

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 49 (2008)
Heft: 1

Artikel: Ufererosion und Gerinneretention in kleinen Fließgewässern der Region Basel
Autor: Katterfeld, Christian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088289>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ufererosion und Gerinneretention in kleinen Fließgewässern der Region Basel

Christian Katterfeld

Zusammenfassung

In einer dreijährigen Feldstudie wurden zwei Bäche unterschiedlicher Landschaftsräume hinsichtlich ihres gewässerinternen Sediment- und Nährstoffhaushaltes untersucht. Vor dem Hintergrund langjähriger Bodenerosionsuntersuchungen im Schweizer Tafeljura lieferte die Bilanzierung der Ufererosion wertvolle Hinweise auf die oft unterschätzte Rolle des Gewässers als Sedimentquelle. Die Analysen verschiedener Bachquerprofile und die Untersuchung des Sedimentphosphors der Sohlsedimente zeigten, welche bedeutsame Rolle gerade diese kleinen Gewässer im Kontext der Sediment- und Nährstoffretention innehaben. Die Ergebnisse helfen, die Austragsdynamik besser zu verstehen, die eine wesentliche Grösse bei der Entwicklung von Emissionsmodellen darstellt.

1 Einleitung

Mit der Verlagerung des Forschungsschwerpunktes von den On-Site- zu den Off-Site-Schäden der Bodenerosion rückten die bachnahen Stoffquellen und -senken in das Zentrum der Untersuchungen des Geographischen Instituts der Universität Basel. Obwohl Vavruch (1988) und Prasuhn (1991) bereits auf die Bedeutung des Gerinnes verwiesen hatten, stand in den Untersuchungsgebieten des Schweizer Tafeljuras bisher vor allem die Retentionswirkung der Uferstreifen im Vordergrund. Die Arbeiten von Schneider (2007) und Weissheidinger (2007), welche sich detailliert mit der Wasser- und Stoffdynamik im Hotzenwald (Südschwarzwald) und im Länenbach (Schweizer Tafeljura) beschäftigen, zeigten jedoch, dass verschiedene Beobachtungen ohne die Kenntnis der Gerinneprozesse nur schwer erklärbar waren. Diese Wissenslücken erweisen sich als besonders problematisch, wenn die Austragsmessungen zur Bewertung von Erosionsmodellen wie z. B. von Hebel (2003) und Weibel (2005) genutzt werden. Da diese Modelle im Rahmen der Massnahmenkontrolle wichtige Instrumente zur Reduzierung der Nährstoffeinträge sind, stellt eine unzureichende und fehlerhafte Bewertungsgrundlage ein grosses Defizit dar.

Adresse des Autors: Dipl.-geogr. Christian Katterfeld, Geographisches Institut der Universität Basel, Klingelbergstr. 27, CH-4056 Basel

In der Literatur existieren verschiedene Ansätze, die Rolle der mechanischen und chemischen Sediment-Wasser-Interaktionen abzuschätzen. Die lateralen Einträge durch Seitenerosionsprozesse werden beispielsweise von *Lawler et al.* (1999) auf über 50 % der ausgetragenen Sedimentfracht bilanziert. Für das Länenbachtal errechnet *Prasuhn* (1991) einen *Sediment Delivery Ratio* (SDR) von 37 %, weist aber auch auf die Probleme hin, die sich aus der Verwendung dieser Funktion ergeben. So unterschätzt der SDR vor allem in trockenen Jahren massiv die erosionswirksamen Gerinneprozesse. *Seiberth et al.* (1997) vergleichen den Austrag von partikulärem organischem Kohlenstoff mit den Bodenerosionsereignissen im Länenbacheinzugsgebiet und folgern daraus, dass der dominante Anteil an partikulärer Fracht aus dem Gerinnebereich resultiert. *Lau-
bel et al.* (1999) kann das stoffliche Gewicht der Ufererosionsprozesse auch für die partikulären Phosphor- (P) Einträge bestätigen.

An der Bachsohle fungieren Sedimente als Filter und biochemische Reaktoren, weshalb die Analyse der dort auftretenden Stoffkonzentrationen einen integralen Einblick in die im Einzugsgebiet (EZG) dominierenden Nährstoffeinträge gibt. Dass dabei neben den diffusen auch die punktuellen Einträge nach wie vor eine bedeutende Rolle spielen, zeigen *Owens & Walling* (2001) anhand der P-Konzentration in den Sohlsedimenten verschiedener englischer Flüsse. Nach *Jarvie et al.* (2005) sind die punktuellen Einleitungen für die Gewässerökologie bedeutsamer als die diffusen Quellen. Sie kalkulieren anhand der *Equilibrium Phosphorus Concentration* (EPC₀; *House & Denison* 1998) die Speicherwirkung der Sohlsedimente unter wechselnden Stoffkonzentrationen im Oberflächenwasser. Die Autoren stellen fest, dass gerade unter den sensiblen Bedingungen der sommerlichen Niedrigwasserperiode das grösste Eutrophierungsrisiko von den punktuellen Quellen ausgeht. Gleichzeitig unterstreichen sie die Bedeutung der Gerinnesedimente als Nährstoffspeicher in dieser Periode.

2 Untersuchungsgebiete und Methoden

Die Untersuchungsgebiete befinden sich in naturräumlich konträren Mittelgebirgslandschaften (siehe Abb. 1). Im durch Kalk- und Tongesteine geprägten Länenbachtal (Schweizer Tafeljura) hat sich ein feinmaterialreicher, kalkiger Mittelgebirgsbach (Klassifikation nach *Briem* 2003) ausgebildet, der in seinem oberen Teil stark von Sinterbildungen geprägt ist. Der Mittel- und Unterlauf des einzigen Gewässerstranges hat sich abschnittsweise bis zu 5 m in die weichen Schichten des Opalinuston eingesnitten. Einen wichtigen Einfluss auf den Wasser- und Stoffhaushalt des EZG besitzt die grosse Drainageleitung, die im Mittellauf in den Bach einmündet und das nordwestliche Teileinzugsgebiet entwässert. Auch die Einträge zweier kleinerer Abwasserreinigungsanlagen (ARA), die in den Oberlauf bzw. die Drainageleitung münden, sind stofflich von Interesse.

Der Schneckenbach entwässert mit seinem grössten Nebenarm, dem Rüttebach, den nördlichen Teil des Bergsee-EZG, welches durch im 12. Jahrhundert angelegte Kanäle künstlich vergrössert wurde. Die Gewässer des in diesem Bereich ausschliesslich durch Wald- und Wiesen- bzw. Weidewirtschaft geprägten Hotzenwaldplateaus gehören zu den feinmaterialreichen silikatischen Mittelgebirgsbächen (*Briem* 2003). Ihre Sohle wird durch die sandig-grusigen Verwitterungsprodukte der anstehenden Granite und Gneise geprägt, dem so genannten *Bergelesand*. Die Gewässer der muldenförmigen, teilweise leicht vermoorten Täler besitzen natürlicherweise einen Wiesenbachcharakter mit mehreren Fliessrinnen und flachen Ufern. Nur der Mittellauf des Rüttebachs ist unterhalb einer grösseren ARA begradigt und in einem anmoorigen Substrat bis zu 1.5 m eingetieft. Einen Eindruck des unterschiedlichen Charakters der Bäche gibt Abbildung 2.



Abb. 1 Lage der Untersuchungsgebiete in der Region Basel. Der Schneckentbach und sein östlicher Seitenarm, der Rüttebach, sind Teil des Bergsee-EZG, das schon längere Zeit im Fokus der gewässerökologischen Forschung steht. Das Länenbach-EZG war einer der zentralen Schauplätze der langjährigen Bodenerosionsforschung am Geographischen Institut der Universität Basel.



Abb. 2 Schneckent- und Länenbach im Vergleich. Das linke Foto zeigt die Vermessung eines Querprofils im Schneckentbach. Auf dem rechten Foto sind die hohen Uferwände des Länenbachs zu sehen.

Fotos: Christian Katterfeld

Für die Erfassung der Seiten- und Tiefenerosion kamen nur Methoden in Frage, die im unwegsamen Gelände eine häufige und deshalb rasche Wiederholung der Messung erlaubten. Im Uferbereich wurde die Messung der Wandrückenverlegung mit Hilfe von *Erosionsnägeln* (Durchmesser: 10 mm, Länge 500 mm) durchgeführt. Die Methode ermöglicht auch die Erfassung des Verzahnungsbereichs von gravitativen Hang- und fluvialen Gerinneprozessen. Dabei konnten sowohl Erosion als auch Akkumulation gemessen werden. Es kamen insgesamt 99 Erosionsnägeln zum Einsatz, die in Gruppen von zwei bis drei Nägeln pro Anbruch angeordnet wurden. Die Veränderungen an der Bachsohle wurden über mehrere Querprofile erfasst, deren Messung mit Hilfe eines gelochten Vierkantprofils und einer Lotstange erfolgte.

Die Zusammensetzung der Sohlsedimente ist durch eine hohe zeitliche und räumliche Dynamik gekennzeichnet. Um repräsentative Aussagen über die Zusammensetzung des Sediments – sowohl chemisch als auch granulometrisch – treffen zu können, wurden ausgewählte Gerinnespeicher mehrfach beprobt. Die Beprobungen fanden schwerpunktmässig in den Sommermonaten der Jahre 2003 bis 2005 und im Frühjahr 2006 statt. Bei der Beprobung wurde darauf geachtet, das gesamte Spektrum der im Längsverlauf und im Gerinnequerschnitt bzw. in einem Gerinnespeicher vorkommenden Sedimente zu erfassen.

Als Referenz wurden in mehreren Kampagnen Ufer- und Bodenproben entnommen. Sediment- und Bodenproben wurden auf deren *Korngrössenzusammensetzung*, Gehalt an *Gesamt-, anorganischen* und *organischen Kohlenstoff, Stickstoff* (Wüthrich & Leser 2003) und folgende *P-Fraktionen* untersucht: Der *biologisch verfügbare P* (BAP) entspricht nach Hort et al. (2001) dem durch Ammoniumlactat extrahierbaren P_2O_5 -P. Als *Gesamt-P* (TP_{sed}) wird der durch eine Kalium-Natriumnitrat-Schmelze und Lösung in heissen Mineralsäuren aufgeschlossene PO_4 -P bezeichnet (die Konzentrationsangaben beziehen sich im Folgenden nur auf den Feinmaterialanteil < 2 mm).

Die hydrologischen Messungen basieren zu grossen Teilen auf den von Schneider (2007) und Weisshaidinger (2007) vorgestellten Methoden, Instrumenten und Intervallen. Die an den insgesamt sieben Pegelstationen gewonnenen Proben wurden auf *pH, Leitfähigkeit, Schwebstoff* (SS), *gelösten reaktiven P* (DRP) (Murphy & Riley 1962), *Gesamt-P* (TP) und *gelösten Gesamt-P* (DP) (Höll 2002, Wüthrich & Leser 2003) analysiert. Rücklöseversuche mit Gerinne- und Ufersedimenten unter variierenden Bedingungen sowie die Ermittlung des EPC_0 (nach House & Denison 1998) stellten die Verbindung zwischen Sediment- und Wasser-P-Konzentrationen her.

3 Ergebnisse

3.1 Ufererosion

Die Ausmasse der Seitenerosion sind abhängig vom Ufermaterial, welches Uferform, -höhe und -stabilität entscheidend beeinflusst. Die Messungen und Beobachtungen zeigen, dass die flachen, stark verkrauteten Ufer der Hotzenwaldbäche kaum erosionsanfällig sind. Ausnahme bildet der anthropogen beeinflusste Abschnitt im Mittellauf des Rüttebachs, der jedoch keine höheren Rückverlegungsraten, sondern nur aufgrund der grösseren Wandfläche höhere Materialverluste aufweist. Im Länenbach wechseln Uferhöhe und -aktivität, wie Abb. 3 deutlich zeigt.

Die Klassifikation der Uferstabilität stellt einen zentralen Schlüssel in der Bilanzierung der Materialverluste dar. Die Aktivitätsgrade wurden anhand der Ergebnisse der Wandrückverlegung pro Uferanbruch festgelegt (arithmetisches Mittel \pm Standardabweichung) und visuell auf die restlichen Uferbereiche übertragen. Die Rückverlegungsraten pro Anbruch sind in Abb. 4 für beide Untersuchungsgebiete dargestellt. Obwohl die Raten in beiden Gebieten ähnliche Werte auf-

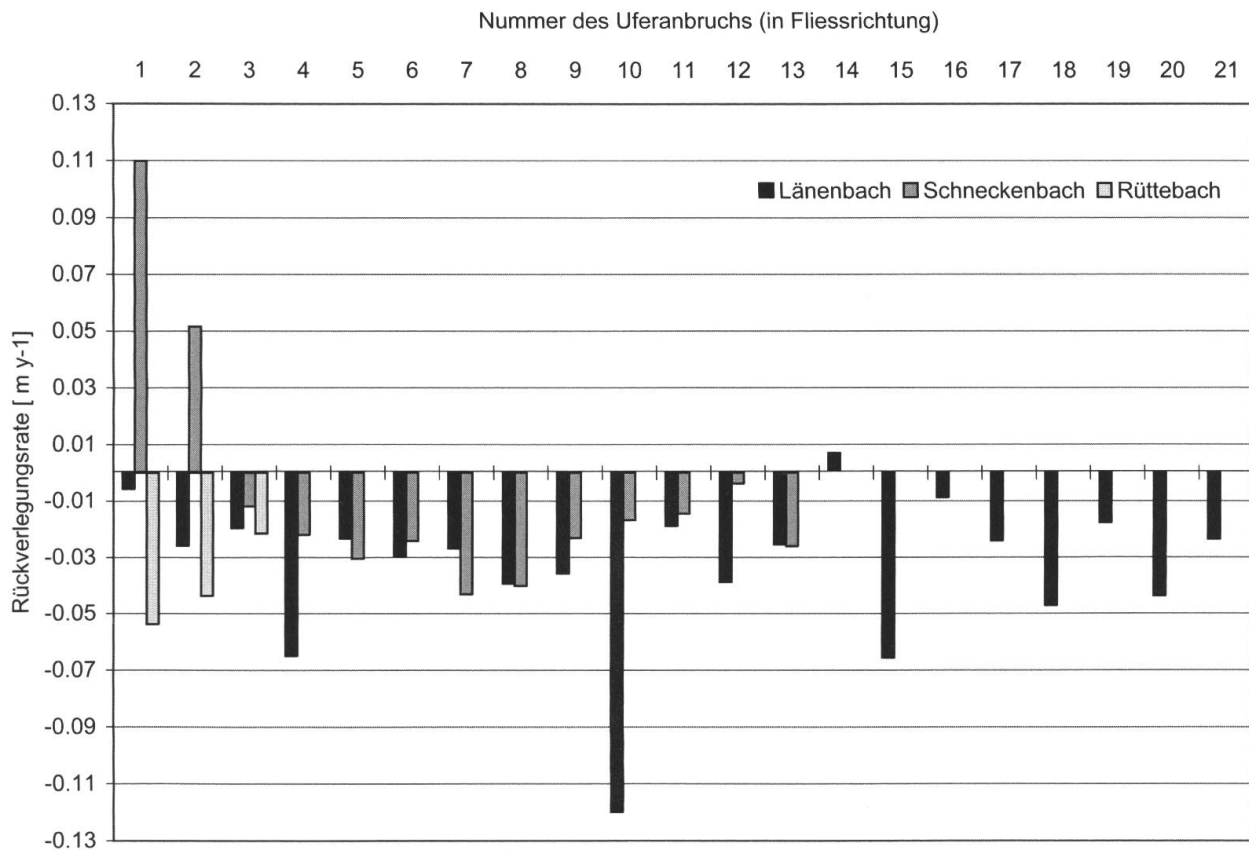


Abb. 3 Rückverlegungsraten der Uferanbrüche der untersuchten Bäche. Die auffälligen positiven Raten des Schneckenbachs lassen sich auf anthropogen vergrößerte und übersteilte Uferanbrüche im Bereich eines Teichumlaufs zurückführen. Die Werte sind, trotz der unterschiedlichen Substrate und Prozessabläufe, erstaunlich ähnlich. Im Länenbach werden die Uferwände durch Denudationsprozesse geprägt; in den Hotzenwaldbächen dominiert dagegen das Abbrechen kompakter Uferschollen an fluvial unterschrittenen Uferwänden.

weisen, sind die Prozesse, die die Uferwände formen, grundverschieden. Die Länenbachufer sind von einer denudativen Rückverlegung gekennzeichnet, die besonders während der Trockenperiode visuell und akustisch erlebbar ist. Dann rieselt das feine, in kleinen Aggregaten gebundene Material die Uferwände hinunter, um am Wandfuss zu akkumulieren. Dabei bleiben die Uferwände auch bei grösseren Hochwassern in ihrer Form erhalten und nur vereinzelt konnten grössere, frische Anbrüche beobachtet werden, die meist mit der Entwurzelung von Ufergehölzen in Verbindung standen.

Im Schneckenbach sind die Uferwände kaum für denudative Prozesse anfällig. Das dunkle, anmoorige Substrat bildet häufig fast senkrechte Uferwände aus, die von einer überhängenden Moos- und Krautschicht vor physischen Einwirkungen oberhalb der Wasserlinie geschützt werden. Unterhalb des Wasserspiegels zeigen sich dafür die Spuren fluvialer Kräfte sehr deutlich: Viele Uferwände sind bis zu einem halben Meter unterhöhlt. Das Einstürzen dieser Ufer wurde vor allem in und nach den Wintermonaten beobachtet und ist auf die Destabilisierung durch Frostwechselprozesse zurückzuführen. Diese Prozesse sind durch Erosionsnägel nicht zu erfassen, so dass bei der Bilanzierung der Ufererosion für die Hotzenwaldbäche mit grösseren Unsicherheiten zu rechnen ist.

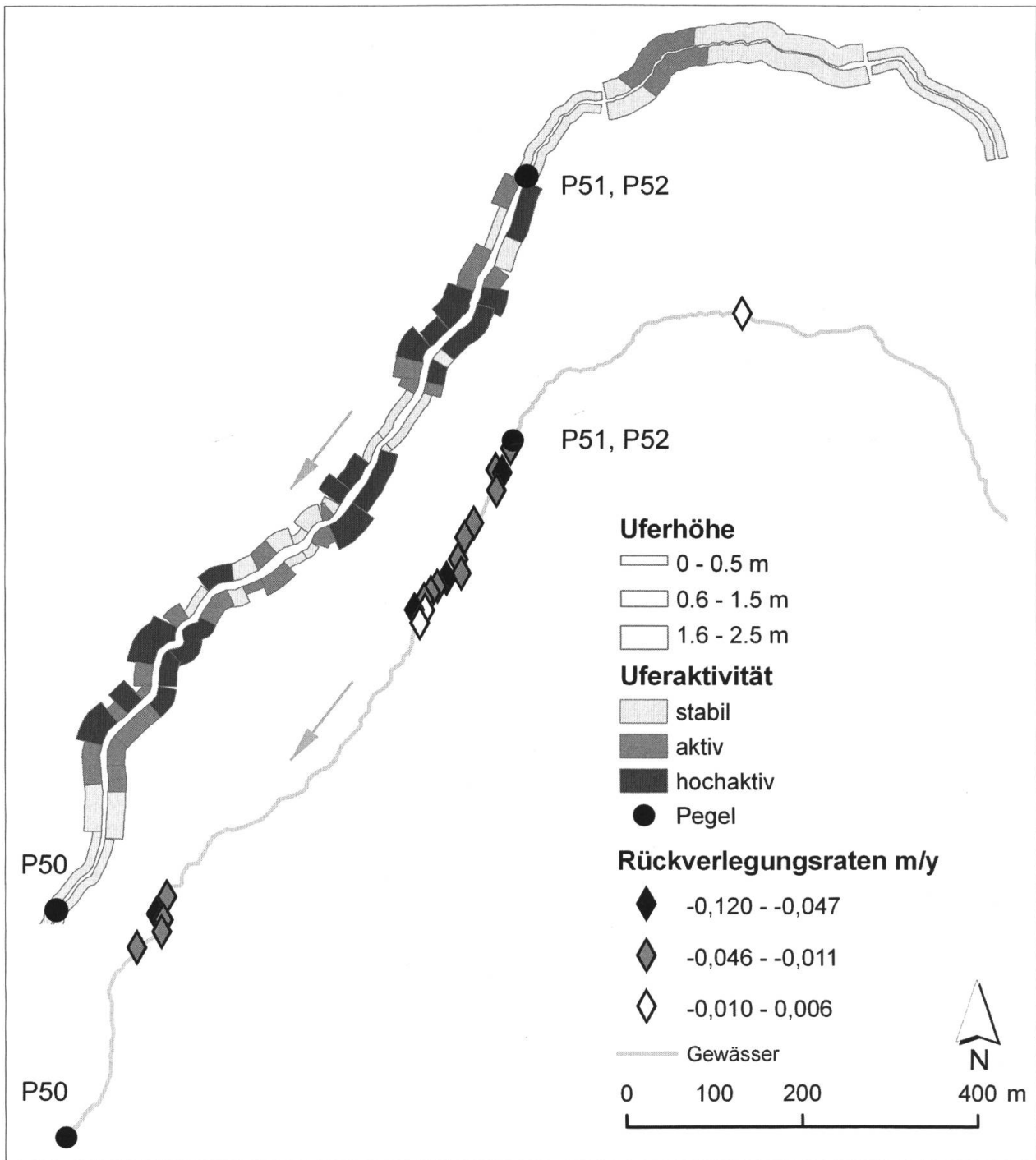


Abb. 4 Seitenerosion entlang des Länenbachs. Über die Klassifikation der Uferhöhen und -aktivität (oben) wurden die mit Hilfe von 61 Erosionsnägeln an 21 Uferanbrüchen gemessenen Rückverlegungsraten (unten) auf den gesamten Bachverlauf projiziert. (Kartographie: Christian Katterfeld)

Tab. 1 Mittlerer P-Eintrag durch Seitenerosion im Länenbach- und Schneckenbach-EZG. Unterschiede im Feststoff- und P-Eintrag sind insbesondere durch die Grösse der Uferanbruchsfläche bedingt.

	Länenbach	Schneckenbach
Datum erste Messung	01.03.2004	29.04.2004
Datum letzte Messung	07.12.2005	07.12.2005
Anzahl Erosionsnägel / Messung	61 / 11	39 / 8
Mittel \pm Stabw [m y^{-1}]	-0.028 ± 0.017	-0.013 ± 0.04
Feststoffeintrag [$\text{m}^3 \text{y}^{-1}$]	-81.5	-7.7
Eintrag pro Meter Gewässer [$\text{m}^3 \text{m}^{-1} \text{y}^{-1}$]	0.037	0.001
Feststoffeintrag [t y^{-1}]	-84.8	-5.5
BAP Mittel \pm Stabw [mg kg^{-1}]	11 ± 37.7	10.2 ± 6.3
TP _{Sed} Mittel \pm Stabw [g kg^{-1}]	0.8 ± 0.3	0.6 ± 0.2
BAP Eintrag in [kg y^{-1}]	0.93	0.01
TP _{Sed} Eintrag in [kg y^{-1}]	67.8	3.3
TP _{Sed} Eintrag pro Uferfläche [$\text{kg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$]	156.3	10.9

Wie Tab. 1 zeigt, weisen die untersuchten Bäche sowohl von Seiten der Rückverlegung als auch von Seiten der P-Gehalte der Ufersedimente ähnliche Grössenordnungen auf. Die markanten Unterschiede der Feststoff- und P-Einträge werden weniger durch differierende Rückverlegungs-raten oder P-Gehalte als durch die beim Länenbach wesentlich grössere Uferanbruchsfläche verursacht. Für den Stoffhaushalt dieser kleinen Fließgewässer sind neben der Menge auch die Mechanismen der Speicherung und Aktivierung des Ufermaterials an der Bachsohle von Bedeutung. Diese sind in Abhängigkeit vom Ufersubstrat unterschiedlich ausgebildet. Im Länenbach konnte oftmals eine Verfestigung des lockeren Materialverbunds am benetzten Wandfuss beobachtet werden, so dass bei mittleren Hochwassern nur die obersten Schichten aktiviert wurden. Diese Beobachtung wird von den Querprofilvermessungen gestützt, die in den trockenen Jahren 2003 und 2004 deutlich stärker von Akkumulation als von Erosion gekennzeichnet waren.

Auch in den Hotzenwaldbächen werden die abgebrochenen Uferschollen nur langsam vom fließenden Wasser aufgelöst und bleiben als Strömungshindernisse oftmals über einen längeren Zeitraum auf der Sohle erhalten.

3.2 P-Speicherung an der Sohle

Neben dem an Feststoffe gebundenen P werden an der Sohle auch P-Anteile gespeichert, die als gelöste Phase in das Gewässer gelangen. Besonders deutlich zeigt sich dieses Retentionsvermögen in der räumlichen Verteilung der P-Gehalte der Gerinnesedimente im Rütte- und Länenbach (Abb. 5 und Abb. 6).

Die P-Gehalte sind im Gegensatz zu den Ufersubstraten nicht vergleichbar. Die mittleren BAP- und TP_{Sed}-Gehalte liegen im Rüttebach bei 80 und 920 mg kg^{-1} , im von Kläranlagen nicht beeinflussten Schneckenbach dagegen nur bei 27 und 310 mg kg^{-1} . Insgesamt liegen damit vor allem die BAP-Werte um ein Vielfaches höher als im Länenbach (9 mg kg^{-1}), wobei sich die mittleren TP_{Sed}-Gehalte mit 860 mg kg^{-1} wieder auf dem Niveau vom Rüttebach bewegen. In beiden Untersuchungsgebieten variieren die Sediment-P-Gehalte räumlich und zeitlich sehr stark und sind in Abhängigkeit von punktuellen Nährstoffquellen von einer deutlichen P-Anreicherung in den sommerlichen Trockenperioden bzw. längeren Trockenjahren gekennzeichnet.

Welche Aufnahmekapazität die Sedimente besitzen und in welchem Masse eine P-Rücklösung möglich ist, wurde in Laborversuchen geprüft. Tab. 2 stellt die mittleren Rücklösemengen und die parallel ermittelten EPC₀-Werte dar.

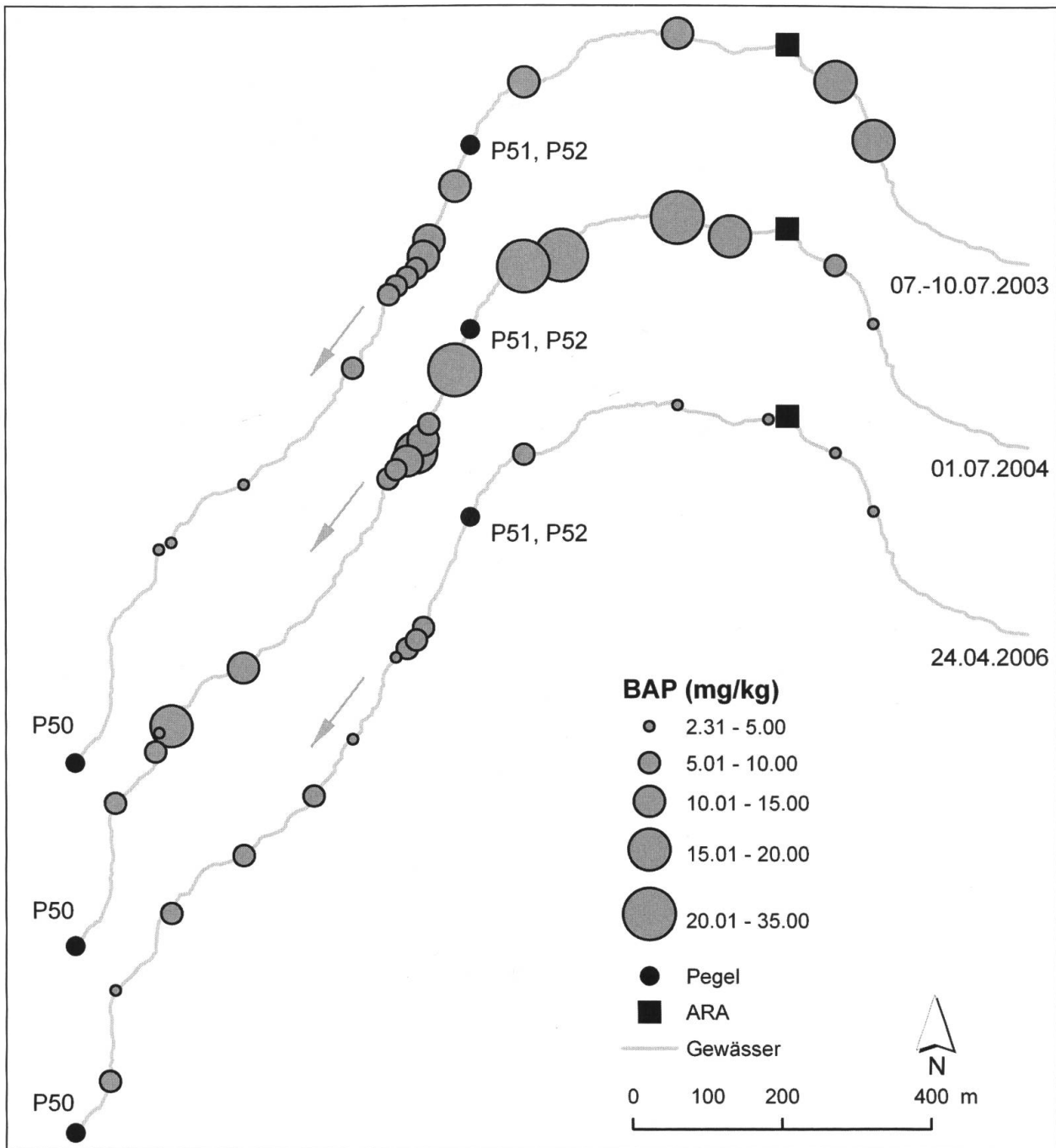


Abb. 5 Verteilung der biologisch verfügbaren P-Konzentration (BAP) in den oberflächennahen Sohlsedimenten des Länenbachs zu drei ausgewählten Zeitpunkten. Zwei Entwicklungen sind besonders auffällig. Zum einen kam es zwischen den extrem trockenen Sommern 2003 und 2004 (oben und Mitte) zu einer markanten P-Anreicherung unterhalb der Kläranlage *Spycherhof* und dem Drainageeinlauf P51, P52. Zum anderen spiegelt die Beprobung im Frühjahr 2006 (unten) die Einflüsse des Hochwassers vom 10.04.2006 wider, das markante Veränderungen im Gerinne hinterliess. Zudem führt der erhöhte Nährstoffverbrauch der Primärproduzenten in dieser Jahreszeit zu einer Verringerung der Sedimentkonzentrationen. (Kartographie: Christian Katterfeld)

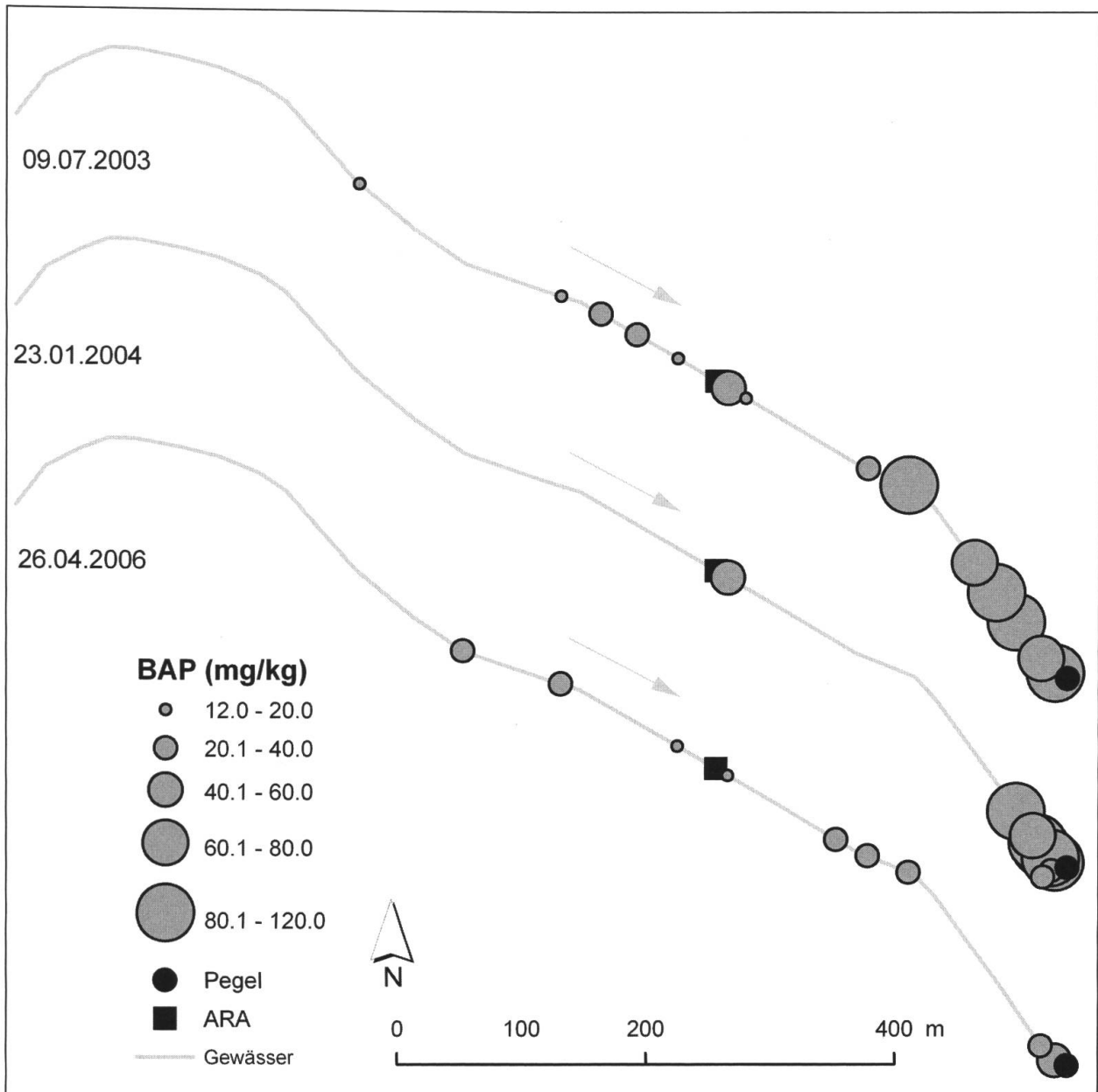


Abb. 6 Verteilung der biologisch verfügbaren P-Konzentration (BAP) in den oberflächennahen Sohlsedimenten des Rüttebachs zu drei ausgewählten Zeitpunkten. Der Vergleich zum Länenbach (Abb. 5) zeigt bemerkenswerte Parallelen zur räumlichen und zeitlichen P-Verteilung – besonders unter dem Gesichtspunkt der Kläranlageneinträge. Zu beachten sind die unterschiedlichen Dimensionen der P-Gehalte in den Legenden. (Kartographie: Christian Katterfeld)

Tab. 2 Mittlere P-Rücklösung und die EPC_0 -Werte für die Gerinnesedimente des Länenbachs und der Hotzenwaldbäche. Obwohl die Sedimente des Rüttebachs die höchsten BAP-Werte besitzen, ergeben die Rücklösungsexperimente nur recht geringe Werte. Dem stehen wiederum die hohen EPC_0 -Werte gegenüber, die auf eine späte P-Bindung bei hohen Konzentrationen im Freiwasser hinweisen.

	Länenbach	Schneckenbach	Rüttebach
BAP Mittel [$mg\ kg^{-1}$]	5.90	25.00	32.42
TP_{Sed} Mittel [$g\ kg^{-1}$]	0.72	0.29	0.53
Mittlere Rücklösung [$mg\ kg^{-1}$]	0.62	0.58	0.41
EPC_0 [$mg\ l^{-1}$]	0.09	0.49	1.30

4 Diskussion und Fazit

Die durch die Ufererosion verursachten Feststoffeinträge sind im Rahmen der Gebietsaustragsmessung in beiden EZG kritisch hinterfragt worden. Sie liegen jedoch im internationalen Vergleich in einem absolut plausiblen Rahmen. Beispielsweise ermitteln *Laubel et al. (2000)* für 15 kleine dänische Flachlandgewässer Ufererosionseinträge von 0.023 m^3 pro Meter Gewässer bzw. Rückverlegungsraten zwischen 0.002 und 0.017 mm y^{-1} . Auf dieser Grundlage beziffern *Laubel et al. (2003)* den uferbürtigen Anteil der Schwebstofffracht (SS) auf 40-70 % und 15-40 % der Gesamt-P-Fracht (TP).

Die gemessenen Einträge durch Ufererosion erklären die von *Schneider (2007)* und *Weisshaidinger (2007)* bilanzierten Gebietsausträge nur im Länenbachtal. Im Jahr 2004 sind im Länenbach die Austräge von SS (20.8 t y^{-1}) und TP (21.6 kg y^{-1}) deutlich niedriger als die Einträge durch Ufererosion. Im gleichen Zeitraum wird an der Gewässersohle deutlich mehr Akkumulation festgestellt, was die Differenzen erklärt. Im Schneckebach ist die Lage anders. Hier machte im Jahr 2004 der Uferertrag nur einen sehr geringen Anteil der hohen TP-Austräge (403 kg y^{-1}) aus. Vor dem Hintergrund einer gesteigerten Belastung durch punktuelle Quellen ist jedoch auch hier die Nährstoffretention im Gerinne von grosser Bedeutung. Aus diesem Prozess resultiert bei Trockenwetterabflüssen eine Zunahme der P-Gehalte in den Sedimenten, die auch die Austragsdynamik während Hochwasserereignissen beeinflusst. Dann führen die mit den Sohl-sedimenten remobilisierten Nährstoffe zu einem extremen Anstieg der TP-Konzentration im Freiwasser. Diese Erkenntnis ist für die Interpretation der Nährstoffausträge von grosser Wichtigkeit, denn sie zeigt, dass punktuelle Direkteinträge ebenfalls mit einer diffusen Signatur ausgetragen werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Ufererosion und Gerinnespeicherung weisen auf die grosse stoffhaushaltliche Bedeutung der Gewässer im Landschaftshaushalt hin. Im Kontext einer sich verändernden Landnutzung können mit solchen Untersuchungen Verbindungen und Unterschiede zwischen gemessenen Austrägen und modellierten Bilanzen genauer erklärt werden. Sie zeigen auch, dass es für eine Weiterentwicklung der Nährstoffemissionsmodelle notwendig ist, die Prozesse und die Prozesskopplung von Gerinne, Ufer und EZG in einem gestuften Ansatz zu berücksichtigen.

Literatur

- Briem E. 2003. *Gewässerlandschaften der BRD*. ATV-DVWK (Hrsg.) Hennef. 1–293.
- Hebel B. 2003. *Validierung numerischer Erosionsmodelle in Einzelhang- und Einzugsgebieten*. Physiographica, Basler Beiträge zur Physiographie 32, Basel, 1–181.
- Höll K. 2002. *Wasser – Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung*. Berlin, 1–235.
- Hort R., Gupta S., & Häni H. 2001. *Methodenhandbuch für Boden-, Pflanzen- und Lysimeterwasseruntersuchungen*. Schriftenreihe FAL 27: 1–228.
- House W.A. & Denison F.H. 1998. Phosphorus dynamics in a lowland river. *Water Research* 32: 1819–1830.
- Jarvie H.P., Jürgens M.D., Williams R.J., Neal C., Davies J.J.L., Barrett C. & White J. 2005. Role of river bed sediments as source and sinks of phosphorus across two major eutrophic UK river basins: the Hampshire Avon and Herfordshire Wye. *Journal of Hydrology* 304: 51–74.
- Laubel A., Svendsen L.M., Kronvang B. & Larsen S. E. 1999. Bank erosion in Danish lowland streams. *Hydrobiologia* 410: 279–285.
- Lawler D.M, Grove J.R, Couperthwaite J.S and Leeks G.J.L. 1999. Downstream change in river bank erosion rates in the Swale-Ouse system, northern England. *Hydrological Processes* 13: 997–992.
- Murphy J. & Riley J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chim. Acta* 27: 31–36.
- Prasuhn V. 1991. *Bodenerosionsformen und -Prozesse auf tonreichen Böden des Basler Tafeljura (Raum Anwil, BL) und ihre Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt*. Physiographica, Basler Beiträge zur Physiographie 16, Basel, 1–372.

- Owens P.N. & Walling D.E. 2001. The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized basins. *Water Research* 36: 685–701.
- Schneider P. 2007. *Hydrologische Vernetzung und ihre Bedeutung für diffuse Nährstoffeinträge im Hotzenwald/Südschwarzwald*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie 36, Basel, 1–179.
- Seiberth C., Schaub D. & Wüthrich C. 1997. Gelöster und partikulärer Kohlenstoff als Indikator des Erosionsgeschehens im Oberbaselbieter Tafeljura. *Regio Basiliensis* 38/3: 205–215.
- Vavruch S. 1988. *Bodenerosion und ihre Wechselbeziehungen zu Wasser, Relief, Boden und Landwirtschaft in zwei Einzugsgebieten des Basler Tafeljura*. Basler Beiträge zur Physiogeographie 10, Basel, 1–338.
- Weibel M. 2005. *Verifikation von Erosion 3D durch Berechnung von Oberflächenabfluss und Sedimentaustrag und Korrelation mit Messdaten im Länenbachtal (BL)*. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Basel. 1–76. [als Manuskript vervielfältigt]
- Weisshaidinger R. 2007. *Schwebstoff- und Phosphordynamik in agrarisch genutzten Landschaftsökosystemen*. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Basel. 1–126.
- Wüthrich C. & Leser H. 2003. *Geoökologischer Laborkurs – Das Handbuch zum Kurs*. Geographisches Institut Basel, Basel, 1–115. [als Manuskript vervielfältigt]

