007. Impacts, adaptation and vulnerabilityworking Group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC (2007). Cambridge, Mass.: Cambridge Univ. Pr.

Allan, J. D. (1995): Stream ecology. Structure and function of running waters. 1. ed. London: Chapman & Hall.

Altmüller, R. (2005): Erfolgskontrollen im Naturschutzgroßprojekt "Lutter" unter besonderer Berücksichtigung der Flussperlmuschel und einiger Fischarten. In: Nat.schutz Biol. Vielfalt, Jg. 22, S. 115–135.

Altmüller, R.; Dettmer, R. (1996): Unnatürliche Sandfracht in Geestbächen - Ursachen, Probleme und Lösungsmöglichkeiten - am Beispiel der Lutter. In: Inform. d. Naturschutz Niedersachs., Jg. 16, H. 5, S. 222–237.

Altmüller, R.; Dettmer, R.; Horny, N.; Ratzbor, G. (2006): Wiedereinbringun von Kies in Heidebäche und Erfolgskontrolle am Beispiel der Fischfauna. In: Inform. d. Naturschutz Niedersachs., Jg. 26, H. 4, S. 205–213.

Baade, J. (1994): Geländeexperiment zur Verminderung des Schwebstoffaufkommens in landwirtschaftlichen Einzugsgebieten. Heidelberg: Geograph. Inst. der Univ. Heidelberg (Heidelberger geographische Arbeiten, 95). Dissertation.

Becker, K.; Urban, B. (2006): Jungholozäne Umweltentwicklung und Landnutzungsgeschichte im Hardautal, Ldkr. Uelzen (südlich Lüneburger Heide). In: TELMA, S. 11–38.

Bo, T.; Fenoglio, S.; Malacarne, G.; Pessino, M.; Sgariboldi, F. (2007): Effects of clogging on streammacroinvertebrates: An experimental approach. In: Limnologica, Jg. 37, S. 186–192.

Caspers, G.; Elbracht, J.; Schwarz, C.; Streif, H. (2004): Lebensraum Niedersachsen: Geologie und Landschaftsgeschichte. In: Archäologische Mitteilungen aus Norddeutschland, H. Beiheft 42, S. 41–53.

Dickhaut, W.; Schwark, A. (2005): Fließgewässerrenaturierung heute. Forschung zu Effizienz und Umsetzungspraxis ; Abschlussbericht. Hamburg.

Dünkelberg, F. W. (1894): Der Wiesenbau in seinen landwirthschaftlichen und technischen Grundzügen. 3. Auflage. Braunschweig.

Easterbrook, D. J. (1999): Surface processes and landforms. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Reihe L 327. Luxemburg.

Grottian, T. (2004): Geschichte der Gemeinde Suderburg. Festschrift zum 1000-jährigen Jubiläum im Jahr 2004. Suderburg: Ed. anderweit.

Hand, B. M. (1997): Inverse grading resulting from coarse-sediment transport lag. In: Journal of Sedimentary Research, Jg. 67, H. 1, S. 124–129.

Hjulström, F. H. (1935): Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. Uppsala, (Repr. from Bulletin of the Geological Institution of Upsala, Vol. 25).

Johannsen, R. (2006): Ingenieurbiologie. Revitalisierung kleiner Fließgewässer im Berg- und Hügelland. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie (Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, 11.2006).

Kern, K.(1995): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung. Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. 1995. Berlin : Springer.

Kern, K. (1995b): Die geomorphologische Entwicklung und nachhaltige Bewirtschaftung von Fliessgewässern. In: Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, H. 10, S. 929–944.

Koenzen, U.: Tieflandgewässer im Tiefland früher und heute - Ausgewählte Aspekte der Flussgeschichte unter dem Einfluss des Menschen: Sommerhäuser, M.; Schuhmacher H. , S. 43–56.

Kuntze, H.; Roeschmann, G.; Schwerdtfeger, G. (1994): Bodenkunde. 188 Tabellen. 5., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB für WissenschaftGroße Reihe).

Küster, H. (1995): Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. Von der Eiszeit bis zur Gegenwart. München: Beck.

Lunt, I. A.; Bridge, J. S. (2007): Formation and preservation of open-framework gravel strata in unidirectional flows. In: SEDIMENTOLOGY, Jg. 54, H. 1, S. 71–87.

Madsen, B. L. (2006): Ocker - ein Gewässerproblem, gegen das wir einiges tun können. Übersetzung und Bearbeitung Tent, L. herausgegeben von der Edmund Siemers-Stiftung.

Mangelsdorf, J.; Scheurmann, K. (1980): Flußmorphologie. Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure ; mit 20 Tabellen. München: Oldenbourg.

McCullough, G. (2001): Transportation of Sediments from Rivers to Lakes. Processes and Numerical Modeling. Response to the Ph.D. Candidacy Examination Question.

Meyer-Jenin, M. (1982): Untersuchungen zur Bakterienverbreitung, deren Biomasse und heterotrophe Aktivität, in einem Waldbach der Lüneburger Heide. Diplomarbeit Universität Kassel.

Meynen, E. (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. [Tab.]. Bad Godesberg: Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung [Selbstverl.].

Müller-Westermeier, G. (1990): Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951-1980. Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst.

Naden, P.; Smith, B.; Jarvie, H.; Llewellyn, N. Matthiessen, P; Dawson, H.; Scarlett, P.; Hornby, D. (2003): Siltation in Rivers. A Review of Monitoring Techniques. Conserving Natura 2000 Rivers Conservation Techniques Series No. 6. Herausgegeben von English Nature.

Paola, C.; Parker, G.; Seal, R.; Sinha, S. K.; Southard, J. B.; Wilcock, P. R. (1992): Downstream Fining by selective Deposition an a labortory flume. In: Science, Jg. 258, H. 5089, S. 1757–1760.

Petts, G. E.; Foster, I. D. L. (1990): Rivers and landscape. 3rd impression. London.

Powell, D. M. (1998): Patterns and processes of sediment sorting in gravel-bed rivers. In: PROGRESS IN PHYSICAL GEOGRAPHY, Jg. 22, H. 1, S. 1–32.

Rasper, M.; Sellheim, P.; Steinhardt, B. (1991): Einzugsgebiete von Weser und Hunte. 1. Aufl., 1 - 2. Tsd. Hannover: Niedersächsächsisches Landesverwaltungsamt Fachbehörde für Naturschutz (Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, 25).

Reschke-Lamprecht, A.; Lamprecht, H. (2004): Überlegungen zur Renaturierung eines Heidebaches am Beispiel der Lachte vor Lachtehausen unter Berücksichtigung tierökologischer Aspekte. Diplomarbeit.

Reusch, H. (2004): Einführung in die Limnologie. Materialien zur Vorlesung. Skript zur Vorlesung „Einführung in die Limnologie“ SS 2004, unveröffentlicht.

Schmidt, K. H. (1984): Der Fluß und sein Einzugsgebiet. Hydrogeographische Forschungspraxis. Wiesbaden: Steiner (Wissenschaftliche Paperbacks Geographie).

Speth, S.; Böttger, K. (1993): Die substratspezifische Verteilung der Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera (Insecta) in einem sandigen Bach des Norddeutschen Tieflandes (Osterau, Schleswig-Holstein). In: Limnologica, Jg. 23, H. 4, S. 369–380.

Tent, L. (2005): Maßnahmen zur Verbesserung der Sohlstrukturen und zur Verringerung unnatürlicher Sandfrachten an der Este. In: NNA Berichte, Jg. 18, H. 1.

Zanke, U. (1982): Grundlagen der Sedimentbewegung. Mit 13 Tabellen. Berlin: Springer (Hochschultext).

Zanke, U. (2002): Hydromechanik der Gerinne und Küstengewässer. Für Bauingenieure, Umwelt- und Geowissenschaftler. Berlin: Parey.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern für ihre Liebe und ihr Vertrauen bedanken. Ohne Euch wäre ich weder auf dieser Welt noch hätte ich diese Arbeit schreiben können.

Ein besonderer Dank gilt natürlich meinen Betreuern Frau Urban und Herrn Altmüller, die durch ihre Offenheit und bereitwillige Hilfe maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Reusch möchte ich dafür danken, dass er mich im Laufe meines Studiums an das Thema dieser Arbeit herangeführt hat und zusammen mit Herrn Altmüller erste Verbindungen zu den untersuchten Gewässern und den für sie zuständigen Personen herstellte.

Herrn Kleingünther gilt besonderer Dank für seine herzliche Unterstützung bei der Beschaffung finanzieller Mittel, ohne die diese Arbeit nicht in diesem Umfang hätte stattfinden können sowie für seine stete Hilfsbereitschaft in allen Belangen rund um die Hache.

Die herzliche Gastfreundschaft und Hilfsbereitschaft der Familie Prüser ersparte mir viele einsame Nächte im Zelt und erfüllt mich noch heute mit tiefer Bewunderung und Dankbarkeit.

Des weiteren möchte ich meinen FreundInnen danken, die mich durch diese Zeit begleitet haben und mir durch ihre Hilfe im Gelände wie auch am Rechner vieles erleichterten.

Vielen Dank, Katrin, Kai, Gunnar, Marc-André, Robert, Basil, Jens, Ralf und Dany!

Die Niederschlagsdaten wurden von Herrn Petersen für Gödenstorf (Eykbach) sowie der Meteomedia AG für Syke (Hache) und Deutsch Evern (Haseburger Bach) kostenlos zur Verfügung gestellt. Dafür sei ihnen herzlich gedankt!

Den Angestellten der Klosterforsten Soltau, Herrn Friedrichs und Herrn von Waldthausen, danke ich für die überaus freundliche Zusammenarbeit und Unterstützung.

Familie Thörel möchte ich für ihre uneingeschränkte Unterstützung und Aufgeschlossenheit gegenüber mir und meiner Arbeit danken.

Des weiteren möchte ich danken: den Angestellten der Uni Lüneburg, Frau Wedi-Pumpe, Herrn Stengel, Herrn Meyer, Frau Hilmer und Herrn Baalhorn, den Mitgliedern der Gebietskooperation 23 Weser/Ochtum für die finanzielle Unterstützung, den MitarbeiterInnen des NLWKN Lüneburg Frau Kuckluck und Herrn Schütz, den Mitarbeitern des Hache-Hombach-Verbandes Herrn Neumann und Herrn Kranefoed, Herrn Ostermann und Herrn Hilmer vom Kreisverband der Boden- und Wasserverbände Uelzen, den MitarbeiterInnen des LBEG Frau Thiermann, Herrn Schäfer und Herrn Müller, den Angestellten des Landkreises Harburg, Herrn Gumz und Herrn Meyer, Herrn Baade, Herrn Salama und allen, die sich jetzt vergessen fühlen!