





Prognosen zur Entwicklung der Nitratbelastung

 INTERREG III A-Projekt MoNit "Modellierung der Grundwasserbelastung
durch Nitrat im Oberrheingraben" - Kurzfassung -

Perspectives d'évolution de la pollution par les nitrates

 INTERREG III A : MoNit "Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates
dans la vallée du Rhin Supérieur" - Rapport de synthèse -



Das Problem

Die Belastung des Grundwassers mit Nitrat ist seit Jahren bekannt. Obwohl schon seit etwa zwei Jahrzehnten aktive Schutzmaßnahmen umgesetzt wurden (EU- Nitrat-Richtlinie 91/676/EWG seit 1991, SchALVO in Baden-Württemberg seit 1987, Beratungsaktionen im Elsass seit 1992), liegt das Niveau der Nitratbelastung nach wie vor zu hoch, auch wenn der bis Anfang der 1990-er Jahre stetig ansteigende Trend der Belastung inzwischen gestoppt ist und auf baden-württembergischer Seite sogar statistisch eine abnehmende Tendenz festgestellt wird.

Der Oberrheingraben enthält eines der wichtigsten Grundwasservorkommen Mitteleuropas. Das Grundwasser ist jedoch wegen einer unzureichenden schützenden Deckschicht von der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung, der dichten Besiedlung und zahlreichen Verkehrswege besonders gefährdet.

Grenzüberschreitende Zustandserhebungen 1997 und 2003 (Region Alsace et al., 2000 und 2006) haben die Situation jeweils als „...gewisse Stabilisierung auf hohem Niveau“ charakterisiert.

Mit Unterstützung durch das INTERREG IIIA - Programm der EU haben deshalb die Partner aus Frankreich, der Schweiz und aus Baden-Württemberg die seit langem praktizierte erfolgreiche Zusammenarbeit durch das Gemeinschaftsprojekt „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“ (MoNit) fortgesetzt, um Handlungsoptionen zur Reduktion der Belastung unter den naturräumlichen Gegebenheiten des Oberrheingrabens vergleichend zu bewerten.

Das Projektgebiet

Das innere Projektgebiet umfasst den südlichen Teil des Oberrheingrabens und erstreckt sich auf einer Fläche von 4.293 km² von Basel bis Lauterbourg und dem Landkreis Rastatt. Das äußere Projektgebiet erfasst zusätzlich die Randgebirge.

Dieser südliche Teil des Oberrheingrabens ist mit quartären Lockergesteinen verfüllt mit Mächtigkeiten von bis zu 260m. Er bildet einen höchst ergiebigen Grundwasserkörper mit einem Volumen von etwa 80 Milliarden m³ oder 80 km³ Wasser. Das entspricht dem 1,6-fachen des Wasservolumens des Bodensees.

L'enjeu

La problématique de la pollution des eaux souterraines par les nitrates est avérée depuis la fin des années 70'. Malgré la mise en pratique de mesures de protection depuis près de deux décennies (SchALVO en Bade-Wurtemberg depuis 1987, actions de conseil en Alsace depuis 1992 puis application de la directive nitrates à partir de 1991), le niveau de la pollution par les nitrates 91/676/EWG reste trop élevé, même si la tendance à la hausse, continuelle jusqu'au début des années 90, n'est plus constatée et si une tendance à la baisse est observée côté badois.

Le Fossé du Rhin supérieur renferme l'un des réservoirs aquifères les plus importants d'Europe. L'absence de couverture protectrice de l'aquifère fait que la nappe est particulièrement vulnérable aux pressions polluantes dues à l'agriculture intensive, à la densité de la population et aux nombreuses voies de transport et de communication.

Les inventaires transfrontaliers de 1997 et 2003 de la qualité de la nappe rhénane (Région Alsace et al., 2000 et 2006) ont chaque fois rendu compte de la situation avec les termes suivants « ...une certaine stabilisation à un niveau élevé ».

Les partenaires impliqués, de France, de Suisse et du Bade-Wurtemberg, soutenus par le programme INTERREG III A de l'UE, ont donc poursuivi leur coopération technique, déjà ancienne et fructueuse, avec le projet commun „Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin supérieur“ (MoNit). L'objectif était la comparaison de l'efficacité de différents types de mesures susceptibles de réduire la pollution de la nappe du Fossé du Rhin supérieur.

La zone d'étude

La zone d'étude du projet intérieur concerne la partie sud du Fossé du Rhin supérieur et s'étend sur une surface de 4 293 km² de Bâle jusqu'à Lauterbourg et au district de Rastatt. La zone d'étude étendue englobe également les massifs montagneux limitrophes.

Cette partie méridionale du Fossé du Rhin supérieur est comblée par des alluvions essentiellement quaternaires pouvant atteindre 260 m d'épaisseur. Elle constitue un aquifère très productif, d'un volume d'environ 80 milliards de m³, soit 80 km³ d'eau, équivalent à 1,6 fois le volume du lac de Constance.

Die Belastung durch Nitrat

Die hohe Belastung des Grundwassers durch Nitrat kommt in lokalen Extremwerten von mehr als 100 mg/l, Mittelwerten über 25 mg/l und großen Gebieten mit Konzentrationen über 25 mg/l, bzw. sogar über 50 mg/l zum Ausdruck (Tab. 1)

37,8 % der Fläche mit Nitratwerten über 25 mg/l bedeuten, dass rd. 160.000 ha des Gebietes Konzentrationen über dem regionale Zielwert für das Elsass¹ und die Schweiz² aufweisen!

Tabelle 1: Überschreitungsflächen 25 mg/l und 50 mg/l, in % der Teilgebietsflächen¹⁾

Tableau 1 : Surfaces dépassant 25 et 50 mg/l, en % des surfaces des secteurs¹⁾

	Alsace		Baden-Württemberg ²⁾		Schweiz		Inneres Projektgebiet ²⁾	
	>25	>50	>25	>50	>25	>50	>25	>50
1991	36,4	7						
1997	42	8,2	30,9	11,2	36,5	0	38,2	9,1
2003	41,8	7,9	29,7	10,7	39,6	0	37,8	8,8

1) Verfahren / Méthode: Manuelle Kartographie / Cartographie manuelle : Inventaire 2003 de la qualité de la nappe rhénane (Région Alsace 2004)

2) für 2003 bezogen auf die Gebietsgrenze von 1997 / pour 2003, relative à la limite de la zone d'étude de 1997

La pollution par les nitrates

La pollution élevée de l'eau souterraine par les nitrates se traduit localement par des valeurs de concentration en nitrates extrêmes de plus de 100 mg/l, une valeur moyenne supérieure à 25 mg/l, ainsi que par l'existence de grandes surfaces de nappe caractérisées par des concentrations dépassent 25, voire même 50 mg/l (Tab. 1).

Le fait que les concentrations en nitrates dépassent 25 mg/l sur 37,8 % de la surface de la nappe signifie que la valeur guide pour l'Alsace¹ et la Suisse² est dépassée sur environ 160 000 ha dans la région.

Modellieren: Warum und wie?

Um die Vielzahl möglicher und bereits praktizierter Maßnahmen vergleichend bewerten zu können, sind ihre Auswirkungen zu **quantifizieren** und längerfristig zu **prognostizieren**. Dafür ist ein Modell erforderlich. Wegen der Vielschichtigkeit des Gesamtsystems mit Einflüssen aus dem Boden-Pflanze-Komplex, den vielfältigen hydrologischen und selbst sozio-ökonomischen Einflüssen wurde dafür ein Modellsystem aus mehreren Teilmodellen gebildet (Abb. 1).

Die Modelle wurden mit einer hohen räumlichen (Grundwassermodell: 100m, Stickstoffbilanzmodell: 500m /1.000 m, Pflanzenmodell: Schlägebene, Sozio-ökonomisches Modell: Landwirtschaftseinheiten) und zeitlichen Auflösung betrieben.

Die Validierung dieser Modellkette anhand der Simulation des Zustandes 2003 zeigt die Eignung des Systems für eine vergleichende Bewertung der Handlungsoptionen (Abb. 2).

Pourquoi et comment modéliser ?

L'évaluation comparative de l'efficacité du grand nombre de mesures possibles voire déjà partiellement mises en oeuvre passe par la **quantification** et la **prévision** à long terme de leurs effets. Pour cela, le recours à des travaux de modélisation s'impose. En raison de l'interférence de différents phénomènes en jeu dans l'ensemble du système pris en compte (complexe climat-sol-plante, variabilité hydrogéologique, influences socio-économiques), un système de modèles couplés a été constitué à partir de plusieurs sous-modèles spécifiques (Fig. 1).

Les modèles spécifiques ont été exploités avec une haute définition spatiale (modèle hydrodynamique à la maille de 100 m, modèle de bilan d'azote à la maille de 500 m et 1.000 m, modèle socio-économique à l'échelle des petites régions agricoles) aussi bien que temporelle.

La validation de cette chaîne de modèles à l'aide de la simulation de l'état 2003 démontre l'aptitude du système à comparer les options d'action (Fig. 2).

1 Commission Locale de l'Eau: Le SAGE ILL-NAPPE-RHIN, 2004

2 Anh. 2 Ziffer 22 Gewässerschutzverordnung

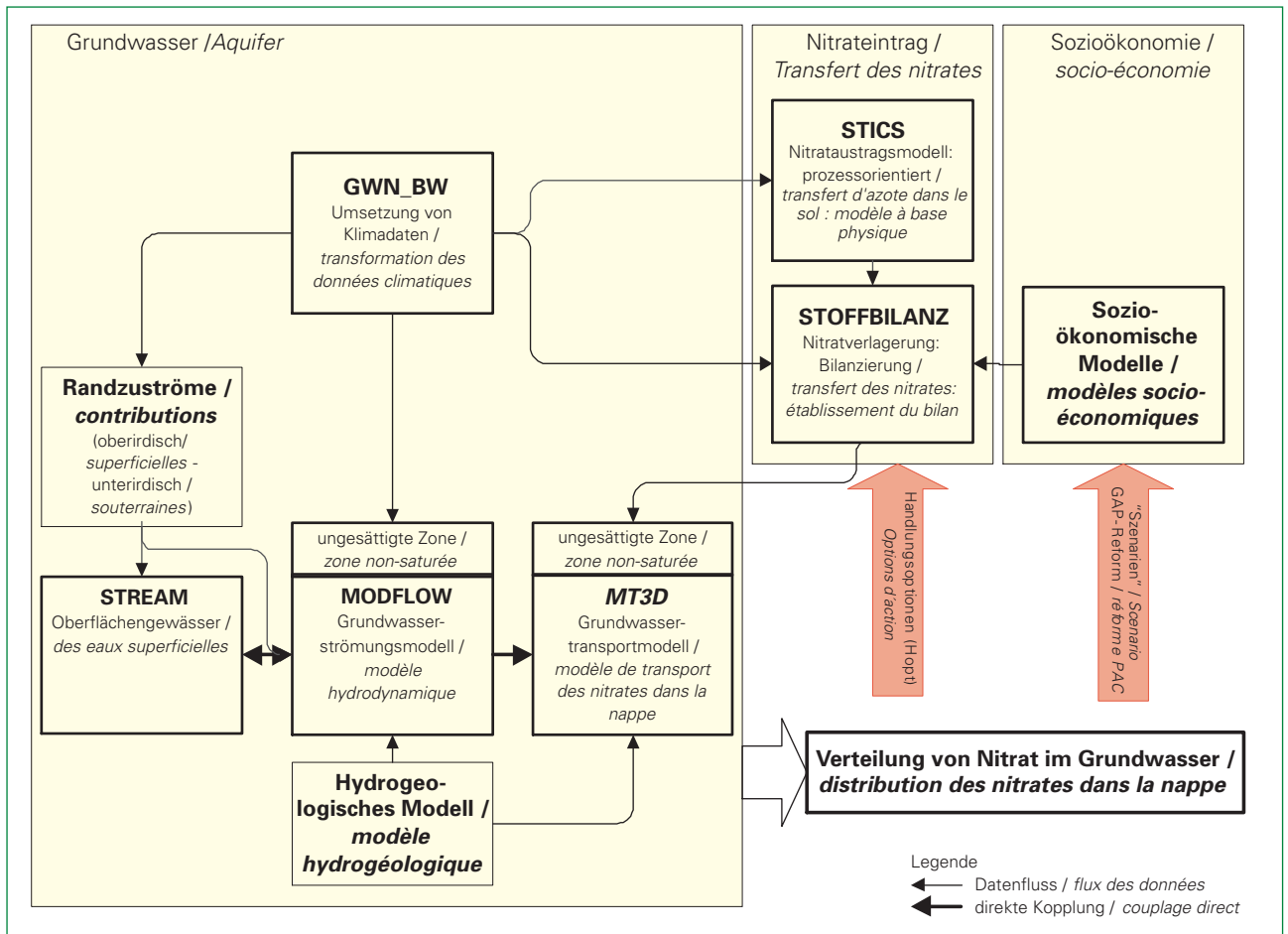


Abbildung 1: Kopplung der Teilmodelle und Datenfluss
 Figure 1 : Couplage des modèles et flux des données

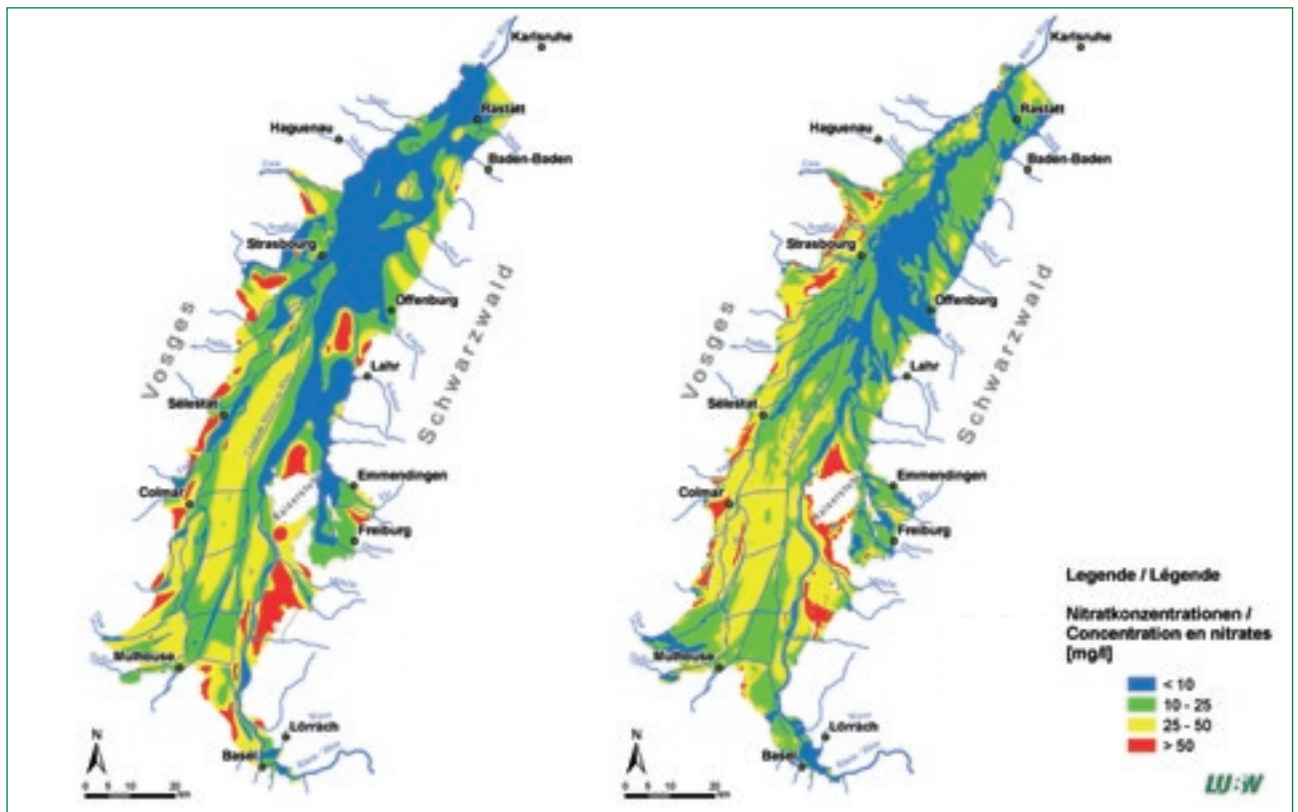


Abbildung 2: Gemessene (a) und gerechnete (b) Konzentrationsverteilung im Grundwasser für das Jahr 2003
 Figure 2 : Répartition des concentrations mesurées (a) et calculées (b) pour l'année 2003 dans l'eau souterraine

Die Simulation der Handlungsoptionen La simulation des options d'action

DIE HANDLUNGSOPTIONEN

Folgende acht Handlungsoptionen (Tab. 2) aus verschiedenen Programmen, u. a. aus dem Vorgängerprojekt, ergaben sich nach einer Bewertung durch Landwirtschaftsexperten aller drei Länder als wirksam, umsetzbar, von regionaler Relevanz und zuletzt auch als modelltechnisch abbildbar.

Der Auswirkungen dieser Handlungsoptionen wurde durch Modelle simuliert und mit zwei Bezugsläufen verglichen: dem Referenzlauf („status quo“), in dem die aktuellen Kon-ditionen als unverändert angenommen werden, und dem „Nulllauf“, für den angenommen wird, dass es überhaupt kei-nen Nitrateintrag ins Grundwasser gibt.

Veränderungen der Bewirtschaftungspraxis (Handlungsop-tionen), Witterungs- und Bodeneinflüsse wurden mit dem prozess-orientierten Pflanzenmodell STICS abgebildet und dessen Ergebnisse in das flächendeckende Bilanzmodell STOFFBILANZ übertragen. Die räumlich differenzierten N-Austräge ergeben dann den Stoffeintrag aus der Bodenzone in das Grundwasser. Im Grundwassermodell werden Transport, Verdünnung und Abbau im Aquifer reproduziert und damit die räumliche Nitratverteilung bis zum Jahr 2050 berechnet.

Die Auswirkungen der acht berücksichtigten Handlungs-optionen, werden simuliert, indem die Kulturartenumstel-lung und die Änderung von Bewirtschaftungspraktiken, die diese Maßnahmen heute einleiten würden, unter den aktu-ellen sozio -ökonomischen Bedingungen in dem Modell-system von 2005 bis 2050 eingesetzt werden. Dabei werden potentielle Veränderungen der Kulturartenverteilung und der Bewirtschaftung, die in den verschiedenen Szenarien für das Jahr 2015 abgeschätzt werden, nicht berücksichtigt.

LES OPTIONS D'ACTION

Un ensemble de huit options de mesures d'intervention (Tab. 2) a été défini à partir de différentes listes de propo-sitions, notamment issues de projets antérieurs. Ces options ont été retenues après évaluation auprès d'experts agricoles des trois pays, comme efficaces, applicables, pertinentes au niveau régional et enfin aptes à être représentées par un modèle.

L'impact de ces différentes mesures d'intervention a été simulé par les modèles et comparé à deux scénarios de référence : le scénario „statu quo“ où les conditions actu-elles resteraient inchangées, et le scénario „zéro nitrate“ où l'on suppose qu'il n'y a plus aucun apport de nitrates à la nappe.

Les conséquences sur les pertes en nitrates des changements de pratiques culturales (options d'action) et les influences météorologiques et pédologiques ont été reproduites à l'aide d'un modèle à base physique de la plante (STICS) et les résultats transférés dans le modèle de bilan STOFFBILANZ. La différenciation spatiale du lessivage des nitrates four-nit alors les apports depuis le sol vers l'eau souterraine. Le modèle hydrodynamique reproduit le transport, la dilution et la dénitrification dans l'aquifère et calcule ainsi la réparti-tion spatiale des nitrates jusqu'en 2050.

L'impact des mesures prises dans chacune des 8 options d'ac-tion est simulé en faisant tourner les modèles de 2005 à 2050 dans les conditions socio-économiques et avec l'assolement et les pratiques agricoles qui découleraient de ces mesures si on les prenait aujourd'hui. Les évolutions futures des assole-ments et des pratiques culturales prévues vers 2015 ne sont pas prises en compte .

Tabelle 2 Handlungsoptionen und Bezugsrechenläufe
Tableau 2 : Options d'action et simulations de référence

Beschreibung der Handlungsoptionen		Description des options d'action
M1a	Ordnungsgemäße Düngung von Körnermais	Fertilisation raisonnée du maïs à la parcelle
M1b	Reduzierte Düngung von Körnermais	Réduction de la fertilisation du maïs
M1c	Ordnungsgemäße Düngung von Körnermais und Winterweizen	Fertilisation raisonnée du maïs et du blé d'hiver à la parcelle
M2	Zwischenfruchtanbau	Semis d'une culture intermédiaire piège à nitrates (CIPAN)
M3a	Umwandlung von 20% Acker ⁽¹⁾ in Grünland, inneres Projektgebiet	Conversion de 20 % des terres labourables ⁽²⁾ en prairie, dans la zone du projet
M3b	Umwandlung von 20% Acker ⁽¹⁾ in Grünland je Gemeinde	Conversion de 20 % des terres labourables ⁽²⁾ en prairie, dans chaque commune
M3c	Umwandlung von 20% Acker ⁽¹⁾ in Grünland, inneres Projektgebiet - Belastungsindex	Conversion de 20 % des champs ⁽²⁾ en prairie, dans la zone d'étude- indice de pollution
M4	Kombination aus M1a, M2 und M3a	Combinaison de M1a, M2 et M3a
Bezugsrechenläufe		Simulations de référence
R	Referenzlauf: N-Eintrag des Jahres 2000 bleibt konstant bis 2050	Simulation « statu quo » : les apports d'azote de 2000 restent constants jusqu'en 2050
N	Nulllauf (Sofortige und vollständige Beendigung aller N-Einträge)	Simulation „zéro nitrates“ (arrêt immédiat et total de tous les apports d'azote)

1 Jeweils 20% der Ackerzellen, die den größten Stickstoffaustrag aufweisen

2 A chaque fois, 20 % des terres présentant le plus fort lessivage d'azote

Für jede Handlungsoption ergibt sich eine zeitabhängige Verteilung der Nitratgehalte im Grundwasser, die mit dem Ergebnis der Bezugsläufe „Referenzlauf“ („Status quo“: Es werden keine neue Maßnahmen ergriffen) und „Nulllauf“ (als theoretischer Extremfall) verglichen wird.

PROGNOSE DER AUSWIRKUNGEN DER HANDLUNGSOPTIONEN

Abbildung 3 zeigt für vier als besonders wirksam ermittelte Handlungsoptionen den zeitlichen Verlauf der Indikatoren „Überschreitungsfläche 50 mg/l“ und „Mittelwert“ für das gesamte Projektgebiet. Als untere Grenze der Wirksamkeit wird zusätzlich der Nulllauf und als oberer Bezug der Referenzlauf angegeben. Bei unveränderter Bewirtschaftung unter den Annahmen für das Jahr 2005 („Referenzlauf“) würde sich die Überschreitungsfläche 50 mg/l bis 2050 von 17.360 ha auf 5.900 ha reduzieren. Die Überschreitungsfläche 25 mg/l würde aber immer noch 84.200 ha (entspricht rd. 20 % des Gesamtgebietes) umfassen. Selbst für den hypothetischen Nulllauf würde die Belastung nicht völlig verschwinden.

Das zeigt sehr deutlich die große zeitliche Verzögerung der Änderung der Nitratgehalte des Grundwassers als Reaktion auf eine Veränderung der Bewirtschaftung.

On obtient pour chaque option une distribution des concentrations en nitrates dans la nappe, année après année, que l'on peut comparer aux scénarios de références („statu quo“ : où aucune mesure nouvelle n'est prise) et „zéro nitrates“ (cas limite évidemment très théorique).

RÉSULTATS DES SIMULATIONS DES MESURES D'INTERVENTION

La figure 3 présente, pour quatre options d'action identifiées comme particulièrement efficaces (respectivement M1c, M2, M3c et M4), l'évolution temporelle des indicateurs „surface dépassant 50 mg/l“ et „valeur moyenne“ sur l'ensemble de la zone d'étude. Les simulations „zéro nitrates“ et „statu quo“ représentent respectivement les limites inférieures et supérieures des impacts possibles. Sans changement des pratiques et avec les conditions de 2005 (simulation « statu quo »), la surface dépassant 50 mg/l se réduirait de 17 360 ha à 5 900 ha jusqu'à 2050. Cependant, la surface dépassant 25 mg/l comprendrait encore 84 200 ha (soit environ 20 % de la superficie totale). Même pour la simulation „zéro nitrates“, qui est totalement hypothétique, la pollution ne disparaîtrait pas totalement. Ceci permet de souligner la grande inertie temporelle des variations de teneurs en nitrates de la nappe en réponse aux changements de pratiques

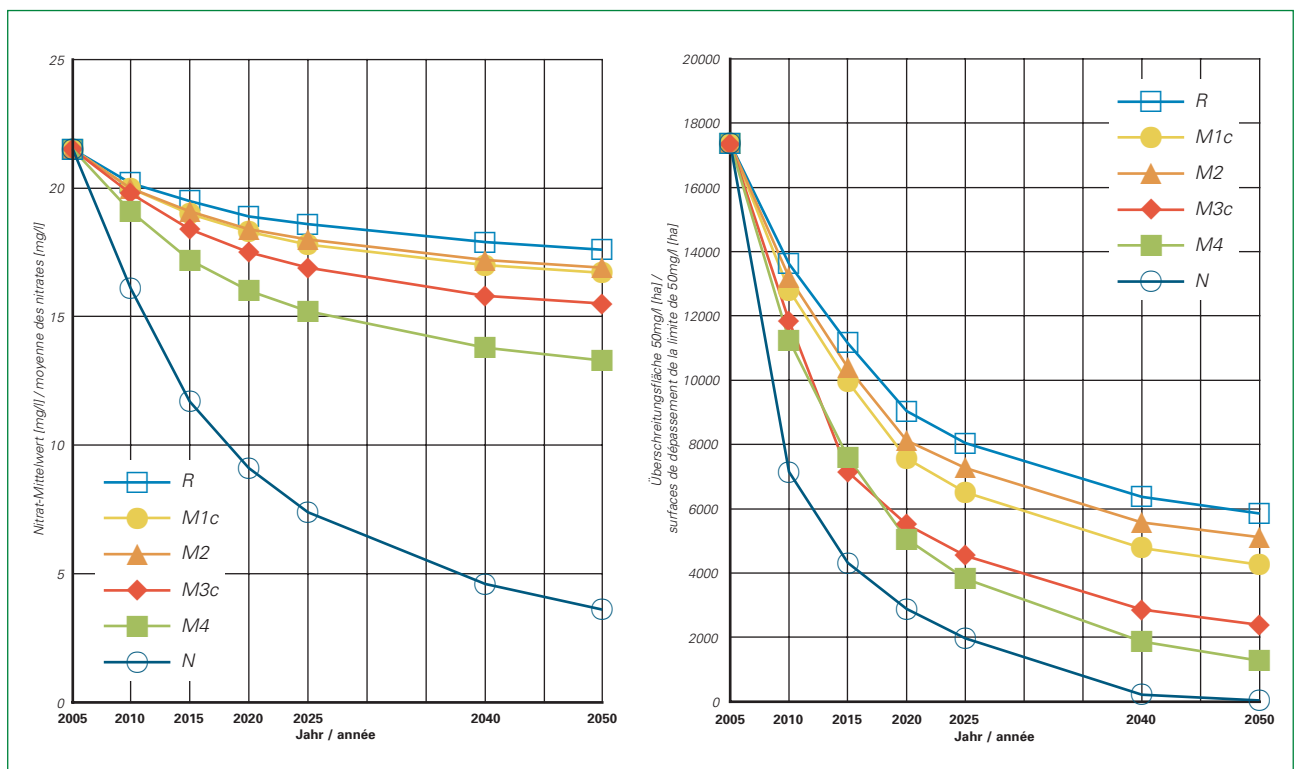


Abbildung 3: (a) Überschreitungsflächen 50mg/l und (b) Nitrat-Mittelwert für das Projektgebiet
Figure 3 : (a) surface dépassant 50 mg/l et (b) teneur moyenne en nitrates dans la zone d'étude

VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER HANDLUNGSOPTIONEN

Die Reduktion der Belastung durch die Handlungsoptionen wird durch drei Kenngrößen beschrieben: die Wirksamkeit, Wirkungsbeschleunigung und Wirkungseffizienz:

Wirksamkeit [%]: Relative Abweichung (für das Jahr 2050) des Indikators für die untersuchte Handlungsoption vom selben Indikator für den Referenzlauf (Werte: 0...100%)

Wirkungsbeschleunigung [Jahre]: Zeitspanne (in Jahren) um die Indikatoren der jeweiligen Handlungsoption den entsprechenden Wert des Referenzlaufs für das Jahr 2050 früher erreichen.

Effizienz [-]: Verhältnis der Wirksamkeit [%] des jeweilige Indikators zur Abnahme des Stickstoffeintrags [%] für eine bestimmte Handlungsoption.

Abbildung 4 zeigt, dass die kombinierte Handlungsoption M4 erwartungsgemäß am wirkungsvollsten ist. Die Wirksamkeiten der einzelnen Handlungsoptionen lassen sich aber nicht einfach addieren. Z. B. erzielt die Handlungsoption M4 (Kombination) eine Reduktion der Überschreitungsfläche 50 mg/l um 78,4%, während die Wirksamkeiten der ihr zugrunde liegenden drei Handlungsoptionen sich rechnerisch zu mehr als 100 %, d. h. einem völligen Verschwinden der Überschreitungsfläche 50 mg/l addieren. Dieses Beispiel zeigt noch einmal, dass die Wirksamkeit von Kombinationslösungen grundsätzlich nur mit der gesamten Modellkette ermittelt werden kann.

Bezüglich der Wirkungsbeschleunigung entspricht die

COMPARAISON DES OPTIONS D'ACTION

La réduction de la pollution par les différentes actions envisagées est décrite par trois paramètres : l'efficacité, la rapidité d'action et l'efficace, dont les définitions respectives sont données ci-dessous.

Efficacité [%] : Ecart relatif (en 2050) de l'indicateur de l'option d'action par rapport au même indicateur pour la simulation „status quo“ (valeur : 0 à 100 %).

Rapidité d'action [années] : Avance (en années) avec laquelle les deux indicateurs de l'option considérée atteignent la valeur correspondante de la simulation „status quo“ pour l'année 2050.

Efficace [-] : rapport entre l'efficacité [%] de l'indicateur considéré et la diminution de l'apport azoté [%] pour une option d'action déterminée.

La figure 4 montre, comme il fallait s'y attendre, que la combinaison des options d'action M4 est la plus efficace. Les efficacités de chacune des options d'action ne s'additionnent pas simplement. Par exemple, la combinaison des options aboutit à une réduction de 78,4 % des surfaces dépassant les 50 mg/l alors que les efficacités cumulées des trois options prises séparément dépasseraient les 100%, ce qui correspondrait à la résorption complète des zones au-dessus de 50 mg/l. Cet exemple montre une fois de plus que l'efficacité de mesures combinées ne peut être évaluée qu'en prenant en compte l'ensemble de la chaîne de modèles couplés.

Concernant la rapidité d'action, le classement des

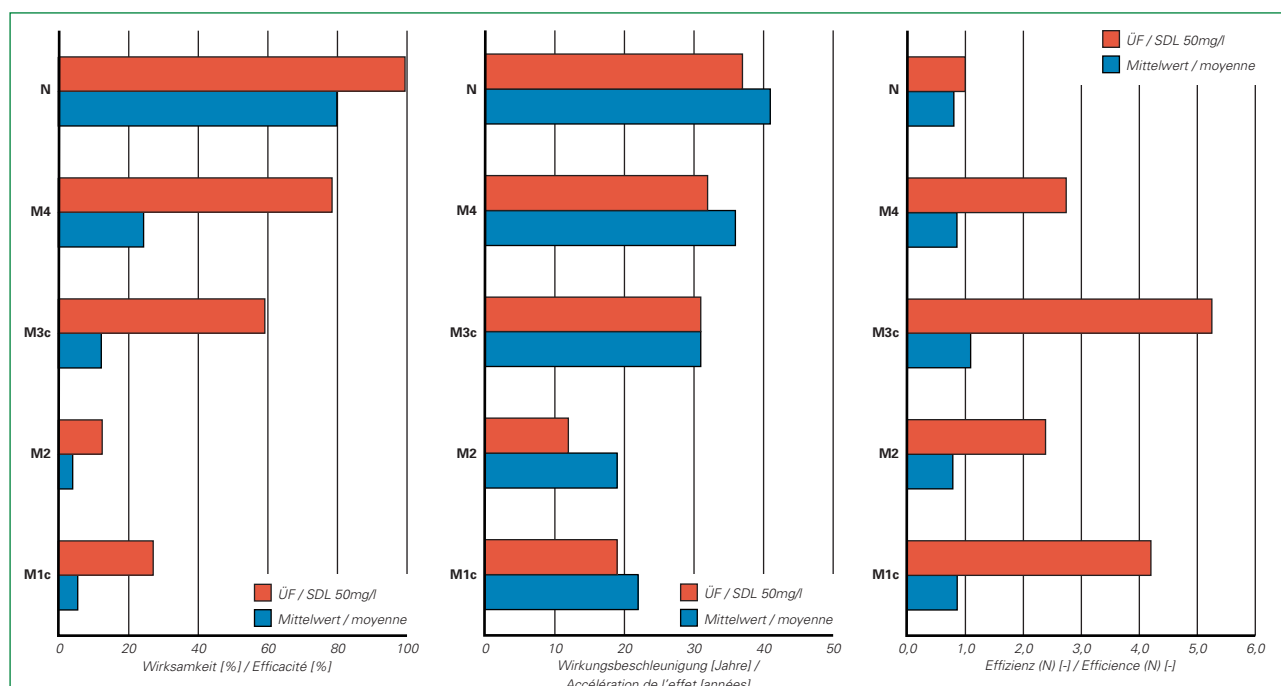


Abbildung 4: (a) Wirksamkeit, (b) Wirkungsbeschleunigung, (c) Effizienz für Mittelwert (blau) und Überschreitungsfläche 50mg/l (rot)
Figure. 4 : (a) Efficacité, (b) Rapidité d'action, (c) Efficace sur la teneur moyenne (bleu) et la surface dépassant 50 mg/l (rouge)

Reihenfolge der Handlungsoptionen der für die Wirksamkeit, jedoch ändern sich der Abstände untereinander. Beispielsweise ist die Kombination M4 der Handlungsoption M3c bezüglich der Überschreitungsfäche 50 mg/l mit 78,4 % zu 59,1 % deutlich überlegen. Beide weisen aber eine ähnliche Wirkungsbeschleunigung von etwa 30 Jahren auf. Umweltpolitisch kann die Schnelligkeit, mit der eine Verbesserung erzielt werden kann, höhere Priorität haben als die letztlich erreichte Wirksamkeit, da sich die Rahmenbedingungen über die prognostizierten langen Zeiträume grundlegend ändern können. Insofern ist die Wirkungsbeschleunigung ein gleichwertiges Kriterium zur Bewertung der Handlungsoptionen.

Neben der Bewertung der Wirksamkeit und der Geschwindigkeit der Wirkung ist der erforderliche Aufwand für die Umsetzung einer Handlungsoption ein wichtiges Kriterium. Statt einer Kostenbetrachtung, die im Rahmen des Projektes nicht möglich war, wird hier die oben definierte **Effizienz** verwendet.

Danach erweisen sich die „Favoriten“ der bislang betrachteten Kriterien, die hypothetische Nullvariante und die Kombination von Handlungsoptionen (M4), im Vergleich mit den anderen Handlungsoptionen als weniger effizient (Abb. 4). Die vollständige Unterbindung des Stickstoffeintrags (Nulllauf) erzielt selbstverständlich die maximale Wirksamkeit, der damit verbundene Aufwand ist aber auch unrealistisch hoch.

Einen Gesamtüberblick über die sechs wichtigsten Handlungsoptionen gibt Tabelle 3.

options d'action est le même que celui de l'efficacité, avec toutefois des écarts différents entre elles. Par exemple, concernant la surface dépassant 50 mg/l, la combinaison M4 (78,4 %) dépasse largement l'option M3c (59,1 %). Pourtant, les deux options présentent une rapidité d'action identique d'environ 30 ans. Pour la politique environnementale, la vitesse avec laquelle on obtient une amélioration peut être plus importante que son efficacité elle-même (car les conditions générales risquent de changer totalement au cours d'une longue période). Dans ce cas, la rapidité d'action est un critère important pour évaluer les options d'action.

En plus de l'estimation de l'efficacité, et de la rapidité d'action, le coût de mise en œuvre des options d'action est un critère important. Au lieu de considérer les dépenses, ce qui n'était pas possible dans le cadre du projet, c'est l'efficacité définie plus haut, qui a été utilisée ici.

Dans cette optique, les variantes considérées jusqu'ici comme „favorites“, le scénario „zéro“ et la combinaison de mesures (M4) se révèlent moins efficaces que d'autres options d'action (Fig. 4). L'arrêt complet des apports azotés (simulation „zéro“) aboutit bien évidemment à l'efficacité maximale, mais les coûts sont tellement élevés que cette option n'est pas réaliste.

Le tableau 3 fournit une vue d'ensemble des six options d'action les plus importantes.

Tabelle 3: Überblick über Wirksamkeit, Wirkungsbeschleunigung und Effizienz von sechs untersuchten Handlungsoptionen (Jahr 2050).

Tableau 3 : Efficacité, rapidité d'action et efficacité des six options d'action étudiées (année 2050)

Handlungsoption		M1a	M1c	M2	M3a	M3c	M4	N
Rückgang N-Eintrag	[%]	6,1	6,5	5,3	21,0	11,3	28,7	100,0
Mittelwert	Wirksamkeit	5,3	5,6	4,1	18,5	12,3	24,4	79,8
	Effizienz (N)	0,9	0,9	0,8	0,9	1,1	0,9	0,8
	Beschleunigung	[a]	22	22	19	34	31	36
ÜF 50mg/l	Wirksamkeit	26,7	27,2	12,6	65,2	59,1	78,4	99,2
	Effizienz (N)	4,4	4,2	2,4	3,1	5,2	2,7	1,0
	Beschleunigung	[a]	21	19	12	29	31	32

Die Simulation der Auswirkungen der Veränderung der Landwirtschaft

Der Agrarsektor wird sich aufgrund zahlreicher Veränderungen im wirtschaftlichen, sozialen, rechtlichen und ökologischen Umfeld in den kommenden Jahren von Grund auf wandeln. Diese Veränderungen sind zu berücksichtigen, wenn die Entwicklung unter dem Einfluss verschiedener Handlungsoptionen abgeschätzt werden soll.

La simulation de l'impact de l'évolution du secteur agricole

Dans les années à venir, le secteur agricole va subir des évolutions importantes, en raison des modifications du contexte économique, social, législatif et écologique. Il est donc important d'examiner si ce contexte global est susceptible d'entraîner des changements majeurs à prendre en compte dans les prévisions.

**MÖGLICHE ENTWICKLUNGEN DER LANDWIRTSCHAFT:
DREI ZUKUNFTSVISIONEN**

Als Haupttriebkraft der sozio-ökonomischen Veränderungen wurden die Reform der europäischen Agrarpolitik, die Ausbreitung des Maiswurzelschälers, Energiekosten, Energiepflanzenanbau, Wasserpreis und Arbeitskosten betrachtet.

Drei Szenarien wurden entwickelt, wobei das sog. Tendenzszenario die – nach Expertenmeinung – wahrscheinlichsten Veränderungen wiedergibt. Die beiden weiteren Varianten (A1 und B2) gehen von tief greifenden Annahmen aus. Von Relevanz für den N-Austrag sind dabei die Kulturartenumstellung (Abb. 5) und die Änderung von Bewirtschaftungspraktiken

**DIE PROGNOSTIZIERTEN VERÄNDERUNGEN DER
KULTURARTENVERTEILUNG**

Im Tendenzszenario geht v. a. die Maisanbaufläche wegen der Ausbreitung des Maiswurzelschälers und steigender Energiepreise von 58 % auf 34 % zurück, der Mais wird durch Winterweizen und in geringem Maß durch Raps ersetzt. Im Szenario A1 wird der Maiswurzelschäler gezielt bekämpft und die Energiepreise steigen weniger, dadurch reduziert sich die Maisanbaufläche nur um 15 %. Das Szenario B2 ist wegen stark steigender Energiepreise und starkem Maiswurzelschälerbefall durch eine neue dreijährige Fruchtfolge (Mais /Wei-

**EVOLUTIONS POSSIBLES DE L'AGRICULTURE:
TROIS VISIONS DE L'AVENIR**

La réforme de la PAC, l'extension de la chrysomèle ravageur des racines du maïs, l'augmentation de coût de l'énergie, la culture de plantes pour biocarburants, le prix de l'eau et le coût du travail ont été considérés comme les principaux moteurs des changements socio-économiques.

Trois scénarios ont été définis dont l'un (scénario tendanciel) bâti sur les changements les plus probables selon les avis des experts, et deux autres (A1 et B2) bâtis sur des hypothèses extrêmes. Ces trois scénarios ont un effet déterminant sur les concentrations en nitrates en raison de l'évolution de l'assolement (Fig 5) et la modification des pratiques culturales qui en découle.

**LES ASSOLEMENTS PROJÉTÉS PAR LE MODÈLE
SOCIO-ÉCONOMIQUE**

Dans le scénario tendanciel, la surface cultivée en maïs diminue de 58% à 34% en raison de la prolifération de la chrysomèle et de l'augmentation des prix de l'énergie. Le maïs est remplacé par du blé d'hiver et un peu de colza. Le scénario A1 prévoit des possibilités non limitées de traitement spécifique de la chrysomèle et une augmentation moindre du prix de l'énergie, entraînant une réduction de la surface en maïs de 15% seulement. Le scénario B2 se caractérise par une augmentation très forte des prix

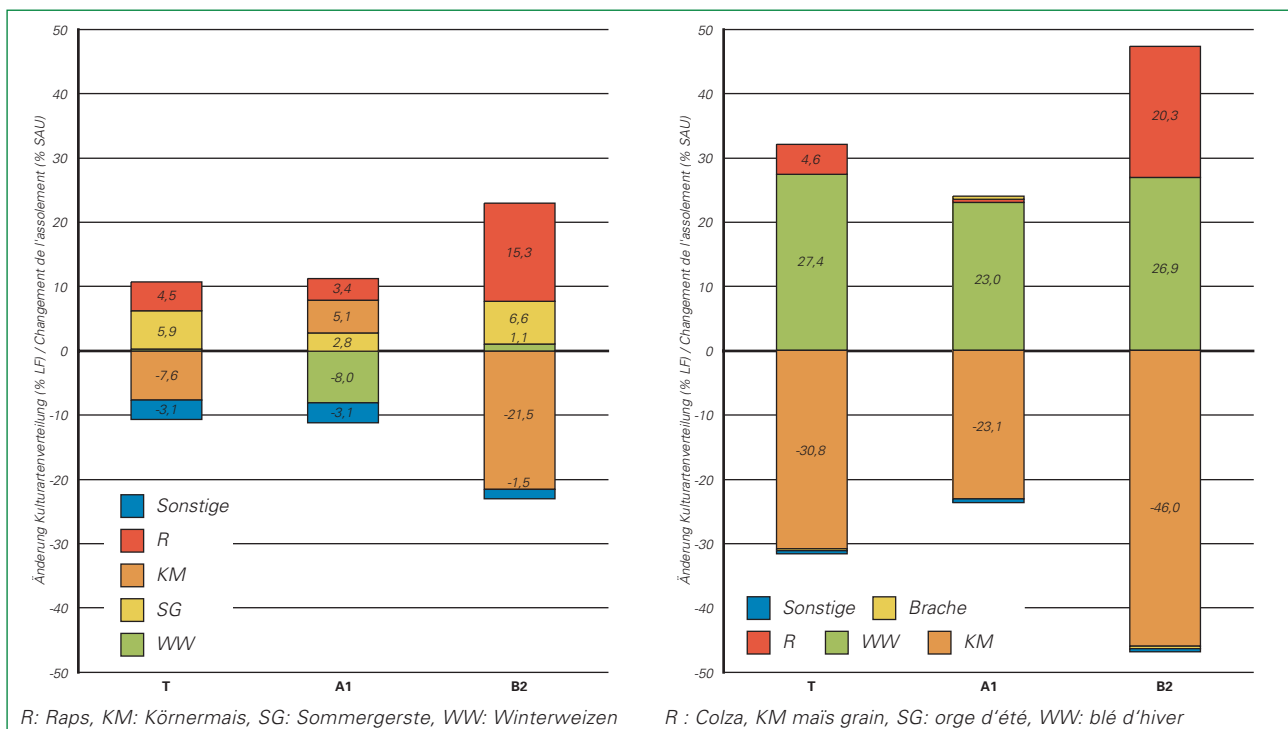


Abbildung 5: Änderung der Kulturartenverteilung ausgedrückt in % der LF für (a) Baden-Württemberg und (b) Frankreich für die Szenarien.
 Figure 5 : Modification de la répartition des cultures en % de la SAU pour (a) le Bade-Wurtemberg et (b) la France selon les scénarios.

zen /Raps) und einen Rückgang der Maisanbaufläche um 40 % gekennzeichnet.

de l'énergie et une maîtrise par la rotation de la prolifération de la chrysome avec pour conséquences un nouvel assolement triennal (maïs/blé/colza) et une réduction de 40% des surfaces en maïs.

DIE VERÄNDERUNG DER GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT NACH DEN SZENARIEN

Die agrarökonomisch bedingten Veränderungen der Bewirtschaftung, die sich vor allem durch geänderte Kulturartenverteilungen ausdrücken, führen zu den in Abb. 6 dargestellten Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit. Diese beschränken sich beim Tendenzszenario und dem Szenario A1 weitgehend auf den elsässischen Teil des Projektgebietes. Für das Szenario B2 werden flächenhafte Zunahmen der Nitratkonzentration prognostiziert. Dies zeigt, dass der im Hinblick auf die Förderung von Biotreibstoffen wünschenswerte Anbau von Raps im Hinblick auf die Grundwasserbeschaffenheit problematisch ist.

RÉSULTATS DE SIMULATIONS DES SCÉNARIOS: IMPACTS SUR LA NAPPE

Les modifications des pratiques culturales conditionnées par l'agroéconomie se manifestent avant tout par un changement dans la répartition des cultures et conduisent aux changements de qualité de l'eau souterraine présentés en figure 6. Ces changements affectent seulement, pour la tendance et le scénario A1, la partie alsacienne de la zone d'étude. Le scénario B2 prévoit une extension des surfaces polluées par les nitrates. Ceci indique que, dans l'état actuel du modèle utilisé, le développement de la culture de colza conduit à une augmentation significative des pertes de nitrates. Le développement de cette culture étant souhaitée dans le cadre du soutien aux carburants biologiques, elle doit être particulièrement étudiée du point de vue de son impact sur la qualité de l'eau souterraine.

Die Auswirkungen der in den drei Szenarien (Tendenzszenario, A1 und B2) vorhergesagten Verschiebungen der Kulturartenverteilung wirken sich jedoch nicht sehr stark auf die Grundwasserbeschaffenheit aus. Im Vergleich dazu zeigt die Simulation der Auswirkungen der Handlungsoptionen eine signifikant größere Veränderung.

La fourchette d'incertitude sur l'état futur de la nappe d'après les différents scénarios (tendanciel, A1 et B2) n'est cependant pas très large. La simulation de l'effet des mesures d'intervention montre un impact significatif par rapport à ces incertitudes

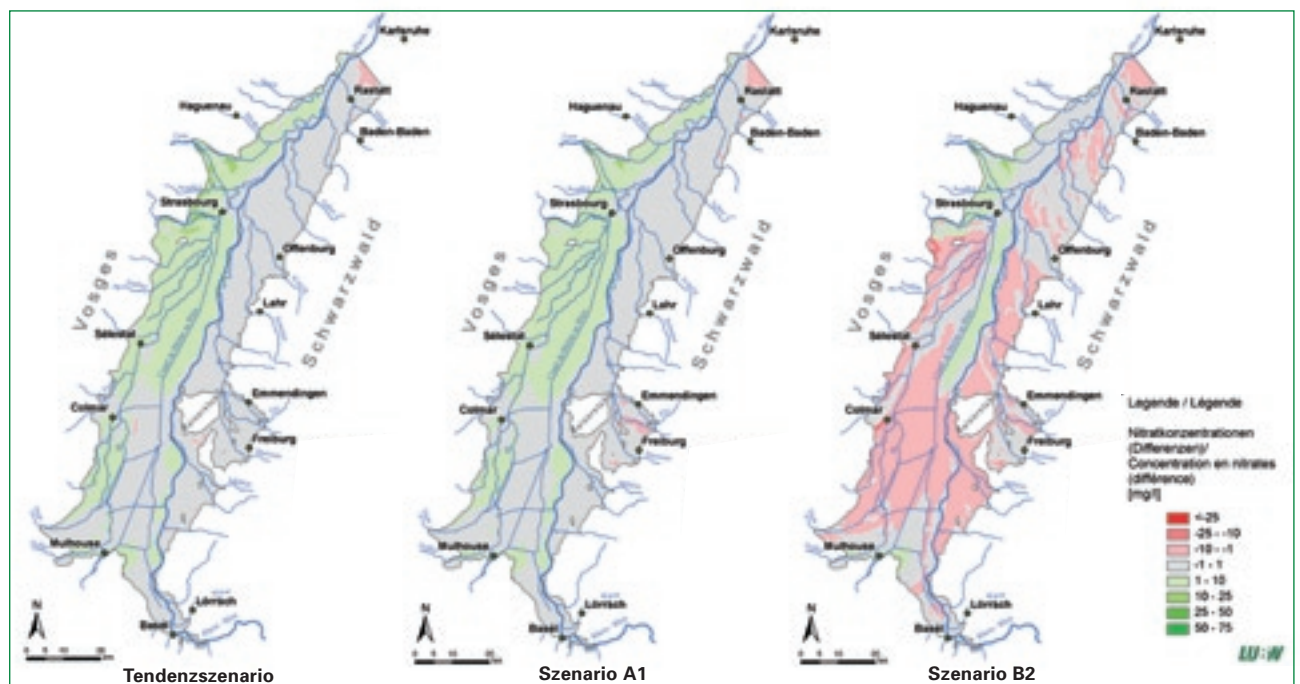


Abbildung 6: Differenzkarten der Nitratkonzentrationen (Referenz 2050 – Szenario 2050) in den obersten 10m des Grundwasserleiters
Figure 6 : Carte de la différence des concentrations en nitrates (référence 2050 – scénario 2050) dans les 10 m supérieures de l'aquifère

EIN ALTERNATIVSZENARIO

Für eine längerfristige Planung ist zu untersuchen, wie sich die Handlungsoptionen unter dem Einfluss der extern bedingten Veränderungen auswirken. Als besonders relevant zeigt das Alternativszenario „Tendenzszenario plus Zwischenfruchtanbau“ hinsichtlich des Mittelwertes eine Wirksamkeit von 17,4 %, d. h. mehr als die Summe der beiden Einzelwirksamkeiten!

Fazit

Es konnten acht Handlungsoptionen vor dem Hintergrund dreier verschiedener Szenarien der agrarökonomischen Entwicklung und ein Alternativszenario vergleichend bewertet werden.

Am wirksamsten in Bezug auf beide Indikatoren (Mittelwert und Überschreitungsfläche 50 mg/l) ist die Kombination M4 aus ordnungsgemäßer Düngung bei Körnermais (M1a), Zwischenfruchtanbau (M2) und einer Acker- zu Grünlandumwandlung (M3a).

Diese Handlungsoption M4 führt auch am schnellsten zu deutlichen Veränderungen, wobei allerdings auch die Handlungsoption M3c innerhalb der ersten zehn Jahre nahezu dieselbe Wirkung erzielt. Die Überschreitungsfläche 50 mg/l reduziert sich danach um rd. 10.000 ha bis zum Jahr 2015.

Bei Bezug auf die erforderliche Reduktion des N-Eintrags ist die Handlungsoption M3c am effizientesten, dicht gefolgt von der ordnungsgemäßen Düngung (M1c und M1a).

Die Szenarien deuten ebenfalls Verbesserungen der Belastungssituation an. Mittelfristig ergibt sich bis zum Jahr 2015 eine Reduktion der Überschreitungsfläche 50 mg/l von 6.100 ha bis 7.100 ha, verglichen z. B. mit 10.200 ha für die Handlungsoption M3c. Längerfristig (bei gleich bleibenden Bedingungen) und mit dem maximal möglichem Zwischenfruchtanbau würde im Jahr 2050 eine Wirksamkeit von 55 % erreicht.

Die Konzentration der Maßnahmen auf bestimmte Gebiete führt zu einer deutlichen Steigerung der Effizienz_N (vgl. M3c statt M3a). Durch die Entwicklung noch besser zutreffender Abgrenzungskriterien als den Belastungsindex kann sicherlich die Wirksamkeit und die Effizienz der Handlungsoptionen noch deutlich gesteigert werden (z. B. Konzentration auf die hoch belasteten Gebiete). Die Herabsetzung des Mittelwertes wird jedoch langfristig weiterhin die generelle Reduzierung der Stickstoffeinträge in der Fläche erfordern.

REMARQUE RELATIVE À UN SCÉNARIO ALTERNATIF

La planification à long terme nécessite l'étude de la sensibilité des différentes options à diverses influences extérieures. Un scénario alternatif, qui est un « scénario tendanciel avec la mise en place de CIPAN » est particulièrement intéressant du point de vue de l'indicateur „Moyenne“ : en effet, son efficacité, évaluée à 17,4 % est supérieure à la somme des valeurs de l'efficacité des deux variantes prises isolément.

Bilan

Huit options d'action, combinées selon trois scénarios différents de l'évolution agroéconomique et un scénario alternatif, ont pu être évaluées de manière comparative.

De toutes les combinaisons des deux indicateurs (moyenne et surface dépassant 50 mg/l) étudiées, la variante (M4) est la plus efficace. Elle prévoit la fertilisation raisonnée du maïs à la parcelle (M1a), la mise en place de CIPAN (M2) et la conversion de terres agricoles en prairie (M3a).

Cette combinaison M4 conduit également le plus rapidement à des changements visibles, mais l'option d'action M3c atteint à peu près le même effet au cours des dix premières années. La superficie du dépassement des 50 mg/l pourrait ainsi être diminuée d'environ 10.000 ha à l'horizon 2015.

Concernant la réduction d'apport azoté requise, l'option d'action M3c est la plus efficiente, suivie de près par la fertilisation raisonnée à la parcelle (M1c et M1a).

Les scénarios mettent en évidence des améliorations de la situation. À moyen terme, les zones dans lesquelles 50 mg/l sont dépassés devraient diminuer à l'horizon 2015 de 6100 à 7100 ha. Ces valeurs peuvent être comparées avec les 10.200 ha de la variante M3c. La mise en place systématique de cultures intercalaires devrait – toutes choses égales par ailleurs – être efficace à 55% à long terme en 2050.

Le renforcement des mesures dans des secteurs choisis permettra d'accroître considérablement leur efficacité (mesures M3c au lieu de M3a). La mise en œuvre de critères de délimitation des zones polluées plus fins contribuera également à améliorer notablement l'efficacité des mesures (par exemple la concentration dans des zones fortement polluées). La diminution de la valeur moyenne repose à long terme malgré tout sur la réduction globale des apports en azote sur toute la surface.

Hinweis: Diese Kurzfassung basiert auf dem ausführlichen Fachbericht „Prognosen zur Entwicklung der Nitratbelastung“, Hrsg.: LUBW Karlsruhe, 2006

Indication: ce rapport de synthèse a été réalisé d'après le rapport technique sur la « prévision de l'évolution de la pollution par les nitrates », édité par la LUBW Karlsruhe en 2006.

IMPRESSUM

Herausgeber / Publication	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de
Bearbeitung & Redaktion / Réalisation & Rédaction	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 42 – Grundwasser, Baggerseen mit Beiträgen der Projektpartner / avec des contributions des partenaires du projet EU - INTERREG III A Programme Oberrhein Mitte-Süd und PAMINA / UE - Programmes INTERREG III A Rhin Supérieur Centre-Sud et PAMINA
gefördert durch / cofinancié par	Die Broschüre ist kostenlos erhältlich bei der Verlagsauslieferung der LUBW La brochure est gratuite et peut être demandée auprès du distributeur de la LUBW
Bezug / Distribution	JVA Mannheim -Druckerei, Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim Telefax 0621/398-370, bibliothek@lubw.bwl.de/
Stand / Etat	Juli 2006, 1. Auflage / Juillet 2006, 1ère édition
Bildnachweis / référence d'image	Titelbild / Image de couverture Reiner Steinmetz, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Reproduction - même partielle - autorisée seulement avec mention de l'origine et mise à disposition des exemplaires justificatifs.

