



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Agroscope Reckenholz-Tänikon  
Research Station ART

**eawag**  
aquatic research ooo

# Machbarkeitsstudie Kartierung beitragender Flächen

Studie im Auftrag des BAFU



Martin Frey  
Nadine Konz  
Christian Stamm  
Volker Prasuhn

Juli 2011







# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Wissenschaftliche Belege für das Konzept beitragender Flächen</b>	<b>3</b>
2.1	Überlegungen zu Frachtdynamik und Massenbilanzen . . . . .	3
2.2	Analyse bestehender Felduntersuchungen . . . . .	3
2.3	Werkzeuge zur Vorhersage beitragender Flächen . . . . .	5
2.4	Fazit . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Beispielhafte Anwendung der Konzepte und Diskussion der agronomischen Auswirkungen auf ausgewählten Betrieben</b>	<b>10</b>
3.1	Vorhersagen beitragender Flächen . . . . .	10
3.2	Minderungsmaßnahmen . . . . .	14
3.3	Diskussion . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Evaluierung flächendeckender Grundlagendaten</b>	<b>20</b>
4.1	Evaluation vorhandener Grundlagendaten . . . . .	20
4.1.1	Schlagraster, Parzellenplan und Feldblöcke . . . . .	20
4.1.2	Landnutzung . . . . .	22
4.1.3	Klimadaten . . . . .	22
4.1.4	Gewässernetz . . . . .	22
4.1.5	Digitales Höhenmodell . . . . .	22
4.1.6	Bodenkarten . . . . .	23
4.1.7	Fazit . . . . .	26
4.2	Digital Soil Mapping . . . . .	27
4.2.1	Massstab, Auflösung und Bodenparameter . . . . .	28
28subsection.4.2.2		
4.2.3	Vorschlag für das weitere Vorgehen . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Vorschläge für weiteres Vorgehen</b>	<b>31</b>
5.1	Praktische Umsetzung . . . . .	31
5.2	Ausblick . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>34</b>
6.1	Vorhersagewerkzeuge . . . . .	34
6.1.1	AVErosion . . . . .	34
6.1.2	P-Index . . . . .	34
6.1.3	Topindex-Ansatz . . . . .	36

6.1.4	Ansatz mit den dominanten Abflussprozessen (DRP) . . . . .	37
6.2	Evaluationssdaten für P-Indices . . . . .	39
6.3	Folien der Abschlussveranstaltung . . . . .	41

# 1 Einleitung

Um die Produktionsbedingungen zu optimieren, werden in der Landwirtschaft Pflanzenschutzmittel (PSM) und Nährstoffe, vor allem Phosphor (P) und Stickstoff (N), eingesetzt. Die Stoffe können aber abgeschwemmt werden und in Gewässern zu einer diffusen Belastung führen. PSM können empfindliche Organismen in den Gewässern beeinträchtigen und ein übermässiger Nährstoffeintrag führt zu Eutrophierung in Seen. Auf landwirtschaftlichen Flächen findet zudem Erosion statt. Sedimenteintrag aus Bodenerosion kann zur Kolmation der Gewässersohle führen, d.h. dem Verstopfen der Poren, wodurch Laichplätze für Fische zerstört werden können.

Aus Sicht der Landwirtschaft werden Massnahmen zur Verminderung solcher Gewässerbelastungen gesucht, die eine möglichst grosse positive Wirkung im Gewässer bei möglichst geringen Kosten und geringen Einschränkungen der landwirtschaftlichen Produktion haben. In diesem Zusammenhang wäre es interessant, wenn man Reduktionsmassnahmen nur auf einem kleinen Teil der landwirtschaftlichen Flächen durchführen müsste.

Der Stofftransport, der für die diffuse Gewässerbelastung verantwortlich ist, findet hauptsächlich im Wasser statt. Aus der Hydrologie ist seit Langem bekannt, dass nur ein begrenzter Teil eines Einzugsgebietes zum Abfluss während eines Regenereignisses beiträgt (Hewlett and Hibbert, 1967). Darum ist es naheliegend, dass auch nur dieser Teil der Fläche für die diffuse Gewässerbelastung verantwortlich ist. Damit bietet sich die Möglichkeit, mit gezielten Massnahmen auf wenigen, ausgewählten Flächen eine wesentliche Verringerung der Gewässerbelastung herbeizuführen, ohne sämtliche Landwirtschaftsflächen mit zusätzlichen Auflagen zu belegen.

In der wissenschaftlichen Literatur ist dieses Konzept bereits verbreitet. Flächen mit grossem Verlustpotential werden zu Deutsch als *beitragende Flächen* bezeichnet, im Englischen sind solche Flächen unter dem Ausdruck *critical source areas*, *contributing areas* oder *hydrologically sensitive areas* bekannt. Beitragende Flächen sind hydrologisch aktiv und mit dem Gewässernetz verbunden, darüber hinaus muss eine Stoffquelle für den Transport vorhanden sein (Nährstoffe, PSM oder offener Boden).

Reduktionsmassnahmen auf beitragenden Flächen sind dann interessant, wenn sich diese Flächen auf einen relativ kleinen Anteil der Gesamtfläche beschränken. Des Weiteren wäre es von Vorteil, wenn sich die beitragenden Flächen für P, N, PSM und Erosion überlappen würden.

Für die effektive Gewässerbelastung spielt neben dem Transportrisiko auch die Stoffquelle eine wichtige Rolle. Auf Grasland kann der Nährstoffeinsatz beispielsweise relativ gross sein, es besteht jedoch ein geringes (aktuelles) Risiko für PSM-Verluste, weil solche hier kaum eingesetzt werden. Da das aktuelle Verlustrisiko von Stoffen stark von der aktuellen Bewirtschaftung abhängt, wird zwischen dem aktuellen - von der Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung usw. abhängigen - und dem potentiellen, standortspezifischen -

schen Risiko unterschieden. Letzteres ist nur von den zeitlich weitgehend konstanten Standorteigenschaften (Boden, Relief, Klima, Gewässernetz) abhängig. Da Änderungen in der Fruchtfolge auch Reduktionsmassnahmen darstellen können, betrachten wir in dieser Arbeit nur das potentielle Risiko.

Um das Konzept beitragender Flächen in der landwirtschaftlichen Beratung und Kontrolle umzusetzen, müssen diese Flächen, basierend auf verfügbaren Daten, mit genügender Genauigkeit vorausgesagt werden. Um die Machbarkeit der Umsetzung zu evaluieren, sind wir in unserem Projekt auf folgende vier Punkte eingegangen.

- 1 Zusammenfassen der wissenschaftlichen Konzepte für beitragende Flächen (N, P, PSM, Erosion) inkl. empirischer Wirkungsnachweis, Vorhersage-Ungenauigkeit sowie zentraler Wissenslücken.
- 2 Untersuchung der agronomischen Auswirkungen anhand ausgewählter Betriebe.
- 3 Vorschlag zum Vorgehen bei der Erhebung flächendeckender Grundlagendaten inkl. Abschätzung notwendiger Ressourcen.
- 4 Vorschläge für das weitere Vorgehen, um das Konzept in der Praxis anzuwenden.

Auf den ersten Punkt gehen wir in Kapitel 2 ein. Wir gehen dabei der Frage nach, inwieweit das Konzept für Nährstoffe, PSM und Erosion in der wissenschaftlichen Literatur abgestützt ist. Darüber hinaus zeigen wir auf, mit welchen Werkzeugen beitragende Flächen identifiziert werden können. Danach gehen wir in Kapitel 3 auf den zweiten Punkt ein, wobei wir die Werkzeuge auf vier Testbetriebe anwenden. Dabei diskutieren wir auch die Effekte und mögliche agronomischen Auswirkungen auf den Betrieben. Um die Vorhersageinstrumente in der Praxis anwenden zu können, braucht es verschiedene Inputdaten. Deren flächendeckende Verfügbarkeit evaluieren wir in Kapitel 4 und diskutieren das Vorgehen bei der Datenerhebung. Im abschliessenden Kapitel 5 diskutieren wir den vierten Punkt und evaluieren die Anwendbarkeit des Konzepts in der Schweizer Landwirtschaft. Im Anhang befinden sich zudem eine Zusammenstellung der Daten für die Methoden-Evaluation in Kapitel 2, eine Beschreibung der in Kapitel 3 verwendeten Methoden sowie die Folien der Abschlussveranstaltung vom 15. Juni 2010.



## 2 Wissenschaftliche Belege für das Konzept beitragender Flächen

*(Dieses Kapitel ist eine etwas ausführlichere Version eines Artikel, der in Agrarforschung Schweiz erschienen ist (Frey et al., 2011))*

### 2.1 Überlegungen zu Frachtdynamik und Massenbilanzen

Feldmessungen zeigen, dass P, PSM und Sedimente vorwiegend während grossen Abflussereignissen ins Gewässer gelangen. Dabei sind vor allem schnelle Abflussprozesse wie Oberflächenabfluss oder Transport durch Grobporen in Drainagen aktiv. Diese Prozesse treten räumlich begrenzt auf. Im Unterschied dazu gelangt N hauptsächlich mit dem Basisabfluss, welcher aus dem Grundwasser gespeist wird, in Oberflächengewässer. Die Versickerung von N mit dem Bodenwasser ins Grundwasser ist räumlich weniger eingeschränkt.

Eine grobe Abschätzung der Ausdehnung der beitragenden Flächen für die verschiedenen Stoffe kann aus einfachen Massenbilanzüberlegungen gewonnen werden. Messungen im Ausfluss von Einzugsgebieten zeigen, dass häufig grosse Mengen - teilweise über 30 % der im Einzugsgebiet eingesetzten N-Menge - im Ausfluss gefunden werden kann. Beim P betragen die Verluste hingegen meist nur 3-5 % und bei den PSM liegen sie sogar häufig unter 1 % der ausgebrachten Menge. Abschwemmungen von P und PSM können sich also auf einen kleinen Teil des Einzugsgebietes beschränken. Beim N hingegen muss eine relativ grosse Fläche beitragend sein. Bei der N-Belastung handelt es sich deshalb eher um ein flächenhaftes Problem, das mit angepasstem Management auf einem kleinen Teil des Gebietes meist nicht gelöst werden kann.

### 2.2 Analyse bestehender Felduntersuchungen

Es ist nicht einfach, die im Abfluss gemessenen Stoffverluste räumlich beitragenden Flächen im Einzugsgebiet zuzuordnen. Bei der Erosion gelingt die Identifikation am besten, da Erosionsspuren auch nach einem Niederschlagsereignis noch gut erkennbar sind (Abbildung 2.1). Die langjährige Erosionsstudie in der Region Frienisberg zeigt, dass der von Erosion betroffene Flächenanteil im Mittel pro Jahr ungefähr 16 % betrug (Prasuhn et al., 2007). Bei einzelnen Abtragsereignissen lag der Anteil häufig erheblich niedriger. Weltweit liefern Erosionsuntersuchungen ähnliche oder tiefere Werte. Dabei muss beachtet werden, dass Erosionsstudien im Allgemeinen in erosionsgefährdeten Regionen durchgeführt werden. Wird der Anschluss an ein Gewässer einbezogen, verringert sich der

Flächenanteil beitragender Flächen noch einmal stark, da schon kleine topographische Barrieren den Sedimentabfluss ins Gewässer aufhalten können. Die Qualität des Bodens wird durch die Erosion natürlich dennoch beeinträchtigt.



**Abbildung 2.1:** Die über Bodenerosion zur Gewässerbelastung beitragenden Flächen lassen sich im Feld gut kartieren. Erosionsrinne, die in einen Einlaufschacht und über diesen ins Gewässer mündet. Foto: Thomas Ledermann, CDE Uni Bern.

Im Gegensatz zur Erosion können die Verluste bei gelösten Stoffen nachträglich kaum zurückverfolgt werden, da keine Spuren des Transportvorgangs erhalten bleiben. Es existieren deshalb nur wenige Feldstudien, die das Konzept der beitragenden Flächen empirisch bestätigen. Am besten wurden bisher P-Verluste untersucht. Aufschlussreich sind verschiedene Studien zur P-Abschwemmung in Pennsylvania (USA), wo die P-Verluste wie bei uns während wenigen starken Regenereignissen stattfinden (Pionke et al., 1996). Der Abfluss während dieser Ereignisse wird hauptsächlich durch Oberflächenabfluss auf gesättigten Flächen entlang des Gewässers gebildet (Gburek and Sharpley, 1998). Die Messungen beruhen dabei auf Sättigungssensoren. Die Ausdehnung der beitragenden Flächen war variabel (Sharpley et al., 2008). Grosse Niederschlagsereignisse mit einer grossen Vorfeuchte führten zu einer grösseren Ausdehnung der beitragenden Flächen. Für durchschnittliche Abflussereignisse mit einer Wiederkehrperiode von einem Jahr betrug der Anteil beitragender Flächen ca. 20% des Einzugsgebietes. Diese Ereignisse waren für 47 % der totalen P-Verluste bzw. 54 % der gelösten P-Verluste während einer

10-jährigen Untersuchungsperiode verantwortlich. Es gab aber auch zwei Extremereignisse (Wiederkehrperiode grösser als 10 Jahre), bei denen praktisch das ganze Gebiet zum Abfluss beigetragen haben muss. Diese zwei Ereignisse waren alleine für 23% der totalen P-Verluste (18% des gelösten P) während der Untersuchungszeit verantwortlich. Insgesamt stammten aber in etwa 80% der gesamten P-Verluste von 20% der Fläche.

Eine weitere Studie, welche die räumliche Variabilität der P-Abschwemmung aufzeigt, stammt aus Schweden (Ulén et al., 2001). Dort wurde die P-Abschwemmung aus 15 drainierten Feldern während 10 Jahren gemessen. Da der Drainageabfluss der einzelnen Felder beprobt wurde, konnten die Verluste eindeutig den Feldern zugeordnet werden. Dabei gelangte auf den meisten Feldern auch der Oberflächenabfluss durch Schächte in das Drainagesystem. Die Verlustraten variierten um mehr als einen Faktor 100. Die P-Abschwemmung von den vier Feldern (32 % Flächenanteil) mit den grössten absoluten Verlusten betrug 71% der total abgeschwemmten P-Menge von allen Feldern. Da die einzelnen Felder über das ganze Land verteilt waren, kann die Studie aber nicht als Beweis für die kleinräumige Variabilität dienen, sondern nur aufzeigen, dass die Verluste je nach Bedingungen sehr unterschiedlich sein können.

Die räumliche Variation der Verluste von PSM wurde im Greifenseegebiet intensiv analysiert. Messungen zeigten, dass aus den Maisfeldern eines Untereinzugsgebietes, die 44% der Maisfläche des gesamten Einzugsgebietes ausmachten, 76% der Verluste stammten (Leu et al., 2004). Dank einer weiteren Studie im gleichen Gebiet konnten die beitragenden Flächen weiter eingeschränkt werden (Gomides Freitas et al., 2008). Dabei wurde gezeigt, dass auf wenigen Aren eines Feldes der Verlust bis zu 30-mal höher sein kann als im Rest des Feldes. Diese Untersuchungen haben ausserdem gezeigt, dass hydrologische Verbindungen zwischen Feld und Gewässersystem entscheidend sind (Leu et al., 2004; Frey et al., 2009a). Kleinräumige topographische Barrieren können verhindern, dass abgeschwemmte PSM ins Gewässer gelangen (siehe Abbildung 2.2). Das zurückgehaltene Wasser reinfiltierte in den Boden. Bei drainierten Böden kann ein Teil davon über Makroporen und die Drainage trotzdem ins Gewässer gelangen. Im untersuchten Gebiet war insgesamt lediglich ein Drittel der Fläche mit dem Gewässer verbunden.

Insgesamt zeigt die durchgeführte Literaturrecherche, dass das Konzept der beitragenden Flächen für Erosion, P- und PSM-Verluste empirisch begründet ist. Die vorhandenen Daten zeigen, dass in vielen Fällen ungefähr 80 % der Verluste auf rund 20 % der Fläche entstehen. Die genaue Ausdehnung ist von den lokalen Bedingungen abhängig und kann sich bei grossen Regenereignissen vergrössern. Beim Stickstoff hingegen ist meist von einem flächenhaften Problem auszugehen, dem am ehesten auch mit flächenhaft wirksamen Massnahmen zu begegnen ist.

## 2.3 Werkzeuge zur Vorhersage beitragender Flächen

Um Massnahmen für beitragende Flächen zu empfehlen, muss die räumliche Ausdehnung dieser Flächen zuerst bekannt sein. Um diese Standorte zu identifizieren, braucht es zuverlässige, wissenschaftlich anerkannte Vorhersagemodelle. Für eine flächenhafte Anwendung basierend auf verfügbaren Daten kommen nur relative einfache Modelle in Frage.