

# Massnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern

Markus BRAUN und Volker PRASUHN, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Liebefeld, CH-3003 Bern

Mittels Stofffluss-Modellen haben wir die Wirkung von 23 in der landwirtschaftlichen Praxis angewandten Massnahmen, welche die Nährstoffbelastung der Gewässer reduzieren, abgeschätzt. Es ist möglich, je nach Region, die diffus vom Menschen verursachte Belastung beim Phosphor um 15 bis 40% und beim Stickstoff um 2 bis 24% zu vermindern. Diese Schätzung kann auch als Prognose für die Wirkung der Öko-Massnahmen nach Art. 31b interpretiert werden.

Tab. 1. Nährstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer im REZGUS (= Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen) und in vier Regionen des Kantons Bern (nach Braun et al. 1991 sowie Prasuhn und Braun 1994)

Phosphor	REZGUS	Alpen	Voralpen	Mittelland	Jura
diffus anthropogene Belastung	79%	15%	51%	68%	57%
natürliche Hintergrundlast	21%	85%	49%	32%	43%
diffuse Quellen P/Jahr <sup>1</sup>	516 t	406 t	67 t	94 t	22 t
Abschwemmung	46%	5%	34%	30%	30%
Erosion	24%	88%	42%	38%	25%
Auswaschung (inkl. Drainagen)	24%	4%	13%	17%	23%
Verschiedenes	6%	2%	11%	15%	22%
diffuse Quellen P/Jahr <sup>2</sup>	516 t	406 t	67 t	94 t	22 t
<b>Stickstoff</b>					
diffus anthropogene Belastung	78%	43%	71%	82%	73%
natürliche Hintergrundlast	22%	57%	29%	18%	27%
diffuse Quellen N/Jahr <sup>1</sup>	21'338 t	2'292 t	1'619 t	4'909 t	954 t
Abschwemmung und Erosion	2%	25%	6%	3%	3%
Auswaschung unter Ackerland <sup>3</sup>	45%	1%	29%	58%	38%
Auswaschung Rest <sup>3</sup>	51%	69%	61%	37%	50%
Verschiedenes	2%	5%	4%	2%	9%
diffuse Quellen N/Jahr <sup>2</sup>	21'338 t	2'292 t	1'619 t	4'909 t	954 t

<sup>1</sup> aufgeschlüsselt nach Quellen (siehe Abb. 1)

<sup>2</sup> aufgeschlüsselt nach Prozessen beziehungsweise Eintragswegen

<sup>3</sup> inklusive Drainageverluste

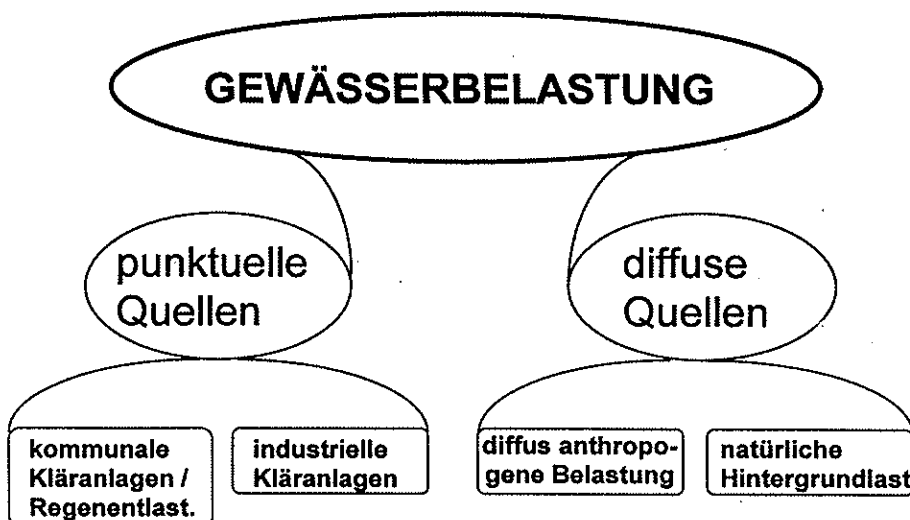


Abb. 1. Unterteilung der Gewässerbelastung in verschiedene Quellen. Die Landwirtschaft führt in der Regel zur grössten diffus anthropogenen Belastung.

Die Belastung der Gewässer durch die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff erfolgt durch punktuelle Quellen (kommunale und industrielle Kläranlagen sowie Regenwasserentlastungen) oder durch diffuse Quellen (diffus anthropogene Belastung sowie natürliche Hintergrundlast, Abb. 1). Die natürliche Hintergrundlast umfasst jene Nährstoffeinträge in die Gewässer, die sich bei einer natürlichen Vegetation (unterhalb der Waldgrenze wäre dies in der Schweiz ohne jeglichen Einfluss des Menschen ergeben würden. Zur diffus anthropogenen Belastung zählen vor allem Nährstoffeinträge durch landwirtschaftliche Nutzung der Böden, durch Luftverschmutzung mit anschliessender Deposition und durch freizeitbedingte Flächennutzung (Skipisten, Sportanlagen, Schrebergärten usw.). In der Regel ist die Landwirtschaft die bedeutendste diffus anthropogene Belastungsquelle der Gewässer (Abb. 2).

Mit Hilfe von Stofffluss-Modellen haben wir die Nährstoffeinträge in die Gewässer aus diffusen Quellen, unterteilt nach verschiedenen Eintragswegen, für das Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen (REZGUS) und für vier Regionen des Kantons Bern (Alpen, Voralpen, Mittelland und Jura) abgeschätzt (Braun et al. 1991; Prasuhn und Braun 1994; Tab. 1). Drei Punkte sind hervorzuheben:

■ Phosphor gelangt hauptsächlich durch Abschwemmung (besonders auf Grasland) und durch Erosion (Bodenerosion auf Ackerland und natürliche Erosion) in die Gewässer.

■ Der Haupteintragsweg beim Stickstoff ist die Auswaschung (inklusive Drainageverluste), wobei die Auswaschung unter Ackerland eine zentrale Rolle spielt.

■ Zwischen den Regionen bestehen bezüglich der Anteile der diffus anthropogenen Belastung der Gewässer und der verschiedenen Eintragswege grosse Unterschiede.



Abb. 2. Je nach Region, Betrieb und Parzelle spielt die Landwirtschaft bei der Gewässerbelastung eine massgebende Rolle.

Tab. 2. Einbezogene Massnahmen, um die Verminderung der Gewässerbelastung durch Nährstoffverluste aus der Landwirtschaft abzuschätzen

#### Massnahmen gegen Phosphorverluste durch Abschwemmung

- P1 Wasserspeicher pflegen beziehungsweise neu schaffen
- P2 Versickerungshilfen schaffen
- P3 Schonende Bewirtschaftung des Graslandes (z.B. Verringerung der mechanischen Bodenbelastung)
- P4 Standortgerechter Futterbau und standortgerechte Düngung (z.B. Reduzierte Düngung auf abschwemmungsgefährdeten Standorten, Gewässerrandstreifen)
- P5 Bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Phosphorbilanz
- P6 Zeitgerechte Düngung (z.B. Düngen unter Berücksichtigung der Boden- und Witterungsbedingungen)
- P7 Ökologische Ausgleichsflächen (z.B. Extensiv genutzte Wiesen auf besonders abschwemmungsgefährdeten Standorten, Pufferstreifen)

#### Massnahmen gegen Phosphorverluste durch Bodenerosion

- P8 Anlage von Terrassen und Dämmen (z.B. Terrassenbau im Rebbaubereich)
- P9 Anlage von Hecken
- P10 Anbau in Streifen und Kontursaat (z.B. Anbau von erosionsgefährdeten Kulturen in flacheren Hangabschnitten, höhenlinienparallele Bearbeitung)
- P11 Konservierende Bodenbearbeitung (z.B. Mulchsaat, Streifenfrässaat, Direktsaat)
- P12 Verringerung der mechanischen Bodenbelastung (z.B. Bearbeitung bei abgetrocknetem Boden, leichtere Traktoren und Geräte)
- P13 Fruchtfolgen anpassen (z.B. Winterbrache durch Zwischenkulturen oder erosionsproblematische Kulturen durch andere ersetzen)
- P14 Untersaat und integrierte Beikrautregulierung
- P15 Bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Phosphorbilanz
- P16 Ökologische Ausgleichsflächen

#### Massnahmen gegen Stickstoffverluste durch Auswaschung

- N1 Fruchtfolgen anpassen (z.B. Winterbrache durch Zwischenkulturen oder auswaschungsproblematische Kulturen durch andere ersetzen)
- N2 Untersaat und integrierte Beikrautregulierung
- N3 Konservierende Bodenbearbeitung und Grünlandumbruch (z.B. Mulchsaat, Streifenfrässaat, Direktsaat, Optimierung des Zeitpunktes des Kunstwiesenumbruches)
- N4 Standortgerechter Ackerbau und standortgerechte Düngung (z.B. Rückführung von Ackerland in Dauergrünland, reduzierte Düngung auf auswaschungsgefährdeten Standorten)
- N5 Bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Stickstoffbilanz (z.B. Düngung gemäss Düngungsgrundlagen, Abbau der Stickstoffüberschüsse)
- N6 Zeitgerechte Düngung (z.B. Verzicht eines Gülleaustrages auf Brache im Herbst)
- N7 Ökologische Ausgleichsflächen (z.B. speziell für den Gewässerschutz angelegt)

## Massnahmenkatalog

Um die Wirkung der Massnahmen abzuschätzen, welche die Nährstoffeinträge in die Gewässer reduzieren, haben wir Berechnungen mit denselben Stofffluss-Modellen durchgeführt. Die dabei berücksichtigten Massnahmen sind in Tabelle 2 zusammengestellt, aufgeteilt nach den Haupteintragspfaden Abschwemmung, Bodenerosion und Auswaschung. Eine ausführliche Beschreibung aller Massnahmen findet sich in Braun *et al.* (1997a) und Prasuhn *et al.* (1997).

## Reduktionspotentiale der Massnahmen

Die Wirkung der Massnahmen haben wir folgendermassen abgeschätzt: Basierend auf Literaturangaben wurden Annahmen getroffen, um wieviel Prozent, Milligramm pro Liter oder Kilogramm pro Hektare eine Massnahme den jeweiligen Prozess (Abschwemmung, Bodenerosion, Auswaschung) im Mittel auf einer Parzelle vermindern kann. Daraus hat man für jede Massnahme ein durchschnittliches flächenspezifisches Reduktionspotential berechnet. Anschliessend wurden die Flächenanteile festgelegt, auf denen es realistisch erscheint, dass bei den aktuellen agrarpolitischen, wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen die Massnahmen auch ergriffen werden. Durch Multiplikation der flächenspezifischen Reduktionspotentiale mit den Flächenanteilen ergibt sich das Reduktionspotential jeder einzelnen Massnahme für das REZGUS und die vier Regionen des Kantons Bern (Abb. 3).

**Abschwemmung:** Die wichtigsten Massnahmen sind «Bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Phosphorbilanz» (P5) und «Zeitgerechte Düngung» (P6), gefolgt von «Schonende Bewirtschaftung des Graslandes» (P3) und «Standortgerechter Futterbau und standortgerechte Düngung» (P4). In allen Regionen kann mit Massnahmen die Abschwemmung vermindert werden, besonders aber in den Voralpen.

**Bodenerosion:** «Konservierende Bodenbearbeitung» (P11) gehört zu den erfolgversprechendsten Massnahmen gegen die Bodenerosion. Wichtig sind auch die Massnahmen «Fruchtfolgen anpassen» (P13) und «Ökologische Ausgleichsflächen» (P16, wenn diese an erosionsproblematischen Standorten und nicht nur nach betriebswirtschaftlichen Überlegungen gewählt werden). Die Massnahmen

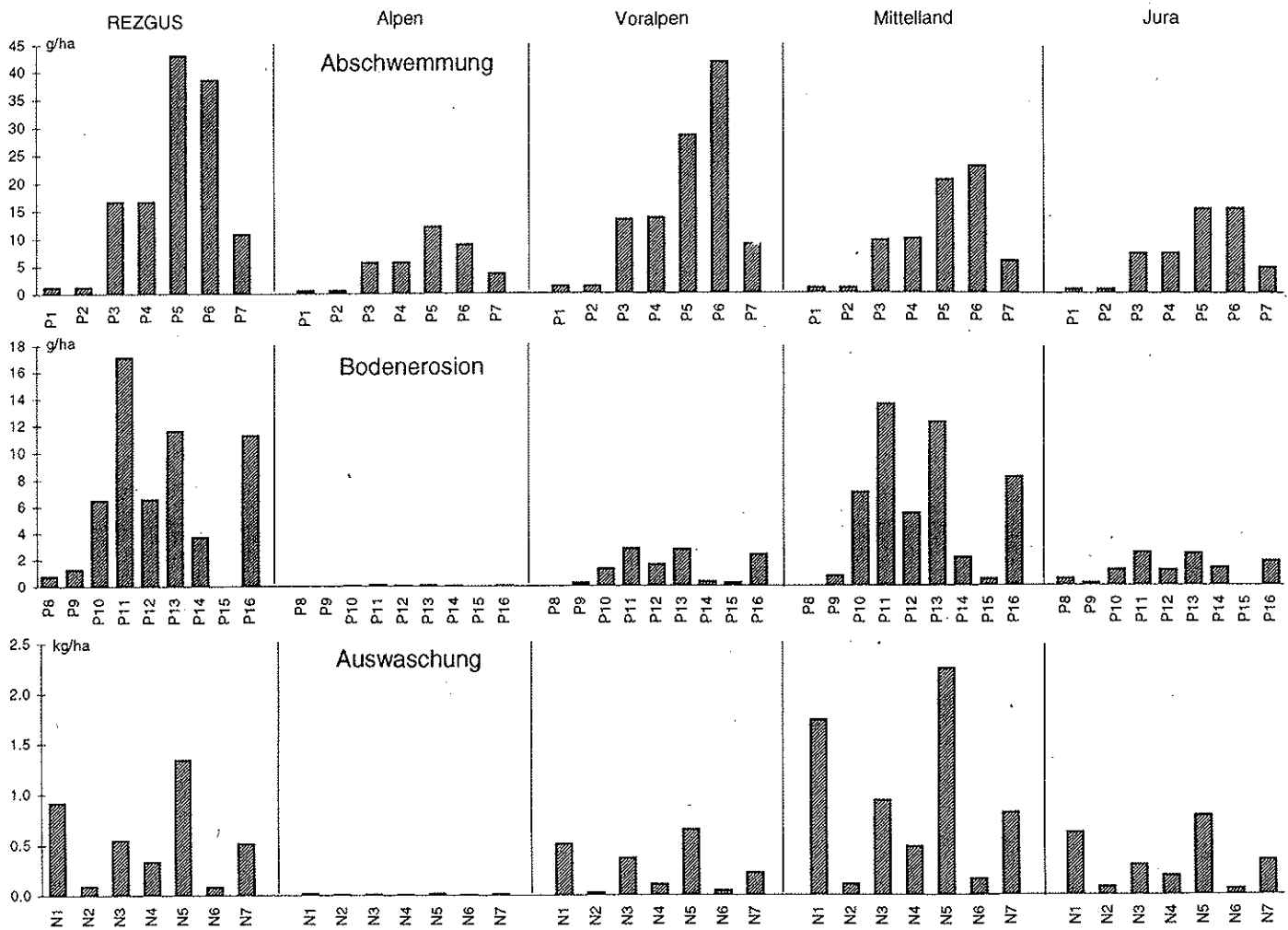


Abb. 3. Reduktionspotentiale der einzelnen Massnahmen (Bezugsfläche = Gesamteinzugsgebietsfläche: REZGUS 950'000 ha, Alpen 244'988 ha, Voralpen 112'127 ha, Mittelland 183'158 ha und Jura 60'240 ha). REZGUS (= Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen).

gegen die Bodenerosion führen vor allem im Mittelland zu spürbaren Verminderungen der Gewässerbelastung mit Phosphor. **Auswaschung:** Mit der Massnahme «Bedarfsgerechte Düngung und ausgeglichene Stickstoffbilanz» (N5) kann die grösste Verminderung der Stickstoffverluste durch Auswaschung herbeigeführt werden. Der Abbau der Stickstoffüberschüsse ist eine Grundvoraussetzung, um die Stickstoffbelastung der Gewässer zu reduzieren. Wichtig sind auch die Massnahmen «Fruchtfolgen anpassen» (N1) und «Ökologische Ausgleichsflächen» (N7). Die Massnahme «Konservierende Bodenbearbeitung und Grünlandumbruch» (N3) fällt ebenfalls ins Gewicht, hat jedoch nicht denselben Stellenwert wie bei der Bodenerosion. Die Massnahmen gegen die Auswaschung zeigen ihre grösste Wirkung im Mittelland.

### Folgerungen

Das Reduktionspotential für das REZGUS oder eine der vier Berner Regionen

ergibt sich, indem die Reduktionspotentiale der einzelnen Massnahmen aufsummiert und anschliessend 20 % bei der Abschwemmung und Auswaschung sowie 10 % bei der Bodenerosion abgezogen werden. Diese Abminderungen wurden gewählt, weil sich die Massnahmen gegenseitig beeinflussen, es aber unmöglich ist, diese Wechselbeziehungen rechnerisch zu erfassen. Die derart erhaltenen Reduktionspotentiale für das REZGUS und die Regionen des Kantons Bern werden in Bezug zu den diffus anthropogenen Nährstoffeinträgen in die Gewässer gesetzt (Abb. 4). Das theoretisch grösstmögliche Reduktionspotential im Bereich der diffusen Quellen entspricht dem Wert der diffus anthropogenen Belastung (= 100%). In den untersuchten Regionen können zwischen 15 und 40 % der diffus anthropogenen Phosphoreinträge und zwischen 2 und 24 % der diffus anthropogenen Stickstoffeinträge in die Gewässer vermieden werden.

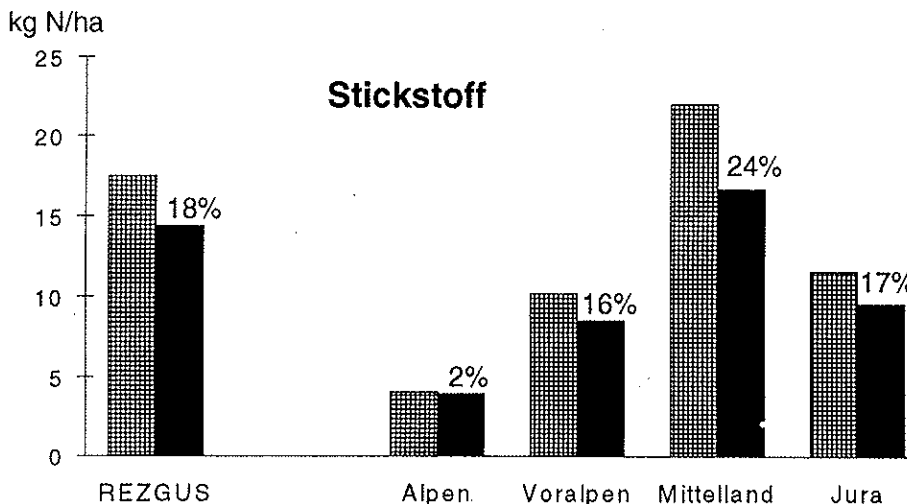
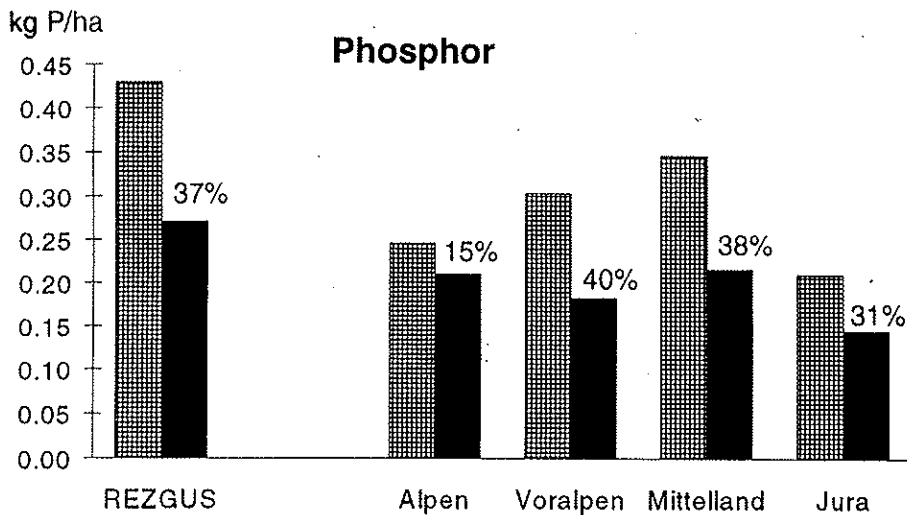
Ein Vergleich mit den aus internationalen Zielsetzungen abgeleiteten Zielen einer

50%igen Verminderung bei der diffus anthropogenen Nährstoffbelastung der Gewässer (siehe Braun *et al.* 1997a) zeigt, dass diese Ziele mit den vorgeschlagenen Massnahmen nicht erreichbar sind. Entweder müssen daher die Ziele neu definiert oder die Massnahmen optimiert und ergänzt werden.

Bei einer regionalen Betrachtungsweise sind regional differenzierte Ziele zu formulieren (Braun *et al.* 1997b und Prasuhn *et al.* 1997).

Mit den Modellberechnungen kann auch veranschaulicht werden, dass sich je nach Region andere Prioritätenlisten der zu ergreifenden Massnahmen ergeben (Prasuhn *et al.* 1997).

Um die Massnahmen, im Sinne einer gezielten Förderung der effektivsten Massnahmen als tatsächliche «besondere ökologische Leistungen», zu optimieren, wurde von Braun *et al.* (1997a) ein Szenario berechnet. Danach könnte im REZGUS sogar mit einer Verringerung der diffus anthropogenen Belastung der Gewässer von ca. 50 % beim Phosphor



diffus anthropogene Belastung vor Massnahmen  
 diffus anthropogene Belastung nach Massnahmen  
 % Reduktionspotential

Abb. 4. Reduktion der diffus anthropogenen Belastung der Gewässer durch die vorgeschlagenen Massnahmen in den verschiedenen Regionen (Bezugsfläche = Gesamteinzugsgebietsfläche, siehe Abb. 3). REZGUS (= Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen).

und ca. 25 % beim Stickstoff gerechnet werden.

Die in diese Berechnungen einbezogenen Massnahmen decken sich weitgehend mit den für den Gewässerschutz relevanten Öko-Massnahmen nach Art. 31b des Landwirtschaftsgesetzes (Integrierte Produktion, Biologischer Landbau und Ökologische Ausgleichsflächen). Deshalb können die Ergebnisse ebenfalls als Prognose für die Wirkung der Öko-Massnahmen zugezogen werden, welche die Gewässerbelastung reduzieren. Sie liegt beim Phosphor je nach Region zwischen 15 und 40 %, beim Stickstoff zwischen 2 und 24 % der diffus anthropogenen Belastung der Gewässer. Diese Prognose zu

überprüfen, wird ein nächster wichtiger Schritt im Rahmen eines Auftrages des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) sein: eine Evaluation (=Wirkungskontrolle) der Öko-Massnahmen durchzuführen.

#### LITERATUR

Braun M., Frey M., Hurni P. und Sieber U., 1991. Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer im Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen (Stand 1986). Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern, sowie Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 87 Seiten.

Braun M., Koppe Rolli D. und Prasuhn V., 1997a. Abschätzung der Verminderung der Nährstoffverluste in die Gewässer durch Massnahmen in der Landwirtschaft - im Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen. Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Liebefeld-Bern. In Vorbereitung.

Braun M., Prasuhn V. und Spiess E., 1997b. Schätzung der diffusen Nährstoffeinträge in die Gewässer und Wirkung von Massnahmen in der Schweiz. In: Tagungsberichte/Bd. 20 des Umweltbundesamtes, Wien: «Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft», 153-170.

Prasuhn V. und Braun M., 1994. Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. *Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 17*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern. 113 Seiten und Anhang.

Prasuhn V., Braun M. und Koppe Rolli D., 1997. Massnahmen zur Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer - dargestellt am Beispiel von 20 hydrologischen Einzugsgebieten im Kanton Bern. Bericht des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (GSA), Bern. 216 Seiten.

#### RÉSUMÉ

##### Mesures pour diminuer la pollution des eaux

A l'aide de modèles relatifs aux flux de substances, l'effet de 23 mesures de pratiques agricoles a été estimé. Suivant la région, il est possible de diminuer la pollution diffuse d'origine anthropogène de 15 à 40 % pour le phosphore et de 2 à 24 % pour l'azote. Cette estimation peut également être interprétée comme pronostic de l'effet des mesures écologiques selon l'article 31b de la loi sur l'agriculture (OCEco).

#### SUMMARY

##### Measures to reduce water pollution

The effect of 23 measures to reduce water pollution by agriculture was estimated by using a modelling approach. Depending on the region it is possible to reduce the load of phosphorus from diffuse anthropogenic sources by 15 to 40 % and of nitrogen by 2 to 24 %. This estimate can also be seen as a forecast of the effect of the Ecological Measures according to the Swiss Federal Law on Agriculture (Art. 31b).

**KEY WORDS:** water pollution, agriculture, measurements, modelling