

Evaluation Ökomassnahmen

Abschwemmung von Phosphor

Markus Braun, Bundesamt für Statistik (BFS), CH-2010 Neuchâtel

Natalie Aschwanden und Caroline Wüthrich-Steiner, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), CH-3003 Bern

Auskünfte: Markus Braun, e-mail: markus.braun@bfs.admin.ch, Fax +41 (0)32 713 64 49, Tel. +41 (0)32 713 62 14

ZUSAMMENFASSUNG

Im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches (LU) wird flächendeckend die Wirkung der Ökomassnahmen auf die Phosphorbelastung der Gewässer besonders durch Abschwemmung untersucht. Dabei werden auf 270 Schlägen Faktoren zum Standort, zur Bewirtschaftung und zum Düngerausstrag erhoben und in einen kausalen Zusammenhang zu den Messungen im Bach gestellt. Erste Ergebnisse lassen eine verminderte landwirtschaftsbedingte Phosphorbelastung des Baches von max. 19 % - verglichen mit der Belastung anfangs der neunziger Jahre - vermuten.

Für die Wirkungskontrolle der Ökomassnahmen im Bereich Phosphorbelastung der Gewässer wurden das Einzugsgebiet

des Lippenrütibaches (LU) und das Gebiet um den Frienisberg (BE) ausgewählt. Im ersten Fall steht vor allem die Abschwemmung in einem vorwiegend graswirtschaftlich genutzten Gebiet im Vordergrund der Untersuchungen, im zweiten Fall die Bodenerosion auf Ackerflächen (Grünig und Prasuhn 2001).

Folgende Punkte, welche für die Abschwemmung und die Drainageverluste wichtig sind, wurden in die Wirkungskontrolle einbezogen: standortgerechter Futterbau und standortgerechte Düngung, schonende Bewirtschaftung der Böden, bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Phosphorbilanz, zeitgerechte Düngung, ökologische Ausgleichsflächen.

Als Umwelt-Qualitätsziel (= Wirkungsziel) wurde festgelegt, dass die landwirtschaftsbedingte Phosphorbelastung der Oberflächengewässer - bezogen auf die Belastung anfangs der neunziger Jahre und im Durchschnitt der Schweiz - bis ins Jahr 2005 um 50 % reduziert werden soll (BLW 1999). Diese Zielsetzung hat als Konsequenz, dass in überdurchschnittlich belasteten Regionen eine Reduktion von mehr als 50 % erzielt werden muss.

Untersuchungsgebiet

Der Sempachersee gehört zu den am stärksten mit Phosphor belasteten Seen der Schweiz. Der Lippenrütibach ist einer jener Zuflüsse, welche den Sempachersee überdurchschnittlich

mit Phosphor beliefern (EAWAG 1990). Sein Einzugsgebiet als Untersuchungsgebiet (Abb. 1) umfasst etwa 334 Hektaren und erstreckt sich von 500 m ü.M. bis auf 800 m ü.M. Im langjährigen Mittel fallen etwa 1000 mm Niederschlag. Ungefähr 255 Hektaren des Einzugsgebietes gehören zur landwirtschaftlichen Nutzfläche; davon sind knapp 80 % Dauergrünland (Naturwiesen, Weiden oder Obstflächen) und gut 20 % Ackerland (Kunstpflanzen, Hackfrüchte und Getreide).

Viele Schläge (= Felder auf einer Parzelle, die einheitlich genutzt werden) weisen eine geringe Durchlässigkeit und eine hohe natürliche Verdichtungsgefährdung auf. Die meisten Schläge sind geneigt und liegen entweder nahe oder angrenzend an ein Gewässer oder an einen offenen Einlaufschacht. Zwei Drittel der Schläge sind drainiert. Fast alle Betriebe weisen in ihrer Nährstoffbilanz einen Phosphordeckungsgrad von hundert Prozent oder mehr auf.

Modell, um Kausalzusammenhänge zu zeigen

Die Wirkungskontrolle basiert auf drei Elementen (Abb. 2): Erstens wird die ökologische Entwicklung der Landwirtschaft anhand ausgewählter umweltrelevanter «Landwirtschaftsindikatoren» verfolgt. Zweitens wird die Entwicklung der Phosphorbelastung der Gewässer anhand einzelner «Umweltindikatoren» aufgezeichnet und drittens werden die Gewässerbelastung und

Abb. 1. Übersichtskarte über das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 22.12.1999).



die Landwirtschaft mit Hilfe eines Modells in einen kausalen Zusammenhang gestellt und miteinander verknüpft.

Die Daten für die Landwirtschaftsindikatoren werden auf den Landwirtschaftsbetrieben, bei den regionalen Beratungsstellen oder aus der amtlichen Statistik erhoben. Die Umweltindikatoren werden durch das Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern (AFU) aufgenommen. Die Eingangsdaten für das Modell ergeben sich aus früheren Studien (z.B. AGBA 1993 oder Denoth 1997) oder sind das Ergebnis von Betriebsbesuchen, von Felderhebungen und der Auswertung von Fragebögen sowie Messprotokollen der Landwirte. Das methodische Vorgehen ist in Braun *et al.* (2001) detailliert beschrieben.

Das Modell besteht aus drei Bausteinen (Abb. 3): Im ersten Baustein wird die standortbedingte Gefahr für Phosphorverluste für jeden einzelnen Schlag abgeschätzt (Boden, Topographie, Lage zum Einleiter). Der zweite Baustein ist die bewirtschaftungsbedingte Gefahr jedes Schleges (Bodennutzung, Betrieb (Phosphordeckungsgrad), pflanzenbauliche Nutzung, Massnahmen zur Reduktion der Phosphorverluste im Feld). Der dritte Baustein umfasst die Beurteilung der austragungs- oder ereignisbedingten Gefahr für jeden Schlag (zeitliches Zusammenspiel von Niederschlagsereignissen, Bodenzustand und Düngeraustrag). Aus der Ver-

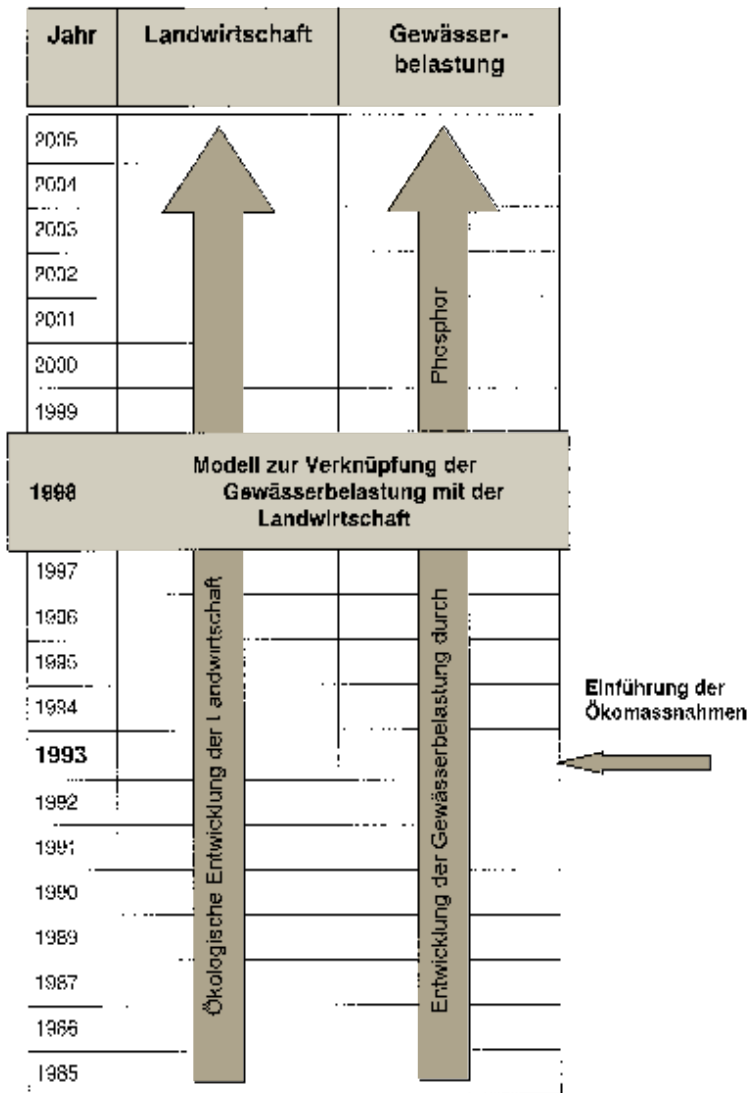


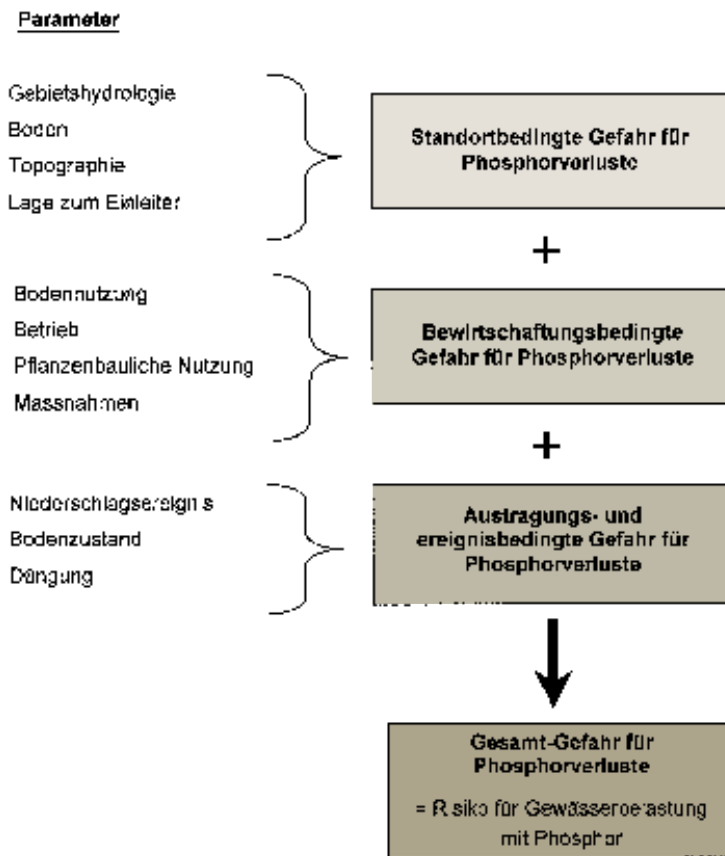
Abb. 2. Konzeptionelle Grundidee zur Evaluation der Ökomassnahmen im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches.

knüpfung der drei Teilgefahren ergibt sich die Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste für jeden Schlag. Es wurden konsequent vier Gefahrenstufen unterschieden: geringe, mittlere, hohe und sehr hohe Gefahr für Phosphorverluste.

Dank dem Modell ist es möglich, beeinflussbare Faktoren (z.B.

die Bewirtschaftung) und nicht beeinflussbare Faktoren (z.B. der Standort oder die Witterung) weitgehend zu entflechten. Erst dadurch lässt sich die Frage beantworten, worauf allfällige Veränderungen der Gewässerbelastung tatsächlich zurückzuführen sind. Mit dieser Methodik kann bereits nach kurzer Untersuchungszeit eine erste Hypo-

Abb. 3. Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft.



these über die Wirkung der Ökomassnahmen aufgestellt werden. Eine wissenschaftlich zuverlässige und abgesicherte Aussage über die Wirkung der Ökomassnahmen wird allerdings erst nach mehreren Jahren möglich sein.

Etwas geringere Phosphorbelastung

Landwirtschaftsindikatoren: Im Jahr 1990 gab es im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches weder IP- noch BIO-Betriebe. Bis ins Jahr 1998 hatten 28 von 29 Betrieben im Untersuchungsgebiet auf IP oder BIO umgestellt. Im Jahr 1990 betrug die Ökologische Ausgleichsflächen (damals allerdings noch nicht als solche ausgewiesen) schätzungsweise 0,4 % der Landwirtschaftlichen Nutzfläche, 1998 ungefähr 4,3 %. Der restliche Anteil der geforderten

7 % wird durch Hochstammbäume erbracht. Zwischen 1990 und 1998 nahm das Güllegrubenvolumen auf den untersuchten Betrieben von 20'000 m³ auf 24'600 m³ zu. Die untersuchten, umweltrelevanten Landwirtschaftsindikatoren zeigen somit bezüglich Ökologie eine positive Entwicklung. Allerdings kann anhand dieser Daten nicht abgeschätzt werden, wie viel der Lippenrütibach als Folge der Ökologisierung der Landwirtschaft entlastet wird.

Umweltindikatoren: Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des Jahresabflusses und der Jahresfrachten verschiedener Phosphorfraktionen (AFU 1999). Das Jahr 1998 wies den tiefsten Abfluss seit Mitte der achtziger Jahre auf. Gründe dafür waren die wenigen und wenig intensiven Niederschlagsereignisse so-

wie die längeren Trockenperioden im Frühling und im Sommer. Demgegenüber wurde in den Monaten September bis November über zwei Drittel der gesamten Jahresfracht gemessen. Bei den Frachten des gelösten Phosphors kann anhand der für jedes Jahr berechneten Beziehung zwischen den gemessenen Konzentrationen und Abflussmengen (C/Q-Beziehungen) eine abnehmende Tendenz im Bereich von etwa 25 % zwischen 1990 und 1997 beobachtet werden. Allerdings liegt diese Abnahme innerhalb des Fehlerbereiches von 20-30 % (Butscher 1999) und ist somit nicht signifikant. Beim partikulären Phosphor ist keine Tendenz zu erkennen.

Modell: Ungefähr 38 % der Schläge weisen eine mittlere standortbedingte Gefahr auf, 61 % eine hohe. Die meisten Schläge neigen somit standortbedingt zu hohen Phosphorverlusten. Die bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste war 1998 auf 17 % der Schläge null oder gering, auf 13 % mittel, auf 50 % hoch und auf 19 % sehr hoch. Die 69 % der Schläge mit einer hohen oder sehr hohen bewirtschaftungsbedingten Gefahr für Phosphorverluste entsprechen ca. 86 % der Fläche aller Schläge, weil besonders auf grösseren Schlägen eine intensive Bewirtschaftung, hohe Nährstoffgaben und eine hohe Drainagedichte anzutreffen sind sowie Massnahmen, um die Phosphorverluste im Feld zu vermindern, fehlen. Die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr war 1998 auf 21 % der Schläge null, auf 26 % gering, auf 43 % hoch und auf 10 % sehr hoch. Ungefähr 14 % der Fläche wiesen eine sehr hohe Klassierung auf, das heisst auf diesen Flächen ist 1998 (obwohl ein trockenes Jahr) mehr als ein ungünstiges Ereignis aufgetreten (z.B. Düngung auf nassen

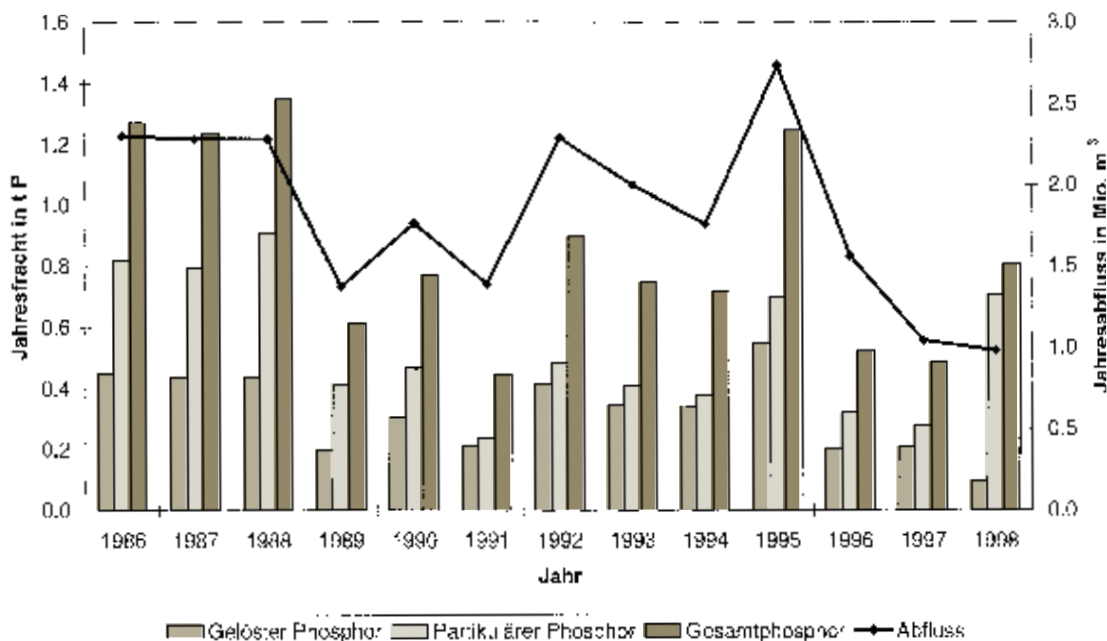


Abb. 4. Jahresabfluss und Jahresfrachten an gelöstem und partikulärem Phosphor sowie Gesamtphosphor im Lippenrütibach 1986 bis 1998 (AFU 1999).

Boden einen Tag vor einem grösseren Niederschlagsereignis). Abbildung 5 zeigt die Gesamt-Gefahr für alle Schläge für das Jahr 1998: Demnach wiesen 21 % der Schläge keine oder eine geringe Gefahr für Phosphorverluste auf, 26 % eine mittlere, 48 % eine hohe und 4 % eine sehr hohe. In einem Jahr mit durchschnittlichen oder überdurchschnittlichen Niederschlagsereignissen werden sich die Anteile in den oberen Gefahrenklassen erhöhen.

Mit den erhobenen Daten und dem Modell ist es möglich, den Bezug der Frachtspitzen, der Konzentrationsspitzen oder der Jahresfracht im Bach zu einzelnen Schlägen kausal herzustellen. Als ein Beispiel dient das Hochwasser vom 5. September 1998: Abbildung 6 zeigt, auf welchen Schlägen die standortbedingte, die bewirtschaftungsbedingte sowie die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr am 5. September 1998 hoch oder sehr hoch waren (weil z.B. auf einem Schlag in Hanglage und mit intensiver Nutzung kurze Zeit vor dem Niederschlagsereignis noch Gülle ausgetragen wurde).

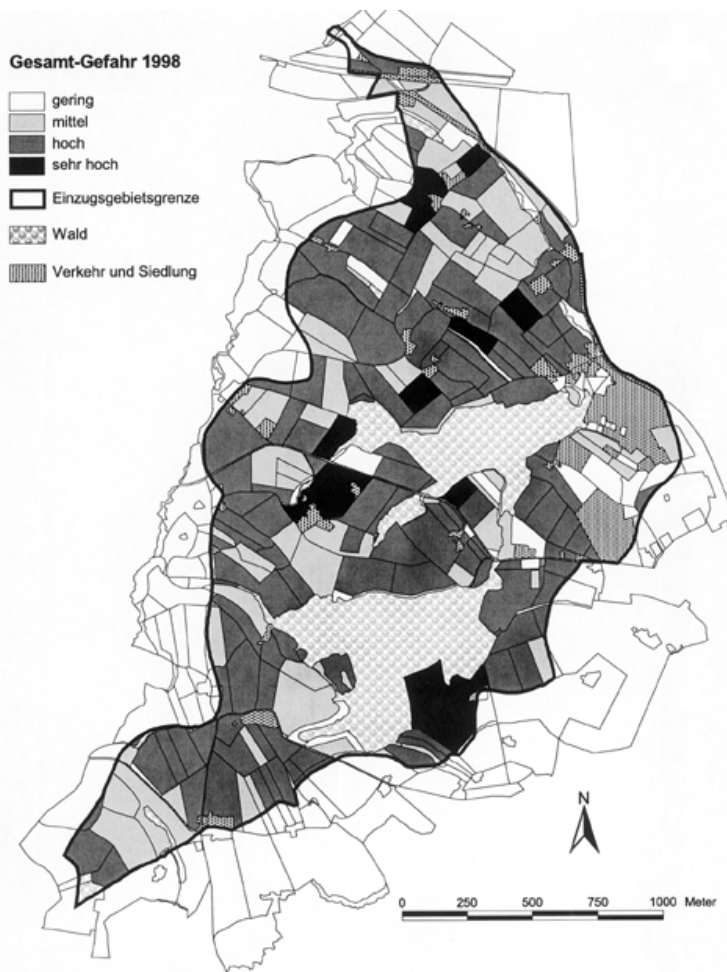
Es kann somit ein kausaler Zusammenhang zwischen der Frachtspitze im Bach am 5. September 1998 und einzelnen Schlägen, welche überdurchschnittlich dazu beigetragen haben, hergestellt werden. Dies ist für alle Frachtspitzen und alle Konzentrationsspitzen im Bach für das Jahr 1998 möglich. Hiermit lassen sich mit der gewählten Methodik über die Jahre hinweg «hot spots» identifizieren, die sich als Ansatzpunkte für weiterführende Massnahmen anbieten.

Im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches wurde 1998 auf 86 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche die bewirtschaftungsbedingte Gefahr für Phosphorverluste als hoch oder sehr hoch und damit bezüglich der Gefahr für Phosphorverluste als problematisch eingestuft. Auf diesen Flächen wurden für das Jahr 1998 die durchschnittlichen, flächenspezifischen Phosphorverluste je nach unproblematischem oder problematischem Standort auf 1,6 bis 1,7 kg P/ha geschätzt. Auf den verbleibenden 14 % der

landwirtschaftlichen Nutzfläche lag der Wert je nach Standort zwischen 0.6 und 0.9 kgP/ha. Diese Werte konnten auf Grund von Modellrechnungen und im Vergleich mit der gemessenen Jahresfracht im Lippenrütibach ermittelt werden (siehe Braun *et al.* 2001). Auf maximal 14 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (= 36 ha) hätte somit 1998 der Fall auftreten können, dass infolge der Ökomassnahmen eine zuvor problematische Bewirtschaftung in eine unproblematische umgewandelt wurde. Dies beinhaltet ein maximales Reduktionspotential bezüglich der Phosphorverluste von jährlich ca. 32 kg P, was ca. 8 % der landwirtschaftsbedingten Belastung im Bach entspricht.

Betrachtet man jedoch nicht nur die bewirtschaftungsbedingte sondern auch die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr für Phosphorverluste, sieht man, dass 1998 auf 68 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche die austragungs- und ereignisbedingte Gefahr hoch oder sehr hoch war und somit bezüglich der Phosphorverluste als problematisch

Abb. 5. Gesamt-Gefahr für Phosphorverluste auf allen Schlägen im Einzugsgebiet des Lippenrütibaches im Jahr 1998.



beurteilt wurde. Auf diesen Flächen lagen 1998 die durchschnittlichen, flächenspezifischen Phosphorverluste je nach unproblematischem oder problematischem Standort zwischen 1,5 und 2.0 kg P/ha. Auf den verbleibenden 32 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit unproblematischen Düngerausträgen wurde der Wert je nach Standort auf ca. 0,4 bis 0,9 kg P/ha geschätzt (Braun *et al.* 2001). Folglich kann 1998 auf maximal 32 % der Fläche (= 85 ha) der Fall vorliegen, dass infolge der Ökomassnahmen keine problematischen Düngerausträge mehr stattfanden. Dies entspricht einem maximalen Reduktionspotenzial von jährlich ca. 94 kg P oder ca. 19 % der landwirtschaftsbedingten Belastung im Bach.

Folgerungen

Die Interpretation der Ergebnisse des Modelles lässt die Hypothese zu, dass die Ökomassnahmen im Jahr 1998 zu einer Reduktion der landwirtschaftsbedingten Phosphorbelastung des Lippenrütibaches von max. 19 % geführt haben.

Diese erste Hypothese darf deshalb aufgestellt werden, weil mit dem Modell die beeinflussbaren Faktoren (z.B. die Bewirtschaftung) und die nicht beeinflussbaren Faktoren (z.B. der Standort oder die Witterung) weitgehend voneinander getrennt werden konnten. Um die Hypothese wissenschaftlich zu belegen, muss die Wirkungskontrolle noch während mehrerer Jahre weitergeführt werden.

Die Reduktion der landwirtschaftsbedingten Phosphorbelastung von max. 19 % läge unterhalb des prognostizierten Bereiches von 38 bis 40 % für Gebiete des Mittellandes und der Voralpen (Braun und Prasuhn 1997). Sie läge aber auch unterhalb der Zielsetzung von 50 % für den Durchschnitt der Schweiz und noch deutlicher unterhalb der Zielsetzung von mehr als 50 % für ein überdurchschnittlich belastetes Gebiet, wie es das Einzugsgebiet des Lippenrütibaches ist.

Literatur

- AGBA, 1993. Einzugsgebiet des Sempachersees. Übersichtskarte 1:5'000 und 1:10'000. Ebikon.
- AFU (Amt für Umweltschutz), 1999. Digitale Übermittlung der Daten zu den Jahresabflüssen und -frachten für Phosphor im Lippenrütibach. Luzern.
- BLW (Bundesamt für Landwirtschaft), 1999. Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme. Zweiter Zwischenbericht. Bern, 167 Seiten.
- Braun M. und Prasuhn V., 1997. Massnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern. *Agrarforschung* 4 (8), 339-342.
- Braun M., Wüthrich-Steiner C., Aschwanden N. und Denoth F., 2001. Wirkungskontrolle der Ökomassnahmen im Bereich Phosphorbelastung der Oberflächengewässer insbesondere durch Abschwemmung. In Bearbeitung.
- Butscher E., 1999. Mündliche Mitteilungen. Amt für Umweltschutz, Luzern.
- Denoth F., 1997. Oberflächenabfluss und Phosphorverluste auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Eine räumliche Analyse. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich. 79 Seiten und Anhang.
- EAWAG (Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung

und Gewässerschutz), 1990. Sanierung des Sempachersees. Auswertung der Zuflussuntersuchungen - Messperiode Januar 1986 bis Dezember 1988. Dübendorf, 117 Seiten.

■ Grünig K. und Prasuhn V., 2001. Evaluation der Ökomassnahmen: Phosphorverluste durch Bodenerosion. *Agrarforschung* 8 (1), 30-35.

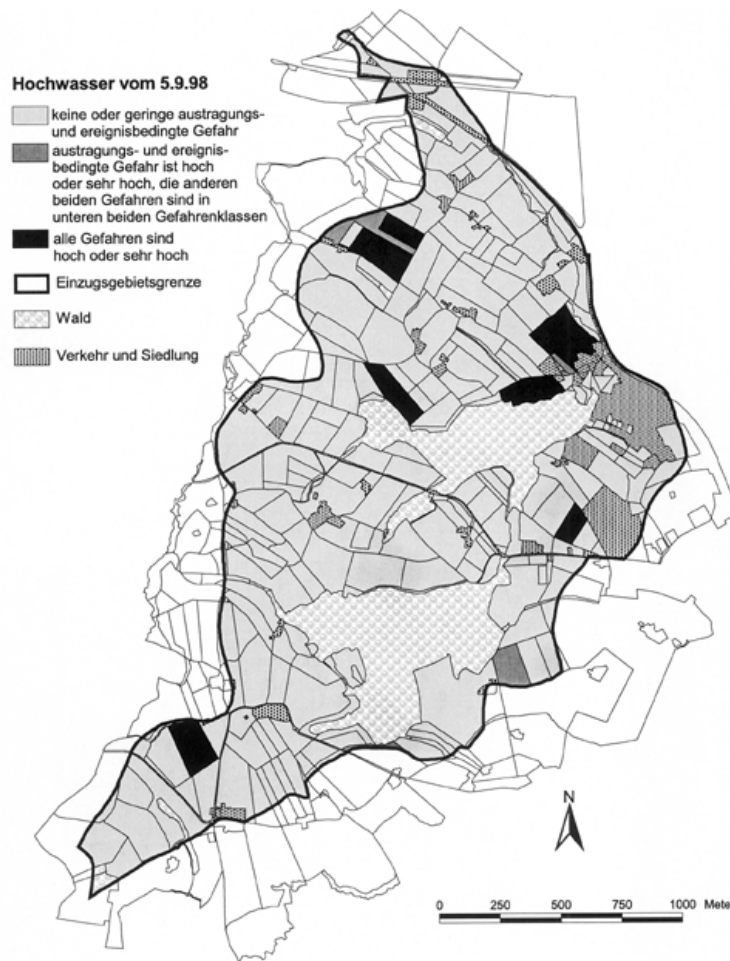


Abb. 6. Hochwasser vom 5.9.1998 mit der austragungs- und ereignisbedingten Gefahr zu diesem Zeitpunkt und in Kombination mit der standortbedingten und bewirtschaftungsbedingten Gefahr auf allen Schlägen.

RÉSUMÉ

Evaluation des mesures écologiques: pertes de phosphore par ruissellement superficiel

Dans le bassin versant du Lippenrütibach (LU), on a étudié l'impact global des mesures écologiques par l'agriculture sur la charge des eaux en phosphore, notamment sous l'effet du ruissellement superficiel. Sur 270 parcelles, on a relevé des facteurs relatifs au site, au mode d'exploitation et à l'épandage d'engrais. Ces paramètres ont été mis en relation de cause à effet avec les mesures effectuées dans le torrent. Les premiers résultats laissent supposer que la charge de phosphore d'origine agricole dans le torrent a baissé au maximum 19 % par rapport à la charge relevée au début des années 90.

SUMMARY

Evaluation of ecological measures: phosphorus losses by surface runoff

The effect of ecological measures in agriculture on the phosphorus contamination of waters caused in particular by surface runoff was investigated in the catchment area of the Lippenruti Brook in the canton of Lucerne. Within the scope of this investigation spanning 270 different fields, site, cultivation and dung spreading factors were examined and placed in a causal connection with the measurements made in the brook. In comparison to the phosphorus contamination of the brook at the beginning of the nineties, first results lead to assume a maximal reduction of 19 % of the contamination caused by agriculture.

Key words: evaluation of ecological measures, phosphorus, losses by surface run off, water contamination