

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 40 (1999)
Heft: 3

Artikel: Bodenerosionsforschung in der chorischen Dimension : Schwebstoffe, Sedimentmuster und Bodenerosion
Autor: Seiberth, Christoph
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088515>

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: 15.04.2026

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

Bodenerosionsforschung in der chorischen Dimension

Schwebstoffe, Sedimentmuster und Bodenerosion

Christoph Seiberth

Zusammenfassung

Da über den Erosionsprozess und Stoffhaushalt in chorischer Dimension (auf Einzugsgebietsebene) noch wenig bekannt ist, versuchen die aktuellen Forschungsarbeiten der Forschungsgruppe Bodenerosion Basel (FBB) die erosionsrelevanten Prozesse auf Einzugsgebietsebene besser zu verstehen. Dabei zeigte sich, dass erodiertes Material vielmals nicht direkt ereignisbezogen von der erosionbetroffenen Fläche in den Vorfluter eingetragen, sondern meist zwischenakkumuliert und erst bei folgenden Ereignissen remobilisiert und ausgetragen wird. Es zeigte sich auch, dass Stoffumlagerung über weite Strecken fast ausschliesslich in präferentiellen Fliesspfaden stattfindet. Die Ausprägung und Lage der präferentiellen Fliesspfade und Landschaftselemente mit Retentionspotential ist daher für den Erosionsprozess und Stoffhaushalt in chorischer Dimension von entscheidender Bedeutung und der effektive Materialverlust wird stark durch die Anbindung erosionsbetroffener Flächen an die präferentiellen Fliesspfade und das Vorflutersystem beeinflusst. Erst die genaue Kenntnis über das Verhalten der Stoffe entlang der Fliesspfade macht es letztendlich möglich, effiziente Erosionsschutzmassnahmen zu ergreifen, einen maximalen Rückhalt von Nährstoffen auf den Ackerflächen zu erreichen und den unerwünschten Eintrag von Nährstoffen in Gewässerökosysteme zu minimieren. Vergleiche von Stoffaustragsmustern gelöster und partikulärer Stoffe im Vorflutersystem ermöglichen es hierbei, anhand stoffhaushaltlicher Daten Rückschlüsse auf die Stoffquellen, die Austragspfade und das Verhalten der Stoffe zu ziehen.

Adresse des Autors: Christoph Seiberth, Geographisches Institut der Universität Basel, Abteilung Physiogeographie und Landschaftsökologie, Spalenring 145, CH-4055 Basel

1 Einleitung

Angeregt durch das Interesse an den Auswirkungen von Klimaveränderungen wird die Wichtigkeit von langfristigen Untersuchungen zum Bodenabtrag, zur Bodenverlagerung und Dynamik sedimentgebundener Schad- und Nährstoffe auf regionaler und Einzugsgebietsebene immer wieder betont (Garbrecht et al. 1995). Daher versucht die aktuelle Bodenerosionsforschung, Wissenslücken zwischen dem Stoffhaushaltsgeschehen topischer (Ackerfläche) und chorischer Dimension (Einzugsgebiet) zu füllen. Dabei zeigte sich, dass auch auf scheinbar einheitlich geneigten Hangabschnitten, auf welchen flächenhafte Erosion dominieren sollte, der oberflächliche Abfluss in präferentiellen Fliesswegen stattfindet (Hergarten & Neugebauer 1996). Traktorspuren, Rillen, Gräben, Ackerrandfurchen, Strassen und andere lineare Landschaftselemente stellen solche präferentiellen Fliesspfade dar und sind Leitlinien für Feststoffumlagerung über weite Strecken (Abb. 1). Im Gegensatz dazu sind Hecken, Gras- und Uferstreifen sowie ökologische Ausgleichsflächen Landschaftselemente, die ein hohes Retentionspotential für erodiertes Material besitzen (Schaub et al. 1997, Abb. 2).



Abb. 1
Erosiver Oberflächenabfluss folgt präferentiellen Fliesspfaden (hier: Traktorspur als Leitlinie und Akkumulation von verlagertem Bodenmaterial im Vordergrund).



Abb. 2 Eine von Rillenerosion betroffene Ackerfläche und der Übertritt des Oberflächenabflusses in den angrenzenden Grasstreifen. Ein Teil des erodierten Materials wird vom angrenzenden Grasstreifen zurückgehalten (Retention).

Das neue schweizerische Umweltschutzgesetz beinhaltet unter anderem, dass ein maximal zulässiger Bodenabtrag nicht überschritten und die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion nicht gefährdet werden darf. Dem Vollzug stehen zur Bestimmung des Abtrages auf der USLE (Universal Soil Loss Equation) basierende Instrumentarien zur Verfügung, welche eine Abschätzung der Erosionsgefährdung aus statischen Merkmalen erlauben (*Dräyer 1996, Mosimann & Rüttimann 1997, Schaub & Prasuhn 1998, Leser et al. 1998*). In vielen Beiträgen über Bodenerosionsmodellierung wurde jedoch darauf hingewiesen, dass mit einfachen empirischen Ansätzen auf der Basis der USLE zwar die langjährige Erosionsgefährdung qualitativ abschätzbar ist, jedoch keine Aussagen über Reichweite, Fließstrecke und Menge der Feststoffumlagerung gemacht werden können. Die sinnvolle Analyse von Einzelereignissen kann nur durch dynamische, deterministische Erosionsmodelle erfolgen, welche die relevanten Prozesse Bodenablösung, -transport und -sedimentation mit physikalischen Beziehungen beschreiben (siehe hierzu auch den Beitrag von *Meier-Zielinski* in diesem Heft). Zudem kann die Berechnung von langjährigen mittleren Abträgen dem “low frequency – high magnitude” Charakter der Bodenerosion nicht gerecht werden, da Feststoffverlagerung über weite Strecken nur bei den selten auftretenden Extremereignissen erfolgt.

Auch im Bereich Gewässerschutz der neuen Landwirtschaftspolitik (*Schweizerischer Bundesrat 1996*) sind die Probleme der nachhaltigen Bodennutzung und der Verminderung der Bodenerosion Diskussionspunkte. So darf zur IP-Anerkennung (Art. 31 b LWG alt, resp. Art. 7 DZV neu) ein 3 m breiter Streifen entlang des Gewässerlaufes (“Uferstreifen”) nur extensiv genutzt werden, wodurch eine Verminderung der diffusen Stoffeinträge in die Gewässerökosysteme erhofft wird

(Braun et al. 1997). Prasuhn (1991) und Mosimann et al. (1991) schätzten für unsere Untersuchungsgebiete den Anteil des Abtrages, welcher letztlich bis in den Vorfluter gelangt (sediment delivery ratio [SDR]), auf rund 20 % des ursprünglichen Abtragsvolumens. Demnach werden die restlichen 80 % auf dem Acker, den angrenzenden Schlägen und entlang der Fliesspfade abgelagert. Diese Zwischenablagerungen können wegen geringer kohäsiver Bindung bei späteren Ereignissen relativ einfach wieder mobilisiert werden (Hairsine et al. 1992), vor allem bei Oberflächenabfluss durch gering erosiven Niederschlag ("clear-water effect").

Seit 1975 wird von der Abteilung Physiogeographie des Geographischen Institutes Basel in geoökologisch unterschiedlich ausgestatteten Untersuchungsgebieten das Erosionsgeschehen quantitativ und qualitativ erfasst. Kontinuierliche Forschungsarbeit findet in den beiden Untersuchungsgebieten "Hochrhein" und "Jura" statt.

Ausgangspunkt der aktuellen Forschungsarbeiten sind die Ergebnisse unserer langjährigen Bodenerosionsforschung, nach welchen der Beitrag der Bodenerosion am Feststoffgebietsaustrag im Tafeljura nur gering ist, während von den lössbedeckten Hochterrassen des Möhliner Feldes (Hochrheintal) der Grossteil des Abtrags über die Grenzen der betroffenen Ackerschläge hinaus weiter verlagert wird (Tab. 1). Da zudem die Abtragsraten auf den Ackerschlägen des Möhliner Feldes deutlich höher sind als im Tafeljura, ergibt sich, in Bezug auf den Austrag von Erosionsmaterial, ein markanter Unterschied der beiden Gebiete (Schaub et al. 1997).

Die aktuellen Forschungsprojekte versuchen, unter spezieller Berücksichtigung der Fliesspfade und Landschaftselemente mit Retentionspotential, das unterschiedliche Verhalten der beiden Gebiete auf Mess- und Modellebene zu erklären. Als Indikatoren für die Feststoffverlagerungen anerbieten sich Elemente, die an feinere Feststofffraktionen gebunden sind und in partikulärer Form verlagert werden (z.B. Phosphor und organischer Kohlenstoff). Die Feststoffbilanz auf verschiedenen geoökologischen Massstabsebenen (Testparzelle, mobile Sedimentfangkästen, Gebietsaustrag) bildet deshalb die Grundlage der Untersuchungen. Der hydrologische Stoffaustrag über den Vorfluter steht dabei im Vordergrund, da er die integrale Antwort auf das gesamte Stoffhaushaltsgeschehen im Einzugsgebiet darstellt und die dominierenden Prozesse widerspiegelt. Neben der differenzierten Erfassung und Bilanzierung des hydrologischen Austrages wurden verschiedene analytische Methoden weiterentwickelt. Grosse Fortschritte wurden dabei bezüglich der Interpretation von Hochwassersedigraphen erzielt und es wurden verschiedene Methoden erarbeitet, welche die Identifikation von Sedimentquellen anhand von stoffhaushaltlichen Daten ermöglichen (Aschwanden 1997, Seiberth et al. 1997).

Tab. 1 Langjähriges Mittel von Bodenabtrag, Gebietsaustrag und Sedimentanlieferungsverhältnis (SDR) der beiden Untersuchungsgebiete.

| Gebiet | Abtrag [t * ha ⁻¹ * a ⁻¹] | Schwebstoffaustrag [t * ha ⁻¹ * a ⁻¹] | SDR [%] |
|--------|---|---|------------|
| Möhlin | 4.90 | 1.85 | 37.76 |
| Jura | 0.93 | 0.271 | 29.14 |

2 Untersuchungsgebiete und Methoden

Das Hauptuntersuchungsgebiet liegt im Baselbieter Tafeljura (265 ha). Dort dominieren stark aggregierte, tonige Substrate, weshalb das ganze Gebiet stark drainiert ist. Die extensive landwirtschaftliche Nutzung umfasst Viehhaltung, Ackerbau und Obstwirtschaft. Den relativ hohen Hangneigungen stehen kurze erosionsrelevante Hanglängen gegenüber.

Die Vergleichsgebiete liegen im Möhliner Feld (70 ha und 120 ha). Das Substrat bildet dort der stark erosionsanfällige Löss. Die intensive landwirtschaftliche Nutzung besteht fast ausschliesslich aus Ackerbau, wobei bei geringen Neigungswinkeln grosse erosionsrelevante Hanglängen vorherrschen. Detaillierte Gebietsbeschreibungen findet man bei *Seiler* (1983), *Vavruch* (1988) und *Prasuhn* (1991).

Die Erfassung der stoffhaushaltlichen Prozesse erfolgt nach dem Konzept der "mehrstufigen Messmethodik" (*Prasuhn* 1991), wobei in unterschiedlichen Massstabebenen mit unterschiedlicher Genauigkeit und Aussageschärfe kartiert, experimentiert und gemessen wird. Die Resultate aller Erfassungsebenen werden zuletzt zu einem Gesamtbild synthetisiert, da erst durch den Vergleich der erfassten Speicher- und Prozessgrössen relevante Aussagen über den chorischen Stoffhaushalt gemacht und griffige Erosions- und Gewässerschutzmassnahmen entwickelt werden können.

In der ersten Phase der Untersuchungen wurden die *sedimentliefernden Flächen*, die *präferentiellen Fliesspfade* und die *Übertrittsstellen* des Oberflächenabflusses mittels GIS-Techniken ausgeschieden und im Feld überprüft (siehe hierzu auch den Artikel von *Meier-Zielinski* in diesem Heft).

Permanent wird der *Niederschlag* in Menge und Intensität erfasst und die *Verdunstung* nach *Oke* (1987) berechnet.

Die *Abflussmessung* findet kontinuierlich statt, wobei durch die wöchentliche Entnahme von Schöpfproben die *Basisabflussfrachten* erfasst werden, andererseits durch die hochaufgelöste Beprobung der Hochwasserwellen (24 automatisch, zeitvariabel gezogene Proben) die *Hochwasserfrachten* erfasst werden. Nebst den Summenparametern *pH*, *Leitfähigkeit* und *Schwebstoffkonzentration* werden die *Phosphor- und organischen Kohlenstoffkonzentrationen* (P und OC) bestimmt.

Um die Stoffumlagerungsprozesse im Einzugsgebiet zu erfassen, werden ereignisbezogene *Erosionsschadenskartierungen* durchgeführt und vierteljährlich *Landnutzungskarten* erstellt.

Findet *Oberflächenabfluss* statt, so werden an ausgewählten Stellen entlang der Fliesspfade und an den Übertrittsstellen Schöpfproben entnommen.

Da Erosion spezifisch auf die Tonfraktion wirkt, resultiert eine Anreicherung von Stoffen im Abtrag, welche an diese Fraktion angelagert sind (*Wilke & Schaub* 1996). Um diese Anreicherung besser abschätzen zu können, werden ausgewählte *Zwischenakkumulationen* beprobt und auf Korngrössen, P- und C_{org.}-Gehalt untersucht.

3 Resultate und Diskussion

Im Möhlener Feld zeigte sich, dass grosse Stoffausträge nur bei Extremregenereignissen stattfinden, jedoch auch kleine Regenereignisse mit geringer erosiver Wirkung zu Stoffausträgen führen. Dieses Verhalten ist durch die hohe Erodibilität und (Re-)Mobilisierbarkeit des Substrates Löss begründet und wird einerseits durch das sehr dichte Strassen- und Kanalisationsnetz, andererseits durch die sehr direkte Anbindung der erosionsbetroffenen Flächen an das Kanalisationssystem (Abb. 3) begünstigt.

Im Tafeljura ist der direkte Eintrag von Erosionsmaterial in den Vorfluter an deutlich höhere Schwellenwerte gebunden und findet nur bei den selten auftretenden Stark- oder Dauerregenereignissen statt (Tab. 2). Eine direkte Verbindung zwischen erosionsbetroffener (Acker-)Fläche und Gerinne besteht nur in den seltensten Fällen. Bei den meisten Erosionsereignissen wird das Abtragsmaterial in benachbarten Schlägen akkumuliert (Zwischenakkumulation, Abb. 4) und, wenn überhaupt, erst bei folgenden Stark- oder Dauerregenereignissen remobilisiert.

Betrachtet man das Verhalten der prozentualen POC- (partikulärer organischer Kohlenstoff) und DOC-Anteile (gelöster organischer Kohlenstoff) am totalen organischen Kohlenstoffaustrag (TOC-Austrag) der Hochwasserwellen, so zeichnet sich eine klare Übereinstimmung zwischen permanent hohem POC-Anteil und stattgefunder Bodenerosion im Einzugsgebiet ab (Abb. 5, vgl. *Seiberth et al. 1997*).



Abb. 3 Die direkte Verbindung zwischen erosionsbetroffener Fläche und Kanalisation begünstigt den Stoffaustrag und verunmöglicht jeglichen Rückhalt von erodiertem Material.

Tab. 2 Die Frachten der erfassten Hochwasserereignisse (HW) 1997 und 1998 an der Station P50 im Länenbachtal (Jura).

(SS = Schwebstoff, TOC = Totaler Organischer Kohlenstoff, DOC = Gelöster Organischer Kohlenstoff, POC = Partikulärer Organischer Kohlenstoff).

| HW | SS-Fracht | SS-Fracht in % der Jahresfracht | TOC-Fracht | POC-Fracht | DOC-Fracht | Direkt-abfluss | Abfluss Total |
|--------------------------|-----------|---------------------------------|------------|------------|------------|-------------------|-------------------|
| [Nr./Jahr] | [t] | | [kg] | [kg] | [kg] | [m ³] | [m ³] |
| 1/97 | 8.21 | 4.44 | 558 | 416 | 140 | 15'179 | 18'669 |
| 2/97 | 1.94 | 1.05 | 163 | 124 | 38 | 6'334 | 9'654 |
| 3/97 | 0.37 | 0.20 | 32 | 20 | 12 | 1'045 | 1'957 |
| 4/97 | 1.02 | 0.55 | 88 | 75 | 13 | 2'086 | 2'522 |
| 5/97 | 0.84 | 0.45 | 100 | 72 | 27 | 3'051 | 3'699 |
| 6/97 | 2.09 | 1.13 | 322 | 216 | 105 | 9'866 | 13'000 |
| 7/97 | 25.35 | 13.72 | 893 | 743 | 150 | 19'907 | 30'832 |
| 8/97 | 0.15 | 0.08 | 22 | 9 | 12 | 6'631 | 6'631 |
| 9/97 | 137.26 | 74.27 | 1'024 | 835 | 189 | 46'969 | 69'623 |
| HW-Fracht 1997 | 177.23 | 95.90 | 3'206 | 2'515 | 690 | | |
| Basis-Fracht 1997 | 7.58 | 4.10 | 1'407 | 464 | 943 | | |
| Total 1997 | 184.81 | 100.00 | 4'613 | 2'979 | 1'633 | | |
| 1/98 | 3.53 | 1.37 | 297 | 155 | 142 | 12'773 | 20'469 |
| 2/98 | 4.82 | 1.87 | 431 | 281 | 149 | 15'841 | 25'563 |
| 3/98 | 1.19 | 0.46 | 74 | 35 | 39 | 3'822 | 7'049 |
| 4/98 | 152.11 | 59.09 | 517 | 381 | 138 | 12'506 | 26'870 |
| 5/98 | 19.21 | 7.46 | 135 | 103 | 31 | 3'334 | 16'492 |
| 6/98 | 8.36 | 3.25 | 286 | 175 | 110 | 12'832 | 34'331 |
| 7/98 | 0.59 | 0.23 | 35 | 18 | 16 | 3'113 | 3'113 |
| 8/98 | 2.18 | 0.85 | 104 | 32 | 72 | 15'137 | 15'258 |
| 9/98 | 0.23 | 0.09 | 21 | 1 | 20 | 2'369 | 5'503 |
| 10/98 | 0.29 | 0.11 | 46 | 4 | 43 | 4'214 | 7'008 |
| 11/98 | 0.69 | 0.27 | 48 | 7 | 43 | 5'692 | 9'210 |
| 12/98 | 3.11 | 1.21 | 71 | 16 | 55 | 7'222 | 10'816 |
| 13/98 | 1.85 | 0.72 | 46 | 9 | 37 | 3'703 | 6'124 |
| 14/98 | 27.83 | 10.81 | 120 | 34 | 88 | 9'373 | 17'497 |
| 15/98 | 0.47 | 0.18 | 28 | 5 | 22 | 7'268 | 7'268 |
| 16/98 | 2.45 | 0.95 | 25 | 6 | 19 | 13'948 | 13'948 |
| 17/98 | 2.43 | 0.94 | 38 | 11 | 27 | 3'750 | 9'766 |
| 18/98 | 10.81 | 4.20 | 103 | 15 | 87 | 18'172 | 28'469 |
| HW-Fracht 1998 | 242.13 | 94.05 | 2'436 | 1'298 | 1'146 | | |
| Basis-Fracht 1998 | 15.32 | 5.95 | 2'297 | 454 | 1'843 | | |
| Total 1998 | 257.44 | 100.00 | 4'733 | 1'752 | 2'989 | | |



Abb. 4 Erosionsrinne und Akkumulation von erodiertem Material auf einem Acker im Länenbachtal.

Die differenzierte Erfassung des Austrags von organischem Kohlenstoff ermöglicht demnach Aussagen über effektiv stattfindende Erosion im Einzugsgebiet. Aussagen über die daran beteiligten Sedimentquellen können jedoch nicht gemacht werden. Bei der Identifikation der Sedimentquellen kann jedoch die Analyse der Austragsmuster verschiedener Phosphorfraktionen weiterhelfen. Da durch das Entstehen von Oberflächenabfluss sowohl Abschwemmung als auch Bodenerosion ausgelöst wird, nimmt die Konzentration von gelöstem und partikulärem Phosphor mit steigendem Abfluss zu. Dass nur schwach signifikante Zusammenhänge zwischen der Schwebstoffkonzentration und der Konzentration von partikulärem Phosphor (PP) gefunden wurden liegt daran, dass die höchsten PP-Konzentrationen im Verlauf einer Hochwasserwelle erst nach der maximalen Schwebstoffkonzentration auftreten. Es ist somit anzunehmen, dass im aufsteigenden Ast der Hochwasserwelle P-armes Material aus dem Gerinnebereich mobilisiert wird (Gerinnebett-erosion) und erst mit einer gewissen Verzögerung erodiertes Oberbodenmaterial (P-angereichert) von Ackerflächen und Zwischenakkumulationen ausgetragen wird (Abb. 6). Die kombinierte Erfassung der Kohlenstoff- und Phosphorausträge ermöglicht somit Rückschlüsse auf aktuelle Bodenerosion im Einzugsgebiet (stattfindend oder nicht stattfindend) und erlaubt Aussagen über die daran beteiligten Sedimentquellen (Gerinnebett- oder Bodenerosion).

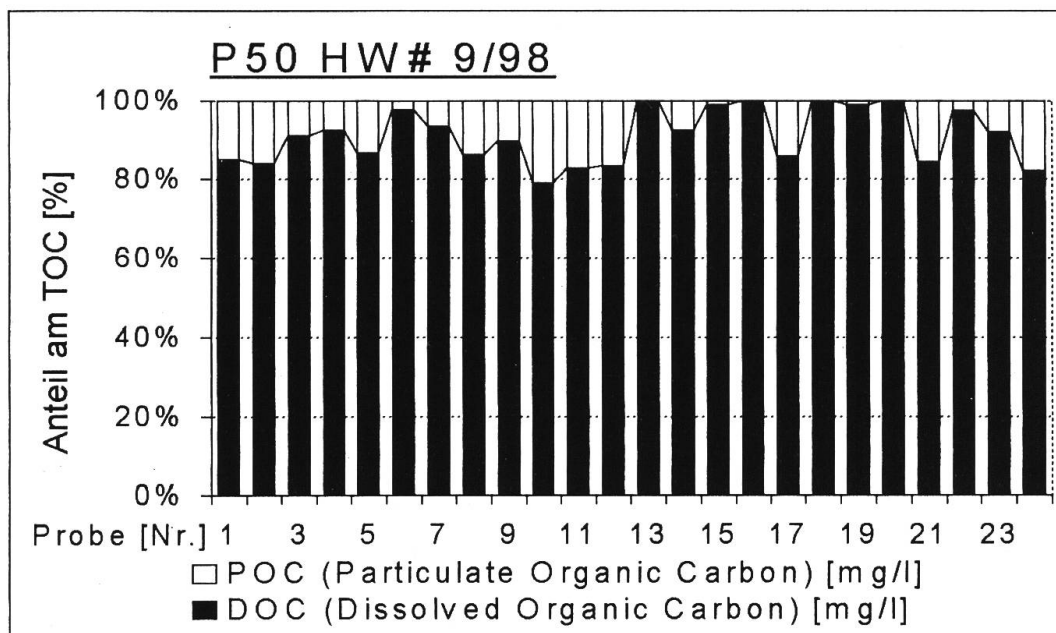
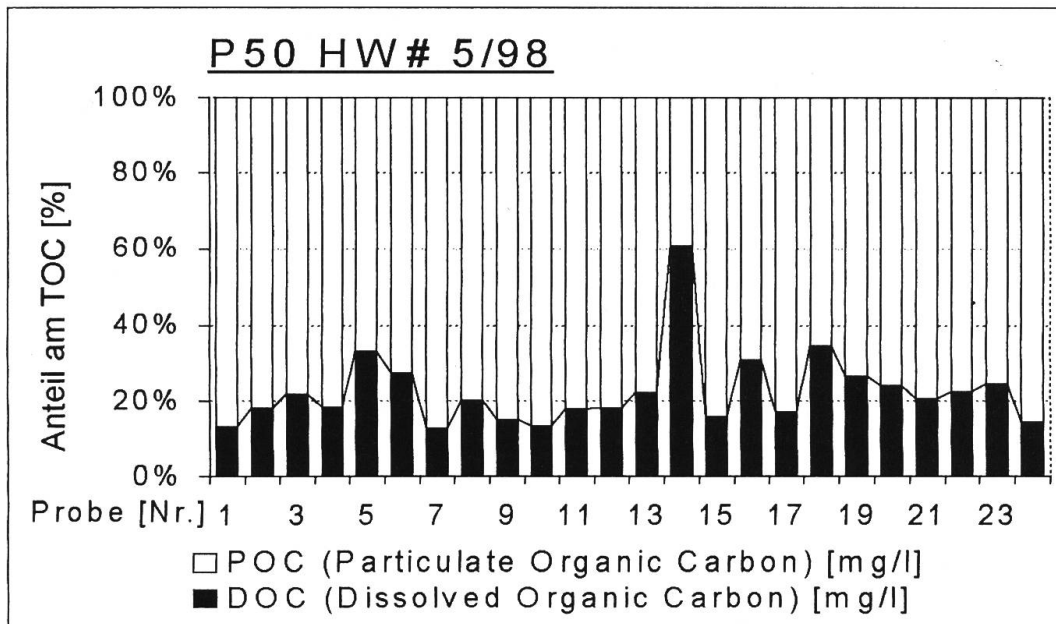


Abb. 5 Wird der gelöste und partikuläre Kohlenstoffgehalt als prozentualer Anteil am totalen Kohlenstoffgehalt dargestellt, so wird der stoffhaushaltliche Unterschied zwischen einem Hochwasserereignis *mit* (HW 5/98) und einem solchen *ohne* (HW 9/98) registrierte Bodenerosion im Einzugsgebiet deutlich.

Vergleiche der Frachtberechnungen (Tab. 3) können Aufschluss darüber geben, auf welchen Stoffpfaden die erfassten Stoffe bevorzugt ausgetragen werden. So zeigt sich, dass Schwebstoffe zu über 95 % durch Hochwasserereignisse ausgetragen werden und auch der POC zum überwiegenden Teil (70 %) bei Hochwasserabfluss ausgetragen wird.

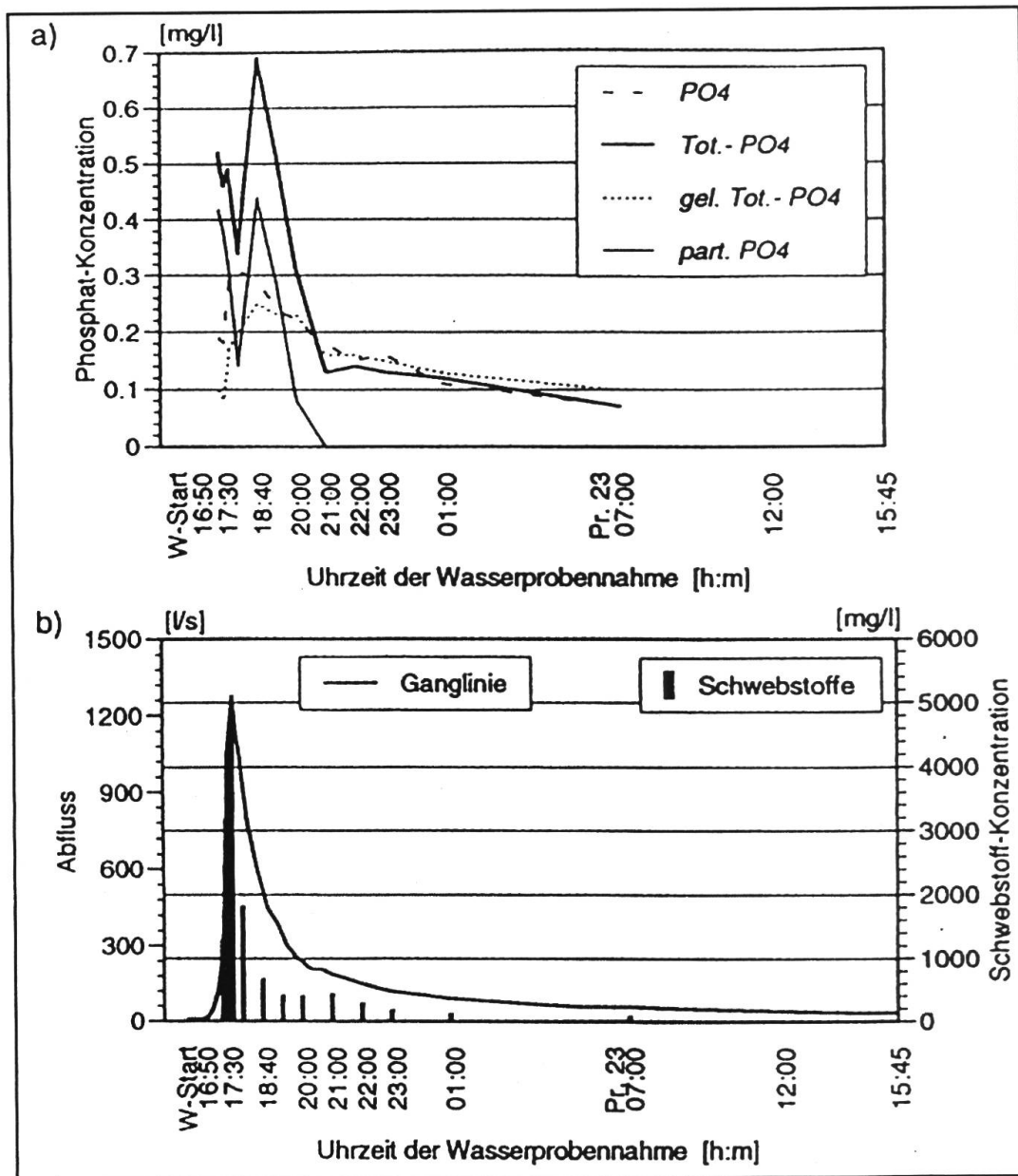


Abb. 6 Die höchsten Konzentrationen des totalen und partikulären Phosphors (Tot.- PO₄ und part. PO₄, Abb. 6a) werden deutlich *nach* dem maximalen Abfluss und der maximalen Schwebstoffkonzentration (Abb. 6b) registriert.

Der Austrag (und somit Verlust auf Einzugsgebietsebene) dieser Stoffe wird demnach primär durch den Oberflächenabfluss und den Direktabfluss in den Vorfluter beeinflusst. Anders ist dies beim DOC. Da der DOC-Austrag zum überwiegenden Teil über den Basisabfluss (60 %) erfolgt, ist anzunehmen, dass vor allem der Grundabfluss zu den DOC-Austrägen beiträgt und der oberflächliche Direktabfluss während Hochwasserereignissen für den DOC-Verlust nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Ein weiteres Indiz für die untergeordnete Rolle des DOC-Austrages bei Hochwasser ist die Tatsache, dass die DOC-Konzentrationen während der Hochwasserwellen mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung gegenüber dem Abfluss und den

Tab. 3 Um die Hauptaustragspfade der untersuchten Stoffe zu verdeutlichen, wurden die prozentualen Anteile des Stoffaustrages am Gesamtaustrag den verschiedenen Abflusskomponenten zugeordnet.

| | Basisabfluss | Hochwasserabfluss |
|------------------------|--------------|-------------------|
| Jahr 1997 | | |
| Schwebstoff-Fracht [%] | 4.1 | 95.9 |
| TOC-Fracht [%] | 30.5 | 69.5 |
| POC-Fracht [%] | 15.6 | 84.4 |
| DOC-Fracht [%] | 57.8 | 42.2 |
| Jahr 1998 | | |
| Schwebstoff-Fracht [%] | 5.9 | 94.1 |
| TOC-Fracht [%] | 48.5 | 51.5 |
| POC-Fracht [%] | 25.9 | 74.1 |
| DOC-Fracht [%] | 61.8 | 38.2 |

maximalen POC-Konzentrationen ansteigen und dann wieder auf die ursprünglichen Werte zurückkehren (Abb. 7). Dieser vorübergehende Anstieg kennzeichnet vermutlich das Eintreffen der hypodermischen Abflusskomponente, welche mit DOC aus der Bodenlösung angereichert ist.

Betrachtet man das Verhalten der DOC-Konzentrationswerte aller Hochwasserwellen im Vergleich (Abb. 8), so sieht man, dass sich dieses Verhalten wiederholt. Man kann deshalb auf die Bodenbürtigkeit des ausgetragenen DOC schliessen, da bodenbürtige Stoffe, welche durch Erosion, Abschwemmung und Auswaschung in den Vorfluter eingetragen werden, bei einer Abflusserhöhung in der Regel eine Konzentrationserhöhung zeigen.

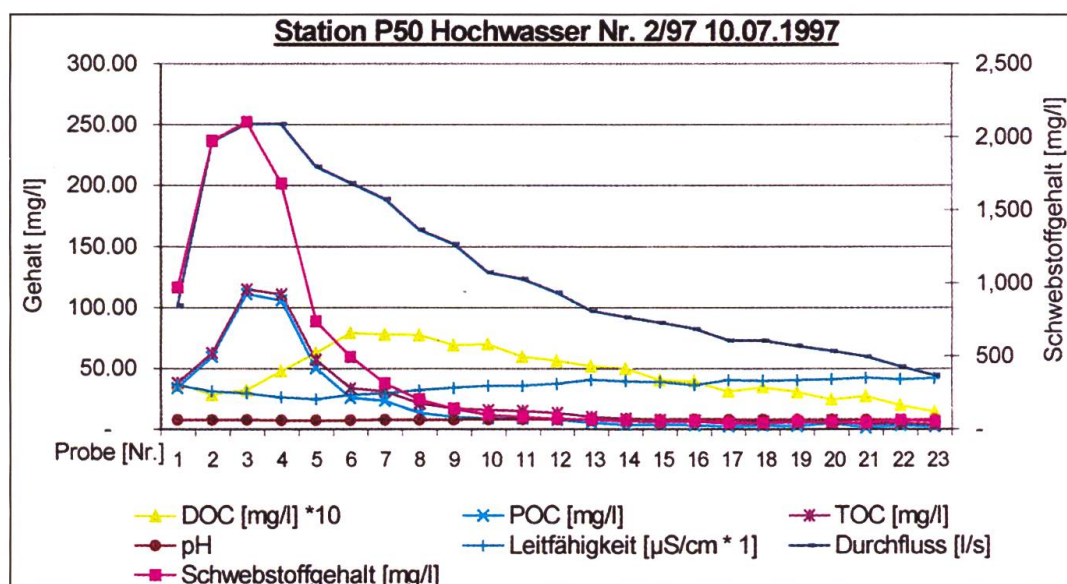


Abb. 7 Schwebstoffkonzentrationen, Leitfähigkeit und partikuläre Kohlenstoffkonzentrationen während einer Hochwasserwelle. Der Anschaulichkeit halber wurden die DOC-Werte mit 10 multipliziert.

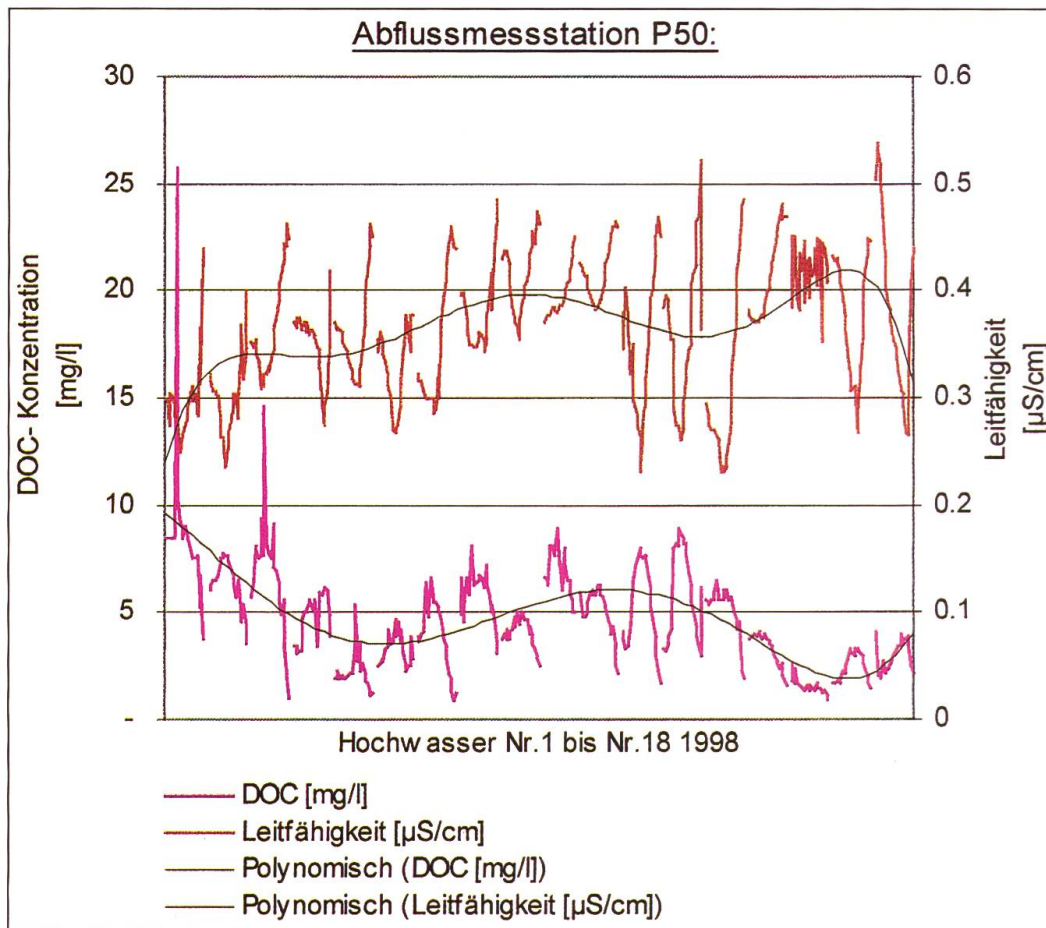


Abb. 8 Verhalten der DOC-Konzentration und der Leitfähigkeit im Vorfluter während der erfassten Hochwasserereignisse des Jahres 1998.

Im Gegensatz dazu steht das Verhalten der Leitfähigkeit. In Abb. 8 ist zu sehen, wie die Leitfähigkeitswerte mit zunehmendem Abfluss *sinken*. Dieses Verhalten wiederholt sich bei allen Hochwasserereignissen und zeigt den Verdünnungseffekt auf primär abwasserbürtige Stoffe bei Hochwasser.

4 Fazit

Die aktuellen Forschungsarbeiten der FBB zeigen, dass für den Stoffhaushalt auf Einzugsgebietsebene vor allem die selten auftretenden Extremereignisse von Bedeutung sind. Stofftransport über *weite* Strecken erfolgt in präferentiellen Fließpfaden und fast ausschliesslich bei Extremereignissen, welche meist deutlich mehr zum Stoffaustrag beitragen, als alle anderen Ereignisse zusammen (“high magnitude – low frequency” Verhalten). Die Höhe des resultierenden Stoffaustrages wird demnach, neben der Erosivität des Niederschlages, der Erodibilität des Substrates, der topographischen Erosionsdisposition und der Nutzung, massgeblich durch die Anbindung erosionsbetroffener Flächen an die präferentiellen Fließpfade und durch deren Ausprägung beeinflusst.

Weiter hat sich gezeigt, dass die kombinierte und differenzierte Erfassung von organischem Kohlenstoff und Phosphor im hydrologischen Austrag Aussagen über stattfindende Bodenerosion im Einzugsgebiet zulässt und Rückschlüsse auf die am Sedimentaustrag beteiligten Stoffquellen ermöglicht. Die Zuordnung der erfassten Stoffe (resp. Stofffraktionen) zu verschiedenen Abflusskomponenten (Oberflächenabfluss, hypodermischer Abfluss, Hochwasser- und Basisabfluss) und Vergleiche von Frachtberechnungen erlauben die Identifikation von Austragspfaden und ermöglichen effiziente Erosions- und Gewässerschutzmassnahmen.

Da präferentielle Fliesspfade meist schon aus topographischen Karten grob ablesbar sind (Strassen, Wege, Kanalisation, Ackerrandfurchen, Tiefenlinien etc.) und sich gezeigt hat, dass die entscheidenden Stoffeinträge in den Vorfluter ausschliesslich dann stattfinden, wenn eine direkte Verbindung zwischen erosionsbetroffener Fläche, Fliesspfad und Übertritt in den Vorfluter besteht, könnte durch die sinnvolle Anlage von Flächen mit hohem Retentionspotential oder Sedimentierbereichen der Materialverlust auf Einzugsgebietsebenen und der Stoffeintrag in aquatische Ökosysteme deutlich vermindert werden.

Literatur

- Aschwanden N. 1997. Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Fliessgewässer. Triazin – Untersuchungen mit ELISA (Enzym-Linked Immunosorbent Assay) in einem ackerbaulich genutzten Einzugsgebiet des Tafeljuras. *Regio Basiliensis* 38/3: 229-241.
- Braun M., Kopse-Rolli D. & Prasuhn V. 1997. *Verminderung des Nährstoffeintrages in Gewässer durch Massnahmen in der Landwirtschaft*. In: Schriftenreihe Umwelt Nr. 293, Gewässerschutz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1-100.
- Dräyer D. 1996. *GIS-gestützte Bodenerosionsmodellierung im Nordwestschweizerischen Tafeljura. Erosions-, Schadenskartierung und Modellergebnisse*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 22: 1-185.
- Garbrecht J., Kuhnle R. & Alonso C. 1995. A sediment transport capacity formulation for application to large channel networks. *Journal of Soil and Water Conservation* 50: 527-529.
- Hairsine P.B. & Rose C.W. 1992. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles. 2. Rill flow. *Water Resources Research* 28 (1): 245-250.
- Hergarten S. & Neugebauer H.J. 1996. A physical statistical approach on erosion. *Geologische Rundschau* 1: 65-70.
- Leser H., Schaub D. & Prasuhn V. 1998. Bodenerosion und Landschaftshaushalt. In: Richter G. (Hg): *Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*. Darmstadt, 97-109.

- Mosimann T., Maillard A., Musy A., Neyroud J.-A., Rüttimann M. & Weisskopf P. 1991. *Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. Ein Leitfaden für die Bodenerhaltung*. Liebefeld, 1-187.
- Mosimann T. & Rüttimann M. 1996. *Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater*. In: Volkswirtschafts- und Sanitätsdirektion des Kantons Basellandschaft (Hg.), Liestal, 1-17.
- Oke T.R. 1978. *Boundary layer climates*. London, 1-363.
- Prasuhn V. 1991. *Bodenerosionsformen und -prozesse auf tonreichen Böden des Basler Tafeljura (Raum Anwil, BL) und ihre Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 16: 1-372.
- Schaub D., Wüthrich C. & Seiberth C. 1997. How landscape features influence sediment yields (a comparison of two investigation areas in North West Switzerland). *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria III* Tomo 1: 343.
- Schaub D. & Prasuhn V. 1998. A map of soil erosion on arable Land as a planning tool for sustainable land use in Switzerland. *Advances in GeoEcology* 31: 161-168.
- Schweizerischer Bundesrat 1996. *Botschaft zur Reform der Agrarpolitik: Zweite Etappe (Agrarpolitik 2002). Teil 1: Neues Landwirtschaftsgesetz, Bundesblatt*, 148. Jahrgang, Band 4, Nr. 40, 08.10.96, Bern.
- Seiberth C., Schaub D. & Wüthrich Ch. 1997. Gelöster und partikulärer Kohlenstoff als Indikator des Erosionsgeschehens im Oberbaselbieter Tafeljura. *Regio Basiliensis* 38/3: 205–217.
- Seiler W. 1983. *Bodenwasser und Nährstoffhaushalt unter Einfluss der rezenten Bodenerosion am Beispiel zweier Einzugsgebiete im Basler Tafeljura bei Rothenfluh und Anwil*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 5: 1-510.
- Vavruch S. 1988. *Bodenerosion und ihre Wechselbeziehung zu Wasser, Relief, Boden und Landwirtschaft in zwei Einzugsgebieten des Baselbieter Tafeljura (Hemmiken, Rothenfluh)*. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, 10: 1-338.
- Wilke B. & Schaub D. 1996. Phosphatanreicherung bei Bodenerosion. *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft* 79: 435-438.