





# Prognosen zur Entwicklung der Nitratbelastung

 INTERREG III A-Projekt MoNit „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“

# 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»




Ce projet est cofinancé  
par l'Union Européenne  
Dieses Projekt wird von der  
Europäischen Union kofinanziert




Baden-Württemberg



# Prognosen zur Entwicklung der Nitratbelastung

 INTERREG III A-Projekt MoNit „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“

# 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»

<b>HERAUSGEBER / PUBLICATION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>BEARBEITUNG / RÉALISATION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 42 – Grundwasser, Baggerseen, mit Beiträgen der Projektpartner / avec des contributions des partenaires du projet
<b>REDAKTION / RÉDACTION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 42 – Grundwasser, Baggerseen
<b>GEFÖRDERT DURCH / COFINANCIÉ PAR</b>	EU - INTERREG III A Programme Oberrhein Mitte-Süd und PAMINA / UE - Programmes INTERREG III A Rhin Supérieur Centre-Sud et PAMINA
<b>BEZUG / DISTRIBUTION</b>	Die Broschüre ist kostenlos erhältlich bei der Verlagsauslieferung der LUBW/ La brochure est gratuite et peut être demandée auprès du distributeur de la LUBW JVA Mannheim -Druckerei, Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim, Telefax 0621 / 398-370, <a href="mailto:bibliothek@lubw.bwl.de">bibliothek@lubw.bwl.de/</a>
<b>STAND / ETAT</b>	Juli 2006, 1. Auflage / Juillet 2006, 1ère édition
<b>DRUCK / IMPRESSION</b>	Greiserdruck GmbH & Co. KG, Karlsruher Str. 22, 76437 Rastatt gedruckt auf Recyclingpapier / imprimé sur papier recyclé
<b>BILDNACHWEIS / RÉFÉRENCE D'IMAGE</b>	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.

**FINANZPARTNER /**

**COFINANCEURS**

Europäische Union – Gemeinschaftsinitiative INTERREG III A

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Région Alsace

Agence de l'eau Rhin-Meuse

Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

Regierungspräsidium Freiburg - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau  
Baden-Württemberg

Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg

Kanton Basel-Stadt

Kanton Basel-Landschaft

Schweizer Eidgenossenschaft

**PROJEKTRÄGER /**

**MAÎTRE D'OUVRAGE**

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

## Vorwort

Die Problematik der Belastung des Grundwassers mit Nitrat ist seit Jahren bekannt. Obwohl schon seit mindestens zwei Jahrzehnten aktive Schutzmaßnahmen umgesetzt wurden, liegt das Niveau der Nitratbelastung nach wie vor zu hoch, auch wenn der bis Anfang der 90-er Jahre stetig ansteigende Trend der Belastung inzwischen gestoppt ist und auf baden-württembergischer Seite sogar statistisch eine abnehmende Tendenz festgestellt wird. Deshalb werden von der Öffentlichkeit und von verschiedenen Interessengruppen immer wieder kritisch zu geringe Erfolge der Maßnahmen angemahnt.

Der Oberrheingraben ist wegen seiner intensiven landwirtschaftlichen Nutzung aber auch wegen der dichten Besiedlung und zahlreichen Verkehrswege besonders gefährdet. Das Grundwasservorkommen hat andererseits eine besondere Bedeutung, da es auf beiden Seiten des Rheins fast 80% des Trinkwasserbedarfs deckt. Bei den beiden umfassenden, grenzüberschreitenden Zustandserhebungen 1997 und 2003 (Region Alsace, 1997 und 2006) wurde jeweils festgestellt, dass eine erhebliche Belastung vorliegt. Ein Vergleich der Ergebnisse von 1997 und 2003 zeigte zwar, dass die Belastung einen leicht fallenden Trend aufweist, die Situation insgesamt musste aber kommentiert werden als „gewisse Stabilisierung auf hohem Niveau“.

Da eine Bewirtschaftung sachgerecht nur unter Betrachtung des gesamten Grundwasservorkommens erfolgen kann, haben die Partner aus Frankreich, der Schweiz und aus Baden-Württemberg mit Unterstützung durch das INTERREG IIIA - Programm der EU gemeinsam ein Projekt „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“ (MoNit) durchgeführt. Dies setzte die seit langem praktizierte erfolgreiche Zusammenarbeit der zuständigen Institutionen und beteiligten Personen aller drei betroffenen Länder fort. In dem Projekt ging es nicht darum, neue Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung durch Nitrat zu entwickeln, sondern Handlungsoptionen zur Reduktion der Belastung unter den naturräumlichen Gegebenheiten des Oberrheingrabens vergleichend zu bewerten. Dabei war die erfreulich enge Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftsverwaltung eine wesentliche Voraussetzung zum Gelingen des Projektes.

## Avant-propos

La problématique de la pollution des eaux souterraines par les nitrates est connue depuis des années. Bien que des mesures de protection actives aient été mises en œuvre depuis au moins deux décennies, le niveau de pollution par les nitrates reste trop élevé, même si la tendance à la hausse, continue jusqu'au début des années 90, n'est plus constatée et si une tendance à la baisse est observée côté badois. C'est pourquoi le faible succès des mesures mises en œuvre est constamment critiqué par le public et par divers groupes d'acteurs concernés.

La nappe d'eau souterraine de la vallée du Rhin supérieur est particulièrement menacée, en raison de la présence d'une agriculture intensive, d'une forte densité de population et d'un grand nombre de voies de circulation. La nappe phréatique y possède une importance particulière, car elle couvre quasiment 80 % des besoins en eau potable de part et d'autre du Rhin. Lors des deux inventaires transfrontaliers de l'état de la nappe de 1997 et de 2003 (Région Alsace, 1997 et 2006), l'existence d'une pollution diffuse importante par les nitrates a été à chaque fois démontrée. Bien qu'une comparaison des résultats de 1997 et de 2003 ait montré une décroissance légère de la pollution, la situation globale a cependant été qualifiée selon les termes suivantes : « une certaine stabilisation de la pollution à un niveau élevé ».

Une gestion efficace ne pouvant avoir lieu qu'à travers la prise en compte de l'intégralité de la ressource en eaux souterraines, les partenaires de France, de Suisse et du Bade-Wurtemberg ont lancé un projet commun de « Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin Supérieur » (MoNit), avec le soutien du programme de financement INTERREG IIIA de l'Union Européenne. Ce projet s'inscrivait dans la continuité d'une collaboration réussie de longue date entre les institutions compétentes et les personnes impliquées des trois Etats concernés. Ce projet ne visait pas au développement de nouvelles mesures de réduction de la pollution par les nitrates, mais à l'évaluation comparative d'options ciblées visant à la réduction de la pollution dans l'espace géographique particulier de la vallée du Rhin supérieur. C'est pourquoi une collaboration étroite et harmonieuse avec les administrations agricoles consti-

Die Ergebnisse der Prognoserechnungen mit dem Modellverbund zeigen, dass die hohen Belastungen aus der Vergangenheit noch lange nachwirken. Durch die Umsetzung verschiedener Handlungsoptionen kann das Abklingen der Belastung jedoch deutlich beschleunigt werden. Trotzdem sind Jahrzehnte erforderlich, um ein zufrieden stellendes Niveau zu erreichen.

tuait une condition très importante de la réussite du projet.

Les résultats des simulations à l'aide du groupe de modèles montrent que les effets des fortes pollutions héritées du passé se feront encore ressentir pendant longtemps. Toutefois, la mise en pratique de différentes options d'action peut nettement accélérer la diminution de l'intensité de la pollution. Il faudra toutefois attendre des décennies pour que l'état de la nappe apparaisse comme satisfaisant.

<b>VORWORT</b>	4	<b>AVANT-PROPOS</b>	4
<b>KURZFASSUNG</b>	8	<b>RAPPORT DE SYNTHÈSE</b>	8
<b>1 AUFGABENSTELLUNG</b>	15	<b>1 DÉFINITION DES TÂCHES</b>	15
<b>2 DIE AUSGANGSLAGE</b>	18	<b>2 LA SITUATION DE DÉPART</b>	18
2.1 Das Projektgebiet – Naturraum und anthropogene Überprägung	18	2.1 La zone d'étude du projet – cadre naturel et anthropique	18
2.2 Zustand des Grundwassers	20	2.2 Etat des eaux souterraines	20
2.2.1 Bestandsaufnahmen 1997 und 2003	20	2.2.1 Inventaires Qualité 1997 et 2003	20
2.2.2 Zeitliche Entwicklung des Nitratgehalts an den Messstellen	21	2.2.2 Evolution temporelle de la teneur en nitrates au niveau des stations de mesures	21
2.2.3 Ermittlung von Gebietskennwerten	24	2.2.3 Détermination de valeurs régionalisées	24
<b>3 UNTERSUCHTE EINFLÜSSE AUF DIE DIFFUSE NITRATBELASTUNG</b>	27	<b>3 FACTEURS AYANT UN IMPACT SUR LA POLLUTION DIFFUSE PAR LES NITRATES</b>	27
3.1 Denkbare Entwicklung des Agrarsektors	28	3.1 Prevoir l'évolution du secteur agricole	28
3.1.1 Die Landwirtschaft, ein Sektor unter dem Einfluss zahlreicher Veränderungen	28	3.1.1 L'agriculture, un secteur soumis à de multiples forces de changement	28
3.1.2 Die wichtigsten Faktoren des Wandels im Agrarbereich	30	3.1.2 Les principaux facteurs de mutation de l'agriculture	30
3.1.3 Veränderliche Parameter der sozioökonomischen Modelle	33	3.1.3 Paramètres modifiables des modèles socio-économiques	33
3.2 Drei Zukunftsvisionen	34	3.2 Trois visions du futur	34
3.2.1 Von sechs Einflussfaktoren zu drei verschiedenen Szenarien ...	34	3.2.1 De six facteurs de changement à trois scénarios contrastés ...	34
3.2.2 Tendenzszenario	35	3.2.2 Le scénario tendanciel	35
3.2.3 Szenario A1	36	3.2.3 Le scénario A1	36
3.2.4 Szenario B2	37	3.2.4 Le scénario B2	37
3.3 Handlungsoptionen	38	3.3 Options d'action	38
3.3.1 Bewertung der Handlungsoptionen	41	3.3.1 Evaluation des options d'action	41
3.3.2 Abbildung der Handlungsoptionen in den Modellen	42	3.3.2 Simulation des options d'action dans les différents modèles	42
<b>4 DIE WERKZEUGE</b>	47	<b>4 LES OUTILS</b>	47
4.1 Ergänzende Untersuchungen / Messungen	47	4.1 Etudes complémentaires / Mesures	47
4.2 Das Modellsystem	50	4.2 Le système de modèles	50
4.2.1 Einleitung	50	4.2.1 Introduction	50
4.2.2 Modul Sozioökonomie:	50	4.2.2 module socio-économie:	50
4.2.3 Modul Stickstoffeintrag:	51	4.2.3 Module d'entrée d'azote :	51
4.2.4 Modul Grundwasser:	53	4.2.4 Module Eaux souterraines :	53
4.2.5 Simulationsergebnis: Epignose	55	4.2.5 Résultat de simulation : simulation historique	55
4.3 Abschätzung der Bilanzüberschüsse	58	4.3 Estimation des excédents de bilan	58
4.4 Vergleich gemessener und gerechneter Konzentrationen	67	4.4 Comparaison des concentrations mesurées et calculées	67
4.4.1 Messwerte	68	4.4.1 Valeurs de mesures	68
4.4.2 Vergleich an den Messorten	68	4.4.2 Comparaison sur les sites de mesures	68
4.4.3 Mittelwerte der Messstellenergebnisse	71	4.4.3 Moyenne des résultats des stations de mesures	71



4.4.3	Zeitliche Entwicklung	71	4.4.3	Evolution temporelle	71
4.4.4	Regionalisierte Kennwerte	72	4.4.4	Valeurs régionalisées	72
4.4.5	Sensitivitätslauf	74	4.4.5	Analyse de sensibilité	74
4.4.6	Fazit	75	4.4.6	Bilan	75
<b>5 GRUNDLAGEN FÜR DIE PROGNOSELÄUFE</b>		76	<b>5 PRINCIPES DE BASE DES SIMULATIONS</b>		76
5.1	Referenz- und Basislauf, Nullvariante	76	5.1	Simulation de référence et de base, variante nulle	76
5.2	Zeitliche Umsetzung des Nitrateintrags für Handlungsoptionen und Szenarien.	76	5.2	Mise en pratique temporelle des entrées de nitrates pour les options d'action et les scénarios	76
5.3	Darstellung der Simulationsergebnisse	78	5.3	Représentation des résultats de simulation	78
<b>6 ERGEBNISSE</b>		81	<b>6 RÉSULTATS</b>		81
6.1	Entwicklung der Agrarproduktion	84	6.1	Evolution de la production agricole	84
6.2	Änderungen des Stickstoffaustrags aus der Bodenzone	95	6.2	Modifications du lessivage de l'azote	95
6.3	Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit	100	6.3	Evolution de la qualité des eaux souterraines	100
<b>7 ERGEBNISSE ZU HANDLUNGSOPTIONEN</b>		103	<b>7 RÉSULTATS DES OPTIONS D'ACTION</b>		103
7.1	Ordnungsgemäße Düngung und reduzierte Düngung	104	7.1	Fertilisation raisonnée et fertilisation réduite	104
7.2	Zwischenfruchtanbau	114	7.2	Cultures intermédiaires	114
7.3	Umwandlung von Acker in Grünland	121	7.3	Conversion de terres arables en prairies	121
7.4	Kombinierte Handlungsoption (M4)	129	7.4	Option d'action combinée (M4)	129
<b>8 VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER HANDLUNGSOPTIONEN</b>		133	<b>8 EVALUATION COMPARATIVE DES OPTIONS D'ACTION</b>		133
8.1	Vergleich der verschiedenen Handlungsoptionen	133	8.1	Comparaison des différentes options d'action	133
8.2	Bewertung des Alternativszenarios	140	8.2	Evaluation du scénario alternatif	140
<b>9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>		144	<b>9. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>		144
9.1	Zusammenfassung	144	9.1	Conclusions	144
9.2	Ausblick	147	9.2	Perspectives	147
Literaturverzeichnis		150	Bibliographie		150
Namen und Anschriften der Autoren		152	Nom et directions des auteurs		152

## Kurzfassung

### 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 Oberrhein Graben 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 Elsass 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 Oberrhein Graben“ (MoNit) fortgesetzt, um Handlungsoptionen zur Reduktion der Belastung unter den naturräumlichen Gegebenheiten des Oberrhein Grabens vergleichend zu bewerten.

### DAS PROJEKTGEBIET

Das innere Projektgebiet umfasst den südlichen Teil des Oberrhein Grabens und erstreckt sich auf einer Fläche von 4.293 km<sup>2</sup> von Basel bis Lauterbourg und dem Landkreis Rastatt. Das äußere Projektgebiet erfasst zusätzlich die Randgebirge.

Dieser südliche Teil des Oberrhein Grabens ist mit quartären Lockergesteinen verfüllt mit Mächtigkeiten von bis zu 260m. Er bildet einen höchst ergiebigen Grundwasserkörper mit einem Volumen von etwa 80 Milliarden m<sup>3</sup> oder 80 km<sup>3</sup> Wasser. Das entspricht dem 1,6-fachen des Wasservolumens des Bodensees.

## Rapport de synthèse

### L'ENJEU

La problématique de la pollution des eaux souterraines par les nitrates est avérée depuis la fin des années 70<sup>3</sup>. Malgré la mise en pratique de mesures de protection depuis près de deux décennies (SchALVO en Bade-Wurtemberg depuis 1987, actions de conseil en Elsass 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, continue 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 Elsass 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 km<sup>2</sup> 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 m<sup>3</sup>, soit 80 km<sup>3</sup> 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.

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 Elsass<sup>1</sup> und die Schweiz<sup>2</sup> aufweisen!

## **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.

Die Modelle wurden mit einer hohen räumlichen (Grundwassermodell: 100m, Stickstoffbilanzmodell: 500m /1.000 m, Pflanzenmodell: Schlagebene, 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.

## **DIE SIMULATION DER HANDLUNGSOPTIONEN**

### **Die Handlungsoptionen**

Folgende acht Handlungsoptionen 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:

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

<sup>2</sup> Anh. 2 Ziffer 22 Gewässerschutzverordnung

## **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.

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'Alsace<sup>1</sup> et la Suisse<sup>2</sup> est dépassée sur environ 160 000 ha dans la région.

## **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.

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.

## **LA SIMULATION DES OPTIONS D'ACTION**

### **Les options d'action**

Un ensemble de huit options de mesures d'intervention a été défini à partir de différentes listes de propositions, 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

dem Referenzlauf („status quo“), in dem die aktuellen Kon-  
ditionen als unverändert angenommen werden, und dem  
„Nulllauf“, für den angenommen wird, dass es überhaupt  
keinen Nitratreintrag ins Grundwasser gibt.

Veränderungen der Bewirtschaftungspraxis (Handlungsoptionen), 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 Handlungsoptionen, werden simuliert, indem die Kulturartenumstellung und die Änderung von Bewirtschaftungspraktiken, die diese Maßnahmen heute einleiten würden, unter den aktuellen sozio-ökonomischen Bedingungen in dem Modellsystem 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.

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

référence : le scénario „statu quo“ où les conditions actuelles 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 fournit 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 répartition spatiale des nitrates jusqu'en 2050.

L'impact des mesures prises dans chacune des 8 options d'action 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 assolements et des pratiques culturales prévues vers 2015 ne sont pas prises en compte .

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 tempo-

auf eine Veränderung der Bewirtschaftung.

### 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 Überschreitungsfäche 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 Überschreitungsfäche 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 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.

relle des variations de teneurs en nitrates de la nappe en réponse aux changements de pratiques

### 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'efficience, 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.

**Efficience [-] :** 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 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.

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. Die vollständige Unterbindung des Stickstoffeintrags (Nulllauf) erzielt selbstverständlich die maximale Wirksamkeit, der damit verbundene Aufwand ist aber auch unrealistisch hoch.

#### **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.

#### **Mögliche Entwicklungen der Landwirtschaft:**

##### **Drei Zukunftsvisionen**

Als Haupttriebkraft der sozio-ökonomischen Veränderungen wurden die Reform der europäischen Agrarpolitik, die Ausbreitung des Maiswurzelbohrers, 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 und die Änderung von Bewirtschaftungspraktiken

#### **Die prognostizierten Veränderungen der Kulturartenverteilung**

Im Tendenzszenario geht v. a. die Maisanbaufläche wegen der Ausbreitung des Maiswurzelbohrers 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 Maiswurzelbohrer gezielt bekämpft und

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. 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.

#### **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.

#### **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 et la modification des pratiques culturales qui en découle.

#### **Les assolements projetés 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

die Energiepreise steigen weniger, dadurch reduziert sich die Maisanbaufläche nur um 15 %. Das Szenario B2 ist wegen stark steigender Energiepreise und starkem Maiswurzelbohrerbefall durch eine neue dreijährige Fruchtfolge (Mais / Weizen / Raps) und einen Rückgang der Maisanbaufläche um 40 % gekennzeichnet.

### 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.

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.

### 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.

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

### 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.

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

### 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.

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<sub>N</sub> (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.

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

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 efficace, 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.

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.



## 1 Aufgabenstellung

Das Grundwasser im Oberrheingraben ist durch die günstige geographische Lage des Gebietes besonders gefährdet. Das Gebiet bietet gute Voraussetzungen für eine intensive Landwirtschaft und ist zusätzlich sowohl durch Industrie- und Gewerbeanlagen als auch durch Verkehrswege intensiv genutzt. Im Oberrheingraben befindet sich aber auch eines der wichtigsten Grundwasservorkommen Mitteleuropas. Es deckt auf beiden Seiten des Rheins fast 80 % des Trinkwasserbedarfs.

Zwei bisher durchgeführte grenzüberschreitende Bestandsaufnahmen haben deutliche Belastungen durch Nitrat, Pflanzenschutzmittel, Industriechemikalien und Chlorid aufgezeigt.

Zur Verbesserung dieser Situation wurden im Vorgängerprojekt „Bestandsaufnahme 1997 der Grundwasserqualität im Oberrheingraben“ (INTERREG II) (Région Alsace, 2000) ein breites Spektrum von Maßnahmen zur Reduktion der Belastung genannt. Ein großer Teil dieser Maßnahmen wird in verschiedenen gesetzlichen Regelungen und Aktionsprogrammen (Dünge-VO, MEKA, SchALVO, Ferti-Mieux) bereits umgesetzt.

Die Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen wird jedoch teilweise widersprüchlich diskutiert. Das liegt zum großen Teil daran, dass die Auswirkungen von Reduktionsmaßnahmen im Grundwasser zum Teil erst nach Jahrzehnten deutlich werden. Ziel des Projektes war deshalb, zu prüfen, wie sich bereits eingeleitete, möglicherweise zusätzliche oder eventuell zu intensivierende Maßnahmen mittel- bis langfristig auf das Grundwasser auswirken. Dazu war die Effektivität verschiedener Maßnahmen vergleichend zu bewerten. Die Aufgabe bestand nicht darin, neue Maßnahmen zur Begrenzung von Belastungen zu entwickeln.

Im Vordergrund stand also die Frage nach dem Zusammenwirken von Reduktionsmaßnahmen und deren Auswirkungen im Grundwasser, d. h. nicht so sehr die Frage, wie eine bestimmte Reduktion zu erreichen ist, sondern die Frage, wie sich eine gegebene Reduktion im Grundwasser auswirkt.

Aus zwei Gründen ist für die Bearbeitung dieser Fragestellung eine Modellierung notwendig:

## 1 Définition des tâches

En raison de la situation géographique favorable de la région, les eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur sont particulièrement menacées. La région offre, en effet, de bonnes conditions pour une agriculture intensive, et fait de plus l'objet d'une industrialisation intense, d'une urbanisation dense, avec de nombreuses installations commerciales et de nombreuses voies de circulation. Cependant la vallée du Rhin supérieur est également le siège d'une des réserves en eaux souterraines les plus importantes d'Europe Centrale. Cette ressource couvre près de 80 % des besoins en eau potable de part et d'autre du Rhin.

Les deux inventaires transfrontaliers réalisés jusqu'à présent ont clairement montré l'existence de pollutions par les nitrates, les produits phytosanitaires, les rejets chimiques industriels et les chlorures.

Afin d'améliorer cette situation, une large gamme de mesures visant à la réduction de la pollution a été mentionnée dans le cadre du précédent projet d'« Inventaire 1997 de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin Supérieur » (INTERREG II) (Région Alsace, 2000). Une grande partie de ces mesures a été mise en oeuvre dans divers cadres législatifs et dans des programmes d'action (Dünge-VO, MEKA, SchALVO, Ferti-Mieux).

L'efficacité des différentes mesures est cependant partiellement discutée. Ceci est dû dans une large part au fait que l'effet des mesures de réduction de la pollution des eaux souterraines ne devient souvent clair qu'après des décennies. Le but du projet était donc de tester l'impact, à moyen et à long terme, des mesures sur les eaux souterraines, que ce soient des mesures déjà mise en oeuvre, d'éventuelles mesures supplémentaires ou bien de mesures à intensifier. Dans ce sens, il s'agissait d'évaluer de façon comparative l'efficacité de différentes mesures. Le but n'était pas de développer de nouvelles mesures de limitation de la pollution.

Une des interrogations principales visait également les interactions entre les mesures de réduction de la pollution et leurs impacts sur les eaux souterraines, c'est-à-dire non pas la question de la manière dont une réduction donnée de la pollution peut être obtenue, mais l'impact d'une réduction donnée sur les eaux souterraines.

Afin de répondre à cet objectif il a été nécessaire de réaliser une modélisation pour deux raisons principales :

- Das Ausmaß der Belastungsreduktion durch die jeweiligen Maßnahmen muss für die Vielzahl der naturräumlichen Gegebenheiten im Gebiet **quantifiziert** werden.
- Die Auswirkungen müssen über einen längeren Zeitraum **prognostiziert** werden.

Für die modelltechnische Gesamtbetrachtung eines solch großen Gebietes lagen wenige Erfahrungen vor. Darum wurde entschieden, nicht den gesamten Wasser- und Stoffhaushalt im Untersuchungsgebiet zu betrachten (d. h. die Oberflächengewässer nur als Randbedingung mitzuführen), um den Aufwand auf die hauptsächliche Fragestellung zu konzentrieren.

Außerdem wurde die Arbeit zunächst auf die Belastung durch Nitrat beschränkt. Für die Pflanzenschutzmittel und Industriechemikalien, die einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtbelastung darstellen, lagen und liegen bis jetzt keine brauchbaren Eintragsfunktionen vor. Das Nitrat ist zumindest auf der deutschen Seite die dominierende Belastung, auf elsässischer Seite steht sie hinter der Belastung durch Pflanzenschutzmittel an zweiter Stelle. Mit einer erfolgreichen Modellierung des Parameters „Nitrat“ werden einige der Grundlagen gelegt, die ggf. für die zukünftige Bearbeitung der anderen Problemstoffe genutzt werden könnten.

Die Modelle sind so weit wie möglich validiert worden. Grundsätzlich kann wie für alle Modelle auch für die Teile des Gesamtsystems MoNit nicht der Anspruch erhoben werden, dass sie die Konzentrationen an jedem Ort, zu jedem Zeitpunkt und unter den unterschiedlichsten Randbedingungen exakt vorhersagen. Die Bearbeiter sind indessen der Überzeugung, dass sie die mittlere Entwicklung der Nitratkonzentrationen im gesamten Untersuchungsgebiet den Erfordernissen der Aufgabenstellung entsprechend und daher hinreichend gut wiedergeben.

Da nicht alle Maßnahmen modelltechnisch untersucht werden können, wurde besonderer Wert auf eine sachgerechte Auswahl der zu untersuchenden Handlungsoptionen gelegt. Dies erfolgte durch eine Bewertung hinsichtlich Wirksamkeit, Umsetzbarkeit und regionaler Relevanz durch die landwirtschaftlichen Experten der beteiligten Länder (Kap. 3.3). Die resultierende Liste stellt unabhängig von der Modellierung ein Ergebnis des Projektes dar.

- **L'amplitude de la réduction de la pollution résultant de mesures spécifiques mise en œuvre doit être quantifiée** en fonction des nombreuses caractéristiques géographiques naturelles du secteur.
- **Les impacts doivent pouvoir être évalués** sur de longues périodes.

On disposait de peu d'expérience par rapport aux approches techniques de modélisation pour l'examen global d'une zone d'une telle étendue. C'est pourquoi il a été décidé de ne pas considérer la totalité des bilans d'eau et de matière dans la zone d'étude (c'est-à-dire de n'intégrer les eaux superficielles qu'en tant que conditions aux limites), afin de concentrer les efforts sur la problématique principale.

De plus, le travail a été limité à la pollution par les nitrates. On ne disposait pas (et c'est toujours le cas jusqu'à présent) de paramètres utilisables sur les entrées de produits phytosanitaires et de rejets chimiques industriels. Les nitrates constituent la pollution dominante, côté allemand tout au moins, et se situent en seconde position derrière les phytosanitaires côté alsacien. Une modélisation réussie du paramètre « nitrates » permettrait de fournir quelques bases, qui pourraient le cas échéant être utilisées pour un futur travail sur les autres matières à problème.

Les modèles ont été validés dans la mesure du possible. Sur le principe, et comme pour tout modèle, on ne peut exiger des parties du système global de modélisation MoNit qu'elles soient capables de prédire avec exactitude les concentrations en nitrates dans n'importe quel lieu, à n'importe quelle moment et sous les plus conditions aux limites les plus variables. Les partenaires du projet ont cependant la conviction que les modèles rendent compte de l'évolution moyenne des concentrations en nitrates dans l'ensemble de la zone d'étude conformément aux tâches définies, et qu'ils la reproduisent suffisamment bien.

Toutes les mesures ne pouvant être étudiées par le biais de la modélisation, une valeur considérable a été attribuée à la sélection appropriée des options d'action à analyser. Ceci a été effectué par le biais d'une analyse relative à l'efficacité, à la mise en pratique et à la pertinence régionale, effectuée par des experts agricoles des Etats participants (Chap. 3.3). La liste qui en résulte constitue l'un des résultats du projet, indépendamment de la modélisation.

Nicht im landwirtschaftlichen Bereich liegende mögliche Maßnahmen wie Ausweitung von Trinkwasserschutzgebieten oder nicht auf regionaler Ebene zu beeinflussende Maßnahmen wie Reduzierung der atmosphärischen Deposition durch Verringerung der Luftbelastung können mit dem Modell durchaus berücksichtigt werden, wurden jedoch aus Gründen der politischen Relevanz auf lokaler Ebene nicht weiter untersucht. Hinsichtlich der klimatischen Einflüsse wurde in den Teilmodulen Grundwasserneubildung und Pflanzenmodell die innerjährliche und die jährliche Variabilität berücksichtigt. Nicht prognostiziert werden Auswirkungen einer möglichen Klimaveränderung.

Die Modellierung der Handlungsoptionen war aus den oben genannten Gründen erforderlich. Eine Gesamtbeurteilung muss selbstverständlich vor dem Hintergrund der Untersuchungen des landwirtschaftlichen Versuchswesens erfolgen. Mit Hilfe der Modelluntersuchung können ihre Auswirkungen aber vergleichend prognostiziert und quantifiziert werden, so dass eine relativierende Einstufung der Handlungsoptionen möglich wird.

De possibles mesures dans le domaine non agricole telles que l'élargissement des zones de protection des eaux potables, ou bien des mesures non influençables à l'échelle régionale telles que la réduction de dépôts atmosphériques grâce à la limitation de la pollution de l'air, peuvent tout à fait être prises en compte par le modèle, mais n'ont pas été examinées plus avant pour des raisons de pertinence politique à l'échelle locale. En ce qui concerne les influences climatiques, les variabilités intra- et interannuelles ont été prises en compte au sein des sous modules « Recharge de la nappe » et « modèle plantes ». Les impacts d'un éventuel changement climatique ne sont pas simulés.

Pour les raisons évoquées précédemment, la modélisation des options d'action était nécessaire. Une évaluation globale doit évidemment se baser sur les connaissances issues des essais agricoles. A l'aide de la modélisation, leurs effets peuvent cependant être simulés et quantifiés comparativement, ce qui permet un classement relatif des options d'action.

## 2 Die Ausgangslage

Als Hintergrundinformation wird zunächst kurz das Untersuchungsgebiet beschrieben und die Unterteilung in ein inneres und ein äußeres Projektgebiet erläutert.

Für eine fundierte Beurteilung der prognostizierten Entwicklungen muss die aktuelle Grundwassersituation beschrieben und durch geeignete Kennzahlen charakterisiert werden.

### 2.1 DAS PROJEKTGEBIET – NATURRAUM UND ANTHROPOGENE ÜBERPRÄGUNG

Das Untersuchungsgebiet des Projekts MoNit lässt sich untergliedern in ein inneres und ein äußeres Projektgebiet. Das innere Projektgebiet umfasst den südlichen Teil des Oberrheingrabens und erstreckt sich von Basel bis zur Lauter, der Grenze des Elsass zu Rheinland-Pfalz, und der Fortsetzung dieser Linie auf deutscher Seite im Landkreis Rastatt. Das äußere Projektgebiet umfasst die flankierenden Mittelgebirge des Oberrheingrabens, die Vogesen im Westen und den Schwarzwald im Osten, bis hinauf zu den Einzugsgebietsgrenzen der oberirdischen Zuflüsse. Im Süden erfolgt der Abschluss des Projektgebietes durch den steil aufragenden Schweizer Jura. Die Fläche des inneren Projektgebietes beträgt 4 293 km<sup>2</sup> (davon 60,6 % in Frankreich, 38,8 % in Deutschland, 0,6 % in der Schweiz), mit einer Längsausdehnung rheinparallel von etwa 170 km und einer durchschnittlichen Breite des inneren Projektgebiets von etwa 30 km.

Im Projektgebiet liegen damit die französischen Départements Bas Rhin und Haut Rhin, welche zusammen die Région Alsace bilden, die Schweizer Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft und das deutsche Bundesland Baden-Württemberg.

Der Oberrheingraben ist Teil einer Bruchzone in der Erdkruste, deren Entstehung in das Tertiär vor 65 Mio. Jahren zurück reicht. In diesen Einbruch wurden zunächst meist Tone und Mergel sedimentiert, die heute die Basis der Lockergesteinsfüllung, die überwiegend aus kalkhaltigen Kiesen und Sanden alpiner Herkunft besteht, darstellen.

Die quartäre Lockergesteinsfüllung ist zwischen Basel und Lauterbourg durchschnittlich ca. 70 m und maximal 260 m mächtig und bildet einen höchst ergiebigen Grundwas-

## 2 La situation de départ

En introduction, la zone d'étude est d'abord brièvement décrite, puis la subdivision entre « zone intérieure » et « zone extérieure » du projet est expliquée.

Afin de pouvoir porter un jugement sur les évolutions simulées, la situation actuelle des eaux souterraines doit être décrite et caractérisée par des indicateurs pertinents.

### 2.1 LA ZONE D'ÉTUDE DU PROJET – CADRE NATUREL ET ANTHROPIQUE

La zone d'étude du projet MoNit peut être divisée entre une « zone intérieure » du projet et une « zone extérieure » du projet. La « zone intérieure » du projet comprend la partie sud du Fossé rhénan et s'étend de Bâle jusqu'à la Lauter, qui constitue la limite de l'Alsace avec la Rhénanie-Palatinat, ainsi que jusqu'au prolongement de cette partie-côté allemand dans le district de Rastatt. La « zone extérieure » du projet englobe les massifs de moyenne montagne limitrophes du Fossé rhénan, les Vosges à l'Ouest et la Forêt-Noire à l'Est, jusqu'aux limites des bassins versants des cours d'eau superficiels. Les pentes raides du Jura Suisse marquent la limite Sud de la zone d'étude du projet. La surface de la « zone intérieure » du projet représente 4293 km<sup>2</sup> (dont 60,6 % en France, 38,8 % en Allemagne et 0,6 % en Suisse), pour une longueur Nord-Sud (parallèlement au Rhin) d'environ 170 km et une largeur moyenne d'environ 30 km.

La zone d'étude du projet comprend donc les départements français du Bas-Rhin et du Haut-Rhin qui forment l'Alsace, les cantons suisses de Bâle-ville et Bâle-campagne et le Land fédéral du Bade-Wurtemberg.

La vallée du Rhin supérieur fait partie d'une zone de fracture dans la croûte terrestre qui s'étend de la Méditerranée à la Mer du Nord. Son origine remonte à l'ère Tertiaire (65 M.A.). La base du remplissage sédimentaire du Fossé est principalement constituée d'argiles et de marnes qui constituent le substratum de l'aquifère alluvionnaire, lui-même formé par des sables et graviers calcareux d'origine surtout alpine.

L'épaisseur du remplissage alluvionnaire quaternaire entre Bâle et Lauterbourg atteint environ 70 m en moyenne et 260 m au maximum ; il abrite un aquifère d'une très gran-

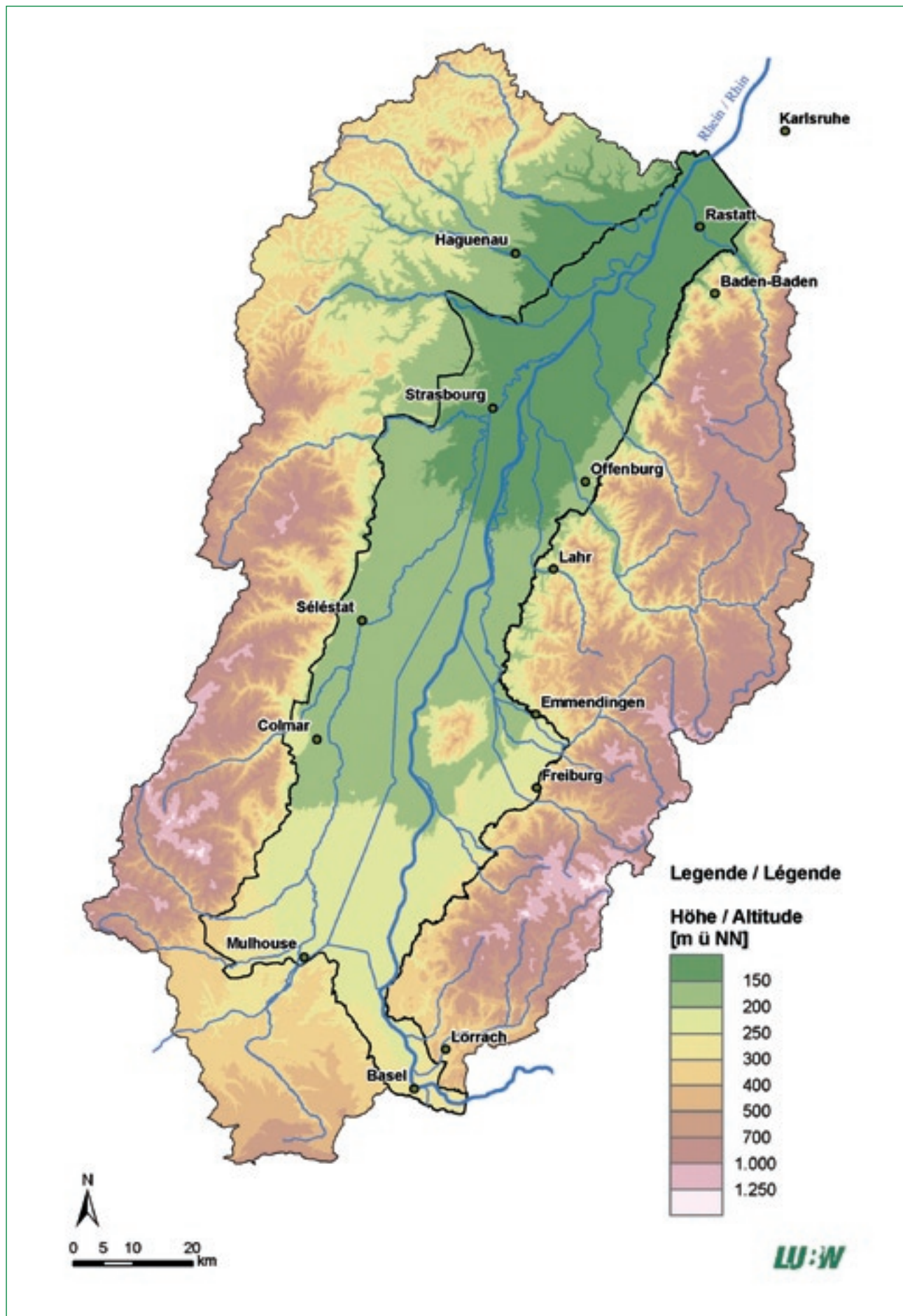


Abb. 2.2.1: Ausdehnung des gesamten Untersuchungsgebiets: inneres und äußeres Projektgebiet  
 Fig. 2.2.1 : Extension de la zone d'étude totale : zones intérieure et extérieure du projet

serkörper mit einem Volumen von etwa 80 Milliarden m<sup>3</sup> oder 80 km<sup>3</sup> Wasser. Das entspricht dem 1,6-Fachen des Wasservolumens des Bodensees.

Das Gebiet gliedert sich in Ost-West-Richtung in steile Mittelgebirgshänge, lössbedeckte Vorbergzonen und die Rheinebene, die sich wiederum in die Niederterrasse mit fruchtbaren Böden und die nacheiszeitlich eingetiefte Rheinaue gliedert. In der Rheinebene führt ein dichtes Gewässernetz zu einem intensiven Austausch zwischen Grundwasser und oberirdischen Gewässern.

Der Oberrheingraben ist über die Burgundische Pforte zum Mittelmeer hin geöffnet, damit können ganzjährig feucht-warme Luftmassen in den Oberrheingraben einfließen. Dadurch wird eine Mitteltemperatur von etwa 10 °C erreicht. Die Jahresniederschläge reichen von < 500 mm bei Colmar im Regenschatten der Vogesen bis > 2000 mm in den Hochvogesen und dem Schwarzwald.

Unter anderem begünstigte die Nähe zum Rhein als bedeutendem Schifffahrtsweg und wichtiger Verkehrsader seit der Rheinkorrektur durch Tulla ab Anfang des 19. Jahrhunderts die Besiedlung und Industrialisierung im Oberrheingraben.

Außerdem bietet das Gebiet günstige Bedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung. Die Klimagunst und fruchtbare Böden bewirken, dass nahezu die Hälfte der Fläche im inneren Projektgebiet (49%) landwirtschaftlich genutzt wird. Vorherrschend ist der Ackerbau (v. a. der Maisanbau), aber auch Obst und andere Sonderkulturen werden angebaut. Der Weinbau ist charakteristisch für den Ost- und Westabfall der Vorbergzonen und den Kaiserstuhl, die Reben gedeihen hier bis in 500 m Höhe.

Das äußere Projektgebiet ist überwiegend bewaldet mit Ausnahme zweier Gebiete, dem im Süden des inneren Projektgebietes angrenzenden Sundgau und dem Kochersberg nördlich von Straßburg, die beide ebenfalls intensiv landwirtschaftlich genutzt werden.

## 2.2 ZUSTAND DES GRUNDWASSERS

### 2.2.1 BESTANDSAUFNAHMEN 1997 UND 2003

#### Messstellenergebnisse

Das Grundwasser im Oberrheingraben ist Bestandteil eines einheitlichen, grenzüberschreitenden Grundwasser-

de Produktivität, d'un volume d'environ 80 milliards de m<sup>3</sup>, soit 80 km<sup>3</sup> d'eau. Ceci représente 1,6 fois le volume du Lac de Constance.

Sur un profil Est-Ouest, la zone d'étude est constituée des massifs montagneux de la Forêt-noire et des Voges, de zones de piémont couvertes de loess et de la plaine du Rhin, qui comprend elle-même une basse terrasse couverte de sols fertiles et le lit majeur du Rhin, incisé pendant la période post-glaciaire. Dans la plaine du Rhin, un réseau dense de cours d'eau génère des échanges intenses entre eaux souterraines et eaux superficielles.

Le Fossé rhénan est ouvert vers la Mer Méditerranée par la Trouée de Belfort, et les masses d'air humide et chaud peuvent ainsi circuler de l'espace méditerranéen occidental jusque dans le Fossé rhénan. De ce fait, la température moyenne y atteint environ 10 °C. Les précipitations moyennes annuelles s'échelonnent entre moins de 500 mm à Colmar, protégé par les Vosges, jusqu'à plus de 2000 mm dans les Hautes Vosges et la Forêt-Noire.

La proximité du Rhin, voie de navigation de grande ampleur et artère de circulation importante depuis la correction du Rhin par Tulla à partir du début du 19<sup>ème</sup> siècle, a notamment favorisé l'urbanisation et l'industrialisation dans le Fossé rhénan.

De plus, la région offre de bonnes conditions pour une utilisation agricole. Grâce au climat favorable et à la fertilité des sols, près de la moitié (49 %) de la superficie de la zone intérieure du projet est occupée par l'agriculture. La plupart de ces surfaces sont destinées aux grandes cultures (principalement au maïs), mais d'autres cultures telles que la production fruitière ou des cultures spéciales sont présentes. La culture de la vigne, caractéristique des pentes Est et Ouest du piémont et du Kaiserstuhl, se pratique ici jusqu'à 500 m d'altitude.

La zone extérieure du projet est quasiment entièrement boisée, à l'exception de deux zones, le Sundgau en limite Sud de la « zone intérieure » du projet et le Kochersberg, au Nord de Strasbourg, qui sont toutes deux intensivement exploitées pour l'agriculture.

## 2.2 ETAT DES EAUX SOUTERRAINES

### 2.2.1 INVENTAIRES QUALITÉ 1997 ET 2003

#### Résultats des campagnes de mesures

La nappe de la vallée du Rhin supérieur appartient à un aquifère transfrontalier unique. Afin de rendre compte de

vorkommens. Um den Zustand dieser wichtigen Grundwasserressource aufzuzeigen, wurden 1997 und 2003 gemeinsame Bestandsaufnahmen der Grundwasserqualität der zuständigen französischen, schweizerischen und deutschen Behörden durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet der grenzüberschreitenden Bestandsaufnahme 1997 entsprach in etwa dem des Projektes MoNit, die Bestandsaufnahme 2003 umfasste dagegen den gesamten Oberrheingraben bis Mainz.

Beide Bestandsaufnahmen zeigten eine deutliche Belastung mit Nitrat, Pflanzenschutzmitteln, Industriechemikalien und Chlorid (Région Alsace, 1997 und 2006). Am häufigsten wurde das Qualitätsziel bei Nitrat überschritten.

Im Jahr 1997 lag der mittlere Nitratgehalt im Gesamtgebiet mit 28,6 mg/l über dem europäischen Trinkwasserrichtwert von 25 mg/l. Der Grenzwert der EU-Nitrat-Richtlinie 91/676/EWG von 50 mg/l wurde an 15 % der 1100 Messstellen überschritten.

Auf elsässischer Seite, wo 1997 der mittlere Nitratgehalt 28,6 mg/l betrug, hatte sich der Zustand seit 1991 mit einem Mittelwert von 27,5 mg/l noch verschlechtert. In Baden lag der mittlere Nitratgehalt mit 31 mg/l höher als im Elsass, jedoch ließ sich ein seit 1994 leicht abnehmender Trend verzeichnen.

Mit Mittelwerten vom 26,9 mg/l im Elsass und 30,3 mg/l in Baden lag der mittlere Nitratgehalt auch 2003 über dem europäischen Leitwert von 25 mg/l. Der Grenzwert wurde im Elsass an 11,6% aller Messstellen, in Baden an 23,0% aller Messstellen überschritten.

2003 lag der mittlere Nitratgehalt mit 26,9 mg/l im Elsass und mit 30,3 mg/l in Baden (bzw. 28,7 mg/l im Untersuchungsgebiet von 1997) noch immer über dem europäischen Leitwert von 25 mg/l. Der Grenzwert wurde im Elsass an 11,6% aller Messstellen, in Baden an 23,0% aller Messstellen überschritten.

### 2.2.2 ZEITLICHE ENTWICKLUNG DES NITRATGEHALTS AN DEN MESSSTELLEN

Die in Projektberichten (Region Alsace, 1997 und 2006) genannten statistischen Kennzahlen können nicht direkt für die Ermittlung der Veränderungstendenz verwendet werden, da 2003 auf deutscher Seite ein wesentlich größeres Gebiet (einschließlich Teilen von Rheinland-Pfalz und Hessen) beprobt und analysiert wurde als 1997. Im

l'état de cette ressource en eau importante, des inventaires de la qualité des eaux souterraines ont été effectués en commun en 1997 et en 2003 par les collectivités et administrations compétentes françaises, suisses et allemandes. La zone d'étude de l'inventaire transfrontalier de 1997 correspond approximativement à celle du projet MoNit, alors que l'inventaire 2003 incluait l'ensemble de la vallée du Rhin supérieur jusqu'à Mainz.

Les deux inventaires ont mis en évidence une pollution évidente par les nitrates, les produits phytosanitaires, les résidus chimiques industriels et les chlorures (Région Alsace, 1997 et 2006). Le plus souvent, ce sont les nitrates qui dépassaient les objectifs qualité.

En 1997 la moyenne des teneurs en nitrates, de 28,6 mg/L, était supérieure à la valeur guide européenne pour l'eau potable de 25 mg/L. La limite de potabilité européenne de 50 mg/L était dépassée sur 15 % des 1100 points de mesures.

La dégradation de la ressource était en nette progression du côté alsacien, où la moyenne des teneurs en nitrates passait de 27,5 mg/l en 1991 à 28,6 mg/l en 1997. Dans le Pays de Bade, la teneur moyenne de 31 mg/l était supérieure à celle mesurée en Alsace, même si l'on remarquait depuis 1994 une légère tendance à la diminution.

En 2003, les moyennes des teneurs en nitrates de 26,9 mg/l en Alsace et de 30,3 mg/l en Bade étaient toujours supérieures à la valeur guide européenne de 25 mg/l. La valeur limite de 50 mg/l était dépassée en Alsace sur 11,6 % des points de mesures et sur 23,0 % au pays de Bade.

Les teneurs moyennes en nitrates pour l'année 2003 de 26,9 mg/l en Alsace et de 30,3 mg/l dans le Pays de Bade (28,7 mg/l sur l'ensemble de la zone en 1997) dépassent la valeur guide européenne de 25 mg/l. La valeur limite a été dépassée en Alsace sur 11,6% et au Pays de Bade sur 23,0% des points d'accès.

### 2.2.2 EVOLUTION TEMPORELLE DE LA TENEUR EN NITRATES AU NIVEAU DES STATIONS DE MESURES

Les valeurs statistiques indiquées pour la partie badoise dans les rapports des opérations d'inventaires (Région Alsace, 1997 et 2006) ne peuvent pas être directement comparées entre elles, car la zone échantillonnée et analysée en 2003 côté allemand est nettement plus importante qu'en 1997. Côté badois on a échantillonné 626 stations de

badischen Teilgebiet wurden 626 Messstellen in 2003 und 396 Messstellen in 1997 beprobt.

Auf elsässischer Seite stehen Daten von 720 (1997) bzw. 734 (2003) Messstellen zur Verfügung. Das Messnetz wurde eingerichtet um eine flächen-repräsentative Beprobung des Grundwasserleiters zu ermöglichen und damit die Kenntnis des Gesamtzustandes der Ressource verfügbar zu machen.

Zur Berechnung der zeitlichen Änderung werden konsistente<sup>1</sup> Messreihen über möglichst viele Jahre benötigt. Da auch die zeitliche Entwicklung der Nitratwerte in bestimmten Tiefenstufen geprüft werden soll, muss auch die Lage der Filterstrecken der Messstellen berücksichtigt werden. Damit verbleiben von den Messstellen der Bestandsaufnahmen insgesamt 696 konsistente Messstellen. Für diese Messstellen werden die jeweiligen Mittelwerte insgesamt und für die Tiefenstufen 0-10m, 10m-40m und >40m unter dem Grundwasserspiegel berechnet (Tab. 2.2.1). Die stärkste Abnahme der mittleren Nitratgehalte ergibt sich in der tiefsten Schicht, was wahrscheinlich ein durch die geringe Messstellenanzahl bedingtes Artefakt ist (siehe Kap. 4.4).

mesures en 2003 et 396 stations de mesures en 1997.

Du côté alsacien, on dispose de données sur 720 points de mesures (1997) ou sur 734 points (2003). Le réseau de mesures mis en place y a été construit pour disposer d'échantillons d'eau de nappe représentatifs spatiaux de l'état global de la ressource.

L'étude des évolutions temporelles nécessite des séries de mesures cohérentes<sup>1</sup>, dans la mesure du possible sur de nombreuses années. Dans le cas des inventaires, on ne retiendra donc que les points de mesure communs aux inventaires successifs : il reste ainsi 696 points de mesure communes aux inventaires de 1997 et 2003. L'évolution peut également être différente à différentes profondeurs de la nappe, il faut donc tenir compte de la profondeur des crépines des ouvrages de mesure. On a ainsi calculé la valeur moyenne globale pour l'ensemble des points de mesures, mais aussi pour les profondeurs 0-10 m, 10-40 m et supérieures à 40 m sous le niveau de la nappe (Tab. 2.2.1). La plus forte réduction de la teneur moyenne en nitrates a lieu dans les couches les plus profondes, mais ceci ne peut être considéré comme significatif en raison du faible nombre d'ouvrages profonds (voir chap. 4.4)

Tabelle 2.2.1: Änderungen der Nitratgehalte an den Messstellen der Bestandsaufnahmen 1997 und 2003 für Baden-Württemberg, in Abhängigkeit von der Tiefe, konsistente Gruppe, [mg/l pro Jahr]

Tableau 2.2.1 : Modifications de la teneur en nitrates dans les stations de mesures des inventaires 1997 et 2003 pour le Bade-Wurtemberg, en fonction de la profondeur, groupes cohérents [mg/l par an]

	Gesamt / Total	0 - 10 m	10 m - 40 m	> 40 m
<b>Messstellenanzahl / Nombre de stations de mesures</b>	696	481	196	19
<b>(Mittelwert 2003 – Mittelwert 1997) / 6 Jahre / Moyenne 2003 - moyenne 1997) / 6 ans</b>	- 0,2	- 0,25	- 0,1	- 0,4

Ein Vergleich von lediglich zwei Zeitpunkten ist zur Beurteilung der wichtigen Frage nach der Tendenz nicht ausreichend. Durch zahlreiche Effekte, wie z. B. klimatische Einflüsse, variieren die Konzentrationen von Jahr zu Jahr. Darum werden zusätzlich Daten aus den deutschen (GÜP) und französischen (RBES) Routinemessnetzen sowie Daten von Trinkwasserfassungen ausgewertet.

Cependant, la comparaison entre seulement deux inventaires est insuffisante pour évaluer l'importante question de la tendance. Pour de nombreuses raisons, comme par exemple des influences climatiques, les concentrations fluctuent d'une année sur l'autre. C'est pourquoi des données supplémentaires issues des réseaux de mesures de routine allemands (GÜP) et français (RBES) ainsi que des données provenant des captages d'eau potable ont également été utilisées.

<sup>1</sup> Eine Messstellengruppe wird in diesem Zusammenhang als „konsistent“ bezeichnet, wenn für jedes Jahr im betrachteten Zeitraum für jede Messstelle mindestens ein Wert vorliegt. Sollen jahreszeitliche Schwankungen vermieden werden, werden nur die Messwerte innerhalb eines Zeitfensters herangezogen. Liegen innerhalb dieses Zeitfensters mehrere Analysen vor, wird zunächst der Median- oder der Mittelwert für diese Messstellen berechnet.

<sup>1</sup> Dans ce contexte, un groupe de stations de mesures est dit « cohérent » lorsqu'un minimum d'une valeur est disponible pour chaque année et pour chaque station de mesures de la période considérée. Si des variations saisonnières doivent être évitées, seules les valeurs comprises dans une durée donnée sont utilisées. Si plusieurs analyses existent pour cette durée, on calcule d'abord la médiane ou la moyenne pour cette station de mesures.



Um einen umfassenden Überblick zu erhalten, werden dabei Daten ab 1950 herangezogen. Da für die Jahre vor 1990 die Messstellenzahlen im GÜP stark zurückgehen, wird auf die Konsistenzforderung verzichtet. Zur Darstellung der Unsicherheit der jeweiligen Jahresmittelwerte werden die 66%-Konfidenzintervalle angegeben. Insgesamt stehen im inneren Projektgebiet 520 GÜP - Messstellen für die Tiefen 0 – 40m und 32 RBES - Messstellen (ab 1999) mit jährlichen Messungen sowie mittlere Nitratgehalte von elsässischen Trinkwasserfassungen zur Verfügung (Abb. 2.2.1).

Die geringere Anzahl der Messstellen im GÜP vor 1990 führt zu deutlich vergrößerten Konfidenzintervallen. Außerdem sind die Werte von 1984 bis 1986 durch Daten aus einem speziellen Nitratuntersuchungsprojekt in hoch belasteten Gebieten (Hohlebach-Kandertal, Fischingen, Herten, Buggingen) nicht repräsentativ. Auf die geringere Repräsentativität der GÜP-Daten vor 1990 wird im Diagramm durch offene Rautensymbole hingewiesen.

Die Mittelwerte der Trinkwasserfassungen im Elsass sind nach 1980 ebenfalls nicht repräsentativ, da schon etliche Fassungen wegen erhöhten Nitratgehalten geschlossen wurden.

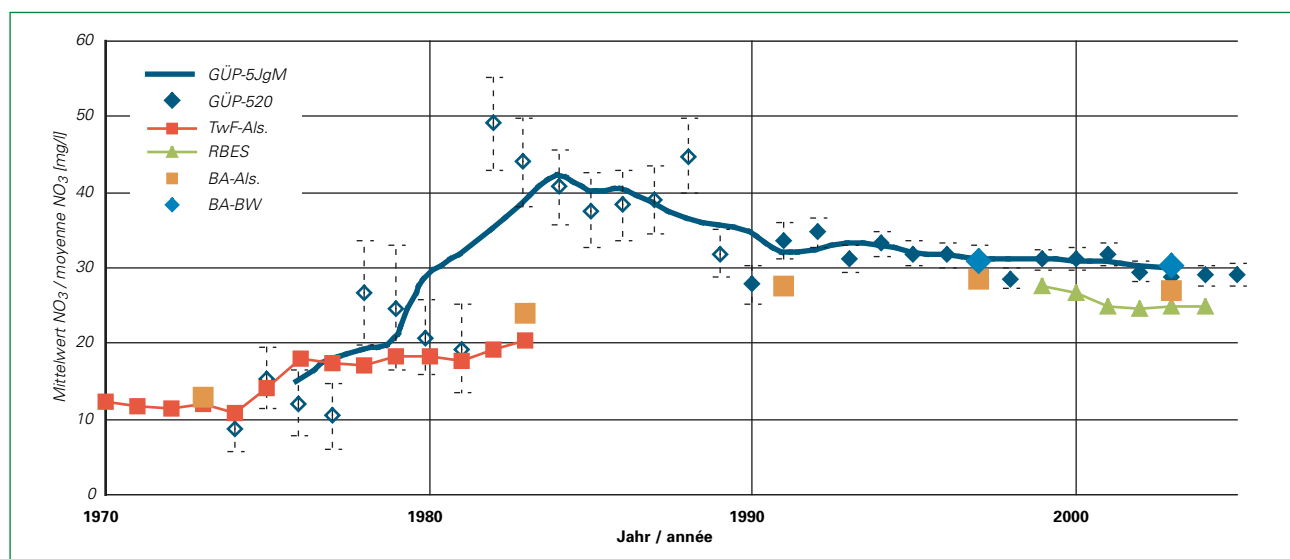
Die Zeitreihen geben trotz der erheblichen Schwankungsbreiten in den Jahren vor 1990 einen Hinweis auf einen starken Anstieg der Nitratkonzentrationen zwischen 1970 und Anfang der 80-er Jahre und, abgesehen von dem

Afin d'avoir une vue d'ensemble de la situation, il a fallu recourir à des données anciennes (à partir de 1950). Le nombre de points de mesures du GÜP étant bien plus faible avant 1990, on a renoncé à l'exigence de cohérence entre les réseaux successifs. L'intervalle de confiance de 66 % a été choisi pour la représentation de l'incertitude sur les différentes valeurs moyennes annuelles. Globalement, on dispose pour la zone du projet de 520 stations de mesures GÜP pour les profondeurs 0-40 m et de 32 stations de mesures RBES (à partir de 1999) avec des mesures annuelles, ainsi que des teneurs moyennes en nitrates provenant des captages AEP en Alsace (Fig. 2.2.1).

Le nombre réduit de points de mesures avant 1990 dans le GÜP engendre des intervalles de confiance nettement plus grands. De plus, les valeurs entre 1984 et 1986 proviennent d'un projet d'étude spécifique sur les nitrates dans des zones particulièrement polluées (Hohlebach-Kandertal, Fischingen, Herten, Buggingen) et ne sont donc pas représentatives de l'ensemble. Un texte dans le diagramme attire l'attention sur ce point.

Les moyennes des teneurs des AEP en Alsace ne sont pas non plus représentatives après 1980, car dès cette période on a commencé à fermer des captages en raison de teneurs trop élevées en nitrates.

Malgré l'ampleur des fluctuations observées au cours des années précédant 1990, la série temporelle fournit une bonne indication de la forte augmentation des concentrations en nitrates entre 1970 et le début des années 80 et,



Legende: BA: Bestandsaufnahmen / inventaires, BW: Baden-Württemberg / Bade-Wurtemberg, Als.: Elsass / Alsace, GÜP: Landesmessnetz BW / réseaux de mesures de routine BW, TwF: Trinkwasserfassungen / AEP, RBES: französisches Routinemessnetz / réseaux de mesures de routine côté française

Abbildung 2.2.1: Vergleich der mittleren Nitratgehalte aus den Bestandsaufnahmen mit jährlichen Messungen

Figure 2.2.1 : Comparaison entre les teneurs moyennes en nitrates issues des inventaires et celles des mesures annuelles

durch das Nitratprojekt bedingten Maximum in den 80-er Jahren, und einer Abnahme seit Anfang der 90-er Jahre.

### 2.2.3 ERMITTLUNG VON GEBIETSKENNWERTEN

Für die Beurteilung des Grundwasserzustands werden raumbezogene Größen wie Gebietsmittelwerte und Überschreitungsflächen (siehe Tab. 2.2.2) benötigt. Mittelwerte der Konzentrationen an den Messstellen und Überschreitungshäufigkeiten sind zur Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit weniger geeignet, wenn die Messstellen sehr ungleichförmig im Gebiet verteilt sind (z. B. Verdichtungen in hoch belasteten Bereichen) oder wenn über Teilgebiete mit grundsätzlich unterschiedlichen Eigenschaften (z. B. Gebiete mit oxidierenden und mit reduzierenden Milieu) gemittelt wird. Dies gilt in besonderem Maße für den deutschen Teil des Projektgebietes, während auf elsässischer Seite die Messstellendichte sehr gleichförmig ist und Bereiche mit reduzierenden Verhältnissen von untergeordneter Bedeutung sind.

Im deutschen Teil des Projektgebietes liefern regionalisierte Messwerte somit eine bessere Beschreibung des Gesamtzustandes. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Regionalisierungsverfahren unter Umständen ihrerseits fehlerbehaftet sein können. Dies ist bei der Interpretation zu berücksichtigen.

Zum Beispiel wurden bei der händischen Erstellung von Isokonzenkarten durch Projektpartner zwar die Erfahrung des Bearbeiters optimal genutzt, diese Information ist aber subjektiv geprägt. Die von Hand erstellten Isokonzenkarten der Bestandsaufnahmen 1997 und 2003 sind zwar von hervorragender Qualität, der Vergleich zwischen den Karten für beide Zeitpunkte unterliegt jedoch einer Unsicherheit, da sie von unterschiedlichen Bearbeitern erstellt wurden. Auch geostatistische Verfahren unterliegen verfahrensbedingten Unsicherheiten. Dennoch sind sie zum Vergleich mit Modellierungsergebnissen besser geeignet, vor allem hinsichtlich der Tendenzen.

Für die Regionalisierung der Messwerte standen drei Auswertungen zur Verfügung (Interpolation von Hand unter Berücksichtigung naturräumlicher Gegebenheiten wie Flussläufe etc. aus den Bestandsaufnahmen, Ordinary Kriging mit richtungsabhängigen Variogrammen für die linksrheinische Seite und für das Gesamtgebiet).

en faisant abstraction du pic artificiel des années 80, de leur réduction depuis le début des années 90 pour la partie allemande.

### 2.2.3 DÉTERMINATION DE VALEURS RÉGIONALISÉES

L'évaluation de l'état des eaux souterraines nécessite l'utilisation de valeurs surfaciques, telles que des valeurs moyennes régionalisées ou des surfaces de dépassement de limites (voir Tab. 2.2.2). Les moyennes de concentrations ponctuelles ou des fréquences de dépassement de valeurs limites sur des points de mesure sont peu adaptées lorsque les points de mesures ne sont pas répartis uniformément sur la zone d'étude (plus fortes densités dans les zones très polluées p. ex.), ou lorsque des parties de la zone d'étude présentent des caractéristiques fondamentalement différentes (zones à milieu oxydant ou réducteur par exemple). Ceci est surtout le cas pour la partie allemande de la nappe, tandis que dans la partie alsacienne le réseau présente une densité uniforme et les zones réductrices sont peu importantes.

Pour la partie allemande, il vaut mieux disposer de valeurs régionalisées, qui fournissent en principe une meilleure description de l'état global. Il faut toutefois garder à l'esprit que les procédures de régionalisation peuvent elles-mêmes introduire des erreurs dans certains cas.

Ainsi, les cartographies manuelles de plages de concentrations en nitrates ont été réalisées par les partenaires du projet en se basant sur leur expérience, et les résultats présentent une certaine subjectivité. Les cartes d'iso-concentrations en nitrates établies à la main pour les inventaires 1997 et 2003 sont excellentes d'un point de vue qualitatif, mais la différence entre les cartes successives présente une incertitude du fait qu'elles ont été tracées par différentes personnes. Les méthodes géostatistiques sont elles aussi soumises à des incertitudes d'origine méthodologique, mais les cartographies réalisées par krigeage sont mieux adaptées à la comparaison numérique entre différentes situations.

La régionalisation des valeurs mesurées peut être effectuée suivant deux types d'interpolation (interpolation manuelle en fonction de caractéristiques du milieu physique, tels que l'écoulement des cours d'eau, etc. à partir des inventaires, krigeage avec des variogrammes anisotropes pour la rive gauche du Rhin et pour la totalité de la zone).

Tabelle 2.2.2: Definitionen der Kennwerte zur Beurteilung der Grundwasserqualität  
 Tableau 2.2.2 : Définitions des valeurs d'évaluation de la qualité des eaux souterraines

Messstellenbezogene Kennwerte	Valeurs ponctuelles
Messstellen-Mittelwert: Arithmetischer Mittelwert über die Konzentrationen an den Messstellen innerhalb eines Zeitraums (z. B. Jahr).	Moyenne sur les points de mesures : Moyenne arithmétique sur les concentrations aux points de mesure sur une période donnée (une année p. ex.).
Überschreitungshäufigkeit: Anzahl der Messstellen in Prozent, an denen die Konzentration entweder einmalig oder jahresweise gemittelt über einem Schwellenwert liegt.	Fréquence de dépassement : Nombre de points de mesures, en pourcentage, dans lesquelles la concentration, à un moment donné ou sur une année, est en moyenne supérieure à une valeur seuil.
Gebietsbezogene Kennwerte	Valeurs régionalisées
Gebietsmittelwert: Mittelwert der Konzentrationen nach Regionalisierung der Messungen (z. B. durch Kriging)	Moyenne régionalisée : Moyenne des concentrations après régionalisation des mesures par une méthode telle que le krigeage.
Überschreitungsfläche: Fläche in ha oder in % der Gesamtfläche, die nach einer Regionalisierung der Messwerte über einem Schwellenwert liegt.	Surface de dépassement de limite : Surface en ha ou en % de la surface totale qui est supérieure à une valeur seuil après régionalisation des valeurs.

### Gebietsmittelwerte

Die Gebietsmittelwerte beschreiben entsprechend der Tiefenverteilung der Messstellen überwiegend das oberflächennahe Grundwasser.

Die Gebietsmittelwerte zeigen im Gegensatz zu den Messstellen-Mittelwerten eine etwas höhere Belastung im Elsass als in Baden-Württemberg.

Die Tatsache, dass der Mittelwert für das Projektgebiet bei rd. 25 mg/l liegt, deutet näherungsweise bereits darauf hin, dass etwa die Hälfte des Gesamtgebietes über dem Qualitätszielwert von 25 mg/l (Kap. 1) liegt.

### Valeurs moyennes

Les valeurs moyennes sur la zone d'étude correspondent à la partie supérieure de l'aquifère au regard de la profondeur des stations prélevées.

Les moyennes régionalisées montrent une moyenne très légèrement plus basse au Bade-Wurtemberg qu'en Alsace, alors que les moyennes des inventaires indiquent le contraire.

Le fait que la valeur moyenne pour la zone du projet se situe aux alentours de 25 mg/l indique déjà approximativement qu'environ la moitié de la totalité de la zone dépasse la valeur guide de 25 mg/l (chap. 1).

Tabelle 2.2.3: Regionalisierte Gebietsmittelwerte Nitrat, mg/l  
 Tableau 2.2.3 : Moyennes régionalisées des teneurs en nitrates, mg/l

	Elsass / Alsace <sup>1)</sup>	Elsass / Alsace <sup>2)</sup>	Baden-Württemberg / Bade-Wurtemberg <sup>3)</sup>	Inneres Projektgebiet / Zone du projet <sup>3)</sup>
<b>1983</b>	24,8			
<b>1991</b>	27,5	25,5		
<b>1997</b>	28,6	28,5	26,7	27,5
<b>2003</b>	27,0	25,7	24,1	24,9

Verfahren / méthode :

1) Von Hand interpolierten Isokonzkarten / Interpolation manuelle de plages de teneur

2) Anisotropes Ordinary Kriging / Krigeage avec anisotropie

3) Ordinary Kriging im Projektgebiet / Ordinary Kriging dans la zone du projet

### Überschreitungsflächen

Die Mittelwerte sowie die Überschreitungsflächen für das Elsass deuten an, dass dort der Höhepunkt der Belastung erst 1997 erreicht wurde. Der Unterschied zwischen den Bestandsaufnahmen 1997 und 2003 im Elsass bleibt aber gering und die Tendenz (ob Stagnation oder Reduktion) muss sich noch bestätigen.

Auf der badischen Seite deuten dagegen sowohl die Gebietsmittelwerte als auch die Überschreitungsflächen einen zwar langsamen, aber dennoch merklichen Rückgang der Belastung seit Beginn der 90-er Jahre an.

### Surfaces de dépassement de limites

Les teneurs moyennes ainsi que les surfaces de dépassement des limites semblent indiquer que la dégradation de la ressource a atteint un niveau maximal en 1997 en Alsace., La différence entre les situations des inventaires 1997 et 2003 en Alsace est cependant assez faible et la tendance (stagnation ou inversion) reste à confirmer.

Les moyennes régionalisées et la superficie des zones de dépassement des valeurs limite permettent d'observer un recul léger mais cependant remarquable de la pollution du côté badois depuis le début des années 1990.

Tabelle 2.2.4 Überschreitungsflächen 50 mg/l, in % der Teilgebietsfläche

Tableau 2.2.4 : Surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l, en % de la surface des différents secteurs de la zone du projet

	Elsass / Alsace <sup>1)</sup>	Elsass / Alsace <sup>2)</sup>	Baden-Württemberg / Bade-Wurtemberg <sup>3)</sup>	Schweiz / Suisse <sup>3)</sup>	Inneres Projektgebiet / Zone intérieure du projet <sup>3)</sup>
<b>1983</b>	4				
<b>1991</b>	7	5,5			
<b>1997</b>	8,2	8	10,4	0	8,2
<b>2003</b>	7,9	5	7,7	0	5,5

Verfahren / méthode :

1) Von Hand interpolierten Isokonzkarten / Interpolation manuelle de plages de teneur

2) Anisotropes Ordinary Kriging / Krigeage avec anisotropie

3) Ordinary Kriging im Projektgebiet / Ordinary Kriging dans la zone du projet

Tabelle 2.2.5 Überschreitungsflächen 25 mg/l, in % der Teilgebietsfläche

Tableau 2.2.5 : Surfaces de dépassement de la limite de 25 mg/l, en % de la surface des différents secteurs de la zone de projet

	Elsass / Alsace <sup>1)</sup>	Elsass / Alsace <sup>2)</sup>	Baden-Württemberg / Bade -Wurtemberg <sup>3)</sup>	Schweiz/ Suisse <sup>3)</sup>	Inneres Projektgebiet / Zone intérieure du projet <sup>3)</sup>
<b>1983</b>					
<b>1991</b>	36,4	47			
<b>1997</b>	42	57	40,7	36,5	49,6
<b>2003</b>	41,8	48	39,4	39,6	44,5

Verfahren / méthode :

1) Von Hand interpolierten Isokonzkarten / Interpolation manuelle de plages de teneur

2) Anisotropes Ordinary Kriging / Krigeage avec anisotropie

3) Ordinary Kriging im Projektgebiet / Ordinary Kriging dans la zone du projet

### 3 Untersuchte Einflüsse auf die diffuse Nitratbelastung

Mit dem Modellverbund von MoNit wurden zwei Typen von Einflüssen auf die diffuse Nitratbelastung untersucht: In erster Linie interessiert man sich für die Auswirkung konkreter Maßnahmen, die unmittelbar auf die Verbesserung des Grundwasserzustandes abzielen. Da diese in der Regel im nationalen Fachrecht (z.B. Düngeverordnung) geregelt bzw. aktiv auf der regionalen politischen Ebene beeinflusst bzw. ausgestaltet (z.B. SAGE) oder sogar auf Länderebene initiiert (z.B. SchALVO, Wasserpfeffig) werden können, werden Sie in MoNit als **Handlungsoptionen** bezeichnet. Die Wirksamkeit verschiedener Handlungsoptionen kann in einem ersten Schritt im Vergleich zum gegenwärtigen (Jahr 2000) Nitratreintrag beurteilt werden (vgl. linke Spalte Tab. 3.1).

Andererseits unterliegt der landwirtschaftliche Sektor des Oberrheingrabens einer Vielzahl äußerer Einflussfaktoren politischer wie wirtschaftlicher Natur. Als Beispiele seien hier die Reform der gemeinschaftlichen Agrarpolitik oder die steigenden Energiepreise genannt. Solche Faktoren wirken sich permanent auf die Entscheidung der Landwirte für den Anbau bestimmter Kulturarten oder die Bewirtschaftungspraxis aus und haben so einen mittelbaren Einfluss auf die diffuse Nitratbelastung. Die Entwicklung der wichtigsten Einflussfaktoren bis zum Jahr 2015 wird mit Hilfe verschiedener **Szenarien** abgebildet. Um den unumgänglichen Unsicherheiten bei solchen Zukunftsprognosen Rechnung zu tragen, wird nicht nur die wahrscheinlichste Entwicklung, das so genannte Tendenzszenario, sondern auch zwei Varianten dazu untersucht. (vgl. obere Zeile Tab. 3.1).

Das vollständigste Bild ergibt sich durch die simultane Untersuchung der Wirkung von Szenarien und Hand-

### 3 Facteurs ayant un impact sur la pollution diffuse par les nitrates

A l'aide du groupe de modèles de MoNit, deux catégories de facteurs ayant un impact sur la pollution diffuse par les nitrates ont été étudiées.

On s'intéresse en premier lieu aux impacts des mesures concrètes visant directement à l'amélioration de l'état des eaux souterraines. De telles mesures ciblées, pouvant généralement être activement aidées ou définies au niveau politique national (Düngeverordnung p. ex.) ou régional (SAGE p. ex.), ou même initiées à ce niveau (SchALVO, Wasserpfeffig p. ex.), sont qualifiées dans MoNit d'opérations d'action. Leur efficacité peut dans un premier temps être évaluée par comparaison avec les valeurs d'apports de nitrates actuelles (année 2000) (cf. colonne de gauche du Tab. 3.1).

D'autre part, le secteur agricole dans la vallée du Rhin supérieur est soumis à une multitude de facteurs d'influence extérieurs de nature politique et économique. En font partie la réforme de la Politique Agricole Commune ou l'augmentation des prix de l'énergie. Ce type de facteurs conditionne constamment les décisions des exploitants agricoles en matière de choix de culture ou en termes de pratiques agricoles, et a ainsi une influence indirecte sur la pollution par les nitrates. L'évolution des principaux facteurs d'influence jusqu'à l'année 2015 est simulée à l'aide de différents scénarios. Afin de prendre en compte les inévitables incertitudes liées à de telles simulations concernant le futur, on n'étudie pas uniquement l'évolution la plus probable, dite scénario tendanciel, mais également deux variantes (cf. ligne supérieure du Tab. 3.1).

Le « tableau » complet résulte de l'étude simultanée de l'effet des scénarios et des options d'action. Cette étude

Tab. 3.1: Überblick über die verschiedenen Typen von Einflüssen auf die diffuse Nitratbelastung und die Untersuchungsmodi von MoNit.

Tab. 3.1 : Aperçu des différents types de facteurs ayant un impact sur la pollution diffuse par les nitrates et des modes d'analyse de MoNit.

	Heute / Présent	2015
<b>ohne Eingriff</b>	Ist-Zustand (Validierung von MoNit) => Historische und aktuelle Daten	Tendenzszenario und Varianten => „Driving Forces“
<b>sans intervention</b>	Etat actuel (validation de MoNit) => Données historiques et actuelles	Scénario tendanciel et variants => Facteurs de changement
<b>mit Eingriff</b>	Handlungsoptionen => Daten zu Handlungsoptionen	Alternativszenario => Kombination „Driving Forces“ mit einzelnen oder mehreren Handlungsoptionen
<b>avec intervention</b>	Options d'action => Données pour options d'action	Scénario alternatif => Combinaison des Facteurs de changement avec une ou plusieurs options d'action

lungsoptionen. Dies geschieht in MoNit durch die Definition und Berechnung von Alternativszenarien (vgl. rechte Spalte Tab. 3.1).

In diesem Kapitel wird zunächst die Auswahl der modellierten Driving Forces (Kap. 3.1 und 3.2) und Handlungsoptionen (Kap. 3.3) beschrieben. Außerdem wird dargestellt, in welcher Form sie in Eingangsdaten für die verschiedenen Modelle übersetzt wurden.

### 3.1 DENKBARE ENTWICKLUNG DES AGRARSEKTORS

Der erste Schritt zur im Projekt MONIT unternommenen Prognose bestand in der Identifizierung *der für die Produktionsentscheidungen (Kulturartenverteilung) und die Bewirtschaftungsweisen der landwirtschaftlichen Betriebe ausschlaggebenden Faktoren*. Eine mit dieser Aufgabe betraute deutsch-französische Sachverständigen-gruppe hat die Einflussfaktoren identifiziert und zu jedem Faktor die wahrscheinlichste Entwicklungstendenz ermittelt. Anschließend wurden unter Annahme unterschiedlicher künftiger Entwicklungen drei Szenarien ausgearbeitet, indem für die Einflussfaktoren verschiedene Entwicklungshypothesen miteinander kombiniert wurden. Der Zeithorizont für alle Szenarien ist das Jahr 2015.

#### 3.1.1 DIE LANDWIRTSCHAFT, EIN SEKTOR UNTER DEM EINFLUSS ZAHLREICHER VERÄNDERUNGEN

In Frankreich und Deutschland sind sich die Experten einig, dass sich der Agrarsektor aufgrund zahlreicher Veränderungen der wirtschaftlichen, sozialen, ordnungspolitischen und ökologischen Rahmenbedingungen in den kommenden Jahren von Grund auf wandeln wird. Die Sachverständigen-gruppe hat daher mehr als zwanzig Faktoren ermittelt, die möglicherweise in der Region zu einer Veränderung der Anbaupraxis und damit zu einem veränderten Risiko der Grundwasserverschmutzung durch Nitrat führen könnten. Diese Faktoren wurden in sechs Gruppen zusammengefasst:

(i) **Entwicklung der Agrarmärkte und der Agrarpolitik:** die Reform der Agrarsubventionen im Rahmen der GAP (2003) wird sich deutlich auf den Produktionsanreiz auswirken; die WTO-Verhandlungen werden sich auf die Weltagrarmärkte auswirken; die Erweiterung der Europäischen Union wird Angebot und Nachfrage nach Agrar-

est réalisée au sein de MoNit par le biais de la définition et du calcul de scénarios alternatifs (cf. colonne de droite du Tab. 3.1).

Dans ce chapitre est d'abord décrit le choix des facteurs de changements (forces de changement) qui ont été modélisés (chapitres 3.1 et 3.2) et des options d'action (chap. 3.3). De plus, leur mode de conversion aboutissant aux données d'entrée pour les différents modèles est également présenté.

### 3.1 PREVOIR L'EVOLUTION DU SECTEUR AGRICOLE

La première étape de la démarche prospective entreprise dans le projet MONIT vise à identifier les facteurs susceptibles de faire évoluer les choix de production (assolements) et les pratiques techniques des exploitations agricoles. Cette étape a été réalisée en mobilisant un groupe d'experts franco-allemand, qui a identifié les facteurs de changements et décrit la tendance d'évolution la plus probable pour chaque facteur. Trois scénarios, correspondant à différentes visions des évolutions futures, ont ensuite été élaborés en combinant différentes hypothèses d'évolution pour chacun des facteurs de changement. L'horizon retenu pour élaborer ces scénarios est 2015.

#### 3.1.1 L'AGRICULTURE, UN SECTEUR SOUMIS À DE MULTIPLES FORCES DE CHANGEMENT

En France comme en Allemagne, les experts s'accordent sur le fait que le secteur agricole va se transformer en profondeur dans les années à venir, du fait de nombreux changements susceptibles de survenir dans l'environnement économique, social, réglementaire et environnemental. Le groupe d'experts a ainsi identifié plus de vingt facteurs susceptibles de conduire à une modification des cultures pratiquées dans la zone et par voie de conséquence du niveau de risque de pollution des eaux souterraines par les nitrates. Ces facteurs ont été regroupés en six catégories :

(i) **l'évolution des marchés et politiques agricoles :** la réforme (2003) du système d'aide de la PAC va modifier en profondeur les incitations à produire; les négociations de l'OMC auront un impact sur les marchés mondiaux agricoles ; l'élargissement européen va modifier l'offre et la demande en produits agricole à l'échelle européenne ;

produkten europaweit beeinflussen; die lokale Nachfrage u.a. nach Qualitätsprodukten wird steigen.

(ii) **Entwicklung neuer Märkte und wirtschaftspolitische Entscheidungen:** die Verteuerung des Bodens könnte zur Aufgabe der Bewirtschaftung von Agrarflächen führen; die Entwicklung der Situation auf dem Arbeitsmarkt könnte das Ausscheiden von Erwerbstätigen aus dem Agrarsektor beschleunigen, insbesondere nach der Reform der GAP und der europäischen Erweiterung; der Anstieg der Energiepreise könnte den Anbau von Energiepflanzen fördern, vor allem wenn in der Region industrielle Infrastrukturen für Bio-Treibstoff und Vertriebsstrukturen für nutzbare Nebenprodukte geschaffen werden.

(iii) **Entwicklung der Umweltschutz-politik:** die Bewirtschaftungsweisen werden sich mit der Umsetzung ökologischer Auflagen und des zweiten Pfeilers der Gemeinsamen Agrarpolitik stark verändern; in Frankreich wird auch das in Vorbereitung befindliche Wassergesetz neue Vorgaben für die Landwirtschaft bringen (insbesondere was den Wasserpreis betrifft), die die Rentabilität gewisser Bewässerungskulturen in Frage stellen könnten; auch die Maßnahmen im Zuge der Wasserrahmenrichtlinie werden direkte Folgen für die Landwirtschaft haben, insbesondere wenn es um Maßnahmen zur Bekämpfung der landwirtschaftlich bedingten Verschmutzung geht; die Anwendung der Europäischen Bodenrichtlinie, die in Vorbereitung ist, könnte ebenfalls die Bewirtschaftungsweisen beeinflussen; denkbar ist schließlich auch, dass gewisse umweltpolitische Entscheidungen auf regionaler oder nationaler Ebene die europäischen Vorgaben mehr oder weniger verschärfen.

(iv) **Entwicklung der natürlichen Umwelt:** klimatische Veränderungen (höhere Sommertemperaturen, häufigere Dürreperioden) könnten zu einer Umstellung der Anbaupraxis führen und gleichzeitig die physikalischen Abläufe der Nitratverlagerung im Boden verändern (Doppelwirkung); die Ausbreitung gewisser Schädlinge, wie des Maiswurzelbohrers, könnte eine Veränderung der Fruchtfolge und eine Verringerung der Anbaufläche bestimmter Kulturen notwendig machen.

(v) **Technischer Fortschritt:** die Wahl der Kulturen und der Bewirtschaftungsweisen werden von technischen Neuerungen, z.B. im Bereich der Artenauswahl, der landwirtschaftlichen Geräte, vereinfachter (z.B. halbdirekter) Bewirtschaftungspraktiken, ebenso wie von der europä-

le développement d'une demande locale de produits de qualité, etc.

(ii) **l'évolution d'autres marchés et politiques économiques :** l'augmentation du prix du foncier risque d'accroître la déprise agricole ; l'évolution de la situation du marché du travail pourrait favoriser la sortie d'actifs du secteur agricole notamment après la réforme de la PAC et l'élargissement européen ; l'augmentation du prix de l'énergie pourrait favoriser le développement de cultures énergétiques, notamment si des infrastructures industrielles de production de biocarburants sont développées dans la région et si des filières de valorisation des co-produits se développent.

(iii) **l'évolution des politiques de protection de l'environnement :** les pratiques agricoles évolueront fortement selon les modalités d'application du principe d'éco-conditionnalité et du second pilier de la Politique Agricole Commune ; en France, les nouvelles contraintes imposées à l'agriculture par la loi sur l'eau en préparation (notamment en matière de prix de l'eau) pourraient également avoir des répercussions sur la rentabilité de certaines cultures irriguées ; l'agriculture sera également fortement impactée par les mesures mises en œuvre en application de la Directive cadre, notamment dans le cadre de la lutte contre les pollutions d'origine agricole ; l'application de la Directive Européenne sur les sols, toujours en cours d'élaboration, pourra également conduire à des modifications de pratiques agricoles ; enfin, certaines politiques environnementales régionales ou nationales sont susceptibles de renforcer – ou non – les contraintes définies au niveau européen.

(iv) **l'évolution de l'environnement naturel:** d'éventuelles modifications du climat (températures plus élevées en été, épisodes de sécheresse estivale plus fréquents) pourraient induire des changements de cultures, tout en modifiant la nature des processus physiques de migration des nitrates dans les sols (double impact) ; une éventuelle prolifération de certains parasites, comme la chrysome du maïs, pourrait également conduire à une modification des rotations culturales et une réduction de la surface de certaines cultures.

(v) **le progrès technologique:** le choix des cultures comme les pratiques agricoles peuvent évoluer en fonction de la nature des innovations qui pourront être réalisées dans le domaine de la sélection variétale, des équipements et des pratiques agricoles simplifiées (semi direct, etc.), de la

ischen Politik betreffend genetisch veränderte Organismen (GVO) beeinflusst werden.

(vi) **Veränderte Einstellung der Gesellschaft gegenüber der Landwirtschaft:** landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweisen und Produktion werden sich auch unter dem Druck verstärkter Nachfrage nach Qualitäts-Nahrungsmitteln (Bio-Produkte, Qualitätssiegel) und höherer Ansprüche der Gesellschaft im Bereich des Umweltschutzes (zunehmende Proteste gegen negative Auswirkungen der Landwirtschaft, erhöhte Erwartungen in Bezug auf den Freizeitwert von Landschaft und Umwelt usw.) weiter entwickeln.

(vii) **Die sozioökonomischen Merkmale der landwirtschaftlichen Bevölkerung selbst verändern sich:** Altersstruktur; rückläufige Zahl junger Landwirte; Konzentration und höhere Kapitalausstattung landwirtschaftlicher Betriebe; bessere Ausbildung und erhöhte Kompetenz der Landwirte; Verlust der Einflussnahme der in der Landwirtschaft Tätigen auf die öffentlichen Entscheidungen usw.

Zwar gelten einige dieser Veränderungen als gegeben, wie die Reform der GAP, es ist jedoch nicht sicher, dass alle im vorgegebenen zeitlichen Rahmen (bis 2015) tatsächlich stattfinden. Als Beispiel sei die Ausbreitung von Energiepflanzen-Kulturen genannt, die zwar sehr plausibel ist, jedoch von Unsicherheitsfaktoren wie der Entwicklung des Erdölpreises und dem Entstehen einer Produktions- und Vertriebsstruktur für Bio-Treibstoffe abhängt. Auch die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf den Untersuchungsbereich sind sowohl in Bezug auf ihre Intensität als auch auf den zeitlichen Horizont schwer abschätzbar. Die Sachverständigengruppe hat daher unter Berücksichtigung dieses Unsicherheitsfaktors und des zu erwartenden Auswirkungsgrades eines jeden Faktors auf die Fruchtfolge und auf die Bewirtschaftungsweisen eine Rangfolge der Faktoren aufgestellt.

### 3.1.2 DIE WICHTIGSTEN FAKTOREN DES WANDELS IM AGRARBEREICH

Auf dieser Grundlage wurden sechs Faktoren für die Prognose und die Erstellung der Szenarien ausgewählt. Diese Faktoren werden im Folgenden beschrieben.

(i) **Die Reform der GAP im Jahre 2003:** Das Prinzip der Reform der GAP im Jahr 2003 besteht in der Abkoppe-

politique européenne à l'égard des organismes génétiquement modifiés (OGM).

(vi) **l'évolution des attentes sociétales vis-à-vis de l'agriculture :** les pratiques et la production agricole sont susceptibles d'évoluer sous l'effet d'une demande accrue en produits agroalimentaires de qualité (produits biologiques, labels de qualité), d'une augmentation des attentes de la société en matière d'environnement (intensification des conflits générés par les impacts négatifs de l'agriculture, plus grandes attentes en matière de production d'aménités paysagères et environnementales, etc.).

(vii) **l'évolution des caractéristiques socio-économiques de la population agricole elle-même:** démographie agricole ; réduction du nombre de jeunes agriculteurs ; concentration des exploitations agricoles et augmentation du niveau de capital des exploitations ; élévation du niveau de formation et de compétence des agriculteurs ; réduction de l'influence de la profession agricole sur les décisions publiques, etc.

Cependant, si certains de ces changements sont acquis, comme par exemple la réforme de la PAC, il n'est pas sûr que tous se manifestent à l'horizon temporel envisagé (2015). A titre d'exemple, le développement des cultures énergétiques, bien que très plausible, reste sujet à caution car il dépend de paramètres incertains comme l'évolution du prix du pétrole et le développement d'une filière de production de biocarburants. L'effet du changement climatique global à l'échelle de la zone d'étude reste également difficile à estimer de manière précise, tant en intensité qu'en horizon temporel. Une hiérarchisation des facteurs a donc été réalisée par le groupe d'experts, en tenant compte de cette notion d'incertitude et de l'intensité de l'impact que chaque facteur est susceptible d'avoir sur les assolements et les pratiques agricoles.

### 3.1.2 LES PRINCIPAUX FACTEURS DE MUTATION DE L'AGRICULTURE

Sur cette base, six facteurs de changement ont été retenus pour conduire la démarche prospective et construire des scénarios. Ces facteurs sont décrits dans la section suivante.

(i) **La réforme 2003 de la PAC :** Le principe de la réforme de la PAC de 2003 est de découpler les soutiens finan-



lung der an Landwirte gezahlten Subventionen von der Art der Produktion. Dies soll einen Anreiz bieten, sich bei der Produktion verstärkt auf die Signale aus den Agrarmärkten einzustellen. Durch die Reform wird das System der Anbauprämien (oder Viehbesatz-Prämien) abgeschafft und durch eine einheitliche Zahlung pro Hektar - unabhängig von der Art der Bewirtschaftung - ersetzt. Frankreich und Deutschland setzen diese Regelung in unterschiedlicher Weise um: Frankreich hält an einer 25%igen Koppelung der Subventionen an die Bewirtschaftungsart fest, während Deutschland eine 100%ige Abkoppelung vornimmt. Diese Reform, die den Sektor der Großkulturen, der Viehzucht und gewisser industrieller Kulturen am Oberrhein betrifft (Zuckerrüben, Tabak und Hopfen), könnte tiefgreifende Veränderungen in der Kulturartenverteilung - und damit des Risikos einer diffusen Nitratverschmutzung verursachen.

(ii) **Der Maiswurzelbohrer:** Im Jahre 2003 hat ein Maiswurzelbohrerbefall in der Hardt und im Sundgau eine massive Zerstörung des Maisbestandes verursacht. Die Gefahr der Ausbreitung dieses Schädling hat 2004 unter dem doppelten Einfluss ordnungspolitischer Maßnahmen und vorbeugender Maßnahmen der Landwirte selbst in einer Schutzzone von 10 000 ha zu einer 70%igen Reduzierung der Maisanbauflächen geführt. Das Ausmaß der verursachten Schäden in Frankreich (Großraum Paris), im Osten Europas und in den Vereinigten Staaten legt die Befürchtung nahe, dieser Schädling könne sich auch im Oberrheingraben ausbreiten. Ein derartiges Ereignis würde die Einführung einer neuen Fruchtfolge erforderlich machen, wodurch der Platz des Maisanbaus in der Kulturartenverteilung um den Faktor 2 bis 3 verringert würde.

(iii) **Die Energiekosten:** Sollte sich die steigende Tendenz der Preise von Erdöl und der in der Landwirtschaft verwendeten Treibstoffe fortsetzen, könnte dies zu einem erheblichen Rückgang der Deckungsbeiträge bei jenen Kulturen führen, die energie-intensiven Einsatz von Maschinen, Bewässerungs- und Trocknungsverfahren benötigen. Der Preis für Düngemittel, der stark vom Energiepreis (insbesondere Gas) abhängt, könnte ebenfalls steigen und die Landwirte zu einer Verringerung ihres Ertragsvolumens und Stickstoffeintrags veranlassen. Diese Hypothese der Entwicklung des Energiemarktes, die eine Reduzierung des Nitratreintrags mit sich bringen könnte, wird in die Überlegungen über künftige Entwicklungen einbezogen werden.

ciers que perçoivent les agriculteurs de la nature des productions entreprises, afin que les incitations à produire résultent d'avantage des signaux des marchés agricoles. La réforme consiste à supprimer le système de prime par cultures (ou par tête de cheptel) et à le remplacer par un système de paiement unique à l'hectare, indépendant de la nature des cultures pratiquées. La France et l'Allemagne on choisit des niveaux différents d'application : la France conserve un couplage à 25 % des aides alors que l'Allemagne découple à 100%. Cette réforme, qui touche le secteur des grandes cultures, de l'élevage et de certaines cultures industrielles présentes dans le Rhin supérieur (betterave sucrière, tabac et houblon), risque de conduire à des modifications importantes des assolements - et par voie de conséquence du niveau de risque de pollution diffuse par les nitrates.

(ii) **La chrysome du maïs :** en 2003, une attaque de chrysmes de maïs a provoqué d'importants ravages sur les cultures de maïs dans la Hardt et le Sundgau. La menace d'une prolifération de ce parasite a conduit, en 2004, à une réduction de 70% des surfaces en maïs dans une zone de sécurité de 10 000 hectares, sous l'effet combiné de mesures réglementaires et de mesures de précaution prises par les agriculteurs eux-mêmes. L'ampleur des dégâts occasionnés en région parisienne en France, dans l'Est de l'Europe ou aux Etats-Unis conduit à envisager l'hypothèse d'une prolifération de ce parasite dans le fossé du Rhin supérieur. Un tel événement conduirait à la mise en place de nouvelles rotations réduisant d'un facteur 2 à 3 la place du maïs dans les assolements.

(iii) **Le prix de l'énergie :** si elle se confirme, la tendance à la hausse du prix du pétrole et des carburants utilisés en agriculture pourrait entraîner une baisse notable des marges brutes des cultures nécessitant le plus d'opérations mécaniques, d'irrigation ou de séchage, fortement consommatrices en énergie. Le prix des engrais, qui dépend fortement de celui de l'énergie (gaz en particulier) pourrait également augmenter, conduisant les agriculteurs à réduire leur objectif de rendement et les apports d'azote. Cette hypothèse d'évolution du marché de l'énergie, qui pourrait conduire à une réduction des émissions de nitrates, sera donc prise en compte dans la réflexion prospective.

(iv) **Die Zunahme von Energiepflanzenkulturen:** Die oben beschriebene Entwicklung auf dem Energiemarkt könnte eine verstärkte Nachfrage nach Bio-Treibstoff und generell nach Bio-Energie auslösen. Zwei Entwicklungen sind denkbar: erstens, die Herstellung von Biogas aus Mais; sie setzt den Aufbau einer industriellen Infrastruktur voraus (sie ist in Deutschland bereits im Aufbau, jedoch nicht in Frankreich); zweitens, die Herstellung von pflanzlichem Rohöl aus Raps; dies kann industriell geschehen, aber auch auf Ebene des einzelnen Betriebs, so dass die Landwirte Dieseltreibstoff für den Eigenbedarf herstellen und die anfallenden Ölkuchen als Futtermittel selbst verwenden oder verkaufen können. Die Aufnahme solcher Kulturen wird weitgehend von der nationalen und lokalen Wirtschaftspolitik (Steuerbegünstigung von Bio-Treibstoff in Deutschland, Investitions-hilfen in der Region Elsass) und von den örtlichen Verarbeitungsmöglichkeiten (Einrichtung entsprechender Strukturen) abhängen, wobei die Bio-Treibstoffe in der Herstellung gegenwärtig noch teurer sind als Erdöl.

(v) **Wasserpreis und -gebühr für Bewässerung:** Im Elsass gibt es ausgedehnte Bewässerungsflächen, was zum einen auf eine günstigere gesetzliche Regelung als in Baden-Württemberg, zum anderen auf die Freistellung der elsässischen Landwirte von der Wasserentnahmegebühr zurückzuführen ist. Wie die Debatten um das französische Wassergesetz jedoch zeigen, könnte diese Gebühr im Zuge der Umsetzung der WRRL auf einem relativ hohen Niveau wieder eingeführt werden, denn letztere sieht vor, dass die Staaten durch ihre Gebührenstruktur Anreize setzen sollen. Dies würde unweigerlich zu einem Rentabilitätseinbruch bei Mais (und anderen bewässerungsabhängigen Kulturen) zugunsten alternativer Kulturen führen. Gleichzeitig würde dies jedoch ein erhöhtes Risiko in Zeiten der Dürre bedeuten, dem die Landwirte durch eine Diversifizierung ihres Anbaus vorbeugen werden.

(vi) **Die europäische Erweiterung** könnte in Deutschland zu einer Erhöhung der Kosten saisonaler Arbeitskräfte führen. Diese Kosten waren bislang wegen der Möglichkeit der Einstellung von Aushilfskräften aus osteuropäischen Ländern (insbesondere Polen), auch deswegen, weil es in Deutschland keinen gesetzlichen Mindestlohn gibt, sehr niedrig. Es wird davon ausgegangen, dass durch die Mitgliedschaft der osteuropäischen Länder in der Union der Lebensstandard und das Lohnniveau in diesen Ländern bis 2015 ständig steigen werden - mit entspre-

(iv) **Le développement des cultures énergétiques:** Le contexte énergétique décrit ci-dessus pourrait engendrer un développement de la demande en biocarburants et plus généralement des bioénergies. Deux filières sont susceptibles d'émerger : la première, qui consiste à produire du biogaz à partir du maïs, suppose le développement d'une infrastructure industrielle (déjà émergente en Allemagne, mais pas en France). La seconde, qui consiste à produire de l'huile brute végétale à partir du colza, peut fonctionner à l'échelle industrielle mais aussi à l'échelle de l'exploitation, les agriculteurs pouvant ainsi produire leur propre carburant pour leurs moteurs diesel et réutiliser (ou revendre) les tourteaux (co-produits) pour l'alimentation animale. Le développement de ces cultures dépendra largement des politiques économiques nationales et locales (détaxe des biocarburants en Allemagne, aides aux investissements en Région Alsace) et des possibilités de transformation locales (organisation de filières), les biocarburants restant à ce jour plus coûteux à produire que le pétrole.

(v) **Prix et redevance pour l'eau d'irrigation :** en Alsace, les superficies irriguées sont très importantes, notamment du fait d'une législation plus favorable qu'au Baden Württemberg mais aussi du fait de l'exonération de la redevance prélèvement dont bénéficient les agriculteurs alsaciens. Or, comme en témoignent les débats autour de la loi sur l'eau en France, cette redevance pourrait être rétablie et portée à un niveau financier relativement important, en application de la Directive Cadre sur l'Eau qui stipule que les Etats Membres doivent mettre en place des tarifications incitatives. Ceci induirait une baisse de rentabilité moyenne du maïs (et d'autres cultures irriguées) pouvant favoriser le développement de cultures alternatives. Cela entraînerait également une augmentation du risque encouru en cas de sécheresse, conduisant les agriculteurs à diversifier leurs assolements.

(vi) **L'élargissement européen** risque d'impliquer une augmentation du coût de la main d'œuvre saisonnière en Allemagne, coût qui était jusqu'à présent très faible en raison de la possibilité d'employer des travailleurs agricoles des pays de l'Est (Pologne notamment) et de l'absence de salaire minimum en Allemagne. Il est supposé que l'adhésion à l'Union des pays de l'est européen conduira, d'ici 2015, à une augmentation progressive niveau de vie et des salaires dans ces pays, qui se répercutera sur le marché du travail en Allemagne. Les marges brutes des cultures

chenden Auswirkungen auf den deutschen Arbeitsmarkt. Durch den erhöhten Druck auf die Deckungsbeiträge von Obst- und Gemüsekulturen werden diese Anbauflächen, die im übrigen stark umweltbelastend sind, voraussichtlich zurückgehen.

marâchères et fruitières en sera réduite, conduisant probablement à une réduction des surfaces de ces cultures par ailleurs fortement polluantes.

### 3.1.3 VERÄNDERLICHE PARAMETER DER SOZIOÖKONOMISCHEN MODELLE

Die sechs oben beschriebenen Einflussfaktoren entsprechen Parametern der ökonomischen Modelle, deren Werte zum Zweck der Durchführung von Simulationen verändert werden können. Die nachstehende Tabelle 3.1.1 stellt den Bezug zwischen den Einflussfaktoren und den veränderlichen Parametern der Modelle dar. So schlägt sich in diesen Modellen die Reform der GAP in einer Veränderung der Prämienhöhe und der dazugehörigen Deckungsbeiträge nieder. Die mögliche Verbreitung des Maiswurzelschädlings wird in der Forderung nach einer bestimmten

### 3.1.3 PARAMÈTRES MODIFIABLES DES MODÈLES SOCIO-ÉCONOMIQUES

Les six facteurs de changement décrits ci-dessus correspondent à des paramètres des modèles économiques dont les valeurs peuvent être modifiées pour réaliser des simulations. Le tableau 3.1.1 ci-dessous décrit cette correspondance entre les facteurs de changements et les paramètres modifiables des modèles. Ainsi, la réforme de la PAC se traduit, dans les modèles, par une modification des valeurs des primes et des marges brutes associées. La prise en compte du risque de prolifération de la chrysomèle du maïs est introduite dans le modèle en imposant une

Tabelle 3.1.1: Bezug zwischen den Einflussfaktoren und den Eingabeparametern der ökonomischen Modelle

Tableau 3.1.1 : Correspondance entre les facteurs de changement et les paramètres d'entrée des modèles économiques.

Von der Expertengruppe ausgewählte Einflussfaktoren	Zu verändernde Parameter der ökonomischen Modelle zur Simulation der Auswirkung der Einflussfaktoren	Betroffene Länder
Facteurs de changement retenus par le groupe d'experts	Paramètres des modèles économiques devant être modifiés pour simuler l'impact des facteurs de changement	Pays concernés
<b>Reform der GAP von 2003</b>	Deckungsbeitrag pro Flächeneinheit (h/ha) (€/ha)	Frankreich und Deutschland
	Unterhaltungskosten für Agrarland („Cross Compliance“), insbesondere Brachland u. Flusssufer	Frankreich und Deutschland
<b>Reforme de la PAC de 2003</b>	Marges brutes dégagées par unité de surface (€/ha)	France et Allemagne
	Coût d'entretien des terres agricoles („eco-conditionnalité“), notamment les terres en jachères et les bords de cours d'eau	France et Allemagne
<b>Maiswurzelschädling</b>	Zwangsbedingung bezüglich Fruchtwechsel: umgesetzt als Begrenzung der Maisanbauflächen (Anteil an der gesamten Ackerfläche)	Frankreich und Deutschland
<b>Chrysomèle du maïs</b>	Contrainte de rotation, matérialisée par une limitation de la surface occupée par le maïs (en pourcentage de la surface agricole labourable totale)	France et Allemagne
<b>Energiepreis</b>	Preise für Agrardiesel und andere im Produktionsverlauf benötigte Energiequellen (Feldbestellung, Bewässerung, Trocknung)	Frankreich und Deutschland
	Preis f. Mineraldünger	Frankreich und Deutschland
<b>Prix de l'énergie</b>	Prix du diesel agricole et des autres sources d'énergie intervenant dans l'itinéraire technique (passages au champ, irrigation et séchage)	France et Allemagne
	Prix des engrais minéraux	France et Allemagne
<b>Europäische Erweiterung</b>	Löhne der saisonalen Arbeitskräfte	Deutschland
<b>Elargissement européen</b>	Prix de la main d'œuvre saisonnière	Allemagne
<b>Wasserpreis und Wassergebühren</b>	Wasserpreis und Wassergebühr / Entnahmesteuer	Frankreich und Deutschland
<b>Prix de l'eau et redevances</b>	Prix et redevance / taxes sur l'eau consommée	France et Allemagne
<b>Entwicklung von Bio-Treibstoffen und Bio-Energie</b>	Möglichkeit der Herstellung pflanzlichen Rohöls aus Raps als Ersatz für gekauften Agrardiesel.	Frankreich und Deutschland
	Möglichkeit des Verkaufs der Maisproduktion (Silomais) an eine Biogas-Fabrik	Deutschland
<b>Développement des biocarburants et des bioénergies</b>	Possibilité de produire de l'huile végétale brute à partir de colza et de la substituer au diesel agricole acheté	France et Allemagne
	Possibilité de vendre la production de maïs (itinéraire maïs ensilage) à une usine de biogaz	Allemagne

Fruchtfolge für Mais berücksichtigt (d.h. die Maisanbaufläche wird in einem bestimmten Jahr eingeschränkt). Die Kosten von Wasser, Energie und von Saisonarbeitern sind bereits Eingabeparameter der ökonomischen Modelle; die Simulation ihrer Auswirkungen kann daher direkt vorgenommen werden. Der zunehmende Einsatz von Bio-Treibstoff schließlich wird dadurch simuliert, dass die Möglichkeit des Rapsanbaus in die ökonomischen Modelle aufgenommen wird, wobei diese Anbauart durch eine Reihe von Auflagen und einen mittleren Deckungsbeitrag (einschließlich der Herstellungskosten für das Öl) gekennzeichnet ist, sowie durch die Möglichkeit, Mais zwecks Herstellung von Biogas an einen Industriebetrieb zu verkaufen.

## 3.2 DREI ZUKUNFTSVISIONEN

### 3.2.1 VON SECHS EINFLUSSFAKTOREN ZU DREI VERSCHIEDENEN SZENARIEN ...

Den meisten der o.g. Einflussfaktoren können unterschiedliche Entwicklungs-hypothesen zugeordnet werden. Bei der Preisentwicklung können die Experten z.B. keinen einheitlichen Teuerungsfaktor bestimmen, sondern müssen eine Bandbreite ermitteln, mit einem erwarteten Mittelwert und einem oberen (pessimistischen) und einem unteren (optimistischen) Eckwert. Da die Einflussfaktoren in den meisten Fällen paarweise unabhängig sind, ergibt sich eine relativ hohe Anzahl denkbarer Kombinationen, deren Auswirkungen unter Verwendung der Modelle theoretisch durchgerechnet werden sollte.

Um jedoch das komplexe Bild etwas zu vereinfachen und die Anzahl notwendiger Simulationen zu reduzieren, wurden drei Szenarien ausgearbeitet, von denen jedes einer der denkbaren Zukunftsvisionen entspricht. Jede dieser Visionen entspricht einer Kombination von Annahmen, die untereinander schlüssig sind. Zunächst wurde ein Szenario der Entwicklungstendenzen erstellt, das die plausibelste Beschreibung des wirtschaftlichen, ordnungspolitischen und ökologischen Umfeldes und seine Veränderungen darstellt. Danach wurden zwei weitere Szenarien ausgearbeitet, die beide von extremeren Annahmen ausgehen, um somit ein breites Spektrum denkbarer Systementwicklungen abzudecken. Diese beiden Szenarien wurden maßgeblich durch die Untersuchungsergebnisse des

contrainte de rotation sur le maïs (ce qui revient à limiter la surface occupée par le maïs une année donnée). Le prix de l'eau, de l'énergie ou de la main d'œuvre saisonnière étant des paramètres d'entrée des modèles économiques, la simulation de leur impact peut être effectuée directement. Enfin, le développement des biocarburants est simulé en introduisant dans les modèles économiques la possibilité de cultiver du colza, la culture étant caractérisée par un ensemble de contraintes et une marge brute moyenne (incluant les coûts d'obtention de l'huile) et la possibilité de vendre du maïs à une usine de transformation de biogaz.

## 3.2 TROIS VISIONS DU FUTUR

### 3.2.1 DE SIX FACTEURS DE CHANGEMENT À TROIS SCÉNARIOS CONTRASTÉS ...

Différentes hypothèses d'évolution peuvent être attachées à la plupart des six principaux facteurs de changement identifiés ci-dessus. Pour l'évolution des prix par exemple (prix de l'énergie, prix de l'eau, prix de la main d'œuvre saisonnière), les experts ne peuvent pas définir un pourcentage d'augmentation unique mais une plage de valeurs possibles, en distinguant une valeur moyenne espérée encadrée par une valeur haute (pessimiste) et basse (optimiste). Les facteurs d'évolutions étant pour la plupart indépendants deux par deux, il existe donc un nombre relativement important de combinaisons possibles dont il conviendrait théoriquement de simuler l'impact avec les modèles.

En vue de réduire la complexité et de limiter le nombre de simulations à réaliser par la suite, nous avons tenté d'élaborer trois scénarios contrastés correspondant chacun à une vision de l'un des futurs possibles. Chaque vision correspond à une combinaison d'hypothèse présentant une cohérence interne. Un scénario tendanciel, représentant la description la plus plausible de l'évolution de l'environnement économique, réglementaire et naturel a d'abord été élaboré. Ont ensuite été élaborés deux autres scénarios reposant sur des hypothèses plus extrêmes afin de couvrir un plus large spectre de possibilités d'évolution du système. Ces deux scénarios ont largement été inspirés par ceux proposés par le groupement international sur le changement climatique (International Panel on Climate

Internationalen Arbeitskreises für Klimawandel (*International Panel on Climate Change*, Szenarien SRES<sup>[1]</sup>) beeinflusst.

Die Ausgangshypothesen für jedes Szenario wurden auf Grundlage von Literaturrecherchen und unter Einbeziehung des Expertenwissens der Sachverständigengruppe definiert. Die Hypothesen wurden in der Arbeitsgruppe ausführlich erörtert und von den beteiligten Sachverständigen einvernehmlich formuliert. Gleichwohl stellen sie eine subjektive Sichtweise künftiger Entwicklungen dar und werden daher möglicherweise nicht von allen Akteuren geteilt. Dies ist eine Einschränkung, der jede prospektive Arbeit unterliegt.

### 3.2.2 TENDENZSZENARIO

Dieses Szenario ist eine *Beschreibung der plausibelsten Entwicklung des wirtschaftlichen und ökologischen Umfeldes* bis 2015. Es geht von folgenden Annahmen aus:

- (i) Die Agrarreform von 2003 wird ab 2013 vollständig umgesetzt, wobei die Abkopplungsmodalitäten in Frankreich und in Deutschland unterschiedlich sind (*Graveline et al.*, 2004). Die Deckungsbeiträge der Kulturen wird unter Berücksichtigung der (kompletten oder teilweisen) Streichung der Produktionsbeihilfen neu errechnet. Die Herstellerpreise werden als konstant angenommen, obwohl sich der weltweite Kontext ändern kann.
- (ii) Die Ausbreitung des Maiswurzelbohrers betrifft den gesamten Untersuchungsbereich und zwingt die Landwirte, ihre Fruchtfolge anzupassen und die Mais-Monokultur auf 50% der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu begrenzen.
- (iii) Der Energiepreis (Diesel) steigt durchschnittlich um 6% jährlich und erreicht 2015 das Doppelte seines Wertes von 2003. Es wird davon ausgegangen, dass im Gegensatz zu den im Jahre 2005 in Frankreich eingeführten Maßnahmen zur Unterstützung des Agrarsektors in diesem Fall keine staatlichen Entschädigungen gezahlt werden. Als direkte Folge der Erhöhung der Energiepreise steigt auch der Preis für Stickstoffdünger um 1,5% pro Jahr; die Preise für Pflanzenschutzmittel, die nur geringfügig vom Energiepreis abhängen, bleiben dagegen konstant.
- (iv) In Deutschland führt die europäische Erweiterung zur Erhöhung der Kosten für landwirtschaftliche Hilfskräfte (+ 66% in 12 Jahren), wodurch die Deckungsbeiträge der Kulturen, die weitgehend von

Change», scénarios SRES<sup>[1]</sup>).

Les hypothèses sous jacentes à chaque scénario ont été définies en s'appuyant à la fois sur des recherches bibliographiques et sur l'avis du groupe d'expert. Cependant, bien que ces hypothèses aient été largement débattues au sein du groupe de travail et traduisent un consensus des experts impliqués, elles représentent une vision subjective des futurs possibles et peuvent, à ce titre, ne pas être partagées par certains acteurs. Il s'agit là d'une limite inhérente à toute démarche prospective.

### 3.2.2 LE SCÉNARIO TENDANCIEL

Le scénario tendanciel correspond à *la description la plus plausible de l'évolution de la situation économique et environnementale* à l'horizon 2015. Il inclue les hypothèses suivantes:

- (i) La réforme de la PAC de 2003 est complètement appliquée à partir de 2013, les modalités de découplage différent entre la France et l'Allemagne (*Graveline et al.*, 2004). Les marges brutes des cultures sont recalculées pour tenir compte de la suppression (totale ou partielle) des primes liées à la production. Les prix producteurs sont supposés constants, bien que le contexte mondial puisse évoluer.
- (ii) La prolifération de la chrysome du maïs s'étend à l'ensemble de la zone étudiée, forçant les agriculteurs à adapter leurs rotations culturales, notamment en abandonnant la monoculture du maïs dont la surface ne dépasse pas 50% de la SAU.
- (iii) Le prix de l'énergie (gasoil) augmente de 6% par an en moyenne, atteignant en 2015 le double de sa valeur 2003 ; il est supposé qu'aucun mécanisme de compensation n'est mis en place par l'État, contrairement à ce qui a été fait pour le secteur agricole en France en 2005. Conséquence directe de la hausse du prix de l'énergie, le prix des engrais azotés augmente de 1,5% par an ; les prix des phytosanitaires, qui sont très peu dépendant des prix de l'énergie, sont maintenus constants.
- (iv) En Allemagne l'élargissement européen aura comme impact l'augmentation du coût de la main d'œuvre agricole (soit + 66% en 12 ans) qui affectera les marges brutes des cultures faisant intervenir un travail saison-

Saisonarbeitern abhängig sind (Obst, Gemüse, rote Früchte und Wein) verändert werden.

- (v) In Frankreich wird davon ausgegangen, dass der Entwurf des Wassergesetzes zur Anwendung kommt und für Bewässerung eine Gebühr von bis zu 0,025 €/m<sup>3</sup> entrichtet werden muss. In Deutschland wird der „Wasserpennig“ in gleicher Höhe beibehalten wie 2003 (0,05 €/m<sup>3</sup>).
- (vi) Die wachsende Bedeutung der Bio-Treibstoffe ermöglicht den französischen und deutschen Landwirten die Diversifizierung ihrer Produktion. Den Anreizen der vom Regionalrat verfolgten Politik entsprechend, gewinnt in den französischen Betrieben die Produktion von pflanzlichem Rohöl an Bedeutung. Diese Produktionsmöglichkeit besteht gleichermaßen in Deutschland. Die Landwirte können außerdem Mais für die industrielle Herstellung von Biogas anbauen. Diese Entwicklung ermöglicht die Verwertung der Erfahrung und des Know-hows aus dem Maisanbau für eine neue Anwendungen.

### 3.2.3 SZENARIO A1

Das zweite Szenario ist eine Zukunftsvision mit liberaler Ausrichtung; sie basiert auf dem Szenario A1 des SRES. Bei diesem Zukunftsbild besteht das Hauptanliegen der Landwirtschaft in der Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit auf den sich stärker öffnenden internationalen Agrarmärkten, ohne protektionistische Hemmnisse und bei minimalen Umweltauflagen. Selbst wenn sich der Erdölpreis wie im ersten Szenario nach oben entwickelt, werden in Frankreich wie in Deutschland Maßnahmen zur Stabilisierung der steuerlichen Abgaben ergriffen, etwa in Form einer variablen Steuer, deren Höhe vom jeweiligen Erdölpreis abhängt (ähnlich dem französischen Modell der Binnensteuer auf Erdölprodukte). Auf diese Weise wird die Verteuerung der Erdölprodukte für den Verbraucher abgefangen, und zwar in Deutschland zu 40%, in Frankreich zu 68% (gegenüber 100% im ersten Szenario). Der Preis für Stickstoffdünger, der von der Energiesteuer nicht betroffen ist, steigt in der gleichen Weise wie im ersten Szenario. Von staatlicher Seite werden umfangreiche technische Mittel zur Ausrottung des Maiswurzelbohrers eingesetzt (z.B. Eintrag von Pflanzenschutzmitteln per Hub-

nier important (arbres fruitiers, légumes, fruits rouges et vigne).

- (v) En France on admet que le projet de loi sur l'eau sera mis en application et que les agriculteurs irrigants devront acquitter une redevance d'un montant de 0,025€/m<sup>3</sup> (le projet de loi prévoit une redevance n'excédant pas 0,025 €/m<sup>3</sup>). En Allemagne, le « Wasserpennig » est maintenu au même niveau qu'en 2003 (0,05€/m<sup>3</sup>).
- (vi) Le développement des biocarburants permettra aux agriculteurs français et allemands de diversifier leurs productions : en France les agriculteurs peuvent se lancer dans la production d'huile brute végétale sur leur exploitation puisque ils sont incités par le Conseil Régional à se lancer dans cette activité. En Allemagne la production de colza pour l'obtention d'huile brute végétale est aussi faisable sur l'exploitation et les agriculteurs peuvent aussi se lancer dans la production de maïs destiné à la production industrielle de biogaz. Ce développement permettrait de valoriser le savoir faire et la maîtrise technique de la culture du maïs tout en profitant de débouchés alternatifs.

### 3.2.3 LE SCÉNARIO A1

Ce second scénario représente une vision du futur à orientation libérale il est inspiré du scénario A1 du SRES. Dans cette vision du futur, l'agriculture a pour principal objectif un maintien de sa compétitivité sur des marchés agricoles qui continuent de s'ouvrir à l'international, sans freins protectionnistes et avec un niveau de contraintes environnementales minimum. Bien que le prix du pétrole évolue à la hausse comme dans le scénario tendanciel, un mécanisme de stabilisation des prélèvements fiscaux est mis en place en France comme en Allemagne, au moyen d'une taxe flottante dont le taux dépend du cours du pétrole (proche du modèle français de la Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers). De ce fait, la hausse des produits pétroliers à la consommation est amortie, soit 40 % en Allemagne et 68 % en France (contre 100% dans le scénario tendanciel). Le prix des engrais azoté subit alors la même augmentation que dans le scénario tendanciel puisqu'il n'est pas affecté des taxes sur l'énergie. Des moyens techniques importants sont mobilisés par les pouvoirs publics pour éradiquer la chrysome (traitement par hélicoptère pris en charge par les pouvoirs publics par

schrauber), wodurch die Maisanbaufläche - anders als im ersten Szenario - aufrechterhalten werden kann. Die Produktion von ölhaltigen Futterproteinen wie Sojabohnen und Sonnenblumenkernen, wird sich nicht verbreiten, da es keine Vertriebsstrukturen für diese Produkte gibt. Im Zuge der Liberalisierung wird Frankreich das System der partiellen Koppelung der Agrarsubventionen an die Produktion (in Höhe von 25%) aufgeben und die völlige Entkoppelung einführen, welche für die Zahlungs- und Verwaltungsstellen leichter zu handhaben ist. Die Wasserentnahmegebühr wird in Deutschland abgeschafft und in Frankreich nicht eingeführt. Wie im ersten Szenario bieten Bio-Treibstoffe für Betriebe mit großflächigen Kulturen neue Absatzmöglichkeiten. Die Kosten für Saisonarbeiter schließlich steigen wie im ersten Szenario, da die osteuropäischen Länder der Europäischen Union beigetreten sind und das Lohnniveau in der Landwirtschaft gestiegen ist.

#### 3.2.4 SZENARIO B2

Dieses Szenario entspricht einer Zukunftsvision, in der sich die Landwirtschaft durch Diversifizierung ihrer Produktion (bes. Bio-Treibstoffe) unter Einbeziehung strengerer umweltpolitischer Auflagen (Düngemittelbesteuerung, Erhöhung der Wassergebühr) weiter entwickelt. Es basiert auf dem Szenario B2 des SRES. Die Hauptantriebskraft dieses Szenarios ist das Ansteigen des Erdölpreises. Bei ausbleibenden steuerlichen Stabilisierungsmaßnahmen der Staaten steigt der Energiepreis jährlich um durchschnittlich 10% an (gegenüber 6% im ersten Szenario), was bedeutet, dass er sich bis 2015 verdreifacht. Die Agrarwirtschaft nutzt die Entwicklung von Produktions- und Vertriebsstrukturen für Bio-Treibstoffe, um ihre Produktion auf Biogas und pflanzliche Rohöle umzustellen; diese Umstellung wird durch die vollständige Abkopplung der europäischen Agrarsubventionen in Frankreich erleichtert. Der Maiswurzelbohrer breitet sich in der gesamten Region aus und zwingt die Landwirte zu einer neuen Kulturartenverteilung, bei der der Mais auf 30% der Nutzfläche begrenzt wird (dreijährige Fruchtfolge). Es wird eine konsequente Umweltschutzpolitik verfolgt, durch Besteuerung umweltbelastender Tätigkeiten, wie die Verwendung stickstoffhaltiger Düngemittel (0,15 €/kg Stickstoff in Frankreich, wie es der erste Entwurf des Wassergesetzes vorsah, und 0,26 €/kg Stickstoff in Deutschland), und die Einfüh-

exemple) ce qui évite ainsi de limiter les surfaces occupées par du maïs comme dans le scénario tendanciel. Les productions d'oléo protéagineux comme le soja et le tournesol ne peuvent pas s'étendre dans la mesure où il n'y a pas de filière pour absorber ces productions. La logique de libéralisation conduit la France à abandonner le système de découpage partiel (certaines primes restent couplées à la production à hauteur de 25%), optant pour un découplage total plus facile à mettre en œuvre pour les organismes payeurs et gestionnaires. La redevance sur les prélèvements en eau est supprimée en Allemagne et elle n'est pas établie en France. Comme dans le scénario tendanciel la filière biocarburants offre de nouveaux débouchés potentiels aux exploitations grandes cultures. Enfin, le prix de la main d'œuvre saisonnière augmente comme dans le scénario tendanciel, puisque les pays de l'Europe de l'Est ont rejoint l'Union Européenne et les salaires agricoles ont augmentés.

#### 3.2.4 LE SCÉNARIO B2

Ce scénario correspond à une vision du futur dans lequel l'agriculture évolue en diversifiant sa production (biocarburants notamment) et en intégrant les contraintes d'une politique de protection de l'environnement plus volontariste (taxe sur les engrais, augmentation de la redevance eau). Il est inspiré du Scénario B2 du SRES. Le principal moteur de ce scénario est l'augmentation du prix du pétrole. Le cours du brut augmente très fortement et l'absence de mécanisme de stabilisation des prélèvements fiscaux conduit à une hausse du prix de l'énergie de près de 10% par an en moyenne (contre 6% dans le scénario tendanciel) ce qui conduit à tripler le prix en 2015. L'agriculture profite du développement de la filière biocarburants pour réorienter sa production vers la production de biogaz ou huiles brutes végétales, reconversion facilitée par le découplage total des aides européenne (PAC) adopté en France. La présence de chrysomèle du maïs se généralise à toute la région, obligeant les agriculteurs à s'orienter vers des systèmes de rotations culturales où le maïs ne dépasse pas 30% de la surface labourable (rotation triennale). Une politique de protection environnementale volontariste est mise en œuvre, notamment à travers la mise en place d'une taxe sur les activités polluantes qui s'applique aux engrais azotés (0,15 €/kg d'azote en France comme le prévoyait le premier projet de loi sur l'eau et 0,26 €/kg d'azo-

rung oder Erhöhung einer Wasserentnahmegebühr (0,025 €/m<sup>3</sup> bei Entnahmen von mehr als 7000 m<sup>3</sup>/Jahr in Frankreich und 0,05 €/m<sup>3</sup> in Deutschland). Schließlich wird eine Politik der Investitionshilfen eingeführt, um durch eine verbesserte technische Ausstattung im Gemüsebau trotz der steigenden Löhne der Saisonarbeiter aus den osteuropäischen Mitgliedsländern (+60 % zwischen 2003 und 2015) die Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten.

### 3.3 HANDLUNGSOPTIONEN

Als Ergebnis des Vorgängerprojekts „Bestandsaufnahme der Grundwasserqualität im Oberrheingraben“, gefördert durch das EU-Programm INTERREG II, liegt ein Katalog mit Vorschlägen zur Verringerung der Nitratproblematik vor (siehe auch Kap. 1). Aus diesen wurde im Rahmen des Projekts MoNit eine Liste von Handlungsoptionen zusammengestellt, die auf die Reduzierung der Nitratbelastung aus landwirtschaftlicher Herkunft abzielt. Diese wurde mit weiteren Maßnahmen aus der Düngeverordnung und den Agrarumweltprogrammen MEKA, SchALVO und Ferti-Mieux ergänzt.

Mit dem Ziel einer gemeinsamen grenzüberschreitenden Priorisierung ging die Liste zur Bewertung aus landwirtschaftlicher Fachsicht hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Umsetzbarkeit und regionaler Relevanz an folgende Behörden und Institutionen, die sich überwiegend äußerten:

<b>Deutschland / Allemagne</b>	Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum (MLR)
	Landesanstalt für Pflanzenbau (LAP) Forchheim
	Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung (IfuL) Müllheim
	Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Heidelberg
	Staatliche Weinbauinstitut (WBI) Freiburg
	Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau (LVWO) Weinsberg
	Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF) Augustenberg
	Regierungspräsidium (RP) Freiburg, das Regierungspräsidium (RP) Karlsruhe
	Untere Landwirtschaftsbehörde (ULB) Freiburg
	Untere Landwirtschaftsbehörde (ULB) Offenburg
	Untere Landwirtschaftsbehörde (ULB) Bühl
	Untere Landwirtschaftsbehörde (ULB) Bruchsal
	<b>Frankreich / France</b>
	Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt (DRAF) Alsace

te en Allemagne) et la mise en place ou l'augmentation d'une redevance sur les prélèvements en eau (0,025 €/m<sup>3</sup> au-delà de 7000 m<sup>3</sup>/an en France et 0,05 €/m<sup>3</sup> en Allemagne). Enfin, une politique d'aide à l'investissement est mise en place pour permettre au secteur maraîcher de se mécaniser pour maintenir sa compétitivité en dépit de la hausse du coût de la main d'œuvre temporaire entraînée par l'élargissement européen (+60 % entre 2003 et 2015).

### 3.3 OPTIONS D'ACTION

Le projet antérieur « Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur » soutenu par le programme européen INTERREG II comprend en tant que résultat un catalogue de propositions pour la réduction de la problématique « nitrates » (voir également le chap. 1). A partir de ces propositions, une liste des mesures d'intervention ciblées (options d'action) ayant pour but de réduire la pollution par les nitrates d'origine agricole a été constituée dans le cadre du projet MoNit. Cette liste a été complétée par des mesures supplémentaires issues du décret sur la fumure (Düngeverordnung) et des programmes agricoles MEKA, SchALVO et Ferti-Mieux.

Dans le but d'aboutir à une définition commune des priorités au niveau transfrontalier, une enquête d'évaluation (du point de vue agronomique) a été mise en place, abordant les critères d'efficacité, mise en pratique et la pertinence régionale des options d'action. La liste a été envoyée pour évaluation aux administrations et institutions suivantes, qui se sont pour la plupart exprimées:



Agence de l'eau Rhin-Meuse (AeRM),  
Région Alsace, die Direction de l'Environnement (DIREN)  
Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA)  
Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)  
Landwirtschaftliche Zentrum Ebenrain

## Schweiz / Suisse

In der Befragung waren die Handlungsoptionen von den Experten nach folgenden Kriterien zu bewerten:

- landwirtschaftlich-wissenschaftliche Einschätzung der Wirksamkeit der Handlungsoption bezüglich der Verringerung des Stickstoffaustragspotentials
- Einschätzung der Umsetzbarkeit in die Praxis
- Einschätzung der regionalen Relevanz im Hinblick auf das Projektgebiet, z. B. aufgrund des Umfangs der Anbaufläche der betroffenen Kulturen.

Die Befragten nutzten auch die Möglichkeit, den Katalog um ihnen wichtig erscheinende Handlungsoptionen zu ergänzen.

Die Rückläufe wurden in eine länderübergreifende Gesamtbewertung zusammengeführt, um Prioritäten für die mit den Modellen zu untersuchenden Handlungsoptionen zu setzen (Tab. 3.3.1). Da das wesentliche Ziel des Projekts, die Abschätzung des Potenzials von Handlungsoptionen zur Verringerung der Nitratbelastung im Grundwasser ist, wurde das Kriterium *Wirksamkeit* relativ hoch bewertet. Gegenüber der Umsetzbarkeit in die Praxis wurde die Wirksamkeit dreifach gewichtet. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der flächenhaften Bedeutung erhielten die Handlungsoptionen *ordnungsgemäße und reduzierte Düngung* eine bessere Bewertung als nach der Berechnung (4 statt 3 Punkte), ebenso erhielt die *Förderung des ökologischen Landbaus* 3 statt 2 Punkte.

In Tabelle 3.3.1 sind die Handlungsoptionen in fortlaufender Nummerierung aufgelistet. Die Spalten 3 bis 11 beinhalten länderspezifisch getrennt die gemittelten Bewertungen für die Kriterien *Wirksamkeit* und *Umsetzbarkeit*. In Spalte 12 ist schließlich die länderübergreifende Priorisierung angegeben.

Dans le questionnaire soumis aux experts, les options d'action étaient à évaluer selon les critères suivants :

- Estimation sur les plans agricole et scientifique de l'efficacité de l'option d'action concernant la réduction du potentiel de lessivage de l'azote
- Estimation de la mise en pratique effective
- Estimation de la pertinence régionale eu égard à la zone du projet, par exemple sur la base de l'étendue des surfaces cultivées des cultures concernées.

Les personnes interrogées ont également pu compléter le catalogue par des options d'action qui leur semblaient importantes.

Tous les résultats de l'enquête ont été rassemblés et examinés – lors de travaux d'évaluation à l'échelle transfrontalière, afin de définir des priorités relatives aux options d'action à étudier à l'aide des modèles (Tab. 3.3.1). Le but essentiel du projet étant d'évaluer le potentiel des options d'action pour la réduction de la pollution par les nitrates dans les eaux souterraines, le critère Efficacité a reçu un poids relativement important. Par rapport à la mise en pratique effective, on a attribué à l'efficacité un poids trois fois plus important. La prise en compte supplémentaire de l'importance des surfaces concernées par les options d'action fertilisation raisonnée et réduite a conduit à une priorité finale plus élevée que celle qui avait été calculée (4 au lieu de 3 points) ; la priorité finale de l'option d'action encouragement de l'agriculture biologique a augmenté de la même manière (3 points au lieu de 2).

Les options d'action sont listées et numérotées en continu dans le tableau 3.3.1. Les colonnes 3 à 11 présentent les notes moyennes attribuées aux critères Efficacité et Mise en pratique pour chaque pays. Enfin, la colonne 12 indique l'ordre des priorités à l'échelle transfrontalière.

Tab. 3.3.1: Liste der bewerteten Handlungsoptionen als Ergebnis der grenzüberschreitenden Expertenbefragung (Bewertung: 1 = geringe Bewertung bis 4 = hohe Bewertung).  
 Tab. 3.3.1: Liste des options d'action évaluées avec les notes moyennes attribuées lors de l'enquête transfrontalière réalisée auprès des experts (1 = « valeur d'impact » faible, jus-qu'à 4 = « valeur d'impact » haute).

1	2	3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
		D	Wirksamkeit MW / Efficacité (moyenne)	Umsetzbarkeit MW / mise en pratique (moy.)	Anzahl / Nombre	CH	Wirksamkeit MW / Efficacité (moyenne)	Umsetzbarkeit MW / mise en pratique (moy.)	Anzahl / Nombre	F	Wirksamkeit MW / Efficacité (moyenne)	Umsetzbarkeit MW / mise en pratique (moy.)	Anzahl / Nombre	F	Wirksamkeit MW / Efficacité (moyenne)	Umsetzbarkeit MW / mise en pratique (moy.)	Anzahl / Nombre	änderung / Priorité			
	Hd. Nr. / No	Handlungsoption / Option d'action																			
1		Beibehalten des Dauergrünlands / Maintien des surfaces en prairies permanentes	4,0	3,4	7	4,0	-	1	3,6	3,0	5	4									
2		Umwandlung von Ackerland in Grünland / Conversion de surfaces cultivées en prairies	3,9	1,4	7	4,0	-	1	3,8	1,2	5	3									
3		Begrünung von Dauerkulturen (Wein- und Obstbau) / Enherbement des cultures permanentes (vignoble et des surfaces de production fruitière)	-	-	-	-	-	-	4,0	3,0	1	4									
4		Ordnungsgemäße/angepasste Düngung: Stickstoffdüngung anpassen in Abhängigkeit von der Kulturart, dem Bodentyp und dem Bewirtschaftungssystem a Gesamtdüngergabe, Aufteilung der Düngergaben; b Nährstoffgehalt der tierischen Ausscheidungen und anderer organischer Dünger. / Fertilisation raisonnée: Ajuster la fertilisation azotée des cultures en fonction de la nature de culture, des types de sol et des systèmes de cultures a dose totale apportée, fractionnement des apports ; b valeur fertilisante des déjections animales et d'autres matières organiques.	3,4	3,0	7	4,0	-	1	2,9	2,7	5	4									
5		c Festlegung einer Obergrenze für die Stickstoffeinzelgaben in Abhängigkeit vom Bodentyp. / c Fixer une dose maximale par apport en fonction des types de sol	3,2	2,3	8	2,0	-	1	3,0	2,3	4	4									
6		d Festlegung einer Obergrenze pro Hektar für die Ausbringung von organischen Düngern / d Fixer une dose maximale à l'hectare épanché pour les apports organiques	2,9	2,3	8	2,0	-	1	3,0	2,5	4	3									
7		e keine N-Düngung vor der Aussaat bei Sommerungen (Mineraldünger) / e Pas d'apport d'azote avant semis pour les cultures de printemps (engrais minéral)	2,1	2,1	7	4,0	-	1	2,9	3,0	4	3									
8		f Die Ausbringungszeiten der Nitratrichtlinie für die Ausbringung von tierischen Ausscheidungen respektieren / f Respecter les calendriers d'apport des déjections animales de la directive Nitrates	3,0	2,5	6	0,0	-	1	2,8	3,6	5	3									
9		Stickstoff-Entzug durch Begrünung: Zwischenfruchtanbau nach Winterungen oder Sommerungen mit frühem Erntetermin und vor folgenden Sommerungen. / Eviter les excès d'azote dans le sol à l'automne : Implanter des CIPAN après cultures d'hiver ou après cultures d'été à récolte précoce et avant culture de printemps	3,9	3,1	7	4,0	-	1	3,8	3,0	5	4									
10		Bodenbedeckung über Winter: Förderung des Zwischenfruchtanbaus nach Winterungen und frühen Sommerungen. / Couverture hivernale (des terres arables): Développement des CIPAN après cultures d'hiver et cultures de printemps à récolte précoce	3,8	3,1	6	3,0	-	1	3,8	3,0	5	4									
11		Ausfallgetreide und Ausfallraps sollten - sofern kein Zwischenfruchtanbau erfolgt - nach der Ernte belassen werden / Favoriser les repousses des cultures tq céréales à paille et colza	3,0	2,4	5	2,0	-	1	2,0	3,0	4	3									
12		Empfehlung für die Bodenbearbeitung: nicht wendende Bodenbearbeitung, Minimalbodenbearbeitung / Recommandation pour le travail du sol : travail du sol sans retournement, réduction de travail du sol au minimum	2,8	2,6	8	4,0	-	1	2,2	1,8	5	3									
13		Steuerung der Beregnung nach Zeit und Menge / Ajuster l'irrigation	2,9	2,7	8	2,0	-	1	2,4	2,2	5	3									
14		Keine Mineralstickstoffdüngerausbringung im Herbst / Ne pas apporter d'azote minéral à l'automne	3,0	2,1	7	3,0	-	1	3,0	4,0	4	3									
15		Erhöhung des Anteils an Winterungen: Wintergetreide, Wintererbsen / Augmentation de la part des cultures d'hiver : céréales à paille, colza	2,7	1,9	6	4,0	-	1	2,4	1,5	4	3									
16		Untersaaten im Mais fördern / Développer les sous-semis dans le maïs	2,8	1,9	6	2,0	-	1	2,7	2,2	5	3									
17		Förderung des ökologischen Landbaus / Développer l'agriculture biologique	2,6	1,8	7	2,0	-	1	3,0	1,2	5	3									
18		Reduzierung der empfohlenen N-Gabe um 20 % / Réduction de 20 % de la dose N minérale conseillée	1,7	2,2	7	2,0	-	1	2,5	1,8	4	3									
19		Einsatz von Düngestreuern mit präzisen Einstellmöglichkeiten / Utilisation de matériel permettant un épandage précis (dirigé)	3,1	2,6	8	2,0	-	1	2,2	2,2	5	2									
20		Düngertransport durch spezialisierte Unternehmen / Epandage d'engrais par entreprise spécialisée	2,9	2,0	8	2,0	-	1	2,1	1,7	5	2									
21		Kulturverbote in WSG für Problemkulturen / Prohibition des cultures en périmètre de protection pour des cultures problématiques	4,0	1,0	1	0,0	-	1	2,0	1,0	1	2									
22		Ausbrings von Stickstoffdüngern mit verzögerter Wirkung (Nitrifikationshemmer: z. B. CULTAN, DIDIN, ENTEC) / Apports de fertilisants à action prolongée (retardateur de nitrification : z. B. CULTAN, DIDIN, ENTEC)	2,4	2,7	8	2,0	-	1	1,3	2,3	4	2									
23		Gewässerrandstreifen / Bandes enherbées le long des cours d'eau	2,0	2,0	1	-	-	-	-	-	-	2									
24		Verringerung der atmosphärischen Deposition / Réduction de la déposition atmosphérique	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									

### 3.3.1 BEWERTUNG DER HANDLUNGSOPTIONEN

Die dargestellte Auswertung der Expertenbefragung zeigt insgesamt eine gute Übereinstimmung der Bewertungen für die drei beteiligten Länder. Für die einzelnen Kriterien wird dies nun im Einzelnen dargestellt.

#### Bewertung der Wirksamkeit

Eine einheitliche Meinung bezüglich der hohen Wirksamkeit besteht bei folgenden Handlungsoptionen

- Beibehaltung von Dauergrünland (Nr. 1),
- Umwandlung von Acker in Grünland (Nr. 2),
- Anbau von Zwischenfrüchten (Nr. 9-10) sowie die
- ordnungsgemäße Düngung (Nr. 4-8).
- 

Eine geringe Wirksamkeit wird länderübergreifend für folgenden Handlungsoptionen angenommen:

- Ausbringung von Stickstoffdünger mit verzögerter Wirkung (Nr. 22),
- Anbau früherer Maissorten um die Möglichkeit des Zwischenfruchtanbaus nach der Maisernte zu verbessern (Nr. 23),
- Reduzierung der empfohlenen Stickstoffgabe um 20%.

Trotz der tendenziell ähnlichen Einschätzung der Wirksamkeit lassen sich auch einige länderspezifische Nuancen erkennen. Insgesamt wurde von den deutschen Fachleuten die Wirksamkeit der Handlungsoptionen etwas optimistischer eingeschätzt als von den französischen Kollegen.

Die deutschen Fachleute schätzen insbesondere folgende Handlungsoptionen als wirksamer ein als die französischen Kollegen:

- Wirksamkeit von Ausfallgetreide und -raps (Nr. 11),
- Ausbringung von Stickstoffdünger mit verzögerter Wirkung (Nr. 22),
- Einsatz von Düngerstreuern mit präzisen Einstellmöglichkeiten (Nr. 19),
- Düngerausbringung durch spezialisierte Unternehmen (Nr. 29),
- Reduzierte Bodenbearbeitung (Nr. 12),
- Anbauverbot für Problemkulturen in Wasserschutzgebieten (Nr. 21).

Letzte Handlungsoption wurde im Rahmen der Befragung ergänzt und somit nicht von allen Befragten bewertet.

Die französischen Fachleute halten dagegen den Verzicht auf Mineraldünger vor der Aussaat von Sommerungen

### 3.3.1 EVALUATION DES OPTIONS D'ACTION

L'analyse des questionnaires d'enquête auprès des experts montre globalement une bonne concordance entre les évaluations réalisées par les trois pays partenaires. Chaque critère est présenté ci-après en détail.

#### Evaluation de l'efficacité

Des opinions identiques relatives à une grande efficacité existent pour les options d'action suivantes

- Maintien des prairies permanentes (N°1),
- Conversion de terres arables en prairies (N°2),
- Semis de cultures intermédiaires (N°9-10), ainsi que
- Ajustement de la fertilisation (fertilisation raisonnée) (N°4-8).

Une faible efficacité a été attribuée au niveau transfrontalier pour les options d'action suivantes :

- Apports de fertilisants à action prolongée (N°22),
- Utilisation des variétés de maïs plus précoces pour permettre le semis de CIPAN après la récolte du maïs (N°23),
- Réduction de 20 % de la dose d'azote conseillée.

Malgré une tendance à une évaluation similaire de l'efficacité, quelques nuances sont identifiables en fonction des pays. Globalement, l'efficacité des options d'action a été évaluée de façon plus optimiste par les experts allemands que par leurs collègues français.

Par rapport à leurs collègues français, les experts allemands attribuent en particulier une plus grande efficacité aux options d'action suivantes :

- Efficacité des repousses de céréales et de colza (N°11),
- Apports de fertilisants à action prolongée (N°22),
- Utilisation d'épandeurs d'engrais pouvant être réglés avec précision (N°19),
- Épandage d'engrais par des entreprises spécialisées (N°29),
- Travail du sol réduit (N°12),
- Interdiction des cultures problématiques dans les périmètres de protection des captages d'eau potable (N°21).

La dernière option d'action a été ajoutée lors du remplissage du questionnaire et n'a donc pas été évaluée par toutes les personnes interrogées.

Par contre, pour les spécialistes français, l'interdiction d'épandage d'engrais minéraux avant les semis de cultures

(Nr. 7) und die Reduzierung der empfohlenen Stickstoffgabe (Nr. 18) für wirkungsvoller als ihre deutschen Kollegen.

### Bewertung der Umsetzbarkeit

Folgende Handlungsoptionen wurden auf beiden Seiten als relativ gut umsetzbar bewertet:

- Beibehaltung des Dauergrünlands (Nr. 1),
- Angepasste Stickstoffdüngung (Nr. 4),
- Stickstoffaufnahme durch Begrünungen (Nr. 9),
- Bodenbedeckung über Winter (Nr. 10).

Als nur schwer umsetzbar wurden folgende Handlungsoptionen eingeschätzt:

- Umwandlung von Ackerland in Grünland (Nr. 2),
- Anbauverbot für Problemkulturen in Wasserschutzgebieten (Nr. 21),
- Anbau früherer Maissorten (Nr. 23),
- Förderung des Ökologischen Landbaus (Nr. 17).

### Regionale Relevanz

Die Festlegung einer Obergrenze für die Ausbringung von organischem Dünger (Nr. 6) und die Umwandlung von Ackerland in Grünland wurde aufgrund der geringen Viehdichte im Oberrheingraben als wenig relevant angesehen. Dagegen wurde eine Einschränkung des Anbaus von Problemkulturen in Wasserschutzgebieten (Nr. 21) insbesondere auf der deutschen Seite aufgrund des größeren Anbauumfangs als relevant eingeschätzt.

### Gesamtbewertung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der Expertenbefragung folgende Handlungsoptionen am höchsten bewertet wurden:

- Beibehaltung des Dauergrünlandes (Nr. 1),
- Umwandlung von Acker in Grünland (Nr. 2),
- Begrünung von Dauerkulturen (Wein- und Obstbau) (Nr. 3),
- Ordnungsgemäße Düngung (Nr. 4-8) sowie
- Anbau von Zwischenfrüchten (Nr. 9-10).

### 3.3.2 ABBILDUNG DER HANDLUNGSOPTIONEN IN DEN MODELLEN

Für diese am höchsten bewerteten Handlungsoptionen wurde im weiteren geprüft, ob sich deren Auswirkungen

d'été (N°7) et la réduction de la dose d'azote conseillée (N°18) sont considérées comme plus efficace que pour leurs collègues allemands.

### Evaluation de la mise en pratique

Les options d'action suivantes ont été estimées relativement faciles à mettre en pratique par les deux cotés :

- Maintien des prairies permanentes (N°1),
- Ajustement de la fertilisation azotée (N°4),
- Absorption d'azote par des cultures intermédiaires (N°9),
- Couverture hivernale du sol (N°10).

Les options d'action suivantes ont été estimées difficiles à mettre en pratique :

- Conversion de terres arables en prairies (N°2),
- Interdiction des cultures problématiques dans les périmètres de protection des captages d'eau potable (N°21)
- Utilisation de variétés de maïs plus précoces (N°23),
- Encouragement de l'agriculture biologique (N°17).

### Pertinence régionale

La fixation d'une limite supérieure pour l'épandage de déjections animales (N°6) et la conversion de terres arables en prairies ont été considérées comme peu pertinentes en raison de la faible densité de bétail dans la vallée du Rhin supérieur. Au contraire, la limitation des cultures problématiques dans les périmètres de protection des captages d'eau potable (N°21) a été jugée pertinente côté allemand en particulier, en raison de l'ampleur des surfaces concernées.

### Evaluation globale

En résumé, on peut dire que les options d'action suivantes ont reçu les notes les plus élevées lors du questionnaire d'experts :

- Maintien des prairies permanentes (N°1),
- Conversion de terres arables en prairies (N°2),
- Enherbement des cultures permanentes (vigne et production fruitière) (N°3),
- Fertilisation raisonnée (N°4-8), ainsi que
- Utilisation des cultures intermédiaires (N°9-10).

### 3.3.2 SIMULATION DES OPTIONS D'ACTION DANS LES DIFFÉRENTS MODÈLES

Pour les options d'action les mieux évaluées, on a ensuite vérifié si leur impact sur le lessivage des nitrates pouvait

auf den Stickstoff-Austrag mit dem in MoNit verfügbaren Modellsystem abbilden lässt.

In Tabelle 3.3.2 werden die technische Eignung der Modelle STOFFBILANZ und STICS für die Simulation der verschiedenen Handlungsoptionen bewertet und die Umsetzungsmöglichkeiten näher spezifiziert.

Letztlich wurden folgende Handlungsoptionen für die Simulation mit den Modellen ausgewählt:

- Ordnungsgemäße Düngung (Nr. 4-8),
- Zwischenfruchtanbau (Nr. 9-10),
- Beibehaltung des Dauergrünlandes (Nr. 1), welche indirekt durch die Betrachtung der Handlungsoption Umwandlung von Acker in Grünland (Nr. 2) umgesetzt wird.

Die Handlungsoption „Begrünung von Dauerkulturen“ (Nr. 3) war von den Experten ebenfalls hoch bewertet worden. Da das Potenzial der Begrünung von Reblächen auf deutscher und französischer Seite weitgehend ausgeschöpft ist, wird diese Handlungsoption nicht mit den Modellen untersucht.

Ergänzend zur Handlungsoption „ordnungsgemäße Düngung“ wird die Handlungsoption Reduzierung der empfohlenen Düngergabe um 20%“ (Nr. 18) untersucht, obwohl diese nur mit einer Priorität von 3 eingestuft wurde, um die Auswirkungen einer weiteren Düngerreduzierung auf den Stickstoffaustrag sowie die vermutlich eintretenden Ernteeinbußen quantifizieren zu können.

être simulé à l'aide du système de modèles disponibles dans le cadre de MoNit.

Dans le tableau 3.3.2, les aptitudes techniques des modèles STOFFBILANZ et STICS pour la simulation des différentes options d'action sont évaluées, et les possibilités de mise en pratique sont précisées.

Finalement, les options d'action suivantes ont été sélectionnées pour être simulées à l'aide des modèles :

- Fertilisation raisonnée (N°4-8),
- Cultures intermédiaires (N°9-10),
- Maintien des prairies permanentes (N°1), examinée indirectement par le biais de l'option d'action « Conversion de terres arables en prairies » (N°2).

L'option d'action « Enherbement de cultures permanentes » (N°3) avait également été bien évaluée par les experts. Le potentiel d'enherbement du vignoble cotés français et allemand étant cependant largement épuisé, cette option d'action n'a pas été étudiée à l'aide des modèles.

Bien qu'elle n'ait été classée que sur le niveau 3 de l'échelle d'évaluation, l'option d'action « réduction de 20 % de la dose d'engrais conseillée » (N°18) a été étudiée en complément de l'option d'action « Fertilisation raisonnée », afin de pouvoir quantifier l'impact d'une réduction supplémentaire de la fertilisation sur le lessivage et les probables pertes des rendements.

Tab. 3.3.2: Technischen Eignung der Modelle (zur Simulation der Handlungsoptionen (Bewertung: 1 = sehr schlecht bis 4 = sehr gut)  
 Tab. 3.3.2: Aptitudes techniques des modèles (à la simulation des options d'action (Evaluation : 1 = très mauvaise, jusqu'à 4 = très bonne)

Hopt-Nr. / No. Option d'action	Handlungsoption / Option d'action	Technische Eignung der Modelle (zur Simulation der Handlungsoptionen) / Aptitude technique des modèles (à la simulation de l'option d'action)		betroffene Parameter / paramètres concernés
		STICS	Stoffbilanz	
1 - 2	Beibehalten des Dauergrünlands, Umwandlung von Ackerland in Grünland Maintien des surfaces en prairies permanentes, Conversion de surfaces cultivées en prairies	1	4	STOFFBILANZ: Hauptnutzungsform: Umwandlung von Rasterzellen Acker zu Grünland STOFFBILANZ: occupation des sols
3	Begrünung von Dauerkulturen (Wein- und Obstbau) Enherbement des cultures permanentes (vignoble et des surfaces de production fruitière)	1	4	STOFFBILANZ: in Weinbaubilanz auf deutscher Seite berücksichtigt. Handlungspotential ist weitgehend ausgeschöpft.
4 - 8	Ordnungsgemäße/angepasste Düngung: a Gesamtdüngergabe, Aufteilung der Düngergaben; b Nährstoffgehalt der tierischen Ausscheidungen und anderer organischer Dünger; c Festlegung einer Obergrenze für die Stickstoffeinzelgaben in Abhängigkeit vom Bodentyp; d Festlegung einer Obergrenze pro Hektar für die Ausbringung von organischen Düngern; e keine N-Düngung vor der Aussaat bei Sommerungen (Mineraldünger); f Ausbringungszeiten der Nitratrichtlinie für die Ausbringung von tierischen Ausscheidungen (déjections animales) respektieren. Fertilisation raisonnée: a dose totale apportée, fractionnement des apports; b valeur fertilisante des déjections animales et d'autres matières organiques; c Fixer une dose maximale par apport en fonction des types de sol; d Fixer une dose maximale à l'hectare épandu pour les apports organiques; e Pas d'apport d'azote avant semis pour les cultures de printemps (engrais minéral); f Respecter les calendriers d'apport des déjections animales de la directive Nitrates.	4	1-4	STICS: Differenzierung der Düngung (Zeitpunkt, Menge und Düngerart) ist grundsätzlich möglich. STOFFBILANZ: Es kann nur die Gesamtdüngergabe über das gesamte Jahr berücksichtigt werden. Die Wirkung der Aufteilung der Düngergabe oder die Ausbringzeit kann nicht berücksichtigt werden.  STICS: apports d'engrais (date, quantité et type d'engrais) STOFFBILANZ: Seule la dose totale annuelle peut être prise en compte, pas le fractionnement.
9 - 11	Zwischenfruchtanbau a Einbau einer Zwischenfrucht b Belassen von Ausfallgetreide / -raps auf dem Acker Cultures intermédiaires a culture intermédiaire b repousses de céréales / colza laissées sur le champ	4	1	STICS: Einbau von Zwischenfrüchten in Fruchtfolge möglich. Ausfallraps/-getreide müsste wie Zwischenfrucht behandelt werden. Saattermin und Saattstärke wären abzuschätzen.  STICS: possible - rotation des cultures, pour (b) il manque les données ; on est obligé d'utiliser des estimations/hypothèses
12	Empfehlung für die Bodenbearbeitung: nicht wendende Bodenbearbeitung, Minimalbodenbearbeitung Recommandation pour le travail du sol : travail du sol sans retournement, réduction de travail du sol au minimum	1	1	STICS: keine Unterscheidung zwischen wendender und nicht wendender Bodenbearbeitung möglich. Lediglich Bearbeitungszeitpunkt und -tiefe kann variiert werden.
13	Steuerung der Beregnung nach Zeit und Menge Ajuster l'irrigation	3	1	STICS: Eingabe von Zeitpunkt und Bewässerungsmenge möglich; auch modellinterne Berechnung von Zeitpunkt und Bewässerungsmenge möglich STICS: possible de saisir la quantité et la date , vérifier la méthode de calcul interne du modèle
14	Keine Mineralstickstoffdüngerausbringung im Herbst Ne pas apporter d'azote minéral à l'automne	4	-	STICS: Differenzierung der Düngung (Zeitpunkt, Menge und Düngerart) ist grundsätzlich möglich. STICS

15	Erhöhung des Anteils an Winterungen: Wintergetreide, Wintererbsen Augmentation de la part des cultures d'hiver : céréales à paille, colza	4	4	STICS: Einbau von Winterungen in die Fruchtfolge STOFFBILANZ: Flächenanteil an Winterungen in der Kulturartenverteilung erhöhen STICS: rotation STOFFBILANZ: statistique agricole (assolement ?)
16	Untersaaten im Mais fördern Développer les sous-semis dans le maïs	1	2	D: kommt nur bei Silomais in Betracht, da Anbau frühreifer Körnermaissorten erforderlich F: wird bei Körnermais teilweise realisiert STICS: modelltechnisch möglich, aber für Oberrheingraben nicht validiert STOBIL: evtl. pauschal (Abschlag) berücksichtigbar, sofern Datengrundlage vorhanden D: seulement maïs ensilage F: maïs grain STICS - techniquement possible STOBIL - par le biais d'un facteur de correction
17	Förderung des ökologischen Landbaus Développer l'agriculture biologique	2	2	STICS: möglich, aber genaue Definition (Kulturarten, Düngung, Bodenbearbeitung etc.) notwendig STOFFBILANZ: Kulturartenverteilung ändern STICS: possible, mais besoin d'une définition précise ; problème de base des données STOFFBILANZ: quantité d'engrais, statistique agricole
18	Reduzierung der empfohlenen N-Gabe um 20 % Réduction de 20 % de la dose N minéral conseillée	4	4	STICS: Düngemenge STOFFBILANZ: nur möglich, wenn auch die Ertragsminderung berücksichtigt wird STICS: quantité d'engrais
19	Einsatz von Düngestreuern mit präzisen Einstellmöglichkeiten Utilisation de matériel permettant un épandage précis (dirigé)	1	1	keine Handlungsoption für die Modellierung
20	Düngerausbringung durch spezialisierte Unternehmen Épandage d'engrais par entreprise spécialisée	1	1	keine Handlungsoption für die Modellierung
21	Kulturverbote in WSG für Problemkulturen prohibition des cultures en périmètre de protection pour des cultures problématiques	1	4	STOFFBILANZ: Kulturartenverteilung ändern STOFFBILANZ: statistique agricole
22	Ausbringen von Stickstoffdünger mit verzögerter Wirkung (Nitrifikationshemmer: z. B. CULTAN, DIDIN, ENTEC) Apports de fertilisants à action prolongée (retardateur de nitrification : z. B. CULTAN, DIDIN, ENTEC)	1	1	STICS: N-Dünger mit verzögerter Wirkung nicht berücksichtigt
23	Gewässerrandstreifen Bandes enherbées le long des cours d'eau	1	1	keine Handlungsoption für die Modellierung
24	Verringerung der atmosphärischen Deposition réduction de la déposition atmosphérique	4	4	STICS: N-Konzentration im Niederschlag ändern STOFFBILANZ: Atmosphärische Deposition ändern

Tabelle 3.3.3: Bezeichnung der untersuchten Handlungsoptionen im weiteren Text

Tableau 3.3.3 : Intitulé des options d'action dans le texte

Nr. / N°	Beschreibung / Description	Weitere Verwendung im Text / Intitulé dans le texte
4-8, 18	Ordnungsgemäße und reduzierte Düngung Fertilisation raisonnée et réduite	M1
9-10	Zwischenfruchtanbau Semis de cultures intermédiaires	M2
2	Umwandlung von Acker- in Grünland Conversion des terres arables en prairies	M3



## 4 Die Werkzeuge

Die Vorhersage der Auswirkungen der Umsetzung verschiedener Handlungsoptionen und der durch die Szenarien definierten Auswirkungen von möglichen Veränderungen der landwirtschaftlichen Praxis erforderten den Einsatz von Modellen. Das zu diesem Zweck entwickelte Modellsystem ist in Kapitel 4.2 skizziert.

Der Vergleich des Endergebnisses der Modellkette mit Grundwassermessdaten zeigt als abschließender Teil der Validierung der Modelle, dass das entwickelte System prognosefähig ist. Die gesamte Spannweite prinzipiell möglicher Entwicklungen (Kap. 4.2.6) demonstriert die bereits erreichten Erfolge.

Neben den Modellen wurden einige messtechnische Begleituntersuchungen durchgeführt (Kap. 4.1). Diese dienten teilweise der Bereitstellung von Verifizierungsdaten und andererseits der Gewinnung einiger detaillierter Erkenntnisse für Teilaspekte unter den Gegebenheiten des Oberrheingebietes.

### 4.1 ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN / MESSUNGEN

Neben der Verfügbarmachung bestehender Datenbestände für die Parametrisierung, Kalibrierung und den äußeren Antrieb der eingesetzten Modelle, wurden im Rahmen des Projektes auch einige ergänzende Untersuchungen und Messungen durchgeführt.

Dazu gehören die Arbeiten des Projektpartners Kanton Basel zur Nitratherkunft, die Untersuchungen zum Austausch Fluss-Grundwasser an 3 Standorten durch den Projektpartner Uni Basel und die in allen drei Ländern durchgeführten Nitratmessungen im Sickerwasser mit Hilfe von Saugkerzen bzw. Saugplatten an jeweils 4 ausgewählten Standorten (s. Abb. 4.1.1).

Durch die relativ grobe räumliche Auflösung und den hohen Abstraktionsgrad der im eigentlichen DSS eingesetzten Modelle sind kleinräumige Zusammenhänge nicht abzubilden.

So ist die eigentliche Herkunft des Nitrats im Sickerwasser nicht bekannt. Nitrat kann aus dem eingesetzten Dünger, der atmosphärischen Deposition oder durch Abbau von Biomasse entstehen. Je nach Ein- und Austragspfaden sind Maßnahmen zur Reduktion des Nitratreintrags in

## 4 Les outils

La prévision des impacts de la mise en œuvre de différentes options d'action ainsi que l'impact des éventuelles modifications des pratiques agricoles définies par les scénarios nécessitent l'utilisation de modèles. Les grandes lignes du système de modèles développé à cet effet sont esquissées dans le chapitre 4.2.

La comparaison des résultats issus de l'exploitation de la chaîne de modèles avec les données issues des campagnes de mesures sur les eaux souterraines, en dernière partie de la validation des modèles, témoigne de l'aptitude à la prévision du système développé. Les résultats déjà obtenus démontrent la gamme entière des développements possibles en principe (chap. 4.2.6).

Parallèlement aux travaux de modélisation ont été réalisées quelques études techniques de mesures supplémentaires (chap. 4.1). Ces études sont destinées en partie à la mise à disposition de données de validation, et d'autre part à l'acquisition de connaissances plus détaillées sur les caractéristiques propres à la vallée du Rhin supérieur.

### 4.1 ETUDES COMPLÉMENTAIRES / MESURES

Parallèlement à la préparation des jeux de données existants permettant le paramétrage, la calibration et le fonctionnement des modèles, quelques études et mesures complémentaires ont été réalisées dans le cadre du projet. Celles-ci incluent les travaux des partenaires du projet du Canton de Bâle sur l'origine des nitrates, les études sur les échanges nappe-rivière dans trois sites par le partenaire du projet de l'Université de Bâle, ainsi que les mesures de nitrates dans l'eau de percolation réalisées à l'aide de bougies poreuses ou de plaques poreuses dans quatre sites sélectionnés dans chacun des trois pays participants (voir Fig. 4.1.1)

Les relations à petite échelle spatiale ne peuvent pas être reproduites, en raison de la résolution spatiale relative grossière et du degré élevé d'abstraction des modèles mis en œuvre dans la DSS finale.

Ainsi, l'origine réelle des nitrates dans l'eau de percolation n'est-elle pas connue. Les nitrates peuvent se former à partir des fertilisants, de la déposition atmosphérique ou de la décomposition de la biomasse. Les mesures de réduction des entrées de nitrates dans les eaux souterraines

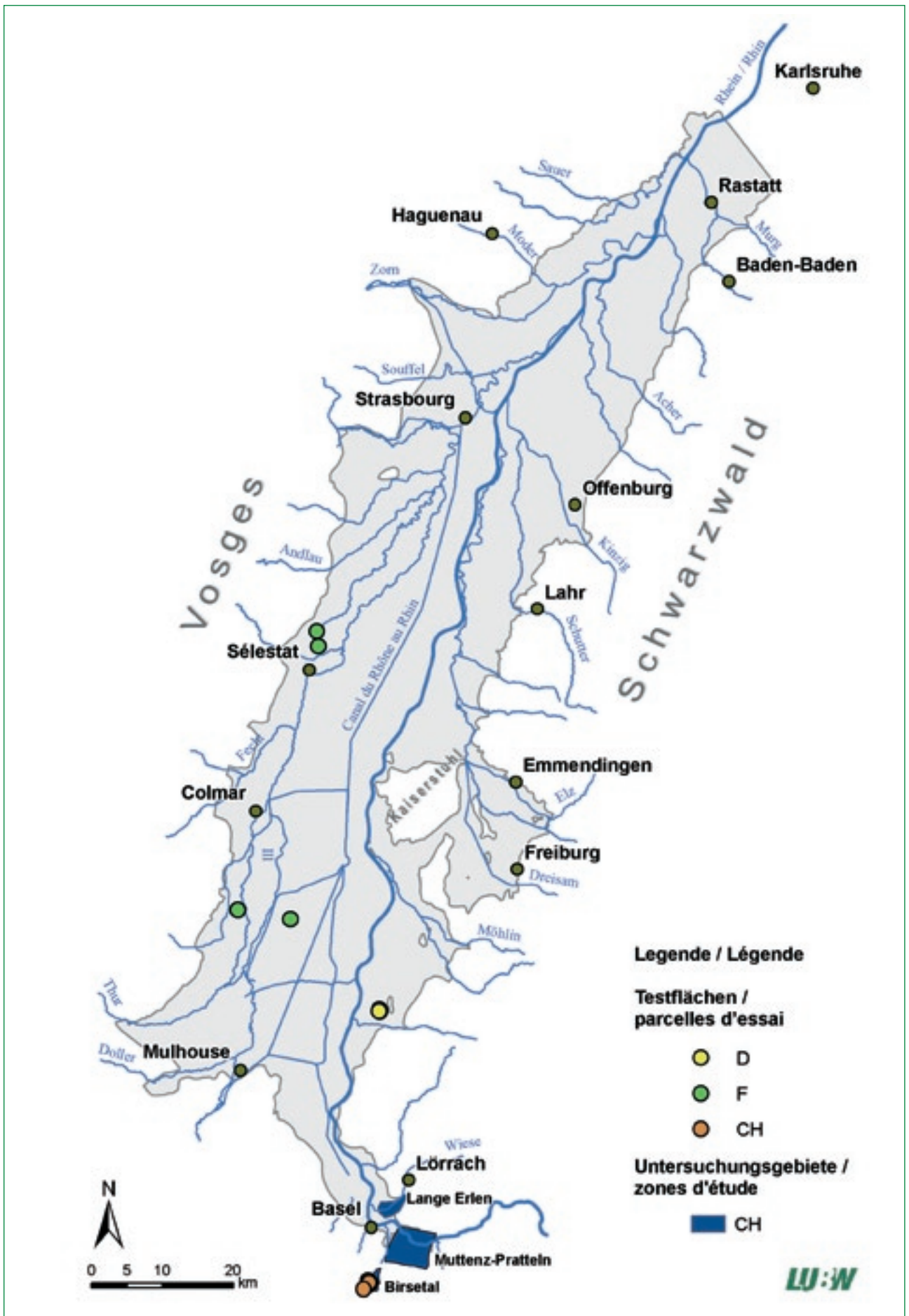


Abb. 4.1.1: Standorte der ergänzenden Untersuchungen und Messungen

Fig. 4.1.1 : Les sites dans lesquels ont été réalisées des études et mesures complémentaires

Grundwasser unterschiedlich zu bewerten. Mit Hilfe von detaillierten Isotopenmessungen und die Analyse weiterer gelöster Inhaltsstoffe wurde für mehrere unterschiedlich genutzte Flächen (Wald / Wiese / Landwirtschaft / Sportplatz) der Weg des Nitrats im Untergrund nachvollziehbar gemacht.

Die direkte Messung von Nitrat im Bodenwasser auf Standorten mit bekannter Nutzung („Testflächen“) und der Möglichkeit, Düngereinsatz, Nitratgehalt im Boden (N<sub>min</sub>) und die Biomassenentwicklung detailliert aufzunehmen, versetzte uns in die Lage, die Ergebnisse, die mit einem Prozess-basierten Simulationsmodell errechnet wurden, kritisch zu beleuchten (im Sinne einer Teilvalidierung des Modells). Der Austausch zwischen Flusswasser und Grundwasser steuert maßgeblich die Grundwasserneubildung im inneren Projektgebiet. Der randliche Zustrom aus Schwarzwald und Vogesen in den Oberrheinaquifer erfolgt größtenteils über Oberflächengewässer, die ihr Wasser in den Untergrund abgeben. Dieser Prozess bewirkt in der Umgebung von Fließgewässern zu einer starken Reduzierung der Nitratkonzentration im Grundwasser. In einigen Regionen mit sehr geringen Flurabständen wirken die Gewässer hingegen drainierend. Die Kenntnis der realen Austauschraten zwischen Fließgewässern und Grundwasser ist somit eine entscheidende Größe um eine realitätsnahe Grundwassersimulation durchzuführen. Da diese Austauschraten neben denen den Austauschprozess begleitenden Abbauvorgängen von Nitrat nur unzureichend bekannt sind und oft auch von den spezifischen regionalen Gegebenheiten abhängen, war es sinnvoll, zumindest exemplarisch dieses Detailwissen für das Oberrheingebiet selbst zu erheben. Die Untersuchungsgebiete lagen alle am südlichen Rand des Projektgebietes (s. Abb. 4.1.1): Lange Erlen (Wieseebene), Birstal und Muttenz-Pratteln. Für alle 3 Gebiete wurden Grundwassermodelle mit einer sehr hohen raumzeitlichen Auflösung erstellt. Detaillierte Piezometermessungen und umfangreiche hydro-chemische Untersuchung im Fluss- wie im Grundwasser ließen sehr genaue Rückschlüsse auf den Austausch von Fluss- und Grundwasser zu. Hierbei konnte u.a. eine hohe zeitliche Variabilität der Durchlässigkeit der Flusssohle festgestellt werden: Kolmations- und Dekolmationsphasen wechseln sich ab in Abhängigkeit von Abflussgeschehen im Fließgewässer.

Weitergehende Informationen hierzu finden sich im Kapitel 2 des Berichtes B und in den jeweiligen Teilprojektberichten.

doivent être analysées différemment en fonction de leur voie d'entrée ou de sortie (lessivage). A l'aide de mesures isotopiques détaillées et de l'analyse d'autres éléments dissous, le chemin des nitrates dans le sous-sol a pu être identifié pour plusieurs surfaces différentes (forêt / prairie / surface agricole / terrain de sport).

La mesure directe des nitrates dans l'eau du sol dans des sites à l'utilisation connue (« parcelles d'essai »), ainsi que la possibilité d'enregistrer de façon détaillée les entrées de fertilisants, la teneur en nitrates du sol (N<sub>min</sub>) et le développement de la biomasse, nous ont permis d'évaluer de façon critique les résultats de calcul d'un modèle de simulation à base physique (dans le sens d'une validation partielle du modèle). Les échanges nappe-rivière soutiennent la recharge de la nappe de façon prépondérante dans la zone intérieure du projet. Les apports latéraux provenant de la Forêt-Noire et des Vosges proviennent principalement de cours d'eau qui abandonnent leurs eaux dans le sous-sol. Ce processus entraîne une forte réduction de la concentration en nitrates des eaux souterraines à proximité des cours d'eau. Dans les quelques zones où le toit de la nappe se trouve à faible profondeur, ce sont au contraire les cours d'eau qui drainent la nappe. La connaissance des vitesses réelles des échanges nappe-rivière représente ainsi une grandeur décisive dans le but d'effectuer une simulation des eaux souterraines aussi proche de la réalité que possible. La vitesse de ces échanges et les processus de dénitrification n'étant pas suffisamment bien connus, et dépendant de plus des caractéristiques régionales spécifiques, il était utile d'étudier ces aspects de détail (au moins à titre d'exemple) pour la vallée du Rhin supérieur dans le cadre du projet. Les zones d'étude étaient toutes situées à la limite Sud de la zone du projet (voir Fig. 4.1.1) : Lange Erlen (plaine de la Wiese), Birstal et Muttenz-Pratteln. Pour chacune de ces trois régions, un modèle des eaux souterraines à très haute résolution spatio-temporelle a été construit. Des mesures piézométriques détaillées et un grand nombre d'analyses hydro-chimiques dans les cours d'eau comme dans les eaux souterraines ont permis d'établir des conclusions très précises sur les échanges nappe-rivière. On a ainsi pu établir entre autres la très forte variabilité temporelle de la perméabilité du lit des cours d'eau : les phases de colmatage et de décolmatage alternent en fonction des conditions d'écoulement dans le cours d'eau.

Des informations supplémentaires à ce sujet peuvent être trouvées dans le chapitre 2 du rapport B et dans les rapports des sous-projets.

## 4.2 DAS MODELLSYSTEM

### 4.2.1 EINLEITUNG

Die Werkzeuge zur Prognose der zukünftigen Belastung des Grundwassers mit Nitrat im Oberrheingraben sind Modelle unterschiedlicher Konzeption und räumlicher bzw. zeitlicher Diskretisierung. Die Modellauswahl erfolgte im Wesentlichen unter dem Aspekt der Datenverfügbarkeit (raum-zeitliche Auflösung) und technischen Umsetzbarkeit. Verwendung fanden numerische Simulationsmodelle (GWN\_BW, MODFLOW mit Zusatzmodulen, STICS), ein Optimierungsmodell (Sozioökonomie), ein Bilanzmodell (STOFFBILANZ) und ein Regressionsmodell (zur Ermittlung von monatlichen Zuflüssen).

Mit Hilfe dieser Modelle können im Wesentlichen folgende Zusammenhänge abgebildet werden:

- Einfluss sozioökonomischer Faktoren (auf Betriebsebene bzw. für landwirtschaftliche Einheiten) auf die Landnutzungsmuster
- Die Abhängigkeit der Nitratbelastung von Landnutzungsmuster und Bewirtschaftungspraxis
- Der Einfluss der Oberflächengewässer und der lokalen Grundwasserneubildung auf die Nitratverteilung im Grundwasser (Verdünnungseffekt)
- Der Einfluss von Aquifergeometrie (Mächtigkeit, Durchlässigkeit) und Nitratabbau (in Sauerstoffarmen Bereichen) auf die Nitratverteilung im Grundwasser.

Die Modelle lassen sich einzelnen Modulen (Sozioökonomie, Stickstoffeintrag und Grundwasser) zuordnen. Die Modelle sind untereinander mehr oder weniger eng gekoppelt. Der Austausch von Information über Modulgrenzen hinweg erfolgt über gemeinsame Datenformate. Im Folgenden sollen die einzelnen Module einschließlich der darin verwendeten Modellansätze kurz beschrieben werden.

### 4.2.2 MODUL SOZIOÖKONOMIE:

Das sozioökonomische Modul dient in erster Linie der Prognose der zukünftigen Entwicklung landwirtschaftlich genutzter Flächen. Hierfür wird die Reaktion der Landwirte auf veränderte Rahmenbedingungen («Driving forces = Einflussfaktoren») mit Einzel-Modellen für typische landwirtschaftliche Betriebe simuliert.

## 4.2 LE SYSTÈME DE MODÈLES

### 4.2.1 INTRODUCTION

Les outils de prévision de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin supérieur sont constitués de modèles fondés sur des conceptions et des modes de discrétisation spatiale et temporelles différents. La sélection des modèles a principalement été effectuée en fonction de la disponibilité des données (résolution spatiale et temporelle) et de la mise en œuvre technique. On a ainsi utilisé des modèles de simulation numérique (GWN\_BW, MODFLOW avec des modules additionnels, STICS), un modèle d'optimisation (Socio-économie), un modèle de bilan (STOFFBILANZ) et un modèle de régression (pour la détermination des apports latéraux mensuels).

Dans les grandes lignes, ces modèles permettent de simuler les relations suivantes :

- L'influence des facteurs socio-économiques (à l'échelle des exploitations ou des unités agricoles) sur l'assolement
- L'influence de l'assolement et des pratiques agricoles sur la pollution par les nitrates
- L'influence des cours d'eau et de la recharge locale de la nappe sur la distribution des nitrates dans les eaux souterraines (effet de dilution)
- L'influence de la géométrie de l'aquifère (épaisseur, perméabilité) et de la dénitrification (dans les zones pauvres en oxygène) sur la distribution des nitrates dans les eaux souterraines.

Les modèles sont constitués de modules séparés (socio-économie, entrées de nitrates, eaux souterraines). Les modèles sont plus ou moins couplés entre eux. L'échange d'informations entre les modules s'effectue par le biais de formats de données communs. Les différents modules ainsi que les principes de modélisation utilisés sont brièvement décrits ci-dessous.

### 4.2.2 MODULE SOCIO-ÉCONOMIE:

Le module socio-économie sert en premier lieu à prévoir l'évolution future de la surface agricole utile. Dans ce but, la réaction des exploitants agricoles à des modifications de conditions globales (« Forces Motrices = facteurs d'influence) est simulée à l'aide de différents modèles d'exploitations types.

Deshalb wurde zuerst eine Typologie der Betriebe auf der badischen und elsässischen Seite durchgeführt. Für einen Großteil der Betriebstypen wurde jeweils ein eigenes Modell mit Hilfe linearer Programmierung (LP) erstellt. Diese Modelle typischer Betriebe wurden auf der Basis von Betriebinterviews ausgewählter repräsentativer Betriebe, der Typologie und auf der Basis statistischer Daten erstellt. Mit Hilfe dieser mikro-ökonomischen Modelle wurde die Reaktion der Landwirte auf geänderte Rahmenbedingungen simuliert. Das **Modellergebnis** ist die Folge einer Einkommensoptimierung (Maximierung) unter Zwangsbedingungen, die für jeden Typ jeweils charakteristisch sind. Das Risiko jeder Aktivität und die individuelle Risikoabneigung eines Betriebes finden dabei Berücksichtigung. In den Modellen reagieren die Landwirte im Rahmen:

- technischer Zwänge (Ackerfläche, Quotenbestände, strukturelle Charakterisierung),
- gesetzlicher Regelungen und Vorschriften
- wirtschaftlicher Bedingungen (Deckungsbeiträge / Kosten).

Die LP-Modelle, welche die Produktionsauswahl jeder der repräsentativen Betriebe simulieren, wurden auf Betriebsebene kalibriert. Dazu wurden die Simulationsergebnisse mit den realen Nutzungsmustern verglichen. Die Modelle wurden unter Benutzung eines mathematischen Lösungsalgorithmus (MLP) softwaretechnisch implementiert. Eine eigene Simulationsumgebung wurde in Visual Basic realisiert. Diese erlaubt wiederholte Simulationsläufe für eine große Bandbreite an Eingangsparameterwerten. Verschiedene Szenarien wurden in Zusammenarbeit mit Landwirtschaftsexperten erstellt.

Jedes Szenario wurde einzeln simuliert und analysiert. Die resultierende Landnutzungsverteilung wurde für jede Landwirtschaftsregion ermittelt und dann auf das Projektgebiet übertragen. Sie dient als Eingabegröße für das Modell STOFFBILANZ. Weitere Ausgaben des Modells sind Höhe des Einkommens, Wert der gesamten Produktion, Niveau von Düngung, Wasser- und Energieverbrauch.

#### 4.2.3 MODUL STICKSTOFFEINTRAG:

Eine Stickstoffbilanz für das gesamte Projektgebiet wurde auf der Grundlage des Bilanzmodells STOFFBILANZ (GEBEL, 2003) realisiert. Der Ansatz von STOFFBILANZ erweitert den weit verbreiteten Flächenbilanzansatz um

C'est pourquoi une typologie des exploitations des cotés badois et alsacien a été établie dans un premier temps. Pour chaque type d'exploitation, un modèle a été construit à l'aide de la programmation linéaire (PL). Ces modèles d'exploitations types ont été établis à partir d'exploitations représentatives (sélectionnés par le biais d'enquêtes), de la typologie, et de données statistiques. Ces modèles micro-économiques ont permis de simuler la réaction des exploitants à des modifications des conditions globales. Le résultat de la modélisation est guidé par l'optimisation des revenus (maximisation), en présence de contraintes caractéristiques à chaque type d'exploitation. Le risque de chaque activité ainsi que l'aversion pour les risques d'une exploitation donnée sont ainsi considérés. Au sein du modèle, les agriculteurs réagissent en fonction de :

- contraintes techniques (surface des terres, quotas, caractéristiques structurelles)
- réglementations et prescriptions
- conditions économiques (marges brutes, coûts).

Les modèles PL simulant les choix de production de chacune des exploitations représentatives ont été calibrés à l'échelle des exploitations. Pour cela, les résultats des simulations ont été comparés avec les assolements réels. Les modèles PL ont été résolus à l'aide d'un algorithme mathématique automatisé. Un environnement de simulation propre a été réalisé dans Visual Basic. Celui-ci permet d'effectuer des simulations répétées pour une large gamme de valeurs de paramètres d'entrée. Différents scénarios ont été établis en collaboration avec des experts agricoles. Chaque scénario a été simulé et analysé individuellement. L'assolement qui en résulte a été calculé pour chaque région agricole puis transféré à l'ensemble de la zone du projet. L'assolement sert de donnée d'entrée au modèle STOFFBILANZ. Le modèle fournit également le niveau de revenus, la valeur de la production totale, les niveaux d'utilisation de fertilisants, d'eau et d'énergie.

#### 4.2.3 MODULE D'ENTRÉE D'AZOTE :

Un bilan d'azote a été effectué pour la totalité de la zone du projet sur la base du modèle de bilan STOFFBILANZ (Gebel, 2003). L'approche de STOFFBILANZ s'appuie sur le principe largement répandu du bilan surfacique, mais

eine Komponente, die den Stickstoffkreislauf im Boden vereinfacht abbildet. Berücksichtigt werden im Modell die folgenden Quellen- und Senken:

#### Quellen:

- Kulturartbezogene Düngung (mineralisch)
- Anfall von Wirtschaftsdünger (errechnet aus Viehbesatzdichte unter Berücksichtigung von Lagerungs- und Ausbringungsverlusten)
- Atmosphärische Deposition (nach EMEP, 2003)
- Symbiotische Fixierung
- Mineralisation aus Bodenhumus und organischem Dünger
- Mobilisierung von Stickstoff aus Ernterückstände
- 

#### Senken:

- Ernteentzug (Abfuhr)
- Rückstände (Fixierung)
- Denitrifikation in Abhängigkeit von Bodenart und Bodentyp

Die räumliche Auflösung in STOFFBILANZ beträgt 500m im inneren Projektgebiet und 1000m im äußeren Projektgebiet. Jeder Zelle wird mit der (auf ihr dominierenden) Hauptnutzungsform belegt:

- Acker, Grünland, Weinbau, Obstbau, Laubwald, Nadelwald, Siedlung, Devastierung, Gewässer

Ackerzellen erhalten zusätzlich die Gemeinde-spezifische Agrarstatistik (Kulturarten) als Nutzungsinformation. Die Stickstoffbilanz für die Ackerzelle ergibt sich dann als flächengewichtetes Mittel der kulturartspezifischen Bilanzen.

Bei STOFFBILANZ handelt es sich nicht um ein Simulationsmodell sondern um eine Datenbankanwendung. Alle Eingangsgrößen und Bilanzteile werden in Tabellenform vorgehalten. Die resultierende Stickstoffbilanz stellt ein langjähriges Mittel dar. Eine räumliche Variabilität kann nur dann abgebildet werden, wenn die entsprechenden Daten räumlich aufgelöst vorliegen. Erträge oder Düngereinsatz lagen jedoch meist nur als Gebietsmittelwert vor. Bodendaten wurden in hoher räumlicher Auflösung verwendet. Mit STOFFBILANZ wurden Stickstoffbilanzen für die Jahre 1980, 1990 und 2000 erstellt.

elle comprend une composante supplémentaire qui simule de façon simplifiée le cycle de l'azote dans le sol. Les sources et puits suivants sont examinés au sein du modèle :

#### Sources :

- Fertilisation (minérale) par culture
- Apports de déjections animales (déterminé d'après la densité de bétail en prenant en compte les pertes pendant stockage et pendant épandage)
- Dépôts atmosphériques (d'après EMEP, 2003)
- Fixation symbiotique
- Minéralisation à partir de l'humus du sol et de la fertilisation organique
- Mobilisation de l'azote à partir des résidus de récolte

#### Puits :

- Exportation par la récolte (enlèvement)
- Résidus (fixation)
- Dénitrification en fonction de la texture et du type de sol

La résolution spatiale de STOFFBILANZ est de 500 m dans la « zone intérieure » du projet et de 1000 m dans la « zone extérieure ». La forme dominante d'utilisation principale du sol est attribuée à chaque cellule :

- Terres arables, prairie, vignoble, production fruitière, forêt décidue, forêt de conifères, zones d'habitation, friches, cours d'eau

Les cellules de la catégorie « terres arables » comportent des informations supplémentaires sur l'occupation du sol provenant de la statistique agricole au niveau des communes (côté D) et des cantons (côté F) (type de cultures). Le bilan d'azote pour ces cellules est ainsi constitué de la moyenne pondérée (en fonction de la surface) des bilans de chacune des cultures.

Il ne s'agit pas dans le cas de STOFFBILANZ d'un modèle de simulation mais de l'utilisation d'une banque de données. Toutes les données d'entrée et tous les composants du bilan se trouvent sous forme de tableaux. Le bilan d'azote résultant représente une moyenne sur une année entière. La variabilité spatiale ne peut être reproduite que si les données correspondantes sont disponibles à la résolution spatiale adéquate. Cependant, les rendements ou les apports de fertilisants n'étaient la plupart du temps disponibles que sous forme de valeurs moyennes pour une région donnée. Les données de sol ont été utilisées à

Zentrale Fragen zur Bewirtschaftungspraxis (Handlungsoptionen) und der Einfluss der Klimavariabilität und der Bodeneigenschaften auf das Pflanzenwachstum wurden mit Hilfe des Simulationsmodell STICS (BRISSEAU ET AL., 2003) untersucht. Bei STICS handelt sich um 1-dimensionales prozess-orientiertes Simulationsmodell für das System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Im Modell abgebildet werden mehr oder weniger detailliert die folgenden Prozesse (in Klammer die verwendeten Modellausgaben):

- Wasserhaushalt in Boden und Pflanze (Sickerwassermenge)
- Stickstoffhaushalt in Boden und Pflanze (N-Austrag über das Sickerwasser)
- Pflanzenwachstum (Erträge und N-Gehalt der geernteten Pflanzenteile)

Als Bodenparameter gehen im Wesentlichen die nutzbare Feldkapazität, der Steingehalt und der Humus-, Ton und Kalkgehalt des obersten Horizontes ein.

Für einige Pflanzen standen speziell für den Oberrheingraben angepasste Pflanzenmodelle zur Verfügung. Verwendung fanden aufgrund der Dominanz diese Kulturarten im Oberrheingebiet die Modelle für Winterweizen und Körnermais in beliebiger Fruchtfolge.

Als äußere Randbedingungen wurden Klimazeitreihen für die Jahre 1985-2002 in fünf nach der Jahresniederschlagssumme unterschiedenen Klimazonen verwendet.

Die Übertragung der Simulationsergebnisse von STICS in die Fläche erfolgte über STOFFBILANZ.

An das Grundwassermodul wurden von STOFFBILANZ jeweils die Nitratfrachten für die Zeitpunkte 1980, 1990, 2000 und alle mit STICS simulierten Handlungsoptionen übergeben.

#### 4.2.4 MODUL GRUNDWASSER:

Auf der Grundlage eines 3-dimensionalen hydrogeologischen Modells des Oberrheinaquifers wurde mit Hilfe von MODFLOW2000 (HARBAUGH ET AL., 2000, USGS, 2006) und der Zusatzmodule („packages“) MT3D (Simulation von Transport und Abbau von Nitrat im Grundwasser) und STREAM (hydro-dynamische Beschreibung

une résolution spatiale supérieure. STOFFBILANZ a permis d'établir des bilans d'azote pour les années 1980, 1990 et 2000.

Les questions majeures relatives aux pratiques d'exploitation (options d'action) et à l'influence de la variabilité climatique et des caractéristiques pédologiques sur la croissance des végétaux ont été étudiées à l'aide du modèle de simulation STICS (Brisseau et al., 2003). STICS est un modèle à bases physiques unidimensionnel permettant l'étude du système sol-plante-atmosphère. Le modèle simule de manière plus ou moins détaillée les processus suivants (les sorties du modèle utilisées sont indiquées entre parenthèses) :

- teneur d'eau dans le sol et dans la plante (quantité d'eau de percolation)
- teneur d'azote dans le sol et dans la plante (lessivage de l'azote par les eaux de percolation)
- Croissance des végétaux (rendements et teneur en azote des parties de la plante récoltées)

Les principaux paramètres pédologiques sont la réserve utile, la teneur en cailloux, ainsi que la teneur en humus, argile et calcium de l'horizon supérieur.

Pour quelques plantes, des modèles de plantes spécialement adaptées pour le Fossé rhénan étaient disponibles. Les modèles de plantes « maïs grain » et « blé d'hiver » ont été utilisés avec différentes rotations, en raison de la dominance de ces cultures dans la région du Rhin Supérieur.

En tant que conditions aux limites, on a eu recours à des séries climatiques pour les années 1985-2005 dans 5 zones climatiques distinguées d'après les sommes des précipitations annuelles.

La spatialisation des résultats de simulation de STICS a été effectuée dans STOFFBILANZ.

Les charges de nitrates calculées avec STOFFBILANZ pour les années 1980, 1990 et 2000, ainsi que toutes les options d'action simulées avec STICS ont été fournies au module des eaux souterraines.

#### 4.2.4 MODULE EAUX SOUTERRAINES :

Les processus majeurs des eaux souterraines dans le Fossé rhénan ont été simulés sur la base d'un modèle hydrogéologique tridimensionnel de l'aquifère du Rhin supérieur à l'aide de MODFLOW2000 (Harbaugh et al., 2000, USGS, 2006), du module supplémentaire (« packages ») MT3D (simulation du transport et de la dénitrification dans les

des Abflusses in Oberflächengewässern einschl. Austausch Fluss-Grundwasser) die wesentlichen Prozesse im Grundwasser des Oberrheingrabens simuliert. Die räumliche Auflösung betrug horizontal 100m. Vertikal wurden jeweils 10 Schichten variabler Mächtigkeit unterschieden. Die monatliche Grundwasserneubildung und die Randzuströme aus Schwarzwald und Vogesen wurde mit Hilfe des Modells GWN\_BW (Grundwasserneubildung) und einem im Rahmen des Projektes entwickelten Regionalisierungsansatz für die Oberflächengewässer ermittelt. Das Modell GWN\_BW bildet 1-dimensional den Wasserhaushalt des Systems Boden-Pflanze-Atmosphäre ab (MENZEL, 1997, ARMBRUSTER, 2002). Es enthält ein vorgeschaltetes Modul zur flexiblen räumlichen, Relief- und Expositionsabhängigen Interpolation von Klimadaten. Mit Hilfe dieses Moduls wurden Klimazeitreihen (Tageswerte) von verschiedenen Datenlieferanten im Projektgebiet interpoliert und auf verschiedene Zeitschritte aggregiert. Verwendung fanden dabei Klimadaten der folgenden Institutionen:

- Deutscher Wetterdienst (DWD), Meteo France, Meteo Schweiz, DRAF-SRPV Alsace, UMEG

Das Modell wurde in einer räumlichen Diskretisierung von 500m eingesetzt. Der Einfluss der unterschiedlichen Landnutzungen auf die Wasserbilanz wurde auf jeder Zelle entsprechend ihres Flächenanteils berücksichtigt.

Durch die ungesättigte Zone kommt es in Abhängigkeit von Substrat, Deckschichtenmächtigkeit und Sickerwasserrate zu einer zeitlichen Verzögerung der Zusickerung ins Grundwasser. Diese Verweilzeit wurde für das gesamte innere Projektgebiet abgeschätzt und in den Zeitreihen für den Stickstoffeintrag berücksichtigt.

Ein Regionalisierungsansatz für die Oberflächengewässer wurde zur Erzeugung monatlicher Zuflussganglinien für alle den Rand des inneren Projektgebietes schneidenden Gewässer verwendet. Er arbeitet auf der Basis monatlicher Niederschlagszeitreihen und einer gebietsspezifischen Regressionsbeziehung zwischen Abfluss und mehreren Gebietskenngrößen (Formfaktoren, Landnutzung und Landschaftsfaktoren). Die Regressionsbeziehungen wurden für alle mit Pegeln ausgestatteten Zuflüsse aus Schwarzwald und Vogesen kalibriert.

Die Nitratverteilung im Grundwasser stellt das eigentliche Simulationsergebnis im Projekt dar. Diese Daten wurden

eaux souterraines) et de STREAM (description hydrodynamique de l'écoulement dans les cours d'eau, y compris les échanges nappe-rivière). La résolution spatiale horizontale était de 100 m. Verticalement, 10 couches d'épaisseur variable ont été différenciées.

La recharge de la nappe à un pas de temps mensuel a été déterminée à l'aide du modèle GWN\_BW ; les apports latéraux en provenance de la Forêt-Noire et des Vosges ont été estimés en utilisant une approche de régionalisation développée dans le cadre du projet. Le modèle GWN\_BW simule de façon unidimensionnelle le cycle de l'eau du système sol-plante-atmosphère (Menzel, 1997, Armbruster, 2002). Il comprend en amont un module permettant l'interpolation de données climatiques en fonction de caractéristiques spatiales, de relief et d'exposition. A l'aide de ce modèle, des séries climatiques (valeurs journalières) provenant de différents fournisseurs de données dans la zone du projet ont été interpolées et agrégées à divers pas de temps. Des données climatiques des institutions suivantes ont été exploitées :

- Service Météorologique Allemand (Deutscher Wetterdienst, DWD), Météo France, Meteo Schweiz, DRAF-SRPV Alsace, UMEG

Une résolution spatiale avec des mailles de 500 m a été mise en place pour le modèle. L'influence de diverses utilisations du sol sur le bilan de l'eau a été prise en compte pour chaque cellule en fonction de sa surface relative.

L'eau de percolation drainant la zone non saturée parvient aux eaux souterraines avec un certain délai, qui est fonction du substrat, de l'épaisseur de la couche supérieure et de la vitesse de percolation. Ce délai a été estimé pour l'ensemble de la zone intérieure du projet et pris en compte dans les séries temporelles relatives aux entrées d'azote.

Une approche de régionalisation a été utilisée pour calculer le cours mensuel des apports latéraux par tous les cours d'eau traversant les limites de la zone intérieure du projet. Cette approche fonctionne sur la base de séries mensuelles de précipitations, et d'équations de régression par zone qui permettent d'estimer l'écoulement en fonction de plusieurs grandeurs caractéristiques propres à la zone concernée (facteurs morphologiques, utilisation du sol et facteurs paysagers). Ces régressions ont été calibrées à l'aide de tous les affluents provenant de la Forêt-Noire et des Vosges équipés de piézomètres.

La distribution des nitrates dans les eaux souterraines constitue le résultat de simulation réel du projet. Ces



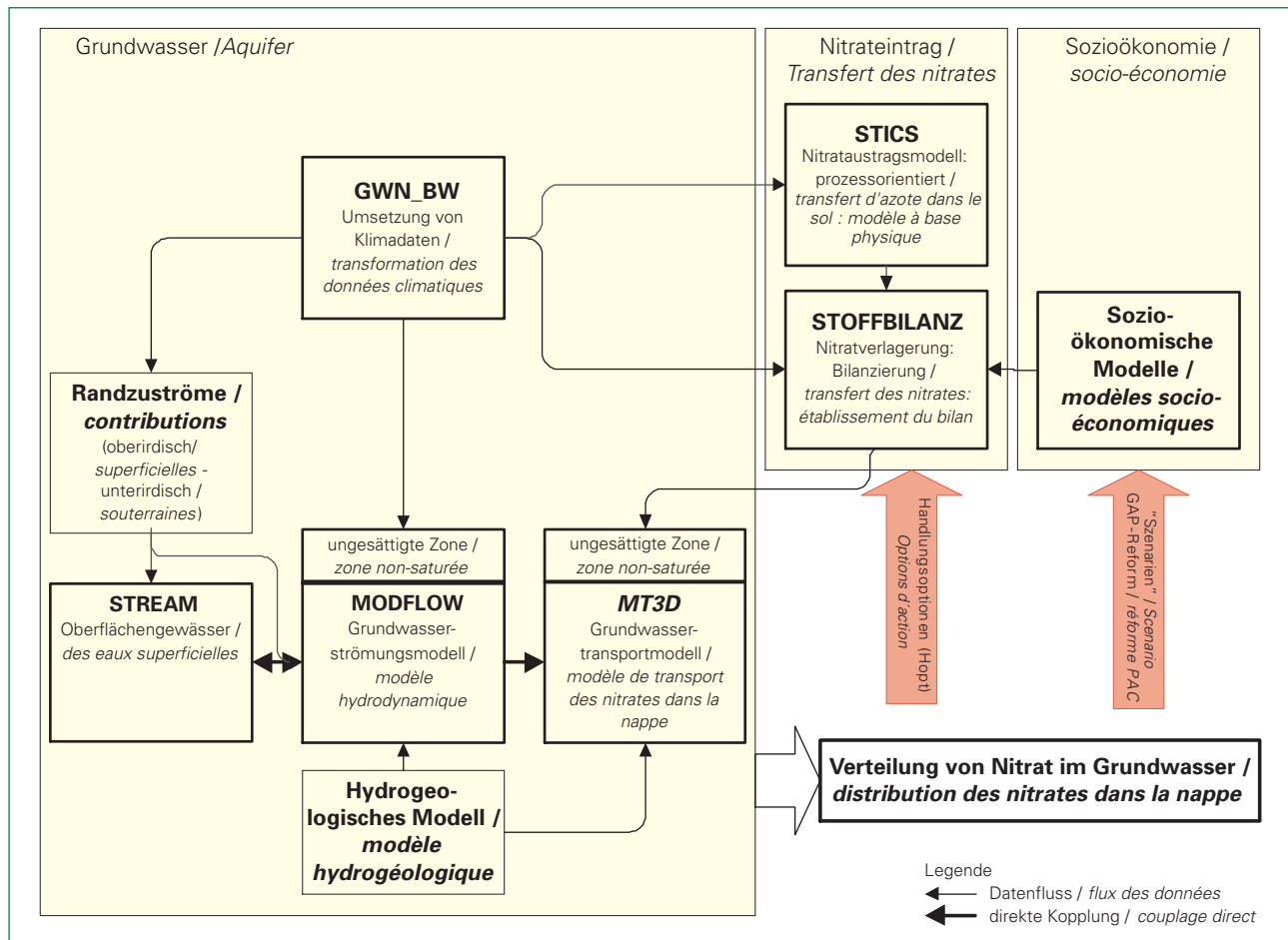


Abbildung 4.2.1: Kopplung der Teilmodelle und Datenfluss  
Figure 4.2.1 : Couplage des modèles et flux des données

zur räumlichen (Nitratfrachten und Nitratkonzentrationen) und zur punktuellen Darstellung (Zeitreihen an Messstellen bzw. Gewässerknoten) verwendet.

Die im Projekt realisierte Kopplung der Modelle und der Datenfluss zwischen den Einzelmodellen ist in Abbildung 4.2.1 dokumentiert.

#### 4.2.5 SIMULATIONSERGEBNIS: EPIGNOSE

Die valide Simulation der historischen und aktuellen Nitratbelastung des Grundwassers bildet die Grundlage für Prognosen möglicher künftiger Entwicklungen innerhalb verschiedener Maßnahmenprogramme. Wichtige Basis dafür waren Abschätzungen und Annahmen über alle Zuflussrand- und -anfangsbedingungen für das Grundwasser. Obwohl diese ausführlich in den Teilprojektberichten beschrieben werden, sollen hier zwei wichtige Karten, die in den folgenden Kapiteln als Vergleichsbasis genutzt werden, kurz vorgestellt werden (Abb. 4.2.3).

données ont été utilisées à des fins de représentation spatiale (charges et concentrations en nitrates) et ponctuelle (séries temporelles à des stations de mesures ou aux confluences de cours d'eau).

Le couplage des modèles ainsi que les flux de données entre modèles réalisés au cours du projet sont détaillés dans la figure 4.2.1.

#### 4.2.5 RÉSULTAT DE SIMULATION : SIMULATION HISTORIQUE

La simulation validée de la pollution passée et présente des eaux souterraines par les nitrates constitue la base de la simulation d'évolutions futures possibles au sein de différents programmes de mesures. Dans ce cadre, des estimations et des hypothèses concernant les conditions aux limites des apports latéraux et de la situation initiale ont constitué une base importante. Bien qu'elles soient décrites en détail dans les rapports des sous-projets, nous présentons ici brièvement deux cartes qui serviront de base de comparaison dans le chapitre suivant (Fig. 4.2.3).

Die an der eingetragenen Masse gemessen größte Komponente ist der Stickstoffeintrag aus der Bodenzone mit der Grundwasserneubildung. Dazu wurde anhand der Nitratbilanzmodellierung für 1980, 1990 und 2000 der flächenhafte Nitratreintrag über die Geländeoberfläche in Form einer Stickstofffracht ermittelt. Zusätzlich erfolgte auch eine grobe Abschätzung des Stickstoffeintrags für 1950. (Abb. 4.2.2.a).

Die Stickstofffracht wurde für alle vier Zeitpunkte anhand der mittleren Grundwasserneubildungsverteilung jeweils in eine Nitratkonzentrationsverteilung umgerechnet. Zwischen den oben genannten Jahren wurde die Nitratkonzentration linear interpoliert. Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag wurde mit der interpolierten Zuflusskonzentration im Modellgebiet belegt, wobei die Verweilzeit in der ungesättigten Zone jeweils mitberücksichtigt wurde. Daraus ergibt sich der in Abbildung 4.2.2.b dargestellte Verlauf der zufließenden Nitratfracht im numerischen Modell.

Die Anfangsverteilung im Aquifer wurde durch einen 30-jährigen Modellvorlauf mit der für 1950 abgeschätzten Nitratreintragsverteilung ermittelt (da in Gebieten mit reduzierendem Milieu und den tieferen Aquiferbereichen weitgehend nitratfreie Verhältnisse vorliegen, wäre eine homogene Nitratanfängskonzentration nicht realistisch).

L'azote sortant du sol et transporté par l'eau de percolation représente la plus importante composante d'entrée dans les eaux souterraines en termes de masse. Sur la base d'une modélisation du bilan d'azote sur l'ensemble des surfaces du territoire, les entrées spatialisées de nitrates ont été calculées pour les années 1980, 1990 et 2000, sous forme d'une charge en azote. De plus, une estimation approximative des entrées d'azote en 1950 a également été effectuée (Fig. 4.2.2.a).

Pour chacune des 4 années, la charge en azote a été convertie en une distribution des concentrations en nitrates à partir de la distribution moyenne de la recharge de la nappe. Les concentrations en nitrates ont été interpolées linéairement entre les années indiquées ci-dessus. Les concentrations interpolées dans les affluents dans la zone de modélisation ont été superposées à la recharge de la nappe à partir des précipitations, en prenant en compte le délai dû au temps de résidence dans la zone non saturée. L'évolution de la recharge en nitrates qui en résulte et qui est transmis au modèle numérique est présentée dans la figure 4.2.2.b.

La distribution initiale au sein de l'aquifère a été calculée par le biais d'une modélisation sur 30 ans intégrant la distribution des entrées de nitrates estimée pour l'année 1950 (car les zones à milieu réducteur et les parties les plus profondes de l'aquifère étant souvent exemptes de nitrates, une concentration initiale en nitrates homogène

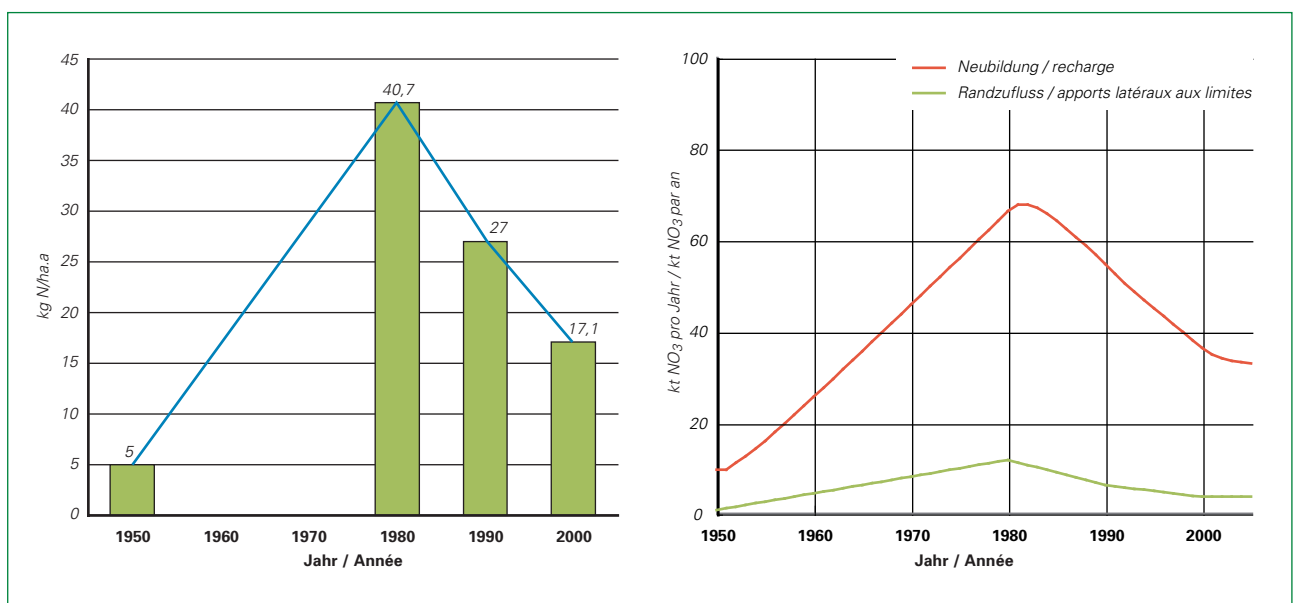


Abbildung 4.2.2: (a) Stickstoffeintrag im inneren Projektgebiet, Mittelwerte über alle Landnutzungen für vier Zeitpunkte, (b) Zeitlicher Verlauf des Nitratreintrags über die Grundwasserneubildung und den unterirdischen Randzustrom

Figure 4.2.2 : (a) Entrées d'azote dans la « zone intérieure » du projet, valeurs moyennes pour toutes les utilisations du sol pour quatre années différentes, (b) Évolution des entrées de nitrates liées à la recharge de la nappe et aux écoulements souterrains aux limites

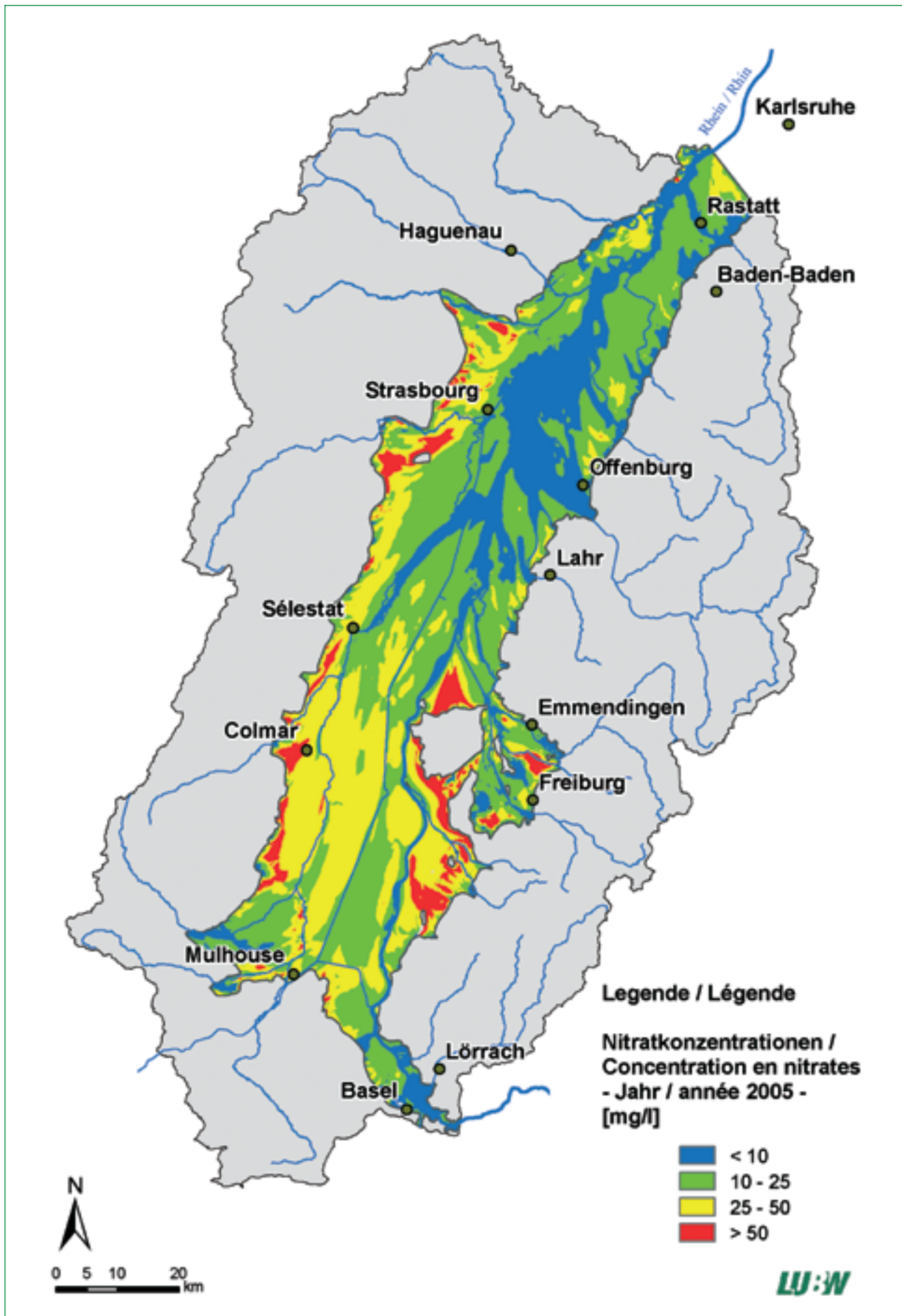


Abb. 4.2.3: Berechnete Konzentrationsverteilung im Grundwasser im Jahr 2000, inneres Projektgebiet, Schicht 0-10m  
 Fig. 4.2.3 Distribution des concentrations dans les eaux souterraines en 2000, « zone intérieure » du projet, couche 0-10 m.

Im numerischen Modell liegen damit bereits 150 kt Nitrat im Grundwasserleiter des Untersuchungsraums zu Beginn der Simulation (1950) vor.

Die anderen Randbedingungen wurden als konstant angesetzt.

Die wichtigsten flächenhaften Simulationsergebnisse für das Jahr 2000 sind in Abbildung 4.2.3 dargestellt: Der flächenhafte Nitratreintrag über die Bodenzone und die errechnete Nitratkonzentrationen im Grundwasser in der Schicht 0-10m unter Grundwasseroberfläche.

#### 4.3 ABSCHÄTZUNG DER BILANZÜBERSCHÜSSE

Um die derzeitige Belastung im Grundwasser abschätzen zu können, werden flächendeckende Daten zum N-Eintrag benötigt. Die Daten sollten zum einen räumlich möglichst differenziert sein, zum anderen auch den N-Eintrag in seiner **historischen Entwicklung**, etwa der letzten 25 Jahre, abbilden. Somit erfolgten Abschätzungen des N-Eintrags für die Zeitpunkte 1980, 1990 und 2000. Die Ergebnisse für 2000 dienen gleichzeitig als **Referenzzustand**, auf den die Wirksamkeit verschiedener Handlungsoptionen (vgl. Kap. 7) und Szenarien (vgl. Kap. 6) bezogen wird.

Zur Abschätzung des N-Eintrags wurden Bilanzüberschüsse auf der Grundlage des Modells STOFFBILANZ (Gebel, 2003) anhand von **Flächenbilanzen** für die Hauptnutzungsformen Ackerland, Grünland, Weinbau, Obstbau, Wald, Siedlung und Gewässer abgeschätzt (vgl. Kap. 4.2.3). Die Bilanzüberschüsse über **alle Hauptnutzungsformen** verringern sich für das innere Projektgebiet von 41 kg N/ha zum Zeitpunkt 1980 über 27 kg für 1990 auf 17 kg N/ha zum Zeitpunkt 2000 (Abb. 4.3.1). Für das deutsche und französische Teilgebiet ist das Niveau sehr ähnlich, während das Schweizer Teilgebiet etwas darunter liegt.

Der deutliche Rückgang des N-Austrags, der durch STOFFBILANZ berechnet wird, ist damit zu erklären, dass sich die Überschüsse auf der **ackerbaulich** genutzten Fläche in diesem Zeitraum mehr als halbiert haben, bei gleichzeitig hohem Flächenanteil von 50 % bzw. 49% an der Gesamtfläche im inneren Projektgebiet (Tab. 4.3.1). Für 1980 wurde ein N-Überschuss auf der Ackerfläche von 69 kg N/ha abgeschätzt, für 1990 noch 44 kg N/ha und 2000 noch 29

n'aurait pas été réaliste). Ainsi, l'aquifère dans la zone d'étude contient déjà 150 kt de nitrates au début de la simulation avec le modèle numérique (1950).

Les autres conditions aux limites sont intégrées sous forme de constantes.

Les résultats de simulation spatialisés les plus importants pour l'année 2000 sont présentés dans la figure 4.2.3 : il s'agit des entrées spatialisées de nitrates sortant du sol (par lessivage), ainsi que des concentrations en nitrates calculées dans les eaux souterraines dans la couche 0-10 m sous le toit de la nappe.

#### 4.3 ESTIMATION DES EXCÉDENTS DE BILAN

Pour pouvoir estimer la pollution actuelle de la nappe, il est indispensable de disposer de données d'entrées d'azote assurant une bonne couverture de la zone d'étude. Ces données se devaient d'être d'une part très bien différenciées spatialement, et de fournir de l'autre une image fidèle de l'évolution historique des entrées d'azote (couvrant approximativement la période des 25 dernières années). Aussi avons-nous procédé à une estimation des entrées d'azote au titre des années 1980, 1990 et 2000. Les résultats de 2000 servent également d'état de référence, auquel sera rapportée l'efficacité des différentes options d'action (cf. Chap. 7) et des scénarios (cf. Chap. 6).

Les entrées d'azote estimées correspondent aux excédents de bilan issus du modèle STOFFBILANZ (Gebel, 2003), sur la base de bilans surfaciques pour les occupations du sol « terres arables, prairies, vignoble, production fruitière, zones urbanisées et eaux de surface » (cf. chap. 4.2). Les excédents de bilan sur l'ensemble des occupations du sol passent pour la zone intérieure du projet de 41 kg N/ha en 1980 à 27 kg en 1990, puis à 17 kg N/ha en 2000 (Fig. 4.3.1). Les sous-parties allemande et française présentent des niveaux sensiblement identiques, tandis que le niveau de la sous-partie suisse est légèrement inférieur.

La réduction sensible du lessivage simulé par STOFFBILANZ s'explique notamment par une réduction de plus de moitié des excédents sur les surfaces de terres arables sur la même période, alors que leur part relative reste inchangée et élevée (50 % et 49% de la surface totale de la zone intérieure du projet) (Tab. 4.3.1). Pour l'année 1980, les excédents d'azote pour les terres arables ont été estimés à 69 kg N/ha, pour 1990, à 44 kg N/ha, et pour 2000,

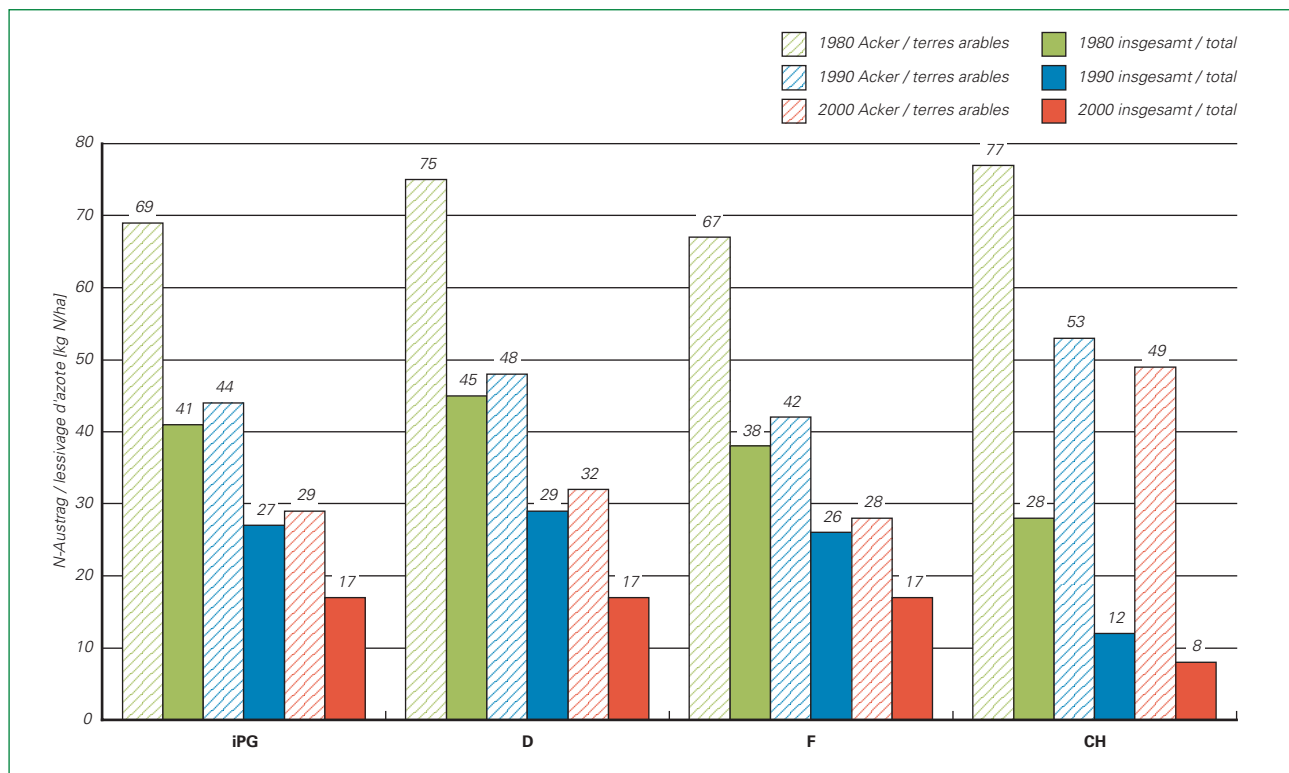


Abbildung 4.3.1: N-Bilanzüberschüsse im inneren Projektgebiet (iPG) für 1980, 1990 und 2000 unter Ackernutzung sowie im Mittel über die Hauptnutzungsformen insgesamt.

Figure 4.3.1 : Excédents de bilan d'azote dans la zone intérieure du projet (iPG) pour les années 1980, 1990 et 2000, pour l'utilisation du sol « terres arables », et en moyenne sur l'ensemble des occupations du sol.

kg N/ha. Bei der länderspezifischen Betrachtung ergibt sich auf der deutschen Seite zwischen 1980 und 1990 ein Rückgang um 27 kg N/ha sowie zwischen 1990 und 2000 ein Rückgang um weitere 16 kg N/ha. Auf französischer Seite ist die Entwicklung sehr ähnlich; der Rückgang beträgt 25 kg N/ha bzw. 14 kg N/ha. Auf Schweizer Seite ist die Trendentwicklung bis 1990 mit einem Rückgang um 24 kg N/ha zunächst ähnlich; zwischen 1990 und 2000 war der Rückgang mit nur 4 kg N/ha schwächer ausgeprägt.

Der stark rückläufige Trend der ackerbaulichen N-Überschüsse von 43% (2000 gegenüber 1980) wird in anderen Arbeiten bestätigt. Z. B. ermitteln Gamer und Zeddies (2005) anhand von Hoftorbilanzen im Gesamtmittel aller Buchführungsbetriebe (Haupt- und Nebenerwerbsbetriebe) Baden-Württembergs einen Rückgang der N-Überschüsse von etwa 30% für das Wirtschaftsjahr 2003/2004 gegenüber 1988/1989. Im Rahmen des INTERREG-III-A-Projektes „Indikatoren“ wurde eine spezifische Auswertung der Buchführungsbetriebe aus der Rheinebene erstellt, die in etwa eine Halbierung der N-Salden seit Mitte der 80er Jahre ergab. Auf französischer Seite zeigt sich ebenfalls ein Rückgang bei den Flächenbilanzsalden, die im Rahmen des Indikatoren-Projektes für die Jahre ab 1989 berechnet wurden.

à 29 kg N/ha. Pour ce qui est de la répartition par pays, on constate côté allemand une réduction de 27 kg N/ha entre 1980 et 1990, ainsi qu'une réduction supplémentaire de 16 kg N/ha entre 1990 et 2000. Côté français, l'évolution est tout à fait similaire, les réductions s'élevant à 25 kg N/ha resp. 14 kg N/ha. Côté suisse, l'évolution jusqu'en 1990 est similaire dans un premier temps, avec une réduction de 24 kg N/ha ; entre 1990 et 2000, la réduction a néanmoins été plus faible, avec seulement 4 kg N/ha.

La tendance à la forte baisse des excédents d'azote dans les terres arables (43% entre 1980 et 2000) a été corroborée par d'autres travaux. Gamer et Zeddies (2005) ont par exemple déterminé, sur la base de bilans d'exploitation sur la moyenne de l'ensemble des exploitations tenues à l'obligation de bilan (exploitations à titre d'activité principale ou secondaire) du Bade-Wurtemberg, une baisse d'env. 30% pour l'exercice 2003/2004 par rapport à l'exercice 1988/1989. Dans le cadre du projet INTERREG IIIA « Indicateurs », une évaluation spécifique de l'ensemble des exploitations tenues à l'obligation de bilan dans la plaine du Rhin a démontré une baisse de moitié environ des soldes d'azote depuis le milieu des années 80. Côté français, on note également une baisse dans les soldes des bilans surfaciques établis dans le cadre du projet « Indicateurs » à partir de 1989.

Tabelle 4.3.1: Länderspezifische Gesamtfläche (ha) sowie Ackerbaufläche (ha) des inneren Projektgebiets (iPG). Anteil der Ackerfläche an Gesamtfläche in %.

Tableau 4.3.1 : Surface totale par pays (ha) et surface de terres arables (ha) de la zone intérieure du projet (iPG). Pourcentage de terres arables par rapport à la surface totale en %.

	inneres Projektgebiet / zone d'étude intérieur 'iPG' [ha]	Ackernutzung [ha]/ terres labourables [ha]			Anteil Ackernutzung an iPG [%] / Pourcentage de terres labourables dans le « iPG » [%]		
		1980	1990	2000	1980	1990	2000
<b>D</b>	186'104	48'567	84'063	78'152	26	45	42
<b>F</b>	273'870	110'570	148'779	148'537	40	54	54
<b>CH</b>	4'697	409	238	15	9	5	0.3
<b>gesamt/ total</b>	464'672	159'547	233'080	226'703	34	50	49

Der Bilanzüberschuss verringert sich im inneren Projektgebiet gegenüber 1980 um 34 % für 1990 bzw. um 58% für 2000 (Tab. 4.3.2). Die Reduzierung ist auf deutscher und Schweizer Seite etwas stärker als auf französischer Seite.

Par rapport à l'année 1980, l'excédent d'azote dans la zone intérieure du projet a baissé de 34 % en 1990 et de 58 % en 2000 (Tab. 4.3.2). Côtés allemand et suisse, la réduction est légèrement supérieure à celle enregistrée côté français.

Tabelle 4.3.2: Länderspezifische Gesamtfracht (Tonnen N) aus dem inneren Projektgebiet (iPG) für 1980, 1990 und 2000.

Tableau 4.3.2 : Excédent d'azote total par pays (en tonnes de N) issu de la zone intérieure du projet (iPG) pour les années 1980, 1990 et 2000.

	N-Fracht [t] / excédent d'azote [t]			Verringerung 1990 gegenüber 1980 [%] / Réduction de 1990 à 1980 [%]	Verringerung 2000 gegenüber 1980 [%] / Réduction de 2000 à 1980 [%]
	1980	1990	2000		
<b>D</b>	8'406	5'368	3'183	36	62
<b>F</b>	10'368	7'134	4'733	31	54
<b>CH</b>	129	58	36	56	72
<b>Gesamt / total</b>	18'903	12'559	7'952	34	58

Die Verringerung der N-Überschüsse auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche lässt sich im Wesentlichen auf folgende Einflussfaktoren zurückführen:

1. Deutlicher Anstieg der N-Abfuhr auf Grund von Ertragssteigerungen von mehr als 30% gegenüber dem Zeitpunkt 1980 bei fast allen Kulturen (Abb. 4.3.2). Insbesondere die Ertragssteigerung bei Winterweizen von etwa 40% sowie von Körnermais von 60% auf deutscher und 46% auf französischer Seite sind entscheidend, da diese beiden Kulturen 72% der Ackerfläche im inneren Projektgebiet abdecken (Abb. 4.3.3, 4.3.4).
2. Rückgang des Anfalls an Wirtschaftsdünger (Abb. 4.3.2)
3. Verbesserte Düngepraxis: Stärkere Berücksichtigung der Düngewirkung des ausgebrachten Wirtschaftsdüngers bei der Bemessung der Gesamtdüngermenge. Dabei hat die die Reduzierung der organischen Düngemenge kein Ansteigen der Mineraldüngermenge zur Folge.
4. Reduzierung des N-Eintrags über die atmosphärische Deposition.

Der Mineraldünger bleibt über die drei Zeitpunkte auf französischer Seite annähernd konstant, wäh-

La réduction des excédents d'azote sur les surfaces agricoles s'explique essentiellement par les facteurs ci-après :

1. Augmentation importante de l'exportation d'azote par la récolte, due à une forte augmentation des rendements de plus de 30% par rapport à 1980 sur la quasi-totalité des cultures. Les augmentations de rendement déterminantes concernent le blé d'hiver (env. 40%), et le maïs grain (60% côté allemand et 46% côté français), car ces deux types de culture représentent environ 72% des terres arables dans la zone intérieure du projet (Figs. 4.3.3, 4.3.4).
2. Diminution de la production d'azote d'origine animale, due à la réduction de la densité du bétail (Fig. 4.3.2)
3. Amélioration des pratiques de fertilisation : Meilleure prise en compte de l'effet fertilisant des déjections animales dans le calcul de la fertilisation totale. La diminution de la fertilisation organique n'a pas conduit à une augmentation des doses d'engrais minéral.
4. Réduction des entrées d'azote par voie de déposition atmosphérique.

Les quantités d'engrais minéraux restent à peu près constantes côté français sur les trois dates de bilan, tandis

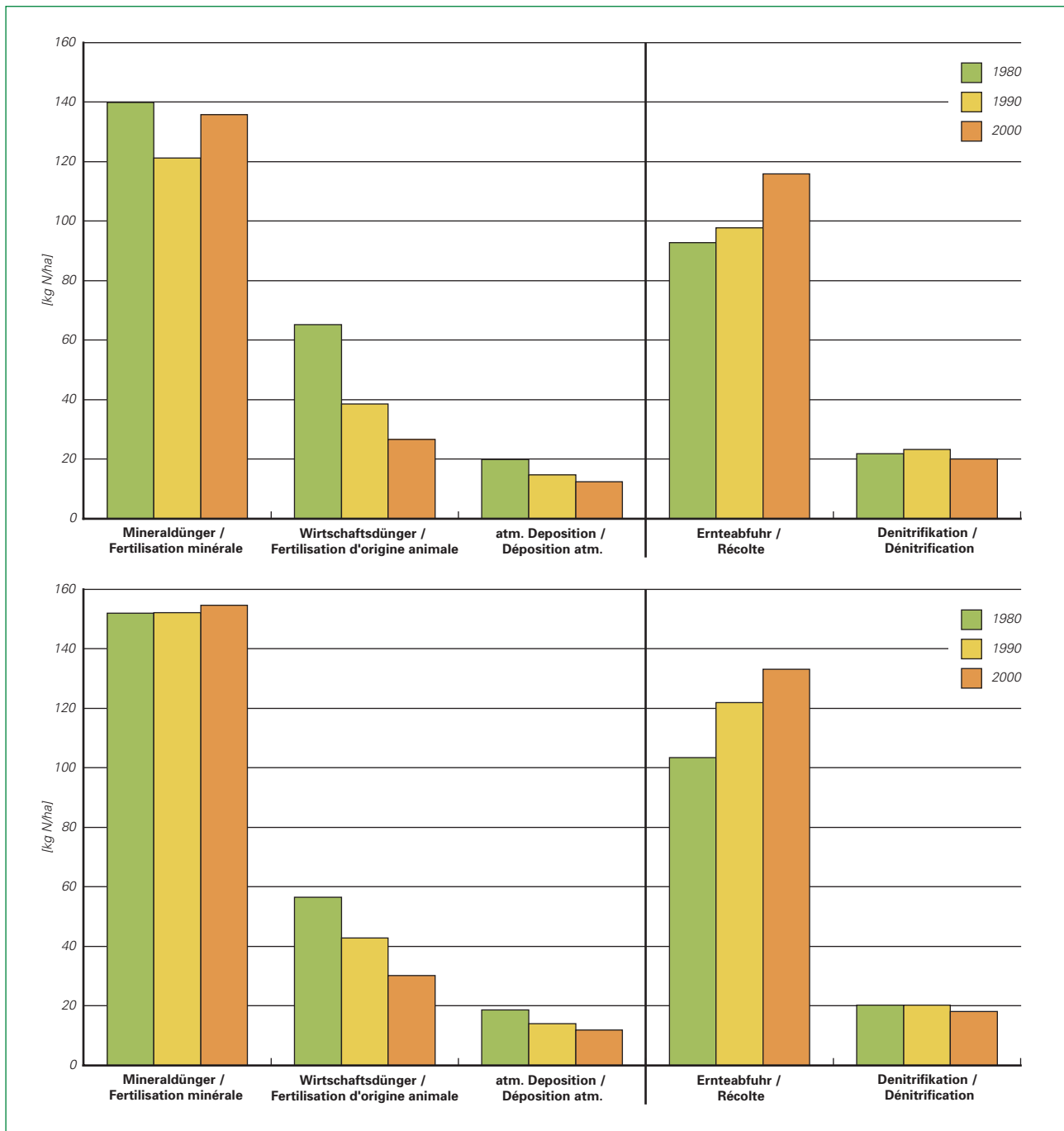


Abbildung 4.3.2: Stickstoffeintrag über Mineraldüngereinsatz, Wirtschaftsdüngeranfall und atmosphärische Deposition sowie Stickstoffaustrag über die Ernteabfuhr und Denitrifikation für die ackerbaulich genutzte Fläche des inneren Projektgebiets für die Zeitpunkte 1980, 1990 und 2000 auf deutscher Seite (a) und auf französischer Seite (b). (Anmerkung: Diese Bilanzglieder erlauben nicht die direkte Berechnung des Stickstoffüberschusses, da nicht alle Bilanzglieder wie bspw. die Ausbringungsverluste aufgeführt sind.)

Figure 4.3.2 : Les entrées d'azote par la fertilisation (minérale et d'origine animale) et par la déposition atmosphérique, ainsi que les sorties d'azote par la récolte et par dénitrification, pour les terres arables de la zone intérieure du projet en 1980, 1990 et 2000 du côté allemand (a) et français (b). Note : Ces composants du bilan ne permettent pas le calcul direct de l'excédent d'azote (toutes les postes ne sont pas pris en compte, par ex. la volatilisation pendant épandage).

rend auf deutscher Seite Schwankungen zu beobachten sind. Für 1990 liegen die Mineraldüngermengen deutlich niedriger. Auch in den Hoftorbilanzen für Baden-Württemberg wird ab diesem Zeitpunkt ein tendenziell geringerer Mineraldüngeranwendung verzeichnet (Gamer und Zeddies, 2005). Der im Modell berechnete Mehraufwand für 2000 gegenüber 1990 liegt im Wesentlichen an den

qu'on observe des variations en Allemagne, où les quantités d'engrais minéraux sont nettement plus faibles en 1990. On constate également sur les bilans d'exploitation du Bade-Wurtemberg une tendance à la baisse des quantités d'engrais minéraux (Gamer et Zeddies, 2005). Le surplus d'engrais minéraux calculé pour 2000 par rapport à 1990 s'explique essentiellement par des doses d'azote plus

etwas höheren Düngemengen der Kulturarten Winterweizen, Sommergetreide und Wintergerste.

Die zeitliche Entwicklung der Faktoren Kulturartenverteilung und Zunahme der Ackerfläche wirken dem beobachteten Trend allerdings entgegen:

1. Die Kulturartenverteilung hat sich in den betrachteten Zeiträumen deutlich verändert. Während beiderseits des Rheins noch 1980 der Anbauumfang für Winterweizen und Körnermais gleich war, dominierte bereits 1990 der Körnermaisbau. Für das Jahr 2000 bedeckte der Körnermaisbau 69% der Ackerfläche auf französischer Seite und 50% der Ackerfläche auf deutscher Seite. Insgesamt werden von den Kulturarten Körnermais und Winterweizen 72% der Ackerfläche des inneren Projektgebietes abgedeckt. Weitere 10% der Ackerfläche sind im Jahr 2000 Stilllegungen. Auf deutscher Seite liegt insbesondere der Anteil Wintergerste, Sommergetreide und Silomais etwas höher als auf französischer Seite und spielt damit noch eine gewisse Rolle für den Nitrataustrag.

2. Der Anteil der Ackerfläche am inneren Projektgebiet hat sich nach den Satellitendaten von 34 % für den Zeitpunkt 1980 auf 49% für 2000 erhöht (Tab. 4.3.1). Dies erfolgte insbesondere zu Lasten der eher wenig austragsrelevanten Grünlandflächen. Die Ackerfläche für 1980 wird in den Satellitendaten wahrscheinlich unterschätzt.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Einflussgrößen Viehbesatz, Düngepraxis, atmosphärische Deposition und Ertragssteigerungen die N-Bilanzüberschüsse auf den Ackerflächen in so erheblichem Maße verringern, dass es trotz der gegenläufigen Faktoren Zunahme der Ackerflächen, Vergrößerung des Anbauumfangs für Körnermais und der für 2000 auf deutscher Seite etwas höhere Mineraldüngeraufwand zu einem deutlich rückläufiger Trend der Bilanzüberschüsse im Mittel aller Landnutzungsformen kommt (Abb. 4.3.1).

Die räumliche Differenzierung des Nitrataustrags für 2000 ist in Abbildung 4.3.5 dargestellt. Die N-Überschüsse für die 500-m-Rasterzellen liegen überwiegend zwischen 5 und 50 kg N/ha. Die Hauptnutzungsformen Grünland, Wald, Siedlung und Gewässer liegen hierbei im unteren Spektrum, Obstbau und Weinbau darüber und Ackernutzung am höchsten.

élevées appliquées sur le blé d'hiver, les céréales d'été et l'orge d'hiver.

L'évolution des facteurs « assolement et augmentation de la surface des terres arables » semblerait toutefois aller à l'encontre de la tendance observée :

1. L'assolement a notablement changé au cours des deux périodes de référence. Alors que les surfaces de blé d'hiver et de maïs grain étaient identiques en 1980 de part et d'autre du Rhin, on note dès 1990 une nette prédominance du maïs grain. En 2000, le maïs grain couvrait 69 % des terres arables côté français, contre 50 % côté allemand. Au total, les surfaces de maïs grain et de blé d'hiver représentent 72 % des terres arables de la zone intérieure du projet. Par ailleurs, les terres gelées représentent 10 % des terres arables en 2000. Côté allemand, on note essentiellement un pourcentage plus élevé d'orge d'hiver, de céréales d'été et de maïs ensilage que du côté français, ce qui joue un rôle certain dans le lessivage.

2. Selon les données satellitaires, le pourcentage de terres arables dans la zone intérieure du projet est passé de 34 % en 1980 à 49 % en 2000 (Tab. 4.3.1). Ce glissement s'est effectué au détriment des surfaces de prairies, qui présentent un taux de lessivage plutôt négligeable. Les surfaces arables ont probablement été sous-estimées dans les données satellitaires de 1980.

Au total, on note que les paramètres « augmentation des rendements, pratiques de fertilisation, densité de bétail, et déposition atmosphérique » contribuent à une réduction notable des excédents de bilan d'azote sur les terres arables, et que, malgré les facteurs apparemment contraires comme l'augmentation de la superficie des terres arables, l'extension de la culture du maïs grain et même les quantités d'engrais minéraux en légère hausse en Allemagne en 2000, on peut observer une nette tendance à la baisse des excédents de bilan sur la moyenne des différentes occupations du sol (Fig. 4.3.1).

La différenciation spatiale des excédents d'azote en 2000 est illustrée par la figure 4.3.5. Les excédents d'azote pour les cellules de 500 m de côté varient essentiellement entre 5 et 50 kg N/ha. A ce titre, les occupations du sol « prairies, forêt, zone urbanisées et eaux de surface » se situent dans les valeurs faibles du spectre, tandis que les occupations du sol « production fruitière, vignoble et terres arables » se situent dans les valeurs hautes du spectre.



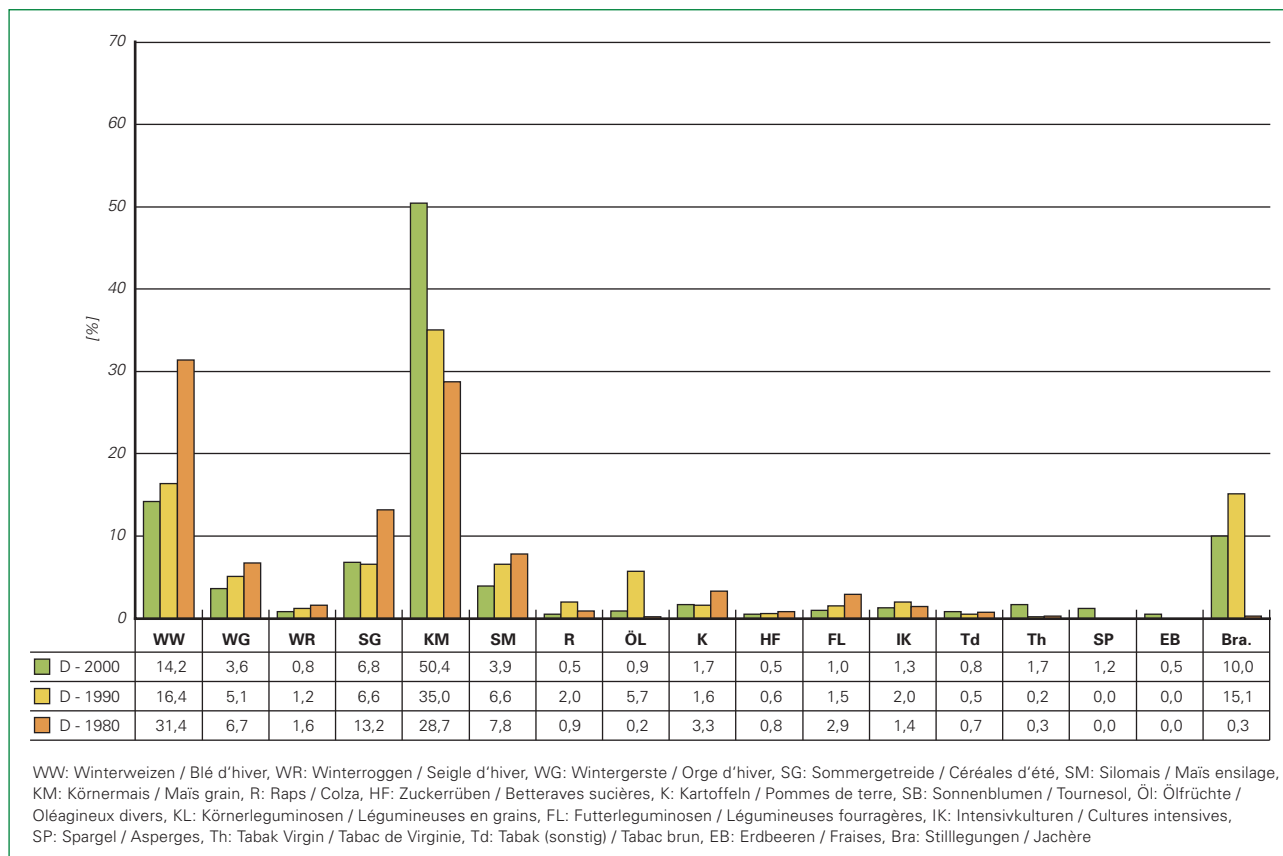


Abbildung 4.3.3: Kulturartenverteilung im inneren Projektgebiet auf deutscher Seite für 1980, 1990 und 2000.

Figure 4.3.3 : Assolément dans la zone intérieure du projet du côté allemand pour les années 1980, 1990 et 2000.

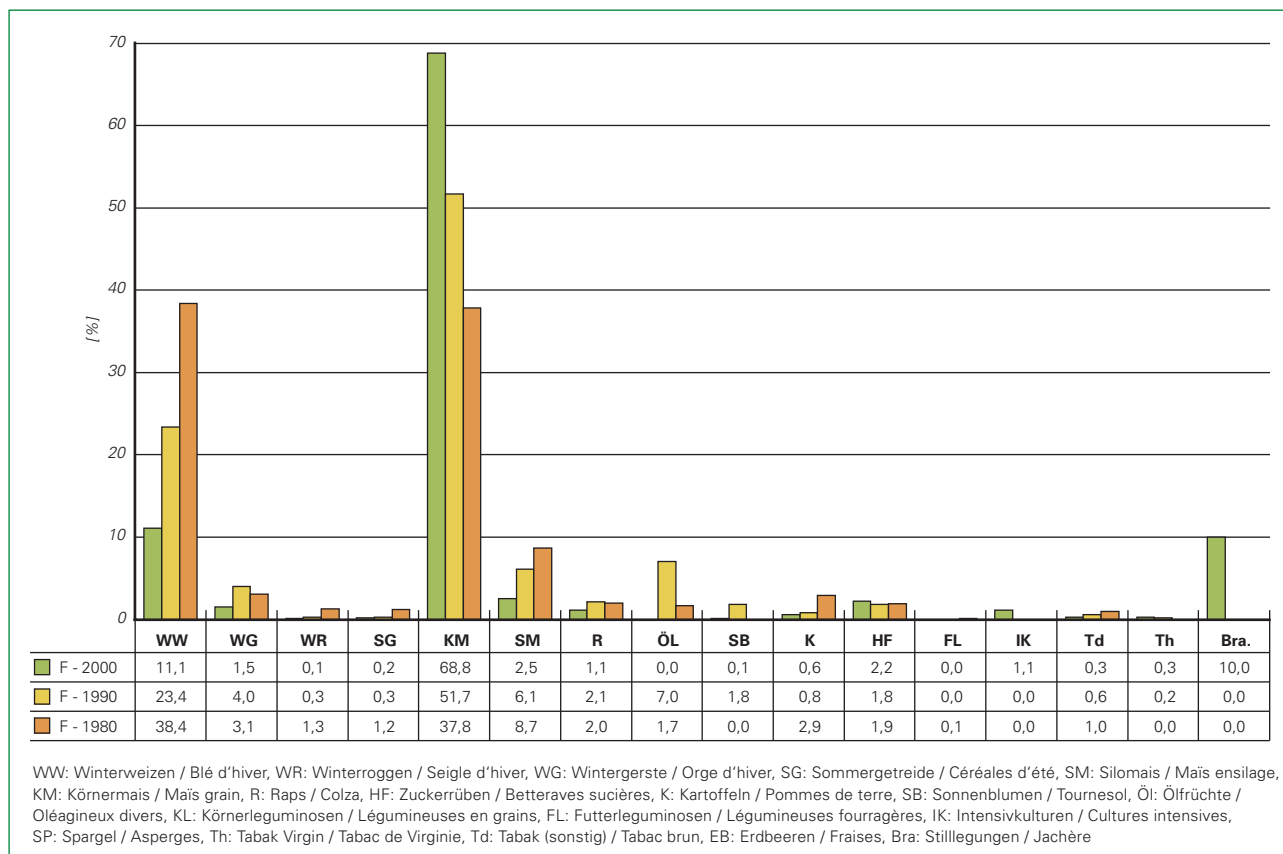


Abbildung 4.3.4: Kulturartenverteilung im inneren Projektgebiet auf französischer Seite für 1980, 1990 und 2000.

Figure 4.3.4 : Assolément dans la zone intérieure du projet du côté français pour les années 1980, 1990 et 2000.

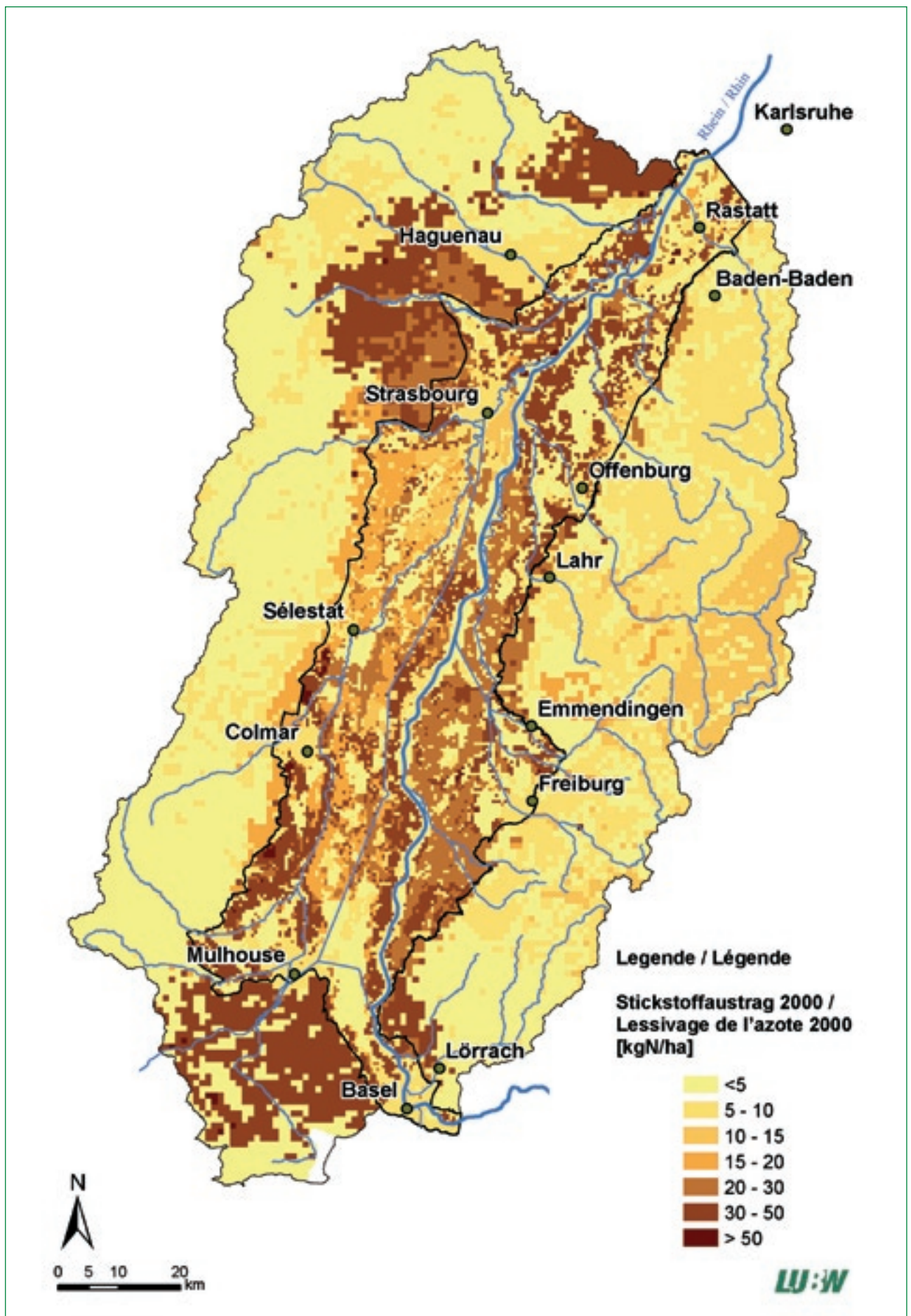


Abbildung 4.3.5: Karte des Nitrataustrags [kg N/ha] für den Modellierungszeitpunkt 2000 (=Referenzzustand).  
 Figure 4.3.5 : Carte des excédents d'azote en [kg N/ha] à la date de modélisation 2000 (= état de référence)

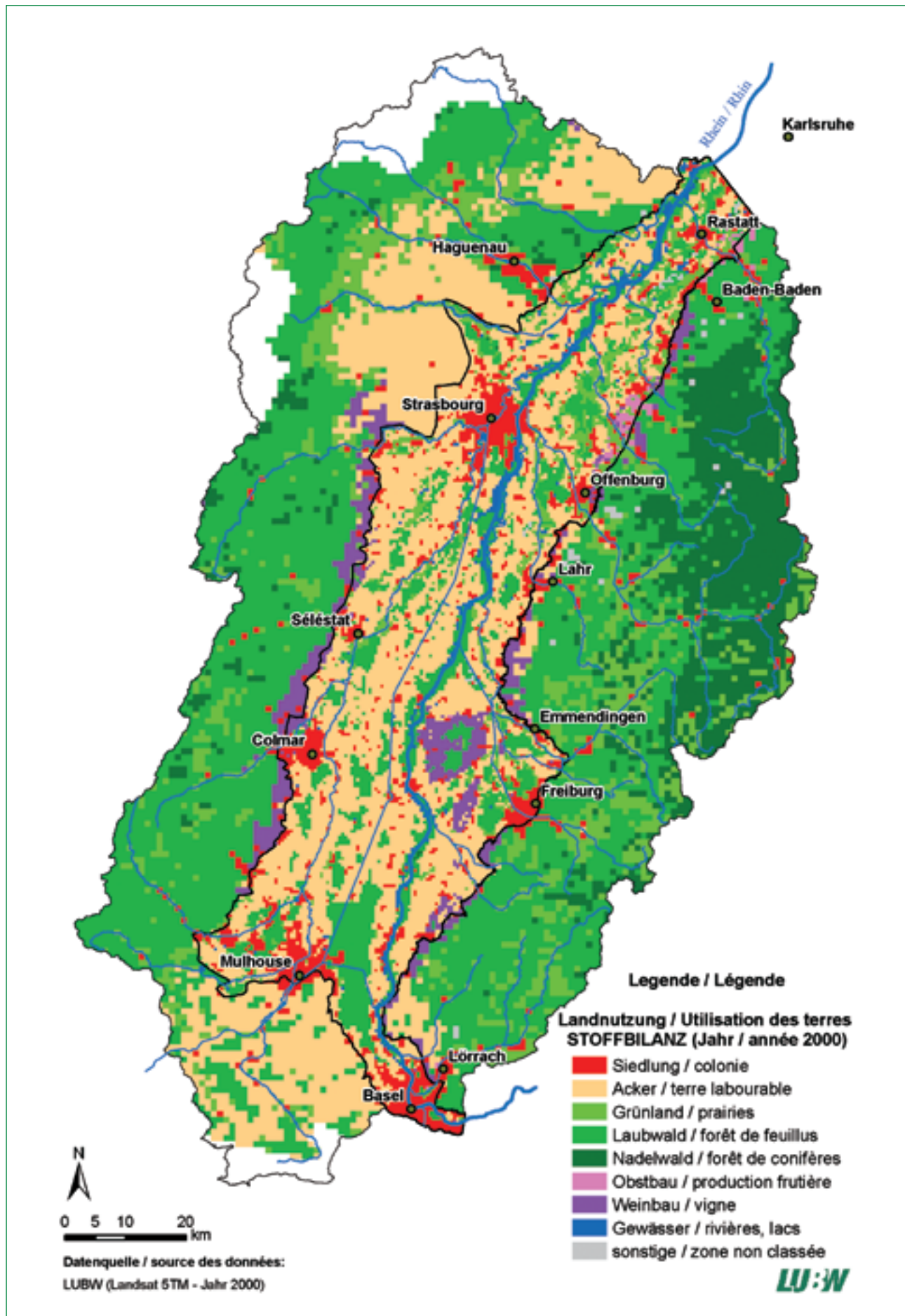


Abbildung 4.3.6: Karte der Hauptnutzungsformen im inneren und äußeren Projektgebiet für 2000.

Figure 4.3.6 : Carte des occupations du sol dans les zones intérieure et extérieure du projet pour l'année 2000.

Die Abschätzung der Bilanzüberschüsse konnte nur unter vereinfachenden Annahmen sowohl für die Prozessmodellierung als auch für die Daten erfolgen.

Die Datenunsicherheiten sind relativ groß. Auf französischer Seite konnten aufgrund der besseren Datenlage immerhin 8 landwirtschaftliche Regionen mit jeweiliger regionaltypischer Bewirtschaftung abgegrenzt werden. Auf deutscher Seite musste dagegen trotz der Größe des Projektgebietes eine einheitliche Bewirtschaftung (Düngemenge, Erträge etc.) angenommen werden. Die Düngermengen konnten auf deutscher Seite nur abgeschätzt werden. Dabei ergab sich für Winterweizen und Wintergerste vermutlich eine deutliche Überschätzung, wie aus jüngsten Befragungen von Landwirten in einem naturräumlich vergleichbaren Gebiet abgeleitet werden kann.

Eine weitere Unsicherheit stellen die zu Grunde gelegten Werte für die Mobilisierung von Stickstoff aus dem Boden und aus Ernteresten, sowie die N-Bindung in der Restpflanze (Immobilisierung) dar. Im Gemüsebau können die N-Überschüsse je nach Kulturart sehr unterschiedlich sein. Da aber keine kulturartspezifischen Anbaudaten vorlagen, wurde für Gemüsebauflächen ein mittlerer N-Überschuss angesetzt (MLR, 2004). Auch im Tabakanbau sind die N-Überschüsse sortenspezifisch sehr variabel. Daten zum jeweiligen Anbauverhältnis der Sorten konnten allerdings nur ungefähr abgeschätzt werden. Da der Flächenumfang des Gemüsebaus (Kulturartengruppe Intensivkulturen) sowie Tabakanbaus nur gering ist, haben diese Unschärfen kaum Einfluss auf den Gesamtaustrag. Allerdings werden mögliche lokale Belastungspunkte (z.B. Neuried-Ichenheim) nicht abgebildet.

Schließlich muss auf Grund von vergleichenden Betrachtungen in anderen Regionen davon ausgegangen werden, dass auch die Landnutzungsdaten (Hauptnutzungsformen) auf der Grundlage von Satellitenbilddatenauswertungen fehlerbehaftet sein können. Generell dürften die Ergebnisse der beiden historischen Zeitpunkte 1980 und 1990 mit größeren Unsicherheiten behaftet sein.

Auf Grund der vereinfachenden Annahmen und der Datenunsicherheit liefert das Modell STOFFBILANZ N-Austragdaten, die im Grundwassermodell lediglich zur tendenziellen Abschätzung der Nitratkonzentrationen geeignet sind. Neben den Unschärfen der Bilanzbetrachtung wird auch der Wasserhaushalt im Boden nicht detailliert

L'estimation des excédents de bilan n'a été possible qu'en tenant compte d'hypothèses simplifiées, tant en termes de modélisation du processus qu'en termes de données.

Les incertitudes liées aux données sont relativement élevées. Côté français, les données étaient relativement précises, ce qui a permis de délimiter 8 régions agricoles possédant chacune un mode d'exploitation régional type. Côté allemand par contre, et malgré la grande superficie du périmètre de projet, il a fallu admettre un mode d'exploitation unique (quantités d'engrais, rendements, etc.). Les quantités d'engrais utilisées côté allemand ont dû être estimées. Cette estimation s'est probablement soldée par une nette surestimation dans les cas du blé d'hiver et de l'orge d'hiver, comme on a pu le montrer d'après des enquêtes menées récemment auprès des agriculteurs dans une région possédant des caractéristiques physiques comparables.

Une autre incertitude concerne les valeurs de mobilisation à partir du sol et des résidus de récolte, ainsi que l'azote retenu dans les résidus de plantes (immobilisation). En maraîchage, les excédents d'azote varient fortement en fonction de la culture. Comme nous ne disposions pas de données spécifiques par culture, nous avons estimé un excédent d'azote moyen (MLR, 2004) pour les maraîchages. Pour le tabac, les excédents d'azote varient également fortement d'une variété à l'autre. Les données relatives à chaque variété de tabac n'ont toutefois pu être estimées qu'approximativement. Dans la mesure où l'étendue des surfaces de maraîchage (groupe de culture « cultures intensives ») et de culture du tabac reste très restreinte, ces imprécisions n'influent que très faiblement sur le résultat final. Toutefois, d'éventuels pics de pollution localisés (p. ex. Neuried-Ichenheim) ne sont pas représentés.

En complément, il faut admettre sur la base d'études similaires effectuées dans d'autres régions que même les données d'utilisation du sol (occupation du sol) obtenues par interprétation d'images satellitaires peuvent être entachées d'erreurs. A priori, l'incertitude sur les résultats des deux dates historiques, soit 1980 et 1990, devrait être encore plus grande.

En raison des hypothèses simplifiées et de l'incertitude sur les données, les valeurs de lessivage calculées par le modèle STOFFBILANZ ne sont adaptées qu'à une estimation tendancielle des concentrations en nitrates dans le modèle des eaux souterraines. En plus des incertitudes liées au bilan, le cycle de l'eau dans le sol n'est pas modé-

modelliert. Stattdessen wird angenommen, dass der N-Überschuss komplett mit dem Jahressickerwasser ausgetragen wird. Die Absolutzahlen des N-Austrags bedürfen auf Grund der erläuterten Unsicherheiten einer entsprechend vorsichtigen Interpretation. Es ist allerdings festzustellen, dass trotz aller Unschärfen das mit STOFFBILANZ ermittelte räumlich differenzierte Muster des Nitrataustrags zu Nitratkonzentrationen im Grundwasser führt, die mit den regionalisierten Nitratmesswerten relativ gut korrespondieren (vgl. Kap. 4.4).

#### 4.4 VERGLEICH GEMESSENER UND GERECHNETER KONZENTRATIONEN

Die Größe des Untersuchungsraumes, die geforderte raumzeitliche Auflösung und die vielschichtige Aufgabenstellung erforderten für die Modellierung eine deutliche Prozessabstraktion, die mit verschiedenen Ergebnisunsicherheiten verbunden ist.

Unsicherheiten entstehen vor allem durch zufällige oder systematische Fehler in den Modelleingangsdaten (Datenunsicherheit), ungenügende Kenntnis der zutreffenden Parameterwerte (Parameterunsicherheit) und durch eine nicht optimale Modellstruktur (Strukturunsicherheit). Eine große Unsicherheit bestand z. B. in der Abschätzung der historischen Bilanzüberschüsse, die zu großen Teilen aus Experteneinschätzungen bestimmt werden mussten und einen großen Einfluss auf die prognostizierten Konzentrationsverläufe im Grundwassermodell haben.

Probleme hinsichtlich der Quantifizierung der Unsicherheiten bestehen darin, dass in vieler Hinsicht die geeigneten Validierungsdaten fehlen. Zum Beispiel wäre es dringend notwendig, die Sickerwasserkonzentration und den Sickerwasserfluss unterhalb der durchwurzelten Bodenzone zu kennen. Dem stehen sowohl die vor dem Hintergrund der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes hohe zeitliche und räumliche Variabilität dieser Größen als auch messtechnische Schwierigkeiten entgegen.

Im Folgenden wird als Auszug aus der Beschreibung der Modellvalidierung in den Teilprojektberichten nur das Endergebnis der Modellkette, die Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser anhand der „Zielgrößen“ Überschreitungsflächen und Mittelwertstatistiken (siehe Kap. 2.2) den Messwerten gegenübergestellt. Anders

lisé en détail. En remplacement, on admet que les excédents d'azote sont lessivés en totalité avec les eaux de percolation d'une année entière. En raison des incertitudes exposées ci-dessus, les valeurs absolues de lessivage doivent faire l'objet d'une interprétation prudente. Il y a toutefois lieu d'observer que, malgré toutes les imprécisions, les différences spatiales du lessivage calculées à l'aide de STOFFBILANZ aboutissent à des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines correspondant relativement bien aux concentrations mesurées (cf. chap. 4.4).

#### 4.4 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MESURÉES ET CALCULÉES

L'ampleur de la zone d'étude, la résolution spatiotemporelle requise ainsi que les nombreuses définitions des tâches nécessitent pour la modélisation un processus clair d'abstraction, associé à diverses incertitudes concernant les résultats.

Les incertitudes sont surtout occasionnées par les erreurs fortuites ou systématiques dans les données d'entrée des modèles (incertitude sur les données), par une connaissance insuffisante des valeurs des paramètres pertinents (incertitudes sur les paramètres) et par une structure du modèle non optimale (incertitude sur la structure). Par exemple, une grande incertitude existait sur l'estimation des excédents de bilan historiques, qui ont dans une large mesure dû être déterminés à partir d'estimations par des experts, et qui possèdent une influence considérable sur les concentrations simulées par le modèle des eaux souterraines.

Les problèmes relatifs à la quantification des incertitudes résident à beaucoup d'égards dans le manque de données de validation adaptées. Par exemple, il serait très urgent de connaître la concentration et les flux d'eau de percolation sous la zone racinaire, mais autant la forte variabilité spatiotemporelle de cette grandeur due à l'ampleur de la zone d'étude que des difficultés techniques de mesure s'y opposent.

Cidessous, seuls les résultats finaux de la chaîne de modélisation, c'est-à-dire l'évolution des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines, sont comparés aux valeurs mesurées sur la base des indicateurs « surfaces de dépassement de limite » et « statistiques sur les moyennes » (voir chap. 2.2). Ceci n'est qu'un extrait de la description

als bei einer Auswertung von Messungen zur Bewertung des Grundwasserzustandes steht für die Validierung des Modells nicht die Abschätzung der wirklichen, flächenhaften Nitratbelastung im Vordergrund, sondern die Übereinstimmung zwischen gemessenen und gerechneten Größen. Direkt vergleichbar sind nur die Konzentrationen am Messort und in der äquivalenten Modellzelle und die jeweils daraus berechneten statistischen Kennwerte. Die für die Beurteilung des Grundwasserzustands benötigten raumbezogenen Größen wie Gebietsmittelwerte und Überschreitungsflächen können nur näherungsweise validiert werden, da Fehler bei der Regionalisierung von Messdaten ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

#### **4.4.1 MESSWERTE**

Für die Validierung der Rechenergebnisse für den Grundwasserkörper stehen i. w. die in Kap. 2.2 diskutierten Daten aus den beiden grenzüberschreitenden Bestandsaufnahmen 1997 und 2003 im Oberrheingraben (Region Alsace, 1997 und 2006) und die Daten (Ganglinien) aus den Messnetzen auf der französischen und der deutschen Seite zur Verfügung.

#### **4.4.2 VERGLEICH AN DEN MESSORTEN**

Zunächst wurden die Ergebnisse des numerischen Modells für die beiden Jahre 1997 und 2003 den Messergebnissen gegenüber gestellt. Der Vergleich für 2003 an allen Messstellen ist in Abbildung 4.4.1 dargestellt. Diese Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Nitratkonzentrationen zeigt aufgrund der lokalen Verhältnisse an den Messstellen eine vergleichsweise große Streuung, die sich ähnlich auch für die Bestandsaufnahme 1997 darstellt. Da die Vergleichspunkte aber gleichmäßig um die Winkelhalbierende gruppiert sind, kann davon ausgegangen werden, dass keine systematische Abweichung vorliegt.

Ein Vergleich der gemessenen und der berechneten Verteilung in Abbildung 4.4.2 legt nahe, dass im numerischen Modell auch die räumliche Verteilung von Bereichen mit hohen und niedrigen Nitratkonzentrationen gut nachgebildet wird. Lediglich nordwestlich von Lahr wurde der hohe Nitratreintrag durch die dort vorliegenden Sonderkulturen im Modell nicht erfasst.

de la validation du modèle présentée dans les rapports des sousprojets. Pour la validation du modèle, contrairement à une analyse de mesures pour l'évaluation de l'état des eaux souterraines, ce n'est pas l'estimation spatiale de la pollution réelle par les nitrates qui est primordiale, mais la concordance entre les grandeurs mesurées et calculées. Seules les concentrations d'un site de mesures et les concentrations simulées dans les cellules correspondantes du modèle peuvent être comparées, ainsi que leurs grandeurs statistiques. Les grandeurs spatiales nécessaires à l'évaluation de l'état des eaux souterraines telles que des valeurs moyennes régionales et des surfaces de dépassement de limites ne peuvent être validées qu'approximativement, car les erreurs lors de la régionalisation des données de mesures doivent également être considérées.

#### **4.4.1 VALEURS DE MESURES**

Pour la validation des résultats des calculs relatifs à l'aquifère, on dispose principalement des données discutées dans le chapitre 2.2 issues des deux inventaires transfrontaliers de 1997 et 2003 dans la vallée du Rhin Supérieur (Région Alsace, 1997 et 2006) et des données (séries temporelles) provenant des réseaux de mesures français et allemand.

#### **4.4.2 COMPARAISON SUR LES SITES DE MESURES**

En premier lieu, les résultats des simulations pour les deux années 1997 et 2003 ont été comparés aux résultats des mesures. La comparaison pour 2003 pour toutes les stations de mesures est présentée dans la figure 4.4.1. En raison des conditions locales au niveau des stations de mesures, cette confrontation de concentrations en nitrates mesurées et calculées présente une dispersion importante, qui existe également pour l'inventaire 1997. Les points de comparaison étant cependant régulièrement groupés autour de la bissectrice, on peut partir du principe qu'il n'existe pas de déviation systématique.

La comparaison des distributions mesurée et calculée dans la figure 4.4.2 suggère que le modèle reproduit aussi correctement la distribution spatiale des zones à fortes ou faibles concentrations en nitrates. Seuls les apports importants en nitrates par les cultures spéciales au Nord-Ouest de Lahr n'ont pas été prises en compte dans le modèle.

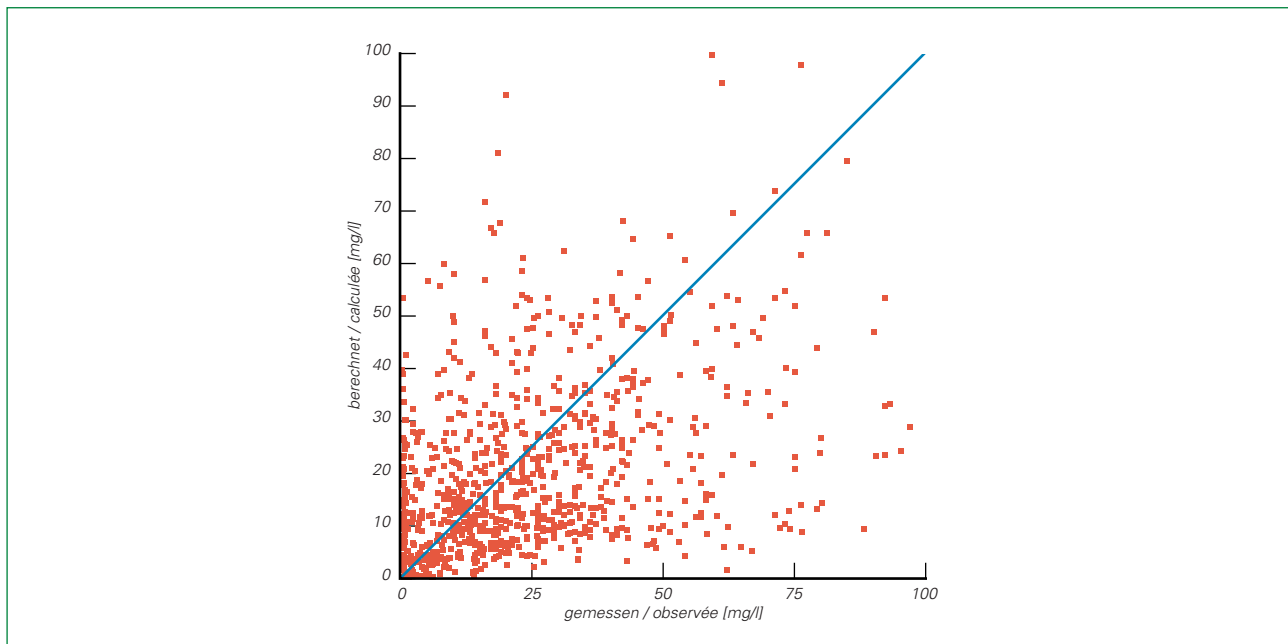


Abbildung 4.4.1: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Nitratkonzentrationen 1997  
 Fig. 4.4.1 : Comparaison entre les concentrations en nitrates mesurées et calculées pour 1997

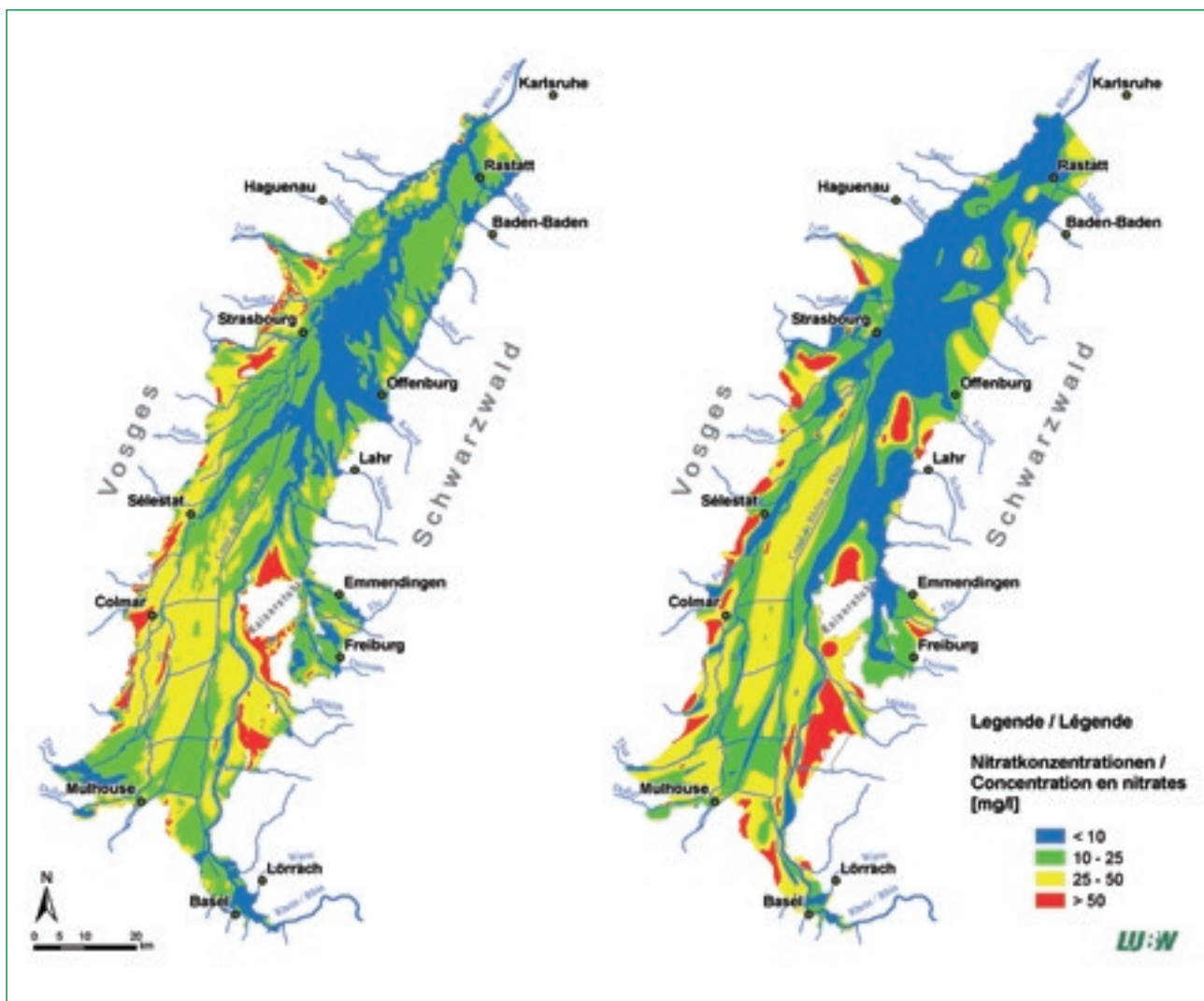


Abbildung 4.4.2: Berechnete (Schicht 0-10m, links) und gemessene (rechts) Konzentrationsverteilung 2003  
 Figure 4.4.2 : Distribution des concentrations calculée (couche 0-10 m, à gauche) et mesurée (à droite) pour 2003

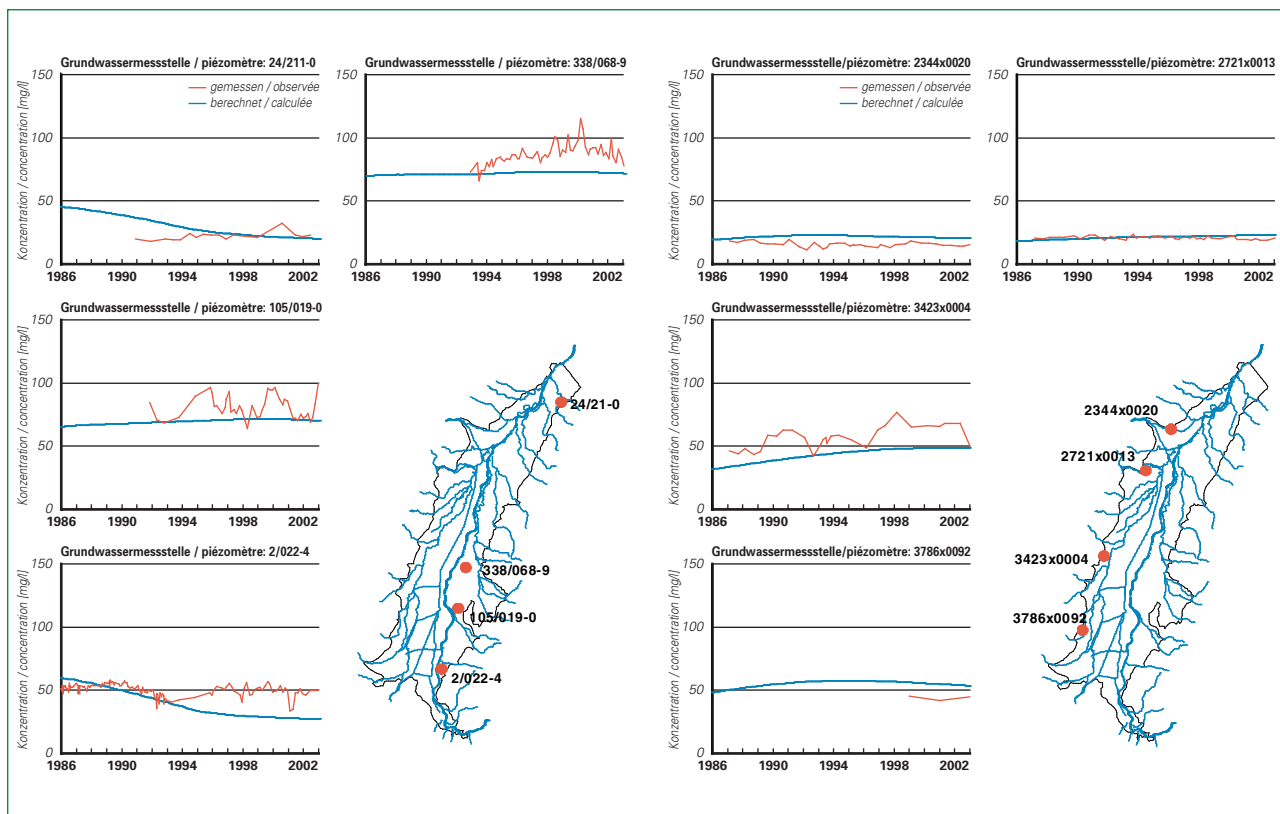


Abbildung 4.4.3: Berechnete und gemessene Nitratganglinien (a) auf linksrheinischer und (b) auf rechtsrheinischer Seite (blau: gerechnet, rot: gemessen).  
 Figure 4.4.3 : Chronique des concentrations en nitrates calculées et mesurées (a) à gauche et (b) à droite du Rhin. (bleu: calculée, rouge: observée)

Eine wesentlich differenziertere Beurteilung der Güte der Anpassung, die auch eine Bewertung der zeitlichen Schwankungen und des lokalen Trends erlaubt, ist aus einem Vergleich von Ganglinien möglich. Dazu sind einige ausgewählte Ganglinien auf deutscher und französischer Seite in Abbildung 4.4.3 dargestellt. Für alle verfügbaren Ganglinien variiert der Grad der Übereinstimmung selbstverständlich in den durch Abbildung 4.4.1 dargestellten Grenzen, jedoch zeigen sich auch hier keine systematischen Abweichungen, insbesondere auch nicht in der Fläche.

Die gemessenen saisonalen Schwankungen der Nitratkonzentrationen von bis zu 20 mg/l verdeutlichen, dass die Messungen von lokalen Verhältnissen (können insbesondere zu Differenzen im Konzentrationsniveau führen) und von den zeitabhängigen Nitratintragsbedingungen (führen zu höherfrequenten Schwankungen der Messwerte im Vergleich zum Modell) abhängen. Im numerischen Modell werden langjährige Mittelwerte verwendet und die Eintragsfunktion orientiert sich lediglich an vier einzelnen Zeitpunkten, so dass sich zwangsläufig lokale und temporäre Abweichungen für Einzelmesswerte ergeben müssen.

Une évaluation fondamentalement différente de la qualité de l'ajustement est possible par le biais de la comparaison de séries temporelles, qui permet également l'évaluation des fluctuations et des tendances locales. Dans ce but, quelques séries temporelles sélectionnées des côtés allemand et français sont présentées dans la figure 4.4.3. Pour toutes les séries disponibles, le degré de concordance varie évidemment entre les limites présentées dans la figure 4.4.1, mais on ne constate ici non plus aucune déviation systématique. En particulier, l'aspect spatial est correctement reproduit.

Les variations saisonnières des concentrations en nitrates mesurées, qui peuvent atteindre 20 mg/l, montrent que les mesures dépendent des conditions locales (qui peuvent en particulier causer des différences dans les niveaux de concentration) et des conditions d'entrée des nitrates dans le temps (qui génèrent des fluctuations plus fréquentes des valeurs mesurées par rapport au modèle). Des moyennes pluriannuelles sont utilisées par le modèle numérique et la fonction d'entrée n'est basée que sur quatre points (années), ce qui entraîne inévitablement des écarts avec les valeurs de mesures locales et temporelles.



#### 4.4.3 MITTELWERTE DER MESSSTELLENERGEBNISSE

Statistische Auswertungen der Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Nitratkonzentrationen für die Bestandsaufnahmen 1997 und 2003 sind in Tabelle 4.4.1 und Tabelle 4.4.2 aufgeführt. Danach unterscheiden sich die mittleren gemessenen und berechneten Nitratkonzentrationen lediglich um 1,2 mg/l für 1997 und um 1,9 mg/l für 2003.

Die Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung ist in der obersten Schicht, die die höchste Belastung aufweist, besser als in den tieferen Schichten. Für die unterste Schicht ist jedoch auch das Messergebnis wegen der geringen Messstellenanzahl unsicher.

Das Modell unterschätzt danach die Konzentrationen um 1 mg/l bis 3 mg/l. Die gemessene Abnahme der Konzentrationen mit der Tiefe wird richtig wiedergegeben.

#### 4.4.3 MOYENNE DES RÉSULTATS DES STATIONS DE MESURES

Les analyses statistiques des différences entre concentrations en nitrates mesurées et calculées pour les inventaires 1997 et 2003 sont détaillées dans les tableaux 4.4.1 et 4.4.2. Les différences des concentrations moyennes s'élevaient seulement à 1,2 mg/l pour 1997 et à 1,9 mg/l pour 2003.

La concordance entre les mesures et les calculs est meilleure dans la couche supérieure, qui présente la plus forte pollution, que dans les couches plus profondes. Les résultats sont aléatoires dans la couche la plus profonde du fait du petit nombre de points de prélèvement.

Le modèle sousestime ainsi les concentrations d'un à trois mg/l. La diminution mesurée des concentrations avec la profondeur est surestimée.

Tabelle 4.4.1: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Nitratkonzentrationen an den Messstellen der Bestandsaufnahme 1997.

Tableau 4.4.1 : Comparaison entre les concentrations en nitrates mesurées et calculées pour les stations de mesures de l'inventaire 1997.

Tiefe / Profondeur [m]	Anzahl Messstellen / Nombre de stations de mesures	NO3 gemessen / NO3 mesurés [mg/l]	NO3 berechnet / NO3 calculés [mg/l]	Abweichung / Ecart [mg/l]
<b>0-200</b>	814	27,0	25,4	-1,6
<b>0-10</b>	541	29,3	27,7	-1,6
<b>10-40</b>	237	23,3	23,1	-0,2
<b>&gt;40</b>	36	16,2	6,7	-9,5

Tabelle 4.4.2: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Nitratkonzentrationen an den Messstellen der Bestandsaufnahme 2003.

Tableau 4.4.2 : Comparaison entre les concentrations en nitrates mesurées et calculées pour les stations de mesures de l'inventaire 2003.

Tiefe / Profondeur [m]	Anzahl Messstellen / Nombre de stations de mesures	NO3 gemessen / NO3 mesurés [mg/l]	NO3 berechnet / NO3 calculés [mg/l]	Abweichung / Ecart [mg/l]
<b>0-200</b>	903	26,1	24,2	-1,9
<b>0-10</b>	610	27,6	26,1	-1,5
<b>10-40</b>	256	23,9	21,0	-2,9
<b>&gt;40</b>	37	16,1	14,8	-1,3

#### 4.4.3 ZEITLICHE ENTWICKLUNG

Im Hinblick auf die Aussagefähigkeit der Modellprognosen ist die richtige Wiedergabe der Tendenz besonders wichtig. Dafür sollten konsistente Messstellengruppen ausgewertet werden. Von den Messstellen der Bestandsaufnahmen 1997 und 2003 verblieben 696 konsistente Messstellen, für die auch die Entnahmetiefe bekannt war. Für diese Messstellen wurden die jeweiligen Mittelwerte insgesamt und für die Tiefenstufen 0-10m, 10-40m und >40m unter Grundwasserspiegel berechnet (Tab. 4.4.3).

Die Modellrechnung ergibt eine stärkere Abnahme von 1997 nach 2003 als der Vergleich zwischen den Messwerten aus den Bestandsaufnahmen. In Kap. 2.2 war aber schon

#### 4.4.3 EVOLUTION TEMPORELLE

Une reproduction correcte de la tendance est particulièrement importante pour pouvoir simuler l'avenir avec le modèle. C'est pourquoi des groupes cohérents de stations de mesures ont été analysés. On a conservé 696 stations de mesures issues des inventaires 1997 et 2003, pour lesquelles la profondeur de prélèvement était également connue. Pour chacune de ces stations de mesures, on a calculé la valeur moyenne globale ainsi que la moyenne pour les profondeurs 0-10 m, 10-40 m et > à 40 m sous le niveau du toit de la nappe (Tab. 4.4.3).

La réduction simulée des concentrations entre 1997 et 2003 est plus forte que celle provenant de la comparaison des mesures des inventaires. Dans le chapitre 2.2, on avait

gezeigt worden, dass die Bestandsaufnahmen im langfristigen Kontext eine relativ geringe Änderung erfasst haben. Die Abweichung zwischen der Messung und der Rechnung ist für die Schicht >40m am größten. Hierfür waren nur 19 Messstellen verfügbar, diese geringe Anzahl ist für das damit zu erfassende große Volumen nicht ausreichend.

cependant déjà montré que les inventaires avaient recensé des modifications relativement faibles à long terme. L'écart entre mesures et calculs est le plus élevé pour la couche > 40 m. Seules 19 stations de mesures étaient disponibles dans ce cas, ce qui est insuffisant par rapport au volume considérable à recenser.

Tabelle 4.4.3: Änderungsraten der gemessenen und gerechneten Konzentrationen, mg/l, konsistente Gruppe 696  
Tableau 4.4.3 : Vitesses de modification des concentrations mesurées et calculées, mg/l, 696 groupes cohérents

Tiefe / Profondeur:	Anzahl Messstellen / Nombre des stations de mesures	Gemessen / Mesuré		Änderung Messung / Modification des valeurs mesurées	Modell / Modèle		Änderung Modell / Modification simulée
		1997	2003		1997	2003	
<b>Gesamt / Total</b>	696	28.4	27.2	-1.3	25.8	22.7	-3.2
<b>0-10 m</b>	481	30.3	28.8	-1.5	27.5	23.8	-3.7
<b>10-40m</b>	196	24.9	24.4	-0.5	23.4	21.1	-2.3
<b>&gt;40m</b>	19	17.3	15.0	-2.3	8.0	9.2	1.3

#### 4.4.4 REGIONALISIERTE KENNWERTE

Der Vergleich von regionalisierten Mittelwerten aus den Modellergebnissen mit den Bestandsaufnahmen und einigen Messreihen zeigt Abbildung 4.4.4 für die drei Länder.

#### 4.4.4 VALEURS RÉGIONALISÉES

La figure 4.4.4. montre la comparaison des valeurs régionalisées issues de la modélisation avec les inventaires et quelques séries de mesures pour les trois pays.

Die Modellergebnisse stimmen auf der linksrheinischen Seite sehr gut sowohl mit den Bestandsaufnahmen als auch mit den Messreihen überein, lediglich der Anstieg und das Maximum werden im Modell etwas früher erreicht als bei den Bestandsaufnahmen. Auch die Daten

Du côté gauche du Rhin, la concordance des résultats des simulations est très bonne tant avec les inventaires qu'avec les séries de mesures, seuls la hausse et le maximum étant atteints un peu plus tôt dans le modèle par rapport aux inventaires. Les données des compagnies de distribution

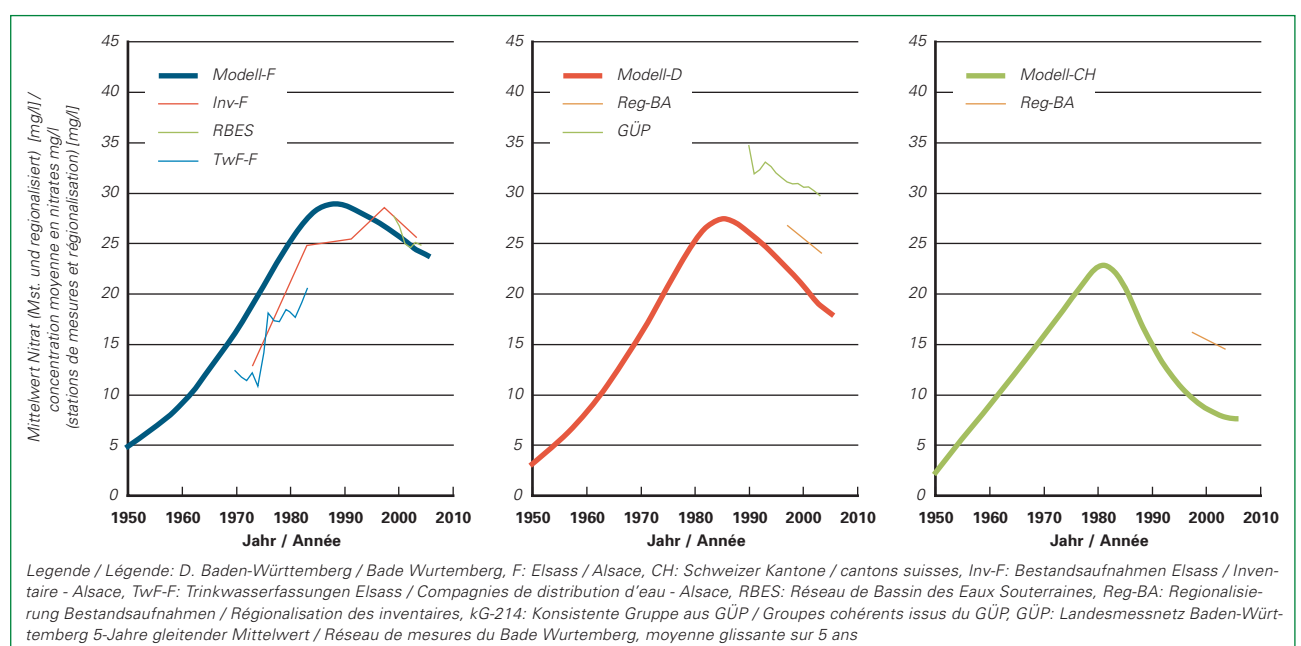


Abbildung 4.4.4: Vergleich Rechnung -Messung für Mittelwerte  
Figure 4.4.4 : Comparaison entre calculs et mesures pour les moyennes

der Trinkwasserfassungen bestätigen den Trend sehr gut. Dass ihr Niveau niedriger liegt als das Modell ist insofern plausibel, als Trinkwasserfassungen generell besser geschützte Grundwasservorkommen nutzen.

Für die rechtsrheinische Seite ist demgegenüber eine größere Diskrepanz festzustellen. Das Maximum und die weiteren Messwerte liegen wesentlich höher als im Modell. Trotzdem ist der Trend in guter Übereinstimmung mit den Modellergebnissen. Diese Diskrepanzen sind plausibel durch die Datenbasis zu begründen: Das baden-württembergische Messnetz ist auf die Schwerpunkte der Belastung konzentriert, wodurch der schon in Kap. 2.2 dargestellte Unterschied zwischen Messstellenstatistiken und flächengewichteten Mittelwerten resultiert.

Für die Schweizer Kantone sind sowohl die Mess- als auch die Rechenergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren, da sie auf einer sehr kleinen Datenbasis beruhen.

d'eau confirment également très bien la tendance. Le fait que leur niveau soit plus faible que celui du modèle est plausible, dans la mesure où les compagnies de distribution d'eau exploitent en général des ressources en eau mieux protégées. Du côté droit du Rhin par contre, une divergence plus importante est constatée. Le maximum et les autres valeurs mesurées se situent largement au-delà du modèle. La tendance concorde toutefois bien avec les résultats des simulations. Ces divergences sont probablement explicables par la base des données : le réseau badois est concentré sur les pics de pollution, ce dont résulte la différence entre statistiques des stations de mesure et moyennes régionales déjà présentée dans le chapitre 2.2.

Pour les cantons suisses, les résultats des mesures et de calculs sont à interpréter tous les deux avec précaution, car ils reposent sur un faible nombre de données.

### Überschreitungsflächen

Der in Abb. 4.4.5 dargestellte Vergleich der Überschreitungsflächen für 50 mg/l und für 25 mg/l zeigt, dass die

### Surfaces de dépassement de limites

La comparaison des surfaces de dépassement des limites de 50 mg/l et de 25 mg/l présentée dans la figure 4.4.5

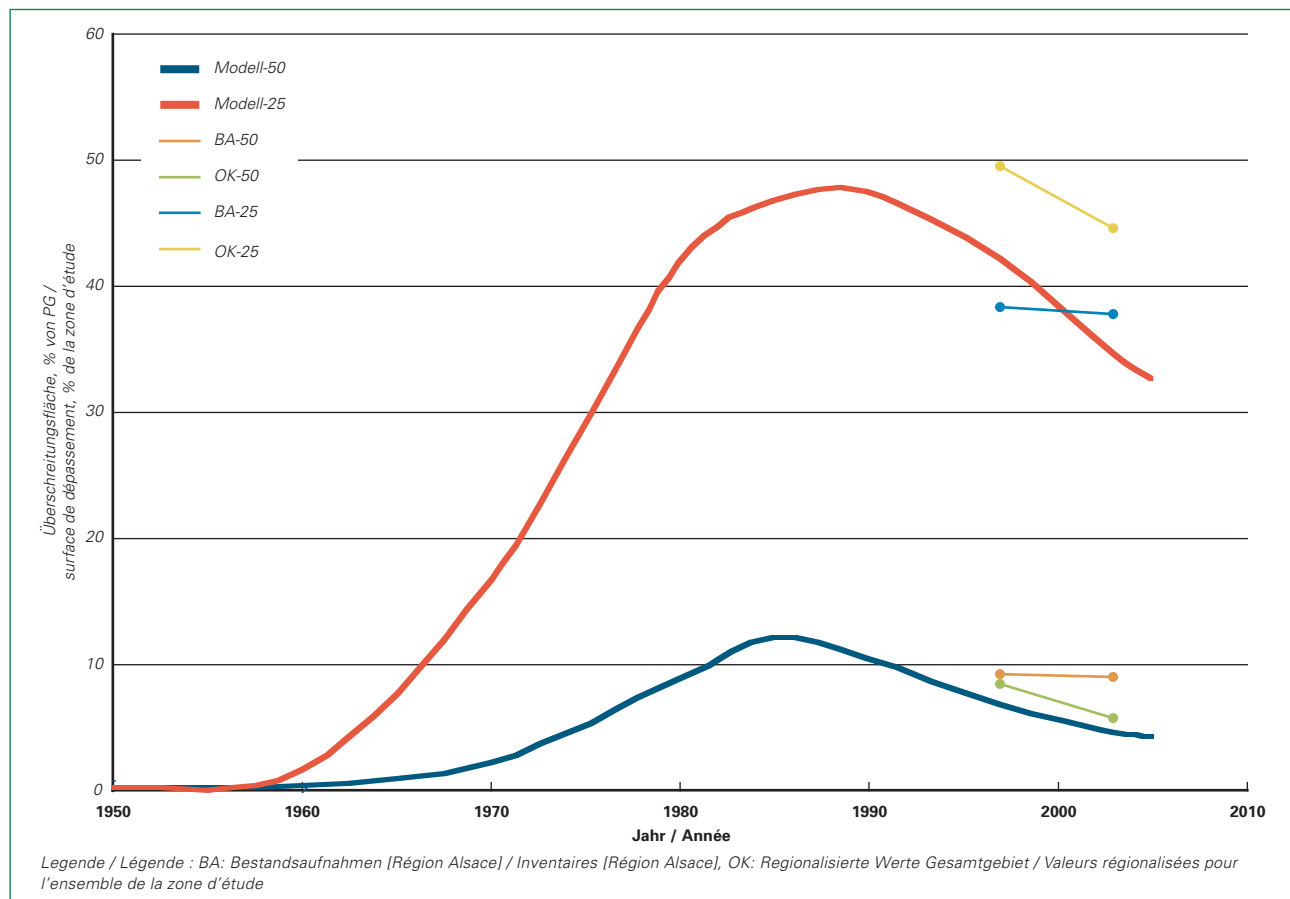


Abbildung 4.4.5: Überschreitungsflächen 50 mg/l und 25 mg/l

Figure 4.4.5 : Surface de dépassement de la limite de 50 mg/l et de 25 mg/l

Tendenz und die Größe der Überschreitungsflächen für das Gesamtgebiet gut getroffen sind.

Die kartographische Auswertungen der Nitratmessungen ergeben ähnlich große Überschreitungsflächen (sowohl für 50 mg/l als auch für 25 mg/l). Hinsichtlich des Trends zeigen die von Hand erstellten Karten der Bestandsaufnahme im Gegensatz zum Modell nahezu keinen Trend. Der Trend der Modellergebnisse stimmt aber sehr gut mit den regionalisierten Daten überein.

#### 4.4.5 SENSITIVITÄTSLAUF

Im Referenzlauf werden insbesondere auf der baden-württembergischen Seite das Konzentrationsniveau und demzufolge auch die Überschreitungsflächen unterschätzt. Gleichzeitig wird im Modell die Konzentrationsabnahme überschätzt. Deshalb wurde als Teil der Sensitivitätsuntersuchung ein Modelllauf "S4" gerechnet, für den der Stickstoffeintrag ab 1990 als konstant angesetzt wurde. Die so errechneten Mittelwerte und ihre Änderung 1997 /2003 sind in Tabelle 4.4.4 zusammengestellt.

Die Übereinstimmung in den Konzentrationsniveaus ist für die konsistente Gruppe 696 besser als für den Referenzlauf. Der Trend (als Änderung 97 /03) ist erheblich kleiner, er ist bei den flächengewichteten Werten (region.) sogar positiv. Da sich das Gesamtsystem für diesen Rechenlauf hinsichtlich der Ein- und Austräge etwa im Gleichgewicht befindet, ändert sich die Nitratkonzentration selbst bis 2050 nicht wesentlich, falls der N-Eintrag von

montre que la tendance et la taille des surfaces de dépassement des limites pour l'ensemble de la zone d'étude sont correctement simulées.

Les cartographies des concentrations en nitrates établies à la main à partir des valeurs des inventaires fournissent des surfaces de dépassement cohérentes avec celles des simulations (autant pour 50 mg/l que pour 25 mg/l). Du point de vue de la tendance, les cartes de l'inventaire, établies manuellement, ne présentent quasiment pas de tendance, contrairement au modèle. La tendance des résultats des simulations concorde toutefois très bien avec les données régionalisées obtenues par la technique du krigeage.

#### 4.4.5 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Pour la simulation de référence, le modèle sousstime, en particulier du côté du Bade-Wurtemberg, le niveau de concentration et par conséquent également les surfaces de dépassement de limites. Il surestime la baisse des concentrations. C'est pourquoi une simulation « S4 » a été effectuée en tant que part de l'étude de sensibilité, avec des entrées d'azote maintenues à un niveau constant à partir de 1990. Les valeurs moyennes calculées par ce biais ainsi que leur modification entre 1997 et 2003 sont rassemblées dans le tableau 4.4.4.

La concordance entre les niveaux de concentration est meilleure pour le groupe cohérent de 696 stations de mesure que pour la simulation de référence. La tendance (soit la modification entre 1997 et 2003) est nettement plus petite, et même positive pour les valeurs spatialisées (régionales). L'ensemble du système étant quasiment en équilibre du point de vue des entrées et des sorties pour cette simulation, les concentrations en nitrates ne

Tabelle 4.4.4: Vergleich der Mittelwerte für Messung und zwei Modellläufe

Tableau 4.4.4 : Comparaison des moyennes pour les mesures et pour deux simulations

	1997			2003			Änderung / Modification 97/03		
	Alle Mst / Toutes les stat. de mesures	konsGr_696 / groupes cohérents de 696 stat. de mes.	region. / région.	Alle Mst / Toutes les stat. de mesures	konsGr_696 / groupes cohérents de 696 stat. de mes.	region. / région.	Alle Mst / Toutes les stat. de mesures	konsGr_696 / groupes cohérents de 696 stat. de mes.	region. / région.
<b>BA / Inventaire</b>	28,6	28,4	27,5	27,4	27,2	24,90	-4,2%	-4,4%	-9,5%
<b>Modell Ref. / Simul. de réf.</b>		25,8	21,8		22,7	20,39		-12,2%	-6,6%
<b>Modell S4 / Simul. S4</b>		27,5	22,6		27,1	22,82		-1,7%	1,0%

1990 bis 2050 angesetzt wird. Im Referenzlauf, in dem der N-Eintrag von 2000 bis 2050 angenommen wird, nimmt die Nitratkonzentration dagegen weiter ab.

Da der Referenzlauf tendenziell zu niedrige Konzentrationen und eine zu schnelle Konzentrationsabnahme und der Sensitivitätslauf S4 gerade gegenläufige Verhältnisse gezeigt haben, können diese Ergebnisse so interpretiert werden, dass die Abschätzung des Stickstoffeintrags im Jahr 2000 für den Referenzlauf eventuell zu niedrige Werte ergeben hat.

#### 4.4.6 FAZIT

Als Ergebnis des Vergleichs der Ergebnisse des Grundwassermodells mit den Messergebnissen kann festgestellt werden, dass das Modell im Rahmen der gegebenen Unsicherheiten die gemessenen Verhältnisse gut nachbildet und deshalb geeignet ist, eine vergleichende Bewertung von Handlungsoptionen zu ermöglichen. Durch das Modell können die Nitratkonzentrationen zwar nicht zu jedem Zeitpunkt, an jedem Ort und unter allen Randbedingungen bis auf Abweichungen von wenigen mg/l genau reproduziert oder vorhergesagt werden, die Untersuchung von generellen Tendenzen ist aber problemlos möglich. Für die hier gegebene Aufgabenstellung ist jedoch eine großräumige und langfristige Abschätzung der Entwicklung der Nitratbelastung unter verschiedenen Randbedingungen gefordert. Sowohl das Niveau und die räumliche Struktur der Belastung als auch die generelle Tendenz weisen für die vergleichende Bewertung verschiedener Handlungsoptionen eine hohe Genauigkeit auf.

connaissent pas de grandes modifications, même d'ici 2050, même dans le cas où on considère des apports de nitrates sur la période de 1990 à 2050. Les concentrations en nitrates diminuent toutefois dans la simulation de référence, dans laquelle les apports de nitrates entre 2000 et 2050 sont définis.

La simulation de référence aboutissant systématiquement à des concentrations trop faibles et à une baisse trop rapide des concentrations et l'analyse de sensibilité S4 montrant exactement le contraire, ces résultats peuvent être interprétés comme une indication que les entrées d'azote pour l'année 2000 ont été estimées à un niveau trop faible pour la simulation de référence.

#### 4.4.6 BILAN

On s'aperçoit de la bonne adéquation des valeurs mesurées et des valeurs calculées par le modèle des eaux souterraines, on peut donc considérer que le modèle est capable d'effectuer une analyse comparative des options d'action, en tenant compte des incertitudes existantes. Le modèle n'est cependant pas capable de reproduire ou de prédire exactement les concentrations en nitrates à n'importe quel moment, dans n'importe quel lieu et avec n'importe quelles conditions aux limites jusqu'à des divergences de quelques mg/l. On peut néanmoins affirmer que le modèle est parfaitement en mesure de prévoir les tendances générales. Cependant, la définition des tâches du projet exige tout de même une évaluation à long terme sur un territoire important de l'évolution de la pollution par les nitrates sous différentes conditions aux limites. Le niveau et la structure spatiale de la pollution, ainsi que la tendance générale, permettent une grande précision dans l'analyse comparative de différentes options d'action.

## 5 Grundlagen für die Prognoseläufe

Für die Modellläufe zur Prognose der Auswirkungen der Handlungsoptionen und Szenarien (vgl. Kap.6 und Kap. 7) sind einige allgemeine Festlegungen zu treffen, um die verschiedenartigen Rechenläufe verständlich untereinander vergleichend bewerten zu können. Zum einen ist durch Definition einiger Rechenläufe der gesamte Aktionsrahmen abzustecken. Des Weiteren sind Annahmen über die zeitliche Umsetzung der Varianten zu treffen und schließlich geeignete Indikatoren und Bewertungsmaßstäbe zu definieren.

### 5.1 REFERENZ- UND BASISLAUF, NULLVARIANTE

Als gemeinsame Basis zur Bewertung der Auswirkungen aller Prognosen wurde ein **Referenzlauf (R)** definiert. Für diesen wurden die Stoffeintragsbedingungen von 2000 unverändert bis zum Jahr 2050 angesetzt. Der Referenzlauf entspricht also dem Fall „alles bleibt, wie es ist“. Für die Szenarien musste ein analoger **Basislauf (R<sub>S</sub>)** definiert werden. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass die zunächst auf Gemeinde- bzw. Kantonebene vorliegenden Agrarstatistiken jeweils auf die Ebene der Landwirtschaftseinheiten aggregiert wurden, da auch die Ergebnisse der Berechnungen mit dem sozioökonomischen Modul nur auf dieser Gebietsebene vorliegen.

Zusätzlich wurde eine „**Nullvariante (N)**“ als fiktiver Fall dargestellt. Hierfür wird angenommen, dass ab dem Jahr 2006 jeglicher Nitrateintrag in das Grundwasser vollständig unterbunden wird. Diese Variante erlaubt die isolierte Darstellung des Beitrags der „Altlast“ zur Entwicklung der Gesamtbelastung über den Prognosezeitraum.

### 5.2 ZEITLICHE UMSETZUNG DES NITRATEINTRAGS FÜR HANDLUNGSOPTIONEN UND SZENARIEN.

Der zeitliche Verlauf des Nitrateintrags bei den Prognoserechnungen wurde für die Handlungsoptionen und die Szenarien unterschiedlich festgelegt (Abb. 5.1). Zunächst wurde jeweils mit einem konstanten Nitrateintrag von 2000 bis einschließlich 2006 gerechnet.

## 5 Principes de base des simulations

Dans le cadre de la modélisation des impacts des options d'action et des scénarios (cf. chapitres 6 et 7), il est nécessaire de définir certains principes généraux, afin d'être en mesure d'analyser et de comparer avec clarté les différentes simulations effectuées. Tout d'abord, le cadre d'action global est délimité par le biais de la définition de quelques simulations. Des hypothèses relatives à l'aspect temporel des variantes de simulation sont expliquées par la suite ; enfin des indicateurs adaptés et des règles d'évaluation sont définis.

### 5.1 SIMULATION DE RÉFÉRENCE ET DE BASE, VARIANTE NULLE

Une **simulation de référence (R)** est définie en tant que base commune pour l'évaluation de toutes les simulations. Pour cette simulation, les entrées de matières (nitrates) de 2000 sont appliquées de manière inchangée sur l'ensemble de la période 2000-2050. La simulation de référence correspond donc au cas où « tout reste en l'état ». Pour les scénarios, une **simulation de base (R<sub>S</sub>)** a été définie de façon analogue. Celle-ci est caractérisée par le fait que les statistiques agricoles initialement disponibles à l'échelle des communes ou des cantons aient dû être agrégées à l'échelle des petites régions agricoles, les résultats des calculs du module socio-économique n'étant disponibles qu'à cette échelle.

De plus, une « **variante nulle (N)** » a été réalisée en tant que cas fictif. On a supposé dans ce cas que toute entrée de nitrates dans les eaux souterraines à partir de 2006 était totalement entravée. Cette variante permet une représentation séparée de la contribution de la « charge historique » à l'évolution de la pollution totale sur la période de modélisation.

### 5.2 MISE EN PRATIQUE TEMPORELLE DES ENTRÉES DE NITRATES POUR LES OPTIONS D'ACTION ET LES SCÉNARIOS

L'évolution des entrées de nitrates utilisée dans les simulations a été définie différemment pour les options d'action et pour les scénarios (Fig. 5.1). D'abord, on a calculé dans chaque cas des entrées de nitrates constantes de 2000 jusqu'à fin 2006.

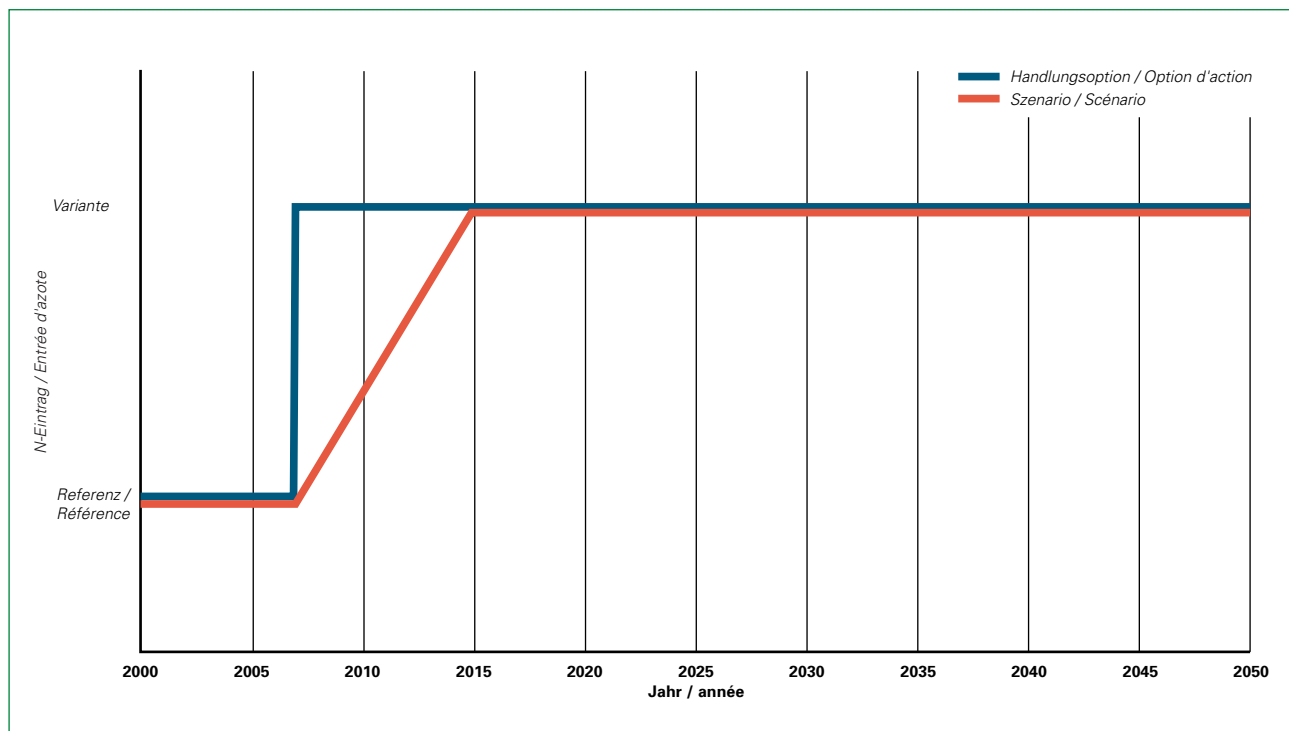


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Stickstoffeintrags für Handlungsoptionen und Szenarien.  
 Figure 5.1 : Représentation schématique de l'évolution temporelle des entrées d'azote dans la nappe pour les options d'actions et les scénarios.

Danach wird für die Handlungsoptionen ab 2007 „schlagartig“ der neu berechnete Nitrateintrag für den Stoffeintrag in das Grundwassermodell verwendet und bis zum Ende des Simulationslaufs im Jahr 2050 beibehalten. Eine solche Eintragsrandbedingung entspricht einer sofortigen und vollständigen Umsetzung der Handlungsoption, was in Wirklichkeit selbstverständlich nicht vorstellbar ist. Mit den Simulationsläufen wird vielmehr dargestellt, was **im besten Fall** zu erreichen wäre. Die Jahresangaben sind daher nicht als absolute Angaben zu verstehen, sondern als Zeitspanne seit „Umsetzung“. Das vermittelt einen Eindruck davon, wie lange es dauert, bis eine Handlungsoption die Grundwasserqualität merklich beeinflusst.

Für die Szenarien wird dagegen angenommen, dass sich zwischen den Jahren 2007 und 2015 ein linearer Übergang entwickelt zwischen dem Stickstoffeintrag der Referenzsituation und dem, wie er sich durch die jeweilige Szenarioberechnung für 2015 ergibt. So wird berücksichtigt, dass sich viele Rahmenbedingungen über längere Zeitspannen hinweg ändern und der Landwirtschaftssektor sich darauf auch nur mit Verzögerung einstellt.

Ensuite, à partir de 2007, pour les options d'action on introduit « d'un coup » les nouvelles entrées de nitrates dans le modèle des eaux souterraines, et ces valeurs sont maintenues jusqu'à la fin de la simulation en 2050. De telles conditions d'entrée aux limites représentent une mise en pratique immédiate et complète de l'option d'action, ce qui n'est bien sûr pas concevable dans la réalité. A l'aide des simulations, on représente davantage l'objectif à atteindre dans le meilleur des cas. Dans ce cadre, les informations relatives aux années ne doivent pas être considérées comme des renseignements absolus, mais comme un intervalle de temps après la « mise en pratique ». Ceci donne une idée de la durée nécessaire pour qu'une option d'action influence sensiblement la qualité des eaux souterraines.

Dans le cas des scénarios au contraire, on admet qu'une transition linéaire se produit entre 2007 et 2015 entre les entrées d'azote de la situation de référence et les différentes entrées calculées par les scénarios à l'horizon 2015. On prend ainsi en compte le fait que les modifications de nombreuses conditions se produisent graduellement sur un laps de temps important et que le secteur agricole ne s'adapte qu'avec retard.

### 5.3 DARSTELLUNG DER SIMULATIONSERGEBNISSE

Die Simulationsergebnisse werden sowohl für Handlungsoptionen als auch Szenarien in Karten dargestellt für:

- absolute Konzentrationen [mg NO<sub>3</sub>/l] für das Jahr 2050 in den obersten 10m des Grundwasservorkommens.
- Differenzen [mg NO<sub>3</sub>/l] zwischen den Nitrat-Konzentrationen für Prognose und Referenzlauf. Diese wird definiert als Konzentration der Prognose abzüglich der Konzentration des Referenzlaufs für das Jahr 2050. Diese Differenzkarten ermöglichen einen schnellen Überblick über die räumliche Wirkungsweise eines Prognoselaufs.

Zur Visualisierung des zeitlichen Verlaufs der Grundwasserqualität bietet sich die Verwendung von über das gesamte Projektgebiet aggregierten **Indikatoren** an. Für die Darstellung wurden zwei solcher Indikatoren verwendet:

- Überschreitungsflächen 50 mg/L [ha] für die obersten 10m des Grundwasserleiters. Abbildung 5.2.a zeigt diesen Indikator für Referenz- und Basislauf sowie die Nullvariante.
- Mittelwert [mg NO<sub>3</sub>/l] für die obersten 10m des Grundwasserleiters. Hierfür wurde über alle entsprechenden Zellen des Grundwassermodells gemittelt (vgl. Abb. 5.2.b).

Die zwei verwendeten Indikatoren bieten vor allem zwei Vorteile: Sie entsprechen einerseits den Gütekriterien, die sich in verschiedenen Maßnahmenprogrammen des Grundwasserschutzes wieder finden. Außerdem ergänzen sie sich im Hinblick auf die beiden wesentlichen Aspekte diffuser Belastung, nämlich das gesamte Ausmaß der Belastung (Mittelwert) und das Auftreten lokaler Belastungsschwerpunkte (Überschreitungsflächen), und liefern so einen guten Überblick.

Es gibt noch eine Vielzahl weiterer Indikatoren, deren Berücksichtigung durchaus von Interesse wäre. Darauf muss hier bewusst verzichtet werden, um den vergleichenden Überblick über die untersuchten Handlungsoptionen und Szenarien zu erleichtern. Insbesondere würde auch die Überschreitungsfläche 25 mg/l einen wichtigen Hinweis geben auf die Erreichung des Zieles, die Grundwasserbelastung unter diesen Wert zurückzuführen (Kap. 1). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Gesamtsituation nur durch den Mittelwert charakterisiert.

Wie Abbildung 5.2 verdeutlicht, stellen Referenzlauf und Nullvariante die wichtigsten **Vergleichsmaßstäbe** für alle

### 5.3 REPRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE SIMULATION

Les résultats de simulation sont présentés sous forme de cartes pour les options d'action autant que pour les scénarios, pour :

- La **concentration absolue** [mg NO<sub>3</sub>/l] pour l'année 2050 dans les 10 m supérieurs de l'aquifère.
- La **différence** [mg NO<sub>3</sub>/l] entre la concentration en nitrates de la **simulation concernée** et de la **référence**. Cette différence est définie comme la concentration prévue moins la concentration de la simulation de référence pour l'année 2050. Ces cartes de différences permettent d'apprécier facilement les impacts spatiaux d'une option d'action ou d'un scénario.

Des indicateurs agrégés sur l'ensemble de la zone du projet permettent de visualiser l'évolution temporelle de la qualité des eaux souterraines. Deux indicateurs de ce type ont été représentés :

- Les **surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l** [ha] pour les 10 m supérieurs de l'aquifère. La figure 5.2.a présente cet indicateur pour les simulations de référence et de base ainsi que pour la variante nulle.
- La **valeur moyenne** [mg NO<sub>3</sub>/l] pour les 10 m supérieurs de l'aquifère. Elle repose sur la moyenne de toutes les cellules concernées du modèle des eaux souterraines (cf. Fig. 5.2.b).

Les deux indicateurs utilisés présentent surtout deux avantages : d'une part, ils correspondent aux critères de qualité qui se retrouvent dans différents programmes de mesures de protection des eaux souterraines. De plus, ils se complètent du point de vue des deux principaux aspects de la pollution diffuse, c'est-à-dire l'ampleur globale de la pollution (valeur moyenne) et l'existence de pics de pollutions localisés (surfaces de dépassement d'une limite), et fournissent ainsi un bon aperçu.

Il existe encore de nombreux autres indicateurs dont la prise en compte serait tout à fait intéressante. Il faut ici y renoncer intentionnellement, afin d'alléger la comparaison des aperçus des options d'action et des scénarios étudiés. En particulier, la surface de dépassement de la limite de 25 mg/l fournirait des indications importantes sur le degré d'accomplissement de l'objectif de ramener le niveau de pollution des eaux souterraines en dessous de cette valeur (chap. 1). Pour des raisons de clarté, la situation globale est uniquement caractérisée par la valeur moyenne.

Comme l'explique la figure 5.2, la simulation de référence et la variante nulle forment les échelles de comparaison



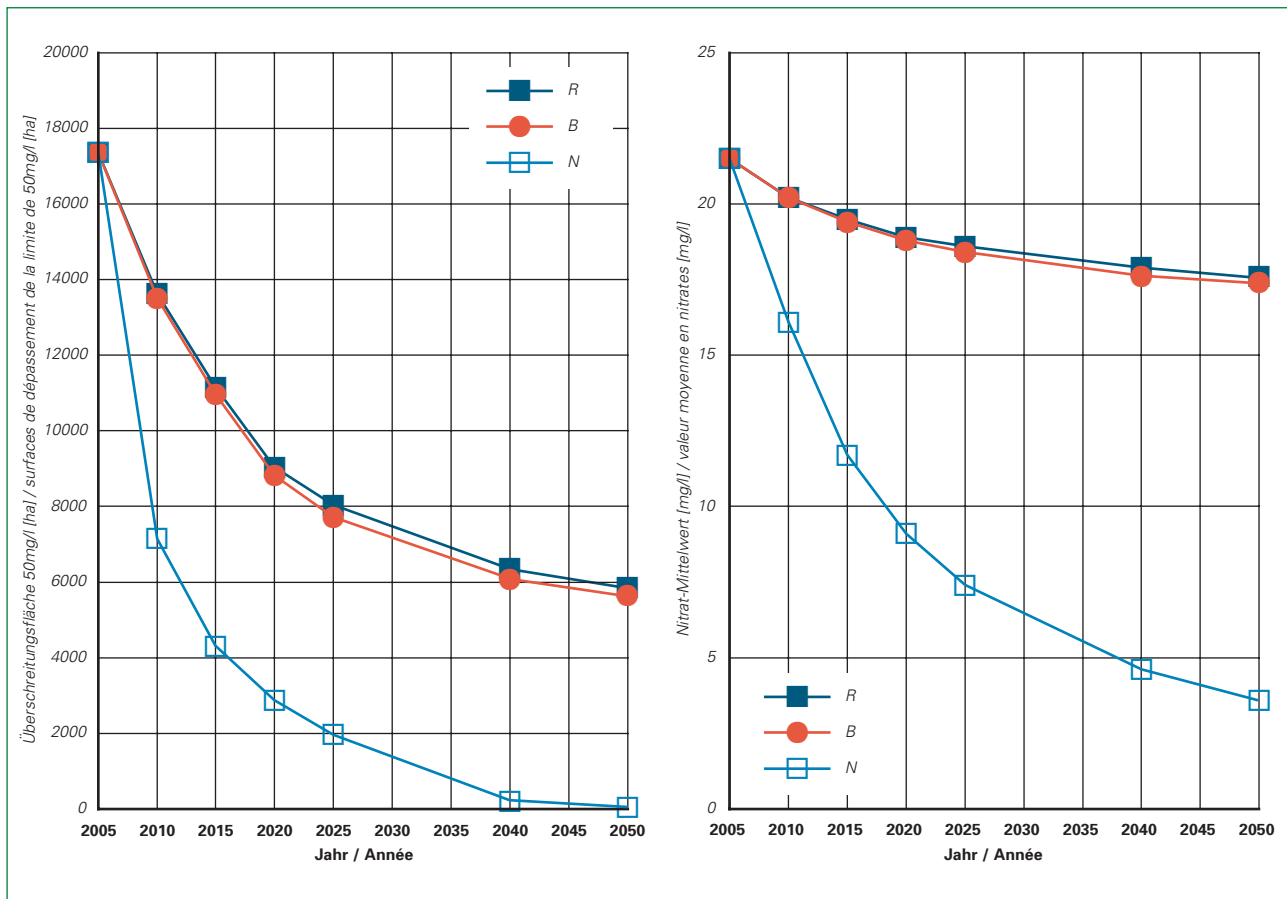


Abbildung 5.2: (a) Überschreitungsfäche 50mg/l und (b) Nitratmittelwert für Referenz (R) und Basislauf (R<sub>3</sub>) sowie die Nullvariante (N)  
 Figure 5.2 : (a) Surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l et (b) valeur moyenne pour la simulation de référence (R) et de base (R<sub>3</sub>) ainsi que la variante nulle (N).

berechneten Prognosen dar: Je näher eine Handlungsoption an die Wirkung der Nullvariante heranreicht, desto wirksamer ist sie. Da mit den Handlungsoptionen das Ziel der Verbesserung des Grundwasserzustands verfolgt wird, sollte eine Handlungsoption jedoch nie oberhalb des Referenzlaufs liegen. Zwischen den jeweils zwei Kurven der Abb. 5.2 liegt gleichsam die Fläche der Möglichkeiten für verschiedene Handlungsoptionen.

Da Szenarien, anders als Handlungsoptionen, nicht für eine explizite Bemühung hinsichtlich des Grundwasserschutzes stehen, ist die Interpretation in diesem Fall etwas anders: Es interessiert vielmehr, wie sich die Ergebnisse der Szenariensimulation verglichen mit dem Referenzlauf „alles bleibt, wie es ist“ entwickeln. Dagegen tritt die Bedeutung der Nullvariante als „Idealziel“ in den Hintergrund.

Bei der Diskussion der Handlungsoptionen wird ergänzend zur Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Mittelwerts und der Überschreitungsfäche 50mg/l jeweils noch deren Wirksamkeit und Wirkungsbeschleunigung quantifiziert. Diese sind folgendermaßen definiert:

les plus importantes pour toutes les simulations effectuées. Plus l'effet d'une option d'action s'approche de l'effet de la variante nulle, plus elle est efficace. Le but des options d'action étant d'améliorer l'état des eaux souterraines, elles ne devraient cependant pas se situer au-dessus de la simulation de référence. Entre les deux courbes de la figure 5.2 se trouve pour ainsi dire l'espace des possibilités des différentes options d'action.

Au contraire des options d'action, les scénarios ne visent pas explicitement la protection des eaux souterraines, et leur interprétation est par conséquent quelque peu différente : elle concerne plutôt la manière dont les résultats des simulations de scénarios évoluent par rapport à la simulation de référence « tout reste en l'état ». Au contraire, la variante nulle comme « objectif idéal » a peu de signification dans ce contexte.

Dans la discussion sur les options d'action, l'information concernant l'évolution temporelle des valeurs moyennes et de la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l est complétée par deux autres grandeurs : l'efficacité et l'accélération de l'effet. Ces deux critères sont définis comme suit :

- Wirksamkeit [%]: relative Abweichung (für das Jahr 2050) des Indikators für die untersuchte Handlungsoption vom selben Indikator für den Referenzlauf. Der Wertebereich der Wirksamkeit reicht von 0, d.h. keiner Veränderung gegenüber dem Referenzlauf, bis 100%, wenn die Belastung vollständig verschwunden ist.
- Wirkungsbeschleunigung [Jahre]: Ausgangspunkt für dieses Kriterium ist der Mittelwert bzw. die Überschreitungsfläche 50mg/l des Referenzlaufs für das Jahr 2050. Die Wirkungsbeschleunigung beschreibt, um wie viel früher (in Jahren) die beiden Indikatoren der jeweiligen Handlungsoption diese Referenzwerte erreichen. Die Nullvariante hat beispielsweise bezüglich des Mittelwertes eine Wirkungsbeschleunigung von 41 Jahren und bezüglich der Überschreitungsfläche 50mg/l von 37 Jahren (vgl. Abb. 5.2)
- Efficacité [%] : différence relative (pour l'année 2050) entre l'indicateur pour l'option d'action étudiée et le même indicateur pour la simulation de référence. La gamme des valeurs d'efficacité se situe entre 0, c'est-à-dire aucune modification par rapport à la simulation de référence, et 100 %, lorsque la totalité de la pollution a disparu.
- Accélération de l'effet [années] : le point de départ de ce critère est représenté par la valeur moyenne ou la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l de la simulation de référence pour l'année 2050. L'accélération de l'effet décrit avec combien d'années d'avance les deux indicateurs de l'option d'action concernée atteignent cette valeur de référence. Par exemple, la variante nulle fournit une accélération de l'effet de 41 ans dans le cas de la concentration moyenne et de 37 ans dans le cas de la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l (cf. Fig. 5.2).

## 6 Ergebnisse

Die Auswirkungen der in Kapitel 3 beschriebenen Szenarien wurden nacheinander unter Verwendung der sozio-ökonomischen Modelle, des STOFFBILANZ-Modells und des hydrodynamischen Modells simuliert. Dieser Vorgang lief in fünf Etappen ab:

- (i) Zunächst hat die Sachverständigengruppe die Beträge ermittelt, die den Eingabeparametern des sozio-ökonomischen Modells zuzuordnen sind: Energiepreis, Wassergebühr, aus der GAP-Reform resultierende Deckungsbeiträge usw. In der nachfolgenden Tabelle sind die Beträge aufgeführt, die den Szenarien zugrunde gelegt wurden.
- (ii) Die Entwicklung der Kulturartenverteilung und der Bewirtschaftungsweisen, wie sie sich aus einer Veränderung der Wirtschaftsparemeter der einzelnen Szenarien ergeben, wurde mit Hilfe der sozioökonomischen Modelle simuliert. Die Ergebnisse werden für jeden der 12 Modelltypen für landwirtschaftliche Betriebe getrennt ausgewiesen.
- (iii) Die Ergebnisse der Simulation wurden zunächst auf die 15 kleinen Agrarregionen und dann auf den gesamten Untersuchungsbereich übertragen; dadurch wird es möglich, die Gesamtauswirkung eines jeden Szenarios auf die verschiedenen Anbauflächen abzuschätzen.
- (iv) Das STOFFBILANZ-Modell wurde zur Berechnung der zu jedem Szenario gehörenden Stickstoffbilanz herangezogen. Dabei werden die Ergebnisse der sozioökonomischen Modelle als Eingabeparameter verwendet.
- (v) Das Modell zur Veranschaulichung des Nitratreintrags und des Nitrattransports ins Grundwasser schließlich ermöglicht eine Ermittlung der absehbaren Entwicklung der Grundwasserqualität.

Die Ergebnisse dieser Simulationsreihen werden im Folgenden dargestellt. Im ersten Abschnitt (6.1) werden die Auswirkungen der genannten drei Szenarien auf den Agrarsektor erläutert (auf die verschiedenen Anbauflächen, die Bewirtschaftungsweisen, die Einkommenslage der Betriebe). Im zweiten Abschnitt (6.2) werden die Auswirkungen der Szenarien auf die Stickstoffbilanz, bezogen auf den gesamten Untersuchungsbereich, beschrieben. Die den einzelnen Szenarien entsprechenden Nitratgehalte werden im letzten Abschnitt (6.3) dargestellt.

## 6 Résultats

L'impact des scénarios définis dans la section 3 a été simulé en utilisant successivement les modèles socio-économiques, le modèle STOFFBILANZ et enfin le modèle hydrodynamique. L'exercice de simulation a été conduit en cinq étapes :

- (i) Tout d'abord, le groupe d'experts a défini la valeur à attribuer aux paramètres d'entrée du modèle socio-économique : prix de l'énergie, montant de la redevance pour l'utilisation d'eau, nouvelles marges brutes après la réforme de la PAC, etc. Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs retenues pour les scénarios.
- (ii) Les modèles socio-économiques ont ensuite été utilisés pour simuler l'évolution des assolements et des pratiques agricoles que sont susceptibles d'entraîner les modifications des paramètres économiques correspondant à chaque scénario. Les résultats sont estimés séparément pour chacun des 12 types d'exploitations agricoles modélisées.
- (iii) Les résultats des simulations ont ensuite été agrégés à l'échelle des 15 petites régions agricoles puis de l'ensemble de la zone d'étude, permettant d'estimer l'impact global de chaque scénario sur la surface totale de chaque culture.
- (iv) Le modèle STOFFBILANZ a été utilisé pour calculer le bilan d'azote associé à chaque scénario ; il utilise les résultats des modèles socio-économiques comme paramètres d'entrée.
- (v) Enfin, le modèle représentant les écoulements et le transport des nitrates dans les eaux souterraines a permis d'estimer l'évolution de la qualité de l'eau de la nappe phréatique.

Les résultats de cet ensemble de simulations couplées sont présentés ci-dessous. La première section (6.1) présente l'impact des trois scénarios envisagés sur le secteur agricole (impact sur les surfaces des différentes cultures, les pratiques agricoles, les revenus des exploitations). La seconde section (6.2) décrit l'impact des scénarios sur le bilan d'azote à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude. Enfin, les teneurs en nitrates correspondant à ces scénarios sont présentées dans la dernière section (6.3).

Tabelle 6.1: Zusammenstellung der Ausgangshypothesen für die Simulation der Auswirkungen der drei Szenarien (Quellen und Anmerkungen am Schluss der Tabelle)

Zeithorizont	Referenzsituation (R <sub>s</sub> )			Tendenzszenario (T)			2015			Szenario B2					
	2003			BADEN			ELSASS			BADEN			ELSASS		
	Einheit	BADEN	ELSASS	BADEN	ELSASS	BADEN	ELSASS	BADEN	ELSASS	BADEN	ELSASS	BADEN	ELSASS		
Einflussfaktoren															
(Reform der GAP) (1) Deckungsbeiträge (3)	berechnet für 2003	berechnet für 2003	berechnet für 2003	vollst. Entkopplung + Einmalzahlung (2) + Anpassung von 5%	teilw. Entkopplung (75%) + Einmalzahlung (2) + Anpassung von 5%	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	vollst. Entkopplung + Einmalzahlung (2) + Anpassung von 5%		
Einhaltung einer umweltgerechten landwirtschaftlichen Praxis	-	-	-	Verbot des Umbruchs von Dauergrünland Begrünung und Diversifizierung der Humusbilanz (4)	Begrünung und Diversifizierung oder Bodenbedeckung (5)	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario	wie Tendenzszenario		
(Maiswurzelschäber) Höchstanteil der LF, auf der Mais angebaut wird	-	-	-	50% * Spontane Anpassung durch Landwirte	50% * Spontane Anpassung durch Landwirte	keine Einschränkung	keine Einschränkung	keine Einschränkung	keine Einschränkung	keine Einschränkung	keine Einschränkung	keine Einschränkung	30% Spontane Anpassung durch Landwirte an dreijährige Fruchtfolgen		
(Energiepreis) Preis des Agrardiesels. Annahme: Energiebedarf wird vollständig durch Diesel gedeckt.	0,62 (davon diverse Steuern = 62%)(a)	0,40 (davon diverse Steuern = 47%)(b)	0,40 (davon diverse Steuern = 47%)(b)	Steigerung um 100% (c)	Steigerung um 100% (c)	Steigerung des Agrardieselpreises vor Steuern um 100%, entspricht 40%	Steigerung des Agrardieselpreises vor Steuern um 100%, entspricht 68%	Steigerung des Agrardieselpreises vor Steuern um 100%, entspricht 68%	Steigerung des Agrardieselpreises vor Steuern um 100%, entspricht 68%	Steigerung des Agrardieselpreises vor Steuern um 100%, entspricht 68%	Steigerung des Agrardieselpreises vor Steuern um 100%, entspricht 68%	Steigerung des Agrardieselpreises vor Steuern um 100%, entspricht 68%	Steigerung des Preises um 200% (bzgl 2003 alles inkl.)		
Mineraldüngerpreis (Brutto) (Nettopreis besteht zu 40% aus Energiekosten)(g)	0,58 (davon 16% MwSt.) (d)	0,58 (davon 5,5% MwSt.) (e)	0,58 (davon 5,5% MwSt.) (e)	Steigerung durch Energiekosten (ohne Steuern) (g)	Steigerung durch Energiekosten (ohne Steuern) (g)	Steigerung durch Energiekosten (ohne Steuern)	Steigerung durch Energiekosten (ohne Steuern)	Steigerung durch Energiekosten (ohne Steuern)	Steigerung durch Energiekosten (ohne Steuern)	Steigerung durch Energiekosten (ohne Steuern)	Steigerung durch Energiekosten + Steuern von 0,26 €	Steigerung durch Energiekosten + Steuern von 0,15 €	Steigerung durch Energiekosten + Steuern von 0,15 €		
(Europäische Erweiterung) Lohn für Saisonarbeit	Lohn für ausländische Saisonarbeit 5,11 (d)	Lohn für 7,19 (f)	Lohn für 7,19 (f)	heutiger nationaler Lohnarbeitspreis	heutiger nationaler Lohnarbeitspreis	heutiger nationaler Lohnarbeitspreis	heutiger nationaler Lohnarbeitspreis	heutiger nationaler Lohnarbeitspreis	heutiger nationaler Lohnarbeitspreis	heutiger nationaler Lohnarbeitspreis	Subvention zur Beibehaltung des Niveaus von 2003. Ziel: Stärkung regionaler Produktion	Subvention zur Beibehaltung des Niveaus von 2003. Ziel: Stärkung regionaler Produktion	keine Entwicklung		
(Preis und Abgabe auf Wasserverbrauch) Wasserpreis	0,05 (Wasserpfeffig)	0	0	Keine Entwicklung	Steuern von 0,025 €/m <sup>3</sup> für > 7000m <sup>3</sup> /Jahr (h)	Abschaffung des Wasserpfeffignis	0	0	0	0	keine Entwicklung	keine Entwicklung	Steuern von 0,025 €/m <sup>3</sup> für > 7000 m <sup>3</sup> /Jahr		
(Entwicklung der Bioenergien und Verträglichkeit) Möglichkeit Pflanzenproduktion für Biogas	Keine Biogas-Anlagen zur Maisverarbeitung	Keine Biogas-Anlagen zur Maisverarbeitung	Keine Biogas-Anlagen zur Maisverarbeitung	Maisverkauf (ab Feld) vom Landwirt an Biogashersteller	keine Entwicklung der Biogazindustrie	gleich wie im Tendenzszenario	gleich wie im Tendenzszenario	gleich wie im Tendenzszenario	gleich wie im Tendenzszenario	gleich wie im Tendenzszenario	gleich wie im Tendenzszenario	gleich wie im Tendenzszenario	gleich wie im Tendenzszenario		
Möglichkeit Rapsrohöl zu produzieren	Keine Anlagen zur Produktion von Rapsrohöl	Keine Anlagen zur Produktion von Rapsrohöl	Keine Anlagen zur Produktion von Rapsrohöl	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte	Produktion von Rapsöl im Betrieb und Verkauf der Nebenprodukte		
Verbesserung (verglichen mit 2003) der Möglichkeiten zum Anbau von Vertragskulturen	-	-	-	Für Braugerste, Industrieraps, Qualitätsweizen	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%		

Tableau 6.1 - Synthèse des hypothèses retenues pour la simulation de l'impact des trois scénarios : (voir les sources et notes à la suite du tableau)

Horizon	Scénario de référence (R <sub>0</sub> )			Scénario tendanciel (T)			2015			Scénario B2		
	2003		ALSACE	BADE		ALSACE	BADE		ALSACE	BADE		ALSACE
(facteur de changement) Facteurs impactés	Unité	BADE	ALSACE	BADE	ALSACE	BADE	ALSACE	BADE	ALSACE	BADE	ALSACE	ALSACE
(Réforme de la PAC) cf.(1) Marge brutes cf.(3)		calculé pour 2003	calculé pour 2003	Découplage total + Paiement unique cf.(2) + modulation de 5%	Découplage partiel (75%) + Paiement unique cf.(2) + modulation de 5%	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	Découplage total + paiement unique + modulation de 5%	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	Découplage total + paiement unique + modulation de 5%
Respect des „bonnes conditions agricoles et environnementales“	% de la SAU	-	-	interdiction de retourner les prairies permanentes enherbement et diversification ou couverture des sols cf.(5)	interdiction de retourner les prairies permanentes enherbement et diversification ou couverture des sols cf.(5)	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel	idem scénario tendanciel
(Chyromélie) Part maximale de la SAU occupée par le maïs	% de la SAU	-	-	Adaptation spontanée des agriculteurs	Adaptation spontanée des agriculteurs	pas de limitation	pas de limitation	pas de limitation	pas de limitation	Adaptation spontanée des agriculteurs sur des rotations triennales	Adaptation spontanée des agriculteurs sur des rotations triennales	Adaptation spontanée des agriculteurs sur des rotations triennales
(Prix de l'énergie) Prix du diesel agricole. On fait l'hypothèse que toutes les dépenses énergétiques se font par du diesel	€/L diesel	0,62 (dont Taxes diverses = 62%)(a)	0,40 (dont Taxes diverses = 47%)(b)	Augmentation de 100% (c)	Augmentation de 100% (c)	0,80	0,87	Prix du diesel avec une augmentation de 100% de la partie non taxée soit 40%	Prix du diesel avec une augmentation de 100% de la partie non taxée soit 68%	0,67	0,67	Augmentation de 200% du prix TTC par rapport à 2003
Prix des engrais minéraux (TTC) (le prix HT est composé de 40 % de coût de l'énergie)(g)	€/kg N	0,58 (dont TVA de 16%)(d)	0,58 (dont TVA de 5,5%)(e)	Augmentation due à la part du coût énergétique du prix de l'engrais (HT) (g)	Augmentation due à la part du coût énergétique du prix de l'engrais (HT) (g)	0,66	0,66	Augmentation due à la part du coût énergétique du prix de l'engrais (HT)	Augmentation due à la part du coût énergétique du prix de l'engrais (HT)	0,69	0,69	Augmentation due à la part du coût énergétique + Taxe de 0,15 €
(Elargissement européen) Prix de la main d'œuvre saisonnière	€/heure	Prix de la main d'œuvre étrangère 5,11 (d)	7,19 (f)	Prix de la main d'œuvre nationale actuelle	Prix de la main d'œuvre nationale actuelle	8,5*	8,5*	Prix de la main d'œuvre nationale actuelle	Prix de la main d'œuvre nationale actuelle	7,19	7,19	Maitien au niveau 2003, pour conserver l'avantage des cultures dans la région
(Prix et redevance sur l'eau consommée) Prix de l'eau consommée	€/m <sup>3</sup>	0,05 (Wassserpfennig)	0	pas d'hypothèse d'évolution	pas d'hypothèse d'évolution	0,05	0,05	Disparition du Wassserpfennig	Disparition du Wassserpfennig	0	0	Taxe de 0,025 €/m <sup>3</sup> pour >7000 m <sup>3</sup> /an
(Développement des bioénergies et cultures sous contrats) Possibilité de vente de cultures pour la production de biogaz	€/ha	Pas de filière „biogaz“ pour valoriser le maïs	Pas de filière „biogaz“ pour valoriser le maïs	Vente de maïs (au champ) par l'agriculteur à l'usine de transformation	Vente de maïs (au champ) par l'agriculteur à l'usine de transformation	800	800					
Possibilité de produire de l'huile végétale brute	L d'huile /ha de colza	Pas de filière huile végétale pour valoriser le colza	Pas de filière huile végétale pour valoriser le colza	Transformation de colza en huile sur exploitation et valorisation tourteau	Transformation de colza en huile sur exploitation et valorisation tourteau	1072	1072					
Possibilité accrue (par rapport à 2003) de production de cultures sous contrat	% de plus/ moins/ 2003	-	-	Pour orge brasserie, colza industriel, blé qualité	Pour orge brasserie, colza industriel, blé qualité	10%	10%					

#### Quellen:

\* Angaben "nach Expertenaussagen" bzw. in der Arbeitsgruppe einvernehmlich erstellt

- (a) LEL und Statistisches Bundesamt
- (b) Besteuerung von Energie - DGEMP, Ministerium für Wirtschaft, Finanzen und Industrie
- (c) Zwischen 2003 und 2006 bereits ein Anstieg um 50%; daher die Hypothese der Arbeitsgruppe
- (d) LEL
- (e) Ausgehend von den Einheitspreisen pro Düngemitteltyp des Konjunkturbüros von SCEES und der Fertimieux-Studie der ARAA
- (f) INSEE
- (g) Konsenswert aus UNIFA 2005 und [www.econologie.fr](http://www.econologie.fr)
- (h) Entwurf des Wassergesetzes (2005)

#### Anmerkungen

- (1) Der zeitliche Horizont für die GAP-Reform aus 2003 ist 2013; es wird von der Annahme ausgegangen, dass sie 2015 in derselben Weise angewandt wird wie 2013, da die Landwirtschaft immer eine gewisse Anpassungszeit braucht, besonders wenn ganze Anbaustrukturen in Frage gestellt werden.
- (2) Die Einmalzahlung entschädigt für das Verschwinden oder den Rückgang der Prämien; sie entspricht der Summe der Prämienansprüche pro Hektar, multipliziert mit der Anzahl der betroffenen Hektare. Die Auszahlung dieses Betrags wird von der Aktivierung der Prämienansprüche abhängig gemacht (d.h. die Flächen müssen bepflanzt sein, außer mit Dauerkulturen oder Wald). In Frankreich ist auch Gemüseanbau ausgeschlossen. Die Prämienansprüche werden in Frankreich (individuelle Referenzen) und in Deutschland (regionale Referenzen; 8,58% der LN müssen Brachland sein) unterschiedlich berechnet. Die Anzahl der Prämienansprüche wird in Frankreich durch die Fruchtfolge während eines Bezugszeitraums (2000-2002) und in Deutschland während des Wirtschaftsjahrs 2005 bestimmt.
- (3) Die Produktionspreise und die Erträge bleiben auf ihrem Bezugsniveau von 2003 (ausgenommen Mais mit einer Sortenverbesserung von 1,5% pro Jahr); der "Kohlenstoffkredit": eine Beihilfe von 45 €/ha für vertragsgebundene Energiepflanzenkulturen außer Brachland. Einzelheiten zur Berechnung der Deckungsbeiträge im Bericht B.
- (4) (i) Begrünung: alle Flächen sind zumindest zu begrünen; der Ertrag - falls nicht geerntet - ist zu zerkleinern oder zu vermulchen; (ii) Diversifizierung: jeder Betrieb muss mindestens über 3 Kulturen verfügen (zu jeweils mindestens 15%); andernfalls muss der Landwirt eine Humusbilanz erstellen.
- (5) (i) Begrünung: mindestens 3% der Getreide- und Futterproteinflächen und der Brache sind in Parzellen (oder Streifen) zu begrünen; (ii) Diversifizierung: jeder Betrieb muss über mindestens 2 Fruchtfamilien (oder 3 Kulturen) verfügen, oder es sind auf allen Monokulturböden Winterzwischenfrüchte anzubauen, oder die Maisstängel müssen zerkleinert und untergepflügt werden.

## 6.1 ENTWICKLUNG DER AGRARPRODUKTION

### Verteilung der wichtigsten Kulturen nach Szenario

Nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen und den beiden Varianten A1 und B2 (vgl. Kap. 3.2) des Projekts werden die landwirtschaftlichen Betriebe ihre Produktionsentscheidungen ändern. Insgesamt werden die im Szenario der Entwicklungstendenzen formulierten Hypothesen die Landwirte dazu veranlassen, 26% der im Jahre 2003 praktizierten Kulturen durch andere (bereits bestehende oder neue) zu ersetzen. Die Veränderung der Kulturartenverteilung ist im Szenario B2 noch deutlicher (hier sind 41% der Flächen von einer Veränderung der Anbauart

#### Sources :

- \* données ,à dire d'expert' et /ou discutées en groupe de travail
- (a) LEL et Statistisches Bundesamt
- (b) La Fiscalité de l'Énergie -DGEMP-Ministère de l'Économie des Finances et de l'Industrie
- (c) entre 2003 et 2006 déjà une hausse de 50 %, d'où l'hypothèse faite par le groupe de travail
- (d) LEL
- (e) à partir des prix unitaires par type d'engrais du Bureau de la Conjoncture du SCEES et étude Ferti-mieux ARAA
- (f) INSEE
- (g) valeur consensuelle à partir de UNIFA 2005 et [www.econologie.fr](http://www.econologie.fr)
- (h) projet de loi sur l'eau (2005)

#### Notes :

- (1) L'échéance de la réforme de la PAC de 2003 est 2013 : on fait l'hypothèse qu'en 2015 elle s'appliquera tel qu'en 2013 surtout que l'agriculture met toujours un certain temps à s'adapter, notamment quand des systèmes de cultures sont remis en cause.
- (2) Le paiement unique compense la disparition ou baisse des primes, c'est la somme des droits par hectare multiplié par le nombre d'hectares concernés. La perception de ce paiement est soumise à l'activation des droits (les surfaces doivent être implantées avec tout sauf des cultures permanentes et des forêts). En France les légumes sont aussi interdits. Les droits sont calculés différemment en France (références individuelles) et en Allemagne (références régionales : 8.58 % de la SAU doit être en jachère). Le nombre de droit sont définis France par l'assolement de l'agriculteur pendant la période de référence (2000-2002) et dans le modèle allemand pendant la campagne 2005.
- (3) les prix productions et les rendements (sauf maïs avec un progrès variétal de + 1,5% par an) sont maintenus à leur niveau de référence 2003 ; le « crédit carbone » : aide de 45€/ha pour les cultures énergétiques passées en contrat hors jachère. Plus de détails sur le calcul des marges brutes dans le rapport B
- (4) (i) enherbement : toutes les surfaces doivent être couvertes au minimum par un couvert enherbé qui doit être broyé ou « mulché » si non récolté et (ii) diversification : 3 cultures doivent être présentes sur l'exploitation (15% au minimum chacune), sinon un bilan d'humus doit être réalisé par l'exploitant.
- (5) (i) enherbement : planter au moins 3% de la SCOP et jachères en parcelles (ou bandes) enherbées ; (ii) diversification avoir au minimum 2 familles de cultures (ou 3 cultures) différentes sur l'exploitation ou mettre en place du CIPAN en hiver sur toutes les terres en monoculture ou opérer un broyage fin des cannes de maïs et un enfouissement

## 6.1 EVOLUTION DE LA PRODUCTION AGRICOLE

### Répartition des principales cultures par scénarios

Le scénario tendanciel et les deux variantes envisagées, A1 et B2 (voir Ch. 3.2) dans le projet conduisent les exploitations agricoles à modifier leur choix de production. Globalement, les hypothèses formulées dans le scénario tendanciel conduisent les agriculteurs à remplacer 26% des cultures pratiquées en 2003 par d'autres (déjà existantes ou nouvelles productions). Le changement d'assolement est encore plus important avec le scénario B2 (41% des surfaces subissent des changements de cultures). En revanche, le scénario A1 ne modifie les assolements que de 17%.

betroffen). Dagegen sind es im Szenario A1 nur 17% der Flächen.

Je nach Typ des landwirtschaftlichen Betriebes sind die Auswirkungen unterschiedlich, denn je nach dem Stellenwert der Kulturen eines Betriebes sind auch die Reaktionen der Landwirte verschieden. Gewisse Betriebstypen werden nur wenig oder überhaupt nicht von dem Szenario der Entwicklungstendenzen betroffen (im Elsass sind

Mais l'effet est différent selon les types d'exploitations agricoles, en effet selon l'importance et la place des cultures dans chaque type les réactions sont différentes. Certains types d'exploitations ne sont pas (ou peu) affectés par le scénario tendanciel (en Alsace les viticulteurs et les éleveurs laitiers, en Bade les pluriactifs) alors que la plus-

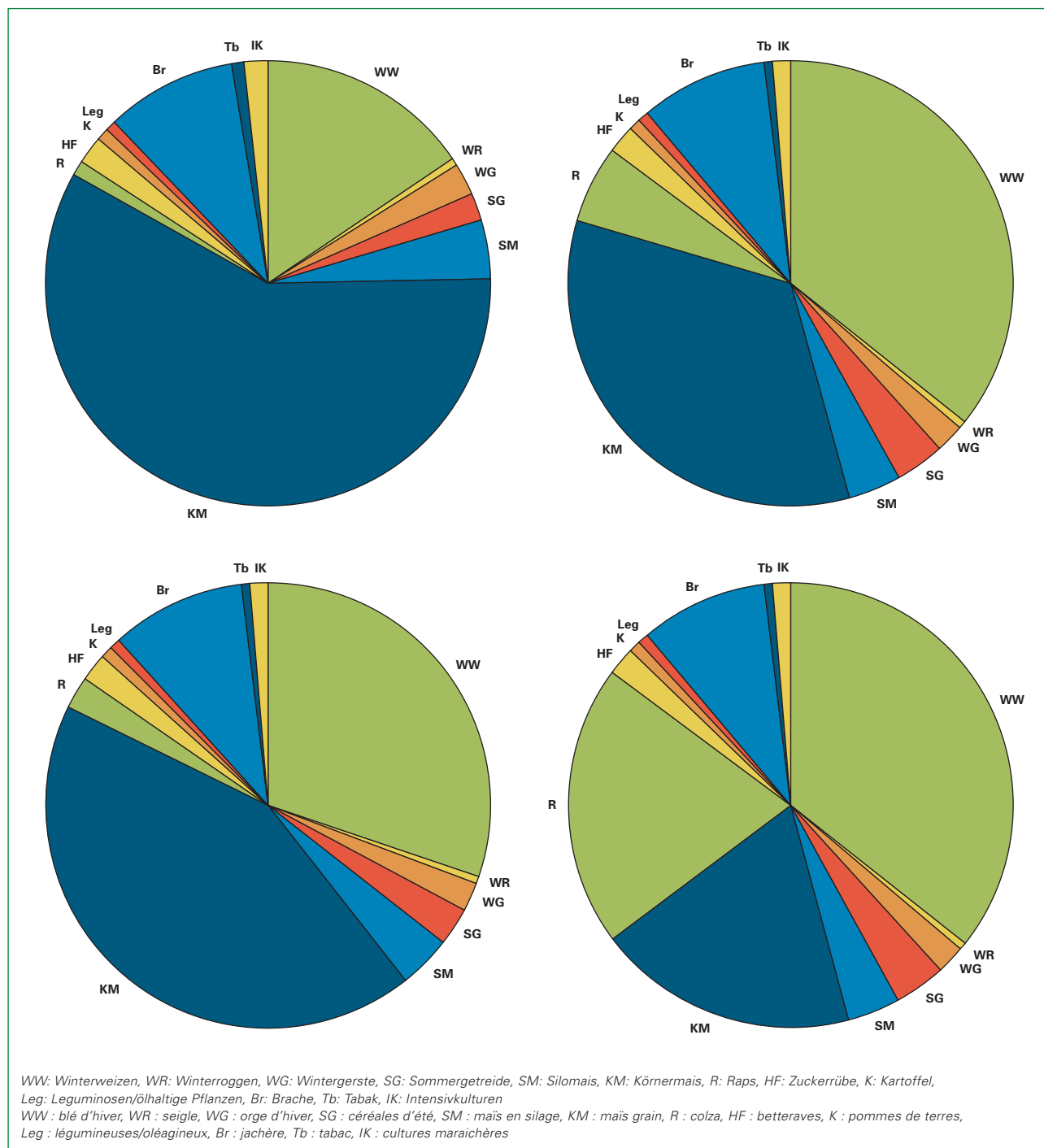


Abbildung 6.1.1: Flächenaufteilung – (a) Bezugssituation 2003, (b) Szenario der Entwicklungstendenzen (2015), (c) Szenario A1 (2015) und (d) Szenario B2 (2015)

Figure 6.1.1 : Répartition des surfaces – (a) Situation de référence en 2003, (b) . Scénario tendanciel (2015), (c) Scénario A1 (2015) et (d) Scénario B2 (2015)

es Weinbau und Milchwirtschaft, in Baden diversifizierte Betriebe), während die Mehrzahl vor einem grundlegenden Wandel steht, der die technischen Möglichkeiten und die Wirtschaftlichkeit des Betriebs grundsätzlich in Frage stellt. Letzteres gilt für den Maisanbau - mit oder ohne Bewässerung - und in geringerem Grad für diversifizierte Kulturen (Tabak, Gemüsekulturen in Baden und Milchviehbetriebe in Baden).

Die Art der in den drei Szenarien prognostizierten Entwicklungen verursacht einschneidende Veränderungen des relativen Anteils einer jeden Kultur an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN).

Nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen gehen die Maisanbauflächen beträchtlich zurück (von 58 auf 34%; bezogen auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche, ist dies ein 24%iger Rückgang) und werden durch Getreideanbau (insbesondere Weizen) und in geringem Maße durch Raps ersetzt. Dies ist auf die Ausbreitung des Maiswurzelbohrers und auf steigende Energiepreise zurückzuführen. Nach dem Szenario A1 sind die Entwicklungen weniger drastisch (Verlust der Maisanbauflächen um 15% der LN); das Problem des Maiswurzelbohrers wird durch andere Methoden als die Einschränkung der Maisanbaufläche bewältigt, und die Energiepreise sind langsamer gestiegen als im Szenario der Entwicklungstendenzen. Die einschneidendsten Veränderungen sind nach dem Szenario B2 zu erwarten (Rückgang der Maisanbaufläche um 40% der LN), aufgrund der Reduzierung der Maisflächen wegen Maiswurzelbohrerbefalls und deutlichen Anstiegs der Preise für Diesel und Düngemittel. Das Szenario B2 ist durch ein neues System dreijährlicher Fruchtfolge (Mais / Weizen / Raps) gekennzeichnet.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche der beiden Regionen Baden und Elsass ist den oben beschriebenen Entwicklungen in gleicher Weise ausgesetzt. Allerdings gibt es zwischen den beiden Regionen signifikante Unterschiede: im Elsass sind die Auswirkungen auf die Kulturartenverteilung gravierender (nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen sind im Elsass 32% der Flächen betroffen, in Baden dagegen nur 11%).

#### Analyse der Kulturumstellungen

**Elsass:** Nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen wie nach Szenario B2 geht die Anbaufläche für Körnermais weitgehend zurück (um 50 bzw. 75% der gesamten Maisanbaufläche). Dieser Rückgang ist auf die drohende Aus-

part subit des évolutions en profondeur, susceptibles de remettre en cause la logique technico-économique même de la production. C'est le cas des maïsiculteurs irrigants et non irriguants et de types plus diversifiés dans une moindre mesure (tabac, cultures maraichères en Bade et éleveurs laitiers en Bade).

La nature des évolutions anticipées dans les trois scénarios conduit à d'importants changements de la part relative de chaque culture dans la surface agricole utile totale.

Dans le scénario tendanciel les surfaces en maïs reculent largement (de 58 à 34 % soit une baisse équivalente à 24% de la surface agricole totale) au profit des céréales (surtout du blé) et très légèrement du colza. Ceci est dû à la prolifération de la chrysome du maïs et à l'augmentation du prix de l'énergie. Les évolutions sont moins accentuées dans le scénario A1 (baisse des surfaces en maïs de 15% de la SAU) le problème de la chrysome étant traité autrement que par des réductions de surface en maïs et les prix de l'énergie n'ayant pas augmenté autant que dans le scénario tendanciel. Les changements les plus extrêmes sont observés dans le scénario B2 (baisse des surfaces en maïs de - 40% de la SAU) suite à la limitation des surfaces en maïs par la menace de la chrysome et à l'augmentation plus importante des prix du gasoil et de l'engrais). Le scénario B2 se caractérise par de nouveaux systèmes de rotation triennale Maïs / Blé / Colza.

La surface agricole des deux régions (Bade et Elsass) subit le même type d'évolution décrite ci-dessus pourtant des différences significatives existent entre Elsass et Bade : en Elsass les impacts sont plus importants en termes d'assolement (32% des surfaces sont touchées dans le scénario tendanciel en Elsass contre 11% en Bade).

#### Analyse des changements de cultures

**Alsace :** Dans le scénario tendanciel comme dans le scénario B2, la surface en maïs grain diminue largement (respectivement -50 et -75% des surfaces en maïs). Cette réduction des surfaces en maïs est due à la menace de la



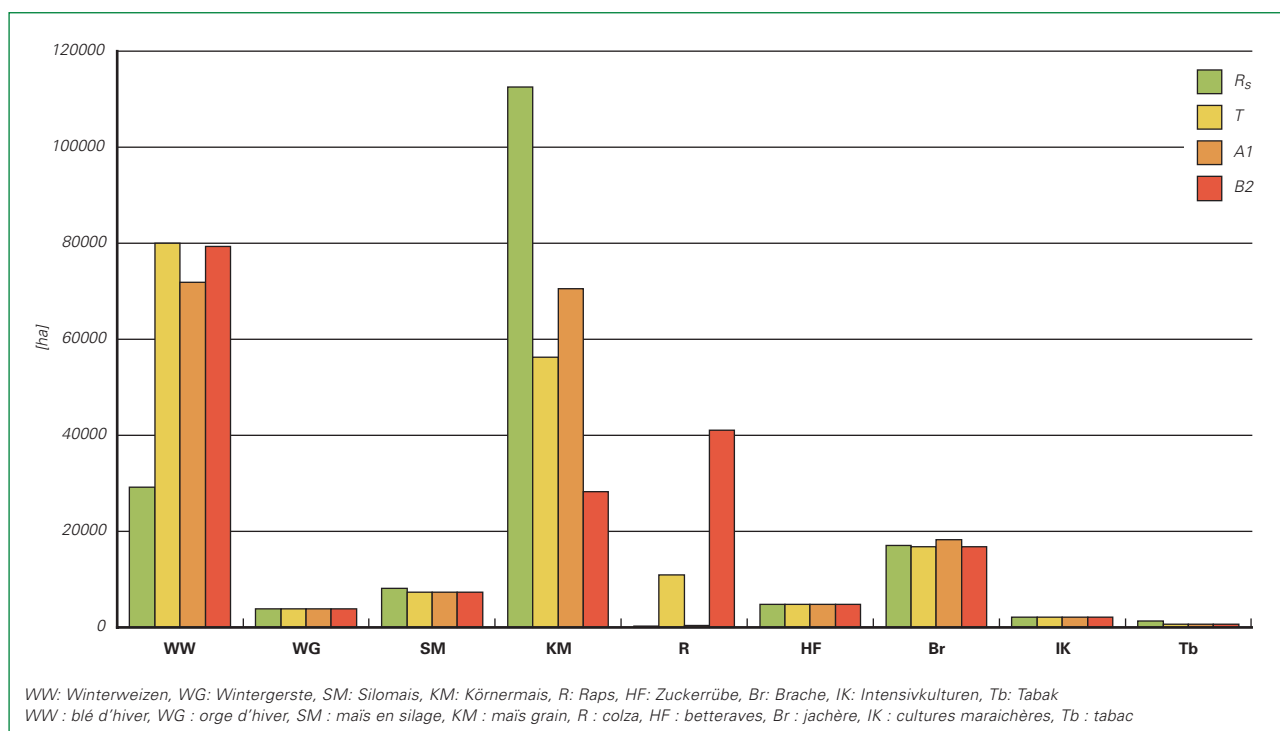


Abbildung 6.1.2: Entwicklung der Anbauflächen der wichtigsten Kulturen nach den verschiedenen Szenarien (Ergebnisse der Simulationen an den ökonomischen Modellen, übertragen auf den gesamten Untersuchungsbereich Elsass) - Dargestellt werden hier nur die in den Modellen berücksichtigten Flächen

Figure 6.1.2 : Evolution des surfaces des principales cultures selon les scénarios envisagés (résultats des simulations des modèles économiques extrapolées à l'ensemble de la zone d'étude en Alsace) - Ne sont représentés ici que les surfaces prise en compte dans la modélisation

breitung des Maiswurzel-bohrers sowie auf die Preisentwicklung für Diesel und in geringerem Maße auf höhere Maiserträge zurückzuführen (bei konstantem Bedarf an Silomais gehen die Flächen zurück). Anstelle von Mais wird verstärkt Weizen angebaut, dessen Flächen im Elsass um rund 200% steigen. Als Reaktion auf den steigenden Dieselpreis nimmt auch der Anbau von Raps zur Herstellung von Treibstoff für den Eigenbedarf der Betriebe zu (um 5% der LN nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen und um 21% nach dem Szenario B2). Diese Produktionsumstellungen setzen voraus, dass sich auch die Vertriebsstrukturen für Agrarprodukte (Nahrungsmittelindustrie, Handel) auf den Absatz größerer Getreidemengen und die rückläufige lokale Maisproduktion einstellen. Vor allen Dingen aber werden Vertriebswege für Ölkuchen als Nebenprodukt von Bio-Treibstoff aus Raps geschaffen werden müssen, damit die Rapskulturen zunehmen.

Demgegenüber sind nach den Szenarien keinerlei Auswirkungen auf die Viehzucht zu erwarten.<sup>2</sup>

Nach dem Szenario A1 finden weniger einschneidende Veränderungen der Anbau-praxis statt (keine Bedrohung

chrysomèle et aux prix du gasoil et, dans une moindre mesure à l'augmentation des rendements en maïs (sur le maïs ensilage, pour des besoins constants, les surfaces diminuent). Elle se fait essentiellement au profit du blé dont la surface augmente en Alsace (soit une hausse de près de 200% pour les surfaces en blé). Elle se fait également au profit du colza qui est transformé en carburant sur l'exploitation (+ 5 % de la SAU dans le scénario tendanciel et + 21% dans le scénario B2), en réponse à l'augmentation du prix du gasoil. Ces changements importants de production supposent que les filières aval de l'agriculture (agroalimentaire, négoce) se restructurent pour écouler la production de blé et faire face à la baisse de production locale de maïs. Mais c'est surtout une organisation pour l'écoulement des tourteaux de colza, co-produits du biocarburant colza produit qui sera une condition nécessaire au développement des surfaces en colza.

En revanche les niveaux de production d'élevage ne sont pas affectés dans les scénarios.<sup>2</sup>

Le scénario A1 conduit à des changements de culture moins importants (plus de menace de la chrysomèle du

<sup>2</sup> Abgesehen von der GAP-Reform 2003, wurde für die Viehzucht keine spezielle Hypothese aufgestellt.

<sup>2</sup> On rappelle qu'aucune hypothèse particulière n'a été prise sur l'élevage, mis à part la réforme de la PAC de 2003

durch den Maiswurzelbohrer, und obwohl der Energiepreis im Vergleich zu 2003 gestiegen ist, ist der Anstieg geringer als nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen und nach B2). Der Rückgang des Maisanbaus ist aber auch hier beträchtlich (-24%), wird jedoch nur durch Weizenanbau ersetzt. Die Dieselpreise bieten keinen hinreichenden Anreiz für eine groß angelegte Rapsproduktion.

Als direkte Folge der GAP-Reform (drastische Kürzung der Beihilfen) geht der Tabakanbau in den drei Szenarien zurück.

Die Weideflächen bleiben wegen des Verbots von Grünlandumbruch unverändert.

In Baden sind die Entwicklungen nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen ähnlich wie im Elsass, jedoch weniger gravierend, weil die Betriebe stärker diversifizieren als im Elsass, wo der Maisanbau im Jahre 2003 noch stark vorherrscht. Aber auch in Baden sind die Maisflächen am stärksten betroffen (Rückgang um 7% der LN, um 14% der Maisanbaufläche). Diese Flächen werden durch Getreideanbau ersetzt, besonders durch Gerste (vertragliche Produktion von Braugerste). Diese Entwicklungen sind eine direkte Folge des drohenden Maiswurzelbohrerbefalls, der die Landwirte zur Diversifizierung und bedingt auch zur einer Steigerung des Maisertrags veranlasst. Nach Szenario B2 finden hier infolge der stark erhöhten Energiepreise und des drohenden Maiswurzelbohrerbefalls extremere Entwicklungen statt. Der Maisanbau, bezogen auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche, geht um 20% zurück (das sind 46% der Maisanbauflächen) und wird durch Getreide (+5% der LN) und Raps (+ 15% der LN) ersetzt; letzterer wird in den Betrieben selbst zu Pflanzenrohöl verarbeitet und dort direkt als Treibstoff verwendet. Ganz anders sieht die Entwicklung nach dem Szenario A1 aus, denn danach geht der Weizenanbau auf 8% der LN zurück (das entspricht 54% der Weizenanbaufläche) zugunsten von Mais auf zusätzlichen 6% der LN (das entspricht einem Zuwachs der Maisanbaufläche um 11%) im Vergleich zur Ausgangssituation (dies ist zum einen zurückzuführen auf die Ertragsverbesserung von Mais, welche die Energiekostensteigerung<sup>3</sup> hinreichend ausgeglichen hat, und zum anderen auf die maximale Anbauflächenbe-

mais et bien qu'un prix de l'énergie plus élevé qu'en 2003, il est moins important que dans le scénario tendanciel et B2). La baisse de maïs restent cependant importante (-24 % des surfaces de maïs), mais ne se fait remplacer que par du blé. Les prix du gasoil ne sont pas assez incitatifs pour la production de colza à grande échelle.

Conséquence directe de la réforme de la PAC (diminution drastique des soutiens), la culture du tabac disparaît partiellement dans les trois scénarios.

Les surfaces en prairie, ne subissent aucune modification, en raison de l'interdiction de retournement.

En Bade les évolutions du scénario tendanciel sont similaires mais moins accentuées qu'en Alsace, car les exploitations sont déjà plus diversifiées qu'en Alsace où le maïs est encore très largement dominant en 2003. Cependant ce sont aussi les surfaces en maïs les plus affectées (baisse de 7% de la SAU, soit moins 14% de la surface en maïs), ces surfaces sont remplacées par des céréales, surtout par de l'orge (car les agriculteurs ont la possibilité de produire d'avantage d'orge de brasserie sous contrat). Ces évolutions sont les conséquences de la menace de la chryso-mèle qui incite les agriculteurs à des systèmes diversifiés et, dans une moindre mesure, de l'augmentation des rendements en maïs. Le scénario B2 subit des évolutions plus extrêmes cette fois, en conséquence des prix de l'énergie encore plus élevés et, toujours, de la menace de la chryso-mèle. Là les surfaces en maïs baissent de 20% (soit 46 % des surfaces en maïs) au profit des céréales (+5% de la SAU) et du colza (+ 15% de la SAU) transformé sur exploitation en huile brute végétale, carburant consommable directement sur l'exploitation. Le scénario A1 a une évolution bien différente puisque ce sont les surfaces en blé qui diminuent de 8 % de la SAU (et 54 % des surfaces en blé), au profit du maïs qui augmentent de 6% (soit +11% du maïs) par rapport à la situation de référence (suite à l'augmentation des rendements de maïs qui a suffisamment contrecarré l'effet d'augmentation des coûts relatifs de l'énergie<sup>3</sup> et plus de contrainte de surface maximum avec la menace de la chryso-mèle). L'orge (+2% de la SAU) et le colza pour huile végétale (+4 % de la SAU), cultures

3 Ganz anders im Elsass, wo die negativen Auswirkungen der steigenden Produktionskosten (Energiekosten) auf den Maisanbau stärker sind als die positiven Auswirkungen der Ertragssteigerung (1,4% nach Jahr).

3 C'est l'effet opposé à celui observé pour l'Alsace : où le maïs subit plus l'augmentation des coûts de production (coûts énergétique) que les effets bénéfiques de l'augmentation de rendement (1,4% par an)

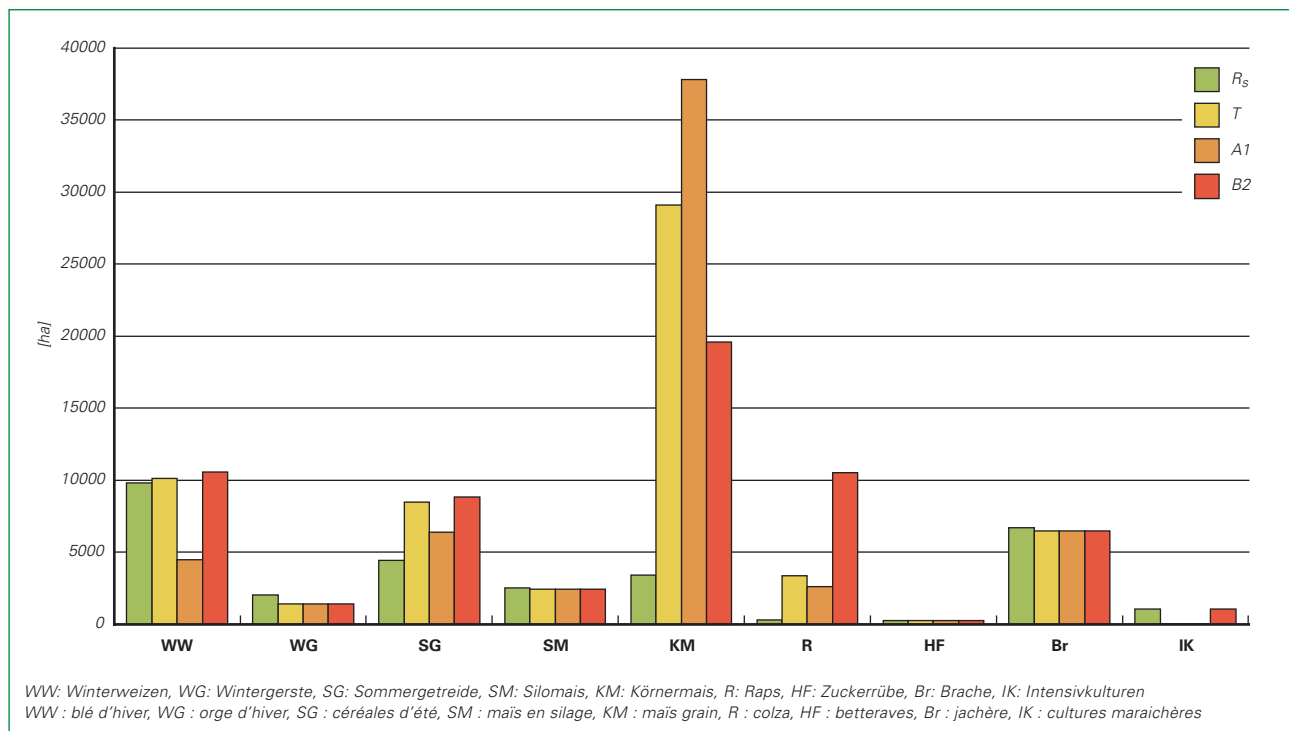


Abbildung 6.1.3: Entwicklung der Flächen der wichtigsten Kulturen nach den drei Szenarien (Ergebnisse der Simulationen an den ökonomischen Modellen, übertragen auf den gesamten badischen Untersuchungsbe- reich) - Dargestellt werden hier nur die in den Modellen berücksichtigten Flächen  
 Figure 6.1.3 : Evolution des surfaces des principales cultures selon les scénarios envisagés (résultats des simulations des modèles économiques extrapolées à l'ensemble de la zone d'étude en Pays de Bade) - Ne sont représentés ici que les surfaces prise en compte dans la modélisation

schränkung wegen der Bedrohung durch den Mais-wurzel-bohrer. Gerste (+2% der LN) und Raps für Pflanzenöl (+4% der LN) - Kulturen, die 2003 praktisch nicht existierten - entwickeln sich nach diesem Szenario ebenfalls).

Obwohl der Verkauf von Mais an Fabriken zur Herstellung von Biogas in Baden eine denkbare Alternative wäre, wird Maisanbau wegen der steigenden Herstellungskosten (wodurch es ohnehin schon zu einer Reduzierung der Maisanbauflächen gekommen ist) und vor allem wegen der höheren Rentabilität der bereits 2003 etablierten Verarbeitungs- und Vertriebsstrukturen in keinem der drei Szenarien gewählt. Diese Ergebnisse sind nur bedingt gültig, da die Hypothesen eine Steigerung der Einnahmen (für Energieproduktion) nicht berücksichtigen, obwohl letztere angesichts der Energiepreisentwicklung nahe liegt (vgl. Tab. 6.1).

Der Zuckerrübenanbau wird wegen seines hohen Wertzuwachses nicht eingeschränkt. Die im Modell berücksichtigten Gemüsekulturen dagegen verschwinden wegen des Anstiegs der Kosten der Saisonarbeiter (außer im Szenario B2, wo dieser Produktionskostenfaktor nicht zum Tragen kommt).

Vieh- zucht und Weideland bleiben unverändert (Verbot des Grünlandumbruchs).

quasi inexistantes en 2003 se développent aussi dans ce scénario.

Bien que le maïs vendu pour le biogaz (à des usines de transformation) soit une alternative possible en Bade, les exploitants n'en produisent pas dans les trois scénarios, à cause de l'augmentation des coûts de production du maïs (qui fait déjà réduire globalement les surfaces en maïs) et surtout d'une meilleure rentabilité des itinéraires techniques classiques déjà pratiqués en 2003. Ces résultats doivent être tempérés par le fait que les hypothèses ne prennent pas en compte des augmentations de recettes (pour production d'énergie) pourtant fort probables suivant l'évolution des prix de l'énergie (voir tab. 6.1).

Les betteraves, cultures à fortes valeurs ajoutées ne sont pas diminuées. En revanche les cultures maraichères modélisées disparaissent suite à l'augmentation des coûts de main d'œuvre saisonnière (sauf dans le scénario B2 où cette affectation des coûts de production n'a pas lieu).

Les activités d'élevage et les surfaces en prairie, ne subissent aucune modification (interdictions de retournement).

**Analyse der Veränderung der Bewirtschaftungspraktiken**  
**Die Bewässerungspraxis** verändert sich in Baden und im Elsass: der Wasserverbrauch (für Mais, Gemüsekulturen und Tabak) geht wegen des Rückgangs der bewässerten Maisflächen und des Rückgangs der Anbauflächen für Gemüse und Tabak um 70% zurück (um 50% nach Szenario A1 und um 80% nach Szenario B2).

Im Elsass<sup>4</sup> geht sowohl die bewässerte Fläche als auch das Wasservolumen zurück (nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen geht das Volumen im Vergleich zu 2003 um 70% zurück). Von der Bewässerung sind nur noch die Maisflächen betroffen, da die Tabakflächen aus anderen Gründen (GAP-Reform) reduziert worden sind. Nach dem Szenario A1 gehen die bewässerten Maisflächen geringfügiger zurück (um 50% im Vergleich zu 2003), und nach dem Szenario B2 verschwindet jegliche Bewässerung. Diese Entwicklungen finden unter dem Druck steigender Energiepreise statt. Bezogen auf sämtliche Grundwasserentnahmen entspricht diese Einsparung nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen 6% der gesamten Entnahmemenge.

In Baden wird Bewässerung weniger für Mais als für Gemüsekulturen eingesetzt, von denen es weit mehr als im Elsass gibt und auf die 94% des gesamten Bewässerungsvolumens entfallen. Nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen ist wegen des Rückgangs der Gemüseanbauflächen eine Verringerung des Wasserverbrauchs um 37% zu erwarten. Nach dem Szenario A1 ergibt sich ein ähnliches Bild (-30%), während nach Szenario B2 praktisch keine Veränderung stattfindet (-6%), da die Gemüseanbauflächen auf dem Stand von 2005 gehalten werden.

**Die Düngungspraktiken** ändern sich ebenfalls:

Im Elsass düngen alle Betriebe ihren Mais<sup>5</sup> mit mittlerer Intensität (Mais II, vgl. Abb. 6.1.4 zu den Mengen) nach den Szenarien der Entwicklungstendenzen und A1. Dafür gibt es zwei Gründe: der Anstieg (i) des Energiepreises und (ii) des Düngemittelpreises (verursacht durch steigende Energiekosten), welcher die Landwirte von einer

**Analyse des modifications de pratiques agricoles**

**Les pratiques d'irrigation** évoluent en Bade et en Alsace : les volumes consommés (sur le maïs, les cultures maraichères et tabacs) sont réduits de 70% (50 % dans le scénario A1 et 80% dans le scénario B2) en raison de la baisse de surface irriguée par le maïs et des baisses de surfaces de légumes et tabac.

En Alsace<sup>4</sup> l'irrigation diminue en surface et en volumes prélevés (baisse de 70% des volumes dans le scénario tendanciel par rapport à 2003). L'irrigation ne concerne en fait plus que les surfaces en maïs puisque les surfaces en tabac sont réduites pour d'autres raisons (réforme de la PAC). Dans le scénario A1 les surfaces en maïs irrigué diminuent moins (-50% par rapport à 2003) et dans le scénario B2 toute irrigation disparaît. Ces évolutions se font sous l'effet de l'augmentation du prix de l'énergie. Ramenée à l'ensemble des prélèvements sur la nappe cette économie correspondrait à 6 % des prélèvements totaux de la nappe pour le scénario tendanciel.

En Bade l'irrigation est moins fréquemment utilisée sur le maïs, par contre ce sont les cultures maraichères, plus développées qu'en France, qui sont les principales consommatrices en eau (94%). Le scénario tendanciel suggère une baisse de 37% des consommations en eau par l'agriculture, en raison de la diminution des surfaces en cultures maraichères. Le scénario A1 a une évolution similaire (-30%) alors que le scénario B2 ne provoque pratiquement pas d'évolution des consommations (-6%) car toutes les surfaces en cultures maraichères sont maintenues au niveau de 2005.

**Les pratiques de fertilisation** évoluent également :

En Alsace toutes les exploitations fertilisent leur maïs<sup>5</sup> à un niveau intermédiaire (maïs II, voir fig. 6.1.4 pour les doses) dans le scénario tendanciel (et A1), ceci s'explique par deux facteurs : l'augmentation (i) du prix de l'énergie et (ii) du prix des engrais (elle-même due au prix de l'énergie) qui incite les agriculteurs à ne pas fertiliser aux doses maxima-

4 In 2003 machten die Wasserentnahmen für Mais 80% des Gesamtvolumens der Entnahmen für den Agrarsektor aus.

5 Zwischen 2003 und 2015 steigt die Produktivität des Maissektors im Elsass jährlich um 1,4% (der Anbau von intensiv gedüngtem Mais III im Jahre 2003 erbrachte 105 dz bei 190 kg N-Eintrag). Maisertrag in Baden 2003: 99 dz bei 180 kg N-Eintrag.

4 Les prélèvements pour le maïs représentaient 80 % du volume pour l'agriculture en 2003

5 On rappelle que la productivité du Maïs entre 2003 et 2015 a augmenté de 1,4% par an (le maïs III -soit fertilisation haute - cultivé en 2003 produit 105 quintaux pour 190 kg N ) en Alsace. En Bade maïs 2003 : 99 quintaux pour 180 kg N.

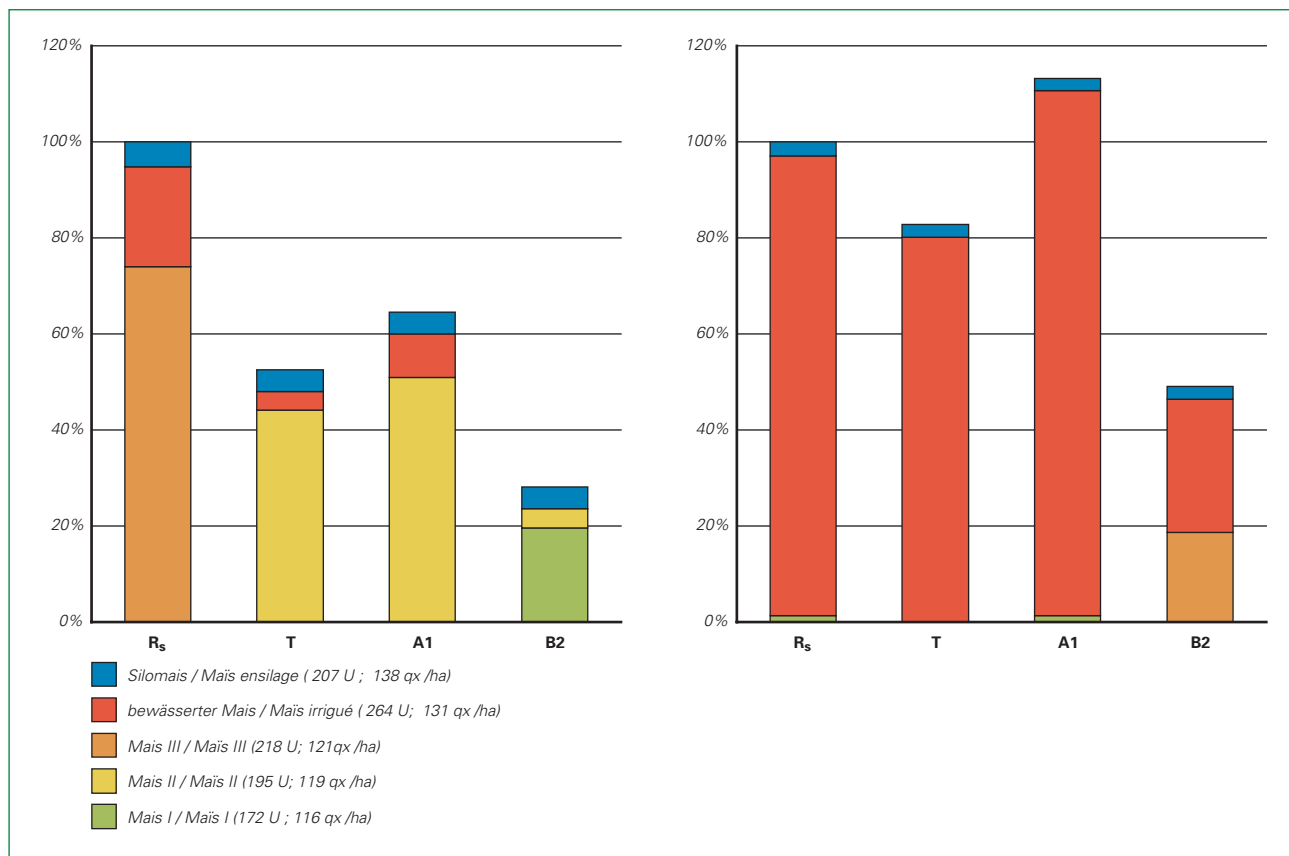


Abbildung 6.1.4: Entwicklung der Düngepraxis bei Mais im Elsass, als %-Anteil der Maisfläche von 2003 - Die Klammern (U) geben die 2015 verwendeten Stickstoffmenge in kg an (und nicht 2003, wie in den Grafiken) sowie die dazugehörigen Erträge in Doppelzentner pro Hektar (dz/ha).

Figure 6.1.4 : Evolution des pratiques sur le maïs en Alsace en % de la surface 2003 en maïs – les parenthèses indiquent (U) les doses d'azote en kg apportés sur les maïs en 2015 (et pas pour 2003 indiqué sur les graphes), et les rendements associés en quintaux par hectare (qx/ha).

maximalen Düngung Abstand nehmen lässt. Nach dem Szenario B2 breitet sich dieses Phänomen aus: an die Stelle der maximalen Düngung von Mais tritt die schwache (Mais I)<sup>6</sup> oder mittlere Düngung (Mais II). Die verwendeten Düngemittelmengen sind dabei wesentlich geringer als 2003, ermöglichen jedoch höhere Erträge.

In Baden sehen sich die Landwirte weniger veranlasst, aufgrund wirtschaftlicher Erwägungen ihre Düngepraxis zu ändern. Die Düngung findet nach den Szenarien der Entwicklungstendenzen und A1 unverändert mit der Intensität Mais III statt. Dies liegt daran, dass in Baden im Jahre 2003 weniger gedüngt wurde als im Elsass und dieser Unterschied (bei Anwendung eines gleich bleibenden Prozentsatzes) bis 2015 fortbesteht. Nach dem Szenario B2 hingegen reduziert eine große Anzahl von Landwirten ihren Düngemiteleinsatz (38% der Maiskulturen werden mit mittlerer Intensität gedüngt, Mais II).

Diese Ergebnisse untermauern die Annahme, dass in den kommenden Jahren die Reduzierung der Einträge

les. Ce phénomène se généralise dans le scénario B2, avec l'abandon des niveaux de fertilisation maximale pour des maïs beaucoup moins fertilisés (maïs I)<sup>6</sup> ou moyennement fertilisés (maïs II), qui sont bien inférieurs aux fertilisations de 2003, mais avec des rendements supérieurs.

En Bade les agriculteurs sont moins sensibles aux modifications économiques en termes de fertilisation : la fertilisation se fait toujours selon le niveau maïs III dans le scénario tendanciel et dans le scénario A1. Cette différence Bade – Alsace s'explique par des niveaux de fertilisation badois inférieurs aux alsaciens pour 2003 et 2015 par extension (pourcentage uniforme appliqué). Cependant une baisse de fertilisation est opérée par un grand nombre d'agriculteurs (38% des maïs sont cultivés en fertilisation intermédiaire, maïs II) dans le scénario B2.

Ces résultats appuient bien l'idée que dans les années à venir une des solutions (économiques) pour les agricul-

<sup>6</sup> Mais I: Rückgang um 40 kg N und 5,5 dz im Vergleich zu Mais III (Anbaujahr 2003).

<sup>6</sup> Mais I: baisse de 40 kg N et de 5,5 quintaux par rapport au maïs III (cultivé en 2003)

eine wirtschaftliche Lösung für die Landwirte darstellen könnte. Dies wird jedoch weitgehend von den wirtschaftlichen Bedingungen der Erträge abhängen (Preise, aber auch Steuern und Abgaben, die gegenwärtig noch umstritten sind).

Die Szenarien für 2015 deuten auf einen **zunehmenden Anbau von Zwischenfrüchten** hin. Der Hauptgrund dafür ist die Zunahme an Getreideflächen (Winterweizen), die den Anbau von Zwischenfrüchten im Herbst ermöglichen. Nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen nehmen die Zwischenfruchtflächen beträchtlich zu; sie steigen von 12 auf 40% im Elsass und von 20 auf 26% in Baden. Diese Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu behandeln, denn die Angaben der Landwirte zur Rentabilität sind sehr unterschiedlich, und vor allem hängt die Entscheidung, Zwischenfrüchte anzubauen, wie alle anderen Maßnahmen, die Landwirtschaft und Umwelt betreffen, von nicht-wirtschaftlichen Faktoren ab (Verantwortungsbewusstsein für Verschmutzung), denn ihr unmittelbarer Nutzen ist gering oder äußerst schwer abzuschätzen (Beihilfen sind eben deshalb so bemessen, dass sie nur die Zusatzkosten in Zusammenhang mit der Einrichtung dieser Maßnahme abdecken).

#### Wirtschaftliche Auswirkungen auf den Agrarsektor

**Deckungsbeiträge<sup>7</sup>:** Die Deckungsbeiträge gehen im gesamten Untersuchungsbereich zurück. Dies liegt (i) an der Anpassung der Direktbeihilfen nach der GAP um 5% (in geringerem Maße an der Reform der Subventionszahlungen) und (ii) an der Erhöhung der Energiepreise (Diesel und Düngemittel).

Im Elsass geht nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen der Deckungsbeitrag des im Modell erfassten Agrarsektors insgesamt um 11% zurück<sup>8</sup>. Nach dem Szenario B2 ergibt sich ein Rückgang um 18% und nach dem Szenario A1 um 8%<sup>9</sup>. Die verschiedenen Typen von landwirtschaftlichen Betrieben sind jedoch nicht in glei-

teuren seront la diminution des intrants. Cependant ceci dépendra largement des conditions économiques de ces intrants (prix, mais aussi taxes et redevances encore largement en discussion aujourd'hui).

Les scénarios en 2015 suggèrent un **développement des CIPAN** (Cultures Intermédiaires Piège à Nitrate) : la principale cause est l'augmentation des surfaces en céréales comme le blé d'hiver permettant une implantation des CIPAN à l'automne. Les surfaces en CIPAN augmentent considérablement dans le scénario tendanciel : elles passent de 12 à 40% en Alsace et de 20 à 26% en Bade. Ces résultats doivent être interprétés avec précaution car les données sur la rentabilité varient beaucoup d'un agriculteur à l'autre et surtout le choix de mise en place des CIPAN comme toute autres mesures agro-environnementales est souvent lié à des facteurs non économiques (sensibilité du problème de pollution) car leur bénéfice direct est faible ou très difficile à évaluer (les aides étant justement prévues pour ne couvrir que les charges supplémentaires dû à la mise en place de cette mesure).

#### Impacts économiques sur le secteur agricole

**Marge brutes<sup>7</sup>:** Dans l'ensemble de la zone les marges brutes baissent, ceci s'explique (i) par la modulation des aides directes de la PAC (de 5%) (Dans une moindre mesure par l'évolution du régime d'aides) et (ii) l'augmentation des prix de l'énergie (gasoil et engrais).

En Alsace, avec le scénario tendanciel, la marge brute totale dégagée par le secteur agricole modélisé baisse de 11%<sup>8</sup>. Cette baisse est estimée à 18% pour le scénario B2 et à 8% pour le scénario A1<sup>9</sup>. Les différents types d'exploitation agricole ne sont cependant pas impactés de la même manière, puisque le revenu est directement dépen-

7 Die Bruttogewinne für den gesamten Sektor wurden durch Multiplikation der in der Simulation ermittelten Einzelgewinne mit der Anzahl der Landwirte in jedem Betriebstyp ermittelt. Dies lässt zumindest Rückschlüsse auf die Einkommensentwicklung zu, auch wenn es kein Indikator für den Wertzuwachs des Agrarsektors ist.

8 Die Prozentsätze beziehen sich ausschließlich auf die Modellbetriebe. Da dies diejenigen Betriebe sind, die sich am stärksten entwickeln werden, können die Auswirkungen auf den gesamten Sektor als geringer angenommen werden.

9 Was zeigt, dass sich die vollständige Entkoppelung nicht sehr stark auf die Bruttogewinne auswirken wird.

7 Les marges brutes pour l'ensemble du secteur ont été obtenues en multipliant les marges brutes individuelles simulées par le nombre d'agriculteur de chaque type : il s'agit d'un indicateur qui malgré tout donne une idée de l'évolution des revenus, même s'il ne doit pas être confondu avec la valeur ajoutée du secteur agricole.

8 Les pourcentages se réfèrent uniquement aux exploitations modélisées, l'impact sur l'ensemble du secteur sera donc probablement moindre puisque les exploitations modélisées sont justement celles qui sont le plus susceptibles d'évoluer.

9 Ce qui montre que le découplage total n'a pas un effet très important sur les marges brutes.

cher Weise betroffen, da ihr Einkommen direkt von ihren laufenden und früheren Produktionen abhängen (was die entkoppelten GAP-Beihilfen betrifft). Im bewässerten Maisanbau geht der Deckungsbeitrag am stärksten zurück (-19%), die Milchviehhaltung erlebt wegen der Preissenkung für Milch eine (nicht kompensierte) Einbuße (-17%), der Maisanbau und der diversifizierte Betrieb erlebt einen Verlust von rund 15%. Der Weinbau dagegen ist kaum betroffen. Festzustellen ist, dass nach dem Szenario B2 die Abgaben für Wasser und Düngung nur zu 6% für den Rückgang der Bruttogewinne verantwortlich sind.

In Baden ist der Verlust an Bruttogewinn insgesamt größer als im Elsass: er beträgt nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen 27%, nach dem Szenario B2 25% und nach dem Szenario A1 14%. Dies erklärt sich aus dem Typ der badischen Kulturen (gemischte Großkulturen, Gemüsebau), die nach den Szenarien der Entwicklungstendenzen und A1 eingestellt werden. Die übrigen Kulturen erleben nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen einen Bruttogewinnrückgang gleicher Größenordnung wie im Elsass und nach dem Szenario A1 einen geringeren. Nach dem Szenario B2 sind es der bewässerte Maisanbau und die diversifizierten Betriebe, die die stärksten Einbußen erfahren (rund 40%). Die gemischten Großkulturen und die Gemüsekulturen sind am wenigsten betroffen (unter 12%). Die Abgaben für Wasser und Düngung sind nach dem Szenario B2 nur zu 13% für den Rückgang der Bruttogewinne verantwortlich.

**Gesamtwert der Agrarproduktion<sup>10</sup>** (erwirtschaftet von den Modellbetrieben): Der Gesamtwert der im Elsass erwirtschafteten Agrarproduktion geht nach dem Szenario A1 kaum (-3%), nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen um 6% und nach B2 um 15% zurück. In Baden ist der Wertverlust etwas größer: 21% nach dem Szenario der Entwicklungstendenzen, weil die gemischten Großkulturen und Gemüsekulturen den Gemüseanbau aufgeben (ihr Produktionswert ist mehr als 10 mal so hoch wie bei Mais und 20 mal so hoch wie bei Weizen). Nach dem Szenario A1 liegt der Verlust - im Wesentlichen aus den gleichen Gründen - bei 15%. Dagegen ist der Wertverlust nach dem Szenario B2 weniger gravierend, weil die gemischten Großkulturen und die Gemüsekulturen dank lokal vorhandener Hilfsstrukturen (z.B. Mechanisierung) weiter

dant de leurs productions et de leurs productions passées (pour les aides PAC découplées). C'est le maïsiculteur irrigant qui voit sa marge brute reculer le plus (19%), l'éleveur laitier subit les baisses de prix du lait (non compensées) (-17%), les maïsiculteurs et le type diversifié ont une baisse de 15% environ, en revanche les viticulteurs ne sont quasi pas affectés. On note que les redevances (eau et engrais) ne sont responsables que pour 6 % de la chute des marges brutes dans le scénario B2.

Dans le pays de Bade, la perte de marge brute totale est plus importante : elle atteint 27% avec le scénario tendanciel, 25% avec le scénario B2 et 14% avec le scénario A1. Cette baisse plus importante qu'en Alsace s'explique, dans le scénario tendanciel et A1 par les types mixtes grande culture / maraicher qui arrêtent les cultures maraichères. Les autres types ont des baisses de marges brutes du même ordre de grandeur que les agriculteurs français dans le scénario tendanciel et moindre que les agriculteurs alsaciens pour le scénario A1. Dans le scénario B2, ce sont les maïsiculteurs irrigants et les pluriactifs qui subissent les plus fortes baisses de marges brutes (40% environ), les types mixtes grande culture / maraicher sont le moins impactés (moins 12%). Les redevances (eau et engrais) ne sont responsables que pour 13 % de la chute des marges brutes dans le scénario B2.

**Valeur totale de la production agricole<sup>10</sup>** (générée par les exploitations modélisées) : La valeur de la production agricole générée en Alsace ne baisse quasiment pas avec le scénario A1 (3%), elle diminue de 6% et 15% respectivement avec le scénario tendanciel et B2. En Allemagne, la baisse de valeur est un peu plus importante elle s'élève à 21% dans le scénario tendanciel à cause des exploitations mixtes grandes cultures / maraichers qui abandonnent la production de légumes (leur valeur de production est plus de 10 fois celle du maïs et 20 fois celle du blé). Elle baisse de 15% dans le scénario A1 pour les mêmes raisons globalement. En revanche elle baisse moins dans le scénario B2 car le type mixte grande culture / maraicher, continue à faire des légumes à très forte valeur ajoutée grâce au soutien local de la filière (pour la mécanisation par exemple),

10 Dieser Indikator gibt für jede landwirtschaftliche Tätigkeit die Summe der Preise multipliziert mit den Erträgen an.

10 Cet indicateur est la somme des prix par les rendements pour chaque activité agricole

Gemüse mit sehr hohem Zusatzwert anbauen. Dadurch gelingt es, den Produktionswert auf einem annehmbaren Niveau zu erhalten.

Diese Produktionsverluste berücksichtigen nicht die Schaffung neuer Werte außerhalb des Nahrungsmittelsektors, wie Bio-Treibstoffe, die sich nach allen Szenarien entwickeln, besonders nach dem Szenario B2, nach dem nahezu der gesamte Dieselbedarf durch Selbstversorgung mit pflanzlichem Rohöl gedeckt wird. Zwar wird diese Wertschöpfung von den Landwirten selbst absorbiert, muss aber als Agrarproduktion verbucht werden. Nach dem Szenario B2 werden mit dieser Produktion im Elsaß 70% des landwirtschaftlichen Wertverlustes ausgeglichen, und in Baden übersteigt diese Wertschöpfung sogar den Prozentsatz des Wertverlustes.

Die Ergebnisse der Einschätzung des Bruttogewinns und des Produktionswertes müssen mit größter Vorsicht interpretiert werden, denn die Preise wurden als konstant angenommen, während sie vermutlich steigen werden.

#### Wirtschaftliche Auswirkungen für das Gemeinwesen

Die oben dargestellten wirtschaftlichen Auswirkungen der Szenarien betrafen die Landwirte (Bruttogewinn) und die Einlagerungsstellen. Im Folgenden weisen wir auf eine andere Seite des Rentabilitätsverlustes hin.

Einige Größen, die den Transfer zwischen den Landwirten und dem Staat darstellen, sind Teil der Berechnung der Rentabilität, sollten aber in der Gesamtbewertung nicht berücksichtigt werden, da es sich lediglich um einen Transfer zwischen Staat und Landwirtschaft handelt. Dies sind einerseits öffentliche Ausgaben für die Landwirtschaft, die aufgrund der GAP-Reform zurückgegangen sind (Anpassung um 5% und Senkung gewisser Beihilfen) (=weniger staatliche Transferzahlungen an die Landwirte). Die Beihilfen für Zwischenfruchtanbau sind ebenfalls dieser Kategorie zuzurechnen. Andererseits kommen die Steuereinnahmen, die sich insbesondere aus dem Szenario B2 oder gewissen wirtschaftspolitischen Maßnahmen ergeben (Gebühren für Wasser und Düngung), dem Staat zugute (= mehr Transferzahlungen der Landwirtschaft an den Staat). Dagegen werden die steuerlichen Mindereinnahmen des Staates aufgrund verminderten Dieserverbrauchs in der Landwirtschaft (ersetzt durch Bio-Treibstoffe) nicht berücksichtigt.

**Kosten und Vorteile für die Umwelt:** Neben den positiven oder negativen Auswirkungen auf den Nitratsatz,

ce qui maintient le niveau de la valeur de la production à un niveau acceptable.

Ces baisses de production ne prennent pas en compte les créations d'autres valeurs et notamment les productions non alimentaires, comme les biocarburants qui se développent dans les scénarios analysés ici, surtout dans le scénario B2 où presque toutes les consommations de gasoil sont remplacées par l'autoconsommation d'huile brute végétale. Cette valeur est autoconsommée par les agriculteurs, mais représente une production à comptabiliser : dans les scénarios B2 en Alsace elle permet de compenser 70% de la perte de valeur agricole et dépasse même la perte de valeur agricole en Allemagne.

Les résultats de marges brutes et de valeur de la production doivent être interprétés avec la plus grande prudence : les prix ont été supposés constants alors qu'ils sont susceptibles d'évoluer.

#### Impacts économiques pour la collectivité

Les effets économiques des scénarios présentés précédemment concernaient les agriculteurs (marge brute) et les organismes stockeurs. Ici nous attirons l'attention sur une partie de la diminution des marges brutes :

Certaines grandeurs reflétant des transferts entre agriculteurs et état sont comptabilisées dans les marges brutes, mais ne devraient pas être comptabilisées dans l'évaluation globale puisqu'il s'agit seulement de transferts entre état et agriculture. Ce sont d'une part les dépenses publiques pour l'agriculture qui ont diminuées en conséquence de la réforme de la PAC (modulation de 5% et baisse de certaines aides) (baisse des transferts état => agriculteur). Les aides aux CIPAN seraient aussi à prendre en compte dans cette catégorie. Ce sont d'autres part les recettes fiscales générées surtout dans le scénario B2 où des instruments économiques (redevances eau et engrais) sont utilisés par l'état : (augmentation des transferts agriculteur => état). Les pertes de recette fiscale pour l'état dues aux baisses de consommation de gasoil du secteur agricole (remplacé par les biocarburants) ne sont pas, en revanche, comptabilisées.

Coûts et bénéfices environnementaux : si les conséquences positives ou négatives sur les nitrates seront expo-



die im Folgenden erörtert werden, müssen auch alle anderen Auswirkungen genannt werden, die sich aus den Szenarien ergeben könnten. In der heutigen Situation sollten z.B. die Kriterien der Treibhausgas-Emission berücksichtigt werden, da eine Veränderung der Kulturartenverteilung (i) die direkten Emissionen des Agrarsektors (je nach Kulturart, Viehzucht, Düngepraxis) und (ii) die indirekten Emissionen (verringertes Treibhausgas-Ausstoß durch Verwendung von Bio-Treibstoffen statt Diesel) beeinflussen wird. Auch Entwicklungen im Bereich der Pestizide und ihre Folgen für die Böden sollten in Betracht gezogen werden.

sés plus loin, on doit aussi évoquer tous les autres effets qu'impliqueraient ces scénarios. Dans le contexte actuel on devrait prendre en compte les critères d'émission de gaz à effet de serre de ce type de scénario puisque la modification d'assolements est susceptible de modifier les émissions (i) directes du secteur agricole (selon culture, élevage, fertilisation) et (ii) indirectes par les économies de gaz à effet de serre permis par les biocarburants (gasoil en moins). Il faudrait aussi s'intéresser aux évolutions relatives de pesticides et aux conséquences sur les sols.

## 6.2 ÄNDERUNGEN DES STICKSTOFFAUSTRAGS AUS DER BODENZONE

Abbildung 6.2.1.a zeigt für die modellierten Landwirtschaftseinheiten (PRAs) die relative Änderung des Stickstoffaustrags gegenüber der Referenzsituation (vgl. Tab. 6.1) für alle untersuchten Szenarien. Diese Darstellung der relativen Austragsänderung betont im Gegensatz zur absoluten Austragsänderung, die auch die Größe

## 6.2 MODIFICATIONS DU LESSIVAGE DE L'AZOTE

La figure 6.2.1.a montre, pour les petites régions agricoles modélisées (PRAs), les modifications relatives du lessivage de l'azote par rapport à la situation de référence (voir tab. 6.1) pour tous les scénarios étudiés. Cette représentation en % permet de faire ressortir le mode de réaction caractéristique de chaque PRA, contrairement à

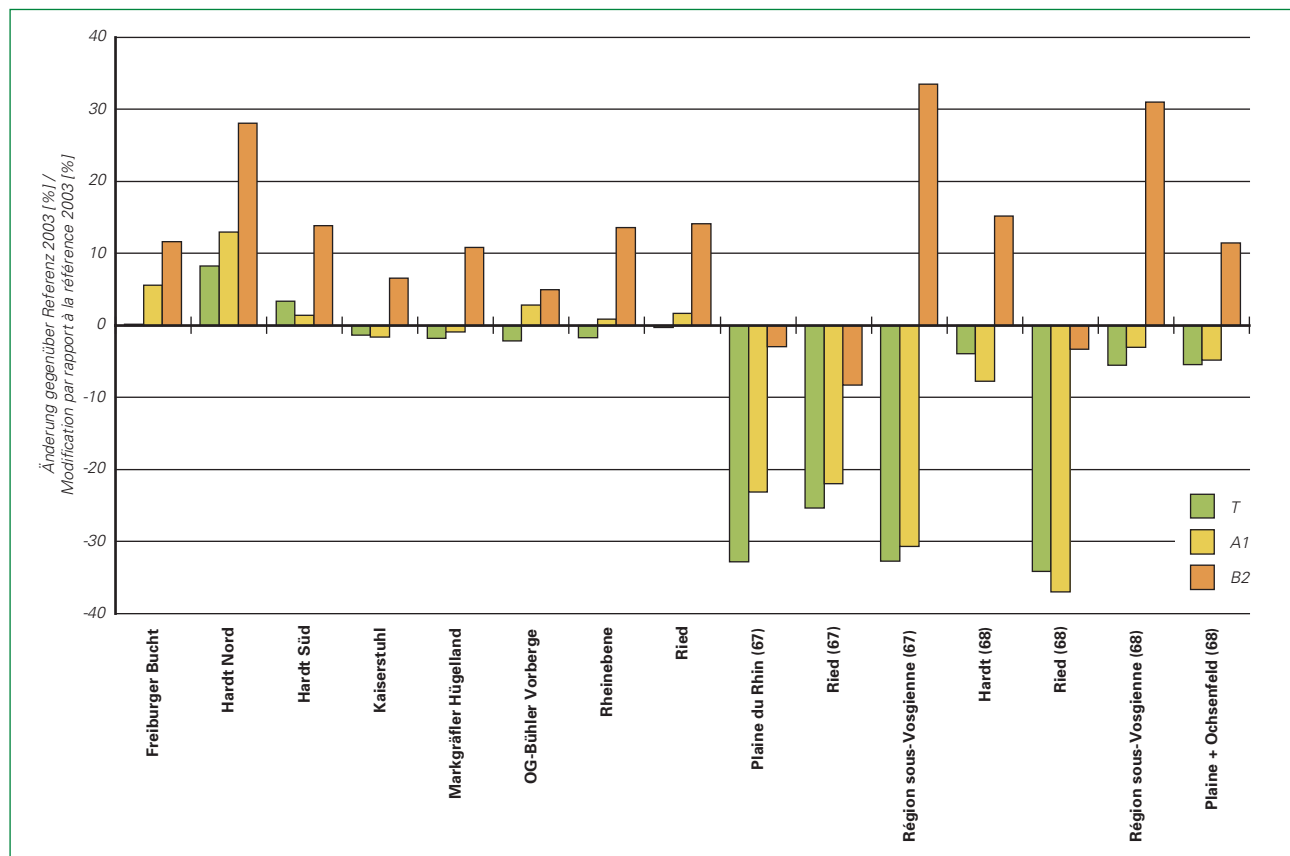


Abbildung 6.2.1.a Relative Änderungen des Stickstoffaustrags gegenüber der Referenzsituation für das Tendenzszenario und die beiden Varianten A1 und B2.

Figure 6.2.1.a: Changements relatifs du lessivage d'azote par rapport à la situation de référence pour le scénario tendanciel et les deux variantes A1 et B2.

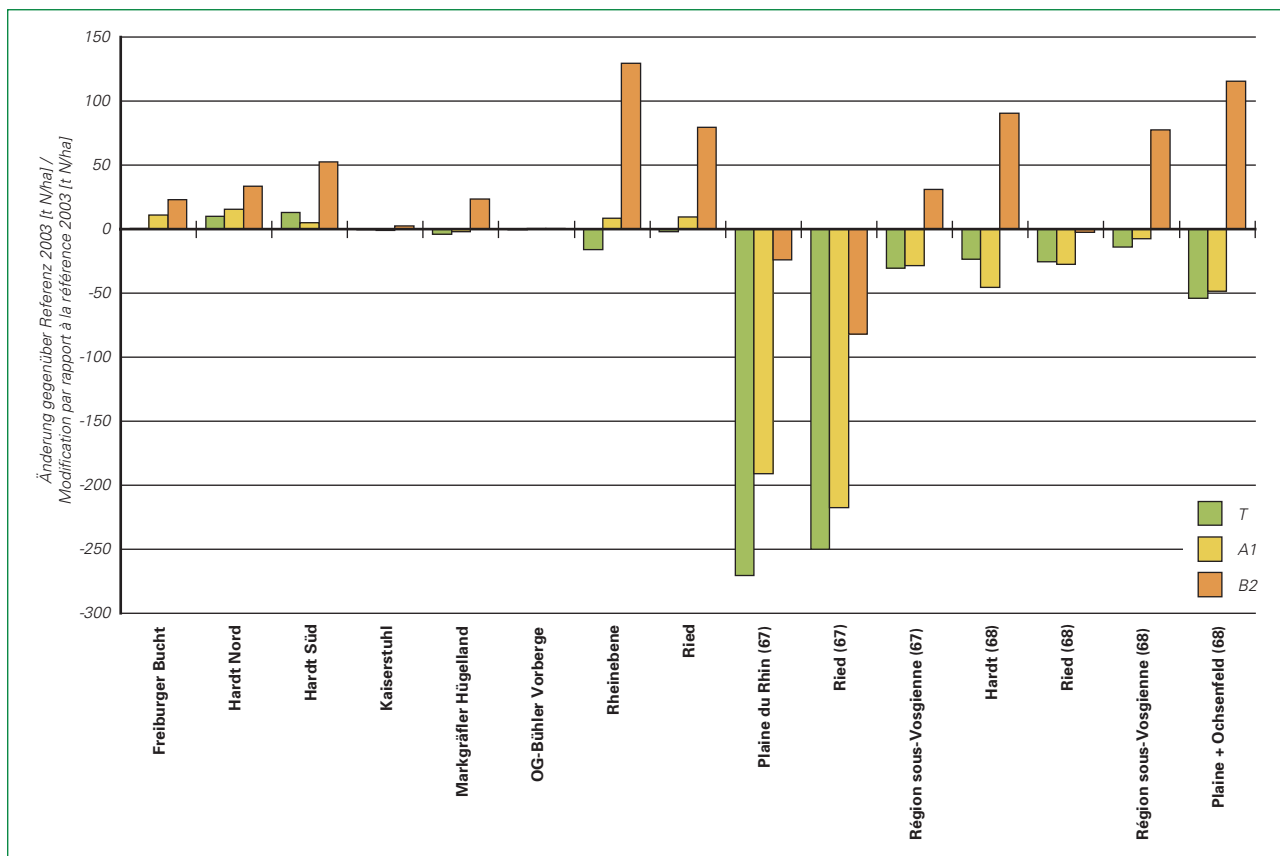


Abbildung 6.2.1.b: Absolute Änderungen des Stickstoffaustrags gegenüber der Referenzsituation für das Tendenzszenario und die beiden Varianten A1 und B2.

Figure 6.2.1.b: Changements absolus du lessivage d'azote par rapport à la situation de référence pour le scénario tendanciel et les deux variantes A1 et B2.

der jeweiligen PRA beinhaltet (vgl. Abb. 6.2.1.b), die charakteristische Reaktionsweise der einzelnen PRA.

Das Tendenzszenario und Szenario A1 führen hinsichtlich des Nitratreintrags zu vergleichbaren Veränderungen gegenüber der Referenzsituation. Für den Großteil der PRAs ist die Steigerung des Stickstoffaustrags im Falle des Szenarios A1 stärker als beim Tendenzszenario. Beide Szenarien ziehen ausgeprägte Eintragsverminderungen für die elsässischen PRAs nach sich. Die Änderungen fallen auf deutscher Seite weniger eindeutig aus. Hier gibt es sowohl Zu- als auch leichte Abnahmen. Der Stickstoffaustrag des Szenarios B2 liegt hingegen für alle PRAs – zum Teil deutlich – über dem Eintrag des Tendenzszenarios. Mit Ausnahme der französischen PRAs „Plaine du Rhin“ und „Ried“ ist der Eintrag des B2-Szenarios sogar durchweg höher als der der Referenzsituation.

Abbildung 6.2.1 zeigt deutlich, dass die PRAs innerhalb der elsässischen und baden-württembergischen Teile des Projektgebietes jeweils ähnlich reagieren, während sie sich zwischen den Teilgebieten in systematischer Weise unter-

la représentation des modifications absolues du lessivage, qui dépend également de la taille de chaque PRA (cf. Fig. 6.2.1.b).

Du point de vue des entrées de nitrates, le scénarios tendanciel et A1 génèrent des modifications similaires par rapport à la situation de référence. Pour une grande partie des PRAs, l'augmentation du lessivage est plus forte dans le cas du scénario A1 que dans celui du scénario tendanciel. Les deux scénarios entraînent des réductions marquées des entrées d'azote pour les PRA alsaciennes. Les modifications sont moins nettes côté allemand. On y trouve autant d'augmentations que de légères baisses. Dans le cas du scénario B2, le lessivage est au contraire supérieur à celui du scénario tendanciel pour toutes les PRAs – nettement pour une partie d'entre elles. A l'exception des PRAs françaises « Plaine du Rhin » et « Ried », les entrées du scénario B2 sont même généralement au-delà de celles de la situation de référence.

La figure 6.2.1 montre clairement que les PRAs situées à l'intérieur de la partie alsacienne et de la partie badoise du projet réagissent à chaque fois de manière similaire, alors qu'elles réagissent systématiquement de façon différente

schiedlich verändern. Insbesondere sind die Änderungen auf französischer Seite ausgeprägter. Dieses Ergebnis ist vor dem Hintergrund der einerseits deutlichen Unterschiede in der Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produktion in der Referenzsituation und der andererseits unterschiedlichen wirtschaftlichen Einflüsse beiderseits des Rheins, wie beispielsweise der national unterschiedlichen Ausgestaltungen der Reform der GAP, nicht überraschend. Folglich ist es für die weitere Interpretation der Ergebnisse zweckmäßig, die aggregierten Gruppen der deutschen und französischen PRAs zu betrachten (Abb. 6.2.2).

Durch diese weitergehende Aggregation ergibt sich ein klares Bild. Sehr deutlich unterscheiden sich der badenwürttembergische und elsässische Teil des Projektgebietes hinsichtlich der Auswirkung des Tendenzszenarios sowie des Szenarios A1. Der aggregierte Stickstoffaustrag im deutschen Teil des Projektgebietes nimmt für alle Szenarien zu, wohingegen Tendenzszenario und Szenario A1 auf elsässischer Seite zu einer deutlichen Verringerung des aggregierten Stickstoffaustrages führen. Die Prognose hinsichtlich der Veränderung des Stickstoffaustrags für das Szenario B2 fällt auf beiden Seiten des Rheins wiederum gleich aus, wenngleich die Austragssteigerung auf deutscher Seite ausgeprägter ist.

entre ces deux secteurs de la zone d'étude. Les modifications sont en particulier plus marquées côté français. Ce résultat n'est pas surprenant dans un contexte rassemblant, d'une part des différences nettes de diversification de la production agricole dans la situation de référence, et d'autre part des influences économiques différentes de part et d'autre du Rhin, comme par exemple la mise en œuvre différente de la réforme de la PAC au niveau national. Par conséquent, pour la suite de l'interprétation des résultats, il est pratique de considérer des groupes de PRAs françaises et allemandes (Fig. 6.2.2).

Cette agrégation plus poussée fournit une image plus claire. Des différences d'impact des scénarios tendanciel et A1 très nettes apparaissent entre les parties du projet situées dans le Bade-Wurtemberg et en France. Le lessivage agrégé augmente dans la partie allemande du projet pour tous les scénarios, tandis que les scénarios tendanciel et A1 conduisent à une réduction nette du lessivage agrégé côté alsacien. Pour le scénario B2, la simulation relative à la modification du lessivage donne par contre des résultats identiques des deux côtés du Rhin, bien que l'augmentation du lessivage soit plus marquée côté allemand.

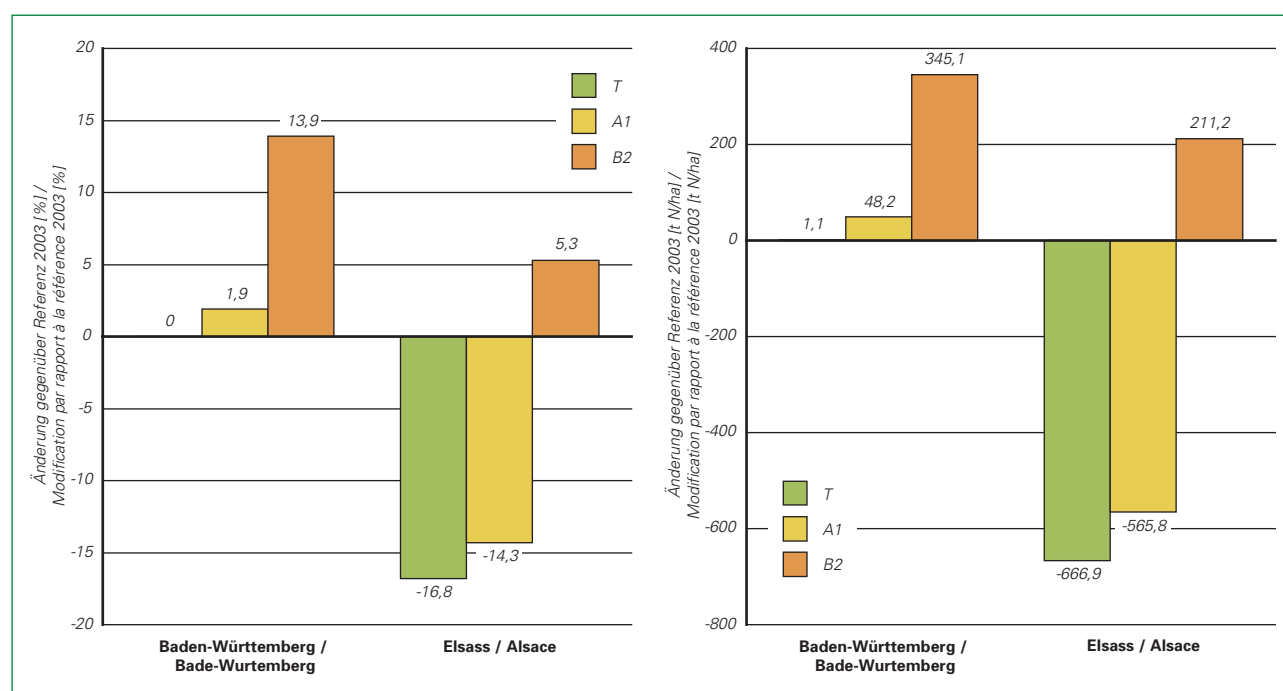


Abbildung 6.2.2: (a) Relative und (b) absolute Änderungen des Stickstoffaustrags gegenüber der Referenzsituation für das Tendenzszenario und die beiden Varianten A1 und B2.

Figure 6.2.2 : Changements (a) relatifs et (b) absolus du lessivage d'azote

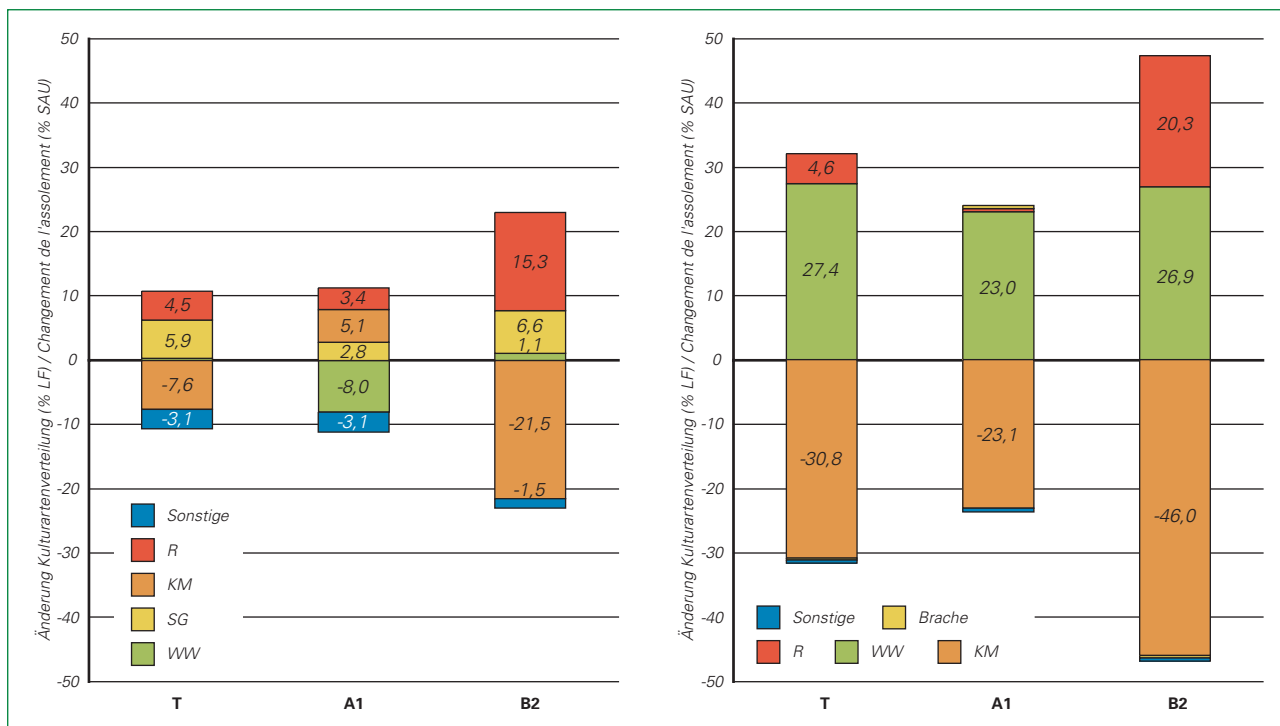


Abbildung 6.2.3: Änderung der Kulturartenverteilung ausgedrückt in % der LF für (a) Baden-Württemberg und (b) Frankreich für die Szenarien  
 Figure 6.2.3 : Modification de la répartition des cultures en % de la SAU pour (a) le Bade-Wurtemberg et (b) la France selon les scénarios.

Die unterschiedlichen Entwicklungen des Stickstoffaustrags auf deutscher und französischer Seite entstehen vor allem durch die für die beiden Teilräume charakteristischen Änderungen der Kulturartenverteilungen gegenüber der Referenzsituation. In Abbildung 6.2.3 wird diese in Anteilen der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) des jeweiligen Teilgebietes dargestellt. Offensichtlich entspricht der stärker ausgeprägten Veränderung der Stickstoffeinträge auf französischer Seite (Abb. 6.2.1) eine größere Veränderung der Kulturartenverteilungen. Beispielsweise sind für das Tendenzszenario auf deutscher Seite 11% der LF von Veränderungen betroffen. Auf elsässischer Seite ändern sich dagegen auf gut einem Drittel (32%) der LF die angebauten Kulturarten.

Im Einzelnen wirken sich die unterschiedlichen Veränderungen der Kulturartenverteilung auf den Stickstoffaustrag folgendermaßen aus:

- **Elsass:** In allen Szenarien wird im Wesentlichen die Körnermaisfläche verkleinert und durch den Anbau von Winterweizen und Raps substituiert. Der Rückgang der Maisflächen ist im Tendenzszenario (-30,8% LF) stärker als im Szenario A1 (-23,1% LF), was ebenfalls zur starken Reduktion des Stickstoffaustrags führt. Auf den ersten Blick überraschend scheint die Tatsache, dass das Szenario B2, in dem der Anteil der Körnermaisflächen mit -46% LF am stärksten ver-

Les différences d'évolution du lessivage côtés allemand et français résultent principalement des modifications caractéristiques de l'assolement propres à chaque secteur par rapport à la situation de référence. Cette dernière est représentée dans la figure 6.2.3 en part de la surface agricole utile (SAU) de chacun des secteurs. Les modifications plus marquées du lessivage côté français (Fig. 6.2.1) correspondent de façon évidente à un plus grand changement d'assolement. A titre d'exemple, 11 % de la SAU est concernée par une modification côté allemand dans le cas du scénario tendanciel, pour presque un tiers (32 %) de la SAU côté alsacien.

Dans le détail, les modifications différentes de l'assolement agissent sur le lessivage de la manière suivante :

- **Alsace :** dans tous les scénarios, ce sont principalement les surfaces de maïs grain qui se réduisent au profit du blé d'hiver et du colza. Le recul des surfaces de maïs est plus marqué dans le scénario tendanciel (-30,8 % de la SAU) que dans le scénario A1 (-23,1 % de la SAU), ce qui génère également une plus forte baisse du lessivage. Au premier abord, il semble surprenant que le scénario B2, dans lequel la part relative des surfaces de maïs grain est la plus fortement

kleinert wird, dennoch zum höchsten Austrag führt. Abbildung 6.2.4 zeigt, dass die Substitution durch Winterweizen den Austrag im Mittel senkt, wohingegen der verstärkte Anbau von Raps im Hinblick auf den Nitrataustrag eher als problematisch einzustufen ist. Beim Szenario B2 wird folglich die vorteilhafte Wirkung des Rückgangs der Maisflächen durch die ausgeprägte Erhöhung des Rapsanteils (+20,3% LF) sogar überkompensiert, was insgesamt zu einem höheren Stickstoffaustrag führt.

■ **Baden-Württemberg:** Beim Tendenzszenario und Szenario B2 werden die reduzierten Flächen von Körnermais und den „Sonstigen“, die hier im Wesentlichen aus Intensivkulturen (IK) und Wintergerste (WG) bestehen, durch Brauereigerste (SG) und Raps ® substituiert. Anhand von Abbildung 6.2.4 lässt sich nachvollziehen, dass ersteres zu einer deutlichen Abnahme und letzteres zu einer Zunahme des Stickstoffaustrages führt. Der Raps-Anteil bei den substituierten Flächen bestimmt daher – genau wie auf elsässischer Seite – im Wesentlichen, ob es zu einer effektiven Zu- oder Abnahme des Stickstoffaustrags kommt. Bemerkenswert ist die Situation bei Szenario A1. Hier „tauschen“ Winterweizen und Körner-

reduite avec -46 % de la SAU, génère pourtant le plus de lessivage. La figure 6.2.4 montre que sa substitution par du blé d’hiver réduit le lessivage en moyenne, alors que le renforcement de la culture du colza doit plutôt être vue comme un problème du point de vue du lessivage des nitrates. Pour le scénario B2, l’effet positif de la baisse des surfaces de maïs est même surcompensé par la forte augmentation de la part de colza (+20,3 % de la SAU), ce qui génère globalement une hausse du lessivage.

■ **Bade-Wurtemberg:** avec les scénarios tendanciel et B2, les surfaces de maïs grain et les cultures « diverses », qui sont principalement constituées ici des cultures intensives (IK) et de l’orge d’hiver (WG), sont remplacées par de l’orge de brasserie (orge d’été) (SG) et du colza (R). Sur la base de la figure 6.2.4, on peut comprendre que le premier scénario conduit à une nette diminution du lessivage alors que le second génère son augmentation. C’est en fait la fraction des surfaces remplacées par le colza qui détermine – exactement de la même manière que du côté alsacien – l’augmentation ou la diminution du lessivage. La situation dans le cas du scénario A1 est remarquable. Ici, le blé d’hiver et le maïs grain « échangent » leurs

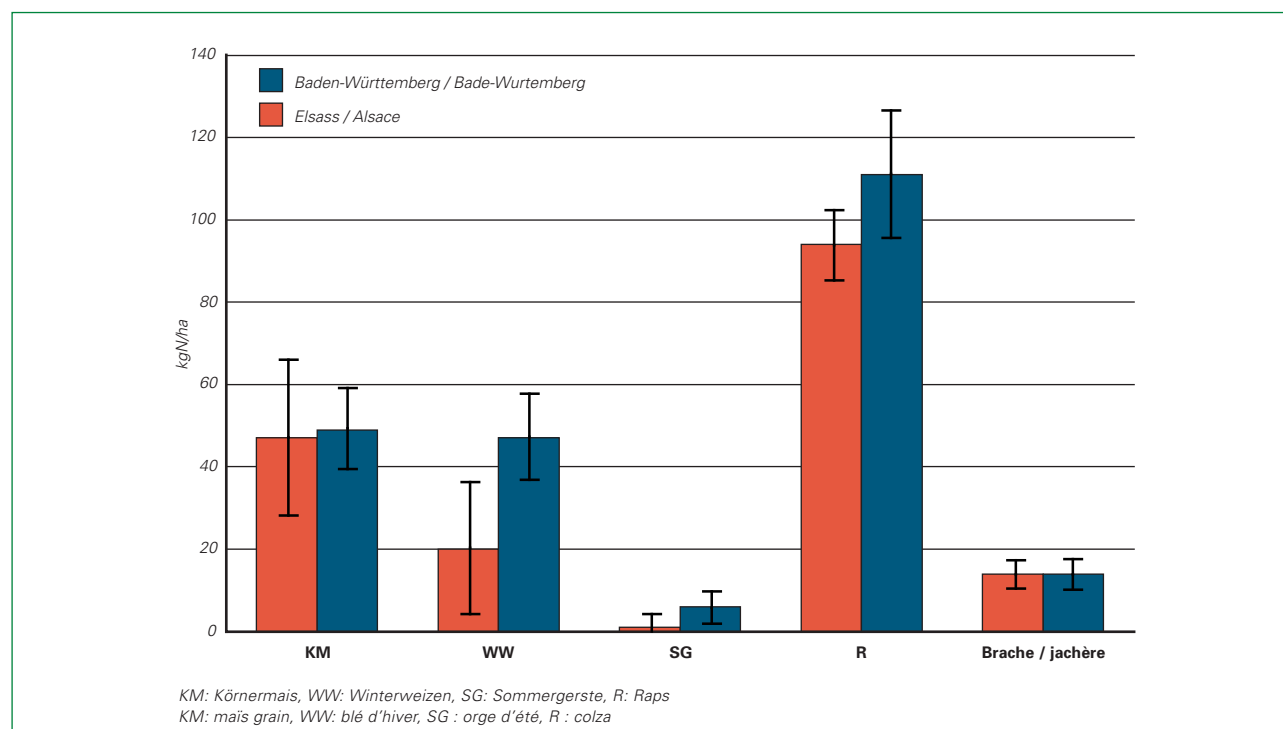


Abbildung 6.2.4: kulturartenspezifische Austräge der Kulturen mit den stärksten Änderungen der Anbaufläche in den verschiedenen Szenarien. Der „Fehlerbalken“ entspricht der räumlichen Variabilität der Austräge

Figure 6.2.4 : lessivage d’azote spécifique des cultures qui dont la surface change le plus dans l’assolement pour les différents scénarios. L’ « intervalle de confiance » représente la variabilité spatiale du lessivage.

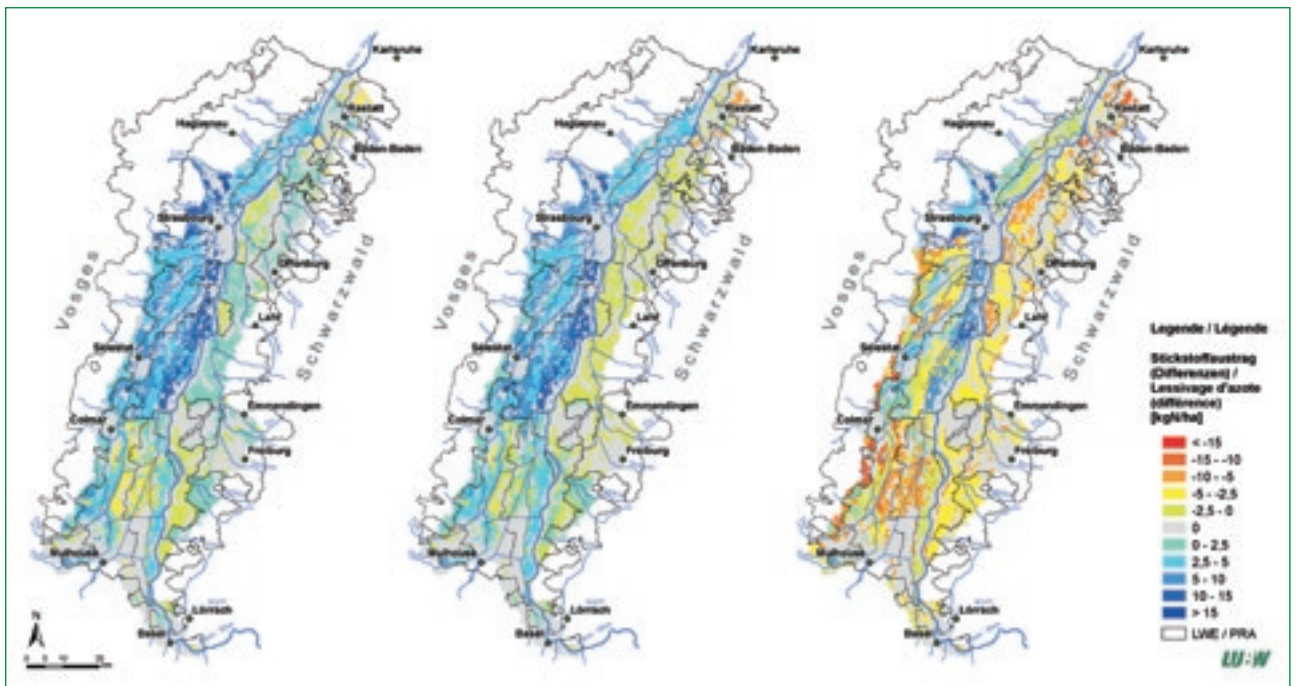


Abbildung. 6.2.5: Differenzkarten der mit STOFFBILANZ berechneten Stickstoffausträge für das Tendenzszenario (a) und die beiden Varianten A1 (b) und B2 (c).

Figure 6.2.5 : Cartes de différences pour l'entrée d'azote calculé par STOFFBILANZ pour le scénario tendanciel (a) et les deux variantes A1 (b) et B2 (c).

mais im Vergleich zu den anderen beiden Szenarien die Rollen: Obwohl die Maisflächen zunehmen, führt hier die vergleichsweise geringe Zunahme der Rapsflächen nur zu einem moderaten Anstieg des gesamten Stickstoffaustrags (Abb. 6.2.2)

rôles en comparaison des deux autres scénarios : bien que les surfaces de maïs augmentent, la croissance relativement faible des surfaces de colza ne cause qu'une faible hausse du lessivage total (Fig. 6.2.2).

### 6.3 ENTWICKLUNG DER GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

Entsprechend den Veränderungen beim Stickstoffaustrag aus der Bodenzone wird für das Grundwasser im Elsass für die beiden Szenarien „Tendenz“ und A1 eine deutliche Abnahme und für die badische Seite sowie das Szenario B2 auf der Elsässer Seite im Mittel eine Zunahme der Grundwasserbelastung (Abb. 6.3.2) prognostiziert. Die Differenzkarten für die drei Szenarien lassen sich insofern anhand der entsprechenden Karten für den Stickstoffeintrag (Abb. 6.2.5) sowie deren Diskussion im vorigen Abschnitt (Kap. 6.2) gut nachvollziehen.

Die Veränderungen der Nitrat-Konzentrationen beschränken sich beim Tendenzszenario und Szenario A1 weitgehend auf den elsässischen Teil des Projektgebietes. Die Vermischung und der Nitratabbau im Grundwasserleiter sorgen dafür, dass die Zunahmen des Stickstoffaustrags im der elsässischen PRAs Hardt und „Plaine du Rhin“ südlich von Colmar sich nicht in höheren Konzentrationen in der oberen Schicht des Grund-

### 6.3 EVOLUTION DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

En adéquation avec les modifications du lessivage de l'azote à partir du sol, une diminution nette de la pollution des eaux souterraines a été simulée pour l'aquifère côté alsacien par les deux scénarios « tendance » et A1, et en moyenne une augmentation de la pollution des eaux souterraines côté badois ainsi que par le scénario B2 côté alsacien (Fig. 6.3.2). Les cartes de différences pour les trois scénarios sont aisément compréhensibles à partir des cartes correspondantes relatives aux entrées d'azote (Fig. 6.2.5) et de leur discussion dans la section précédente (chap. 6.2).

Pour les scénarios tendanciel et A1 on observe une évolution surtout du côté alsacien, avec une diminution des teneurs en nitrates dans la nappe à l'échéance 2050. Les augmentations du lessivage d'azote dans les PRA alsaciennes de la Hardt et de la « Plaine du Rhin » au sud de Colmar sont largement compensées par les diminutions de la Plaine du Rhin entre Colmar et Strasbourg. Les légères

wasserleiters niederschlagen. Die leichten Änderungen des Stickstoffaustrags auf deutscher Seite (Abb. 6.2.5.a und 6.2.5.b) wirken sich ebenfalls nicht merkbar auf die Qualität des Grundwassers aus. Die einzigen Ausnahmen bilden kleinere Bereiche mit Konzentrationsanstiegen in den PRA „nördliche Hardt“ und „Freiburger Bucht“. Nur im Fall des Szenarios B2 werden flächenhafte Zunahmen der Nitratkonzentration prognostiziert. Ausgenommen von dieser steigenden Tendenz sind die elsässische „Plaine du Rhin“ in der Umgebung von Strasbourg, Teile der elsässischen Ried östlich von Sélestat sowie die unmittelbare Umgebung von Mulhouse. Die aggregierte Betrachtungsweise in Form der beiden Indikatoren Überschreitungsfläche 50mg/l und Mittelwert (Abb. 6.3.1) führt zum gleichen Bild. Das Tendenzszenario und Szenario A1 führen zu Verbesserungen gegenüber dem Basislauf. Die entsprechenden Kurven liegen jeweils sehr dicht beieinander, was den geringen Unterschieden in Abbildung. 6.3.2.a und 6.3.2.b entspricht. Die Kurve für Szenario B2 liegt entsprechend seinem höheren Stickstoffeintrag sogar oberhalb des Basislaufs.

modifications du lessivage côté allemand (Figures 6.2.5.a et 6.2.5.b) n'ont pas non plus d'effet visible sur la qualité des eaux souterraines. Les seules exceptions sont de petites zones dans les PRA « Hardt du Nord » et « Freiburger Bucht » qui connaissent des augmentations de concentration. Ce n'est que dans le cas du scénario B2 que l'on observe des augmentations des concentrations en nitrates sur des surfaces importantes. Seuls la « Plaine du Rhin » aux environs de Strasbourg, des parties du Ried alsacien à l'est de Sélestat ainsi que les environs immédiats de Mulhouse échappent à cette tendance à l'augmentation. La méthode d'examen agrégée sous forme des deux indicateurs « surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l » et « valeur moyenne » (Fig. 6.3.1) aboutit à une image similaire. Le scénario tendanciel et le scénario A1 génèrent des améliorations par rapport à la simulation de base. Les courbes correspondantes se situent très près l'une de l'autre, ce qui correspond aux faibles différences visibles dans les figures 6.3.2.a et 6.3.2.b. La courbe du scénario B2 se trouve même au-dessus de celle de la simulation de base, en raison de ses entrées d'azote plus importantes.

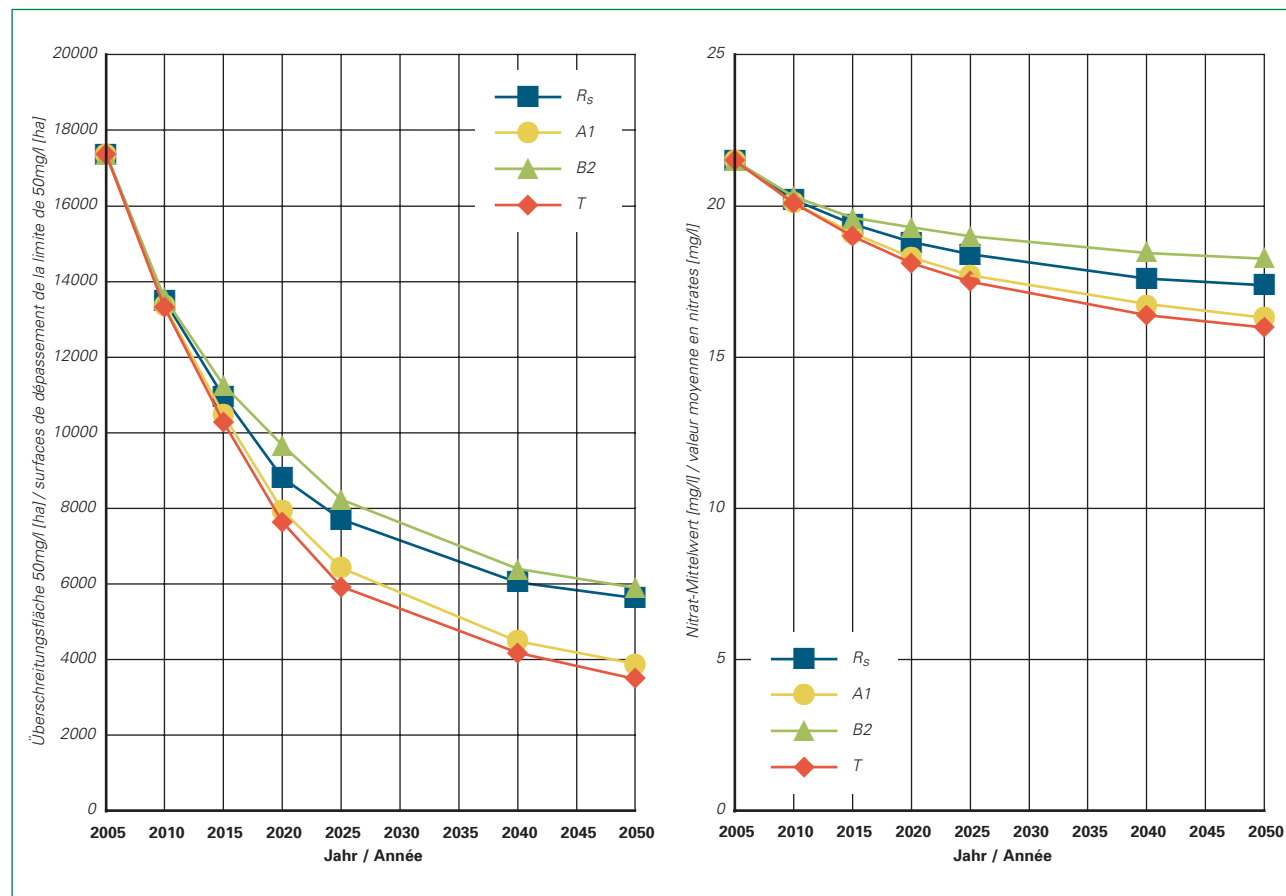


Abbildung 6.3.1: Zeitlicher Verlauf der (a) Überschreitungsflächen 50mg/l und (b) mittlere Nitrat-Konzentration.

Figure 6.3.1 : Evolution temporelle des (a) surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l et (b) de la valeur moyenne en nitrates.

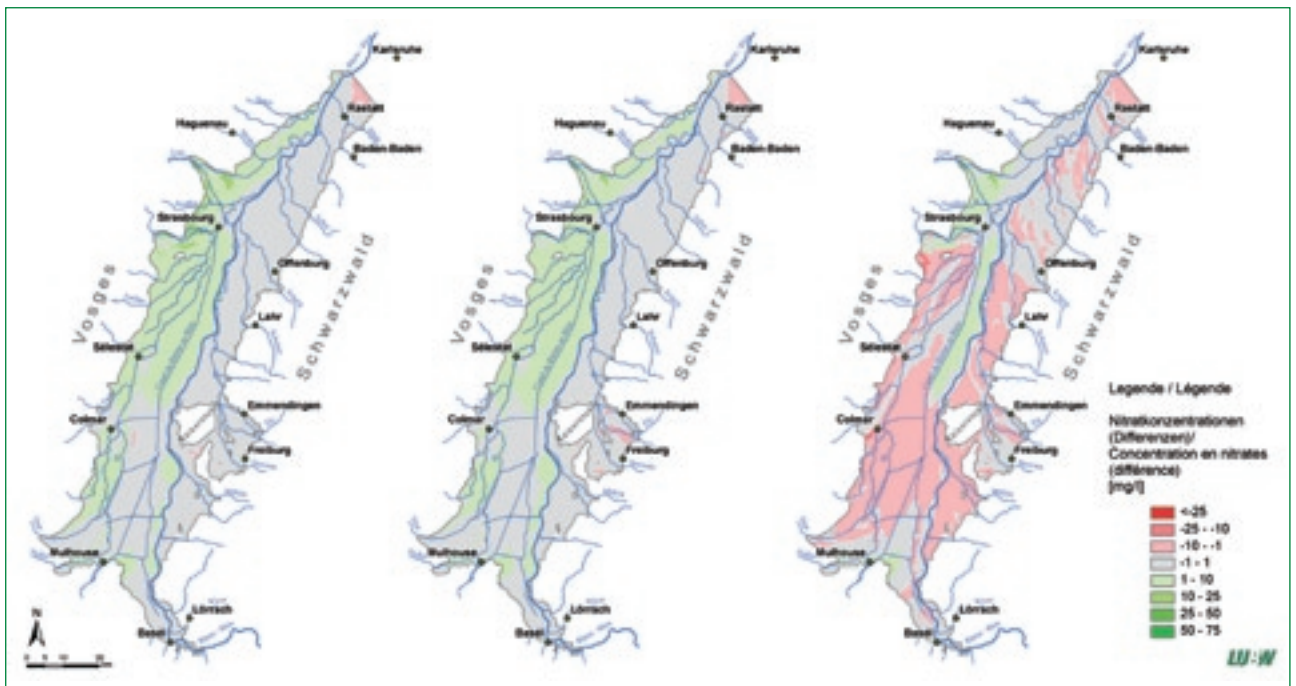


Abbildung 6.3.2: Differenzkarten der Nitratkonzentrationen (Referenz 2050 – Szenario 2050) in den obersten 10m des Grundwasserleiters für das Tendenzszenario (a) und die bei-den Varianten A1 (b) und B2 (c).

Figure 6.3.2 : Carte de la différence des concentrations en nitrates (référence 2050 - scénario 2050) dans les 10m supérieures de l'aquifère pour le scénario tendanciel (a) et les variantes A1 (b) et B2 (c).



## 7 Ergebnisse zu Handlungsoptionen

Die grenzüberschreitende Priorisierung der nach Wirksamkeit, Umsetzbarkeit und regionaler Relevanz bewerteten Handlungsoptionen führte zu dem Ergebnis, folgende Maßnahmen zu modellieren: 1. Ordnungsgemäße und um 20% reduzierte Düngung 2. Anbau von Zwischenfrüchten, 3. Umwandlung von Ackerland in Grünland und 4. eine Kombination aller drei Handlungsoptionen. Teilweise wurden noch mehrere Varianten modelliert (siehe Tab. 7.1).

Die Handlungsoptionen Ordnungsgemäße Düngung und Zwischenfruchtanbau werden bereits heute in unterschiedlichem Maße umgesetzt: Dabei gibt es teilweise Unterschiede im Umsetzungsgrad auf deutscher und französischer Seite sowie regionale Unterschiede innerhalb der Länder bzw. Unterschiede von Bewirtschafter zu Bewirtschafter. Diese Differenziertheit der Realität ist mangels fehlender Daten nicht adäquat abzubilden. Als Referenzzustand wird somit die N-Austragsverteilung von 2000 ohne Handlungsoption angesetzt, also einem Umsetzungsgrad gleich Null.

Die Handlungsoptionen werden in ihrem Effekt auf das Grundwasser unter den Prämissen einer maximalen Wirkung und flächendeckender Umsetzung gegenüber diesem Referenzzustand prognostiziert und bewertet. Die austragsreduzierende Wirkung einiger Handlungsoptionen wird mit dem prozessorientierten Boden-Pflanzen-Modell abgeschätzt.

## 7 Résultats des options d'action

La définition transfrontalière des priorités des options d'action évaluées sur la base de leur efficacité, de leur mise en pratique et de leur pertinence régionale, a permis d'aboutir à la modélisation des mesures suivantes : 1. Fertilisation raisonnée et réduite de 20 % supplémentaires, 2. Semis de cultures intermédiaires, 3. Conversion de terres arables en prairies et 4. une combinaison de ces trois options d'action. D'autres variantes ont de plus été modélisées (voir Tab. 7.1).

Les options d'action « fertilisation raisonnée » et « semis de cultures intermédiaires » sont déjà mises en œuvre actuellement à des degrés différents : il existe ainsi en partie des différences de degré de mise en pratique entre côtés allemand et français, tout comme des différences régionales au sein des pays, et d'un exploitant agricole à un autre. Faute de données, ces différenciations de la réalité ne peuvent pas être reproduites correctement. En tant qu'état de référence, on utilise la distribution du lessivage de l'azote pour l'année 2000 sans aucune option d'action, c'est-à-dire avec un degré de mise en pratique égal à zéro.

Les options d'action sont simulées et évaluées par rapport à cet état de référence, pour leur effet sur les eaux souterraines sous les prémisses d'une efficacité maximale et d'une mise en pratique sur de plus larges surfaces. L'effet de certaines options d'action en matière de réduction du lessivage est estimé à l'aide du modèle sol-plante à bases physiques.

Tabelle 7.1: Liste der modellierten Handlungsoptionen und Bezugsrechenläufe

Tableau 7.1 : Liste des options d'action modélisées et simulations de référence

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

Die Handlungsoptionen werden im folgenden Kapitel 7 zunächst einzeln und am Ende in einer Kombination nach dem jeweils gleichen Schema diskutiert: Zunächst wird der landwirtschaftliche Kontext der Handlungsoption behandelt, anschließend die modelltechnische Umsetzung der Handlungsoptionen beschrieben und schließlich wird die Wirkung der Handlungsoptionen auf die Reduzierung des Nitrataustrags räumlich differenziert dargestellt.

## 7.1 ORDNUNGSGEMÄSSE DÜNGUNG UND REDUZIERTER DÜNGUNG

### Einordnung der Handlungsoptionen vor landwirtschaftlichem Hintergrund

In Frankreich ist die Handlungsoption *ordnungsgemäße Landwirtschaft* im Programm Ferti-Mieux (Beratungssystem zur Verbesserung des Stickstoff-Managements) verankert.

Außerdem in verschiedenen Maßnahmenprogrammen im Zusammenhang mit der EU-Nitratrichtlinie, die in Deutschland und Frankreich jeweils in nationales Recht umgesetzt wurde und die Verpflichtung zu angepasster („ausgeglichener“) Düngung sowie Richtlinien zur Ausbringungsweise der Dünger beinhaltet.

Trotz dieser Programme zeigen Evaluierungen der realen Düngepraxis, dass die Anpassung der Düngegaben (im Rahmen des Programms Ferti-Mieux) noch nicht flächendeckend erfolgt. Es besteht in verschiedenen Regionen immer noch eine mehr oder weniger große Diskrepanz zwischen Düngepraxis und Düngeempfehlung.

Die Handlungsoption *reduzierte Düngung* (20% unter Düngeempfehlung) existierte im Rahmen verschiedener „Maßnahmen in Landwirtschaft und Umwelt“ (MAE). Für das Elsass ist jedoch bisher keine Umsetzung in die Realität bekannt.

Auf deutscher Seite sind die Anforderungen an die Düngepraxis im Rahmen der Düngeverordnung bundesweit einheitlich geregelt. Bei der Ermittlung der ordnungsgemäßen Düngemenge für eine Bewirtschaftungseinheit werden unter anderem die im Boden verfügbaren Nährstoffmengen berücksichtigt. In Baden-Württemberg wird für eine gut angepasste Düngeempfehlung der im Frühjahr noch vorhandene Stickstoffvorrat im Boden in großem Umfang bestimmt (58.000 Standorte im Jahr 2005). Innerhalb von Wasserschutzgebieten ist die Bestimmung des Bodenvorrats für einige Kulturen verpflichtend, außerhalb

Dans le chapitre 7, les options d'action sont d'abord discutées individuellement, puis de façon combinée selon un schéma identique. On traite d'abord le contexte agricole de l'option d'action, on décrit ensuite la mise en œuvre technique à l'aide du modèle, pour enfin présenter l'effet spatialement différencié de l'option d'action sur la réduction du lessivage des nitrates

## 7.1 FERTILISATION RAISONNÉE ET FERTILISATION RÉDUITE

### L'option d'action dans le contexte agricole actuel

Côté français, l'action *fertilisation raisonnée* est d'abord encadrée par la démarche Ferti-Mieux (système de conseil pour améliorer la gestion de l'azote).

De plus par les programmes d'action successifs de la Directive Nitrates (directive européenne, n° 91/676/CEE du 12 décembre 1991, transcrite dans le droit national en France et en Allemagne) qui contient une obligation de « fertilisation équilibrée » ainsi que des consignes par rapport aux modalités d'apport des fertilisants.

Malgré ces démarches, les évaluations des pratiques de fertilisation (dans le cadre du programme Ferti-Mieux) indiquent que l'ajustement de la fertilisation n'est pas encore généralisé, et que des écarts plus ou moins importants persistent suivant les secteurs et les types d'exploitation entre les doses pratiquées et conseillées.

L'action *fertilisation réduite* (une réduction des doses d'azote de 20% par rapport aux doses conseillées) a existé dans certaines « Mesures Agri-Environnementales » (MAE), mais n'a pas connu une application en Alsace pour l'instant.

Côté allemand, les exigences relatives aux pratiques de fertilisation sont réglementées à l'échelle fédérale, dans le cadre du décret sur la fumure (Düngeverordnung). Lors du calcul des quantités de fertilisants pour une parcelle dans le cadre de la fertilisation raisonnée, on considère entre autres les reliquats d'azote disponibles dans le sol. Afin d'aboutir à une recommandation de fertilisation appropriée, le stock d'azote présent dans le sol au printemps est déterminé à très grande échelle dans le Bade-Wurtemberg (58 000 sites en 2005). A l'intérieur des périmètres de protection des captages d'eau potable, la détermination du

davon ist sie freiwillig und kann im Rahmen des Marktentlastungs- und Kulturausgleichs-Programms (MEKA) gefördert werden. Trotz aller Bemühungen gibt es die Vermutung, dass die standortangepasste Düngemenge auch zurzeit noch nicht immer eingehalten wird. Daher soll abgeschätzt werden, welches Verbesserungspotential bezüglich der Düngepraxis im Oberrheingraben noch vorhanden ist.

Die Reduzierung der ordnungsgemäßen Düngemenge um weitere 20% war in den Wasserschutzgebieten Baden-Württembergs im Rahmen der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) bis ins Jahr 2000 vorgeschrieben. Seit 2001 wird bei freiwilliger Durchführung dieser Maßnahme flächendeckend ein Ausgleich im Rahmen des MEKA-Programms angeboten. Bei Beantragung des Ausgleichs muss die Maßnahme auf der gesamten Ackerfläche des landwirtschaftlichen Betriebes durchgeführt werden.

In der grenzüberschreitenden Bewertung (Kap. 3.3) wurde den Handlungsoptionen zur ordnungsgemäßen Düngung eine große Bedeutung beigemessen. Sie erscheinen wirkungsvoll, relativ gut umsetzbar und lassen eine gute Akzeptanz erwarten bzw. werden in unterschiedlichem Maße bereits umgesetzt. Obwohl die Reduzierung der Düngemenge um weitere 20% auf deutscher und französischer Seite als nur wenig effektiv angesehen wurde, soll die flächenhafte Wirksamkeit dieser Handlungsoption ebenfalls abgeschätzt werden.

#### Umsetzung mit den Modellen

Da die Verringerung der Düngemenge in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften und Klimabedingungen durchaus unterschiedliche Wirkung zeigen kann, wurde ein **prozessorientiertes Modell (STICS)** für die Abschätzung der **standortbezogenen Wirksamkeit** der untersuchten Varianten eingesetzt. Mit dem Modell STICS werden die Stickstoff-Umsetzungsprozesse im System Boden-Pflanze simuliert, so dass sich der Einfluss von Bodeneigenschaften, Witterungsverlauf oder Bewirtschaftungspraxis (z.B. Düngemenge) auf die Nitratauswaschung abschätzen lässt. Es wurden die Änderungen des Stickstoffaustrags für 43 Boden-Niederschlagskombinationen (24 typische Bodenprofile, vier verschiedenen Niederschlagszonen) berechnet. Diese schlagbezogenen Simulationsergebnisse wurden anschließend mit dem **Modell STOFFBILANZ**

stock dans le sol est obligatoire pour quelques cultures, et elle est fondée sur une base volontariste dans les autres cas, où elle peut être soutenue dans le cadre du programme MEKA (Marktentlastungs- und Kulturausgleichs-Programms). Malgré tous les efforts entrepris, on soupçonne que l'ajustement des doses de fertilisants à la parcelle n'est pas respecté partout à l'heure actuelle. C'est pourquoi il est nécessaire d'estimer le potentiel d'amélioration des pratiques de fertilisation dans la vallée du Rhin Supérieur. Dans le Bade-Wurtemberg, une réduction de 20 % supplémentaires des quantités de fertilisants conseillées était obligatoire jusqu'en 2000, dans le cadre de la réglementation du SchALVO (Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung). Depuis 2001, cette mesure est subventionnée sur l'ensemble du territoire dans le cadre du programme volontaire MEKA. En cas de demande de compensation, la mesure doit être réalisée sur la totalité de la surface agricole de l'exploitation.

Lors de l'évaluation transfrontalière (chap. 3.3), une grande importance a été attribuée aux options d'action relatives à la fertilisation raisonnée. Celles-ci semblent efficaces, relativement aisées à mettre en pratique et on peut s'attendre à ce qu'elles soient bien acceptées et mise en œuvre dans une proportion différente. Bien que la réduction de 20 % supplémentaires des quantités de fertilisants des côtés français et allemand n'ait été perçue que comme peu efficace, l'estimation de l'impact spatial de cette option d'action s'impose.

#### Mise en œuvre à l'aide des modèles

La réduction des quantités de fertilisants pouvant avoir des impacts totalement différents en fonction des caractéristiques pédologiques et des conditions climatiques, un **modèle à bases physiques (STICS)** a été mis en œuvre pour l'évaluation de l'efficacité des variantes étudiées **en fonction du site**. Avec le modèle STICS, les processus de transformation de l'azote dans le système sol-plante sont simulés, ce qui permet d'estimer l'influence des caractéristiques pédologiques, des conditions météorologiques ou des pratiques d'exploitation (quantités de fertilisants p. ex.) sur le lessivage des nitrates. Les modifications du lessivage de l'azote ont été calculées pour 43 combinaisons sol-précipitations (24 profils de sol types, quatre zones de précipitations différentes). Ces résultats de simulations à l'échelle de la parcelle ont ensuite été **spatialisés** avec le

Tabelle 7.1.1: Gesamtdüngemenge für die Simulationen ordnungsgemäße Düngung (M1a, M1c) und reduzierte Düngung (M1b) bei Körnermais und Winterweizen.

Tableau 7.1.1 : Quantité totale de fertilisants pour la simulation de la fertilisation raisonnée (M1a, M1c) et de la fertilisation réduite (M1b) pour le maïs grain et le blé d'hiver.

Bewirtschaftungsregion / pratiques agricoles	Kulturart / culture	Gesamtdüngemenge / quantité d'engrais totale [kgN/ha]		
		R	M1a, M1c	M1b
<b>Baden-Württemberg (D)</b>	Körnermais / maïs grain	160	144	115
	Winterweizen / blé d'hiver	200	144	115
<b>Hardt / Ochsenfeld (F)</b>	Körnermais / maïs grain	220	210	170
	Winterweizen / blé d'hiver	185	185	148
<b>Ried / Plaine du Rhin (F)</b>	Körnermais / maïs grain	185	160	130
	Winterweizen / blé d'hiver	155	155	124
<b>sous vosgienne (F)</b>	Körnermais / maïs grain	180	150	120
	Winterweizen / blé d'hiver	160	160	128

flächenhaft im gesamten Projektgebiet umgesetzt. Dabei wurde der kulturspezifische Stickstoffaustrag in STOFFBILANZ um die mit STICS berechnete Änderungen des Austrags modifiziert.

Der Effekt der Handlungsoption *ordnungsgemäße Düngung* kann im Wesentlichen durch die Modellierung der Kulturen Körnermais und Winterweizen abgebildet werden, da der Flächenanteil beider Kulturen im inneren Projektgebiet sehr hoch ist. Sie werden auf 72% der gesamten Ackerfläche angebaut.

Für die Simulationen werden Informationen über Bodenbearbeitung, Aussaat, mineralische Düngung, Ernte und Bewässerung benötigt. Auf der Basis von Versuchsergebnissen, Umfragen, und Expertenwissen wurden regionaltypische Standardbewirtschaftungsverfahren definiert (vgl. Datenblätter im Anhang A xyz). Für die Simulation der Handlungsoption wurde ausschließlich der Parameter mineralische Düngung gemäß Tabelle 7.1.1 variiert.

Auf französischer Seite wurden drei regionale Standardbewirtschaftungsverfahren definiert, da aus der Erhebung von Bewirtschaftungsdaten im Rahmen des Programms Ferti-Mieux räumlich differenziertere Daten vorliegen als auf deutscher Seite. In Deutschland liegen Ertragsdaten nur für die Rheinebene als ganzes vor, so dass hier vereinfachend von einer einheitlichen Bewirtschaftung ausgegangen wird.

### Bewertung der standortbezogenen Wirksamkeit

Die Simulationen mit dem Modell STICS ergeben für die Handlungsoptionen ordnungsgemäße und reduzierte Düngung je nach Bodeneigenschaften, Niederschlagsangebot und regionaltypischer Standardbewirtschaftung unterschiedlich starke Auswirkungen. Die Abbildungen 7.1.1

modell STOFFBILANZ sur l'ensemble de la zone d'étude. Dans ce cadre, les modifications de lessivage calculées par STICS ont été appliquées au lessivage des cultures correspondantes de STOFFBILANZ.

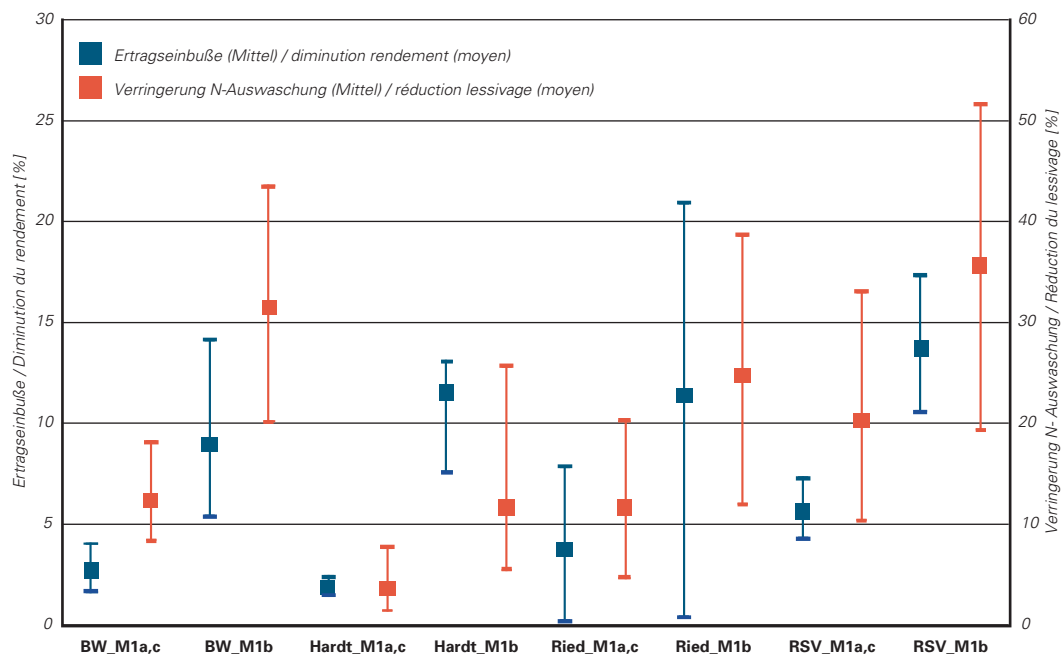
La majeure partie de l'effet de l'option d'action Fertilisation raisonnée peut être simulée par le biais de la modélisation des cultures maïs grain et blé d'hiver, car la surface occupée par ces deux cultures dans la zone intérieure du projet est très élevée. Elles sont cultivées sur 72 % de la surface totale des terres arables.

Les simulations nécessitaient des informations sur le travail du sol, les semis, la fertilisation minérale, les récoltes et l'irrigation. Des pratiques d'exploitation standard régionales ont été définies sur la base de résultats d'expériences, d'enquêtes et d'avis d'experts (cf. feuilles de calcul dans l'annexe A xyz). On n'a fait varier que le paramètre « fertilisation minérale » pour la simulation des options d'action, selon le tableau 7.1.1.

Grâce aux évaluations faites dans le cadre du programme Ferti-Mieux, des données spatialement différenciées sur les pratiques d'exploitation existent du côté français, ce qui a permis la définition de trois pratiques d'exploitation standard. Les données de rendement n'étant disponibles côté allemand que pour l'ensemble de la plaine du Rhin, une seule pratique d'exploitation standard a été définie pour la partie allemande.

### Evaluation de l'efficacité à l'échelle de la parcelle

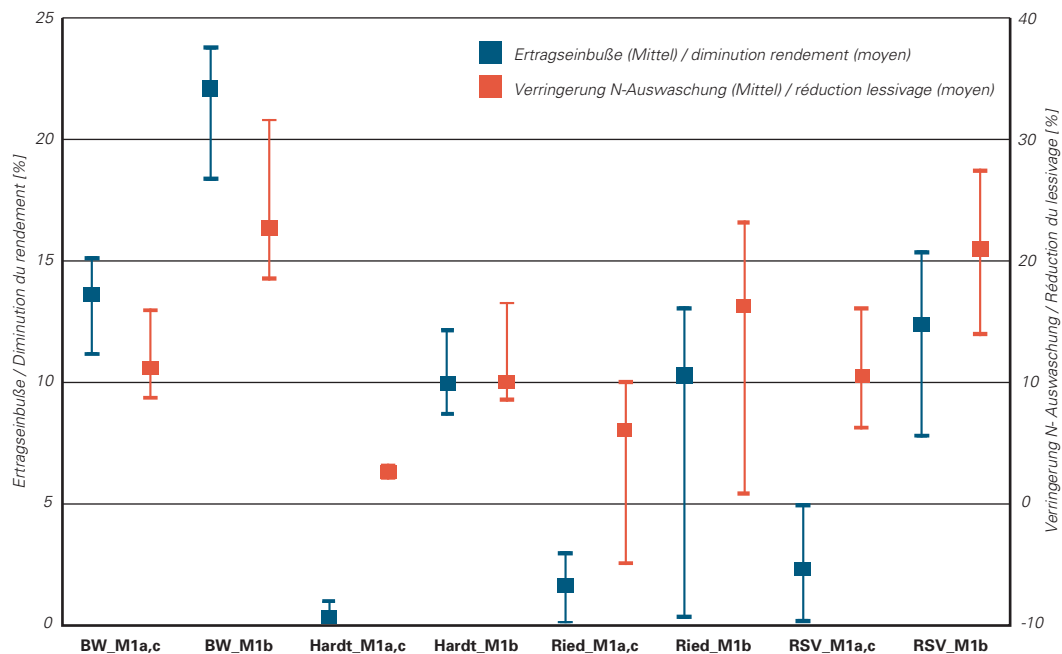
Les simulations effectuées à l'aide du modèle STICS pour les options d'action « fertilisation raisonnée » et « fertilisation réduite » aboutissent à des différences importantes en termes d'impact, selon les caractéristiques du sol, le niveau des précipitations et les pratiques d'exploitation



BW – deutsche Projektseite, Hardt – Hardt/Ochsenfeld, Ried – Plaine du Rhin/Ried, RSV – Région sous vosgienne

Abbildung 7.1.1 : Ergebnisse für Körnermais in Monokultur: Verringerung der N-Auswaschung und Ertragseinbußen bei ordnungsgemäßer und reduzierter Düngung. Flächengewichtete Mittelwerte sowie Minimal- und Maximalwerte für die Boden-Niederschlagszonen innerhalb einer Bewirtschaftungsregion

Figure 7.1.1 : Résultats pour le maïs grain en monoculture : réduction de lessivage d'azote et diminution de rendements pour une fertilisation raisonnée et réduite. Moyenne pondérée par la surface ainsi que des valeurs minimales et maximales de les combinaisons sols-précipitations et zone d'exploitation.



BW – deutsche Projektseite, Hardt – Hardt/Ochsenfeld, Ried – Plaine du Rhin/Ried, RSV – Région sous vosgienne

Abbildung 7.1.2 : Ergebnisse für Winterweizen: Verringerung der N-Auswaschung und Ertragseinbußen bei ordnungsgemäßer und reduzierter Düngung. Flächengewichtete Mittelwerte sowie Minimal- und Maximalwerte

Figure 7.1.2 : Résultats pour le blé d'hiver: réduction de lessivage d'azote et diminution de rendements pour une fertilisation raisonnée et réduite. Moyenne pondérée par la surface ainsi que des valeurs minimales et maximales.

und 7.1.2 zeigen für die vier Bewirtschaftungsregionen die mit der Verringerung der Düngemengen einhergehende Verringerung der Nitratauswaschung und des Ertrags bei Körnermais und Winterweizen.

Für Körnermais in Monokultur wird beim Übergang von praxisüblicher zu ordnungsgemäßer Düngung die Stickstoff-Auswaschung im Vergleich zu möglichen Ertragseinbußen überproportional verringert. Die prognostizierte Spanne reicht von ca. 3,4% (Hardt Ochsenfeld) bis zu 20% (Sous Vosgienne), dem stehen mittlere Ertragseinbußen von knapp 2% (Hardt/Ochsenfeld) bis ca. 5,5% (Sous Vosgienne) gegenüber.

Wird die Düngemenge um weitere 20% reduziert, so ergeben die Modellrechnungen eine Verringerung der Stickstoff-Auswaschung zwischen 11% (Hardt/Ochsenfeld) und ca. 35% (Sous Vosgienne) sowie Ertragsrückgänge von im Mittel knapp 9% (Baden-Württemberg) bis ca. 13% (Sous Vosgienne) gegenüber den Stickstoff-Austrägen bzw. Erträgen bei praxisüblicher Düngung.

Abbildung 7.1.2 zeigt die Verringerung der Stickstoff-Auswaschung sowie die Ertragseinbußen für Körnermais bei ordnungsgemäßer bzw. reduzierter Düngung. Die Berechnung erfolgte für Winterweizen, der sich in einer Fruchtfolge mit Körnermais befand. Für beide Kulturen wurde jeweils eine ordnungsgemäße bzw. reduzierte Düngung angenommen. Auf französischer Seite entspricht die praxisübliche Düngemenge (Standardbewirtschaftung) der ordnungsgemäßen Düngemenge (Tab. 7.1.1). Trotzdem werden Rückgänge bei der Stickstoff-Auswaschung und beim Ertrag prognostiziert. Hier zeigt sich die Auswirkung der ordnungsgemäßen Düngung bei der Vorfrucht Körnermais, die sich auch auf die Folgefrucht Winterweizen auswirkt.

Für die Bewirtschaftungsregion Hardt/Ochsenfeld werden bei ordnungsgemäßer Düngung 3% weniger Stickstoff-Austrag bei annähernd gleichbleibendem Ertrag prognostiziert. Wie Tabelle 7.1.1 zeigt, wurde lediglich die Düngemenge für Körnermais um 10 kg N/ha verringert. In den übrigen Bewirtschaftungsregionen liegt die zu erwartende Verringerung der Stickstoff-Auswaschung im Mittel zwischen ca. 6% (Ried/Plaine du Rhin) und ca. 11% (Baden-Württemberg), die zu erwartenden Ertragseinbußen liegen im Mittel zwischen 1,5% (Ried/Plaine du Rhin) und 13,5% (Baden - Württemberg). Wird die Düngemenge um weitere 20% reduziert, so ergibt sich eine Reduzierung der

standard régionales. Les figures 7.1.1 et 7.1.2 montrent la réduction du lessivage des nitrates et la baisse des rendements du maïs grain et du blé d'hiver correspondant à la réduction des quantités d'engrais pour les quatre régions d'exploitation définies.

Lors du passage d'une pratique conventionnelle à une fertilisation raisonnée pour le maïs grain en monoculture, la baisse du lessivage est proportionnellement plus importante que les pertes de rendement potentielles. L'intervalle simulé varie entre environ 3,4 % (Hardt Ochsenfeld) et 20 % (Sous Vosgienne), alors que les pertes moyennes de rendement s'échelonnent entre environ 2 % à peine (Hardt/Ochsefeld) et 5,5 % maximum (Sous Vosgienne).

Si la quantité d'engrais est réduite de 20 % supplémentaires, les calculs du modèle indiquent une diminution du lessivage comprise entre 11 % (Hardt/Ochsenfeld) et 35 % environ (Sous Vosgienne), ainsi qu'une baisse des rendements d'environ 9 % en moyenne (Bade-Wurtemberg) jusqu'à environ 13 % (Sous Vosgienne), par rapport au lessivage ou aux rendements obtenus avec des pratiques conventionnelles.

La figure 7.1.2 présente la diminution du lessivage de l'azote ainsi que les pertes de rendement pour le maïs grain dans le cas d'une fertilisation raisonnée ou réduite. Le calcul a été effectué pour un blé d'hiver faisant partie d'un assolement comprenant du maïs grain. Pour les deux cultures, on a chaque fois adopté une fertilisation raisonnée puis réduite. Côté français, les quantités d'engrais habituellement employées (pratique d'exploitation standard) correspondent à celles de la fertilisation raisonnée (Tab. 7.1.1). Cependant, des diminutions du lessivage et des rendements ont été simulées. Ceci montre l'impact de la fertilisation raisonnée appliquée à la culture précédente « maïs grain », qui a des effets sur la culture suivante « blé d'hiver ».

Pour la région d'exploitation Hardt/Ochsenfeld, la simulation d'une fertilisation raisonnée prévoit une réduction de 3 % du lessivage pour des rendements quasiment inchangés. Comme le montre le tableau 7.1.1, la quantité d'engrais est réduite de 10 kg N/ha seulement pour le maïs grain. Dans les autres régions d'exploitation, la réduction prévue du lessivage se situe en moyenne entre environ 6 % (Ried/Plaine du Rhin) et 11 % (Bade-Wurtemberg), alors que les pertes de rendement sont comprises en moyenne entre 1,5 % (Ried/Plaine du Rhin) et 13,5 % (Bade-Wurtemberg). Si la quantité d'engrais est réduite de 20 % supplémentaires, la diminution moyenne du lessivage est de l'ordre de

Nitratauswaschung um im Mittel ca. 10% (Hardt/Ochsenfeld) bis ca. 22,5% (Baden - Württemberg), allerdings werden hierbei recht hohe Ertragseinbußen von im Mittel ca. 10% (Hardt/Ochsenfeld) bis ca. 22% (Baden-Württemberg) berechnet.

Die Ertragseinbußen für Winterweizen auf deutscher Seite erscheinen sehr hoch. Ergebnisse des SchALVO-Vergleichsflächenprogramms in Baden-Württemberg der Jahre 1991 bis 2000 zeigen bei um 20% reduzierter Düngemenge gegenüber einer ordnungsgemäßen Düngung im Mittel Ertragseinbußen von 4,4% bei Körnermais und von 5,5% bei Winterweizen. Die mit STICS modellierten Ertragseinbußen zwischen den beiden Varianten ordnungsgemäße bzw. reduzierte Düngung liegen bei Körnermais im Projektgebiet im Mittel bei 6 -10% (Abb. 7.1.1) und bei Winterweizen bei 8 -10% (Abb. 7.1.2). Die Unterschiede der STICS-Ergebnisse zwischen den beiden Handlungsoptionen liegen somit über den vorliegenden Messwerten. Auffällig sind die großen berechneten Ertragseinbußen zwischen beiden Handlungsoptionen und der zugrunde gelegten Standardbewirtschaftung für Winterweizen auf deutscher Seite mit Werten von 13% (M1c) und 22% (M1b). Legt man die gemäß baden-württembergischer Beratungsempfehlung für den nachhaltig erzielbaren Weizenantrag berechnete N-Menge für die Kalkulation mit STICS zugrunde, müsste die Modellrechnung erwartungsgemäß eben diesen Ertrag ergeben und nicht einen wesentlich niedrigeren. Die Übernahme deutscher Winterweizensorten in das französische Modell STICS mit nur eingeschränkten Versuchsdaten für die Kalibrierung und die Validierung liefert also mit größeren Unsicherheiten behaftete Ergebnisse. Tendenziell werden daher die mittleren Winterweizenanträge im Vergleich zur Standardbewirtschaftung unterschätzt und damit der Stickstoffaustrag für die Handlungsoptionen M1a bzw. M1c und M1b überschätzt.

#### Auswirkungen auf den Nitrataustrag bei flächenhafter Umsetzung

Mit dem Modell STOFFBILANZ wurden die N-Austräge für die verschiedenen Handlungsoptionen zur ordnungsgemäßen und reduzierten Düngung für die vier Bewirtschaftungsregionen Baden-Württemberg, Hardt/Ochsenfeld, Plaine du Rhin/Ried und Sous Vosgienne ermittelt. Sie sind in Abb. 7.1.3 gegenüber dem Referenzzustand 2000 dargestellt. Insgesamt errechnen sich Rückgänge der N-Austräge zwischen 2 und 7 kg N/ha.

10 % (Hardt/Ochsenfeld) à 22,5 % (Bade-Wurtemberg) ; dans ce cas, les pertes de rendement calculées sont toutefois conséquentes, en moyenne d'environ 10 % (Hardt/Ochsenfeld) à 22 % (Bade-Wurtemberg).

Les pertes de rendement pour le blé d'hiver semblent très élevées côté allemand. Les résultats du programme « parcelles de comparaison » de SchALVO dans le Bade-Wurtemberg entre 1991 et 2000 indiquent des pertes moyennes de rendement de 4,4 % pour le maïs grain et de 5,5 % pour le blé d'hiver dans le cas d'une réduction supplémentaire de 20 % des quantités d'engrais par rapport à une fertilisation raisonnée. Les pertes de rendement modélisées à l'aide de STICS pour les deux variantes « fertilisation raisonnée » et « fertilisation réduite » s'élèvent en moyenne à 6-10 % pour le maïs grain dans la zone du projet (Fig. 7.1.1) et à 8-10 % pour le blé d'hiver (Fig. 7.1.2). Les différences des résultats de STICS entre les deux options d'action se situent ainsi au-delà des valeurs mesurées disponibles. Les fortes pertes de rendement calculées pour les deux options d'action pour le blé d'hiver côté allemand avec des valeurs de 13 % (M1c) et 22 % (M1b) sont particulièrement frappantes. Lorsqu'on fournit à STICS la quantité d'azote conseillée par les services de conseil du Bade-Wurtemberg relative aux objectifs de rendements du blé d'hiver visés, on s'attend à des rendements simulés conformes et non pas à des rendements nettement plus faibles. L'intégration de variétés allemandes de blé d'hiver dans le modèle français STICS, en disposant de données expérimentales limitées pour la calibration et la validation, fournit donc des résultats entachés d'une forte incertitude. Par conséquent, les rendements moyens du blé d'hiver sont systématiquement sous-estimés par rapport aux pratiques d'exploitation standard et le lessivage de l'azote pour les options d'action M1a / M1c et M1b est ainsi surestimé.

#### Spatialisation de l'impact sur le lessivage des nitrates

A l'aide du modèle STOFFBILANZ, le lessivage de l'azote a été calculé pour les différentes options d'action relatives aux fertilisations raisonnée et réduite pour les quatre régions d'exploitation Bade-Wurtemberg, Hardt/Ochsenfeld, Plaine du Rhin/Ried et Sous Vosgienne. Les résultats sont comparés à l'état de référence de l'année 2000 dans la figure 7.1.3. Au total, la diminution du lessivage est de l'ordre de 2 à 7 kg N/ha.

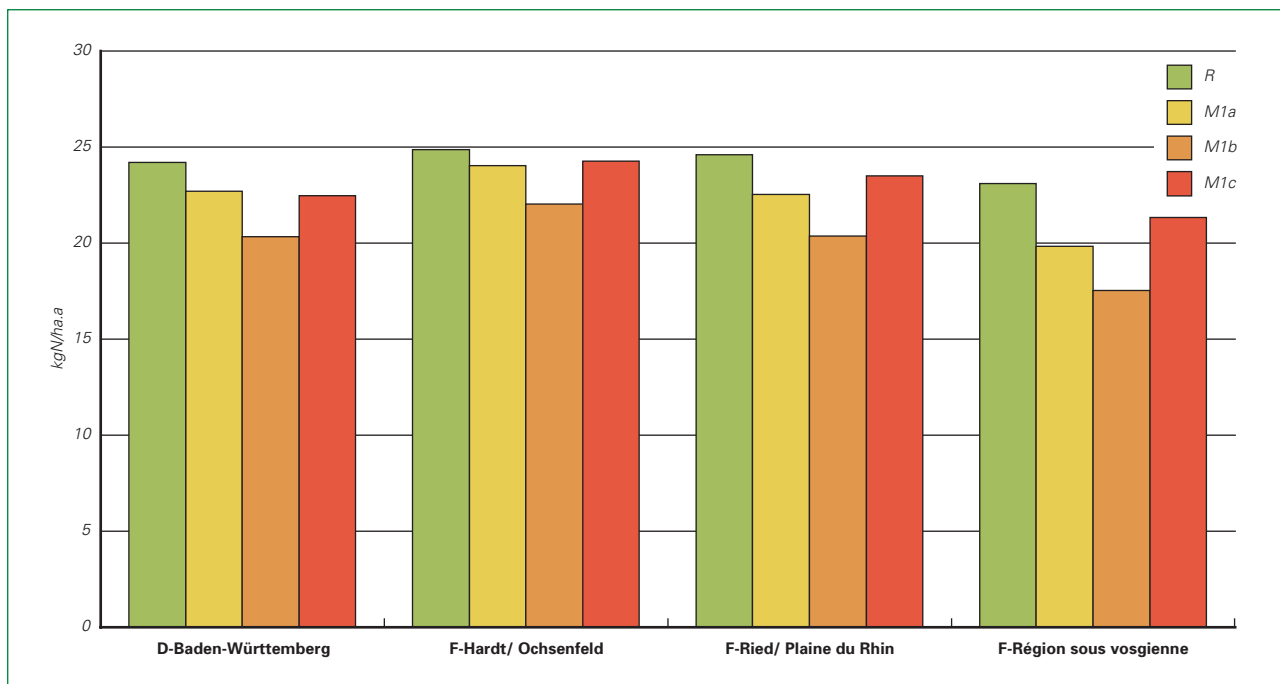


Abbildung 7.1.3 : Stickstoffaustrag unterschieden nach Bewirtschaftungseinheiten für die Handlungsoptionen a) ordnungsgemäße Düngung Körnermais M1a, b) reduzierte Düngung Körnermais M1b und c) ordnungsgemäße Düngung Körnermais und Winterweizen M1c sowie den Referenzzustand 2000 R.

Figure 7.1.3 : Lessivage de l'azote pour les différentes unités d'exploitations pour les options d'action a) fertilisation raisonnée du maïs grain M1a, (b) fertilisation réduite du maïs grain M1b, (c) fertilisation raisonnée du maïs grain et du blé d'hiver M1c ainsi que la référence 2000 R

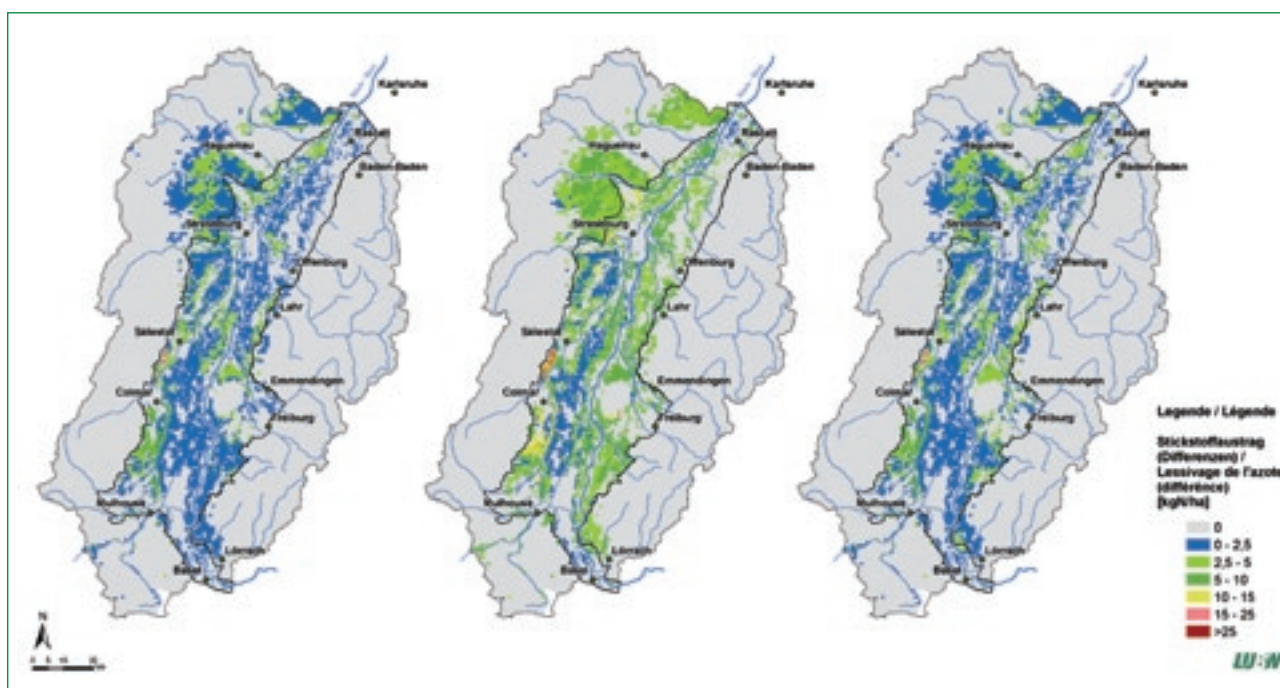


Abbildung 7.1.4 : Differenzkarten für den Stickstoffeintrag. Dargestellt sind die Handlungsoptionen (a) ordnungsgemäße Düngung von Körnermais, (b) reduzierte Düngung von Körnermais und (c) ordnungsgemäße Düngung von Körnermais und Winterweizen

Figure 7.1.4 : Carte de différences pour l'entrée d'azote : les options d'action (a) fertilisation raisonnée du maïs grain, (b) fertilisation réduite du maïs grain et (c) fertilisation raisonnée du maïs grain et du blé d'hiver

Die Differenzkarten (Abb. 7.1.4) stellen die Reduzierung des Stickstoffeintrags bei flächenhafter Umsetzung der Handlungsoptionen räumlich differenziert dar. Auf deutscher und Schweizer Seite lässt sich die räumlich

Les cartes de différences (Fig. 7.1.4) illustrent la distribution spatiale de la réduction des entrées d'azote après application spatiale des options d'action. Des cotés allemand et suisse, il est possible d'attribuer les différences



unterschiedliche Wirkung der Maßnahme auf unterschiedliche Standortbedingungen (Boden-Niederschlags-Zone) oder auf die Kulturartenverteilung zurückzuführen, während auf französischer Seite zusätzlich die Differenzierung in die drei Bewirtschaftungsregionen zu einer räumlichen Variabilität führen kann.

(a) Die Reduzierung der Düngemenge für Körnermais auf die ordnungsgemäße Düngemenge zeigt auf deutscher Seite nördlich und südlich des Kaiserstuhls, in der Staufener Bucht sowie westlich und nordwestlich von Offenburg die stärkste Wirkung (vgl. Abb. 7.1.4.a). Ein deutlicher Zusammenhang mit dem Flächenanteil Körnermais pro Gemeinde ist offensichtlich (Abb. 7.1.5).

Auch auf französischer Seite zeigt die Handlungsoption unterschiedliche Wirkung. In Teilen des Kochersberg, dem Outre Foret und der Vorbergzone der Vogesen ist der Effekt bei ordnungsgemäßer Düngung am deutlichsten, da in diesen Regionen die praxisübliche Düngemenge von der ordnungsgemäßen deutlich abweicht

d'impact spatial des mesures à des différences de conditions stationnelles (zones sol-précipitations) ou à des assolements, alors que côté français, la différenciation des pratiques agricoles dans les trois régions d'exploitation peut de plus causer une variabilité spatiale.

(a) côté allemand, les effets de la réduction des quantités de fertilisants par rapport à la fertilisation raisonnée pour le maïs grain se font sentir le plus fortement au nord et au sud du Kaiserstuhl, dans le Staufener Bucht ainsi qu'à l'ouest et au nord-ouest d'Offenbourg (cf. Fig. 7.1.4.a). Le lien avec la proportion des surfaces en maïs grain par commune est évident (Fig. 7.1.5).

L'option d'action présente également des différences d'efficacité côté français. Pour la fertilisation raisonnée, l'effet est le plus net dans certaines parties du Kochersberg, dans l'Outre-Forêt et sur le Piémont des Vosges, car les pratiques courantes de fertilisation dans ces régions diffèrent nettement de celles de la fertilisation raisonnée.

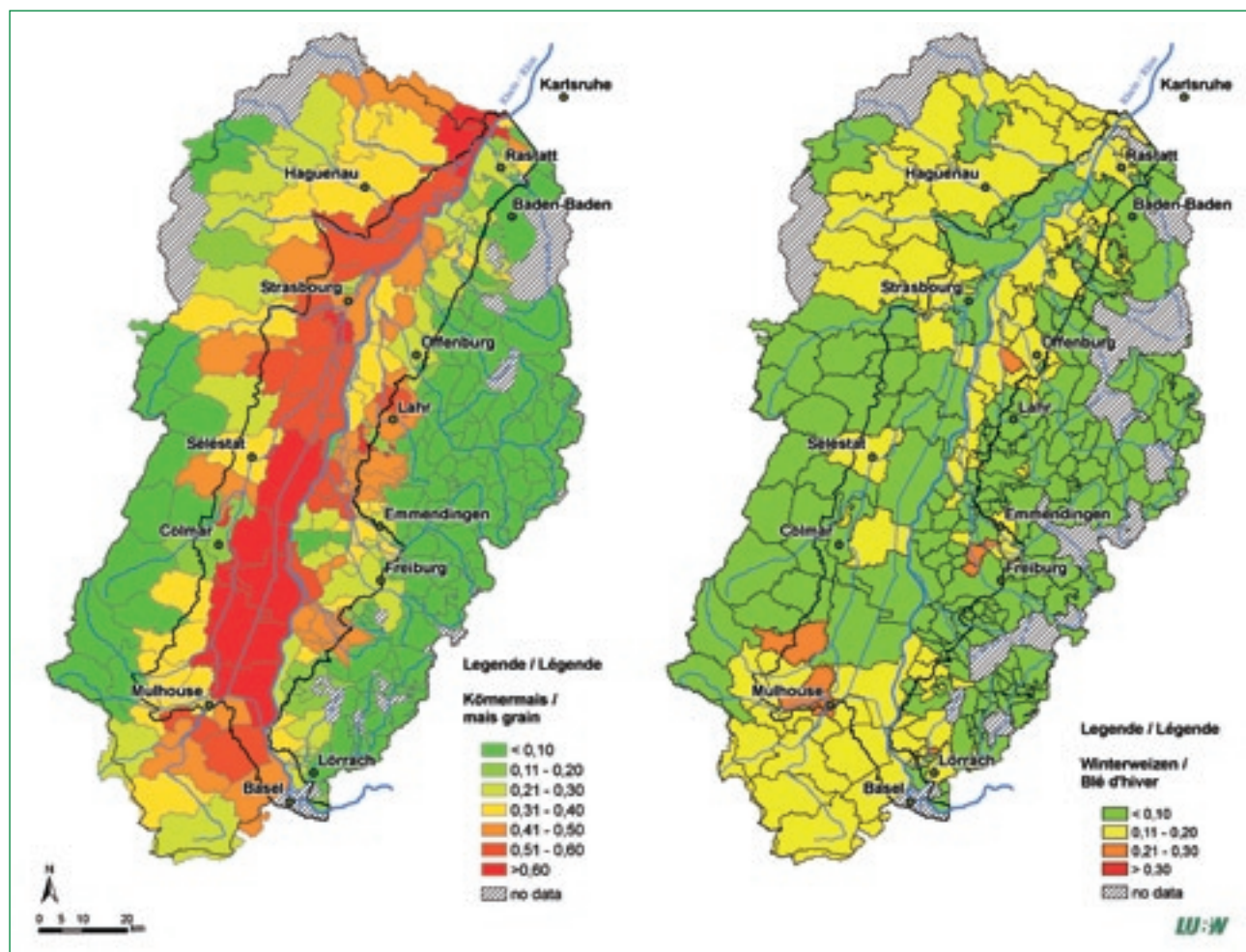


Abbildung 7.1.5: Landnutzung 1999: Flächenanteil für a) Körnermais und b) Winterweizen pro Gemeinde/Canton.  
 Figure 7.1.5: Occupation du sol 1999: surface relative a) du maïs grain et b) du blé d'hiver par commune/cantons.

(b) Die Reduzierung der Düngemenge für Körnermais um zusätzliche 20% gegenüber der ordnungsgemäßen Düngung ist in Abb. 7.1.4.b dargestellt. Auf deutscher Seite ist eine flächendeckende Reduzierung des Nitrataustrags erkennbar. Regionen die bereits bei Reduzierung auf ordnungsgemäße Düngung eine erkennbare Wirkung zeigten, zeigen nun einen entsprechend verstärkten Effekt. Auf französischer Seite zeigt sich das gleiche räumliche Muster wie bei der ordnungsgemäßen Düngung mit ebenfalls entsprechend stärkerer Wirkung.

(c) Die Handlungsoption **ordnungsgemäße Düngung für Körnermais und Winterweizen** ist in Abb. 7.1.4.c dargestellt. Neben dem Körnermais (siehe Abb. 7.1.4.a) enthält die Abbildung nun auch den Effekt der Reduzierung des Stickstoffaustrags für Winterweizen. Insgesamt sind von der Handlungsoption ordnungsgemäße Düngung von Körnermais und Winterweizen 72% der Ackerfläche betroffen. Auf deutscher Seite führt die Handlungsoption ordnungsgemäße Düngung bei Winterweizen dazu, dass in weiteren Regionen z.B. nordwestlich von Offenburg, nördlich und nordwestlich von Freiburg und im Bereich Müllheim/Neuenburg eine Verringerung des Austrags in der Klasse zwischen 2,5 und 5 kg N/ha auftritt. Auf französischer Seite ist erwartungsgemäß kein Effekt erkennbar, da die angegebene praxisübliche Düngemenge für Winterweizen bereits der ordnungsgemäßen Düngung entspricht.

#### Auswirkungen auf die Nitratkonzentration im Grundwasser

Abbildung 7.1.6 zeigt für das Jahr 2050 die Unterschiede in den Nitratkonzentrationen, die sich zwischen den untersuchten Varianten und dem Referenzlauf ergeben. Variante M1a „*ordnungsgemäße Düngung von Körnermais*“, führt zu einer Verringerung der Nitratkonzentration von bis zu 10 mg/l nördlich und südlich des Kaiserstuhls, im Bereich Bad Krozingen und westlich von Lahr sowie auf französischer Seite insbesondere am äußeren Rand des Grundwasserleiters.

Variante M1c „*ordnungsgemäße Düngung von Körnermais und Winterweizen*“ zeigt lediglich auf deutscher Seite gegenüber Variante M1a einen zusätzlichen Verbesserungseffekt im Grundwasser. Im Bereich Markgräfler Land und westlich von Offenburg werden verringerte Nitratkonzentrationen prognostiziert.

(b) la réduction supplémentaire de 20 % de la fertilisation par rapport à la fertilisation raisonnée est présentée dans la figure 7.1.4.b. Côté allemand, une réduction du lessivage est identifiable sur l'ensemble du territoire. Les régions dans lesquelles un impact reconnaissable avait déjà lieu avec la fertilisation raisonnée présentent maintenant un renforcement proportionnel de cet effet. Côté français, on retrouve la même distribution spatiale que dans le cas de la fertilisation raisonnée, avec également un renforcement de son effet.

(c) l'option d'action « **fertilisation raisonnée du maïs grain et du blé d'hiver** » est présentée dans la figure 7.1.4.c. En plus du maïs grain (voir Fig. 7.1.4.a), la figure comprend également la réduction du lessivage pour le blé d'hiver. Au total, 72 % des surfaces arables sont concernées par l'option d'action « fertilisation raisonnée du maïs grain et du blé d'hiver ». Côté allemand, l'option d'action « fertilisation raisonnée du blé d'hiver » génère une réduction du lessivage dans la classe 2,5-5 kg N/ha dans davantage de régions, par exemple le nord-ouest d'Offenburg, le nord et le nord-ouest de Fribourg et la région de Müllheim/Neuenburg. Côté français, aucun effet n'est reconnaissable, conformément aux attentes, car les pratiques habituelles pour le blé d'hiver sont déjà conformes à la fertilisation raisonnée.

#### Impact sur la concentration des nitrates dans les eaux souterraines

La figure 7.1.6. présente pour l'année 2050 les différences de concentrations en nitrates entre les variantes étudiées et la simulation de référence. La variante M1a « *fertilisation raisonnée du maïs grain* » génère une réduction des concentrations en nitrates atteignant 10 mg/l au nord et au sud du Kaiserstuhl, dans la région de Bad Krozingen et à l'ouest de Lahr. Côté français, les réductions sont particulièrement importantes dans les zones situées en bordure de l'aquifère.

La variante M1c « *fertilisation raisonnée du maïs grain et du blé d'hiver* » ne fournit une amélioration supplémentaire des eaux souterraines par rapport à la variante M1a que du côté allemand. Des concentrations en nitrates plus faibles sont simulées pour la région du Markgräfler Land et pour l'ouest d'Offenburg.

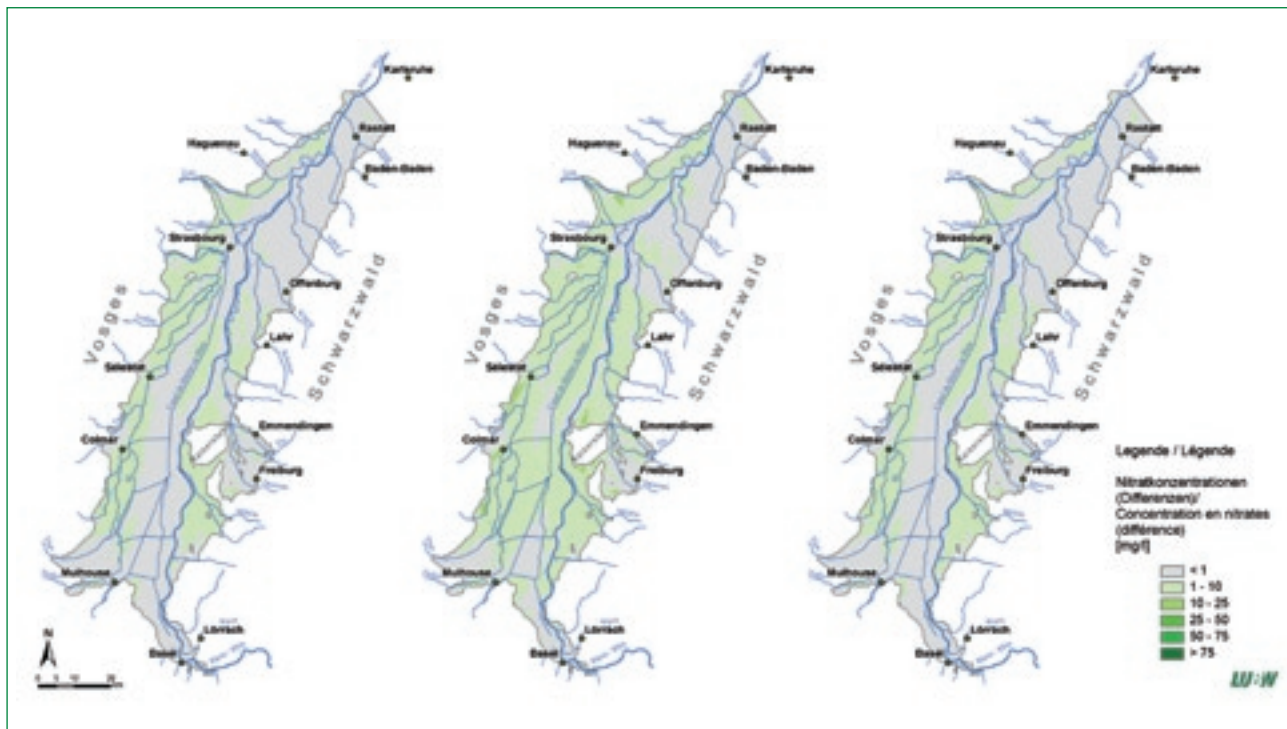


Abbildung 7.1.6. Differenzkarten der Nitratkonzentration für die Handlungsoptionen (a) ordnungsgemäße Düngung Körnermais (M1a), (b) reduzierte Düngung Körnermais (M1b) und (c) ordnungsgemäße Düngung Körnermais und Winterweizen (M1c).

Figure 7.1.6 : Carte de la différence des concentrations en nitrates pour les options d'action (a) fertilisation raisonnée du maïs grain (M1a), (b) fertilisation réduite du maïs grain (M1b) et (c) fertilisation raisonnée du maïs grain et du blé d'hiver (M1c).

Die Variante M1b „reduzierte Düngung bei Körnermais“ führt hingegen zu einer deutlicheren Veränderung der Grundwasserqualität. Für weite Teile des Projektgebietes ergeben sich Verringerungen der Nitratkonzentrationen von bis zu 10 mg/l, stellenweise auch mehr.

La variante M1b « fertilisation réduite du maïs grain » entraîne au contraire une modification très nette de la qualité des eaux souterraines. La baisse des concentrations en nitrates atteint 10 % dans des larges parties de la zone du projet, et même davantage par endroits.

#### Vergleich der Auswirkung der verschiedenen Handlungsoptionen im Zeitverlauf

Abbildung 7.1.7 zeigt die mittlere Nitratkonzentration und die Überschreitungsfläche 50mg/l. Im Prognoselauf bis 2050 sind die *ordnungsgemäße Düngung Körnermais (M1a)* und *ordnungsgemäße Düngung Körnermais und Winterweizen (M1c)* praktisch deckungsgleich. Die statistische Auswertung zeigt, dass letztere erwartungsgemäß mit 6,5% gegenüber 6,1% zu einer geringfügig stärkeren Reduzierung des N-Eintrags führt (vgl. Tab. 7.1.2). Auch *Nitratmittelwert* und die *Überschreitungsfläche 50mg/l* geht etwas stärker zurück als bei der Handlungsoption M1a. Die Handlungsoption reduzierte *Düngung Körnermais (M1b)* zeigt dagegen eine deutlich stärkere Reduzierung des Eintragsfracht, der mittleren Nitratkonzentration und der Überschreitungsfläche.

#### Comparaison de l'impact des différentes options d'action dans le temps

La concentration moyenne en nitrates et les surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l sont présentées dans la figure 7.1.7. Pour la modélisation jusqu'à 2050, la *fertilisation raisonnée du maïs grain (M1a)* et la *fertilisation raisonnée du maïs grain et du blé d'hiver (M1c)* coïncident pratiquement. L'analyse statistique montre que, conformément aux attentes, cette dernière génère une baisse des entrées de nitrates à peine plus importante (6,5 % par rapport à 6,1 %) (cf. Tab. 7.1.2). La diminution de la *teneur moyenne en nitrates* et des *surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l* est légèrement plus élevée qu'avec l'option d'action M1a. Au contraire, l'option d'action *fertilisation réduite du maïs grain (M1b)* montre une réduction nettement plus importante des entrées de nitrates, des concentrations moyennes et des surfaces de dépassement de limite.

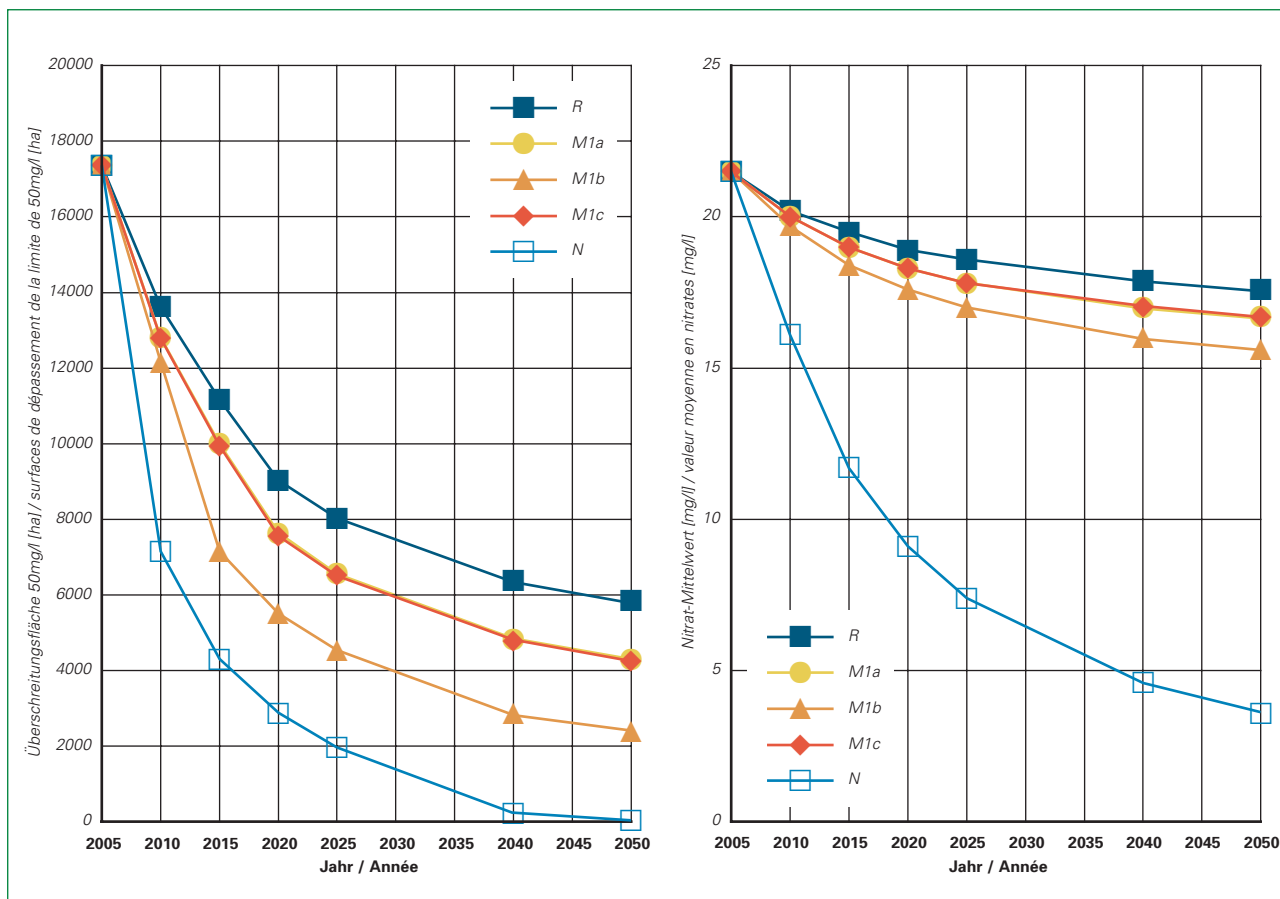


Abbildung. 7.1.7: (a) Überschreitungsflächen 50mg/l und (b) Nitratmittelwert für das Projektgebiet

Figure 7.1.7 : (a) Surfaces de dépassement de la limite de 50mg/l et (b) valeur moyenne en nitrates dans la zone d'étude

Tabelle 7.1.2 Reduktion des Stickstoffeintrags sowie Wirksamkeit und Wirkungsbeschleunigung für die beiden Indikatoren Nitratmittelwerte und Überschreitungsfläche 50mg/l.

Tableau 7.1.2 : Réduction des entrées d'azote, efficacité et accélération de l'effet pour les deux indicateurs « teneur moyenne en nitrates » et « surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l ».

Handlungsoption / Option d'action			M1a	M1b	M1c
<b>Rückgang N-Eintrag / Réduction des entrées d'azote</b>		[%]	6,1	13,5	6,5
<b>Mittelwert / valeur moyenne</b>	Wirksamkeit / Efficacité	[%]	5,3	11,5	5,6
	Wirkungsbeschleunigung / Rapidité d'actions	[a]	22	30	22
<b>ÜF 50mg/l / SDL 50mg/l</b>	Wirksamkeit / Efficacité	[%]	26,7	59,1	27,2
	Wirkungsbeschleunigung / Rapidité d'actions	[a]	21	28	19

## 7.2 ZWISCHENFRUCHTANBAU

### Einordnung der Handlungsoption vor landwirtschaftlichem Hintergrund

Die EU-Nitratrichtlinie und Umweltstandards in der GAP verpflichten zu einer Mindestbedeckung und/oder einem Management der Erntereste.

Beiderseits des Rheins wird der Anbau von Zwischenfrüchten mit unterschiedlichen Programmen gefördert.

Auf französischer Seite zählt seit dem Jahr 2000 die Agence de l'eau Rhin-Meuse einen Zuschuss für den Zwischenfruchtanbau.

## 7.2 CULTURES INTERMÉDIAIRES

### L'action « cultures intermédiaires » dans le contexte agricole actuel

En parallèle, la Directive Nitrates et l'écoconditionnalité de la PAC exigent une couverture hivernale minimale par des cultures et/ou des résidus des cultures correctement enfouis.

Des deux côtés du Rhin, le semis des cultures intermédiaires est encouragé par des actions diverses.

Côté français, depuis 2000 l'Agence de l'eau Rhin-Meuse incite au semis de CIPAN grâce à un système de subventions.

Auch im Programm Ferti-Mieux ist die Beratung hinsichtlich Zwischenfruchtanbaus ein Teilziel beim N-Management.

Heute gibt es ca. 9.000 ha mit Zwischenfruchtanbau im Elsass. Dies ist allerdings relativ wenig im Vergleich zur potentiell möglichen Fläche. So beträgt die Fläche mit Winterweizen zurzeit ca. 40.000 ha.

Zwischenfrüchte sind nach Körnermais nicht möglich, was die Ausweitung dieser Handlungsoption stark limitiert.

Allerdings gibt es auch Zuschüsse der Agence de l'eau Rhin-Meuse für Untersaaten als Alternative zum Zwischenfruchtanbau. Bisher ist die Anwendung dieser Technik aber noch nicht sehr weit fortgeschritten. Im Jahr 2005 sind hiervon 2.300 ha betroffen, was 2% der Anbaufläche von Körnermais entspricht.

In Baden-Württemberg gilt in einem Teil der Wasserschutzgebiete (Problem- und Sanierungsgebiete) ein Begrünungsgebot wenn im Herbst keine Folgekultur angebaut bzw. die Fläche im Folgejahr stillgelegt wird. Auch in den Saatmais, der im südlichen Oberrheingraben auch in Wasserschutzgebieten produziert wird, werden nach Entfernen der Vaterreihen Zwischenfrüchte eingesät. Außerhalb von Wasserschutzgebieten wird der Zwischenfruchtanbau über das Marktentlastungs- und Kulturausgleichsprogramm (MEKA) gefördert.

### Umsetzung mit den Modellen

Zur Abschätzung der Auswirkung des Zwischenfruchtanbaus auf den Stickstoffaustrag wurde auf eine Simulationstudie des Agrotransfert Agronomie Poitou-Charentes<sup>11</sup> mit dem Modell STICS zurückgegriffen. In dieser Untersuchung wurde für den Zeitraum 1967 bis 2002 für unterschiedliche Boden-Klima-Kombinationen in der Region Poitou-Charentes (Frankreich) der Einfluss der Zwischenfrucht Senf auf den Nitrataustrag in Abhängigkeit vom Auflaufzeitpunkt und Einarbeitungstermin der Zwischenfrucht ermittelt. Die Reduktion des Stickstoffaustrags durch die Zwischenfrucht Senf beträgt je nach Boden- und Klimaeigenschaften sowie Einarbeitungstermin 56% bis 84% (Boutant,

Les opérations Ferti-Mieux, elles aussi, conseillent l'implantation de CIPAN pour réduire les risques de perte de nitrates en hiver.

Actuellement, la surface semée en CIPAN en Alsace est estimée à environ 9000 ha, ce qui reste très modeste par rapport à la surface potentiellement concernée (par exemple, la surface en blé d'hiver est d'environ 40000 ha).

Le semis des CIPAN n'est pas possible après la récolte de maïs grain, ce qui limite fortement le potentiel de l'action. Le semis de culture intermédiaire sous couvert de maïs, action aussi subventionnée par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, pourrait constituer une alternative pour le maïs grain. L'application de cette technique désormais bien connue est encore peu développée : 2300 ha en 2005 en Alsace, soit 2% de la surface en maïs grain.

Dans le Bade-Wurtemberg, les cultures intermédiaires sont obligatoires dans une partie des périmètres de protection des captages d'eau potable (zones à problèmes et zones d'assainissement) lorsque aucune culture suivante n'est mise en place en automne ou lorsque la surface est gelée l'année suivante. Dans le sud de la vallée du Rhin Supérieur, où le maïs de semence est également cultivé dans les périmètres de protection des captages d'eau potable, des cultures intermédiaires sont semées après la récolte. En dehors des périmètres de protection des captages d'eau potable, les cultures intermédiaires sont encouragées par le programme MEKA (Marktentlastungs- und Kulturausgleichsprogramm).

### Mise en œuvre à l'aide des modèles

Pour l'évaluation de l'effet des cultures intermédiaires sur le lessivage de l'azote, on a eu recours à une étude de simulation de la structure Agrotransfert Agronomie Poitou-Charentes<sup>11</sup>. Dans le cadre de cette étude, l'influence de la culture intermédiaire moutarde sur le lessivage des nitrates a été calculée à l'aide du modèle STICS pour différentes combinaisons sol-climat dans la région Poitou-Charentes (France) sur la période 1967-2002, en fonction des dates de levée et d'enfouissement de la culture intermédiaire. La réduction du lessivage de l'azote par la culture intermédiaire moutarde est comprise entre 56 % et 84 % selon les caractéristiques pédo-climatologiques et les dates d'enfouissement

<sup>11</sup> Agrotransfert Agronomie est une structure d'interface recherche-développement informelle regroupant l'ensemble des acteurs régionaux intervenant dans la recherche et le développement en agronomie autour de programmes de « recherche-action » co-construits et co-pilotés.

2003). Aufgrund ähnlicher Aussaat- und Einarbeitungs- termine im französischen und deutschen Projektgebiet, wurde für die Abschätzung der flächenhaften Wirkung des Zwischenfruchtanbaus im Modell STOFFBILANZ eine Reduzierung des kulturspezifischen Stickstoffaustrags der Vorfrucht von 70% angenommen. Die zu berücksichtigenden Kulturarten sind mit ihrem jeweiligen Anteil an der gesamten Ackerfläche in Tabelle 7.2.1 dargestellt. Winterweizen stellt mit einem Anteil von 15% bzw. 18% an der Ackerfläche auf der deutschen bzw. der französischen Seite des Projektgebiets die entscheidende Kulturart hinsichtlich des Zwischenfruchtanbaus dar. Allerdings ist auf deutscher Seite z.B. auch Sommergetreide mit einem Anbauumfang von 7,1% als Vorkultur für Zwischenfrüchte relevant. Für die deutsche Seite wurde eine Abschätzung des maximal möglichen Begrünungsumfangs für die jeweiligen Kulturen unter Berücksichtigung der Fruchtfolge und Kulturarten- verteilung angenommen. Die Ergebnisse der Modellrechnung schätzen somit den maximalen Effekt ab, der durch den Anbau von Zwischenfrüchten bei aktueller Kulturarten- verteilung erreicht werden kann. Für die französische Seite wird näherungsweise die Wirkung der Handlungsoption für 100% der Winterweizenfläche abgeschätzt. Der mögliche Zwischenfruchtanbau bei den anderen Kulturen wird in diesem Anbauumfang miterfasst.

(Boutant, 2003). Sur la base de dates de semis et d'enfouissement similaires dans la zone du projet franco-allemande, on a admis une réduction de 70 % du lessivage. Cette réduction est attribuée à la culture qui précède la culture intermédiaire pour l'évaluation de l'effet spatialisé des CIPAN par le modèle STOFFBILANZ. Les cultures pouvant être suivies par une CIPAN sont présentées dans le tableau 7.2.1 avec leurs parts respectives dans la SAU. Dans ce contexte, le blé d'hiver constitue la culture la plus importante dans la zone du projet, avec une part dans la SAU de 15 % côté allemand et de 18 % côté français. Côté allemand toutefois, les céréales d'été sont également importantes en tant que culture précédente pour les cultures intermédiaires, avec une occupation de 7,1 % de la SAU. Pour le côté allemand, on a adopté une estimation de la surface maximale possible pouvant être couverte par des CIPAN pour chaque culture potentiellement concernée, en fonction des rotations et des assolements. Les résultats des simulations estiment donc l'effet maximal pouvant être atteint dans l'assolement actuel grâce à une culture intermédiaire. Côté français, l'effet de l'option d'action est approximativement évalué à 100 % des surfaces de blé d'hiver. La possibilité de mise en place d'une culture intermédiaire pour les autres cultures est comprise dans cette estimation.

### L'impact sur le lessivage des nitrates à l'échelle régionale

Tabelle 7.2.1: Flächenanteile der Kulturen mit möglichem Zwischenfruchtanbau an der gesamten Ackerfläche auf deutscher und französischer Seite sowie im gesamten Projektgebiet

Tableau 7.2.1 : Surface relative des cultures pour lesquelles des cultures intermédiaires sont possibles, par rapport à la surface totale des terres arables des côtés allemand et français ainsi que dans la totalité de la zone du projet

Projektteil-gebiet/ Sous-partie de la zone d'étude	Winterweizen / Blé d'hiver	Winterroggen/ Seigle d'hiver	Wintergerste/ Orge d'hiver	Sommergetreide/ Céréales d'été	Kartoffeln/ Pomme de terre	Spargel/ Asperges	Erdbeeren/ Fraises	
	Flächenanteil an der Ackerfläche, in % / Surface relative par rapport à la surface totale des terres arables, en %							
<b>Deutschland / Allemagne</b>	14,9	1,5	3,4	7,1	1,7	0,8	0,8	
<b>Frankreich / France</b>	17,9	0,2	3,5	0,8	0,6	-	-	
<b>Projektgebiet insgesamt / Totalité de la zone d'étude</b>	17,2	0,5	3,5	2,3	0,8	0,2	0,2	
	Maximal begrünbarer Flächenumfang % / Surface maximale potentielle pour les cultures intermédiaires, %							
<b>Deutschland / Allemagne</b>	60	50	60	70	20	80	40	
<b>Frankreich / France</b>	100	-	-	-	-	-	-	

### Auswirkungen auf den Nitrataustrag bei flächenhafter Umsetzung

Die N-Austräge zum Zwischenfruchtanbau wurden für die vier Bewirtschaftungsregionen Baden-Württemberg,

Le lessivage de l'azote en cas de culture intermédiaire a été estimé pour les quatre régions d'exploitation Bade- Wurtemberg, Hardt/Ochsenfeld, Plaine du Rhin/Ried et

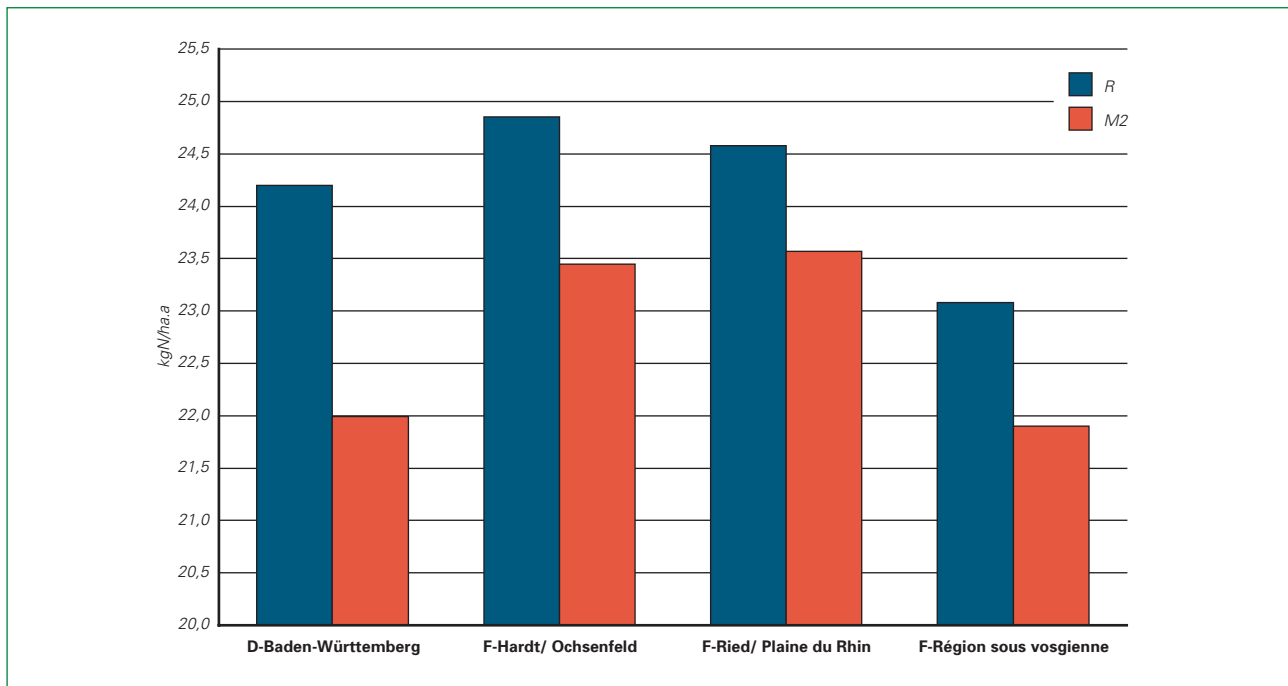


Abbildung 7.2.1: Stickstoffaustrag für die vier unterschiedenen Bewirtschaftungseinheiten  
 Figure 7.2.1 : Lessivage de l'azote pour les quatre unités d'exploitations

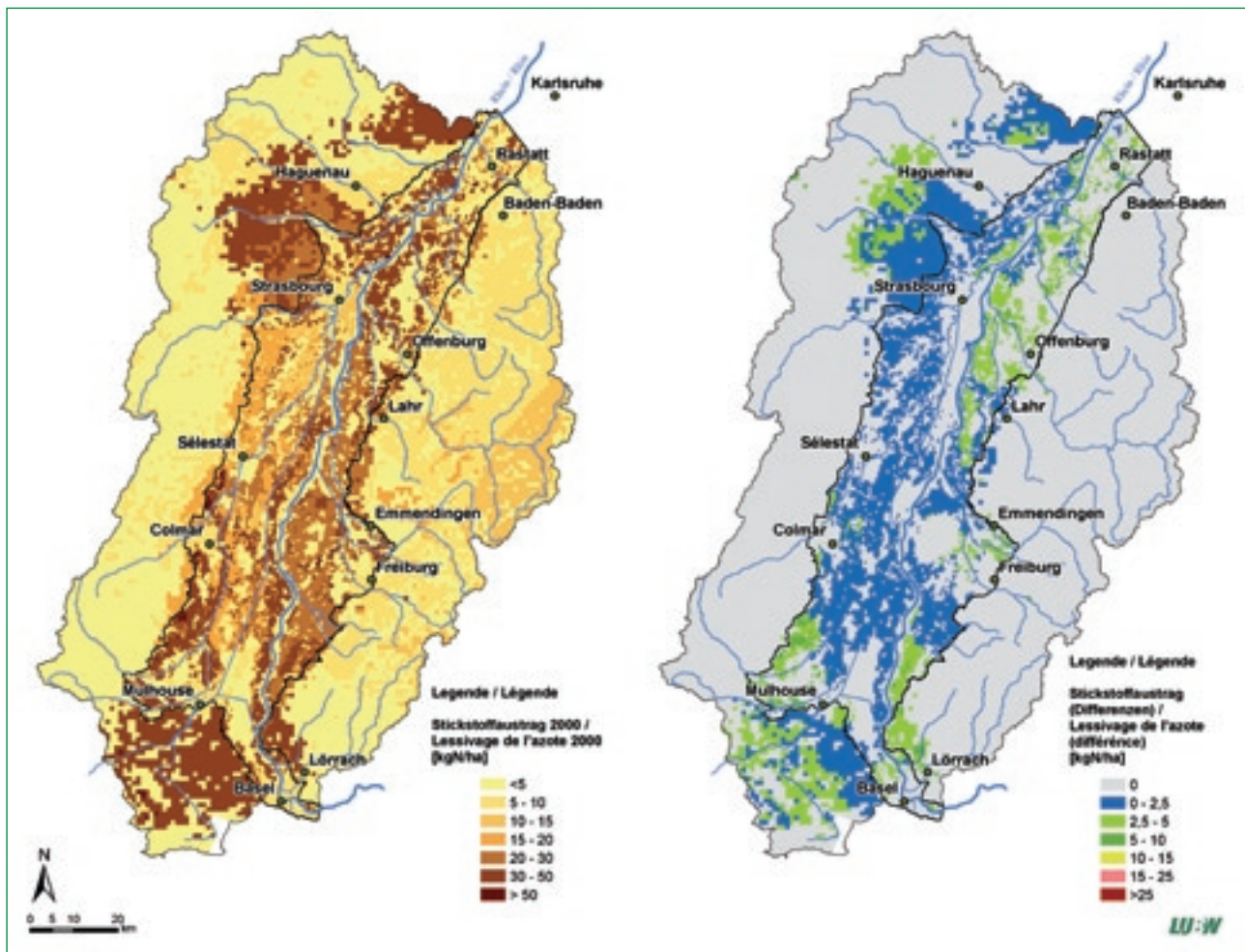


Abbildung 7.2.2 . Ergebnisse des Modells STOFFBILANZ (kg N/ha): a) Stickstoffaustrag aus der Bodenzone für den Referenzzustand (Jahr 2000), b) Abschätzung für den Rückgang des Stickstoffaustrags hinsichtlich der Handlungsoption „Zwischenfruchtanbau“  
 Figure. 7.2.2: Résultats du modèle STOFFBILANZ (kg N/ha) : a) Lessivage de l'azote pour l'état de référence (année 2000), b) Estimation de la baisse du lessivage pour l'option d'action « semis de cultures intermédiaires »

Hardt/Ochsenfeld, Plaine du Rhin/Ried und Sous Vosgienne abgeschätzt. Sie sind in Abbildung 7.2.1 gegenüber dem Referenzzustand 2000 dargestellt. Der Anbau von Zwischenfrüchten gilt zwar als eine sehr effektive Maßnahme zur Reduzierung der N-Auswaschung, da aber die für einen Zwischenfruchtanbau geeigneten Kulturen bzw. Fruchtfolgen im Oberrheingebiet nur einen relativ kleinen Flächenanteil umfassen, ist der Effekt für die Verringerung des Nitrataustrags für das Gesamtgebiet selbst bei maximalem Begrünungsumfang begrenzt. Auf deutscher Seite ist die Verringerung des N-Austrags etwas stärker als auf französischer Seite.

Die Differenzkarte (Abb. 7.2.2.b) stellt die Reduzierung des Nitrataustrags durch Zwischenfruchtanbau im Vergleich zum Referenzzustand 2000 räumlich differenziert dar. Auf französischer Seite zeichnen sich vor allem in den Regionen Sundgau, Kochersberg, Pays de Saverne in Zusammenhang mit dem relativ hohen Anteil an Winterungen Effekte ab. Wenig Wirkung ist im zentralen Teil und auf der Hardt zu erwarten, da dort der Winterweizenanteil gering ist. Auf deutscher Seite zeichnen sich die stärksten Verringerungen des N-Austrags insbesondere nördlich von Lahr und im Markgräfler Land ab.

#### **Auswirkung auf die Grundwasserqualität :**

Die mit STOFFBILANZ ermittelten Stickstoffausträge aus der Bodenzone ergeben als konstante Eintragsverteilung bis zum Jahr 2050 in das Grundwassermodell die in Abb. 7.2.3.a) dargestellten Nitratkonzentrationen für die oberste Schicht (0-10 m) des Grundwasserleiters. Im Vergleich mit der prognostizierten Nitratkonzentration bei Beibehaltung des aktuellen N-Eintrags berechnet das Modell für die Handlungsoption Zwischenfruchtanbau eine Verringerung der Nitratkonzentration (Abb. 7.2.3.b) zwischen 1 und 10 mg/l im Markgräfler Land, der Freiburger Bucht, westlich von Lahr bzw. Offenburg und insbesondere auch nördlich und südlich des Kaiserstuhls.

Auf französischer Seite zeichnet sich eine Verringerung der Nitratkonzentration im südlichen Randbereich des Grundwasserleiters ab. Auch hier wird deutlich, dass die Änderungen des N-Eintrags in das Grundwasser zu einer Verringerung der Nitratkonzentrationen in Fließrichtung des Grundwassers führen.

Sous Vosgienne. Les résultats sont présentés dans la figure 7.2.1 par rapport à l'état de référence 2000. La mise en place de cultures intermédiaires constitue bien une mesure de réduction du lessivage de l'azote très efficace, mais les cultures ou rotations adaptées à l'intégration de cultures intermédiaires occupant une surface relativement faible dans la région du Rhin Supérieur, l'effet sur la baisse du lessivage dans l'ensemble de la région est limité, même si les surfaces occupées par des cultures intermédiaires sont maximales. La réduction du lessivage est légèrement plus importante côté allemand que côté français.

Les cartes de différences (Fig. 7.2.2.b) présentent la réduction spatialisée du lessivage des nitrates due aux cultures intermédiaires par rapport à l'état de référence 2000. Côté français, on note avant tout des effets dans le Sundgau, le Kochersberg, le Pays de Saverne, en liaison avec la part relativement élevée de cultures d'hiver. Il y a peu d'effets à attendre dans la partie centrale et dans la Hardt, où la part du blé d'hiver est limitée. Côté allemand, les réductions du lessivage les plus fortes sont surtout observées au nord de Lahr et dans le Markgräfler Land.

#### **Impact sur la qualité des eaux souterraines :**

Les valeurs de lessivage calculées à l'aide de STOFFBILANZ sont fournies au modèle des eaux souterraines en tant que distribution constante des entrées jusqu'à l'année 2050. Les concentrations en nitrates simulées pour la couche supérieure (0-10 m) de l'aquifère sont représentées dans la figure 7.2.3.a. Par rapport aux concentrations de nitrates simulées dans le cas d'un maintien des entrées d'azote actuelles, le modèle calcule pour l'option d'action « cultures intermédiaires » une réduction de la concentration en nitrates (Fig. 7.2.3.b) comprise entre 1 et 10 mg/l dans le Markgräfler Land, le Freiburger Bucht, l'ouest de Lahr ou Offenburg, et aussi en particulier au nord et au sud du Kaiserstuhl.

Côté français, une réduction de la concentration en nitrates se dessine à la limite sud de l'aquifère. On observe ici également que la modification des entrées d'azote dans les eaux souterraines engendre une diminution des concentrations dans la direction d'écoulement des eaux souterraines.

#### **Impact de l'option d'action « cultures intermédiaires »**



## Auswirkung der Handlungsoption Zwischenfrucht im Zeitverlauf

Die Abbildung 7.2.4 zeigt in Grafik (a) die mittlere Nitratkonzentration und in Grafik (b) den Flächenanteil mit Überschreitung der 50 mg/l-Konzentration. Im Prognoselauf bis 2050 ist der Verlauf für die Handlungsoption Zwischenfruchtanbau im Vergleich zur Beibehaltung des Nitratreintrags 2000 dargestellt. Die mittlere Nitratkonzentration liegt um 0,7 mg/l bzw. 4,1% niedriger, der Anteil der Überschreitungsfläche liegt bereits im Jahre 2015 um knapp 800 ha bzw. 12,6% niedriger (Tab. 7.2.2) als für den Referenzfall. Die Eintragsfracht liegt um 5,3% niedriger und der Wirkungsgrad für die Verringerung der Überschreitungsflächen beträgt 2,4 %.

dans le temps

La figure 7.2.4 présente dans le graphique (a) les concentrations moyennes en nitrates et dans le graphique (b) la surface relative concernée par le dépassement de la concentration de 50 mg/l. La simulation jusqu'à 2050 présente l'évolution de l'impact de l'option d'action « cultures intermédiaires » par rapport au maintien des entrées de nitrates de 2000 (simulation de référence). La concentration moyenne est plus faible de 0,7 mg/l ou 4,1 %, la part des surfaces de dépassement de la limite a déjà baissé en 2010 de tout juste 800 ha, soit 12,6 % de moins que le cas de référence (Tab. 7.2.2). Les entrées de nitrates sont plus faibles de 5,3 % et la réduction des surfaces de dépassement de la limite est de 2,4 %.

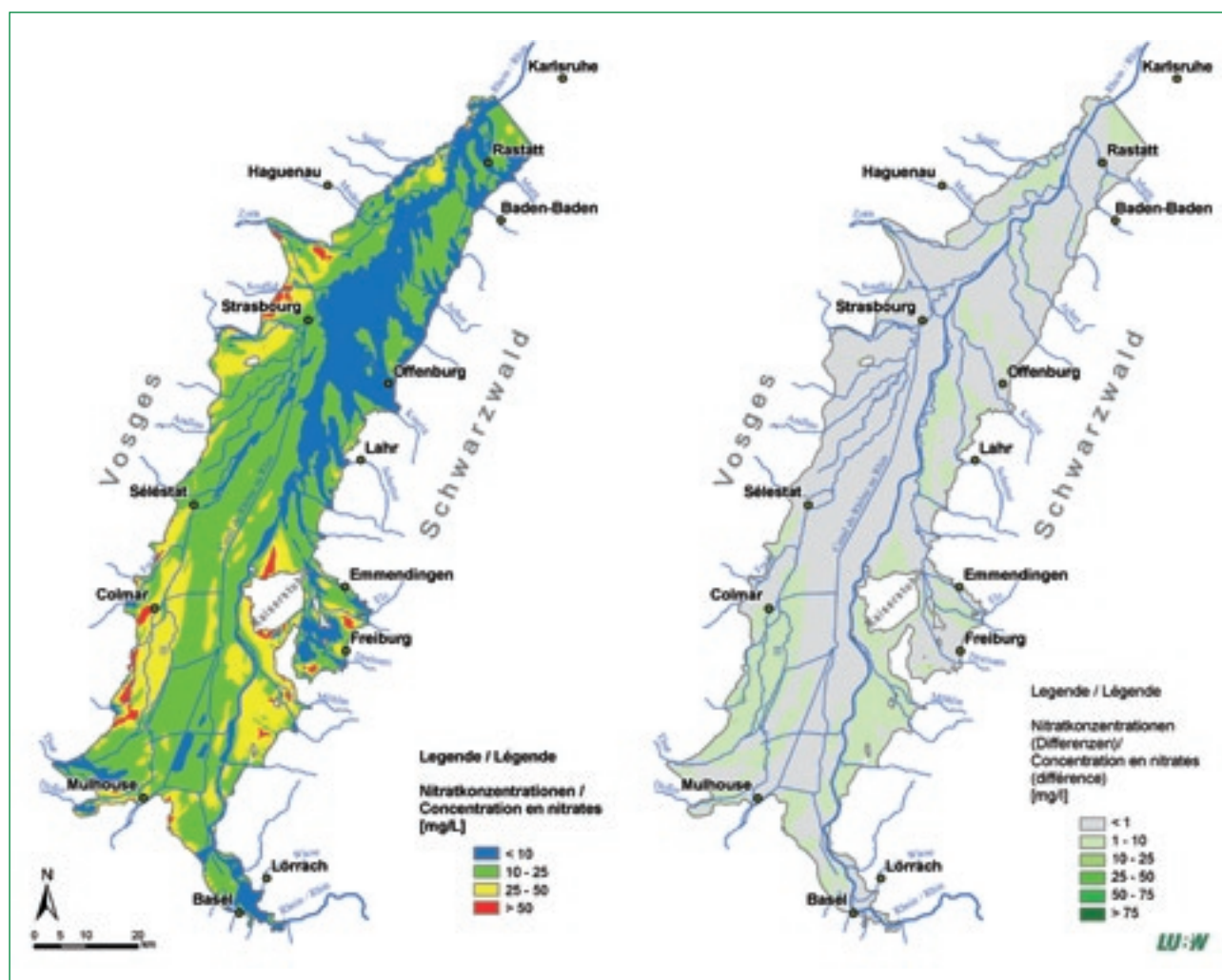


Abbildung 7.2.3: a) Prognose der Nitratkonzentration in der obersten Schicht 0-10m des Grundwasserleiters für 2050 bei maximalem Begrünungsumfang b) Differenzkarte: Verringerung der Nitratkonzentration für 2050 aufgrund der Handlungsoption Zwischenfruchtanbau.

Figure 7.2.3 : a) Simulation des concentrations en nitrates dans la couche supérieure 0-10 m de l'aquifère pour 2050 en cas de couverture maximale par les cultures intermédiaires, b) carte de différence : diminution de la concentration en nitrates pour 2050 sur la base de l'option d'action « Semis de cultures intermédiaires ».

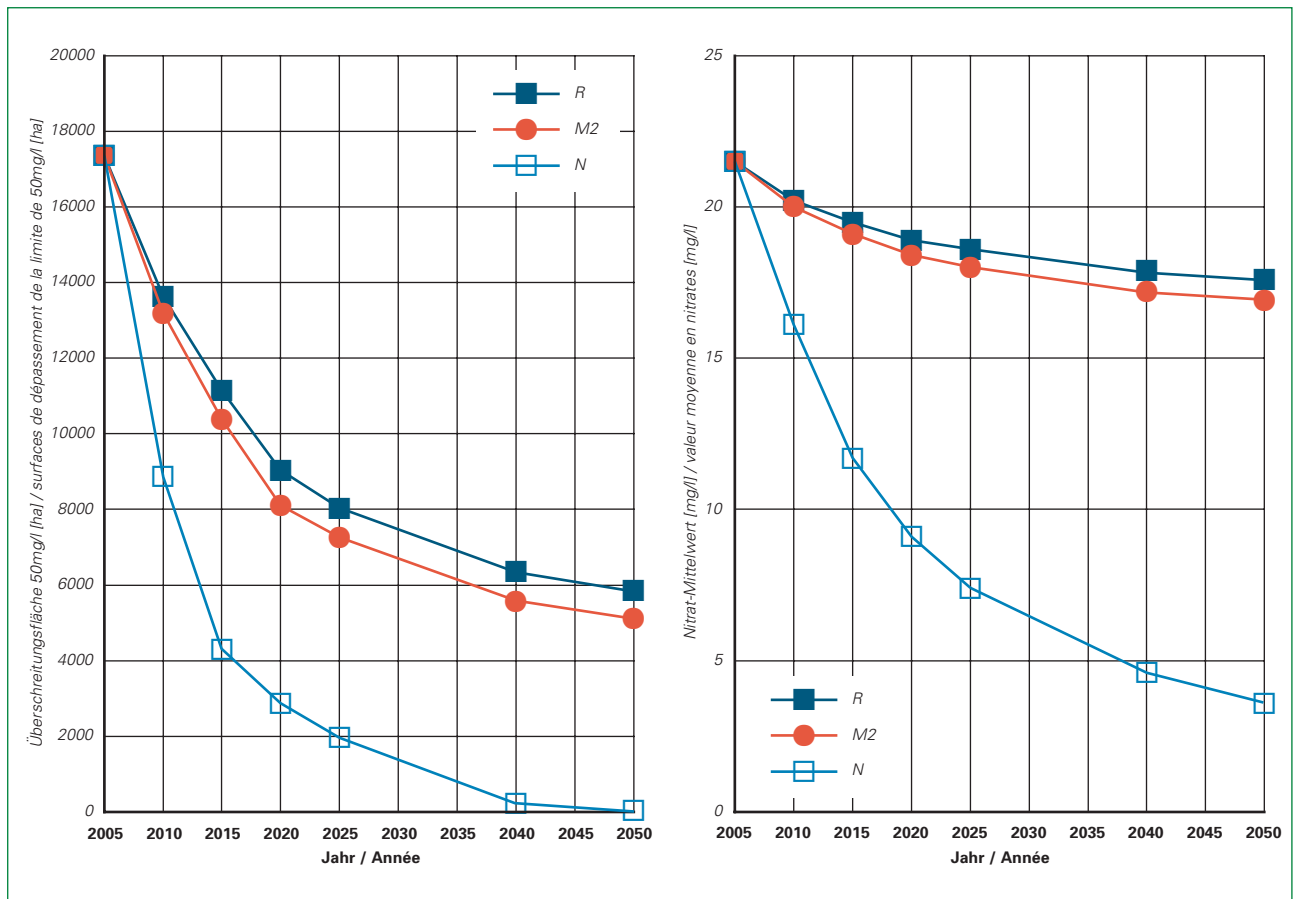


Abbildung 7.2.4 : Grundwassermodell: Zeitliche Entwicklung bis 2050 a) des Flächenanteils mit Nitratkonzentrationen über 50 mg/l für die Handlungsoption Zwischenfruchtanbau und b) des Mittelwertes der Nitratkonzentration im Grundwasser Referenz: Verlauf bei Beibehaltung des N-Eintrags 2000

Figure 7.2.4 : modèle des eaux souterraines : évolution jusqu'à 2050 de a) la moyenne des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines et b) de la surface relative ayant des concentrations en nitrates supérieures à 50 mg/l pour l'option d'action « semis de cultures intermédiaires ». Référence : maintien des entrées d'azote de l'année 2000

Tabelle 7.2.2: Reduktion des Stickstoffeintrags, des Mittelwertes der Nitratkonzentration und der Überschreitungsfläche > 50 mg/l, Handlungsoption Zwischenfrucht.

Tableau 7.2.2 : Réduction des entrées d'azote, de la moyenne des concentrations en nitrates et des surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l, option d'action « cultures intermédiaires ».

Handlungsoption / Option d'action		M2
<b>Reduktion gegenüber Referenz (%) / Réduction par rapport à la référence (%)</b>		-5,3
<b>Mittelwert / Moyenne</b>	Reduktion um (%) / Réduction de (%)	-4,1
	Wirkungsgrad / mode d'action	0,8
<b>Überschreitungs-fläche / Surface de dépassement de la limite</b>	Reduktion um (%) / Réduction de (%)	-12,6
	Wirkungsgrad / mode d'action	2,4

### Einordnung der Handlungsoption vor landwirtschaftlichem Hintergrund

Die Handlungsoptionen „Beibehalten des Dauergrünlands“ und „Umwandlung von Ackerland in Grünland“ (Ild. Nr. 1 und 2 in Tab. 3.3.1) wurden von den Landwirtschaftsverwaltungen der am Projekt beteiligten Länder als besonders wirksam eingestuft. De facto sind sie wie zwei Seiten derselben Medaille: Beibehalten des Dauergrünlands bedeutet lediglich eine Nicht-Erhöhung des Stickstoffeintrags durch die Konservierung des Ist-Zustands. Die Umwandlung von Acker in Grünland führt indessen zu einer effektiven Verminderung des Stickstoffeintrags. Also ist nur letztere eine Handlungsoption im Sinne der **Verbesserung** des Grundwasserzustandes. Zweifellos ist sie auch mit einem ungleich stärkeren Eingriff in die gegenwärtige Agrarstruktur verbunden. Daher wird ihre Umsetzbarkeit von den Experten durchweg als gering eingestuft. In der Tat wurde diese Maßnahme bislang sehr wenig eingesetzt und es bestehen im gegenwärtigen landwirtschaftlichen Kontext auch wenige Aussichten darauf, dass sie an Bedeutung gewinnt.

Auf **französischer** Seite wird sie lediglich innerhalb bestimmter Wasserschutzgebiete und sehr selten im Rahmen des CAD (Vertrag über nachhaltige Landwirtschaft) umgesetzt.

Auf **deutscher** Seite erfolgte die Umwandlung von Ackerland in Grünland bisher ebenfalls nur in wenigen Wasserschutzgebieten. Die umgewandelten Flächen entfallen in der Regel der landwirtschaftlichen Nutzung, da insbesondere in der weitgehend vieharmen Oberrheinebene für Grünfutter kaum Bedarf besteht. Daher müssen den betroffenen Landwirten teilweise erhebliche wirtschaftliche Verluste ausgeglichen werden.

In manchen Fällen kaufen Wasserversorgungsunternehmen die Flächen auf. Abgesehen von wenigen Beispielen einer lukrativen Nutzung der neu entstandenen Grünflächen, etwa als Golfplätze, ist häufig nur die Einrichtung von Biotopflächen oder Aufforstungsflächen möglich.

Vor diesem Hintergrund erscheint es umso wichtiger, bestehende Grünflächen vor dem Umbruch zu bewahren. Innerhalb von Wasserschutzgebieten (Problem- und Sanierungsgebieten) wird der Umbruch von Dauergrün-

### L'option d'action dans le contexte agricole

Les options d'action « Maintien des prairies permanentes » et « Conversion des terres arables en prairies » (N°1 et 2 dans le tableau 3.3.1) ont été classées comme particulièrement efficaces par les administrations agricoles des pays participant au projet. Elles constituent de facto les deux faces d'une même médaille : le maintien des prairies permanentes signifie uniquement une non-augmentation des entrées de nitrates par la conservation de l'état initial. La conversion de terres arables en prairies conduit quant à elle à une réduction réelle des entrées d'azote. Cette dernière n'est donc une option d'action que dans le sens de l'amélioration de l'état des eaux souterraines. Elle implique également incontestablement une modification inégale de la structure agricole actuelle. C'est pourquoi sa mise en pratique a été jugée limitée par tous les experts. En effet, cette action est très peu développée et connaît peu de perspectives de développement dans le contexte de l'agriculture actuel.

**Côté français**, elle n'est mise en œuvre que dans certains périmètres de protection des captages d'eau potable et très rarement dans le cadre des CAD (Contrat d'Agriculture Durable).

**Côté allemand**, la conversion de terres arables en prairies n'a été effectuée jusqu'à présent que dans un faible nombre de périmètres de protection des captages d'eau potable. Souvent, les surfaces converties ne sont plus utilisées à des fins agricoles, les besoins en fourrage vert étant particulièrement faibles dans la plaine du Rhin Supérieur en raison de la faible densité de bétail. C'est pourquoi les exploitants concernés doivent toucher des compensations pour les pertes financières parfois considérables qu'ils subissent.

Dans la plupart des cas, ces surfaces sont rachetées par les compagnies de distribution d'eau. A part quelques rares exemples d'utilisation à des fins lucratives des surfaces d'herbe nouvellement créées, par exemple des parcours de golf, les seuls aménagements possibles sont des biotopes ou des zones de renaturation.

Pour ces motifs, il apparaît d'autant plus important de préserver les surfaces d'herbe du retournement. Au sein des périmètres de protection des captages d'eau potable, le retournement des prairies permanentes n'est qu'except-

land nur in Ausnahmefällen genehmigt. Außerdem ist der Erhalt des Dauergrünlandanteils seit 2005 in den Cross Compliance-Verpflichtungen verankert.

Im Kontext der Vorgehensweise in MoNit zur Beurteilung der Wirksamkeit von Handlungsoptionen, die als Maßnahmen zur Verbesserung aufgefasst und dem Ist-Zustand als Referenz gegenübergestellt werden, wird nur die „Umwandlung von Ackerland in Grünland“ untersucht. Dies geschieht insbesondere mit dem Ziel, die potenzielle Wirksamkeit einer vergleichsweise „radikalen“ Handlungsoption im Vergleich mit den eher „gemäßigten“ Handlungsoptionen, wie z.B. der ordnungsgemäße Düngung abzuschätzen.

### Umsetzung mit den Modellen

Die Grundannahme ist, dass 20% des Ackerlands in Grünland umgewandelt werden. Es werden drei Varianten untersucht, die sich hinsichtlich der Kriterien unterscheiden, nach denen die umzuwandelnden Ackerzellen ausgewählt wurden. Dies sind jeweils 20% der Ackerzellen mit:

M3a dem höchsten Stickstoffeintrag im Projektgebiet (vgl. Abb. 7.3.1.a).

M3b dem höchsten Stickstoffeintrag je Gemeinde bzw. Kanton (vgl. Abb. 7.3.1.b)

M3c ungünstigen Standortbedingungen hinsichtlich der Nitratbelastung (vgl. Abb. 7.3.1.c).

Die Variante M3a basiert auf der Tatsache, dass STOFFBILANZ in Abhängigkeit von Kulturartenverteilung, Bewirtschaftungsweise und Bodenbeschaffenheit sehr unterschiedliche Stickstoffausträge unter Acker berechnet (vgl. Abb. 7.3.2.a). Die 20% der Ackerzellen mit dem höchsten Stickstoffaustrag im inneren Projektgebiet zeigen Austräge zwischen 50 kg N/ha und 92 kg N/ha (vgl. Abb. 7.3.2.b). Durch Umwandlung dieser Ackerzellen in Grünland bei der Simulation der Variante M3a geht der mittlere Austrag aller Acker- und Grünlandzellen des inneren Projektgebietes um 25% auf 19,1 kg N/ha zurück. (vgl. Abb. 7.3.3).

Zur Simulation von der Variante M3b werden nun in jeder Gemeinde bzw. jedem Kanton 20% der Ackerzellen mit dem höchsten Austrag in Grünland umgewandelt. Diese Vorgehensweise führt zu einer räumlich homogenen Verteilung der umgewandelten Flächen. Durch die zusätzliche Vorgabe, dass Flächen in jeder Gemeinde zu berücksichtigen sind, fällt die Reduktion des Gesamt-

tionnellement autorisiert. De plus, le maintien de pâturages permanents est inscrit depuis 2005 dans la conditionnalité des aides aux agriculteurs.

Dans le cadre de la méthodologie mise en œuvre au sein de MoNit pour évaluer l'efficacité des options d'action, seule la « Conversion des terres arables en prairies » est étudiée car l'option d'action « Maintien des prairies permanentes » correspond à la situation de référence (l'état actuel). Cette étude a surtout pour but d'évaluer l'efficacité potentielle d'une option d'action comparativement plus « radicale » avec des options d'action plutôt « modérées », comme par exemple la fertilisation raisonnée.

### Mise en œuvre à l'aide des modèles

L'hypothèse de base réside dans une conversion de 20 % des terres arables en prairies. On étudie trois variantes, différenciées par les critères de choix des cellules « terres arables » à convertir. Il s'agit à chaque fois de 20 % des cellules « terres arables » avec :

M3a les entrées d'azote les plus importantes dans la zone du projet (cf. Fig. 7.3.1.a).

M3b les entrées d'azote les plus importantes par commune ou canton (cf. Fig. 7.3.1.b).

M3c des conditions locales défavorables du point de vue de la pollution par les nitrates (cf. Fig. 7.3.1.c).

La variante M3a est fondée sur le fait que STOFFBILANZ calcule des quantités d'azote lessivées très variables sous les terres arables, en fonction de l'assolement, des méthodes d'exploitation et de la nature du sol (cf. Fig. 7.3.2.a). Les 20 % de cellules « terres arables » affectées du lessivage d'azote maximum dans la zone intérieure du projet présente des valeurs de lessivage comprises entre 50 kg N/ha/ha et 92 kg N/ha/ha (cf. Fig. 7.3.2.b). Par la conversion de ces cellules en prairie lors de la simulation de la variante M3a, le lessivage moyen pour toutes les cellules « terres arables » et « prairie » de la zone intérieure du projet est réduit de 25 % soit de 19,1 kg N/ha (cf. Fig. 7.3.3).

Pour la simulation de la variante M3b, 20 % des cellules « terres arables » ayant le lessivage le plus élevé sont converties en prairies dans chaque commune ou canton. Cette méthode génère une répartition spatiale plus homogène des surfaces converties. La condition supplémentaire selon laquelle chaque commune est concernée par la mesure conduit à une réduction du lessivage légèrement

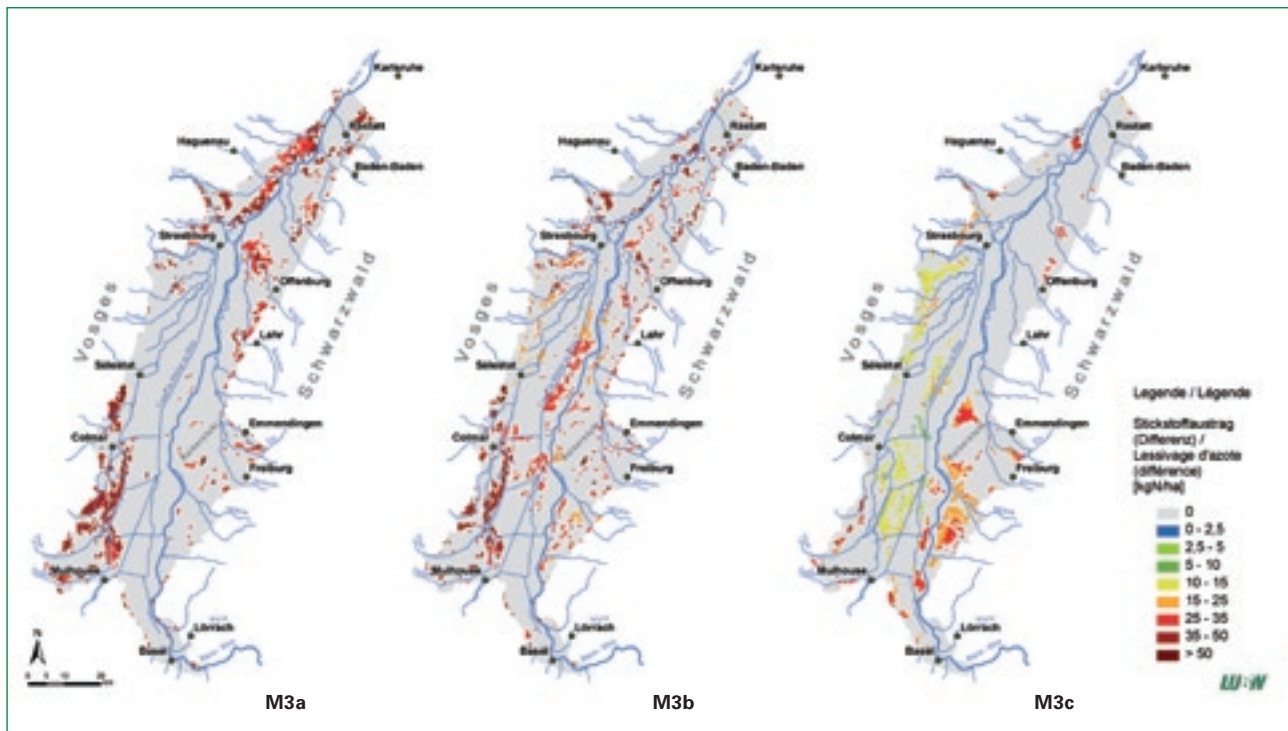


Abbildung 7.3.1: Rückgang des Stickstoffeintrags für die drei untersuchten Varianten der Handlungsoption „Umwandlung von Acker in Grünland“.   
 Figure 7.3.1 : Baisse des entrées d'azote pour les trois variantes étudiées de l'option d'action « Conversion de terres arables en prairies ».

eintrags etwas geringer als bei Variante M3a. Der mittlere Austrag auf allen Acker- und Grünlandzellen geht in diesem Fall um 22% auf 19,9 kg N/ha zurück. Die Variante M3c, Umwandlung der 20% der Ackerzellen mit ungünstigen Standortbedingungen hinsichtlich der

plus faible que dans la variante M3a. Le lessivage moyen sur toutes les cellules « terres arables » et « prairies » diminue dans ce cas de 22 % à 19,9 kg N/ha. La variante M3c, conversion de 20 % des cellules « terres arables » avec des conditions locales défavorables du point

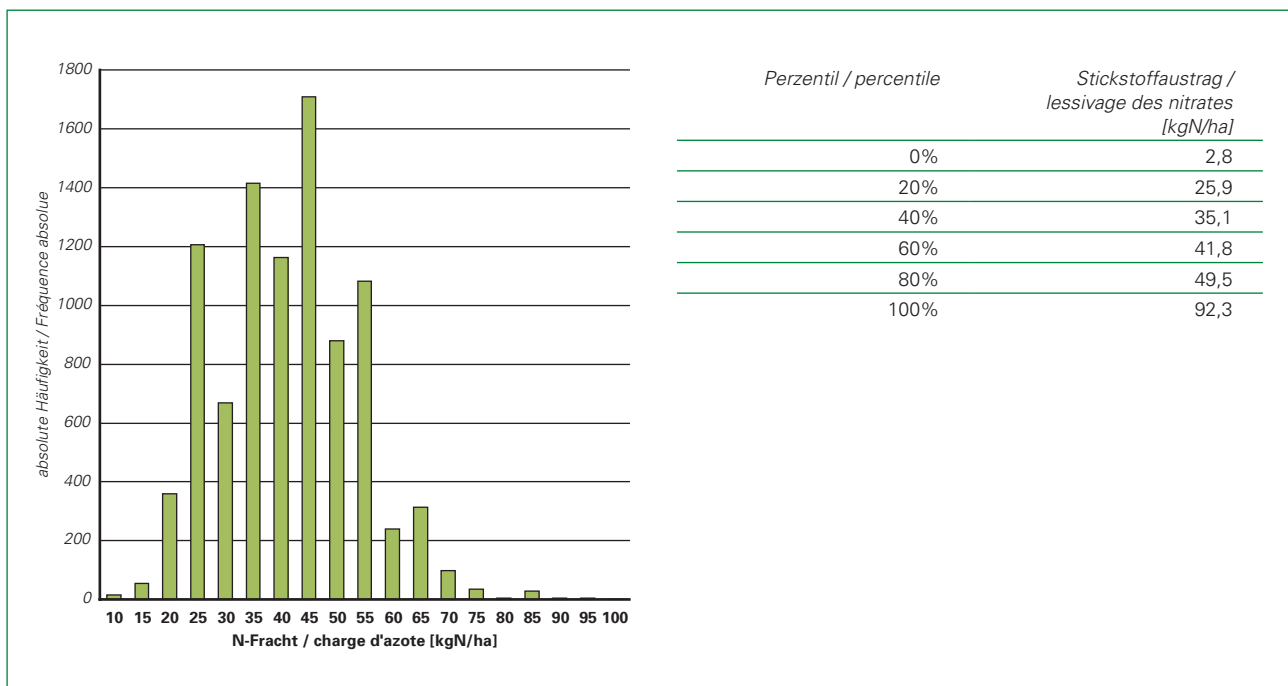


Abbildung 7.3.2: (a) Histogramm der Stickstoffausträge aus den 9285 Ackerzellen des inneren Projektgebiets für das Jahr 2000 und (b) dazugehörigen Perzentilwerte.

Figure 7.3.2 : (a) Histogramme de lessivage d'azote à partir des 9285 cellules « terres arables » de la zone intérieure du projet pour l'année 2000 et (b) les percentiles correspondants.

Nitratbelastung, berücksichtigt die Tatsache, dass ein Kilogramm Nitrat, das mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangt, nicht überall zur gleichen Belastung führt. Denitrifikation oder Verdünnung durch infiltrierende Oberflächengewässer können zu einer wesentlichen Reduktion der resultierenden Nitratkonzentrationen führen.

Zur Berücksichtigung dieser Faktoren wurde zunächst ein **Belastungsindex** als Quotient der Nitratkonzentrationen im Grundwasser und im Sickerwasser bestimmt (Abb. 7.3.4)<sup>12</sup>:

$$\text{Belastungsindex} = \frac{C_{\text{Grundwasser}}(\text{NO}_3)}{C_{\text{Sickerwasser}}(\text{NO}_3)}$$

Theoretisch kann dieser Index Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Ein Belastungsindex kleiner 1 bedeutet, dass die Grundwasserkonzentration aufgrund der oben genannten Einflüsse in der Tat kleiner ist als das langjährige Mittel der Sickerwasserkonzentration. Tendiert der Belastungsindex hingegen gegen 1 können zwei Schlussfolgerungen gezogen werden: (i) die naturräumlichen Gegebenheiten sind für den Abbau bzw. die Verdünnung der Nitratbelastung nicht günstig. Oder (ii) das hierzu vorhandene naturräumliche Potenzial ist bereits ausgeschöpft. Diese zweite Interpretation ist wichtig, da in die Definition des Belastungsindex die Belastung selbst eingeht, d.h. nicht ausschließlich naturräumliche Faktoren, wie beispielsweise das Denitrifikationspotenzial im Grundwasserleiter.

Zur Berechnung der Variante M3c wurden nun diejenigen 20% der Ackerzellen in Grünland umgewandelt, die den höchsten Belastungsindex haben. Da im Gegensatz zu den vorangegangenen Varianten bei der Auswahl der Ackerzellen nicht mehr die absolute Nitratfracht, sondern ihr Verhältnis zur Grundwasserkonzentration eingeht, ist die absolute Verringerung der Nitratfracht wiederum geringer und entspricht einer relativen Reduktion von 13,4% auf 22,0 kg N/ha.

Für den oben definierten Belastungsindex findet man im Projektgebiet auch Werte größer 1. Dies macht die Gren-

de vue de la pollution par les nitrates prend en compte le fait qu'un kilogramme de nitrates parvenant dans les eaux souterraines avec les eaux de percolation ne génère pas partout une pollution identique. La dénitrification ou la dilution par le bais d'infiltrations d'eau superficielle peuvent largement réduire les concentrations en nitrates résultantes. Pour l'examen de ce facteur, un indice de pollution (Belastungsindex) a d'abord été déterminé sous forme de quotient entre les concentrations en nitrates des eaux souterraines ( $C_{\text{Grundwasser}}(\text{NO}_3)$ ) et des eaux de percolation ( $C_{\text{Sickerwasser}}(\text{NO}_3)$ ) (Fig. 7.3.4)<sup>12</sup> :

En théorie, cet indice peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 1. Un indice de pollution inférieur à 1 signifie qu'en raison des influences citées précédemment, la concentration dans les eaux souterraines est en réalité plus faible que la moyenne annuelle de la concentration dans l'eau de percolation. Au contraire, lorsque l'indice de pollution est proche de 1, deux conclusions peuvent être tirées : (i) les caractéristiques du milieu physique ne sont pas favorables à une dénitrification ou une dilution de la pollution par les nitrates ou (ii), le potentiel du milieu physique disponible à cet effet est déjà épuisé. Cette seconde interprétation est importante, car la pollution entre elle-même dans la définition de l'indice de pollution, c'est-à-dire pas exclusivement des facteurs du milieu physique, comme par exemple le potentiel de dénitrification de l'aquifère.

Pour le calcul de la variante M3c sont uniquement converties en prairies les 20 % de cellules « terres arables » ayant l'indice de pollution le plus élevé. Contrairement aux deux autres variantes, le critère du choix des cellules de terres arables n'est plus seulement le lessivage, mais son rapport avec la concentration dans la nappe. Ceci engendre une réduction absolue de la charge en nitrates à nouveau plus faible : la quantité d'azote lessivée est diminuée de 13,4 %, et égale 22,0 kg N/ha.

Pour l'indice de pollution défini ci-dessus, on trouve également dans la zone du projet des valeurs supérieures à

<sup>12</sup> Die Sickerwasserkonzentration wurde mit STOFFBILANZ für das Referenzjahr 2000 berechnet und die Grundwasserkonzentration dem Ergebnis des Grundwasser-Modells entnommen. (vgl. Abb.8.xyz = Grafik mit Karte bzw. zeitlichem Verlauf der Konzentrationen aus GW-Modell-Rechnungen).

<sup>12</sup> La concentration des eaux de percolation a été calculée avec STOFFBILANZ pour l'année de référence 2000 et la concentration des eaux souterraines a été tirée des résultats du modèle des eaux souterraines (cf. Fig. 8.xyz = le graphique comportant la carte relative à l'évolution des concentrations issue des calculs du modèle des eaux souterraines)



Abbildung 7.3.3: (a) Mittlerer Stickstoffeintrag (kgN/ha) aus Acker- und Grünlandzellen für den Referenzzustand des Jahres 2000 und die drei untersuchten Varianten. (b) Relative Veränderung gegenüber Referenz.

Figure 7.3.3 : (a) Entrées moyennes d'azote (kg N/ha) à partir des cellules « terres arables » et « prairies » pour l'état de référence de l'année 2000 et les trois variantes étudiées. (b) modifications relatives par rapport à la référence.

zen des Ansatzes deutlich. Die Nitratkonzentration im Grundwasserleiter wird natürlich nicht nur vom Sickerwassereintrag am selben Ort beeinflusst, sondern auch von den Einträgen, die im Zustrombereich stattfinden. Aus genau diesem Grund kommt im Projekt ein Grundwassermodell zum Einsatz. Vor diesem Hintergrund ist der gewählte Belastungsindex in der Realität nicht ausreichend, um Ackerflächen zu identifizieren, für die sich eine Umwandlung in Grünland anbietet. Die Untersuchung von Variante M3c ist dennoch von großem Interesse, da sie in einer ersten Näherung die Berücksichtigung naturräumlicher Gegebenheiten ermöglicht, was zu durchaus bemerkenswerten Ergebnissen führt (vgl. Kap.8).

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass bei allen Varianten die Ackerflächen beiderseits des Rheins in ausgewogener Weise auf etwa 80% der ursprünglichen Ausdehnung reduziert werden. Exakt weil definitionsgemäß ist dies nur bei Variante M3b der Fall. Die Auswahlkriterien der Varianten M3a und M3c führen de facto jedoch ebenfalls beiderseits des Rheins zu Rückgängen der Ackerflächen zwischen 18% und 22%.

1. Ceci exprime clairement les limites de l'approche. La concentration en nitrates dans l'aquifère ne dépend bien sûr pas uniquement des entrées d'eau de percolation au même endroit, mais également des écoulements horizontaux des eaux souterraines. C'est précisément pour cette raison qu'un modèle des eaux souterraines a été intégré dans le projet. Ceci démontre que l'indice de pollution choisi n'est pas suffisant pour identifier en réalité les surfaces susceptibles d'être converties en prairies. L'étude de la variante M3c est cependant d'un grand intérêt, car elle permet de prendre en compte en première approche les caractéristiques du milieu physique, ce qui conduit à des résultats tout à fait remarquables (cf. chap. 8).

En conclusion, on peut faire remarquer que quelle que soit la variante, les surfaces de terres arables sont réduites de façon identique de part et d'autre du Rhin à environ 80 % de leur extension originale. C'est seulement pour la variante M3b, par définition, que cette réduction est exactement identique (20%) des deux côtés du Rhin. Cependant, les critères de sélection des variantes M3a et M3c génèrent également de facto des reculs des surfaces de terres arables très similaires de part et d'autre du Rhin, compris entre 18 % et 22 %.

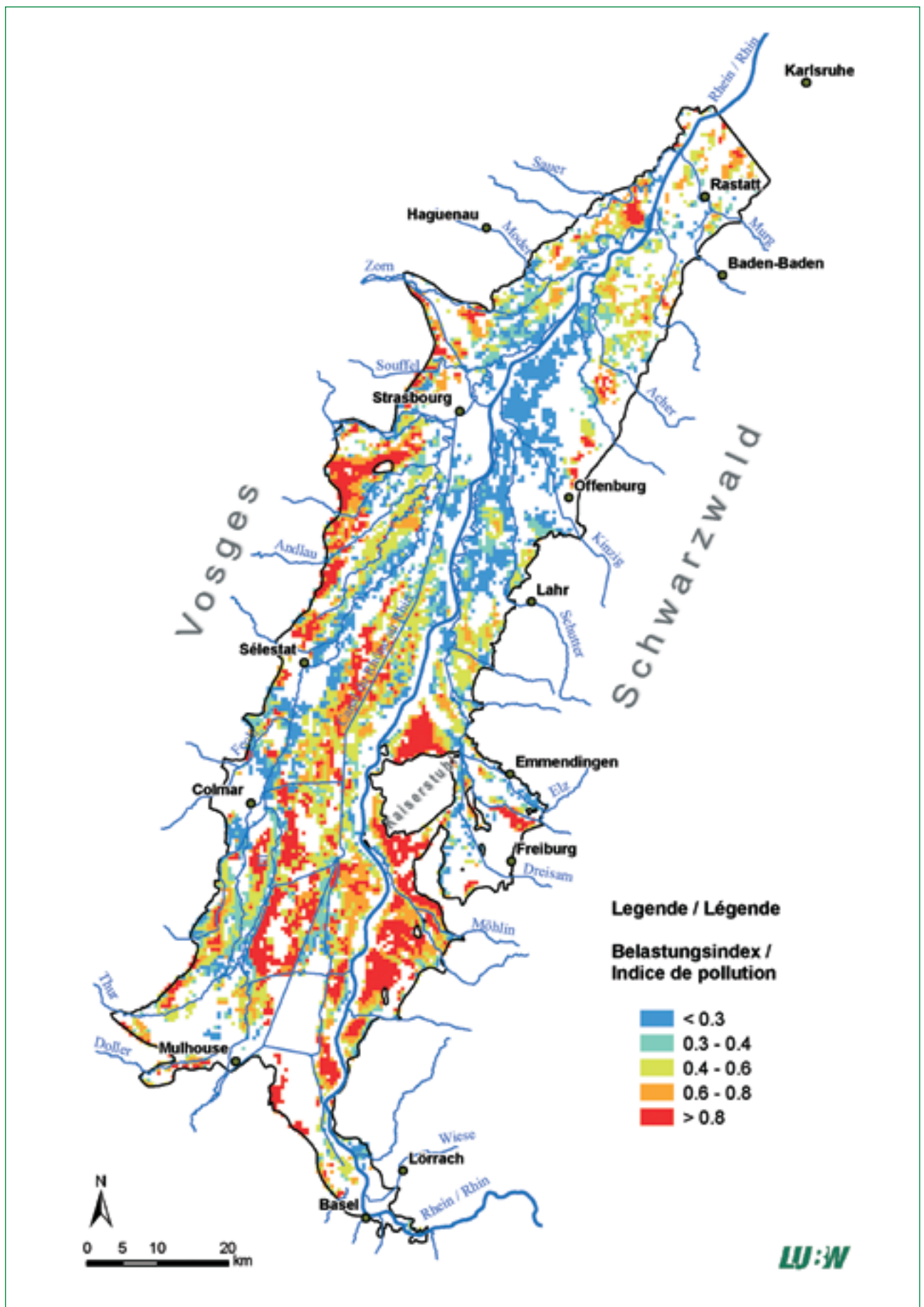


Abbildung 7.3.4: Belastungsindex dargestellt für alle Ackerzellen des inneren Projektgebietes. Klassen enthalten jeweils gleiche Flächenanteile (20er Perzentile).

Figure 7.3.4 : Indice de pollution représenté pour toutes les cellules « terres arables » de la zone intérieure du projet. Les classes contiennent toutes la même surface relative (20ème percentile).



### Auswirkung auf die Grundwasserqualität :

Die Differenzkarten (Abb. 7.3.5) für die drei Varianten spiegeln im Wesentlichen die unterschiedlichen Eintragsmuster aus Abb. 7.3.1 wider: So ist beispielsweise die Verringerung der Nitratkonzentration bei Variante M3b flächenhaft gleichmäßiger verteilt als bei Variante M3a. Dies gilt insbesondere für die elsässischen Rheinebene zwischen Colmar und Strasbourg sowie das Markgräfler Land und die Region nördlich des Kaiserstuhls auf baden-württembergischer Seite. Die Bereiche der stärksten Konzentrationsabnahmen für Variante M3c (Abb. 7.3.5.c) entsprechen weitgehend den Bereichen mit den höchsten Belastungsindizes in Abbildung 7.3.4: Diese sind vor allem Südbaden, der Bereich nördlich des Kaiserstuhls und der westliche Rand des Projektgebietes südlich und nördlich von Strasbourg.

Abbildung 7.3.6.a zeigt die zeitliche Entwicklung der Überschreitungsflächen 50 mg/l. Im Hinblick auf diesen Indikator sind die Wirkungen der Varianten M3a und M3b bis zum Jahr 2030 praktisch identisch. Erst danach macht sich die insgesamt höhere Reduzierung des Stickstoffeintrags im Falle der Variante M3a bemerkbar (vgl. Abb. 7.3.3). Bemerkenswert ist die hohe Wirksamkeit von Variante M3c (vgl. Abb. 7.3.6 und Tab. 7.3.1). Obwohl

### Impact sur la qualité des eaux souterraines :

Les cartes de différences (Fig. 7.3.5) pour les trois variantes reflètent principalement les structures spatiales des entrées de nitrates issues de la Fig. 7.3.1 : ainsi, la diminution de la concentration en nitrates dans la variante M3b est distribuée de façon plus homogène que dans la variante M3a. Ceci s'applique en particulier à la plaine du Rhin côté alsacien entre Colmar et Strasbourg ainsi qu'au Land de Markgräfler et à la région située au nord du Kaiserstuhl du côté du Bade-Wurtemberg. Les zones dans lesquelles les concentrations baissent le plus dans la variante M3c (Fig. 7.3.5.c) correspondent dans une large mesure aux zones ayant les indices de pollution les plus élevés dans la figure 7.3.4 : il s'agit surtout du sud de la Bade, de la région située au nord du Kaiserstuhl et des limites de la zone du projet situées au sud et au nord de Strasbourg.

La figure 7.3.6.a présente l'évolution des surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l. Selon cet indicateur, les effets des variantes M3a et M3b sont quasiment identiques jusqu'en 2030. C'est seulement par la suite qu'une plus forte réduction des entrées d'azote est perceptible pour la variante M3a (cf. Fig. 7.3.3). L'efficacité de la variante M3c est remarquable (cf. Fig. 7.3.6 et Tab. 7.3.1). Bien que la diminution des entrées d'azote y soit plus fai-

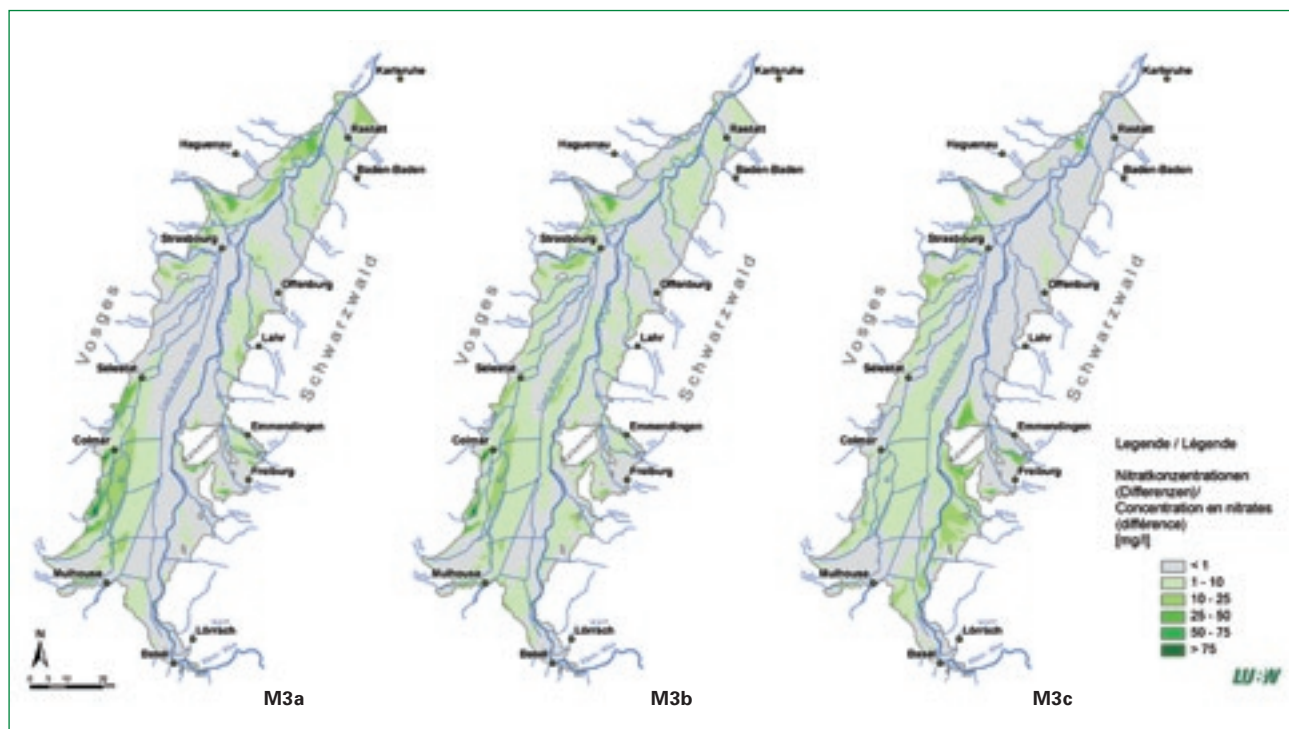


Abbildung 7.3.5: Differenzkarten der Nitratkonzentrationen für die drei untersuchten Varianten der Handlungsoption „Umwandlung von Acker in Grünland“.

Figure 7.3.5 : Cartes des différences de concentrations en nitrates pour les trois variantes étudiées de l'option d'action « Conversion de terres arables en prairies ».

der Rückgang des Stickstoffeintrags um 40% geringer ist als bei Variante M3b, führt sie zur größeren Abnahme der Überschreitungsflächen 50mg/l. Darüber hinaus wirkt Variante M3c am schnellsten. Erst um das Jahr 2030 wird Sie von der letztlich wirksamsten Variante M3a „eingeholt“.

Abbildung 7.3.6.b zeigt die zeitliche Entwicklung des Nitratmittelwerts. Reihenfolge und Größenordnung des Rückgangs des Mittelwertes entsprechen dem der Eintragsreduktion (vgl. Tab. 7.3.1). Der Rückgang des Mittelwertes ist bei Variante M3c mit 12,3% am geringsten, übersteigt jedoch im Gegensatz zu den beiden anderen Varianten die Eintragsreduktion.

ble de 40 % par rapport à la variante M3b, cette variante génère une réduction supérieure des surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l. De plus, la variante M3c est celle dont l'effet est le plus rapide. Ce n'est qu'en 2030 environ qu'elle est « rattrapée » par la variante M3a, la plus efficace en fin de compte.

La figure 7.3.6.b présente l'évolution de la teneur moyenne en nitrates. L'ordre de succession et l'ordre de grandeur de la réduction de cette variable correspondent à celui de la réduction des entrées de nitrates (cf. Tab. 7.3.1). La réduction de la teneur moyenne est la plus faible dans le cas de la variante M3c avec 12,3 %, mais dépasse cependant la réduction des entrées, au contraire de ce qui se produit avec les deux autres variantes.

Tabelle 7.3.1: Auswirkungen der Handlungsoptionen.

Tableau 7.3.1: Impact des options d'action

Handlungsoption / Option d'action		M1a	M1b	M1c
<b>Rückgang N-Eintrag / Réduction des entrées d'azote</b>	[%]	21,0	18,4	11,3
<b>Mittelwert / valeur moyenne</b>	Wirksamkeit / Efficacité	18,5	16,0	12,3
	Wirkungsbeschleunigung / Rapidité d'actions	34	33	31
<b>ÜF 50mg/l / SDL 50mg/l</b>	Wirksamkeit / Efficacité	65,2	57,0	59,1
	Wirkungsbeschleunigung / Rapidité d'actions	29	30	31

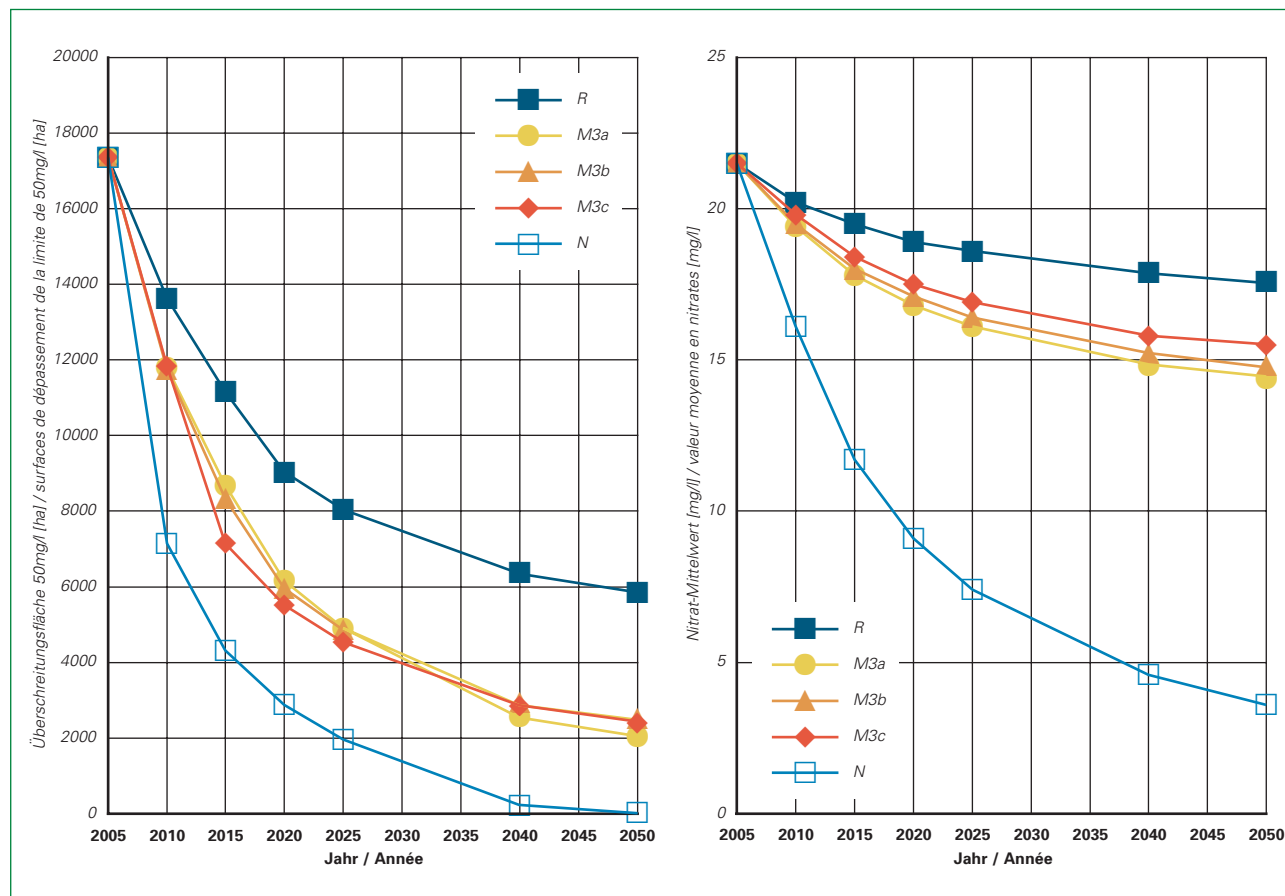


Abbildung 7.3.6: (a) Überschreitungsflächen 50mg/l und (b) Nitratmittelwert.

Figure 7.3.6 : (a) Surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l et (b) teneur moyenne en nitrates.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse der Simulationen die grundsätzliche Richtigkeit des für Variante M3c gemachte Ansatzes bestätigen: Die naturräumlichen Gegebenheiten des Ortes, an dem die Reduzierung des Stickstoffeintrages stattfindet, beeinflussen offensichtlich die Wirksamkeit einer Maßnahme. Der eingeführte Belastungsindex ist in dieser Form für die Praxis jedoch nicht ausreichend. Eine Weiterentwicklung im Hinblick auf die oben genannten Einschränkungen wäre hierfür erforderlich.

#### 7.4 KOMBINIERTER HANDLUNGSOPTION (M4)

##### Einordnung der Handlungsoption vor landwirtschaftlichem Hintergrund

Zur Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratbelastung des Grundwassers sollten nicht nur die Auswirkungen einzelner Handlungsoptionen untersucht werden. Vielmehr ist es notwendig, die Maßnahmen, die sich als effizient erwiesen haben, zu geeigneten Maßnahmenbündeln zu kombinieren und diese zu bewerten. Dabei können nicht einfach die Indikatoren der Einzelmaßnahmen addiert werden, sondern die jeweilige Kombination muss mit der gesamten Modellkette simuliert werden.

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Handlungsoptionen miteinander kombiniert:

- Ordnungsgemäße Düngung bei Körnermais (M1a)
- Zwischenfruchtanbau (M2)
- Umwandlung der 20% Ackerzellen mit dem höchsten N-Austrag im inneren Projektgebiet in Grünland (M3a)

##### Umsetzung mit den Modellen

Die Umsetzung in den Modellen entspricht der für die einzelnen Handlungsoptionen und ist den entsprechenden Kapiteln 7.1, 7.2 und 7.3 zu entnehmen.

##### Auswirkungen auf den Nitrataustrag bei flächenhafter Umsetzung

Mit dem Modell STOFFBILANZ wurden die N-Austräge für die Kombination der Handlungsoptionen für die vier Bewirtschaftungsregionen Baden-Württemberg, Hardt/Ochsenfeld, Plaine du Rhin/Ried und Sous vosgienne ermittelt. Sie sind, zusammen mit den Austrägen für die einzelnen Handlungsoptionen, in Abb. 7.4.1 gegenüber dem Referenzwert

Finalment, on peut constater que les résultats des simulations confirment la justesse de principe de l'approche effectuée pour la variante M3c : les caractéristiques du milieu physique du lieu dans lequel se produit la réduction de l'entrée d'azote influencent clairement l'efficacité d'une mesure. L'indice de pollution introduit n'est cependant pas suffisant sous cette forme pour une utilisation pratique. En fonction des restrictions citées précédemment, la poursuite de son développement serait nécessaire.

#### 7.4 OPTION D'ACTION COMBINÉE (M4)

##### L'option d'action dans le contexte agricole actuel

Dans le cadre de l'évaluation de mesures de réduction de la pollution des eaux souterraines par les nitrates, on ne devrait pas uniquement étudier l'impact d'options d'action individuelles. Au contraire, il est nécessaire de combiner les mesures qui se sont révélées les plus efficaces pour former des paquets de mesures, et d'évaluer ces derniers. Les indicateurs des mesures individuelles ne peuvent pas simplement être additionnés, mais chaque combinaison doit être simulée avec la totalité de la chaîne de modélisation.

Dans le cadre du projet, les options d'action suivantes ont été combinées les unes avec les autres :

- Fertilisation raisonnée du maïs grain (M1a)
- Semis de cultures intermédiaires (M2)
- Conversion en prairies des 20 % de cellules « terres arables » ayant le lessivage le plus élevé dans la zone intérieure du projet (M3a)

##### Mise en œuvre à l'aide des modèles

La mise en œuvre au sein des modèles est la même que pour les options d'action individuelles et peut être trouvée dans les chapitres correspondants 7.1, 7.2 et 7.3.

##### Impact sur le lessivage des nitrates à l'échelle régionale

Le lessivage de l'azote a été calculé à l'aide du modèle STOFFBILANZ pour une combinaison des options d'action dans les quatre régions agricoles Bade-Wurtemberg, Hardt/Ochsenfeld, Plaine du Rhin/Ried et Sous vosgienne. Les résultats par rapport à l'état de référence 2000 sont présentés dans la figure 7.4.1, avec les lessivages calculés

renzzustand 2000 dargestellt. Insgesamt errechnen sich Rückgänge der N-Austräge zwischen 3 und etwa 23 kg N/ha. Während auf der Hardt/Ochsenfeld nur geringe Änderungen des N-Austrags zu erwarten sind, ist in den anderen Bewirtschaftungsregionen der Effekt sehr deutlich.

Aus Abb. 7.4.1 wird deutlich, dass sich für die hier gewählten Handlungsoptionen der Rückgang des Stickstoffaustrags der einzelnen Maßnahmen bei der Kombination nahezu aufsummiert. Da mit der Handlungsoption M3a aber 20% der Ackerflächen im inneren Projektgebiet mit dem höchsten Austrag in Grünland umgewandelt werden, wirken die Handlungsoptionen M1a und M2 nur noch auf 80% der ursprünglichen Ackerfläche im inneren Projektgebiet. Dadurch ist die Austragsreduktion der Kombination etwas geringer als die Summe der Reduktionen für die Einzelmaßnahmen.

Die deutlich unterschiedliche räumliche Wirkung der Handlungsoptionen spiegelt sich auch in der Karte der Austragsreduzierung für die Kombination wieder (Abb. 7.4.2.a): Die starken, aber räumlich sehr begrenzten Auswirkungen der Handlungsoption M3a finden sich entsprechend in der Karte der Austragsreduktion für die Kombination wieder. Analog zu den Auswirkungen der Einzelmaßnahmen (Abb. 7.1.4.a, 7.2.2.b und 7.3.1.a) kann aus Abb. 7.4.2.a geschlossen werden, dass die starken lokalen Änderungen durch die Handlungsoption M3a

pour les options d'action individuelles. Globalement, la baisse du lessivage est comprise entre 3 et environ 23 kg N/ha. Alors que seules de faibles modifications sont prévisibles dans la région Hardt/Ochsenfeld, l'effet est très net dans les autres régions agricoles.

D'après la figure 7.4.1, il est clair que les baisses du lessivage pour les mesures individuelles peuvent quasiment s'additionner en cas de combinaison des options d'action sélectionnées ici. Les 20 % de surfaces de terres arables ayant le plus fort lessivage dans la zone intérieure du projet étant converties avec l'option d'action M3a, les options d'action M1a et M2 ne s'appliquent plus qu'à 80 % de la surface initiale de terres arables dans la zone intérieure du projet. C'est pourquoi la réduction du lessivage de la combinaison est légèrement inférieure à la somme des réductions pour les mesures individuelles.

Les nettes différences des effets spatiaux des options d'action se reflètent également dans les cartes de réduction du lessivage pour la combinaison (Fig. 7.4.2.a). Les impacts forts, mais spatialement très limités, de l'option d'action M3a se retrouvent donc dans la carte de réduction du lessivage pour la combinaison. Comme pour l'impact des mesures individuelles (Figs. 7.1.4.a, 7.2.2.b et 7.3.1.a), on peut conclure à partir de la figure 7.4.2.a que les fortes modifications locales sont dues à l'option d'action M3a. Cette option d'action s'applique aux 20 % des terres ara-

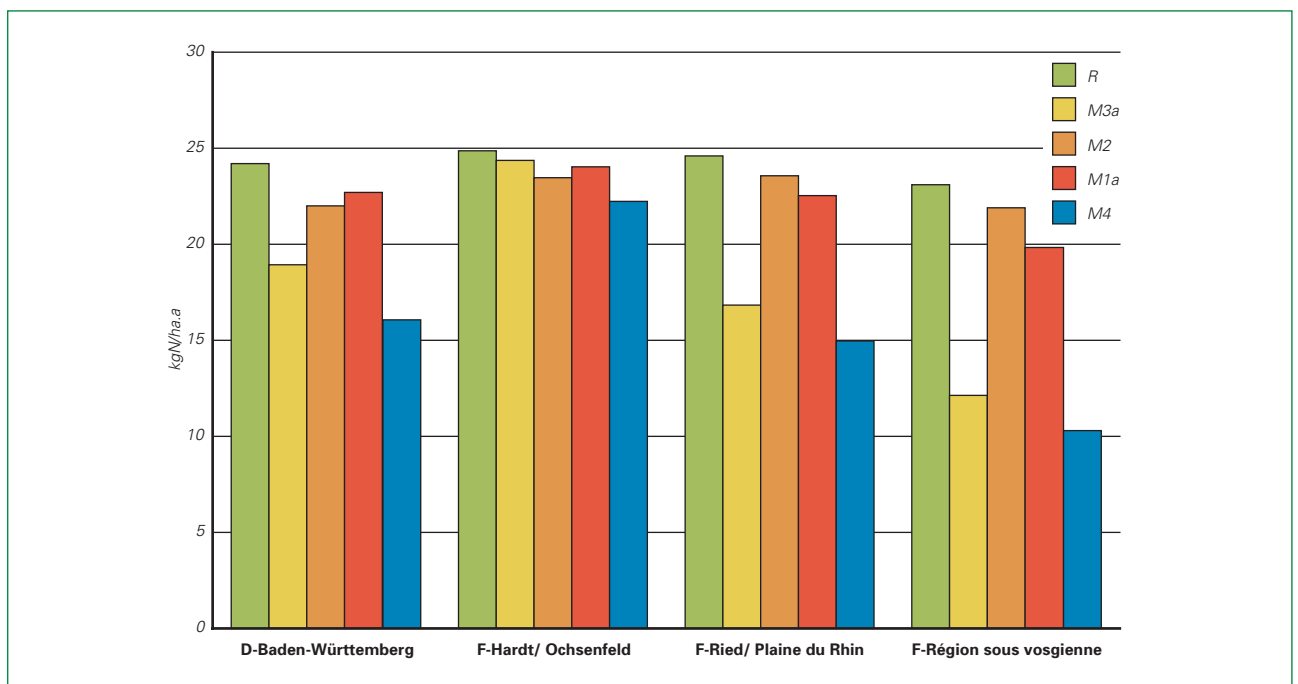


Abbildung 7.4.1: Stickstoffaustrag für die kombinierte Handlungsoption M4 nach Bewirtschaftungseinheiten.

Figure 7.4.1 : Lessivage de l'azote pour l'option d'action combinée M4 en fonction des régions agricoles

bedingt sind. Diese Handlungsoption wirkt auf die 20% der Ackerflächen, die den höchsten Stickstoffaustrag aufweisen.

### Auswirkung auf die Grundwasserqualität

Die räumliche Verteilung der Austragsreduktion führt für die Änderung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser zu einem ähnlichen Bild wie für die Reduzierung der N-Austräge (Abb. 7.4.2.b). Vor allem im Gebiet südlich von Colmar treten die deutlichsten Konzentrationsabnahmen auf.

Die näherungsweise Summation des Stickstoffaustrags führt jedoch selbstverständlich nicht zu einer entsprechenden Summation der Werte für die Indikatoren. Tabelle 7.4.1 zeigt aber, dass die Maßnahmenkombination M4 im Vergleich zu den Einzelmaßnahmen hinsichtlich der Wirksamkeit und der Beschleunigung die besten Werte erreicht. Besonders positiv zu bewerten ist die hohe Wirksamkeit hinsichtlich der Überschreitungsfläche 50

bles ayant le plus fort lessivage.

### Impact sur la qualité des eaux souterraines

La distribution spatiale de la réduction du lessivage génère une image similaire de la modification des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines (Fig. 7.4.2.b). La baisse des concentrations est surtout notable dans la zone située au sud de Colmar.

Si l'impact sur le lessivage de l'azote correspond approximativement à une addition des impacts des mesures individuelles, il est évident que les valeurs des indicateurs ne peuvent pas être additionnées. Le tableau 7.4.1 montre toutefois que la combinaison de mesures M4 atteint du point de vue de l'efficacité et de l'accélération les meilleurs résultats par rapport aux mesures individuelles. La grande efficacité vis-à-vis des surfaces de dépassement de la limite de 50

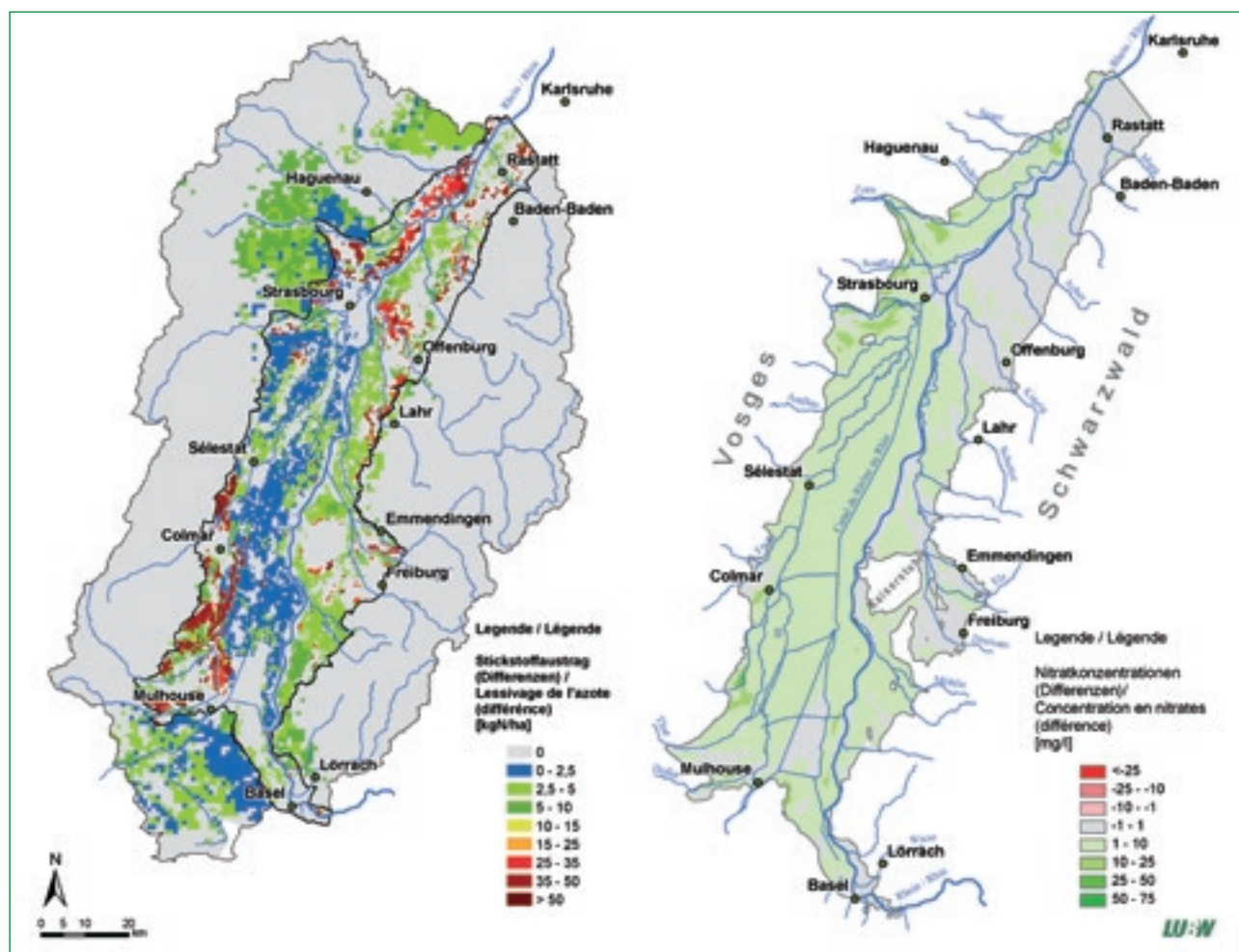


Abbildung 7.4.2.: (a) Änderung des Stickstoffaustrags (kg N/ha) aus der Bodenzone (b) Änderungen der Nitratkonzentrationen (mg/l) im Aquifer für die kombinierte Handlungsoption M4 im Vergleich zum Referenzzustand 2000

Figure 7.4.2.: (a) Modification du lessivage de l'azote (kg N/ha) (b) modification des concentrations en nitrates (mg/l) dans l'aquifère pour l'option d'action combinée M4 par rapport à l'état de référence 2000.

mg/l. Schon im Jahr 2015 würde mit dieser Kombination die Überschreitungsfläche 50 mg/l auf 11.200 ha und die Überschreitungsfläche 25 mg/l auf 33.xxx ha (entspricht 33% der Gesamtfläche) reduziert. Die Änderung des Mittelwertes erfolgt dagegen wesentlich langsamer.

mg/l est évaluée de façon particulièrement positive. Avec cette combinaison, les surfaces de dépassement de limites sont déjà réduites en 2015 à 11200 ha pour une concentration de 50 mg/l et à 33xxx ha (soit 33 % de la surface totale) pour une concentration de 25 mg/l. Par contre, la modification de la moyenne se produit plus lentement.

Tabella. 7.4.1: Indikatoren für die Maßnahmenkombination M4  
Tableau. 7.4.1 : Indicateurs pour la combinaison de mesures M4

Handlungsoption / Option d'action	M4
<b>Rückgang N-Eintrag (%) / Réduction des entrées d'azote (%)</b>	28,7
<b>Mittelwert / valeur moyenne</b>	Wirksamkeit (%) / Efficacité (%) 24,4
	Wirkungsbeschleunigung (a) / Rapidité d'actions (a) 36
<b>ÜF / SDL 50 mg/l</b>	Wirksamkeit (%) / Efficacité (%) 78,4
	Wirkungsbeschleunigung (a) / Rapidité d'actions (a) 32

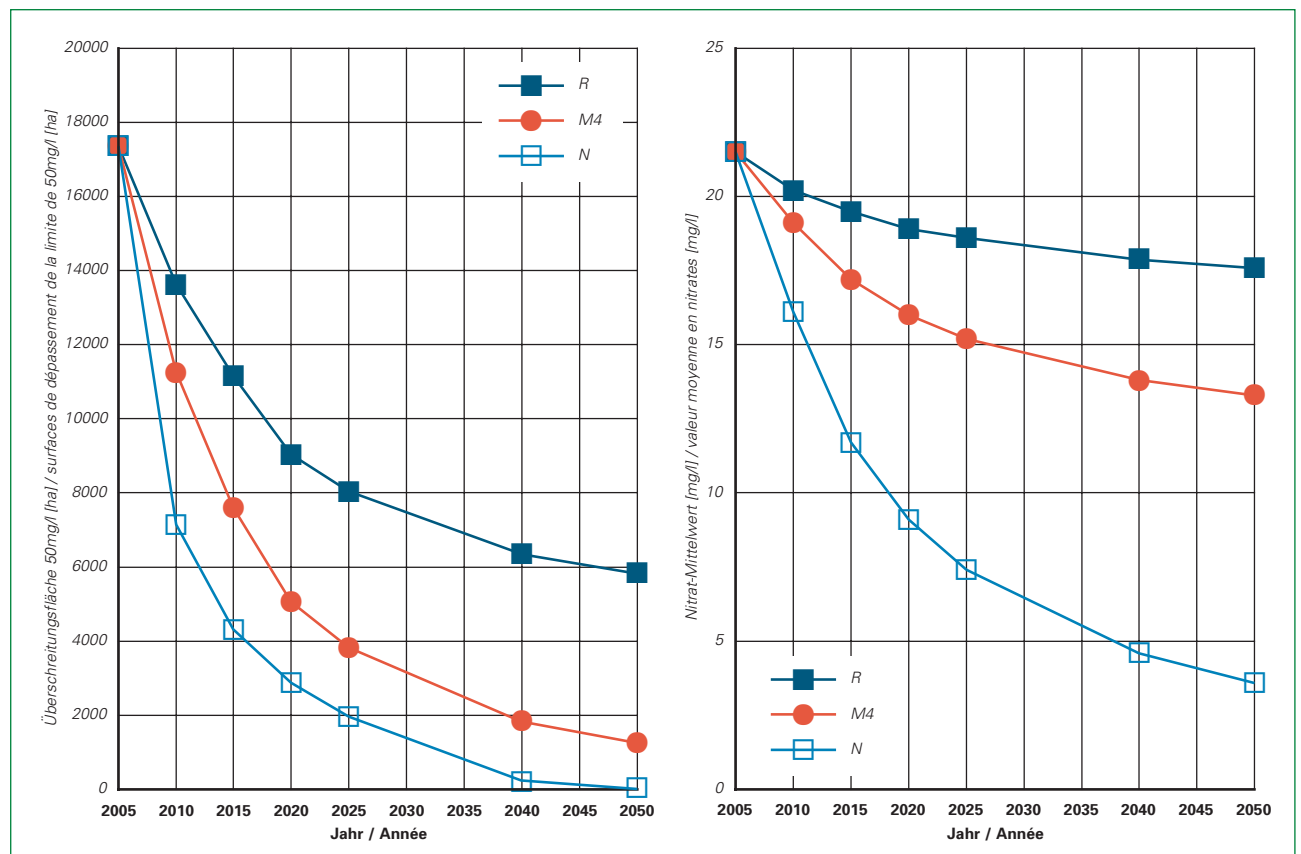


Abbildung 7.4.3: (a) Überschreitungsflächen größer 50mg/l und (b) Nitratmittelwert.

Figure 7.4.3 : (a) Surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l et (b) valeur moyenne en nitrates.

## 8 Vergleichende Bewertung der Handlungsoptionen

### 8.1 VERGLEICH DER VERSCHIEDENEN HANDLUNGSOPTIONEN

In Kap. 7 wurden die Simulationsergebnisse für die untersuchten Handlungsoptionen einzeln dargestellt und interpretiert. Hier werden nun die verschiedenen Handlungsoptionen einander gegenübergestellt und aufgezeigt, wie ihr Beitrag zur Verbesserung des Grundwasserzustands aus verschiedenen Blickwinkeln beurteilt werden kann.

Im Falle der beiden Handlungsoptionen, für die mehrere Varianten untersucht wurden, wird jeweils nur eine Variante für die vergleichende Bewertung ausgewählt: stellvertretend für die *ordnungsgemäße Düngung* (Kap. 7.1) Variante M1c, da sich diese auf Körnermais und Winterweizen bezieht, was einer Umsetzung dieser Handlungsoption in der Realität am nächsten kommt. Im Falle der *Umwandlung von Acker in Grünland* wurde die Variante M3c gewählt. Die Simulationsergebnisse in Kap. 7.3 ergaben, dass die Wirksamkeit dieses durchaus massiven Eingriffs maßgeblich durch naturräumliche Gegebenheiten beeinflusst wird. Ein besonders interessantes Ergebnis, das im Folgenden eingehender beleuchtet werden soll.

Die Auswahl der hier dargestellten Handlungsoptionen stimmt somit nicht mit der Zusammenstellung für die kombinierte Handlungsoption (Kap. 7.4) überein. Für diese wurde unter dem Gesichtspunkt maximaler Wirksamkeit die *ordnungsgemäße Düngung*, d.h. Variante M1a, und die Umwandlung der Ackerflächen mit dem höchsten Stickstoffeintrag, d.h. Variante M3a gewählt. Diese beiden Varianten werden in vorliegendem Kapitel ausschließlich in der Überblickstabelle 8.1.1 dargestellt.

#### Zeitlicher Verlauf von Mittelwert und Überschreitungsflächen

Abbildung 8.1.1 zeigt den zeitlichen Verlauf von *Mittelwert* und *Überschreitungsfläche 50mg/l* für die vier ausgewählten Handlungsoptionen. Wie gewohnt werden zusätzlich Referenzlauf und Nullvariante als obere bzw. untere Grenze der Wirksamkeit dargestellt. Die Handlungsoptionen werden im Folgenden nun hinsichtlich ihrer **Wirksamkeit**, **Wirkungsbeschleunigung** und **Effizienz** bewertet. Die ersten beiden Kriterien wurden bereits in Kap. 5 eingeführt, die Effizienz wird weiter unten in diesem Kapitel definiert.

## 8 Evaluation comparative des options d'action

### 8.1 COMPARAISON DES DIFFÉRENTES OPTIONS D'ACTION

Dans le chapitre 7, les résultats des simulations pour chaque option d'action étudiée ont été présentés et interprétés. Les différentes options d'action sont maintenant comparées, et la manière dont elles peuvent contribuer à l'amélioration de l'état des eaux souterraines est évaluée sous plusieurs angles.

Dans le cas des deux options d'action pour lesquelles plusieurs variantes avaient été étudiées, seule une variante est sélectionnée à chaque fois pour l'évaluation comparative : la variante M1c représentant la « fertilisation raisonnée » (chap. 7.1), car cette variante concerne le maïs grain et le blé d'hiver, ce qui rapproche le plus la mise en œuvre de cette option d'action de la réalité. La variante M3c a été choisie dans le cas de la « conversion de terres arables en prairies ». Les résultats des simulations dans le chapitre 7.3 ont montré que l'efficacité de cette intervention très lourde est surtout influencée par des caractéristiques du milieu physique. Il s'agit d'un résultat particulièrement intéressant, qui sera mis en lumière de façon approfondie ci-dessous.

Ainsi, la sélection des options d'action présentées ici ne coïncide pas avec celle constituant l'option d'action combinée (chap. 7.4). Pour cette combinaison, on a choisi les variantes du point de vue de l'efficacité maximale : la variante M1a pour la « fertilisation raisonnée », et la variante M3a pour la « conversion de terres arables ». Dans le présent chapitre, ces deux variantes ne sont présentées que dans le tableau de synthèse 8.1.1.

#### Evolution temporelle de la moyenne et des surfaces de dépassement de limites

La figure 8.1.1 montre l'évolution temporelle de la moyenne et de la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l pour les quatre options d'action sélectionnées. Comme d'habitude, la simulation de référence et la variante nulle sont représentées en tant que limites supérieure et inférieure de l'efficacité. Ci-dessous, les options d'action sont évaluées du point de vue de leur efficacité, de l'accélération de leur effet et de leur efficience. Les deux premiers critères ont déjà été introduits dans le chapitre 5, et l'efficience sera définie plus bas dans ce chapitre.

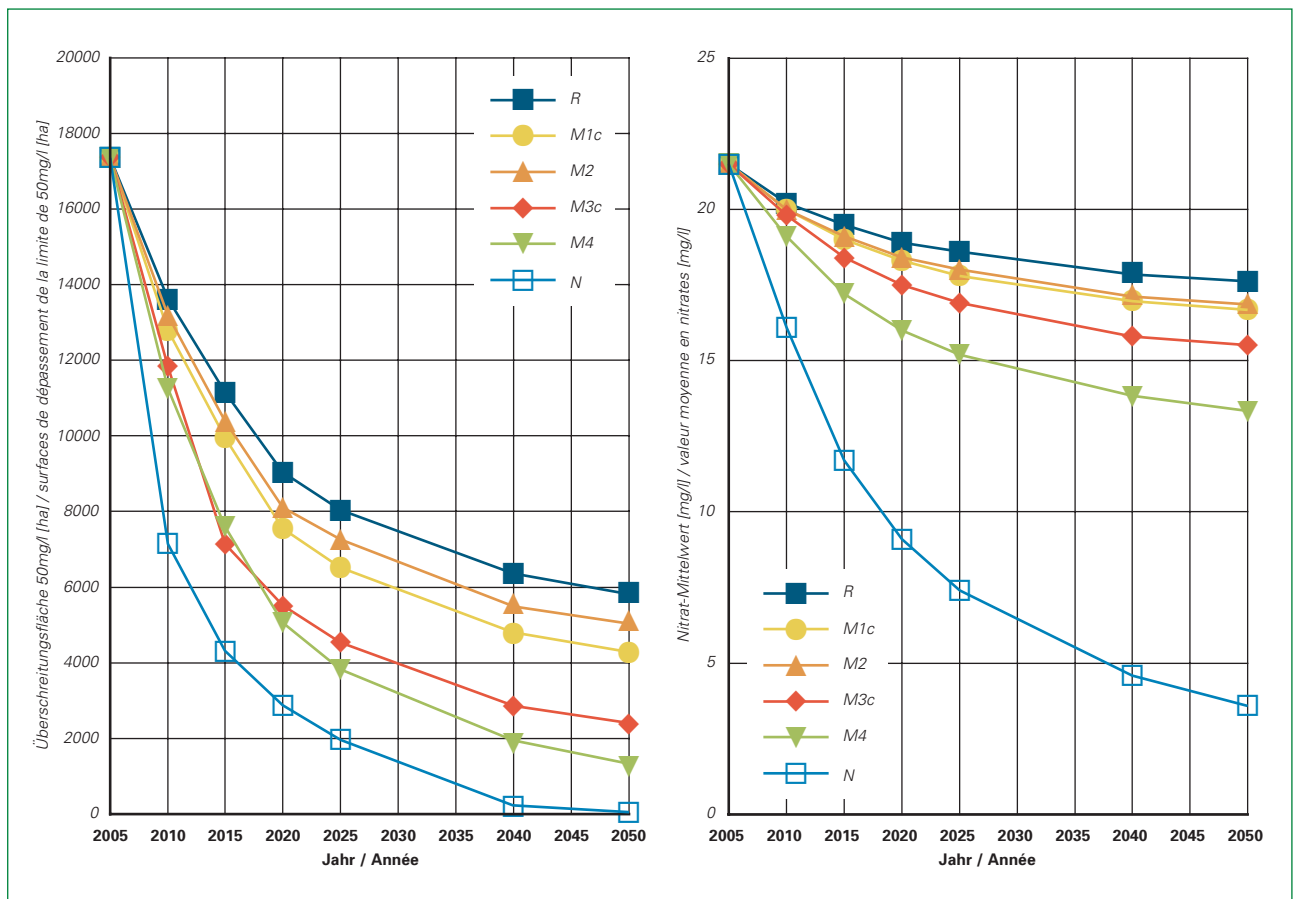


Abbildung 8.1.1: (a) Überschreitungsflächen 50mg/l und (b) Nitrat-Mittelwert für das Projektgebiet.

Figure. 8.1.1 : (a) Surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l et (b) valeur moyenne en nitrates pour la zone du projet.

## Wirksamkeit

In Abbildung 8.1.2.a fällt zunächst auf, dass die Wirksamkeiten bezüglich der *Überschreitungsfläche 50mg/l* ausgeprägter sind als bezogen auf den *Mittelwert*. Es ist mit anderen Worten leichter, den Anteil lokal auftretender Grenzwertüberschreitungen zu reduzieren als die Gesamtbelastung zu vermindern. Im Übrigen ergibt sich sowohl für den Mittelwert als auch für die Überschreitungsfläche 50mg/l die gleiche Reihenfolge der Handlungsoptionen, wenn man sie nach ihrer Wirksamkeit ordnet.

Zur Reduzierung der Überschreitungsflächen 50mg/l ist die Handlungsoption M3c, d.h. die Umwandlung von Acker in Grünland unter Berücksichtigung der naturräumlichen Gegebenheiten, deutlich wirksamer als die anderen isoliert betrachteten Handlungsoptionen. Dies ist verständlich, weil der bei der Definition von M3c verwendete Belastungsindex vor allem auf Bereiche zielte, die entweder einer hohen Belastung ausgesetzt sind oder in denen das Potenzial zum Abbau bzw. zur Verdünnung der vorhandenen Nitratbelastungen bereits voll ausgeschöpft ist. Darunter fallen natürlich in besonderem Maße Bereiche,

## Efficacité

Dans la figure 8.1.2.a, on remarque d'abord que les efficacités relatives aux surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l sont plus prononcées que celles qui sont relatives à la moyenne. En d'autres termes, il est plus facile de réduire les surfaces de dépassement de la limite (relativement localisées) que de faire baisser la pollution globale. A part cela, on obtient le même ordre des options d'action lorsqu'on les classe d'après leur efficacité selon la moyenne ou selon les surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l.

Par rapport aux autres options d'action considérées séparément, l'option d'action M3c, c'est-à-dire conversion de terres arables en prairies en fonction des caractéristiques du milieu physique, est clairement plus efficace pour la réduction des surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l. Ceci est compréhensible, car l'indice de pollution utilisé dans la définition de M3c visait surtout des zones soit exposées à une forte pollution, soit dans lesquelles le potentiel de dénitrification ou de dilution de la pollution actuelle était déjà totalement épuisé. Ceci comprend naturellement dans une très large mesure des zones dans les-



in denen der Grenzwert von 50mg/l Nitrat überschritten wird. Die anderen beiden Handlungsoptionen wirken weniger zielgerichtet, sondern in der Fläche, abhängig von den angebauten Kulturarten.

Am wirkungsvollsten ist erwartungsgemäß die kombinierte Handlungsoption. Es zeigt sich jedoch, dass sich die Wirksamkeiten mehrerer Handlungsoptionen, d.h. auch die entsprechenden Kurven aus Abbildung 8.1.1, nicht einfach summieren lassen. Dies ist besonders auffällig im Fall der Überschreitungsflächen 50mg/l: die kombinierte Handlungsoption erzielt hier eine Wirksamkeit von „nur“ 78,4%, obwohl sich die Wirksamkeiten der drei Handlungsoptionen, die ihr zugrunde liegen, zu 137% addieren. Eine Wirksamkeit von mehr als 100% suggeriert sogar, dass die Kombination der Handlungsoptionen ausreichen müsste, um Grenzwertüberschreitungen im Projektgebiet vollständig zu unterbinden. Dieser Schluss ist indessen nicht zulässig. Die räumliche Überlagerung der Handlungsoption führt an einigen Stellen zu einer besonders effektiven Verminderung der Nitratbelastung, während in manchen Bereichen die Grenzwertüberschreitungen bestehen bleiben. Aus diesem Grund ist es wichtig, bei der Umsetzung von Handlungsoptionen lokale Gegebenheiten und die räumlichen Auswirkungen explizit zu berücksichtigen.

quelles la valeur limite de 50 mg/l est dépassée. Les deux autres options d'action ciblent moins les zones concernées par une forte pollution, mais plutôt des surfaces en fonction des types de cultures.

Comme prévu, l'option d'action combinée est la plus efficace. Il apparaît cependant que les efficacités de plusieurs options d'action, c'est-à-dire aussi les courbes correspondantes de la figure 8.1.1, ne peuvent pas simplement être additionnées. Ceci est particulièrement frappant pour les surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l : l'option d'action combinée obtient ici une efficacité de 78,4 % « seulement », bien que la somme des efficacités des trois options d'action qui se trouvent à son origine atteigne 137 %. Une efficacité supérieure à 100 % suggère même que la combinaison des options d'action devrait être suffisante pour empêcher totalement l'existence de valeurs limites de dépassement dans la zone du projet. Cette conclusion n'est toutefois pas possible. La superposition spatiale des options d'action génère une réduction particulièrement efficace de la pollution par les nitrates dans certains endroits, alors que les surfaces dépassant les valeurs limites subsistent dans d'autres zones. C'est pourquoi il est important de prendre en compte explicitement les caractéristiques locales et les impacts spatiaux lors de la mise en oeuvre des options d'action.

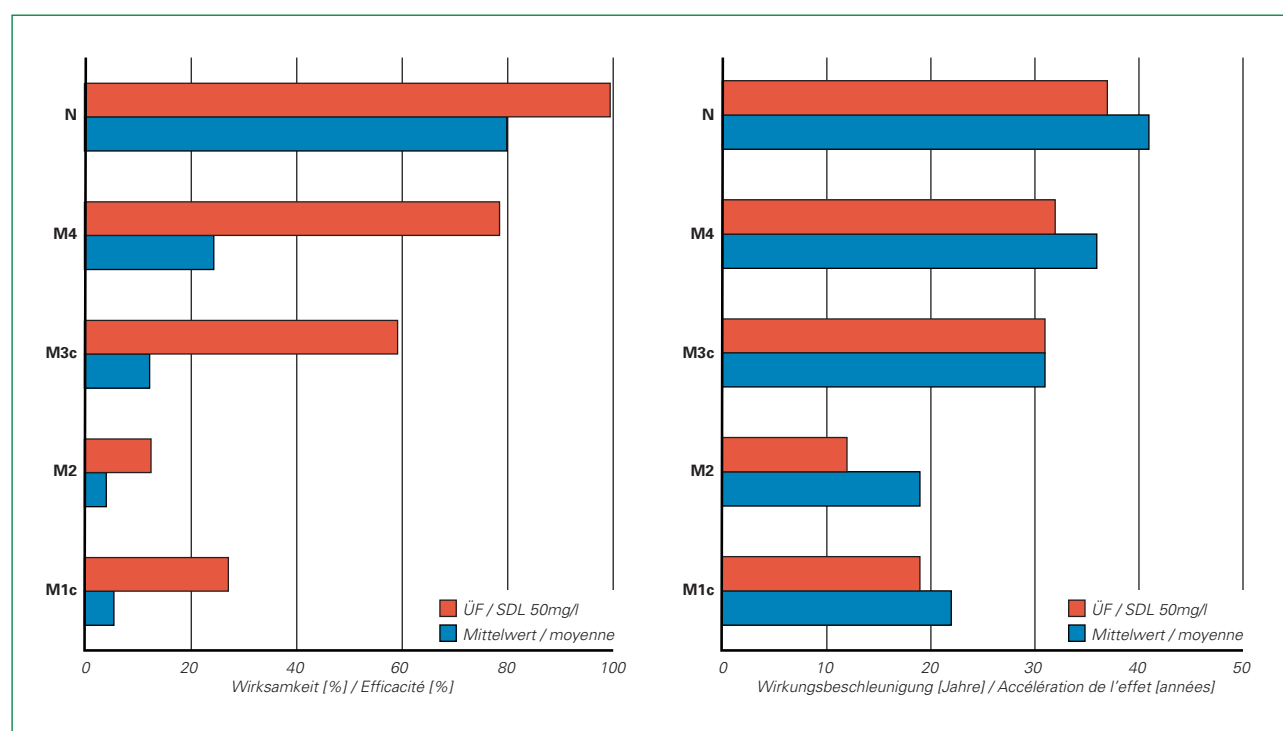


Abbildung 8.1.2: (a) Wirksamkeit und (b) Wirkungsbeschleunigung für Mittelwert und Überschreitungsfläche 50mg/l.  
Figure 8.1.2 : (a) Efficacité et (b) rapidité d'action pour la moyenne et la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l.

### Wirkungsbeschleunigung

Abbildung 8.1.2.b zeigt die Wirkungsbeschleunigung der verschiedenen Handlungsoptionen. Die Reihenfolge der Handlungsoptionen bezüglich der Wirkungsbeschleunigung entspricht der für die Wirksamkeit. Die Wirkungsbeschleunigungen sind mit Ausnahme der Handlungsoption M3c bezogen auf den Mittelwert länger als bezüglich der Überschreitungsfläche 50mg/l. Die Unterschiede zwischen den Varianten fallen nicht so markant aus. Während die Nullvariante hinsichtlich des Mittelwerts etwa um den Faktor 16 wirksamer ist als der Zwischenfruchtanbau (M2), unterscheiden sich beide Varianten in ihrer Wirkungsbeschleunigung nur um den Faktor 2.

Bezüglich der Überschreitungsfläche 50mg/l war die Kombination der Handlungsoption M3c mit 78,4% zu 59,1% durchaus überlegen. Bei der Wirkungsbeschleunigung liegen beide mit jeweils etwa 30 Jahren gleich auf. Dieser Befund entspricht der anfänglich gleichen Entwicklung der Wirksamkeit beider Handlungsoptionen in Abbildung 8.1.1.a. Trotz der prognostiziert höheren Wirksamkeit der Kombination kann mit M3c kurz- bis mittelfristig die gleiche Abnahme erzielt werden. Offensichtlich müssen sich die absolute Wirksamkeit, die häufig erst in der langen Frist erzielt werden kann, und die **Schnelligkeit**, mit der eine Handlungsoption zu Verbesserungen des Grundwasserzustands führt, nicht immer genau entsprechen. Für die Praxis ist aber genau diese Schnelligkeit ein sehr wichtiges Kriterium.

### Effizienz

Das bisher verwendete Kriterium der Wirksamkeit quantifiziert ausschließlich den Beitrag, den eine Handlungsoption zur Verbesserung des Grundwasserzustands leisten kann. Der **Aufwand**, der mit ihrer Umsetzung verbunden ist, bleibt hingegen unberücksichtigt, obwohl er in Realität natürlich eine wichtige Rolle spielt: Im Sinne der Kosten-Nutzen-Analysen von Umweltmaßnahmen gilt es, die größtmögliche Wirkung mit dem kleinstmöglichen Aufwand zu erzielen.

Dieser Aufwand wird hier in einer ersten Näherung durch die gegenüber der Referenzsituation des Jahres 2000 eingesparte Stickstoffmenge bemessen. Stellt man das erzielte Ergebnis, die Wirksamkeit, dem so quantifizierten Aufwand gegenüber, erhält man die **Effizienz** einer Handlungsoption. Genau wie die Wirksamkeit und

### Rapidité d'action

La figure 8.1.2.b montre la rapidité d'action des différentes options d'action. L'ordre des options d'action du point de vue de la rapidité d'action est identique à celui de l'efficacité. A l'exception de l'option d'action M3c, les accélérations de l'effet sont plus longues pour la moyenne que pour les surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l. Les différences entre variantes ne sont pas très marquées. Alors que la variante nulle est environ 16 fois plus efficace que le semis de cultures intermédiaires (M2) du point de vue de la moyenne, les deux variantes ne se distinguent que par un facteur 2 en ce qui concerne l'accélération de leur effet.

Du point de vue de la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l, l'option d'action combinée était largement supérieure à M3c (respectivement 78,4 % et 59,1 %). Pour l'accélération de l'effet, elles sont toutes les deux équivalentes après une trentaine d'années. Ce constat concorde avec l'évolution initiale similaire de l'efficacité des deux options d'action dans la figure 8.1.1.a. Malgré la grande efficacité simulée de la combinaison, une baisse identique peut être obtenue avec M3c à court ou moyen terme. Evidemment, l'efficacité absolue, qui ne peut souvent être obtenue qu'à long terme, et la rapidité avec laquelle une option d'action amène une amélioration de l'état des eaux souterraines, ne doivent pas correspondre exactement dans tous les cas. Dans la pratique, c'est pourtant précisément cette rapidité qui constitue un critère très important.

### Efficience

Le critère d'efficacité utilisé jusqu'à présent quantifie exclusivement la contribution possible d'une option d'action à l'amélioration de l'état des eaux souterraines. Les **dépenses** liées à sa mise en pratique ne sont au contraire pas prises en compte, alors qu'elles jouent naturellement un rôle important en réalité : selon les analyses coût-utilité des mesures environnementales, il s'agit de viser l'effet maximal combiné aux dépenses minimales.

Ces dépenses sont mesurées ici en première approximation par la quantité d'azote économisée par rapport à la situation de référence de l'année 2000. Si l'on compare le résultat visé, c'est-à-dire l'efficacité, avec les dépenses quantifiées, on obtient l'**efficience** d'une option d'action. Tout comme l'efficacité et l'accélération de l'effet,

die Wirkungsbeschleunigung, bezieht sich auch die Effizienz immer auf einen bestimmten Indikator. Das Vorgehen ist am leichtesten nachzuvollziehen, wenn man von zwei Handlungsoptionen ausgeht, die beispielsweise zur gleichen Reduktion der Überschreitungsfläche 50mg/l führen, d.h. hinsichtlich dieses Indikators die gleiche Wirksamkeit haben. Effizienter ist nun die Maßnahme, die mit einer geringeren Reduzierung des Nitratreintrags auskommt. Da diese Maßnahme aber nicht zwangsläufig auch mit den geringeren Kosten verbunden sein muss, darf die hier definierte Effizienz nicht mit der **Kosteneffizienz** im ökonomischen Sinne verwechselt werden.

Die genaue Definition der Effizienz lautet folgendermaßen:

- **Effizienz [-]**: Division der Wirksamkeit [%] bezüglich des Mittelwertes oder der Überschreitungsfläche 50mg/l durch die Abnahme des Stickstoffeintrags [%] für eine bestimmte Handlungsoption. Nimmt die Effizienz genau den Wert 1 an, so entsprechen sich die Veränderungen von Stickstoffeintrag und Indikator. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Handlungsoption mit einer 20%igen Abnahme des Stickstoffeintrags verbunden ist und die Simulation mit dem Grundwassermodell gleichermaßen eine 20%ige Verminderung beispielsweise der Überschreitungsfläche 50mg/l ergibt. Folglich bedeuten Effizienzen größer

l'efficiency concerne toujours un indicateur donné. La méthode est la plus facile à comprendre si l'on part de deux options d'action, qui génèrent à titre d'exemple la même réduction des surfaces de dépassement de la limite de 50 mg/l, c'est-à-dire qui ont du point de vue de cet indicateur la même efficacité. La mesure la plus efficiente est maintenant celle pour laquelle la réduction des entrées de nitrates (lessivage) est la plus faible. Cette mesure n'étant pas nécessairement liée à des coûts financiers réduits, l'efficiency définie ici ne doit pas être confondue avec l'**efficiency financière** du point de vue économique.

La définition précise de l'efficiency est la suivante :

- **Efficiency [-]** : rapport entre l'efficacité [%] relative à la moyenne ou à la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l et la réduction des entrées de nitrates [%] pour une option d'action donnée. Lorsque l'efficiency est précisément égale à 1, les modifications des entrées de nitrates correspondent à celles de l'indicateur. Ceci est par exemple le cas lorsqu'une option d'action conduit à une réduction de 20 % des entrées de nitrates et que la simulation à l'aide du modèle des eaux souterraines aboutit également à une diminution de 20 %, de la surface de dépassement de la limite par exemple. Par conséquent, les efficiencies supérieures

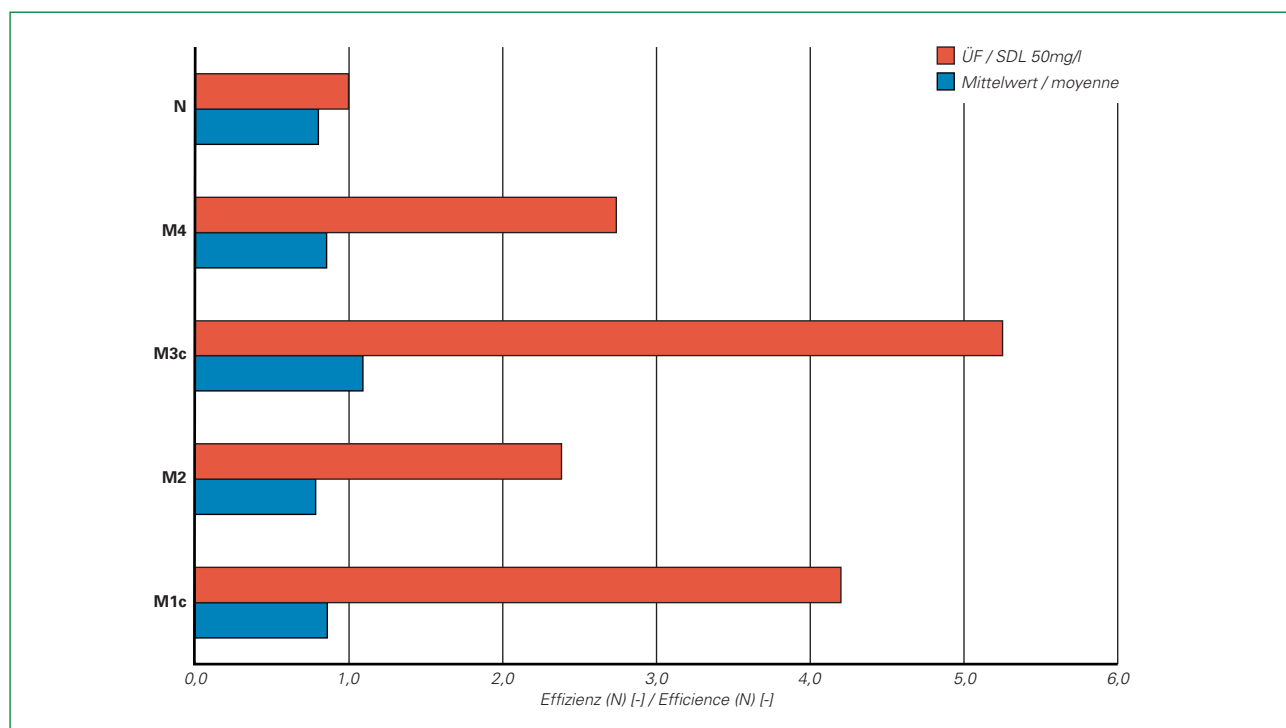


Abbildung 8.1.3: Effizienz der verschiedenen Handlungsoptionen.

Figure 8.1.3 : Efficiency des différentes options d'action.

ßer (kleiner) 1, dass die Veränderung des Indikators stärker (schwächer) ausfällt, als die entsprechende Veränderung des Stickstoffeintrags.

Ähnlich wie im Fall der Wirksamkeit (Abb. 8.1.2.a) und aus den gleichen Gründen liegen in Abbildung 8.1.3 die Effizienzen bezüglich der Überschreitungsflächen 50mg/l systematisch über denen bezüglich des Mittelwerts. Im Gegensatz zur Wirksamkeit, führt die Einbeziehung des Aufwands in die Betrachtung jedoch zu bemerkenswerten Veränderungen des Gesamtbildes.

Hinsichtlich des **Mittelwerts** unterscheiden sich die untersuchten Varianten in ihrer Effizienz nur wenig. Es ergeben sich durchweg Werte zwischen 0,8 und 1,1. Da der Mittelwert naturgemäß einen engen Zusammenhang mit dem Gesamteintrag aufweist, entspricht ein Wert nahe 1 durchaus den Erwartungen. Die Wirkung der Altlast (vgl. Kap. 5) führt bei fast allen untersuchten Handlungsoptionen und sogar der Nullvariante zu Effizienzen kleiner 1. Die einzige Handlungsoption, die verglichen mit der Reduzierung des gesamten Stickstoffeintrags zu einer überproportionalen Abnahme des Mittelwertes führt, d.h. eine Effizienz größer 1 erzielt ist Variante c der Umwandlung von Acker in Grünland (M3c).

Da die **Überschreitungsfläche 50mg/l** sich als Indikator auf die Extremwerte der Nitratverteilung im Untersuchungsgebiet bezieht (vgl. Kap. 5), spricht sie grundsätzlich stärker auf die räumliche Verteilung der Wirkung einer Handlungsoption an. Dies führt dazu, dass die Effizienz hinsichtlich der Überschreitungsflächen 50mg/l zum einen größere Werte annimmt als die Effizienz bezüglich des Mittelwerts und zum anderen von einer Handlungsoption zur nächsten stärker variiert. Es fällt auf, dass sich die „Favoriten“ der bislang betrachteten Kriterien, die hypothetische Nullvariante und die Kombination, im Vergleich mit den anderen Handlungsoptionen als weniger effizient erweisen. Das wird verständlich, wenn man von der hypothetischen Nullvariante ausgeht, die infolge der vollständigen Unterbindung des Stickstoffeintrags selbstverständlich die maximale Wirksamkeit erzielt. Die niedrige Effizienz verdeutlicht indessen, dass auch der damit verbundene Aufwand enorm ist. Eine völlige Vermeidung des anthropogenen Stickstoffeintrags ist unter Effizienzgesichtspunkten nicht optimal. Am effizientesten erweist sich Handlungsoption M3c dicht gefolgt von der ordnungsgemäßen Düngung (M1c) und dem Zwischenfruchtanbau (M2).

(*inférieures*) à 1 signifient que les modifications de l'indicateur sont plus fortes (plus faibles) que la modification correspondante des entrées de nitrates.

Comme dans le cas de l'efficacité (Fig. 8.1.2.a) et pour des raisons identiques, les efficacités présentées dans la figure 8.1.3 sont toujours plus élevées pour la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l que pour la moyenne. Contrairement à l'efficacité, la prise en compte des dépenses conduit à des modifications considérables de l'image globale.

L'efficience des variantes étudiées varie peu du point de vue de la **moyenne**. Les valeurs se situent entre 0,8 et 1,1. La moyenne étant naturellement en rapport étroit avec les entrées globales, une valeur proche de 1 correspond tout à fait aux attentes. L'effet de la pollution historique (cf. chap. 5) engendre pour toutes les options d'action étudiées, et même pour la variante nulle, une efficience inférieure à 1. L'unique option d'action qui, comparée à la réduction des entrées d'azote globales, génère une diminution proportionnellement plus importante de la moyenne, c'est-à-dire une efficience supérieure à 1, est la variante c de « conversion de terres arables en prairies » (M3c).

En tant qu'indicateur, la **surface de dépassement de la limite de 50 mg/l** se concentre sur les valeurs extrêmes de la distribution des nitrates dans la zone d'étude (cf. chap. 5) et réagit en principe plus fortement à la distribution spatiale de l'effet d'une option d'action. Il en résulte que l'efficience relative à la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l prend une valeur supérieure à l'efficience relative à la moyenne, et varie plus fortement d'une option d'action à l'autre. On remarque que les « favoris » des critères considérées jusqu'à présent, c'est-à-dire la variante nulle hypothétique et la combinaison, apparaissent moins efficients que les autres options d'action. Ceci est compréhensible lorsqu'on se fonde sur la variante nulle hypothétique, qui atteint naturellement l'efficacité maximale par l'arrêt total des entrées d'azote. La faible efficience indique cependant que les dépenses liées à cette variante sont énormes. Du point de vue de l'efficience, le fait d'éviter totalement les entrées d'azote d'origine anthropique n'est pas optimal. L'option d'action la plus efficiente est M3c, directement suivie de la fertilisation raisonnée (M1c) et du semis de cultures intermédiaires (M2).

Tabelle 8.1.1: Wirksamkeit, Wirkungsbeschleunigung und Effizienz aller untersuchten Handlungsoptionen.

Tableau 8.1.1 : Efficacité, rapidité d'action et efficacité de toutes les options d'action étudiées.

Handlungsoption / Option d'action		M1a	M1b	M1c	M2	M3a	M3b	M3c	M4	R	N	
<b>Rückgang N-Eintrag / Réduction des entrées d'azote</b>	[%]	6,1	13,5	6,5	5,3	21,0	18,4	11,3	28,7	9,8	100,0	
<b>Mittelwert / Moyenne</b>	<b>Wirksamkeit / Efficacité</b>	[%]	5,3	11,5	5,6	4,1	18,5	16,0	12,3	79,8	9,1	79,8
	<b>Effizienz / Efficience</b>	[-]	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	1,1	0,8	0,9	0,8
	<b>Wirkungsbeschleunigung / Rapidité d'action</b>	[a]	22	30	22	19	33	33	31	41	-	41
<b>ÜF 50mg/l / SDL 50 mg/l</b>	<b>Wirksamkeit / Efficacité</b>	[%]	26,7	59,1	27,2	12,6	57,0	57,0	59,1	99,2	40,1	99,2
	<b>Effizienz / Efficience</b>	[-]	4,4	4,4	4,2	2,4	3,1	3,1	5,2	1,0	4,1	1,0
	<b>Wirkungsbeschleunigung / Rapidité d'action</b>	[a]	21	28	19	12	30	30	31	37	-	37

## Fazit

Hinsichtlich aller Kriterien hat die Handlungsoption Umwandlung von Acker in Grünland unter Berücksichtigung naturräumlicher Gegebenheiten (M3c) überdurchschnittlich gut abgeschnitten. Regionale Charakteristika wie reduzierende Verhältnisse im Grundwasser oder die verdünnende Wirkung von Oberflächengewässern sollten bei der zielgerichteten Entwicklung und Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt werden um die bestmögliche Wirksamkeit zu erzielen.

Es gibt unterschiedliche Zielsetzungen hinsichtlich derer Handlungsoptionen bewertet werden können. Am offensichtlichsten ist die Beurteilung der Wirksamkeit einer Maßnahme. Hier schneidet erwartungsgemäß die Kom-

## Bilan

Par rapport à l'ensemble des critères, l'option d'action « conversion de terres arables en prairies en prenant en compte les caractéristiques du milieu physique » (M3c) avait obtenu des résultats supérieurs à la moyenne. Des caractéristiques régionales telles que des conditions réductrices dans les eaux souterraines ou l'effet de dilution des eaux superficielles devraient être pris en compte lors du développement et de la mise en pratique de mesures de protection afin de viser la meilleure efficacité possible.

Les options d'action peuvent être évaluées dans l'optique de différents buts. La plus évidente réside dans l'évaluation de l'efficacité d'une mesure. Comme prévu, c'est dans ce cas la combinaison de plusieurs options d'action

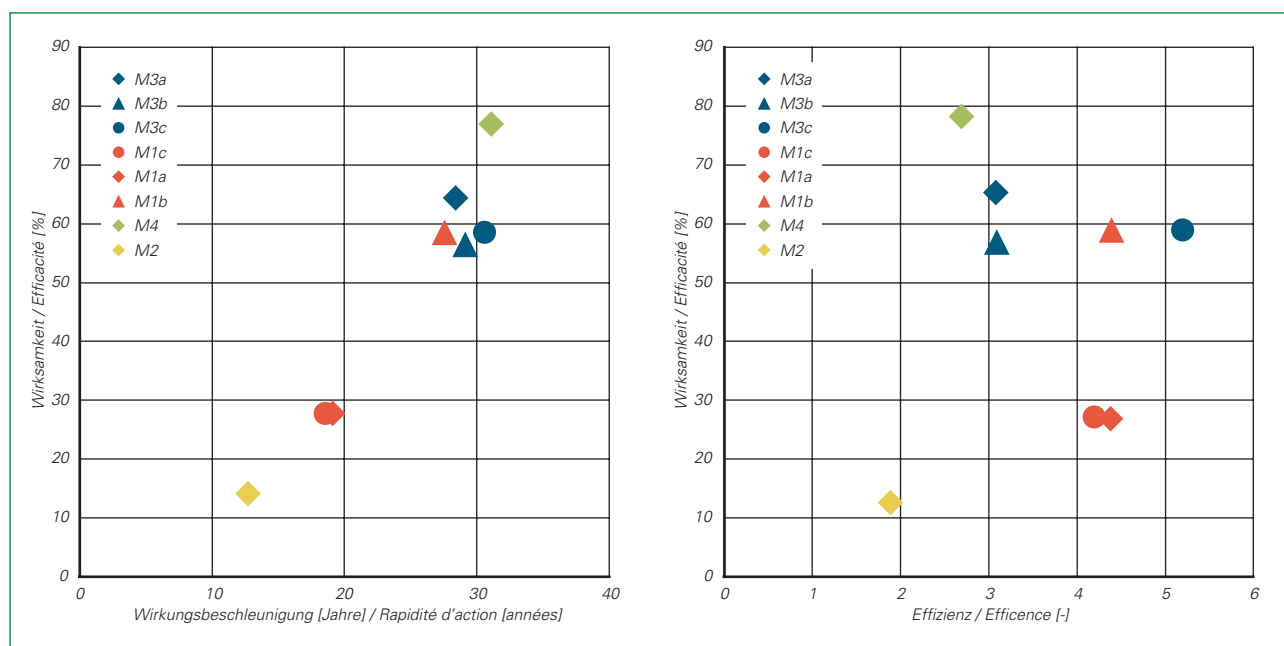


Abbildung 8.1.4: Auftragung (a) der Wirkungsbeschleunigung bzw. (b) der Effizienz gegen die Wirksamkeit für alle untersuchten Handlungsoptionen bezogen auf die Überschreitungsfäche 50mg/l.

Figure 8.1.4 : Application (a) de la rapidité d'action ou (b) de l'efficacité par rapport à l'efficacité pour toutes les options d'action, basée sur la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l.

bination mehrerer Handlungsoptionen am besten ab. Die Situation kann es jedoch erfordern, das besondere Augenmerk auf die Schnelligkeit zu richten, mit der eine Maßnahme zu Verbesserungen führt (Abb. 8.1.4.a) oder den Aufwand zu berücksichtigen, der mit ihrer Umsetzung einhergeht (Abb. 8.1.4.b). Insbesondere im letzten Fall zeigt sich, dass die wirksamste durchaus nicht die effizienteste Maßnahme sein muss. In der Tat erweisen sich die lokale Umwandlung von Acker in Grünland (M3c) und die flächenhafte Umsetzung der ordnungsgemäßen Düngung (M1c) als am effizientesten. Im Umweltschutz sollte von Fall zu Fall abgewogen werden, ob die Wirksamkeit oder die Effizienz als Kriterium zur Priorisierung von Handlungsoptionen zu verwenden ist. Soll ein bestimmtes Ziel unter allen Umständen erreicht werden, ist von der Wirksamkeit einer Maßnahme auszugehen. Besteht hingegen ein begrenztes Budget zur Verfügung, sei es in Form vermiedener Stickstoffeinträge oder finanzieller Mittel, spielt die Effizienz, d.h. die Überlegung wie damit die größtmögliche Wirkung zu erzielen ist, die entscheidende Rolle.

- Räumliche Wirkungsweise und vorhandene Wechselwirkung erfordern, wie die Untersuchung der Kombination gezeigt hat, die simultane Untersuchung der Wirkung verschiedener Handlungsoptionen mit einem einheitlichen Modellsystem.

## 8.2 BEWERTUNG DES ALTERNATIVSZENARIOS

Bisher wurde gesondert betrachtet, wie sich Handlungsoptionen zum Grundwasserschutz (Kap.7) und auf regionaler Ebene nur schwer beeinflussbare politische und wirtschaftliche Faktoren (Kap.6) auf die Grundwasserqualität auswirken. Für eine längerfristige Planung ist es besonders wichtig, auch das zukünftige Potenzial bestimmter Handlungsoptionen vor dem Hintergrund des sich verändernden Landwirtschaftssektors im Oberrheingraben abschätzen zu können, d.h. die Simulation von Handlungsoptionen und Szenarien zu verbinden. Bereits die Diskussion der Wirksamkeit der kombinierten Handlungsoption (Kap. 8.1) hat gezeigt, dass sich die Wirkungen verschiedener Handlungsoption nicht einfach summieren lassen. Gleiches gilt für die Ergebnisse von Szenarien und Handlungsoptionen.

Das hier untersuchte Alternativszenario (vgl. Kap.3) entsteht durch die Kombination des Tendenzszenarios

qui est la meilleure. La situation peut cependant nécessiter de prêter une attention particulière à la rapidité avec laquelle une mesure amène une amélioration (Fig. 8.1.4.a) ou à considérer les dépenses inhérentes à sa mise en pratique (Fig. 8.1.4.b). Dans le dernier cas en particulier, il apparaît que la mesure la plus efficace n'est pas nécessairement la plus efficiente. En réalité, la conversion locale de terres arables en prairies (M3c) et la mise en œuvre généralisée de la fertilisation raisonnée (M1c) se montrent les plus efficaces. Dans le cadre de la protection de l'environnement, on devrait peser au cas par cas si l'efficacité ou l'efficience devrait être utilisée pour la définition des priorités des options d'action. Si un but donné doit être atteint quelles que soient les circonstances, il faut alors utiliser l'efficacité d'une mesure. Si au contraire le budget disponible est limité, que ce soit sous la forme d'entrées d'azote évitées ou de moyens financiers, c'est l'efficience, c'est-à-dire la réflexion sur la manière dont l'effet maximal peut être atteint, qui jouera le rôle décisif.

- Comme l'a montré l'étude des combinaisons, les modes d'action spatiaux et les interactions en jeu nécessitent l'étude simultanée de l'effet de différentes options d'action avec un système de modèles unique.

## 8.2 EVALUATION DU SCÉNARIO ALTERNATIF

Jusqu'à présent, on a évalué séparément la manière dont les options d'action agissaient sur la protection des eaux souterraines (chap. 7) et dont des facteurs politiques et économiques difficiles à influencer au niveau régional influençaient la qualité des eaux souterraines (chap. 6). Pour une gestion à plus long terme, il est particulièrement important de pouvoir estimer également le potentiel futur d'options d'action données dans le contexte de la modification du secteur agricole dans la vallée du Rhin Supérieur, c'est-à-dire de lier la simulation d'options d'action et de scénarios. La discussion sur l'efficacité de l'option d'action combinée (chap. 8.1) avait déjà montré que l'effet de différentes options d'action ne pouvait pas être simplement additionné. Ceci s'applique également aux résultats des scénarios et des options d'action.

Le scénario alternatif étudié ici (cf. chap. 3) provient de la combinaison du scénario tendanciel (cf. chapitres 3.2

(vgl. Kap. 3.2 und 5), d.h. der wahrscheinlichsten Entwicklung für den Landwirtschaftssektor im Projektgebiet bis zum Jahr 2015, mit der Handlungsoption „Zwischenfruchtanbau“ (vgl. Kap.6.3). Die Untersuchung dieser Kombination ist besonders interessant, weil das sozioökonomische Modul im Fall des Tendenzszenario den deutlichen Rückgang der Maisflächen zugunsten verschiedener Getreidesorten wie Winterweizen und auf deutscher Seite auch Sommergetreide (Tab. 8.2.1) prognostiziert. Die Umsetzung mit den Modellen entspricht genau der Vorgehensweise bei der Simulation des Zwischenfruchtanbaus (Kap. 7.2), mit dem Unterschied, dass nicht die Kulturartenverteilung der Referenzsituation 2000 zugrunde gelegt wird, sondern die des Tendenzszenarios.

et 5), c'est-à-dire l'évolution la plus probable du secteur agricole dans la zone du projet jusqu'à l'année 2015, avec l'option d'action « semis de cultures intermédiaires » (cf. chap. 6.3). L'étude de cette combinaison est particulièrement intéressante car le modèle socio-économique simule dans le cas du scénario tendanciel un net recul des surfaces de maïs au profit de diverses céréales telles que le blé d'hiver, et également de céréales d'été côté allemand (Tab. 8.2.1). La mise en œuvre par le modèle est identique à la méthode suivie pour la simulation du semis de cultures intermédiaires (chap. 7.2), à la différence que ce n'est pas l'assolement de la situation de référence 2000 qui sert de base, mais l'assolement correspondant au scénario tendanciel.

Tabelle 8.2.1: Zu- und Abnahmen hinsichtlich des Zwischenfruchtanbaus relevanter Kulturen in der Agrarstatistik des Projektgebiets.

Tableau 8.2.1 : Augmentation et diminution des statistiques des cultures permettant la mise en place d'une culture intermédiaire par la suite dans la zone du projet.

	Baden-Württemberg / Bade Wurtemberg		Elsass / Alsace	
	[% der LF] / [de la SAU]	[ha]	[% der LF] / [% de la SAU]	[ha]
<b>Körnermais / Maïs grain</b>	-7,6	-5.091	-30,8	-56.637
<b>Winterweizen / Blé d'hiver</b>	0,3	217	27,4	50.246
<b>Sommergetreide / Céréales d'été</b>	5,9	3.976	0,0	0

Der Vergleich der Differenzkarten in Abbildung 8.2.1 lässt keinen Zweifel, dass das Alternativszenario bezüglich der Reduktion des Stickstoffeintrags wesentlich wirkungsvoller ist, als der Zwischenfruchtanbau vor dem Hintergrund der Agrarstruktur der Referenzsituation 2000. Die deutlicheren Veränderungen der Kulturartenverteilung auf elsässischer Seite (vgl. Abb. 5.3.3 und Tab.7.1) schlagen sich auch in einem stärkeren und vor allem flächenhafteren Rückgang der Nitratkonzentration im Grundwasserleiter nieder.

Offensichtlich ist das Alternativszenario sowohl hinsichtlich der Mittelwerte als auch der Überschreitungsflächen 50mg/l deutlich wirksamer als der Zwischenfruchtanbau bei der heutigen Kulturartenverteilung (Tab. 8.2.2). Die Wirksamkeiten zeigen die **positive Wechselwirkung** von Zwischenfruchtanbau und Tendenzszenario besonders deutlich. Hinsichtlich des Mittelwerts liegt die Wirksamkeit des Alternativszenarios etwa 50% über der Summe der Wirksamkeiten, die Tendenzszenario und Zwischenfruchtanbau getrennt betrachtet erzielen.

La comparaison des cartes de différences dans la figure 8.2.1 ne laisse aucun doute sur le fait que l'assolement du scénario alternatif est largement plus efficace du point de vue de la réduction des entrées de nitrates par le biais de la mise en place des cultures intermédiaires que l'assolement de la situation de référence 2000. Les modifications plus fortes de l'assolement côté alsacien (cf. Fig. 5.3.3 et Tab. 7.1) s'expriment également dans le sens d'un recul plus important, et concernant surtout des surfaces plus étendues, des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines.

Indiscutablement, le scénario alternatif est clairement plus efficace que le semis de cultures intermédiaires pour l'assolement actuel, tant du point de vue de la moyenne que de la surface de dépassement de la limite de 50 mg/l (Tab. 8.2.2). Les efficacités illustrent très clairement les interactions positives du semis de cultures intermédiaires et du scénario tendanciel. En ce qui concerne la moyenne, l'efficacité du scénario alternatif est supérieure d'environ 50 % à la somme des efficacités atteintes séparément par le scénario tendanciel et le semis de cultures intermédiaires.

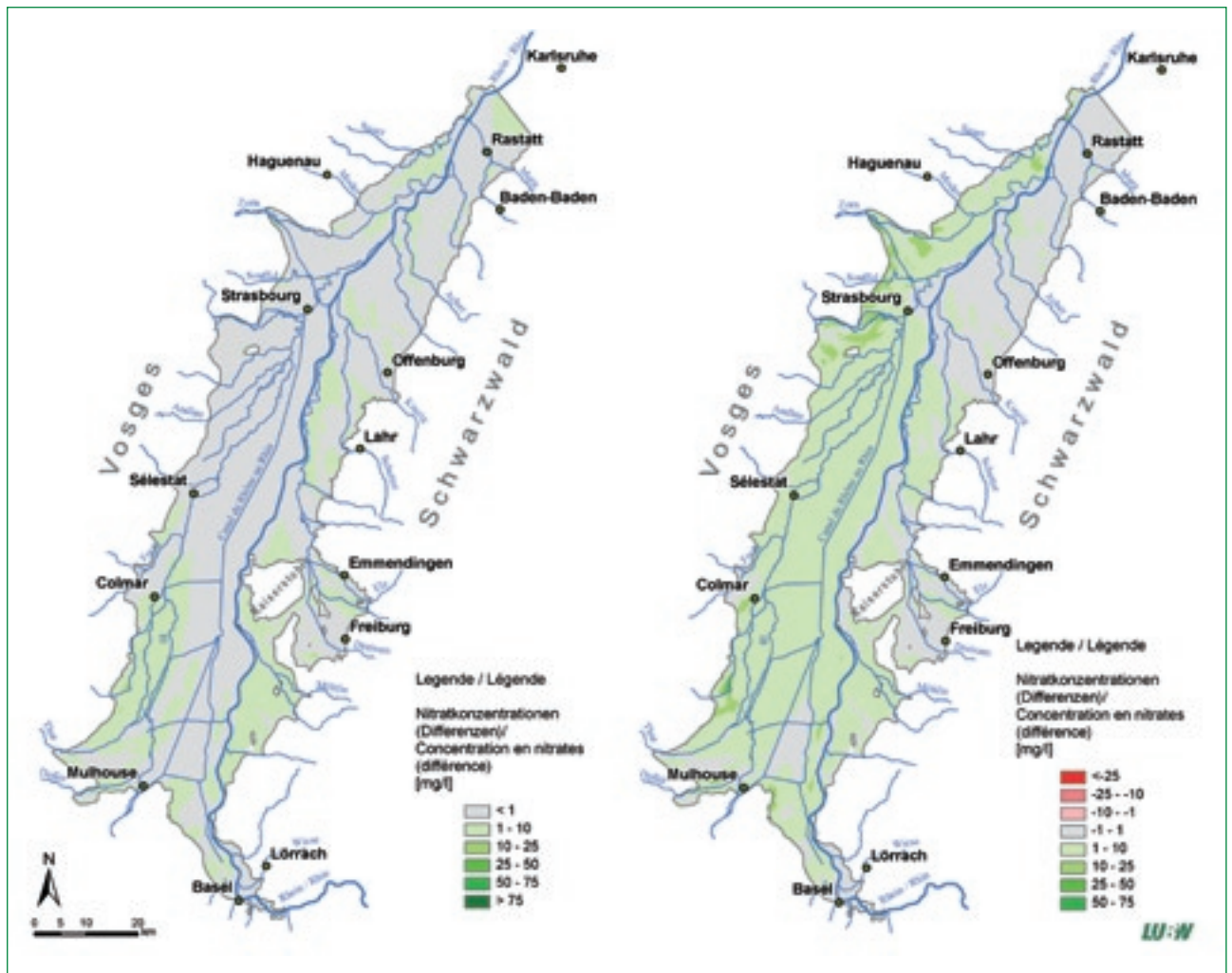


Abbildung 8.2.1: Differenzkarten der Nitratkonzentrationen für (a) die Handlungsoption „Zwischenfruchtanbau“ und (b) das Alternativszenario.  
 Figure 8.2.1 : Cartes de différences des concentrations en nitrates pour (a) l'option d'action « semis de cultures intermédiaires » et (b) le scénario alternatif.

Tabelle 8.2.2: Wirksamkeit und Effizienz für Alternativ- und Tendenzszenario sowie Handlungsoption M2

Tableau 8.2.2 : Efficacité et efficence pour les scénarios alternatif et tendanciel ainsi que pour l'option d'action M2.

		M2	TM2	T
<b>Rückgang N-Eintrag [%] / Réduction des entrées d'azote</b>		5,3	19,7	9,8
<b>Mittelwert / Moyenne</b>	<b>Wirksamkeit / Efficacité [%]</b>	4,1	17,4	7,6
	<b>Effizienz / Efficence [-]</b>	0,8	0,9	0,8
<b>ÜF 50mg/l / SDL 50 mg/l</b>	<b>Wirksamkeit / Efficacité [%]</b>	12,6	55,1	40,1
	<b>Effizienz / Efficence [-]</b>	2,4	2,8	4,1



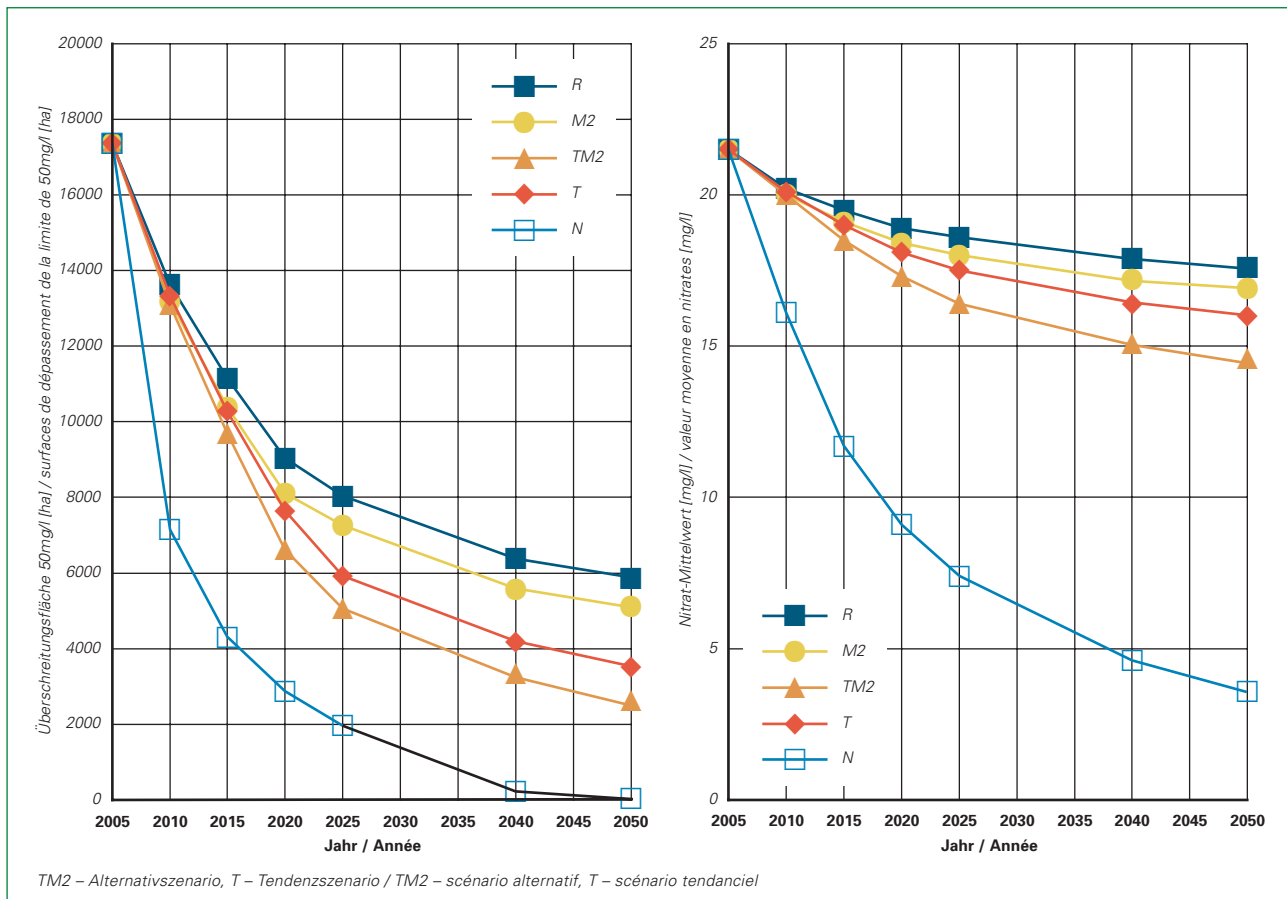


Abbildung 8.2.2: (a) Überschreitungsflächen 50mg/l und (b) mittlere Konzentration für die Handlungsoption „Winterzwischenfruchtanbau“ sowie das Alternativ- und Tendenzszenario.

Figure 8.2.2 : (a) Surface de dépassement de la limite de 50 mg/l et (b) concentration moyenne pour l'option d'action « cultures intermédiaires d'hiver » ainsi que pour les scénarios alternatif et tendanciel.

### Fazit

Die Entwicklungen der nächsten Jahre im Landwirtschaftssektor müssen bei der Bewertung von Handlungsoptionen berücksichtigt werden, um das mittelfristige Potenzial richtig abschätzen zu können. Aus Zeitgründen konnte im Projekt nur ein Alternativszenario untersucht werden. So konnte gezeigt werden, dass die Bedeutung des „Zwischenfruchtanbaus“ vor dem Hintergrund der durch das Tendenzszenario prognostizierten Änderungen der Agrarstruktur im Oberrheingraben in den nächsten Jahren deutlich zunehmen wird.

### Bilan

Les évolutions du secteur agricole au cours des prochaines années doivent être prises en compte lors de l'évaluation des options d'action, afin de pouvoir estimer correctement leur potentiel à moyen terme. Pour des raisons de temps, seul un scénario alternatif a pu être étudié au cours du projet. On a ainsi pu montrer que l'importance du « semis de cultures intermédiaires » augmenterait nettement au cours des prochaines années, dans le contexte des modifications de l'assolement dans la vallée du Rhin Supérieur simulées avec le scénario tendanciel.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

### 9.1 ZUSAMMENFASSUNG

Eines der Projektziele war es, die Eignung des Modellsystems als Hilfsmittel für Entscheidungsunterstützungen zu prüfen.

Das Modellsystem mit Modulen aus verschiedenen Disziplinen sowie die Einbindung von Erfahrungswerten und Expertenwissen hat es ermöglicht, den Ist-Zustand (räumliche Verteilung der Nitrat-Konzentrationen) und Trends der Nitrat-Belastung in guter Übereinstimmung mit Messungen zu reproduzieren. Dabei war die Zusammenführung von Modellbausteinen, Erfahrungswerten, Versuchsergebnissen und Expertenwissen aus den beteiligten Ländern eine wesentliche Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz des Modellsystems.

Durch die Zusammenführung der Datenbestände wurde in den beteiligten Regionen eine vergleichbare Datenbasis geschaffen, die eine künftige Zusammenarbeit erleichtert. Die Einflüsse der Verdünnung (Randzustrom, Uferfiltrat) und der Denitrifikation verdeutlichen die Notwendigkeit einer integrierten Betrachtung landwirtschaftlicher, hydrologischer und hydrochemischer Aspekte im Unterschied z. B. gegenüber reinen Bilanzbetrachtungen.

Auf der Basis der validierten Modelle werden Prognosen zum Einfluss verschiedener Faktoren auf die voraussichtliche Entwicklung der Nitratbelastung des Grundwasservorkommens im Oberrheingraben gemacht.

Mit Hilfe der Modelle kann das Reduktionspotenzial verschiedener Maßnahmen abgeschätzt werden, es werden aber keine Aussagen über die Instrumente zur Umsetzung der Maßnahmen gemacht.

Sonderkulturen konnten im Projekt wegen des pauschalen Ansatzes des Bilanzmodells nicht adäquat berücksichtigt werden, z. B. sind Belastungen in der Ortenau und der Randzufluss nördlich von Sélestat nicht zufrieden stellend wiedergegeben. Für den gesamten N-Austrag sind die Abweichungen wegen des geringen Flächenanteils der Sonderkulturen aber von untergeordneter Bedeutung.

Da sich das Modellsystem insgesamt bewährt hat, ist es für eine weitere Nutzung geeignet.

#### **Bisherige Entwicklung der Nitratbelastung:**

Die Abschätzung der Bilanzüberschüsse seit 1950 hat nach einer stetigen Zunahme bis 1980 einen deutlichen Rück-

## 9. Conclusions et perspectives

### 9.1 CONCLUSIONS

L'un des objectifs du projet était la vérification de l'aptitude du système de modèles couplés à servir d'outil d'aide à la décision.

Le système de modèles couplés, qui comprend des modules issus de différentes disciplines, dans lesquels ont été intégrés des paramètres connus et des avis d'experts, a permis de reproduire correctement la situation actuelle (distribution spatiale et tendances) de la pollution de la nappe par les nitrates. Le succès de cette mise en œuvre a été rendu possible par l'intégration des modules logiciels, des paramètres connus, des données expérimentales, et les connaissances des experts provenant des pays partenaires du projet.

Le regroupement des données a permis de constituer des bases de données comparables dans les régions partenaires, ce qui facilitera de futures collaborations.

L'imbrication des phénomènes de dilution (flux aux limites de l'aquifère, infiltration des cours d'eau) et de dénitrification démontre la nécessité d'une approche intégrant les aspects agricoles, hydrologiques et hydro-chimiques, plutôt qu'une simple approche par bilans par exemple.

Les modèles couplés une fois validés permettent de réaliser des simulations prévisionnelles de l'impact de divers facteurs sur l'évolution de la pollution de la nappe par les nitrates dans le Fossé rhénan.

Les modèles couplés permettent d'évaluer le potentiel de réduction de la pollution de différentes options d'action, mais pas sur les modalités de leur mise en œuvre.

La prise en compte des cultures spéciales dans le projet n'est pas parfaite, car le modèle de bilan les comptabilise de façon forfaitaire. Par exemple, la simulation des concentrations dans le secteur de l'Ortenau et dans le piémont au Nord de Sélestat n'est pas satisfaisante. L'impact de ces erreurs sur le bilan global est cependant peu important, du fait des faibles surfaces occupées par ces cultures spéciales.

Le système de modèles couplés donne donc globalement satisfaction et pourra être utilisé dans l'avenir.

#### **Evolution historique de la pollution par les nitrates**

L'estimation des excédents du bilan d'azote global à partir de 1950 a mis en évidence une diminution nette de

gang des Stickstoffüberschusses aus der Landwirtschaft in den letzten zwei Jahrzehnten gezeigt. Die Abschätzung der historischen Bilanzüberschüsse ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Dies ist bei der Interpretation der Modellergebnisse zu berücksichtigen, die nicht zuletzt wegen der starken Abnahme der Bilanzüberschüsse auch eine deutliche Abnahme der Grundwasserbelastung für die Jahre seit 1990 ergeben.

Die Modellierung der Veränderungen der Bilanzüberschüsse im Grundwasser bis zum aktuellen Zeitpunkt zeigt auch, dass eine lange Verzögerung auftritt, bis sich die Reduzierung des Bilanzüberschusses durch signifikante Konzentrationsabnahmen im Grundwasser auswirkt. Die hohen Überschüsse aus der Vergangenheit wirken insofern noch wie eine „Altlast“ im Grundwasser nach.

Der langsame Rückgang der Belastung entspricht den Erkenntnissen aus den Bestandsaufnahmen 1996/97 und 2003. Die Anstrengungen und Fortschritte in der landwirtschaftlichen Praxis zeigen Erfolge, die weiterhin u. a. durch eine andauernde Beratung sichergestellt werden sollten. Die Verbesserungen sind aber in einigen Regionen noch nicht ausreichend.

Die Anpassung der Düngung an Ertrag und Standort in der Vergangenheit war erfolgreich. Simulationsergebnisse für Winterweizen und Mais mit dem Modell STICS legen den auch im Vergleichsflächenprogramm des Landes Baden-Württemberg gezogenen Schluss nahe, dass eine weitere Reduktion der Düngung ohne gleichzeitigen Zuchtfortschritt zu Ertrags- oder Qualitätseinbußen führen kann. Dies könnte regional erforderlich sein, um die notwendige Nitratreduktion im Grundwasser zu erreichen.

#### **Prognose der Entwicklung ohne Eingriffe:**

Bei unveränderter Fortführung der jetzigen Bewirtschaftung (Kulturartenverteilung, Düngung, Erträge) werden die Flächen mit Konzentrationen  $>50$  mg/l  $\text{NO}_3$  auch bis zum Jahr 2050 nicht verschwinden und Gebiete mit Konzentrationen  $>25$  mg/l  $\text{NO}_3$  werden weiterhin große Flächenanteile einnehmen.

Die durch das Tendenzszenario prognostizierte deutliche Änderung der Kulturartenverteilung führt zu einer vergleichsweise geringen Änderung des Stickstoffaustrags, so dass weitere Maßnahmen, z. B. Zwischenfruchtanbau, erforderlich sind.

l'excédent d'azote d'origine agricole dans les vingt dernières années, après une phase d'augmentation jusqu'en 1980. Les estimations des bilans d'azote anciens sont entachées de fortes incertitudes. Néanmoins les simulations des modèles couplés basées sur ces bilans et sur la forte décroissance des excédents d'azote depuis 20 ans indiquent que la pollution des eaux souterraines est en nette diminution depuis les années 90.

Les simulations de l'impact de cette réduction des excédents d'azote sur la nappe montrent aussi que leur effet ne se manifeste sur les concentrations des eaux souterraines qu'après un délai très important. Les excédents d'azote élevés du passé continuent donc d'avoir un impact sur les eaux souterraines en tant que « pollution historique ».

Cette diminution lente de la pollution dans les eaux souterraines est cohérente avec les résultats des inventaires de 1996/97 et de 2003. Les efforts et les progrès dans le domaine des pratiques agricoles aboutissent enfin à des résultats, mais ils doivent être maintenus dans la durée, notamment par les systèmes de conseil agricole. Dans certains secteurs cependant, les améliorations ne sont pas encore suffisantes. L'ajustement de la fertilisation aux objectifs de rendement et aux conditions locales a conduit à des améliorations dans le passé récent. Les résultats des simulations avec le modèle STICS pour les cultures de blé et de maïs confirment les conclusions du programme de parcelles expérimentales du Bade-Wurtemberg : une diminution supplémentaire de la fertilisation, sans progrès simultané des variétés, peut conduire à des pertes de rendement ou de qualité de la production. Une telle diminution pourrait néanmoins s'avérer indispensable dans certains secteurs pour pouvoir atteindre les objectifs de qualité de la nappe.

#### **Simulation de l'évolution sans mesures d'intervention**

Une poursuite des pratiques agricoles actuelles (assolement, fertilisation, rendements) ne conduit pas à une disparition totale des surfaces de nappe supérieures à 50mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ , même en 2050, et les concentrations supérieures à 25 mg  $\text{NO}_3/\text{L}$  resteront présentes sur des surfaces importantes.

Les importantes modifications de l'assolement, simulées dans les scénarios tendanciels, ne réduisent pas significativement les apports en nitrates à la nappe. Des mesures d'intervention complémentaires, telles que les CIPAN, seront nécessaires.

Die prognostizierte Entwicklung der Nitratbelastung verdeutlicht weiterhin, dass z. T. zusätzliche lokale Maßnahmen zu ergreifen sein werden, um alle Gebiete zu sanieren.

Der Vergleich der Ergebnisse für die Szenarien A1 und B2 zeigt, dass die energiepolitisch wünschenswerte Zunahme von Kulturen zur Gewinnung von Biotreibstoffen (Raps) für die Grundwasserbeschaffenheit negative Auswirkungen hat.

### Handlungsoptionen:

Aufgrund der begrenzten Projektlaufzeit konnten nicht alle in den Konzepten „Gemeinsame Maßnahmenvorschläge zur Bekämpfung der Belastung des Grundwassers im Oberrheingraben“ oder „Le SAGE Ill-Nappe-Rhin“ genannten Handlungsoptionen bearbeitet werden. Die Untersuchung weiterer Handlungsoptionen würde teilweise größere Anpassungen voraus setzen.

Aus den Maßnahmekatalogen verschiedener Grundwasserschutzprogramme wurde eine Zusammenstellung von Handlungsoptionen erarbeitet, die durch Experten der beteiligten Länder im Hinblick auf Umsetzbarkeit, Wirksamkeit und regionale Relevanz priorisiert wurde.

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

Die Handlungsoption „Umwandlung von Acker- in Grünland“ steht stellvertretend für eine dauerhafte Reduzierung des Bilanzüberschusses auf im Mittel 4 kg N /ha Jahr, die ggf. grundsätzlich auch mit anderen Kulturen realisiert werden könnte.

### Prognose der Entwicklung mit Eingriffen:

Die Zustandsverbesserung, die bei einer unveränderten Fortführung der derzeitigen Bewirtschaftung erst im Jahr 2050 erreicht würde, könnte durch die Realisierung verschiedener Handlungsoptionen bereits nach ca. 10 Jahren erreicht werden.

Als Folge hydrologischer und hydrochemischer Einflüsse (Verdünnung durch Uferfiltrat oder Randzustrom, Denitrifikation im Aquifer) wirken sich gleiche Bilanzüberschüsse für verschiedene Regionen im Projektgebiet unterschiedlich stark auf das Grundwasser aus.

Wegen der lokal unterschiedlichen Wirksamkeit der Handlungsoptionen ist eine regional differenzierte Anwendung zweckmäßig.

La simulation de l'évolution de la pollution par les nitrates montre en outre que le recours à des mesures locales supplémentaires sera nécessaire pour arriver partout à une bonne qualité de la nappe.

La comparaison entre les résultats des scénarios A1 et B2 montre que la progression des cultures destinées à la production de biocarburants (colza), bien que désirable du point de vue énergétique, aboutit à des conséquences négatives sur la qualité des eaux souterraines.

### Options d'action

En raison de la durée limitée du projet, toutes les options d'action proposées dans le cadre du projet INTERREG II (« propositions de principes communs d'actions») ou du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE Ill-Nappe-Rhin) n'ont pas pu être simulées. L'étude de certaines options d'action demanderait d'ailleurs des adaptations importantes des modèles.

Une liste d'options d'action a été établie sur la base de divers programmes de mesures pour la protection de la nappe. Des experts des pays participants ont défini des priorités pour ces actions en s'appuyant sur des critères d'efficacité, de possibilité de mise en pratique et de pertinence régionale.

Au final huit options d'actions ont fait l'objet d'évaluations par simulation dans le cadre de trois scénarios différents d'évolution agro-économique.

L'option d'action «Conversion de surfaces agricoles en prairies» correspond à une réduction durable de l'excédent d'azote à une moyenne de 4 kg N /ha par an, qui pourrait en principe être atteinte avec d'autres cultures.

### Simulation de l'évolution avec des mesures d'intervention

L'amélioration de l'état de la nappe obtenue en 2050 d'après la simulation de la poursuite des conditions de l'année 2000, pourrait déjà être atteinte au bout d'environ 10 ans si l'on mettait en oeuvre diverses actions d'intervention.

En raison des processus hydrologiques et hydrochimiques (dilution par infiltration des cours d'eau, dénitrification dans l'aquifère) le même excédent d'azote peut conduire à des impacts différents sur la nappe dans les différents secteurs de la zone d'étude.

Cette incidence variable des actions en fonction de la situation locale implique qu'il est indiqué de moduler les actions suivant les conditions régionales.

Am wirksamsten ist eine Kombination aus ordnungsgemäßer Düngung bei Körnermais (M1a), Zwischenfruchtanbau (M2) und einer Acker- zu Grünlandumwandlung (M3a).

Diese Kombination führt auch am schnellsten zu deutlichen Veränderungen, wobei allerdings auch die Handlungsoption M3c (Umwandlung Acker- zu Grünland in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten) innerhalb der ersten zehn Jahre dieselbe Wirkung erzielt. Durch diese Handlungsoption wird die Überschreitungsfläche 50 mg/l um rd. 10.000 ha (-59%) reduziert.

Bei Bezug auf die erforderliche Reduktion des N-Eintrags ist die Handlungsoption M3c, am effizientesten, dicht gefolgt von der ordnungsgemäßen Düngung (M1c) und dem Zwischenfruchtanbau (M2).

Bei einer Reduzierung des aktuellen N-Eintrags um rd. 25% (entspricht der wirksamsten Handlungsoption M3c) verringert sich die Überschreitungsfläche 50 mg/l von 17.360 ha im Jahr 2005 auf 7.150 ha im Jahr 2015 und die Überschreitungsfläche 25 mg/l von 139.700 ha auf 94.200 ha im Jahr 2015.

Auch die Handlungsoption M1c (ordnungsgemäße Düngung von Körnermais und Winterweizen) führt zu signifikanten Verbesserungen (Abnahme der Überschreitungsfläche 50 mg/l auf rd. 10.000 ha im Jahr 2015)

### Grenzüberschreitende Zusammenarbeit

Der Projekterfolg wurde erst durch die grenzüberschreitende Bearbeitung sichergestellt. Damit wurde ein wichtiger Beitrag für einen erfolgreichen Grundwasserschutz geleistet.

Es wurde ein regelmäßiger institutionalisierter Austausch geschaffen und Ansprechpartner festgelegt.

### 9.2 AUSBLICK

Die im sozio-ökonomischen Modul enthaltenen Ansätze sollten im Hinblick auf Kostenabschätzungen von Handlungsoptionen weiterentwickelt werden.

Die entwickelten Modellwerkzeuge eröffnen die Möglichkeit, auch auf Ebene von Wasserschutzgebieten für Sanierungsprognosen verwendet zu werden. Das setzt eine entsprechend detaillierte lokale Datenbasis voraus.

Auch zur Erfassung von Problemkulturen mit kleinem Flächenanteil sind Weiterentwicklungen des großräumigen

L'effet le plus important est obtenu par une combinaison d'actions : fertilisation raisonnée pour le maïs à ensilage (M1a), mise en oeuvre de CIPANs (M2) et conversion de terres cultivées en prairies (M3a).

Cette combinaison d'actions est celle qui donne le plus rapidement des effets notables, tandis que l'option d'action M3c (conversion sélective de terres cultivées en prairies en fonction des conditions locales) amène au même résultat au bout de 10 ans. La surface de nappe supérieure à 50 mg/l est réduite dans cette option d'environ 10 000 ha soit 59%.

La comparaison de l'impact en termes de réduction de l'excédent d'azote montre que c'est l'option M3c qui est la plus efficace, suivie de peu par la fertilisation raisonnée (M1c) et les CIPANs (M2).

La réduction de 25% de l'excédent d'azote actuel (ce qui correspond à l'option la plus efficace, M3c) permet de diminuer la surface de nappe supérieure à 50 mg/l de 17 360 ha en 2005 à 7 150 ha en 2015 et la surface supérieure à 25 mg/l de 139 700 ha à 94 200 ha en 2015.

L'option M1c (fertilisation raisonnée du maïs silo et du blé d'hiver) conduit également à des améliorations significatives : réduction de la surface de nappe supérieure à 50 mg/l à environ 10 000 ha en 2015.

### Collaboration transfrontalière

La réussite du projet est tout d'abord une réussite de la collaboration transfrontalière. Elle représente une contribution importante à une protection efficace des eaux souterraines.

Un échange régulier a été mis en place entre les institutions partenaires qui ont désigné des interlocuteurs.

### 9.2 PERSPECTIVES

L'approche du module socio-économique devrait être développée plus avant pour permettre une véritable étude du rapport « coût-bénéfice » des différentes options d'action.

Les outils de modélisation développés pourraient être appliqués à l'échelle des périmètres de protection de captages pour évaluer l'incidence de mesures de protection ou de réhabilitation. Ceci suppose la disponibilité de données locales détaillées.

La prise en compte des cultures intensives à problèmes qui occupent de faibles surfaces demanderait également

Modellansatzes notwendig. Zu klären wäre, wie weit detaillierte lokale Betrachtungen in die großskalige integrierte Modellierung eingegliedert werden können.

Sobald Eintragsmodelle und die Abbaukinetik für Pflanzenschutzmittel (PSM) verfügbar sind, wäre auf der Grundlage des kalibrierten Grundwasser-Modells auch die Modellierung von Pflanzenschutzmitteln realisierbar.

#### **Weiterführung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit**

Eine Fortführung und Weiterentwicklung des Modellsystems erhöht die Effizienz der eingesetzten Projektmittel. Eine Verankerung der entwickelten Tools in den Verwaltungen der beteiligten Länder würde einen längerfristigen routinemäßigen Einsatz ermöglichen. Insbesondere für das Grundwassermodell wäre ein grenzüberschreitender Betrieb zweckmäßig.

Die Weiterführung der geschaffenen gemeinsamen Datenbasis ist wünschenswert. Dafür ist es nicht zwingend, Details der Datenerhebung zu vereinheitlichen.

Das grenzüberschreitende Monitoring wie es in den Bestandsaufnahmen 1996/97 und 2003 sowie dem INTERREG-Projekt „Indikatoren zur Überwachung der Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers im Oberrheingraben“ umgesetzt wird, leistet einen wichtigen Beitrag zur Überprüfung der Vorhersagen und künftigen Weiterentwicklung des Modellsystems. Umgekehrt liefert MoNit Erklärungsansätze für die im Monitoring gefundenen Tendenzen.

#### **Weiterentwicklung des Modellsystems:**

Die Modell- und Datenunsicherheiten sollten noch umfassender abgeschätzt und reduziert werden.

Durch eine intensive Rückkopplung mit Praktikern und der Verwaltung, ähnlich wie bei der Entwicklung des sozio-ökonomischen Moduls, sollten v. a. die Transfermodelle schrittweise weiter plausibilisiert werden, damit sie zur Berechnung weiterer Handlungsoptionen/ Szenarien /Varianten verwendet werden können.

une adaptation des modèles. Il s'agit d'élucider dans quelle mesure des études locales détaillées peuvent être intégrées dans la modélisation à l'échelle régionale.

A partir du moment où des modèles de transfert et de dégradation des pesticides seront disponibles, le modèle hydrodynamique pourra être utilisé pour la modélisation du transport des pesticides dans la nappe.

#### **Poursuite de la collaboration transfrontalière**

La maintenance et l'actualisation du système de modèles couplés après la fin du projet permettraient de valoriser les moyens financiers engagés. Il faudrait que les différents outils développés dans le cadre du projet soient adoptés au sein des administrations des pays participants afin de permettre une utilisation en routine sur le long terme. L'utilisation transfrontalière du modèle hydrodynamique des eaux souterraines serait particulièrement appropriée.

La poursuite de l'actualisation de la base de données commune est souhaitable. Il n'est pas indispensable pour cela que les méthodes de collecte soient les mêmes de part et d'autre du Rhin.

Les futurs inventaires de la qualité des eaux souterraines au niveau transfrontalier, comme ceux de 1996/97 et de 2003, ainsi que la suite du projet INTERREG concernant les « Indicateurs de suivi des actions de protection de la nappe rhénane dans le Fossé rhénan Supérieur », contribueront de façon importante à la vérification des simulations réalisées avec le système de modèles couplés et à son amélioration dans l'avenir. D'un autre côté, MoNit fournira des éléments d'explication des tendances qui seront observées dans les études futures.

#### **Développement ultérieur du système de modèles couplés**

Les incertitudes des modèles et des données demandent à être examinées encore plus en détail dans le but de les réduire au maximum.

Une validation plus poussée et progressive des modèles de transferts doit être envisagée par le biais d'une concertation intensive avec les professionnels de l'agriculture et les administrations, en suivant l'approche utilisée lors du développement du module socio-économique, serait indiquée pour continuer la validation progressive des modèles de transfert notamment. Ceci permettrait de les utiliser pour simuler l'impact d'autres options d'action ou de variantes de scénarios.

Das Prozessverständnis für Denitrifikation, Waldökosysteme, Stoffaustausch mit Oberflächengewässern usw. sollte verbessert werden.

Die Nutzung der Fernerkundung zur Gewinnung einiger Systemparameter kann Hilfestellung bei der Datengewinnung geben.

Une meilleure compréhension des processus de dénitrification, du fonctionnement des écosystèmes forestiers, ainsi que des échanges de substances entre les eaux de surface et la nappe serait fort utile.

L'utilisation des techniques de télédétection pour l'estimation de certains paramètres du système devrait pouvoir être développée en appui à la collecte de données.

## LITERATURVERZEICHNIS / BIBLIOGRAPHIE

- ARBEITSGRUPPE BODEN, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage, Hannover.
- AREP, 1996 : Limitation des fuites en nitrates en sols de craie. Compte-rendu de l'essai longue durée de Thibie (51), 34 p.
- ARMBRUSTER, V., 2002: Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg. Dissertation.
- FREIBURGER SCHRIFTEN ZUR HYDROLOGIE, Bd.17, Institut für Hydrologie, Universität Freiburg.
- BOUTANT, S., 2003 : Effect des couverts en interculture sur l'eau et l'azote du sol en Poitou-Charentes : étude de cas par simulation STICS. Memoire , Agrotransfert, Poitou-Charentes.
- BRISSON, N., GARY, C., JUSTES, E., ROCHE, R., MARY, B., RIPOCHE, D., ZIMMER, D., SIERRA, J., BERTUZZI, P., BURGER, P., BUSSIERE, F., CABIDOCHÉ, Y.M., CELLIER P., DEBAEKE, P., GAUDILLERE, J.P., HENAULT C., MARAUX, F., SEGUIN, B. & SINOQUET, H., 2003: An overview of the crop model STICS. European journal of agronomy, Vol. 18, Nr. 3-4, p.309-332.
- CASPER, M., GRIMM-STRELE, J., GUDERA, TH., KORTE, S., LAMBRECHT, H., SCHNEIDER, B., VAN DIJK, P., RINAUDO, J.-D., FINCK, M. (2005): EU-Projekt MoNit: Decision support support system to assess the impact of actions and changing frameworks on the nitrate load in the Upper Rhine Valley aquifer. Models and scenarios, Proceedings EWRA 2005. Menton.
- CHAPOT, J.-Y. 1990: Estimation sur lysimètres de l'incidence de l'introduction d'un engrais vert dans une rotation blé-mais sur la lixiviation des nitrates. Dans: (ed. R. Calvet) Nitrates, Agriculture, Eau., International Symposium, Paris, 7-8 novembre 1990. INRA, p 411-416.
- DUCHARNE, A., S. THÉRY, P. VIENNOT, E. LEDOUX, E. GOMEZ, M. DÉQUÉ, 2003: Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la Seine, VertigoO, 4(3).
- DUCHARNE, A. et al., 2005: Projet GICC-Seine: Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine (Rapport final).
- FLIPO, N., 2005: Modélisation intégrée des transferts d'azote dans les aquifères et les rivières : application au bassin du Grand-Morin. Paris.
- GAMER, W. & ZEDDIES, J., 2005: Bilanzen von potenziell umweltbelastenden Nährstoffen (N, P, K und S) der Landwirtschaft in Baden-Württemberg. Forschungsauftrag der Uni Hohenheim im Auftrag des MLR.
- GEBEL, M., 2003: Die Berücksichtigung von N-Umsatzprozessen auf Ackerflächen bei der Quantifizierung diffuser Stickstoffeinträge in Flussgebieten mit dem Modell STOFFBILANZ. In: Geoökodynamik 24 (3/4):249-259.
- GOMEZ, E., E. LEDOUX, E., B. MARY, 2002: Principe et fonctionnement du modèle intégré STICS-MODCOU-NEWSAM, Rapport technique, UMR CNRS 7619 Sisyphe., Paris.
- GOMEZ, E., E. LEDOUX, E., B. MARY, 2002: Modélisation de la contamination nitrique des masses d'eau souterraine par les nitrates d'origine agricole, Rapport, UMR CNRS 7619 Sisyphe, 37, Paris.
- GOMEZ E. ET AL., 2003: Un outil de modélisation intégrée du transfert des nitrates sur un système hydrologique: application au bassin de la Seine, La Houille Blanche.
- HARBAUGH, A.W., BANTA, E.R., HILL, M.C., and MCDONALD, M.G., 2000: MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92.
- KUNKEL, R., BOGENA, H., GÖMANN, H., KREINS, P., WENDLAND, F., 2005: Water fluxes and diffuse nitrate pollution at the river basin scale - Interfaces for the coupling of agro-economic models with hydrologic models, Proceedings EWRA 2005 (CD-ROM), Menton.
- MENZEL, L., 1997: Modellierung der Evapotranspiration im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Zürcher Geographische Schriften, Nr. 67. Geographisches Institut ETH, Zürich.
- MIGNOLET, C., C. SCHOTT, M. BENOÎT, 2004: Dynamiques des activités agricoles à différentes échelles d'espace et de temps. Rapport PIREN Seine 19j.
- MINETTE, S., 2004: Gestion de l'interculture et qualité de l'eau. Evaluation du logiciel de simulation STICS en Poitou-Charentes. Rapport interne, Agrotransfert, Poitou-Charentes.
- MLR, Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, 2004: Zusammenstellung von Bilanzsalden landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen im Rahmen der weitergehenden Beschreibung (WRRL). Verwaltungsinterne Mitteilung.
- MLR, Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, 2005: SchALVO-Nitrat-Bericht 2004. Stuttgart.



POUX, X. et al., 2003: Simulation prospective des pertes nitriques dans l'hydrosystème Seine en 2050: construction de scénarios macro-économiques de l'agriculture en images spatialisées des systèmes agraires du bassin de la Seine, Rapport PIREN-Seine 49.

REGION ALSACE, 2000: Résultats de la campagne de prélèvements et d'analyses - Ergebnisse der Beprobungen 1996/1997. Strasbourg.

REGION ALSACE, 2005: Premiers résultats transfrontaliers - Erste grenzüberschreitende Ergebnisse. Strasbourg.

Ruget, F., Brisson, N., Delécolle, R., Faivre, R., 2002: Sensitivity analysis of a crop simulation model, STICS, in order to choose the main parameters to be estimated. - *Agronomie* 22: 133 - 158.

SCHWEIGER, P., BINKELE, V., TRAUB, R., 1989: Nitrat im Grundwasser, Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg, Band 20, Stuttgart.

STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN: Fachserie 4, Produzierendes Gewerbe, Reihe 8.2 Düngemittelversorgung.

USGS, 2006: <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/modflow2000.html> (10.3.2006)

VASSILJEV, A., GRIMVALL, A., LARSSON, M., 2004: A dual-porosity model for nitrogen leaching from a watershed, *Hydrol. Sci. Journal*, 49(2):313-322.

WRIEDT, G., 2004: Modelling of nitrogen transport and turnover during soil and groundwater passage in a small lowland catchment of Northern Germany, Diss. Uni Potsdam, Potsdam.

**NAMEN UND ANSCHRIFTEN DER AUTOREN /  
NOM ET DIRÉCTIONS DES AUTEURS**

AUCKENTHALER, ADRIAN, DR., Amt für Umweltschutz und Energie Baselland, Rheinstrasse 29, CH-4410 Liestal

BEHA, ANITA, LUFA Augustenberg, Postfach 430230, D-76217 Karlsruhe

BURTIN, MARIE-LINE, ARAA, Espace Européen de l'Entreprise 2, rue de Rome – BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg CEDEX

CASPER, MARKUS, JProf., Physische Geographie, FB 6, Universität Trier, Behringstr., D-54286 Trier

ELSASS, PHILIPPE, Service Géologique Régional Alsace, 15, rue du Tanin, Lingolsheim, F-67834 TANNERIES CEDEX

GARTNER, LUCIENNE, Région Alsace 35, avenue de la Paix - B.P 1006/F, F- 67070 STRASBOURG Cedex

GRAVELINE, NINA, BRGM Languedoc Roussillon, 1039, rue de Pinville, F-34000 Montpellier

FINCK, MARGARETE, LUFA Augustenberg, Postfach 430230, D-76217 Karlsruhe

GRIMM-STRELE, JOST, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

GUDERA, THOMAS, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

HUGGENBERGER, PETER, Prof., Departement Geowissenschaften Universität Basel, Angewandte und Umweltgeologie, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel

KOLLER, RÉMI, ARAA, Espace Européen de l'Entreprise 2, rue de Rome – BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg CEDEX

KORTE, STEPHANIE, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

LAMBRECHT, HENDRIK, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

RINAUDO, JEAN-DANIEL, BRGM Languedoc Roussillon, 1039, rue de Pinville, F-34000 Montpellier

SCHNEIDER, BURKHARD, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat

42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

SIMON, MARION, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

VAN DIJK, PAUL, DR., ARAA, Espace Européen de l'Entreprise 2, rue de Rome – BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg CEDEX

WIRSING, GUNTHER, Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9 Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br.





Kanton Basel-Landschaft

