

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

Artikel: Phosphorausträge bei sehr feuchter und trockener Witterun
Autor: Weissshaidinger, Rainer
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088291>

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: 18.04.2026

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

Phosphorausträge bei sehr feuchter und trockener Witterung Aspekte der Skalendynamik und der Klimaveränderung

Rainer Weisshaidinger

Zusammenfassung

Im Untersuchungsgebiet Länenbachtal (Gemeinde Rothenfluh, Basel-Landschaft) wurden vom 01.01.2002 bis 30.06.2004 Analysen von Bach- und Drainagewasser durchgeführt. Im Vordergrund der chemischen Analysen standen Phosphor und dessen Transport während Hochwasser- bzw. Niedrigwasserabfluss. Zwei aufgetretene "extreme" Witterungsperioden spiegeln laut wissenschaftlichen Studien zukünftige Klimaszenarien: regen- und abflussreiche Herbste / Winter bzw. trockene Sommer. Die Untersuchungen zeigen, dass Kleingewässer im Tafeljura ökologisch sehr sensibel auf derartige Bedingungen reagieren und wie im Sommer 2003 über weite Strecken und über Monate hinweg austrocknen können. Die aufgetretenen Phosphorkonzentrationen in Trockenperioden sind in weiten Bachabschnitten sehr hoch, die gesamte Austragsmenge (Fracht) an Phosphor gering. Hochwasserereignisse im Herbst/Winter weisen dagegen sehr hohe Phosphorfrachten auf, hauptsächlich durch Gerinneerosion verursacht. Die Studie stellt als Konzeptmodell drei Niederschlags-Abfluss-Typen vor, die den Stofftransport gut abbilden und zukünftige Szenarien berücksichtigen.

1 Einleitung

Der Sommer 2003 war nicht nur durch relativ hohe Temperaturen geprägt, sondern auch von einer ausnehmend langen Trockenperiode von Februar bis November begleitet. Im Gegensatz zum Sommer 2003 waren im Herbst 2002 die Niederschläge und Abflüsse überdurchschnittlich hoch. Beide "Extrem"-Witterungsperioden können zwar nicht direkt auf den anthropogen verursachten Klimawandel zurückgeführt werden (vgl. Kromp-Kolb & Formayer 2005), sie erlauben jedoch Einsichten in mögliche Zukunftsszenarien der Wasser- und Stoffdynamik. Gemäss Auswertungen von Luterbacher et al. (2004) handelt es sich beim Sommer 2003 höchstwahrscheinlich um den gesamteuropäisch wärmsten Sommer der letzten 500 Jahre. Obwohl er derzeit als Ausreisser zu

bezeichnen ist (vgl. Schär et al. 2004), weisen diverse Klimaszenarien auf eine künftige Häufung bis 2050 und eine zweijährliche Auftretswahrscheinlichkeit derartiger Sommer am Ende des 21. Jahrhunderts hin (Scherrer et al. 2005, Kromp-Kolb & Formayer 2005; IPCC 2007); zudem werden laut *OcCC & ProClim* (2007) extreme Trockenperioden im Sommer länger und häufiger auftreten. *Birsan et al.* (2005) zufolge ist für den Raum Jura–Mittelland neben den zunehmenden sommerlichen Trockenperioden mit einer Häufung winterlicher Abflussereignisse zu rechnen.

Durch die generelle Änderung im Witterungs- und Abflussregime kommt es zu wichtigen Folgeerscheinungen, die sich massgeblich auf den Landschaftshaushalt und die ökologischen Bedingungen, z. B. in Oberflächengewässern, auswirken. Der vorliegende Beitrag stellt die im Rahmen der Dissertation *Weisshaidinger* (2007) erhobenen Wasser- und Stoffhaushaltsdaten speziell für herbst-/winterliche Feucht- und sommerliche Trockenperioden vor. Im Vordergrund stehen der Wasser- und Phosphorhaushalt von einem Klein- und zwei Kleinstezugsgebieten im Tafeljura, deren Prozess- und Skaldynamik sowie deren mögliche Veränderungen infolge eines Klimawandels. Die verwendeten Skalenbegriffe topisch und chorisch beziehen sich auf die Dimension eines Ackerschlags bzw. die Einzugsgebietsdimension (vgl. *Leser* 1997, *Steinhardt et al.* 2005). Die chorische Dimension wird hier weiter in Mikro-, Meso- und Makrochore unterteilt (0.1–1, 1–10 bzw. 100–1'000 km²), und die Begriffe “Mikro-” und “Mesochore” werden synonym mit “Kleinst-” bzw. “Kleineinzugsgebiet” verwendet.

2 Untersuchungsgebiet und Methoden

Das Untersuchungsgebiet Länenbachtal ist ein 264 ha grosses Einzugsgebiet etwa 25 km südöstlich der Stadt Basel in der Gemeinde Rothenfluh, Kanton Basel-Landschaft. Es ist ein repräsentatives Kleineinzugsgebiet des Tafeljura, ein Naturraum, der geomorphologisch durch sanfte Mulden- und Sohlentäler sowie markante Schichtstufen und Karsthochflächen geprägt ist (*Leser* 1982). Tonreiche Substrate und Hangschuttdecken führen zu stauenden Böden, Hangwasser und Hangwasseraustritten. Der durchschnittliche Niederschlag liegt bei knapp über 1'000 mm, der Abfluss bei ungefähr 500 mm pro Jahr. Die landwirtschaftliche Nutzfläche von 146 ha (= 55 %) wird zu rund einem Drittel als Fruchtfolgefläche und rund zwei Drittel als Grünland bewirtschaftet (Abb. 1). Teilweise liegt eine intensive Drainierung der Böden vor. Zur Untersuchung der Stoffdynamik wurden drei Einzugsgebiete detailliert untersucht: P50 (= Gesamteinzugsgebiet), P51 und P52 (relativ naturnahes bzw. intensiv genutztes Teileinzugsgebiet). Das Teileinzugsgebiet P52 stellt ein Sammelleiternetz dar, welches aus landwirtschaftlichen Drainagen und Strasseneinläufen gespeist wird; im Gebiet P52 liegt ein Gehöft mit privater Kleinkläranlage. Die Folge ist ein anthropogen stark modifiziertes Wasser- und Stoffsystem. Das Teileinzugsgebiet P51 ist im Vergleich dazu weniger dicht drainiert, allerdings wird es durch drei Gehöfte und eine Pflanzenkläranlage beeinflusst. Für eine genauere Beschreibung des Untersuchungsgebietes sei insbesondere auf *Vavruch* (1988), *Prasuhn* (1991) und *Ogermann & Weisshaidinger* (2007) verwiesen.

Für die Beurteilung der zeitlich und räumlich variablen Wasser- und Phosphorflüsse wurden drei hydrometrische Stationen mit einer automatischen Beprobung von Hochwasserereignissen betrieben und eine kontinuierliche zweiwöchentliche Schöpfprobennahme von 01.01.2002 bis 30.06.2004 durchgeführt. Die Feuchtperiode dauerte vom 15.09.2002 bis 31.12.2002 und die Trockenperiode vom 01.05.2003 bis 31.10.2003. Niederschlagsmessungen der MeteoSchweiz (meteorologische Station Rünenberg) wurden mit eigenen Daten der meteorologischen Station Im Lör ergänzt. Für die Verifizierung von Stoffquellen wurden halbjährlich und ereignisbezogen Landnutzungs- bzw. Erosionsschadenskartierungen nach *Rohr et al.* (1990) durchgeführt. Der gelöste reaktive Phosphor (DRP) wurde mittels der Analyse von *Murphy & Riley* (1962), der Molybdän-

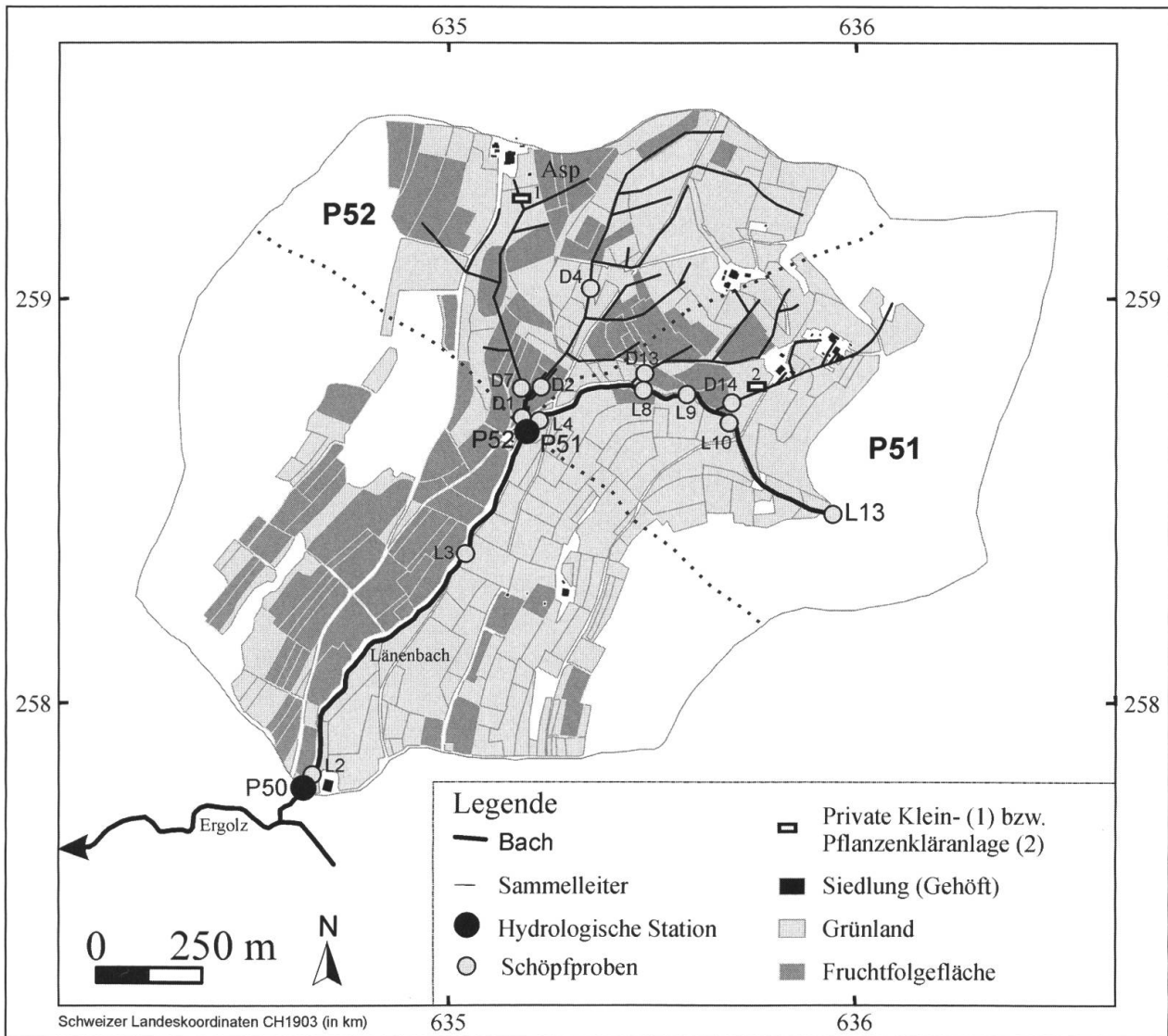


Abb. 1 Messtationen und -punkte und allgemeine Landnutzung im Einzugsgebiet Länenbachtal. Die Abbildung zeigt die gegenwärtige landwirtschaftliche Nutzung im Länenbachtal (rund 2/3 Grün- und 1/3 Ackerland) und die Siedlungsstruktur (Gehöfte). Ebenfalls dargestellt sind die für die Untersuchung herangezogenen hydrologischen Messtationen ("P" für Pegel; inklusive Vorrichtungen zur automatischen Beprobung von Ereignisabflüssen) und Standorte der zweiwöchentlichen Schöpfproben an Bach und Drainagesammelleitern ("L" für Länenbach und "D" für Drainage). Die Teileinzugsgebiete P51 und P52 sind durch die gestrichelte Linie abgegrenzt.

blau-Methode, bestimmt; der gesamte gelöste Phosphor (DP) und der Gesamtphosphor (TP) der Proben wurden zuvor physikochemisch mittels Reagenzien und Mikrowelle aufgeschlossen (vgl. Höll 2002; Wüthrich & Leser 2006). Allgemeine Methoden der Abfluss- und Frachtberechnung sind in Weisshaidinger (2007) dargestellt.

3 Wasserhaushalt und Niederschlags-Abfluss-Typen

Der Gebietsabfluss im Untersuchungsgebiet reagiert sehr rasch auf Niederschläge, vor allem in ausgeprägten Trocken- und Feuchtperioden. Ausschlaggebend dafür sind undurchlässige Schichten (Opalinuston), tonreiche und stauende Böden, Hangschuttdecken an den Talflanken und die schnelle Abführung von Oberflächenabfluss durch Strassen. In Perioden mit gefüllten Bodenwasserspeichern wirken sich Niederschläge umgehend in höheren Direktabflussraten aus, wie etwa im Herbst 2002. In längeren Trockenperioden trocknet der Länenbach auf weiten Strecken aus. Im Sommer und Herbst 2003 wies lediglich der Unterlauf des Länenbaches noch geringen Durchfluss auf, der Mittel- und Oberlauf fiel dagegen über Monate trocken; kleinräumiger Gerinneabfluss war die Folge von Haus- und Hofeinleitungen.

Die Abflussmenge aus dem drainierten Einzugsgebiet P52 ist während Feucht- und Trockenperioden höher als im Vergleichsgebiet P51. Dieser Umstand führt dazu, dass es bei gesättigten bzw. ausgetrockneten Bodenverhältnissen zu ausgeprägter Trockenrissbildung kommt und Wasser unverzüglich abgeführt wird. Die Folgen in beiden Fällen sind eine Erhöhung des Hochwasserabflusses und des Stofftransports und Verminderung der Wasserspeicherung in Trockenperioden. Über alle Niederschlags-Hochwasser-Ereignisse hinweg betrachtet besteht in keinem der Einzugsgebiete ein Zusammenhang zwischen maximalem Niederschlag und maximalem Abfluss.

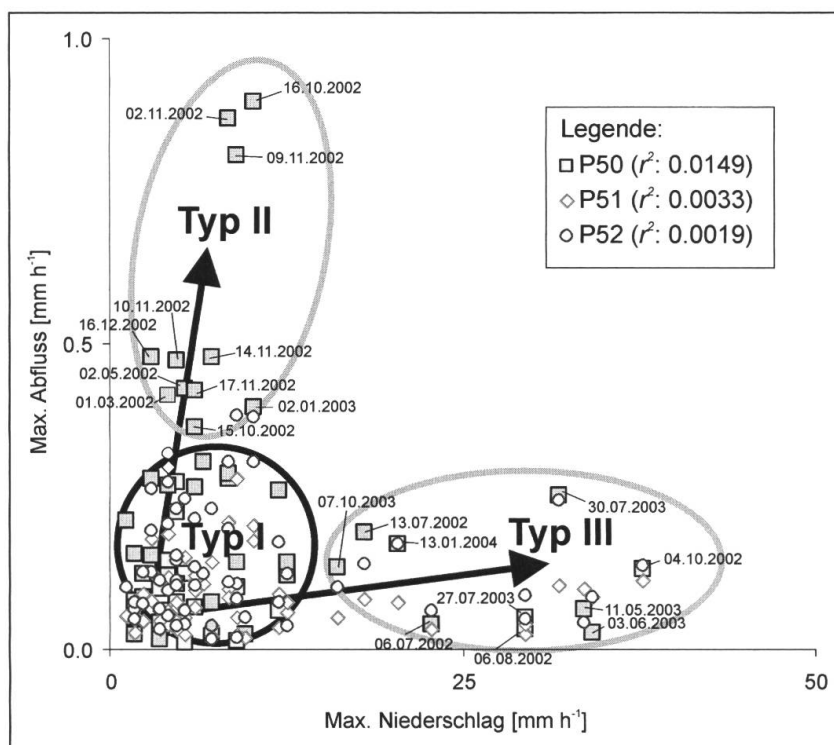


Abb. 2 Niederschlags-Abfluss-Typen in der Mikro- und Mesochore. Die Gegenüberstellung der max. Niederschlagsintensität und der max. Abflussmenge zeigt drei Niederschlags-Abfluss-Typen: *Typ I*: Ereignisse mit niedriger Niederschlagsintensität und niedrigem Scheitelabfluss; *Typ II*: Niederschlagsereignisse mit niedriger Intensität aber vergleichsweise langer Dauer führen bei wassergesättigten Bodenverhältnissen und gefüllten Karstwasserspeichern zu sehr hohen Scheitelabflüssen und Abflussvolumina; *Typ III*: Niederschlagsereignisse mit hohen Intensitäten (z. B. sommerliche Konvektionsniederschläge) führen bei hohem Speicherpotenzial des Bodens und des Karstwasserkörpers zu relativ geringen Scheitelabflüssen.

Trotzdem offenbart die Gegenüberstellung drei Typen von Niederschlags-Abfluss-Beziehungen, die für Aussagen zum System interessant sind (Abb. 2) und modellhaft für andere Gebiete im Tafeljura oder darüber hinaus sein könnten.

Vom jeweils auftretenden Ereignistyp lassen sich das generelle Phosphortransportverhalten, die Phosphorkonzentration und die ausgetragene Phosphorfracht eines Hochwasserereignisses modellhaft ableiten. Ausserdem kann die Reichweite des Stofftransports abgeschätzt werden. Die Mehrzahl der Hochwässer liegt – wie in der Graphik zu sehen – nahe dem Ursprung (Nullpunkt), d. h. es besteht eine geringe (Niederschlags-)Energie und (Abfluss-)Auswirkung; sie werden hier als Typ I zusammengefasst. Von hier ausgehend sind insbesondere im

Einzugsgebiet P50 (Mesochore) zwei Entwicklungstypen entlang der Achsen zu beobachten: Typ II (= geringe Energie bei hoher Auswirkung) und Typ III (= hohe Energie bei geringer Auswirkung). Die Bedeutung des Oberflächen- und schnellen Zwischenabflusses ist bei Typ II besonders hoch und die Komponenten langsamer Zwischen- und Basisabfluss sind stark eingeschränkt, die Niederschlags-Abflusswirksamkeit steigt zur grösseren Skala hin an. Beim Typ III ist der Unterschied zwischen der Mikro- und Mesochore dagegen gering oder vereinzelt sogar entgegengesetzt.

4 Phosphortransport und Ereignisse

In allen Einzugsgebieten steigt die Phosphorfracht mit dem Durchflussvolumen an. Der ereignisbasierte Export von Phosphor ist vor allem dahingehend bedeutend, dass es – neben den On-site-Verlusten – zu einer skalenübergreifenden Verlagerung von Phosphor kommt, die auch entfernte Off-Site-Systeme betreffen kann. Durch Rücklösungs- und Desorptionsprozesse von ausgefallenen oder partikulär gebundenen P-Formen kommt es dort zu einer mittel- bis langfristigen Erhöhung der Eutrophierungsgefahr. Die im vorherigen Abschnitt vorgestellten Niederschlags-Abfluss-Typen stehen mit dem Stofftransport, der Stoffkonzentration und der Stofffracht in enger Beziehung:

Typ I-Ereignisse: Die Auswirkungen des Niederschlags auf Abfluss und Stoffdynamik sind in der Mikro- und Mesochore ähnlich und das Eutrophierungsrisiko mässig. Obwohl diese Ereignisse meist nur geringe bis mittlere Stoffkonzentrationen und -frachten aufweisen, liegt eine bemerkenswert hohe bis sehr hohe P-Anreicherung an Schwebstoffen vor (*Weisshaidinger 2007*; vgl. auch *Wall et al. 1996*).

Typ II-Ereignisse: Die Abflussdynamik der Mikrochore unterscheidet sich völlig von jener der Mesochore. Typ II-Ereignisse wirken sich meist in mittleren Stoffkonzentrationen und sehr hohen Stofffrachten aus. Das Eutrophierungsrisiko kann durch die hohe Abflussenergie (und oft auch Reichweite) in weiter entfernte Ökosysteme verlagert werden, etwa in Stauseen, Auenbereiche in Unterläufen von Flüssen oder sogar ins Meer.

Typ III-Ereignisse: Die Abflussdynamik in der Mikro- und Mesochore ist sehr ähnlich. Die Ereignisse wirken sich meist in sehr hohen Stoffkonzentrationen und einer ebenfalls hohen P-Anreicherung am Schwebstoff aus. Die transportierte Phosphorfracht fällt dagegen sehr gering aus und setzt sich hauptsächlich aus partikulärem Phosphor zusammen, der hauptsächlich aus Gerinneerosion resultiert. Hinsichtlich gelöstem reaktiven Phosphor scheint die Nachlieferung aus dem Gebiet unterbunden zu sein: Zum einen, da weniger gelöster, reaktiver P zur Verfügung steht, und zum anderen, weil räumlich und zeitlich nur begrenzte Transportverbindungen vom Gebiet zum Gerinne vorliegen. Das Eutrophierungsrisiko durch Typ III steigt aufgrund der meist nur lokal und regional höheren Niederschläge und Abflüsse vor allem in nahen Ökosystemen. Es sind bis auf eine Ausnahme (13.01.2004) nur Ereignisse der Monate Juni bis (Anfang) Oktober verzeichnet. Die wenigen Konvektionsniederschlagsereignisse im Sommer 2003 finden sich fast ausschliesslich in diesem Typ wieder.

Der Vergleich der aus den Untereinzugsgebieten exportierten Frachten an gelöstem reaktivem Phosphor (DRP) und Gesamtphosphor (TP) in Tabelle 1 unterstreicht die oben beschriebene Dynamik in den beiden Teileinzugsgebieten P51 und P52. Am P52 wird im Vergleich zu P51 rund die 1½- bis 2½-fache DRP-Fracht exportiert. Der hochwasserbedingte Export an gelöstem reaktivem Phosphor ist in der Trockenperiode 2003 gering.

Tab. 1 Schwebstoff- und Phosphorbilanzen unterschieden nach Feucht- und Trockenperiode.

Periode	Einzugsgebiet	FDRP		FTP	
		P51	P52	P51	P52
Feucht-	Exportierte P-Fracht [g ha ⁻¹]	13.1	28.9	25.4	56.6
	Anteil Untersuchungsperiode [%]	24.4	23.3	24.2	23.8
Trocken-	Exportierte P-Fracht [g ha ⁻¹]	5.2	7.6	7	11.4
	Anteil Untersuchungsperiode [%]	9.7	6.1	6.6	4.8

Ereignisse der Untersuchungsperiode: 01.03.2002 bis 30.06.2004; FDRP= Fracht an gelöstem reaktivem Phosphor; FTP= Fracht an Gesamtposphor.

5 Phosphordynamik während Trockenperioden

Bei der Gegenüberstellung der Beprobungspunkte (zweiwöchentliche Schöpfproben) über den gesamten Erhebungszeitraum zeigen sich nur sehr eingeschränkt Zusammenhänge, teilweise auch Widersprüche. Eine gesonderte Analyse der Feucht- und Trockenperiode zeigt offensichtliche Prozessunterschiede und Auswirkungen auf die vorliegenden Skalen (vgl. *Weisshaidinger 2007; Ogermann & Weisshaidinger 2007*): In der Feuchtperiode gewinnen landwirtschaftliche Drainagen als P-Quelle stark an Bedeutung. Der Einfluss aus Hofeinleitungen ist im Ober- und Mittellauf erkennbar, wird aber ausreichend verdünnt und als P-Quelle nicht dominant. In der Trockenperiode ist es umgekehrt: Die landwirtschaftlichen Drainagen sind hydrologisch abgekoppelt, indes bewirken die Siedlungseinträge sehr hohe Phosphorkonzentrationen im Ober- und Mittellauf. In letzterem lassen sich bis zu 95 % der Belastungen an gelöstem reaktivem Phosphor durch die Einleitung D14 (zwei Gehöfte, eine Pflanzenkläranlage) erklären. Die Einträge aus der Kläranlage Asp sind bei P52 schon sehr stark verdünnt, zudem liegt aus technischen Gründen nahe, dass die Effizienz der Kläranlage grösser ist. Bezeichnend für die Trockenperiode ist die starke Reduktion der Phosphorkonzentration im Unterlauf durch Prozesse der Rückhaltung (Ausfällung, Adsorption) oder Verdünnung (vgl. *Weisshaidinger 2007*).

6 Skalen und Klimawandel

Die Jahre 2002 und 2003 verdeutlichen, dass sich Perioden mit hohen Frequenzen an Niederschlags-Hochwasserereignissen (Herbst, Winter) und anschliessende Perioden mit äusserst geringem Abfluss (Frühjahr, Sommer) nicht ausschliessen. Ein modifiziertes Abflussmuster in künstlichen und natürlichen Gerinnen infolge des Klimawandels führt zur Änderung massgebender Teile der Ökosysteme. Diese relativ gesicherten Änderungen im Abfluss auf den landschaftlichen Stofftransport umzulegen ist kritisch: Das Systemverhalten unterschiedlicher Regler, Speicher und Prozesse ist unter geänderten Bedingungen zu wenig bekannt. Laut *Poff et al. (2002)* ist bei häufigeren und höheren Abflussereignissen von höheren Phosphorflüssen auszugehen. Kommt es zu höheren Niederschlagsintensitäten in trockeneren Sommern und höheren Niederschlägen in feuchten Wintern, so werden vermehrt und modifizierte Typ III- bzw. Typ II-Ereignisse auftreten (vgl. Abb. 3). Grundsätzlich sind die Extremereignisse in ihrer Intensität und Auswirkung schwer einzuordnen, da sie selten vorkommen und jedes Einzelereignis eine typische Entwicklungsgeschichte aufweist (*Kromp-Kolb & Formayer 2005; Weisshaidinger 2007*). Auch die Auswirkungen und die Reichweiten der Ereignisse – in Zeit und Raum – sind daher unterschiedlich. Die Ana-

lysen von *Frei et al. (2005)* zeigen für Mitteleuropa eine Zunahme von Intensivniederschlagsereignissen, die über 1 bis 5 Tage dauern. Damit ist möglicherweise auch das Auftreten von Typ IV-Ereignissen im Untersuchungsgebiet möglich.

Ein erosiver Oberflächenabfluss wird in sommerlichen Trockenphasen (und vorwiegend bei HE-LI-Ereignissen) kaum entstehen, da Niederschlagswasser durch die dann vorliegende intensive Trockenrissbildung sehr stark zur Versickerung tendiert. Bodenmaterial wird dadurch weniger lateral als vertikal im Bodenprofil in den Trockenrissen transportiert, womit das Oberbodenmaterial häufiger reduktiven Bodenbedingungen unterliegt. *Uusitalo & Turtola (2003)* weisen unter solchen Bedingungen eine zwei- bis dreifach höhere P-Freisetzung nach als unter oxidierenden. Somit kann der Wechsel von ausgeprägten Trocken- und Feuchtperioden zu einer zusätzlichen Phosphormobilisierung führen.

Längere Trockenperioden haben besonders gravierende Auswirkungen auf Fließgewässer- und Uferzonenökosysteme (*Poff et al. 2002*). Gerade in ohnehin extremen Stressperioden bewirken die Einleitungen von Pflanzenkläranlagen oder Hofabläufen bedenklich hohe Stoffkonzentrationen im Gewässer. Zwar verfügt der Länenbach insbesondere im Unterlauf bei geringen Wasserständen über ein hohes Selbstreinigungspotenzial, aber weite Strecken im Mittel- und Oberlauf sind stark belastet. Über einen relativ langen Zeitraum sind zwei das Ökosystem bestimmende Hauptfaktoren stark modifiziert: Abfluss und Nährstoffgehalt. Als Folge der höheren Lufttemperatur und der geringeren Abflüsse in Trockenperioden wird sich die Fließgewässertemperatur erhöhen und eine Änderung der Versorgung mit Sauerstoff (Eutrophierung) und Nährstoffen induzieren. Für Fließgewässer kann das zu einem Verschwinden von empfindlichen Arten führen.

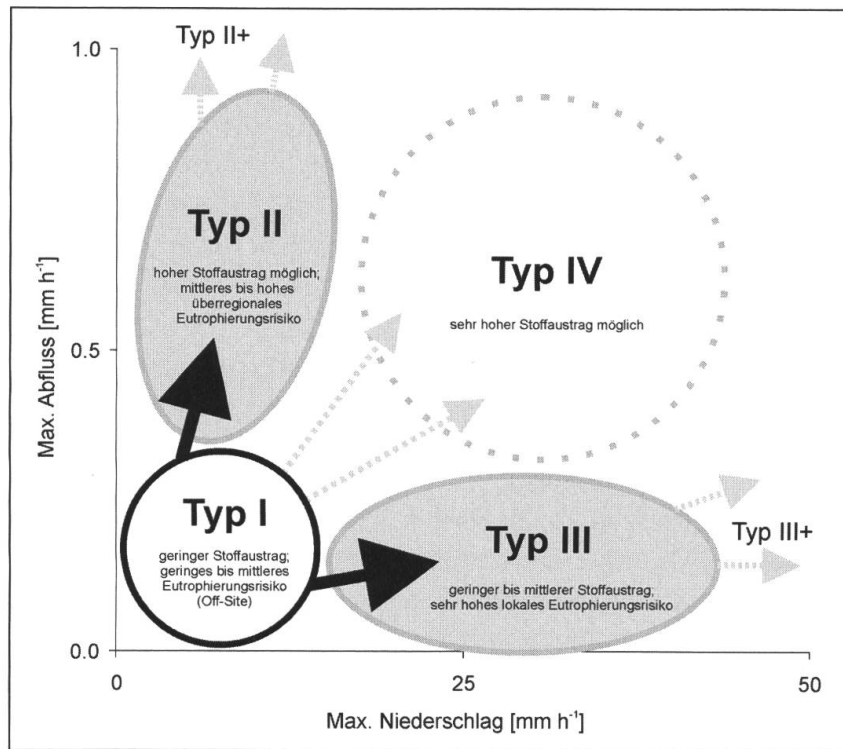


Abb. 3 Modell des Phosphortransports unter Aspekten der Skalendynamik und des allgemeinen Klimawandels.

Ausgehend vom Zusammenhang der maximalen Niederschlagsintensität und des maximalen Abflusses werden im vorliegenden Niederschlags-Abfluss-Modell der Phosphortransport sowie das Eutrophierungsrisiko modellhaft beschrieben. Zudem werden die aus der Literatur herangezogenen wahrscheinlichen Witterungsszenarien unter geänderter Klimavorzeichen hypothetisch integriert: Szenario "Typ II+": Höhere winterliche Niederschläge in Form von Regen und eine eventuell höhere Ereignisfrequenz führt zu grösseren Auswirkungen hinsichtlich Hochwasserscheitelabflüssen und wahrscheinlich zu höheren (auch jährlichen) Phosphorfrachten. Szenario "Typ III+": Durch höhere Niederschlagsintensitäten im Sommer oder in Trockenperioden sind Ereignisse ausserhalb des momentanen Typ III möglich. Szenario "Typ IV": Die von *Frei et al. (2005)* prognostizierten mehrtägigen Niederschlagsereignisse mit hohen Niederschlagsintensitäten im Winter resultieren möglicherweise im bisher nicht beobachteten Typ IV. Je nach Verfügbarkeit der Phosphorquellen kann das zu sehr hohem Stoffaustrag führen.

7 Fazit

Der Wasserhaushalt von Klein- und Kleinstinzugsgebieten wird unter geänderten klimatischen Vorzeichen durch die Häufung winterlicher Hochwasserereignisse und die Austrocknung weiter Bachstrecken während sommerlichen Trockenperioden gekennzeichnet sein. Ein modifiziertes Abflussmuster in künstlichen und natürlichen Gerinnen führt zur Änderung massgebender Teile der lokalen Ökosysteme. Hinsichtlich Phosphortransport kann von zwei Überlegungen ausgegangen werden:

- Eine Häufung von Niederschlag-Abflussereignissen und eine höhere Intensität von Niederschlagsereignissen im Winter führen zu einer Erhöhung der Jahresfracht an Phosphor. Neben den lokalen ökosystemaren Auswirkungen werden davon auch weiter entfernte Off-Site-Systeme betroffen sein.
- Im Vergleich zu Feuchtperioden ist die ausgetragene Fracht an Phosphor in Trockenperioden gering. Als Folge der Siedlungen und Gehöfte und aufgrund der unzureichenden Verdünnung durch das Fliessgewässer liegen in Klein- und Kleinstinzugsgebieten wiederholt sehr hohe Stoffkonzentrationen im Fliessgewässer vor. Dieser Umstand begünstigt die Eutrophierung von lokalen Gewässerabschnitten.

Geringe Abflüsse in Trockenperioden führen zu einer geringeren Erneuerung des Grundwasserkörpers übergeordneter Systeme (z. B. im Ergolzthal) – vor allem dann, wenn über zwei oder mehrere Jahre Trockenheit herrscht. Interessenskonflikte zwischen Landwirtschaft und Trinkwasserversorgung werden sich unter geänderten klimatischen Rahmenbedingungen zukünftig häufen und müssen bei aktuellen (agrar)politischen Entscheidungen mitberücksichtigt werden.

Literatur

- Birsan M.V., Molnar P., Burlando P. & Pfandner M. 2005. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology* 314: 312–329.
- Frei C., Schöll R., Schmidli J., Fukutomo S. & Vidale P. L. 2005. Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal for Geophysical Research* 110(D3): 4124–4137.
- Höll K. 2002. *Wasser – Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung*. Berlin, 1–955.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. IPCC Fourth Assessment Report – Climate Change 2007: Synthesis Report. Noch nicht editiert. Online verfügbar: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm> [Eingesehen am 10.01.2008]
- Kromp-Kolb H. & Formayer H. 2005. *Schwarzbuch Klimawandel – Wieviel Zeit bleibt uns noch?* Salzburg, 1–222.
- Leser H. 1982. Die Landschaft der Basler Region und ihre naturräumlichen Gliederungsprobleme. *Regio Basiliensis* 23: 2–24.
- Leser H. 1997. *Landschaftsökologie – Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung*. Stuttgart, 1–644.
- Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M. & Wanner H. 2004. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303: 1499–1503.
- 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.
- OcCC (Organe consultative sur les changements climatiques) & Pro Clim (Hrsg.) 2007. *Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. Bern. 1–171. Online verfügbar: http://www.occc.ch/products/ch2050/PDF_D/CH2050.pdf [Eingesehen am 10.05.2007]
- Ogermann P. & Weissshaidinger R. 2007. Orthophosphat im Boden und Gewässer eines Kleinstinzugsgebiets des Schweizer Tafeljuras. *Wasserwirtschaft* 3: 21–27.

- Poff N.L., Brinson M.M. & Day J.W. 2002. *Aquatic ecosystems & Global climate change – Potential Impacts on Inland Freshwater and Coastal Wetland Ecosystems in the United States*. Arlington. 1–44. Online verfügbar: <http://www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all%5Freports/aquatic%5Fecosystems/index.cfm> [Eingesehen am 15.11.2007]
- 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. Basel, 1–372.
- Rohr W., Mosimann T. & Bono R. 1990. *Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und -schäden auf Ackerflächen*. Materialien zur Physiogeographie 14. Basel, 1–39.
- Schär C., Vidale P. L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M. A. & Appenzeller C. 2004. The role of increasing temperature variability for European summer heat waves. *Nature* 427: 332–336.
- Scherrer S.C., Appenzeller C., Liniger M.A. & Schär C. 2005. European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios. *Geophysical Research Letters* 32. [doi:10.1029/2005GL024108]
- Steinhardt U., Blumenstein O. & Barsch H. 2005. *Lehrbuch der Landschaftsökologie*. Mit Beiträgen von Ketz B., Krüger W. & Wilmking M.. Heidelberg, 1–294.
- Uusitalo R. & Turtola E. 2003. Determination of redox-sensitive phosphorus in field runoff without sediment preconcentration. *Journal of Environmental Quality* 32: 70–77.
- Vavruch S. 1988. *Bodenerosion und ihre Wechselbeziehungen zu Wasser, Relief, Boden und Landwirtschaft in zwei Einzugsgebieten des Basler Tafeljura (Hemmiken, Rothenfluh)*. Physiogeographica – Basler Beiträge zur Physiogeographie 10, Basel, 1–372.
- Wall G.J., Bos A.W. & Marshall A.H. 1996. The relationship between phosphorus and suspended sediment loads in Ontario watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(6): 504–507.
- Weissshaidinger R. 2007. *Schwebstoff- und Phosphordynamik in agrarisch genutzten Landschaftsökosystemen – Oberflächen- und oberflächennahe Transportprozesse in Kleineinzugsgebieten des Basler Tafeljura (Schweiz)*. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Basel, Basel, 1–126. [als Manuskript vervielfältigt]
- Wüthrich C. & Leser H. 2006. *Geoökologischer Laborkurs – Das Handbuch zum Kurs*. Basel, 1–116 [als Manuskript vervielfältigt]

