

Four vertical green bars of varying heights are located on the left side of the page.

# MONIT: Entwicklung von Prognosewerkzeugen

 Zwischenpräsentation

# MONIT: Développement des outils de prévision

 présentation intermédiaire

<b>Herausgeber / Publication</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) 76157 Karlsruhe · Postfach 21 07 52, <a href="http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de">http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>Bearbeitung / Réalisation</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Referat 42 · Grundwasser, Baggerseen mit Beiträgen der Projektpartner / <i>avec des contributions des partenaires du projet</i>
<b>Redaktion / Rédaction</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Referat 42 · Grundwasser, Baggerseen,
<b>gefördert durch / cofinancié par</b>	INTERREG III A Programm (RSCS Nr. 3c.9 – PAM 3.1.3)
<b>Bezug / Distribution</b>	Die Broschüre ist kostenlos erhältlich bei der Verlagsauslieferung der LfU JVA Mannheim -Druckerei, Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim Telefax 0621/398-370 <a href="mailto:bibliothek@lfuka.lfu.bwl.de">bibliothek@lfuka.lfu.bwl.de/</a>
<b>Stand / Etat</b>	April 2005, 1. Auflage
<b>Druck / impression</b>	Engelhardt & Bauer Druck- und Verlagsges. mbH Käpplestr. 10, 76131 Karlsruhe gedruckt auf Recyclingpapier
<b>Bildnachweis / référence d'image</b>	Titelbild / Image de couverture Reiner Steinmetz, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Karlsruhe)



Programme INTERREG Rhin Supérieur Centre-Sud  
INTERREG Programm Oberrhein Mitte-Süd



Programme INTERREG PAMINA  
INTERREG Programm PAMINA

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  
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
Région Alsace  
Agence de l'eau Rhin-Meuse  
Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable  
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg  
Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg  
Kanton Basel-Stadt  
Kanton Basel-Landschaft  
Schweizer Eidgenossenschaft

#### **Projektträger / Maître d'ouvrage**

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort / <i>Avant-propos</i> .....	4
1.1 Vom Befund zur Prognose <i>Du constat à la prévision</i> .....	5
1.2 Das Untersuchungsgebiet Oberrheingraben <i>La zone d'étude : la vallée du Rhin Supérieur</i> .....	11
1.3 Modellierungskonzept: Auswahl von Bausteinen <i>Concept de modélisation : choix des composantes</i> .....	19
1.4 Aquifergeometrie und hydraulische Eigenschaften der Lockergesteinsfüllung des südlichen Oberrheingrabens <i>Géométrie de l'aquifère et paramètres hydrodynamiques des alluvions du Sud du Fossé rhénan supérieur</i> .....	27
1.5 Länderübergreifende Modellierung der Grundwasserverhältnisse im Ober- rheingraben zwischen Karlsruhe und Basel – 1995 bis 2005 <i>Modélisation transfrontalière des eaux souterraines du fossé du Rhin Supérieur entre Karlsruhe et Bâle – de 1995 à 2005</i> .....	41
1.6 Fließgewässer und ihre Auswirkungen auf das Grundwasser (Teilmodul Fluss-Grundwasser-Interaktion) <i>Les eaux superficielles et leurs échanges avec les eaux souterraines (sous-module interactions nappe-rivière)</i> .....	61
2.1 Ackerschlagbezogene Modellierung des Nitrataustrags - das Modell STICS <i>Modélisation de transfert des nitrates à l'échelle parcellaire - le modèle STICS</i> .....	75
2.2 Untersuchung der Nitratherkunft im Bodenwasser und Grundwasser Untersuchungskonzept und erste Resultate <i>Recherche de l'origine des nitrates dans le sol et dans la nappe Concept de recherche et premiers résultats</i> .....	83
2.3 Flächenhafte Abbildung von Stickstoff-Umsätzen im Projektgebiet – das Modell STOFFBILANZ <i>Répartition spatiale des flux d'azote dans la zone d'étude – le modèle STOFFBILANZ</i> .....	97
2.4 Datengrundlage für die Modelle STOFFBILANZ und STICS : Elsass <i>Données de base pour les modèles STOFFBILANZ et STICS : Alsace</i> .....	105
2.5 Datengrundlagen für die N-Modelle STOFFBILANZ und STICS: Deutschland und Schweiz <i>Données de base pour les modèles STOFFBILANZ et STICS: Allemagne et Suisse</i> .....	125
3.1 Ökonomische Modellierung der Produktionsauswahl der landwirtschaftlichen Betriebe im Elsass und in Baden <i>Modélisation économique des choix de production des exploitations agricoles en Alsace et Pays de Bade</i> .....	145
3.2 Modellkopplung und Szenarien <i>Couplage des modèles et scénarios</i> .....	155
Namen und Anschriften der Autoren / <i>Nom et directions des auteurs</i> .....	165
Abkürzungen im Text / <i>Abréviations dans le texte</i> .....	166
Literaturverzeichnis / <i>Bibliographie</i> .....	167

Anhang / *Annexe*



## Vorwort

Seit Anfang der 1990er Jahre arbeiten französische, schweizerische und deutsche Partner in grenzüberschreitenden Projekten zum Grundwasserschutz zusammen. Alle Projekte wurden durch die Europäische Union aus Mitteln der INTERREG- bzw. LIFE-Förderprogramme kofinanziert und vom „Expertenausschuss Wasserressourcen“ der deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheinkonferenz begleitet.

Die in den Jahren 1996/97 und 2003 durchgeführten „Bestandsaufnahmen der Grundwasserqualität im Oberrheingraben“ haben gezeigt, dass das Grundwasser im Oberrheingraben vielerorts vor allem stark mit Nitrat belastet ist. Dabei wird vielerorts die EU-Qualitätsnorm von 50 mg/l Nitrat im Grundwasser deutlich überschritten. Die Ursachen liegen hauptsächlich in der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung dieser Region. Aber auch Siedlungsabwässer und diffuse Stickstoffeinträge aus der Fläche führen zu den erhöhten Nitratkonzentrationen.

Im derzeit laufenden Vorhaben „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“ - kurz MoNit - sollen Prognosewerkzeuge entwickelt und bereitgestellt werden, mit denen man die Wirkungen von Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratbelastung beurteilen kann. Dazu muss geklärt werden, welche Faktoren in welchem Ausmaß die hohen Nitratkonzentrationen beeinflussen.

Langfristiges Ziel muss sein, die Grundwasserqualität so zu schützen bzw. wieder herzustellen, dass auch künftige Generationen ihr Trinkwasser ohne vorherige Aufbereitung aus dem Grundwasserreservoir des Oberrheingrabens gewinnen können.

## Avant-propos

Des partenaires français, suisses et allemands coopèrent depuis le début des années 1990 dans le cadre de projets transfrontaliers pour la protection des eaux souterraines. Tous les projets ont bénéficié de financements communautaires issus des programmes INTERREG et LIFE de l'Union Européenne et de l'appui technique du groupe d'experts « ressources en eaux » de la Conférence franco-germano-suisse du Rhin Supérieur.

Les projets d'« inventaire de la qualité des eaux souterraines du Rhin Supérieur » menés dans les années 1996/97 et 2003 ont permis de mettre en évidence une pollution importante sur une grande partie de la nappe phréatique, notamment par les nitrates. La norme européenne de qualité de 50 mg/l est sensiblement dépassée par endroits. Cette pollution, liée aux usages intensifs dans cette région, est principalement d'origine agricole, mais est également issue des eaux résiduaires urbaines et d'autres sources diffuses.

L'objectif du projet actuel de « modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin » (MoNit) consiste à développer un outil de prévision grâce auquel il sera possible d'évaluer l'efficacité de diverses mesures de réduction de la pollution par les nitrates. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître le rôle et l'importance des facteurs déterminant les fortes concentrations en nitrates.

L'objectif à long terme est de protéger et reconquérir la qualité des eaux souterraines dans le fossé rhénan, afin de garantir aux générations présentes et futures une eau potable sans traitement préalable.

A handwritten signature in blue ink that reads "Margareta Barth". The script is cursive and fluid.

Margareta Barth, Präsidentin der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg



## 1.1 Vom Befund zur Prognose

*J.-L. Sadorge, L. Gartner*

Die Wasserqualität des oberrheinischen Grundwassers wird beidseits des Rheines seit vielen Jahren regelmäßig überwacht.

Die erste grenzüberschreitende Diagnose wurde 1997 für den Teil des Grundwasserleiters gestellt, der sich von Basel bis Karlsruhe erstreckt. Diese Arbeit wurde unter der Federführung der Region Elsass im Rahmen des Finanzierungsprogramms INTERREG II durchgeführt. Partner waren auf französischer Seite die Wasseragentur Rhein-Maas (*Agence de l'eau Rhin-Meuse*), das Ministerium für Ökologie und Nachhaltige Entwicklung und das Büro für Geologie- und Bergbauforschung sowie andererseits das Land Baden-Württemberg und die Kantone Basel-Stadt und Basel-Land.

Die neue grenzüberschreitende Bestandsaufnahme 2002-2003, deren erste Ergebnisse kürzlich in Straßburg vorgestellt wurden, erstreckte sich über ein sehr viel größeres Untersuchungsgebiet, von Basel bis Mainz, und deckte das gesamte Oberrheingebiet ab. Erstmals sind die deutschen Bundesländer Rheinland-Pfalz und Hessen eingebunden, die ihre Daten für das Projekt zur Verfügung gestellt haben.

### 1.1.1 Der Befund

Bereits die Ergebnisse der Bestandsaufnahme aus dem Jahr 1997 hatten eine starke Nitratbelastung des Grundwassers aufgezeigt; der mittlere Nitratgehalt lag mit 28,6 mg/l über dem europäischen Trinkwasserleitwert von 25 mg/l. Der europäische Grenzwert für Trinkwasser von 50 mg/l wurde an 15 % der 1100 Messstellen überschritten.

Auf elsässischer Seite, wo der mittlere Nitratgehalt von 27,5 mg/l im Jahr 1991 auf 28,6 mg/l im Jahr 1997 anstieg, verschlechterte sich der Grundwasservorrat deutlich. In Baden-Württemberg schien die Lage stabiler zu sein; hier lag der Mittelwert 1997 bei 31 mg/l.

Die Bestandsaufnahme 1997 hatte auch eine Anfälligkeit des tieferen Grundwassers in mehr als 50 m Tiefe aufgezeigt. Dieses Grundwasser war ebenfalls belastet, insbesondere aufgrund des Wasseraustauschs zwischen Flüssen und Grundwasser. Infolge der Versickerung von Flusswasser wurden

## 1.1 Du constat à la prévision

*J.-L. Sadorge, L. Gartner*

La qualité des eaux de la nappe rhénane fait l'objet d'un suivi régulier, de part et d'autre du Rhin, depuis de nombreuses années.

Le premier diagnostic transfrontalier a été établi en 1997, sur une zone de nappe s'étendant de Bâle à Karlsruhe. Les travaux ont été menés sous l'égide de la Région Alsace, dans le cadre du programme de financement INTERREG II. Les travaux ont été réalisés en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières pour la partie française, ainsi qu'avec le Bade-Wurtemberg et les Cantons de Bâle-Ville et de Bâle-Campagne.

Le nouvel inventaire transfrontalier 2002-2003, dont les premiers résultats ont été récemment présentés à Strasbourg, a été réalisé sur une zone d'étude beaucoup plus grande, de Bâle à Mayence, couvrant tout le secteur du Rhin supérieur. Il associe pour la première fois les Länder allemands de Rhénanie-Palatinat et de Hesse qui ont mis leurs données à la disposition du projet.

### 1.1.1 Le constat

Les résultats de l'inventaire 1997 avaient déjà mis en évidence une forte contamination de la nappe par les nitrates, la moyenne des teneurs en nitrates, de 28,6 mg/l, étant 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. Au Bade-Wurtemberg, la situation apparaissait plus stabilisée, avec une moyenne de 31 mg/l en 1997.

L'inventaire 1997 avait également mis en évidence une vulnérabilité des eaux plus profondes de la nappe, situées à plus de 50 m de profondeur, également contaminées, en raison notamment des échanges nappes-rivières. Du fait de l'infiltration des cours d'eau, des teneurs en nitrates élevées, supé-

örtlich in 60, 80 oder 100 m Tiefe hohe Nitratgehalte über 25 mg/l bzw. sogar über 50 mg/l aufgezeigt.

Die jüngsten Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2002-2003 haben den Stand der Verschlechterung des Grundwasservorrats in etwa 1/3 des Rheingrabens bestätigt. Die nach wie vor besorgniserregende Nitratbelastung stellt auf grenzüberschreitender Ebene das dringlichste gemeinsame Problem dar.

Mit 28,9 mg/l liegt der mittlere Nitratgehalt noch immer über dem europäischen Leitwert von 25 mg/l, und zwar in jedem der betreffenden Teilgebiete (außer dem schweizerischen Teil).

rieures à 25 mg/l, voire 50 mg/l, ont été mises en évidence, localement à 60, 80 ou 100 m de profondeur.

Les récents résultats de l'inventaire 2002-2003 ont confirmé l'état de dégradation de la ressource sur environ 1/3 du Fossé rhénan. La contamination par les nitrates à un niveau qui demeure préoccupant, représente la problématique la plus partagée à l'échelle transfrontalière.

La moyenne des teneurs en nitrates, de 28,9 mg/l, est toujours supérieure à la valeur guide européenne de 25 mg/l, ce qui est le cas également pour chacun des secteurs concernés (hors la partie suisse).

Tab. 1.1.1: Nitratkonzentration / Teneurs en nitrates

	Moyenne / Mittelwert	Médiane / Median
Pour toute la zone / insgesamt	28.9 mg/l	19.1 mg/l
Alsace	26.9 mg/l	21.5 mg/l
Baden-Württemberg	30.3 mg/l	19.3 mg/l
Hessen	27.2 mg/l	6 mg/l
Rheinland-Pfalz	39.2 mg/l	1.8 mg/l
Schweizer Kantone	14.6 mg/l	8.1 mg/l

Der europäische Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser (50 mg/l) wird an 17% der 1713 Messstellen überschritten, sei es in den Piedmontflächen mit geringmächtigen Anschwemmungen und schwacher Verdünnung oder in Gebieten mit sehr intensiven Sonderkulturen.

Im Übrigen ist die Verschlechterung im südlichen Oberrheingraben zwischen Basel und Straßburg bei geringerem Nitratgehalt (25 bis 50 mg/l) ebenso problematisch. In diesem Gebiet wird auf filtrierenden Böden großflächig Mais angebaut. Dank der starken Verdünnungskapazität aufgrund der Mächtigkeit des Grundwasserleiters konnte bislang ein Überschreiten der Trinkwasserschwellenwerte verhindert werden.

Ganz allgemein sind das Elsass und Baden-Württemberg gleichermaßen von einer diffusen Belastung betroffen, die in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten schwer in den Griff zu bekommen ist, zumal an 8 bis 10 % der Messstellen Werte nahe den Trinkwasserschwellenwerten (40-50 mg/l) gemessen werden. Es besteht dort also ein hohes Potenzial für ein erneutes Überschreiten der Trinkwasserschwellenwerte, vor allem, wenn nicht relativ kurzfristig wirksame Maßnahmen ergriffen werden.

La limite de potabilité européenne de 50 mg/l pour les nitrates est dépassée sur 17% des 1713 points de mesures, dans les zones de piémont où les alluvions sont peu puissantes et la dilution est faible, ou dans des zones de cultures spéciales très intensives.

Par ailleurs, la dégradation, à des teneurs moins élevées (25 à 50 mg/l) est tout aussi problématique dans le Sud du Fossé rhénan, de Bâle à Strasbourg. Dans ce secteur, la culture du maïs y est pratiquée à grande échelle, sur des sols filtrants et la forte capacité de dilution de la nappe, de par sa puissance, a permis d'éviter, jusqu'à présent, un dépassement des seuils de potabilité.

D'une façon générale, l'Alsace et le Bade-Wurtemberg sont touchés de façon égale par une contamination à caractère diffus, qui est difficile à gérer dans des zones d'agriculture intensive, d'autant plus que les teneurs proches des seuils de potabilité (40-50 mg/l) concernent 8 à 10 % des points de mesures. La potentialité de nouveaux dépassements de seuils de potabilité y est donc forte, notamment si rien d'efficace n'est mis en œuvre à échéance relativement courte.

In diesem Zusammenhang stößt vor allem auf elsässischer Seite die Strategie der Wasserversorger, die mehr und mehr Entnahmestellen aufgeben und neue Ressourcen suchen, an ihre Grenzen, denn durch die Entwicklung von Handwerks-, Industrie- und Gewerbeflächen oder durch die Ausweitung des Straßennetzes verringert sich die Zahl der erschließbaren Gebiete.

Daraus resultiert die Notwendigkeit, die Anstrengungen weiter zu verfolgen, die bestehenden Aktionsprogramme zu intensivieren oder ergänzende Maßnahmen zu ergreifen, um den Entwicklungstrend deutlich umzukehren und den guten Zustand des Grundwassers wieder zu erlangen.

Dans ce contexte, la stratégie des producteurs d'eau, notamment côté alsacien, qui s'engagent dans une logique d'abandon de captages et de recherche de nouvelles ressources, trouve ses limites, du fait de la réduction des zones exploitables par le développement des zones artisanales, industrielles ou commerciales, ou l'extension du réseau routier.

Il en résulte la nécessité de poursuivre les efforts, d'intensifier les programmes d'actions existants ou de mettre en œuvre des mesures complémentaires. pour inverser de façon nette la tendance d'évolution et reconquérir un bon état de la nappe.

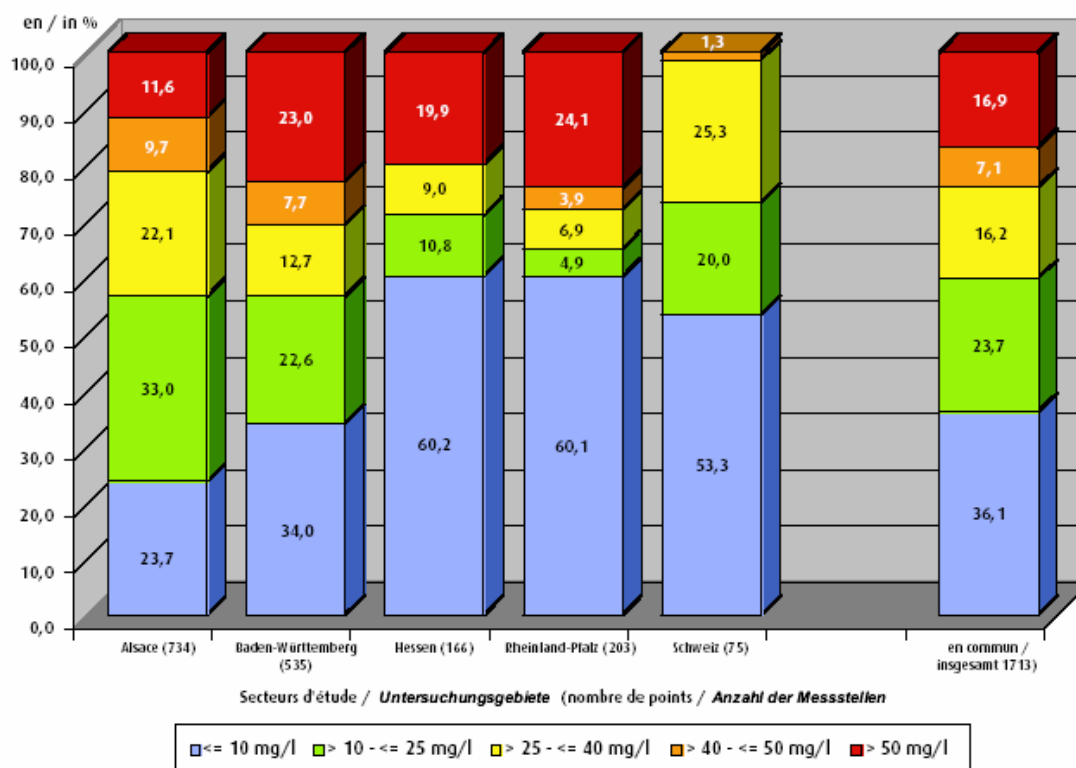


Abb. 1.1.1: Nitrat 2002-2003 : Verteilung pro Konzentrationsklasse (in % der Messstellen)

Fig. 1.1.1: Nitrates 2002-2003 : Répartition par classes de concentration (en % de points de mesure)

### 1.2.1 Eine Strategie der Mittel

In diesem Hinblick hatten die Schlussfolgerungen der grenzüberschreitenden Bestandsaufnahme von 1997 Anlass zur Definition gemeinsamer Handlungsprinzipien gegeben, die beidseits des Rheins in Handlungsempfehlungen und -vorschläge mündeten. Als Beispiele seien erwähnt: Verringerung des Anteils unbedeckter Böden im Winter, Anpflanzung von Zwischenfrüchten, Ve-

### 1.1.2 Une stratégie de moyens

Dans cette perspective, l'inventaire transfrontalier 1997 avait donné lieu, dans ses conclusions, à la définition de principes communs d'actions, qui avaient été déclinés, de part et d'autre du Rhin, en recommandations et propositions d'actions. On peut citer à titre d'exemple la réduction du pourcentage de sols nus en hiver, l'implantation de cultures intermédiaires, l'enherbement sous-semis ou

runkrautung unter der Saat oder zwischen den Reihen, Steuerung der Nitratreinträge, Einstellung von Grünlandumbruch, Förderung der biologischen Landwirtschaft usw.

Allerdings wird die Auswirkung eventueller bereits eingeleiteter örtlicher oder großräumiger Maßnahmen nicht vor Ablauf mehrerer Jahre oder gar Jahrzehnte sichtbar werden, da das Grundwasser des Oberrheingrabens zur Erneuerung eine sehr lange Zeit benötigt.

Angesichts der demographischen, städtebaulichen und industriellen Entwicklung im Oberrheingraben wird darüber hinaus die Belastung durch menschliche Tätigkeiten immer stärker werden. Äußerste Aufmerksamkeit ist geboten, um dem Ziel der Erhaltung und der Wiedererlangung der Wasserqualität und den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie gerecht zu werden.

### **1.1.3 Das gemeinsame Ziel des guten Zustands des Grundwassers**

Das regionale Ziel des "Schutzes und der Wiedererlangung der Grundwasserqualität, um den jetzigen und zukünftigen Generationen Trinkwasser ohne Vorbehandlung zu garantieren", wird im gesamten Oberrheingebiet geteilt. Diese Herausforderung verlangt die Mobilisierung aller Kräfte. Sie ist einer der Grundpfeiler der europäischen Wasserrahmenrichtlinie vom 23. Oktober 2000, die fordert, dass die Gewässer bis 2015 einen guten Zustand erreichen und die Maßnahmen auferlegt, "um die Einleitung von Schadstoffen in das Grundwasser zu verhindern oder zu begrenzen".

### **1.1.4 Entwicklung eines Management- und Vorhersageinstruments**

Angesichts der bevorstehenden o.g. Fristen und der Notwendigkeit intensiver Anstrengungen müssen grenzüberschreitende Daten- und Vorhersagepools verfügbar sein, um die Entscheidungen besser lenken zu können. Die Erstellung eines Modells der Nitratbelastung des Grundwassers wird diesem Bedarf gerecht. Nach Möglichkeit soll dieses Modell zum einen die Entwicklung des Istzustandes insbesondere bis 2015 abbilden und die Wirksamkeit der bereits eingeleiteten Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Nitratreinträge überprüfen. Zum anderen sollen damit die im Rahmen der vorangehenden grenzüberschreitenden Arbeiten festgelegten Handlungsempfehlungen optimiert werden,

en inter-rangs, la maîtrise des modalités d'apport d'azote, l'arrêt du retournement des prairies, le soutien à l'agriculture biologique, etc..

Toutefois, l'impact des mesures qui seraient d'ores et déjà engagées, localement ou à plus grande échelle, ne sera pas visible avant un certain nombre d'années, voire des décennies, compte tenu du temps de renouvellement très long des eaux de la nappe rhénane.

Par ailleurs, compte tenu des perspectives d'évolution démographique, urbaine et industrielle dans le Fossé rhénan, la pression des activités humaines sera de plus en plus forte. Il convient de rester des plus vigilants pour répondre à l'objectif de préservation et de reconquête de la qualité des eaux et des objectifs de la directive cadre sur l'eau.

### **1.1.3 L'objectif partage d'un bon état des eaux souterraines**

L'objectif régional, qui est de « Protéger et reconquérir la qualité des eaux souterraines, afin de garantir aux générations présentes et futures une eau potable sans traitement préalable », est partagé à l'échelle du Rhin supérieur. Ce défi demande de mobiliser toutes les énergies. Il constitue l'un des axes forts de la directive-cadre européenne sur l'eau du 23 octobre 2000 qui préconise d'atteindre un bon état des eaux à l'horizon 2015, et impose la mise en œuvre de « mesures pour prévenir ou limiter le rejet de polluants dans les eaux souterraines ».

### **1.1.4 L'élaboration d'un outil de gestion et de prévision**

L'imminence des échéances précédemment citées, la nécessité d'intensifier les efforts conduisent à disposer, à l'échelle transfrontalière, d'un ensemble de données et de prévisions pour mieux orienter les décisions. L'élaboration d'un modèle de la pollution de la nappe par les nitrates répond à ce besoin. Dans la mesure du possible, il doit permettre d'une part de rendre compte de l'évolution de la situation actuelle, notamment à horizon 2015, et de vérifier l'efficacité des mesures de protection déjà engagées pour la réduction des apports d'azote. D'autre part, il doit permettre d'optimiser les recommandations d'actions définies dans le cadre des précédents travaux transfrontaliers pour l'inversion

um die Entwicklungstrends des "Gesundheitszustandes" des Grundwassers umzukehren. Auch soll das Modell die Entwicklung von Vorhersageinstrumenten ermöglichen, die bei der Aufstellung von Grundwasserschutzmaßnahmen eine Entscheidungshilfe darstellen.

Auf einer fachlicheren Ebene ist es Gegenstand des Modells, die Wirkung der Schutzmaßnahmen auf das Grundwasser angesichts des Austauschs zwischen Grund- und Oberflächenwasser zu quantifizieren, die verschiedenen Quellen von Nitratreinträgen in das Perkolationswasser zu ermitteln und die Nitratmengen zu bestimmen, die in manchen Pilotgebieten ins Grundwasser gelangen. Ziel ist es, die Daten zu regionalisieren.

Eine solche Arbeit setzt voraus, dass eine große Menge von hydrogeologischen, hydrodynamischen, agronomischen und sozio-ökonomischen Daten herangezogen wird – Daten, die erstmals erhoben und zueinander in Beziehung gesetzt wurden. Dadurch stellt dieses Projekt vor allem einen wissenschaftlichen Anreiz dar. Aus fachlicher Sicht ist es darüber hinaus eine wahre Herausforderung an die internationale Zusammenarbeit.

Schließlich hat es diese ehrgeizige Arbeit erforderlich gemacht, zahlreiche Partnerschaften ins Leben zu rufen, unter anderem mit der Landwirtschaft. Insbesondere die grenzüberschreitende Typisierung der landwirtschaftlichen Betriebe stützte sich auf die elsässische Erfahrung, denn die Regionale Elsässische Landwirtschaftskammer hat den Projektpartnern die im Jahr 2003 veröffentlichten Ergebnisse ihrer Arbeit zur Verfügung gestellt.

Die Initiatoren dieses Projektes sind sich dessen bewusst, dass es sich hier um eine vorbereitende Arbeit handelt, deren Instrumente und Ergebnisse in bestimmten Zeitabständen verbessert und verfeinert werden müssen.

Sie bitten zum einen um Ihre Nachsicht, was die unvermeidbaren Mängel dieser Arbeit betrifft, und zum anderen um Ihre aktive Beteiligung an den Gesprächen, damit die wünschenswerten Verbesserungen an diesem Projekt besser eingegrenzt werden können.

des tendances d'évolution de l'état de santé de la nappe. Il doit également permettre de développer des outils de prévision pour l'aide à la décision dans l'établissement de mesures de protection des eaux souterraines.

Sur un plan plus technique, le modèle a pour objet de quantifier les effets des mesures de protection sur les eaux souterraines compte tenu des échanges entre les eaux souterraines et les eaux superficielles, d'identifier les différentes sources d'apports azotés dans les eaux de percolation et de déterminer les quantités d'azote atteignant les eaux souterraines dans quelques secteurs pilotes en vue d'une régionalisation des données.

De tels travaux nécessitent la prise en compte d'un volume impressionnant de données sur les facteurs hydrogéologiques, hydrodynamiques, agronomiques et socio-économiques, qui ont été recensées et mises en relation pour la première fois. Par là-même, ce projet est avant tout un véritable pari scientifique. Par ailleurs, il constitue sur le plan technique une véritable gageure en matière de coopération internationale.

Enfin, ce travail ambitieux a demandé la mise en place de nombreux partenariats dont celui avec la profession agricole. En particulier, la réalisation d'une typologie des exploitations agricoles à l'échelle transfrontalière s'est appuyée sur l'expérience alsacienne, la Chambre d'Agriculture Régionale d'Alsace, ayant mis à disposition des partenaires du projet les résultats de leurs travaux, publiés en 2003.

Les promoteurs de ce projet ont conscience qu'il s'agit d'un travail préliminaire dont les outils et les résultats demanderont à être périodiquement améliorés et affinés.

Ils sollicitent d'une part votre indulgence pour les imperfections inévitables de ce travail, et, d'autre part votre participation active aux débats pour cerner les améliorations qu'il est souhaitable d'apporter au projet.



## 1.2 Das Untersuchungsgebiet Oberrheingraben

*M. Simon*

Der südliche und mittlere Oberrheingraben bilden das Untersuchungsgebiet im grenzüberschreitenden Projekt MONIT, die „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“. Die Kenntnis der natürlichen Ausstattung des Untersuchungsgebiets ist wichtig für die Nachbildung der Prozesse in den verschiedenen Modellkomponenten. So ist das Klima ausschlaggebend für das Pflanzenwachstum, welches in einem Modul nachgebildet wird. Der Niederschlag ist eine wichtige Steuergröße sowohl für das Pflanzenwachstum als auch für das Abflussverhalten in Oberflächengewässern und dem Grundwasser im Untersuchungsgebiet. Schließlich ist die Landnutzung ein Faktor, der variiert werden kann, um eine Änderung des Nitratreintrags zu erzielen.

Insbesondere für den Wasserhaushalt, aber auch für die Abschätzung qualitativer Einflüsse aus den Randbereichen muss teilweise auch das seitliche (östliche/westliche) Einzugsgebiet des Rheins betrachtet werden. Dieses Gebiet wird als äußeres Projektgebiet bezeichnet und umfasst die überwiegend waldbedeckten Gebiete des Schwarzwalds und der Vogesen bis zur oberirdischen Wasserscheide.

Die im Folgenden dargestellten wichtigsten Daten zum Oberrheingraben beziehen sich überwiegend auf das "innere" Projektgebiet.

### 1.2.1 Naturräumliche und politische Gliederung

Der Oberrheingraben erstreckt sich im geographischen Sinne von Basel im Süden bis zu den Mittelgebirgen im Norden (in etwa bis Mainz). Im Rahmen des grenzüberschreitenden Projekts MONIT wird der Oberrheingraben nur bis zur Grenze des Elsass zu Rheinland-Pfalz und der Fortsetzung dieser Linie auf deutscher Seite betrachtet. Linksrheinisch stellt also die Lauter und rechtsrheinisch der Landkreis Rastatt die nördliche Begrenzung dar. Im Projektgebiet liegen damit die Départements Bas Rhin und Haut Rhin, welche zusammen die Région Alsace bilden, die Schweizer Kantone Basel Stadt und Basel Land und das Bundesland Baden-Württemberg.

## 1.2 La zone d'étude : la vallée du Rhin Supérieur

*M. Simon*

Les parties sud et moyenne de la vallée du Rhin Supérieur constituent la zone d'étude du projet transfrontalier MoNit (Modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin Supérieur). La connaissance du milieu naturel de la zone d'étude est importante pour la reproduction des processus dans les différentes composantes du modèle. Ainsi, le climat est déterminant pour la croissance des plantes reproduite dans l'un des modules. Les précipitations constituent une grandeur importante, tant pour la croissance des végétaux que pour les conditions d'écoulement dans les cours d'eau de surface et les eaux souterraines de la zone d'étude. Enfin, l'utilisation du sol constitue un facteur que l'on peut faire varier pour obtenir une modification des entrées de nitrates.

La prise en compte partielle des zones latérales (est et ouest) du bassin versant du Rhin est notamment nécessaire dans le cadre du bilan d'eau, mais également pour l'évaluation des influences qualitatives aux limites de la zone d'étude. Cette zone, extérieure au domaine d'étude, comprend les régions majoritairement boisées de la Forêt-Noire et des Vosges jusqu'à la ligne de partage des eaux.

Les données les plus importantes présentées ci-après concernent principalement la zone intérieure du projet.

### 1.2.1 Structure de l'espace naturel et structure politique

La vallée du Rhin Supérieur s'étend de Bâle au sud jusqu'à la zone de moyenne montagne de la région de Mainz au nord. Dans le cadre du projet transfrontalier MoNit, seule est prise en compte la partie de la vallée du Rhin Supérieur allant jusqu'à la frontière entre l'Alsace et la Rhénanie-Palatinat. Cette ligne est prolongée côté allemand. La Lauter forme la limite de la zone d'étude sur la rive gauche du Rhin et le district de Rastatt sur la rive droite représente sa limite nord. La zone du projet comprend donc les départements 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.

Die alten Grundgebirgsstümpfe des Schwarzwaldes und der Vogesen begrenzen den Rheingraben im Westen und Osten. Im Süden erfolgt der Abschluss durch den steil aufragenden Schweizer Jura. Die Längsausdehnung des Untersuchungsgebiets beträgt rheinparallel etwa 170 km, die durchschnittliche Breite etwa 30 km.

Der Oberrheingraben wurde in den Eiszeiten durch alpine Kiese und Sande verfüllt. Der heutige Rhein hat sich unter Ausbildung einer Talau in die Niederterrassenschotter eingesenkt. Diese Niederterrasse liegt 5 m bis 18 m über dem Rhein. Eine Besonderheit im Oberrheingraben bildet der zum Teil aus vulkanischem Erguss und Tiefengesteinen bestehende Kaiserstuhl.

Durch die Rheinkorrekturen und die Uferverbauung im 19. und 20. Jahrhundert wurde der Rhein in ein kanalartiges Bett gezwängt. Eine Begleiterscheinung ist die allgemeine Grundwasserabsenkung. Sie führte zum Austrocknen der Altrheinarme in der Markgräfler Rheinebene südlich des Kaiserstuhls und bewirkte eine Verbuschung und Versteppung des ursprünglichen Auewaldes. Das warme und trockene Klima der südlichen Rheinebene begünstigte diese Tendenz.

Nördlich des Kaiserstuhls bis etwa Straßburg grenzen die Stromniederung und die eigentliche Ebene in fast gleicher Höhe aneinander, daher ist das Grundwassergefälle von den Vorbergen zum Rhein hin sehr schwach. Der Grundwasserspiegel liegt deshalb in diesem Teil sehr viel näher an der Erdoberfläche als südlich davon und den nördlich anschließenden Hardtebenen. Den größten Teil dieses Abschnittes nehmen grundwasserfeuchte und zeitweise überschwemmte Niederungen ein. Charakteristisch sind die immerfeuchten mit Auewald bedeckten Rheinniederungen.

Nördlich von Straßburg bildete der Rhein vor der Korrektur große Mäander und änderte seinen Lauf ständig. Bedingt durch den hohen Grundwasserstand und die regelmäßigen Überschwemmungen konnten die flussnahen Flächen nicht landwirtschaftlich genutzt werden, weshalb der ursprüngliche Auewald bis heute weitgehend erhalten blieb. Die angrenzenden höher liegenden trockene-

Les ballons des massifs anciens des Vosges et de la Forêt Noire délimitent le Fossé rhénan à l'ouest et à l'est. La jonction est faite au sud par le Jura Suisse qui se dresse de façon abrupte. La longueur de la zone d'étude dans le sens nord-sud atteint environ 170 km et sa largeur environ 30 km.

Au cours des périodes glaciaires, le fossé rhénan a été comblé par du gravier et des sables alpins. Au cours de son évolution, le Rhin actuel a creusé son lit et formé une plaine alluviale dans les cailloutis des basses terrasses, qui s'élèvent maintenant de 5 à 18 m au-dessus du niveau du Rhin. Le Kaiserstuhl, composé en partie de roches magmatiques et plutoniques constitue une particularité dans le fossé rhénan.

Suite aux travaux de correction du cours du Rhin et de la stabilisation des berges au cours du XIX<sup>ème</sup> et du XX<sup>ème</sup> siècle, le Rhin a été canalisé dans un lit plus étroit. Ces aménagements ont généré un abaissement général de la nappe phréatique qui a provoqué l'assèchement des bras morts du Rhin dans la plaine rhénane du Markgräfler Land, au sud du Kaiserstuhl, puis l'embroussaillage de la forêt alluviale primitive. Le climat chaud et sec dans le sud du fossé rhénan renforce cette tendance.

Au nord du Kaiserstuhl jusqu'à la hauteur de Strasbourg, le lit majeur et la plaine proprement dite sont presque au même niveau et la pente de la nappe phréatique des contreforts du relief jusqu'au Rhin est alors très faible. C'est pour cette raison que la nappe phréatique est beaucoup plus proche de la surface dans cette zone que plus au sud ou au nord, au niveau des collines de la Hardt. La majeure partie de la plaine est occupée par des zones basses rendues humides par la nappe phréatique et ponctuellement inondées, ce qui favorise la formation de brouillard. Les terres alluvionnaires du Rhin, couvertes de forêts alluviales et toujours humides, sont caractéristiques de cette zone.

Au nord de Strasbourg, le Rhin formait avant les travaux de rectification de son tracé de larges méandres en modifiant continuellement son cours. Du fait du niveau élevé de la nappe phréatique et des risques réguliers d'inondation, ces surfaces n'ont pu être utilisées intensément pour l'agriculture. C'est pour cette raison que la forêt alluviale primitive a été en grande partie préservée jusqu'à



nen Flächen wurden schon früh landwirtschaftlich bewirtschaftet und sind damit weitgehend waldfrei.

nos jours. En bordure, les zones sèches plus élevées ont été cultivées très tôt et se trouvent pratiquement déboisées.

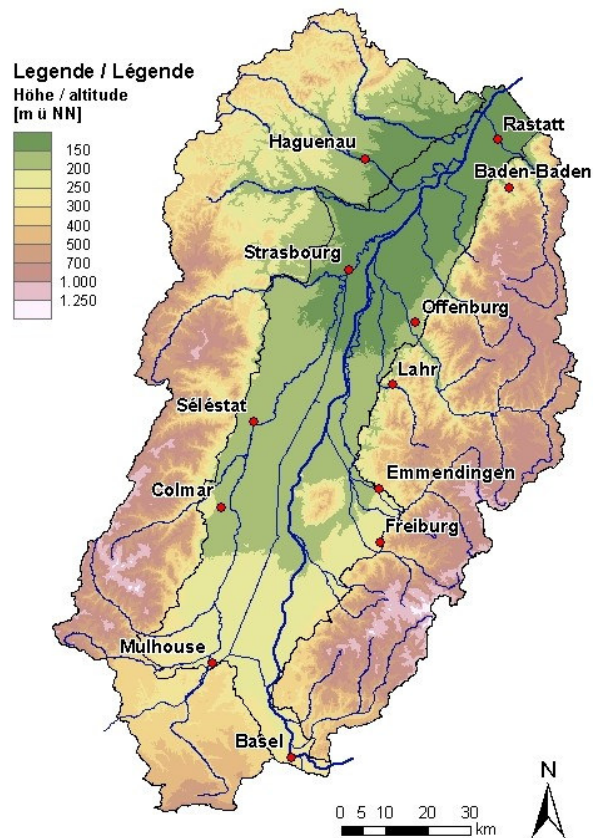


Abb. 1.2.1: Ausdehnung des Untersuchungsgebiets  
 Fig. 1.2.1: Extension de la zone d'étude

### 1.2.2 Geologie

Der Oberrheingraben ist Teil einer Bruchzone in der Erdkruste, die vom Mittelmeer bis zur Nordsee verläuft. Seine Entstehung reicht in das Tertiär vor 65 Mio. Jahren zurück. Seitdem überwiegt im Grabeninneren die Absenkungstendenz, während sich die Grabenränder, die Vogesen im Westen und der Schwarzwald im Osten, gleichzeitig heben, wie das dort freigelegte Grundgebirge dokumentiert.

Im Tertiär wurden im Grabeninneren unter zeitweise marinen Bedingungen meist Tone und Mergel sedimentiert, in übersalzten Becken wurden Kali- und Steinsalze abgelagert. Diese geringdurchlässigen Alluvionen bilden die Basis der grundwassererfüllten Lockergesteine, die die tektonisch vorgezeichnete Struktur seit dem Jungtertiär vor ca. 5 Mio. Jahren verfüllten und die häufig von Oberboden oder lehmigem Löss überlagert sind. Der untere Teil der Lockergesteins-

### 1.2.2 Géologie

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.). Depuis, le centre du fossé ne cesse de s'affaisser, alors que ses bords, les Vosges à l'ouest et la Forêt-Noire à l'est se soulèvent simultanément, comme le montre le socle mis à jour dans ces zones.

Au Tertiaire, lors des périodes marines, les dépôts sédimentaires dans le centre du fossé sont principalement constitués d'argile et de marnes, alors que des sels potassiques et du sel gemme sont déposés dans les bassins saturés en sel. Ces alluvions peu perméables constituent la base de l'aquifère alluvionnaire comblé par la structure d'origine tectonique depuis la fin du Tertiaire pendant environ 5 M. A., et qui sont souvent surmontés d'un sol végétal et de loess décarbonaté. La partie

füllung besteht weitgehend aus jungtertiären (pliozänen) kalkfreien Sanden und tonigen Schluffen. Sie wurden von Flüssen und Bächen aus Schwarzwald und Vogesen abgelagert. Der Rhein entwässerte zu jener Zeit entlang des heutigen Saône- und Rhonetals zum Mittelmeer.

Erst seit Beginn des Quartärs fließt der Rhein zur Nordsee. Die von ihm und seinen Nebenflüssen abgelagerten z.T. steinigen Kiese und Sande sind meist kalkhaltig und enthalten typische Gerölle alpiner Herkunft. Die zwischengeschalteten Feinsedimente wurden in Stillwasserbereichen oder bei Überschwemmungen als Hochflutlehm abgesetzt. Sie wirken gebietsweise als hydraulische Trennhorizonte und behindern den vertikalen Wasseraustausch im hochdurchlässigen Porengrundwasserleiter. Durch die fortwährende Verlagerung der Flussläufe wurden linsenartige Sedimentkörper abgelagert bzw. Rinnen in ältere grobe und feine Sedimente eingeschnitten. Die quartäre Lockergesteinsfüllung ist zwischen Basel und Lauterbourg durchschnittlich ca. 70 m und maximal 260 m mächtig.

### 1.2.3 Klima

Das Klima innerhalb des Projektgebietes ist milder, als es seine Lage in Mitteleuropa erwarten ließe. Zum einen liegt der Oberrheingraben tiefer als die umgebenden Regionen und zum anderen ist er über die Burgundische Pforte zum Mittelmeer hin geöffnet. Somit können ganzjährig feucht-warme Luftmassen aus dem westlichen Mittelmeerraum in den Oberrheingraben einfließen.

Die fast senkrecht zur vorherrschenden westlichen Windrichtung stehenden Randgebirge bringen eine Modifizierung der bodennahen Luftströmung mit sich. Im Sommer ist das Projektgebiet an schwülen und heißen Tagen einer erhöhten Wärmebelastung ausgesetzt, die mit der Höhe rasch abnimmt. Im Oberrheingraben wird so eine Mitteltemperatur von etwa 10 °C erreicht. Die Jahresmittelwerte sinken in den Vogesen und im Schwarzwald mit zunehmender Höhe auf 6 °C bis 5 °C in 1000 m bis 1200 m Höhe ab.

Der Jahresgang des Niederschlags besitzt zwei Maxima. Eines im November bei Südwest- und Westlagen und das zweite im Juni, verursacht durch Schauerniederschläge. Bei letzteren ist der abschirmende Einfluss der

inférieure du remplissage alluvionnaire est principalement constituée de sables décalcifiés et de limons argileux de la fin du Tertiaire (Pliocène) déposés par les cours d'eau et ruisseaux de la Forêt-Noire et des Vosges. A cette époque, le Rhin s'écoulait à travers les vallées actuelles de la Saône et du Rhône en direction de la Méditerranée.

Le Rhin ne s'écoule en direction de la Mer du Nord que depuis le début du Quaternaire. Les graviers et sables déposés par le fleuve et ses affluents sont le plus souvent calcaires et contiennent des galets d'origine typiquement alpine. Les sédiments fins intercalés ont été déposés dans les sections dormantes du fleuve ou lors d'inondations. Ils fonctionnent localement comme des horizons de coupure et entravent les échanges d'eau verticaux dans l'aquifère poreux très perméable. En raison de la diminution constante de la pente du lit, des sédiments lenticulaires sont déposés, ou bien des rigoles sont incisées dans les sédiments grossiers et fins antérieurs. L'épaisseur de l'aquifère alluvionnaire quaternaire entre Bâle et Lauterbourg atteint environ 70 m en moyenne et 260 m au maximum.

### 1.2.3 Climat

Le climat de la zone d'étude est plus doux que sa situation en Europe centrale ne le laisse présumer. D'une part, le fossé rhénan est situé plus bas que les régions environnantes, d'autre part il est ouvert vers la Mer Méditerranée par la Trouée de Belfort. Les masses d'air humide et chaud peuvent ainsi circuler de l'espace méditerranéen occidental jusque dans le fossé rhénan.

Les lignes de relief sont quasi perpendiculaires à la circulation des masses d'air dominantes, ce qui entraîne une modification de l'écoulement de l'air à proximité du sol. En été, pendant les journées lourdes et chaudes, la zone d'étude est soumise à une charge thermique importante qui diminue rapidement avec l'altitude. Dans le Fossé rhénan, la température moyenne est généralement supérieure à 10 °C, alors que dans les Vosges et en Forêt Noire, les moyennes annuelles descendent jusqu'à 6 °C à 1000 m et 5 °C à 1200 m d'altitude.

La courbe annuelle des précipitations possède deux maxima : l'un en novembre lors des situations météorologiques sud-ouest et ouest et le deuxième en juin provoqué par des précipitations sous forme d'averses.

Gebirge viel geringer. Es ergeben sich große Unterschiede in der mittleren Niederschlagsverteilung aufgrund des Geländereiefs.

Die Vogesen sind für maritime Luftmassen aus West-Südwest das erste bedeutsame Hindernis und erhalten so die höchsten Niederschlagsmengen. Der Lee-Effekt ist sehr deutlich am östlichen Vogesenrand ausgeprägt, im Raum Colmar ergeben sich mittlere Niederschläge unter 540 mm im Jahr. Als Wirkung der Randgebirge des Rheintals steigt die mittlere jährliche Niederschlagshöhe von 700 mm/a im Leegebiet des Pfälzer Berglands im Nordwesten in Richtung Südosten zunächst gleichmäßig an und erreicht im Luv des Nordschwarzwalds schließlich 900 mm/a. Am Ostrand des Projektgebietes bewirken Hebungsvorgänge am Schwarzwald ein starkes Anwachsen der Niederschlagshöhen bis über 2 300 mm/a auf dem Feldberg im Süden und der Hornisgrinde im Norden. Im Zentrum des Kaiserstuhls fallen im Mittel ebenfalls etwa 700 mm/a Niederschlag.

#### 1.2.4 Oberflächengewässer

Der Rhein prägt das Abflussgeschehen im Untersuchungsgebiet. Er fließt in nördlicher bzw. nord-nordöstliche Richtung, seine Gefälle beträgt im Mittel etwa 0,1%. Bei Basel hat er einen mittleren Abfluss von 1060 m<sup>3</sup>/s, in Karlsruhe am Pegel Maxau ist dieser auf 1255 m<sup>3</sup>/s angestiegen.

Der Rhein ist Vorfluter für alle die Vogesen nach Osten und den Schwarzwald nach Westen entwässernden Flüsse. Die aus dem Schwarzwald kommenden Flüsse fließen nach Eintritt in die Rheinebene dem Geländegefälle folgend in nordwestlicher Richtung zum Rhein. Beim Übertritt aus den Mittelgebirgen in die Rheinebene tritt durch den größeren Flurabstand häufig Wasser aus dem Fluss ins Grundwasser über. Das Flusswasser infiltriert ins Grundwasser und trägt damit in bedeutendem Maße zur Grundwasserneubildung bei. Hingegen wirken die Flüsse in den Unterläufen wiederum als Vorfluter für das Grundwasser, welches in die Oberflächengewässer übertritt (Exfiltration).

Die bedeutendsten Nebenflüsse sind auf baden-württembergischer Seite die Kinzig, sowie die Wiese, Möhlin, Dreisam, Elz und Murg. Auf elsässischer Seite bestimmt süd-

L'effet d'abri des reliefs montagneux est beaucoup plus faible dans le second cas. Le relief entraîne de grandes disparités dans le régime pluviométrique moyen.

Les Vosges constituent le premier obstacle important pour les masses d'air maritime en provenance de l'ouest et du sud-ouest et reçoivent par conséquent de très grandes quantités de pluie. L'effet d'abri est particulièrement marqué sur la bordure est des Vosges : dans la région de Colmar, on enregistre des précipitations moyennes inférieures à 540 mm par an. Sous l'effet de la ligne montagneuse limitrophe de la vallée du Rhin, la hauteur annuelle moyenne des précipitations est de 700 mm dans les régions montagneuses du Palatinat à l'abri du vent au nord-ouest en direction du sud-est. Elle peut atteindre 900 mm dans les zones exposées au vent. A la bordure est de la zone d'étude, des mécanismes de soulèvement des masses d'air à l'approche de la Forêt Noire provoquent un accroissement sensible des totaux pluviométriques qui dépassent 2 300 mm sur le Feldberg au sud et sur la Hornisgrinde au nord. Le centre du Kaiserstuhl reçoit également environ 700 mm de pluie par an.

#### 1.2.4 Cours d'eau de surface

L'écoulement dans la zone d'étude est marqué par le Rhin. Il s'écoule vers le nord ou le NNE avec une pente moyenne d'environ 0,1 %. Son débit moyen à Bâle atteint 1060 m<sup>3</sup>/s, et 1255 m<sup>3</sup>/s à Karlsruhe au piézomètre de Maxau.

Tous les cours d'eau vosgiens s'écoulant vers l'est et tous les cours d'eau de la Forêt-Noire se dirigeant vers l'ouest sont des affluents du Rhin. Après avoir pénétré dans la plaine du Rhin, les cours d'eau provenant de la Forêt-Noire s'écoulent vers le nord-ouest en direction du Rhin, en suivant la diminution de pente. A l'entrée de la plaine, il est fréquent que de l'eau du cours d'eau s'infilte dans les eaux souterraines, en raison de la plus grande profondeur de la nappe. L'eau du Rhin s'infilte dans la nappe et participe ainsi largement à sa recharge. Dans le cours inférieur du Rhin au contraire, ce sont les cours d'eau qui drainent la nappe (exfiltration).

Les affluents principaux du côté du Bade-Wurtemberg sont la Kinzig, la Wiese, la Möhlin, la Dreisam, l'Elz et la Murg. Du côté alsacien, l'Ill est le seul affluent du Rhin au

lich Straßburg die Ill das Abflussgeschehen. Sei fließt über eine weite Strecke parallel zum Rhein in nördlicher Richtung. In die Ill münden die aus den Vogesen kommenden Flüsse Doller, Thur und Fecht. Zwischen Ill und Rhein verläuft außerdem der Rhein-Rhonekanal. Nördlich Straßburg fließen die Bruche, Zorn und Moder in nordöstlicher Richtung in den Rhein.

### 1.2.5 Grundwasser

Im Untersuchungsgebiet zwischen Basel und Rastatt deckt das Grundwasser drei Viertel des Trinkwasserbedarfs der Bevölkerung und mehr als die Hälfte des Bedarfs an Industrierwasser. Auch die Bewässerung durch die Landwirtschaft erfolgt zu einem großen Teil aus dem Grundwasser. Mehr als drei Millionen Einwohner im Elsass und Baden-Württemberg sind somit von dieser einzigartigen und außergewöhnlichen Wasserressource direkt abhängig, welche ohne vorherige Aufbereitung als Trinkwasser zu verwenden ist, jedoch Verunreinigungen aus Haushalten, der Industrie und der Landwirtschaft ausgesetzt ist.

Die Menge dieses immensen Grundwasservorrats wird auf 45 Milliarden Kubikmeter Wasser geschätzt (die Hälfte des Genfer Sees). Der Oberrheingraben ist damit einer der bedeutendsten Grundwasserspeicher in Mitteleuropa. Das Grundwasser fließt in den Kies- und Sandablagerungen im Oberrheingraben großräumig von Süden nach Norden parallel zum Rhein mit einer Geschwindigkeit von ein bis zwei Metern pro Tag. Die Aquiferbasis bilden die gering leitenden tertiären Tone und Mergel. Grundwasser ist meistens bereits wenige Meter unter Gelände vorhanden.

Das Grundwasser im Oberrheingraben ist einer Vielzahl von Einflüssen und Gefahren ausgesetzt:

- Die Siedlungs- und Industriedichte im Oberrheintal ist sehr hoch.
- Die Rheinebene wird landwirtschaftlich intensiv genutzt.
- Der Oberrheingraben ist ein wichtiges Kiesgewinnungsgebiet.
- Er wird nicht zuletzt von stark frequentierten Verkehrswegen durchzogen.

Dem Schutz des Grundwassers des Oberrheingrabens kommt nicht zuletzt wegen der vielfältigen, teils konkurrierenden Nutzungen eine besondere Bedeutung zu.

sud de Strasbourg. Elle s'écoule vers le nord parallèlement au Rhin sur une longue distance. L'Ill reçoit la Doller, la Thur et la Fecht en provenance du massif vosgien. Par ailleurs, le canal du Rhône au Rhin s'écoule entre l'Ill et le Rhin. Au nord de Strasbourg, la Bruche, la Zorn et la Moder se dirigent vers le nord-est pour se jeter dans le Rhin.

### 1.2.5 Eaux souterraines

Dans la zone d'étude entre Bâle et Rastatt, les eaux souterraines fournissent les trois-quarts des besoins en eau potable de la population et plus de la moitié des besoins industriels en eau. L'irrigation agricole provient aussi en grande partie des eaux souterraines. Plus de trois millions d'habitants de l'Alsace et du Bade-Wurtemberg dépendent donc directement de cette ressource en eau unique et d'ampleur exceptionnelle, utilisable sans traitement préalable pour l'eau potable, bien que la pollution par les ménages, l'industrie et l'agriculture soit avérée.

Le volume de cette immense réserve d'eau souterraine est estimé à 45 milliards de mètres cubes (soit la moitié du lac Lemman). La vallée du Rhin Supérieur est ainsi l'un des réservoirs d'eau les plus importants d'Europe Centrale. L'eau de la nappe s'écoule vers le nord et parallèlement au Rhin dans les dépôts de sable et de gravier à la vitesse d'un à deux mètres par jour. La base de l'aquifère est formée des argiles et marnes tertiaires peu perméables. La nappe est la plupart du temps présente à quelques mètres de profondeur seulement.

Les eaux souterraines dans la vallée du Rhin Supérieur sont menacées par de nombreuses influences et risques :

- Les densités d'habitation et d'industrie y sont très élevées
- La plaine du Rhin est utilisée intensivement à des fins agricoles
- L'extraction de gravier y est importante
- Elle est parcourue de voies de communications très fréquentées

La protection des eaux souterraines dans la vallée du Rhin Supérieur prend ainsi un sens particulier à cause des usages multiples et partiellement concurrents de l'eau.

### 1.2.6 Landnutzung

Die Zusammensetzung und räumliche Verteilung der Vegetation ist im Projektgebiet in starkem Maße vom Menschen geprägt. Fruchtbare Gebiete haben in früherer Zeit Ackerbau ermöglicht und damit eine dichtere Besiedlung zugelassen. Zur Anlage von Siedlungen, Industrieanlagen und Verkehrswegen wurden Wälder gerodet und in Ackerland umgewandelt. Ein großer Eingriff in den Wasserhaushalt des Oberrheingrabens war die Rheinkorrektur durch Tulla. Sie wurde zur Schiffbarmachung des Rheins und damit Erhöhung der Fließgeschwindigkeit sowie zur Eindämmung der großflächigen Überschwemmungen durchgeführt.

Nahezu die Hälfte der Fläche im Untersuchungsgebiet (49%) wird landwirtschaftlich genutzt. Vorherrschend ist der Ackerbau (v. a. der Maisanbau), aber auch Obst und andere Sonderkulturen werden angebaut. Der Wald beschränkt sich heute vorwiegend auf Standorte, auf denen sich die Landwirtschaft in früheren Zeiten nicht durchsetzen konnte, wie z.B. in feuchteren Gebieten entlang des Rheins oder der Ill. Nur etwa 11 % des Untersuchungsgebiets sind von Grünflächen und Wiesen bedeckt. Der Weinbau ist charakteristisch für den Ost- und Westabfall der Vorbergzone und den Kaiserstuhl, die Reben gedeihen hier bis in 500 m Höhe.

Die größten zusammenhängenden Siedlungsflächen finden sich entlang des Rheins an Stellen, wo Querverbindungen für einen wirtschaftlichen Austausch in Schwarzwald und Vogesen hinein und darüber hinweg sorgen. Die Flächen für Siedlungen und Industrie nehmen einen Flächenanteil von 17 % ein.

### 1.2.7 Fazit

Das Grundwasser im Oberrheingraben wird zu verschiedenen Zwecken genutzt. Die Verwendung als Trinkwasser ist dabei am bedeutendsten. Die Quantität ist im Oberrheingraben noch nie ein Problem gewesen und wird es auch nicht sein. Besorgnis erregt eher die Qualität des Grundwassers. Die neueste grenzüberschreitende Bestandsaufnahme der Grundwasserqualität aus dem Jahre 2003 hat gezeigt, dass rund an jeder dritten Messstelle mindestens von einem Stoff die EU-Umweltqualitätsnorm oder er-

### 1.2.6 Utilisation du sol

La composition et la répartition géographique de la végétation dans la zone d'étude sont fortement influencées par l'homme. Les zones fertiles ont favorisé très tôt l'agriculture et par conséquent l'implantation d'une population plus dense. L'implantation des lotissements, des installations industrielles et des voies de communication, a entraîné le défrichement des forêts et l'utilisation des terres arables à d'autres fins. La correction du cours du Rhin par Tulla fut une intervention profonde dans le bilan hydrologique du fossé rhénan. Elle était nécessaire pour canaliser le Rhin afin d'augmenter la vitesse d'écoulement du fleuve et de maîtriser les grandes inondations.

Près de la moitié de la superficie de la zone d'étude est occupée par des usages agricoles. La plupart de ces surfaces sont destinées aux cultures (principalement au maïs), mais d'autres cultures telles que la production fruitière ou des cultures spéciales sont présentes. Aujourd'hui, la forêt se limite principalement aux endroits où l'exploitation agricole n'avait pas pu s'imposer dans le passé, comme par exemple les zones plus humides le long du Rhin ou de l'Ill. Seuls 11 % de la zone d'étude sont couverts d'herbages et de prairies. 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.

Les plus grandes zones d'implantation humaine continues se situent le long du Rhin, aux endroits où des liaisons transversales assurent un échange économique vers la Forêt Noire et les Vosges. Les surfaces couvertes par les zones urbanisées et les industries représentent 17% de la surface de la zone d'étude.

### 1.2.7 Bilan

Les eaux souterraines dans la vallée du Rhin sont utilisées pour différents usages, dont le plus important est l'utilisation pour l'eau potable. Si aucun problème n'a jamais affecté (et ne devrait pas affecter dans l'avenir) les quantités d'eau, la qualité de l'eau au contraire suscite des inquiétudes. L'inventaire transfrontalier de la qualité des eaux souterraines de 2003 a en effet montré que dans environ une station de mesure sur trois, les seuils de potabilité étaient dépassés pour au moins l'un des paramètres définis par la nor-

satzweise der Grenzwert für Trinkwasser überschritten wird. Neben den Pflanzenschutzmitteln, die im elsässischen Teil das Hauptproblem darstellen, ist vor allem das Nitrat der Parameter, der am häufigsten in hohen Konzentrationen im Grundwasser angetroffen wird. Dies ist verständlich, hält man sich vor Augen, dass die Hälfte der Fläche im Oberrheingraben landwirtschaftlich intensiv genutzt wird, und dabei der düngereintensive Mais sowie auch Sonderkulturen häufig angebaut werden.

Das Projekt soll einen Beitrag dazu leisten, das Grundwasser im Oberrheingraben in seiner Qualität zu verbessern, damit der Oberrheingraben weiterhin ein wertvoller Lebensraum für die dort lebenden Menschen bleibt und gleichermaßen die bestehenden Ökosysteme erhalten bleiben.

me de qualité environnementale de l'UE ou par une norme équivalente. En plus des produits phytosanitaires qui constituent en Alsace le problème majeur de pollution de la nappe, les nitrates sont le paramètre qui est trouvé le plus fréquemment à des concentrations élevées dans les eaux souterraines. Ceci est compréhensible si on considère que la moitié de la surface de la vallée du Rhin Supérieur est utilisée pour l'agriculture intensive, et que de surcroît les cultures exigeantes en engrais telles que le maïs ou les cultures spéciales sont fréquentes.

Le projet doit ainsi contribuer à améliorer la qualité de l'eau dans la vallée du Rhin Supérieur, afin que cette zone continue à constituer un habitat de qualité pour ses habitants, mais également pour que les écosystèmes existants soient conservés.

### 1.3 Modellierungskonzept: Auswahl von Bausteinen

*J. Grimm-Strele, St. Schrempp, M. Casper,  
Ph. Elsass*

#### 1.3.1 Zielsetzung

Die in der Einleitung genannten Zielvorstellungen können grundsätzlich durch unterschiedlich komplexe Modelle und mit verschiedenen Schwerpunkten (u. a. Verhalten der Landwirte, Transfer in und durch die ungesättigte Zone, Stofftransport im Grundwasser) verfolgt werden. Dies umfasst unterschiedlich detaillierte sozio-ökonomische Modelle, Modelle für die gesättigte Zone, Modellansätze für Grundwasserneubildung, Sickerwasserbewegung sowie Nährstoffdynamik in der Wurzelzone, in der ungesättigten Zone und im Grundwasser. Besondere Überlegungen sind auch erforderlich für die Wechselwirkung zwischen oberirdischen Gewässern und dem Grundwasser. Insbesondere für das Grundwasser in der gesättigten Zone liegen durch diverse Vorgängerprojekte (Life, INTERREG II-Projekt Hochrhein) bereits grenzüberschreitende Grundlagen und Datensätze vor.

Die Modelluntersuchungen konzentrieren sich im Hinblick auf die Beschaffenheitsproblematik auf das Nitrat. Dazu muss insbesondere der Eintrag aus der Bodenzone modelliert werden. Der Eintrag aus anderen Quellen wie undichte Kanalisationen, der Atmosphäre, abwasserbelasteten oberirdischen Gewässern usw. muss z. T. aus anderen Untersuchungen bestimmt werden.

Es soll ein Simulationswerkzeug entstehen, das es erlaubt, die Wirkung möglicher Maßnahmen zur Reduzierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat zu bewerten, um damit Grundlagen für eine Priorisierung anzubieten. Die möglichen Maßnahmen umfassen ein sehr breites Spektrum aus dem landwirtschaftlichen und aus dem nichtlandwirtschaftlichen Bereich. Sie sind sowohl hinsichtlich des Inhalts (z. B. verbesserte Düngerechnung, pflanzenbauliche Maßnahmen, betriebswirtschaftliche Maßnahmen, Veränderung der Landnutzung) als auch hinsichtlich der Art der Umsetzung (legislative -

### 1.3 Concept de modélisation : choix des composantes

*J. Grimm-Strele, St. Schrempp, M. Casper,  
Ph. Elsass*

#### 1.3.1 Objectifs

Les objectifs présentés dans l'introduction peuvent en principe être poursuivis par le biais de différents modèles plus ou moins complexes, et portant chacun sur des éléments différents du système (dont le comportement des agriculteurs, les transferts dans et à travers la zone non saturée, le transport de substances dans les eaux souterraines). Ceci comprend divers modèles socio-économiques détaillés, des modèles pour la zone saturée, des approches pour la modélisation de la recharge de la nappe, de l'eau de percolation ainsi que de la modélisation de la dynamique des nutriments dans la zone racinaire, dans la zone non saturée et dans les eaux souterraines. Des réflexions particulières sont également requises concernant les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour les eaux souterraines en particulier, il existe déjà des bases et des jeux de données transfrontaliers grâce à divers projets antérieurs (Life, Projet INTERREG II Rhin Supérieur).

Eu égard à la nature de la problématique, les recherches par le biais de modèles se concentrent sur les nitrates. Ceci demande en particulier une modélisation des entrées de nitrates dans les eaux souterraines à partir du sol. Les entrées issues d'autres sources telles que des fuites de canalisations, l'atmosphère, les pollutions des cours d'eau provenant des eaux usées, etc. doivent être déterminées en partie sur la base d'autres études.

On doit aboutir au développement d'un outil de simulation permettant d'évaluer les effets de mesures potentielles visant à réduire la pollution des eaux souterraines par les nitrates, et offrant de ce fait une base pour la définition de priorités. Les mesures possibles sont comprises dans une large gamme concernant autant le domaine agricole que non agricole. Ces mesures peuvent être classées en fonction de leur contenu (par exemple des meilleurs calculs des doses de fertilisants à apporter, des mesures concernant la production végétale, des mesures économiques concernant les exploitations agricoles, des

vertragliche -, kooperative Umsetzung, finanzielle Anreize) zu untergliedern. Insbesondere sind auch die Auswirkungen veränderter agrarpolitischer Rahmenbedingungen auf die Landwirtschaft zu berücksichtigen.

Die Wirkungskette der Maßnahmen ist komplex: Um die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Nitratgehalte im Grundwasser darstellen zu können, ist die Bewirtschaftung, der Stickstoffhaushalt der Pflanze und der Bodenzone, der Transport durch die ungesättigte Zone und im Grundwasser bis zu den Wasserfassungen zu modellieren. Nicht zuletzt ist das Verhalten der Landwirte angesichts neuer Regelungen bzw. Zuschüsse zu berücksichtigen, wenn es um die Evaluierung solcher Maßnahmen geht.

### 1.3.2 Grundlagen

Der Umfang der benötigten Daten ist einerseits ähnlich für viele der benötigten und möglichen Modelle (z. B. klimatische Daten für das Pflanzenwachstum, den Stickstoffhaushalt, die Grundwasserneubildung usw.), unterscheidet sich aber andererseits vor allem bei einer unterschiedlichen Komplexität von Modellen. Die Verfügbarkeit der Daten beeinflusst die konkrete Modellauswahl in hohem Maße. Dabei stellt die unterschiedliche Datenlage in den beteiligten Ländern eine erhebliche Problematik dar. In diesem Zwischenbericht steht darum die Darstellung der Datengrundlagen im Vordergrund.

In der Vorphase wurde auf der Grundlage der verfügbaren Datenbestände sowie durch eine Bewertung der Leistungsfähigkeit verschiedener Modelle in Bezug auf die detaillierten Zielvorgaben eine Vorauswahl möglicher Modellklassen und Modellsysteme durchgeführt. Dabei wurden auch Integrierte Hydrologische Modellsysteme (MOHISE, MIKE SHEE) und eine Anbindung an ein allgemeines Wasserhaushaltsmodell, (z. B. LARSIM) untersucht.

Es erschien nicht zielführend, für die in der Zielstellung genannten Aufgaben ein Gesamtmodell zu entwickeln, in dem alle Prozesse abgebildet werden. Stattdessen wird für jeden Teilbereich ein existierendes, bestmöglich geeignetes Modell verwendet. Diese

modifications de l'utilisation du sol) ou en fonction des méthodes de mise en œuvre (mesures réglementaires, contractuelles, volontaires, incitations financières). En particulier, il est nécessaire de prendre en considération les effets des modifications des politiques agricoles sur l'agriculture.

L'enchaînement des effets des mesures est complexe : afin de pouvoir décrire avec précision les répercussions des mesures sur la teneur en nitrates des eaux souterraines, il est nécessaire de modéliser les méthodes d'exploitation agricoles, les transferts d'azote dans le système sol-plante, le transport de nitrates à travers la zone non saturée et dans les eaux souterraines jusqu'aux zones de captage des eaux. Dans le cadre de l'évaluation de telles mesures, il est particulièrement important de prendre en considération le comportement des agriculteurs suite à de nouvelles réglementations (comme par exemple les subventions).

### 1.3.2 Fondements

Si la quantité de données nécessaires pour la plupart des modèles utilisés ou pouvant l'être dans le projet est identique (p. ex. les données climatiques pour la croissance des plantes, le cycle de l'azote dans le sol, la recharge de la nappe, etc.), des différences importantes existent entre modèles en fonction de leur complexité. La disponibilité des données influence fortement le choix effectif des modèles. De plus, les différences de données disponibles selon les pays participant au projet constituent une problématique non négligeable. C'est pourquoi la description des données de base occupe une place centrale dans ce rapport intermédiaire.

Au cours d'une phase préliminaire, une première sélection des types et des systèmes de modèles potentiels a été effectuée, en fonction des données disponibles ainsi que sur la base d'une évaluation de la faisabilité des différents modèles par rapport aux objectifs détaillés. Dans ce cadre ont également été étudiés des systèmes intégrés pour la modélisation hydrologique (MOHISE, MIKE SHE) ainsi qu'un rattachement à un modèle de bilan d'eau (p. ex. LARSIM).

Le développement d'un modèle global reproduisant l'ensemble des processus n'est pas apparu comme la meilleure solution pour répondre aux objectifs définis dans le cadre du projet. Au lieu de cela, un modèle existant le plus adapté possible est utilisé pour cha-



sind an die durch spezielle klimatische Verhältnisse und Bewirtschaftungsformen gekennzeichneten regionalen Bedingungen des Oberrheingrabens anzupassen.

Neben den Überlegungen zu den Modellbausteinen selbst ist die Koppelung der Teilmodule, bzw. die Schnittstellendefinitionen zu bearbeiten. Dies betrifft auch die Transferierbarkeit von Daten, Randbedingungen und Modellresultaten auf lokale Gegebenheiten und Fragestellungen.

### 1.3.3 Vorgehensweise

Nach einer Bewertung der benötigten und verfügbaren Daten, der Leistungsfähigkeit einzelner Modellbausteine und der Möglichkeiten zur Koppelung der Teilmodelle werden folgende Teilmodelle miteinander gekoppelt (Abb. 1.3.1):

- (1) Ein sozio-ökonomisches Modell zur Abschätzung einer Änderung der Nutzungspraxis (z.B. Düngereinsatz, Viehbesatz, Art der Bewirtschaftung und der Anbaufrüchte) infolge geänderter Rahmenbedingungen und möglicher gezielter Maßnahmen,
- (2) ein prozess-orientiertes Nitrateintragsmodell zur Ermittlung des Nitrateintrags in das Grundwasser als Funktion von Anbaufrucht, Bewirtschaftungsmethode, Düngerpraxis und Klimabedingungen,
- (3) ein Bilanzmodell der durchwurzelten Bodenzone zur flächendeckenden Abschätzung der aktuellen und einiger historischer Nitrateintragsverteilungen,
- (4) ein Modell zur räumlichen Interpolation der Klimaparameter und zur Abschätzung der Grundwasserneubildung,
- (5) ein Regionalisierungsmodell zur Bestimmung der monatlichen oberirdischen Zuflüsse aus dem Schwarzwald und den Vogesen (IWK-Regio),
- (6) ein hydrogeologisches Modell der Aquifergeometrie und der hydraulischen Eigenschaften der Lockergesteinsfüllung des südlichen Oberrheingrabens,

que sous-domaine du projet. Ces modèles doivent être adaptés aux conditions particulières du Fossé rhénan, tant sur le plan climatique que sur celui des systèmes d'exploitation agricole.

Outre la réflexion sur les composantes même des modèles, il est nécessaire de travailler sur le couplage entre modèles, c'est-à-dire à la définition des différentes interfaces. Ceci concerne également la transférabilité des données, les conditions aux limites et les résultats de la modélisation sur la problématique et les préoccupations locales.

### 1.3.3 Méthodologie

Après avoir procédé à une évaluation des données nécessaires et disponibles, de la faisabilité des composantes individuelles (les modèles) et des possibilités de couplage, les sous-modèles suivants ont été couplés les uns aux autres (Fig. 1.3.1) :

- (1) Un modèle socio-économique pour évaluer les modifications des pratiques d'exploitation (p. ex. apports de fertilisants, densité de bétail, méthodes d'exploitation et choix des cultures) suite aux modifications des conditions générales et aux éventuelles mesures ciblées ;
- (2) Un modèle à base physique du lessivage des nitrates pour la détermination des entrées de nitrates dans la nappe en fonction de la culture, des méthodes d'exploitation, des pratiques de fertilisation et des conditions climatiques ;
- (3) Un modèle de bilan pour la zone racinaire permettant une évaluation spatialisée du lessivage des nitrates dans les conditions actuelles et par le passé ;
- (4) Un modèle pour l'interpolation spatiale des paramètres climatiques et pour l'évaluation de la recharge de la nappe ;
- (5) Un modèle de régionalisation pour l'estimation des apports latéraux mensuels dus aux écoulements de surface à partir de la Forêt-Noire et des Vosges (IWK-Regio) ;
- (6) Un modèle hydrogéologique de la géométrie de l'aquifère et des propriétés hydrauliques des sédiments alluviaux dans la partie sud du Fossé rhénan ;

(7) ein gekoppeltes Grundwasser-Strömungs- und -Transportmodell zur flächenhaften, dreidimensionalen Simulation der Grundwasserströmung und des Transportes bzw. des Abbaus von Nitrat im Grundwasser.

Ergänzend werden in Feldstudien zwei Teilaspekte detaillierter untersucht:

(a) Aus den Vorläuferprojekten ist bekannt, dass der Austausch zwischen Fluss und Grundwasser im Oberrheingraben einen mengenmäßig großen Anteil am Wasserhaushalt hat. Außerdem gibt es Hinweise, dass die Uferzone einen großen Beitrag zum Nitratabbau leistet. Im Schweizer Teilgebiet werden darum in kleinräumigen Modellgebieten, bei denen die Wechselwirkung mit den Oberflächengewässern wesentlich ist, diese Fragen mit Hilfe von Messungen und einem Grundwassermodell untersucht.

(c) Für die Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung ist es wichtig, die Herkunft des Nitrats (Mineralische oder organische Dünger, Mineralisation und Nitrifikation von organischer Substanz, atmosphärische Deposition) zu kennen. Durch Untersuchung der Isotopenzusammensetzung des Sickerwassers soll die Herkunft des Nitrats ermittelt werden. Insgesamt 15 Standorte (Sieben in der Schweiz, je vier in Deutschland und Frankreich) sind deshalb mit Saugkerzen zur Erfassung des Sickerwassers ausgerüstet worden. Die Daten von diesen Flächen werden auch zur Validierung der Modelle verwendet.

Wegen ihres wesentlichen Beitrags zur Nitratbelastung des Grundwassers konzentriert sich die modellhafte Betrachtung im Rahmen von MoNit auf diffuse Nitratausträge aus der Bodenzone. Für diesen Bereich werden zwei Teilmodelle eingesetzt. Die hohe zeitliche Dynamik des Stickstoffhaushaltes und die Komplexität der Vorgänge, die für die Nitrat- auswaschung eine Rolle spielen, erfordern einerseits eine detaillierte, prozessorientierte Modellierung. Ein prozessorientiertes Modell wird benötigt, um eine Parametrisierung für stärker vereinfachende Modellansätze zu liefern und um die Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen abschätzen zu können. Dafür wird das Modell STICS verwendet.

(7) Un modèle couplé hydrodynamique et de transport pour la simulation spatialisée tridimensionnelle de la circulation des eaux souterraines et du transport des nitrates dans les eaux souterraines ainsi que pour la dénitrification.

En complément, deux sous-aspects ont été étudiés de façon plus détaillée au cours d'études de terrain :

(b) Grâce aux projets antérieurs, on sait que les échanges nappe-rivière dans le Fossé rhénan prennent quantitativement une part importante dans le bilan de l'eau. En outre, il existe des indications qui démontrent que la dénitrification est particulièrement importante près des rives des cours d'eau. C'est pourquoi, dans la partie suisse de la zone d'étude où les interactions avec les eaux superficielles sont considérables, cette question a été étudiée à l'aide de mesures et d'un modèle des eaux souterraines dans des zones de surface réduite.

(b) Dans le cadre de la définition de mesures de réduction de la pollution, il est important de connaître l'origine des nitrates (fertilisation minérale ou organique, minéralisation et nitrification de substances organiques, déposition atmosphérique). L'origine des nitrates peut être déterminée par le biais de la composition isotopique de l'eau de percolation. C'est pourquoi 15 sites (sept en Suisse, quatre en Allemagne et quatre en France) ont été équipés de bougies poreuses pour la collecte d'eau de percolation. Les données issues de ces parcelles sont également utilisées pour la validation des modèles.

Dans MoNit, les efforts de modélisation se concentrent sur le lessivage diffus des nitrates, en raison de la part considérable de ce processus dans la pollution en nitrates des eaux souterraines. Deux sous-modèles sont utilisés dans ce domaine. La forte dynamique temporelle des transferts de nitrates ainsi que la complexité des processus jouant un rôle dans le lessivage des nitrates conduit d'une part à une modélisation détaillée à base physique. Un modèle à base physique est nécessaire afin de paramétrer des méthodes de modélisation plus simplificatrices, mais aussi pour permettre d'évaluer les effets des mesures dans le domaine des méthodes d'exploitation. C'est le modèle STICS qui est utilisé à cette fin.

Andererseits ist es das Ziel von MoNit, ein Planungsinstrument für den Oberrheingraben zwischen Basel und Karlsruhe, d.h. für ein Gebiet von 4.500 km<sup>2</sup> zu entwickeln. Dieses Gebiet ist mit einer ausreichenden räumlichen Auflösung zu bearbeiten, um die kleinräumige Landnutzungsstruktur und die Bodeneigenschaften angemessen berücksichtigen zu können. Dafür ist eine Rastergröße von 500m x 500m erforderlich. Für solche Bedingungen ist jedoch der Einsatz eines prozessorientierten Modells nicht realisierbar, da die benötigten Daten nicht in der erforderlichen Auflösung zu Verfügung stehen und die Rechenzeiten übermäßig würden.

Aus diesem Grund wird im Projekt ein zweiter Modelltyp für den Komplex Pflanze-Boden eingesetzt: Mit einem Bilanzmodell kann der Stoffeintrag in das Grundwasser flächendeckend ermittelt werden. Die Datenanforderungen und der Rechenzeitbedarf sind für solche Modelle wesentlich geringer. Durch Modellläufe für die Jahre 1979, 1991 und 2000 werden die räumlich differenzierten Nitratfrachten berechnet. Auf dieser Grundlage kann durch Interpolation die zeitlich veränderliche Randbedingung für die Modellierung des Nitrattransportes im Grundwasser bestimmt werden.

Für das Grundwasserströmungs- und Transportmodell sowie für den Modul zur räumlichen Interpolation der Klimaparameter und zur Abschätzung der Grundwasserneubildung war u. a. die spätere Übernahme des erarbeiteten Modellsystems durch die Umweltverwaltungen der Projektpartner ein wesentlicher Entscheidungsgrund. Es wird als wesentlicher Erfolgsfaktor eines Projektes angesehen, dass die erarbeiteten Grundlagen nach Projektende weiter genutzt werden. Dies sollte auch für die anderen Bestandteile des erarbeiteten Modellsystems (z. B. STICS, STOFFBILANZ, das sozio-ökonomische Modell) angestrebt werden.

#### 1.3.4 Datenhandling, Arbeitsplan

Die unterschiedlichen Datenanforderungen der Teilmodelle und die gemeinsame Nutzung anderer Daten bedingen eine sorgfältige Planung des Datenaustauschs (Abb. 1.3.2). Der Aufbau einer länderübergreifenden Datenbasis ist im Gange. Dabei ist eine enge Abstimmung verschiedener Datenlieferanten aus der Landwirtschafts- und Was-

D'autre part, le projet MoNit a également pour but de développer un instrument d'orientation pour le Fossé du Rhin Supérieur entre Bâle et Karlsruhe, c.-à-d. pour une zone de 4500 km<sup>2</sup>. Cette zone doit être considérée à une résolution spatiale suffisante afin que la structure de l'occupation du sol à petite échelle ainsi que les caractéristiques pédologiques correspondantes puissent être correctement prises en compte. Dans cet objectif, un maillage de 500 m x 500 m est nécessaire. Cependant, l'application d'un modèle à base physique n'est pas possible à cette échelle, car les données nécessaires ne sont pas disponibles à la résolution requise et les temps de calcul seraient trop longs.

Pour ces motifs, un second type de modèle pour le système sol-plante intervient dans le projet : à l'aide d'un modèle de bilan, les entrées de substances dans la nappe peuvent être déterminés de façon spatialisée. Les besoins en données et les temps de calcul sont considérablement réduits pour ce type de modèle. La distribution spatiale des fuites de nitrates est simulée pour les années 1979, 1991 et 2000. Sur cette base, les variations temporelles des conditions aux limites pour la modélisation du transport de nitrates dans les eaux souterraines peuvent être déterminées par interpolation.

Pour le modèle de circulation des eaux souterraines et le modèle de transport, ainsi que pour le module d'interpolation spatiale des paramètres climatiques, la prise en charge tardive des systèmes de modèle retravaillés par les administrations de l'environnement du partenaire du projet a constitué un motif de décision considérable. Le fait que les bases élaborées au cours du projet puissent être utilisées après son achèvement a été considéré comme un facteur de succès du projet très important. Les autres éléments du système de modèle élaboré (p. ex. STICS, STOFFBILANZ, le modèle socio-économique) devraient également tendre dans cette direction.

#### 1.3.4 Gestion des données, calendrier

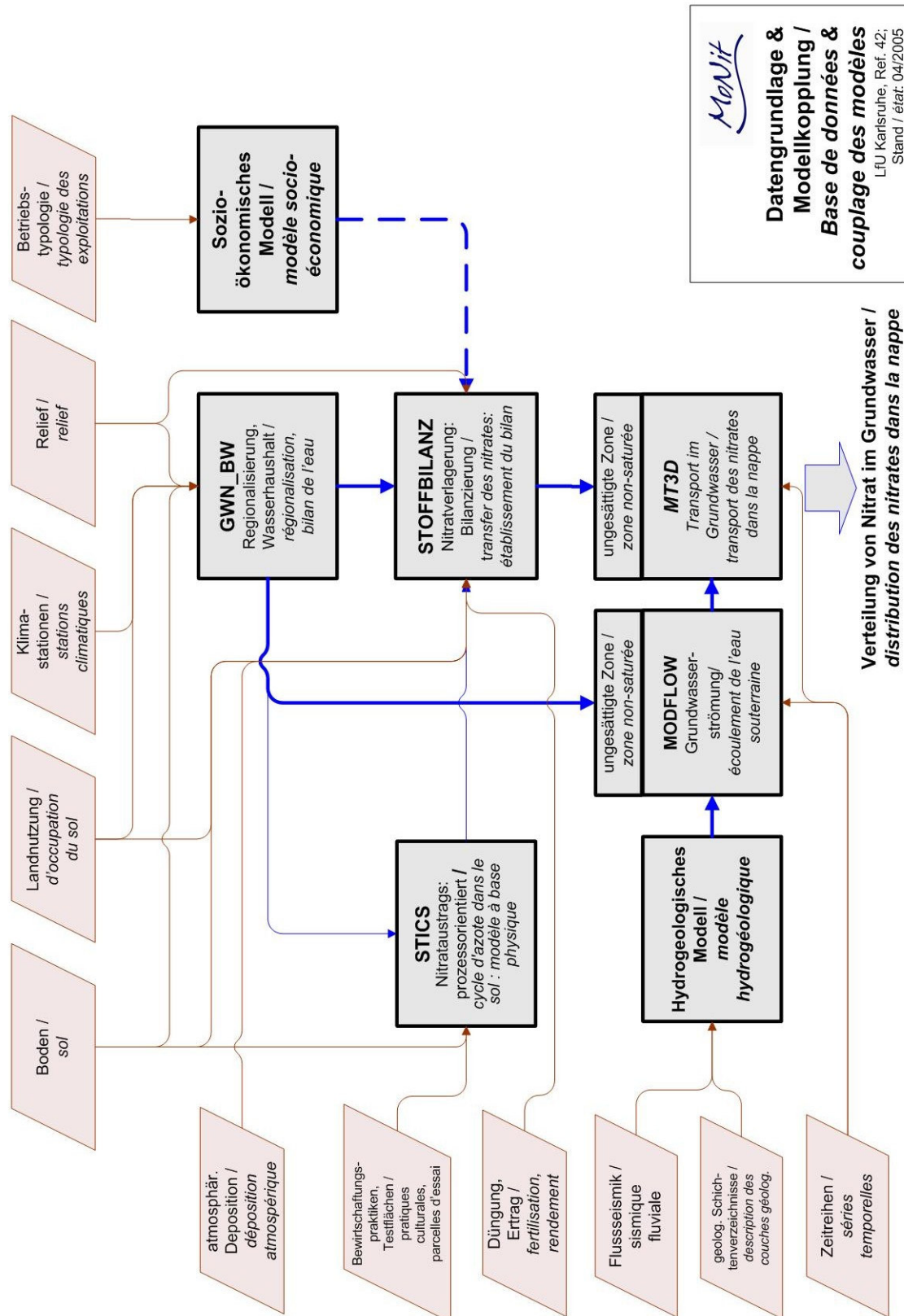
La variabilité des données requises par les sous-modèles et l'utilisation commune d'autres données exigent une planification soignée des échanges de données (Fig. 1.3.2). La construction d'une base de données transfrontalière est en cours. Dans ce cadre, une cohésion étroite entre les différents fournisseurs de données des adminis-

serwirtschaftsverwaltung notwendig, um ein einheitliches Datenformat gewährleisten zu können.

Der Arbeitsplan sieht vor, in einem ersten Schritt den aktuellen Zustand der flächenhaften Nitratbelastung des Grundwassers nachzubilden (Schritt Modellkalibrierung). Durch die Definition verschiedener Szenarien (denkbar sind neben geänderten Landwirtschaftsdaten auch modifizierte Klimarandbedingungen) soll die zukünftige Nitratverteilung im Grundwasser prognostiziert werden. Die Ergebnisse sollen dann in eine integrierte Planung einfließen. Insbesondere die Wirkung einer flächenhaften Umsetzung der Düngeempfehlung auf die Qualität des Grundwassers ist von großem Interesse.

trations de l'agriculture et de la gestion de l'eau est nécessaire afin de garantir un format de données standard.

Dans un premier temps, le calendrier prévoit de reproduire l'état actuel de la pollution spatialisée de la nappe par les nitrates (étape de calibration du modèle). Par le biais de la définition de différents scénarios (parmi lesquels des modifications des conditions climatiques aux limites sont également envisageables en plus de la modification des pratiques agricoles), la future distribution des nitrates dans la nappe doit être pronostiquée. Les résultats doivent alors être insérés dans une planification intégrée. En particulier, les effets de la mise en œuvre des recommandations de fertilisation sur la qualité de la nappe sont très attendus.



**MoNit**  
**Datengrundlage & Modellkopplung / Base de données & couplage des modèles**  
 LfU Karlsruhe, Ref. 42; Stand / état: 04/2005

Abb. 1.3.1: Zusammenwirken der Modellbausteine und Eingangsdaten  
 Fig. 1.3.1: Interactions des composantes du modèle et données d'entrée

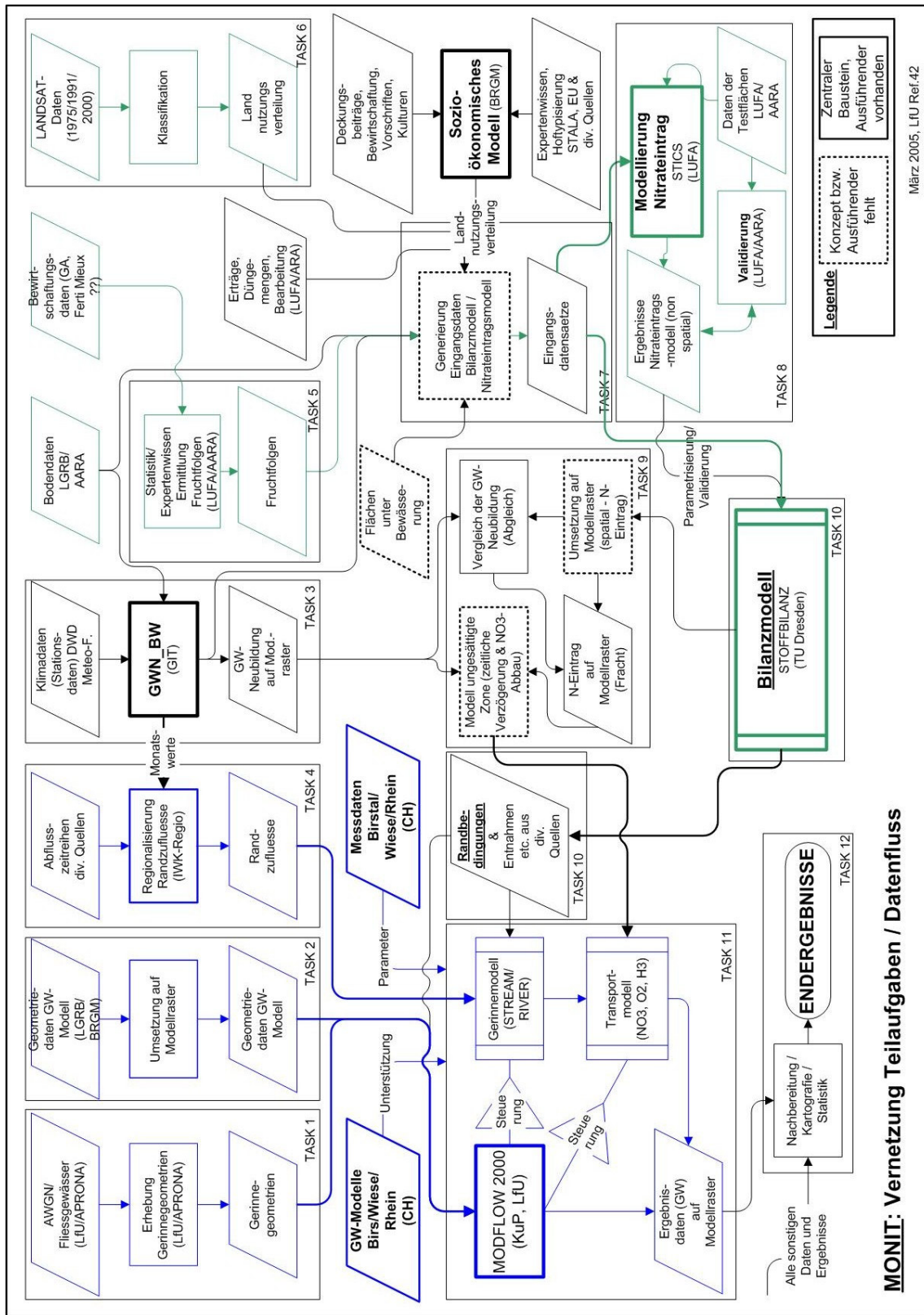


Abb. 1.3.2: Vernetzung der Teilmodelle und Datenfluss

Fig. 1.3.2: Relations entre les sous-modèles et flux de données



## 1.4 Aquifergeometrie und hydraulische Eigenschaften der Lockergesteinsfüllung des südlichen Oberrheingrabens

G. Wirsing, P. Elsass

### 1.4.1 Einführung

Der ca. 300 Kilometer lange und 30 – 40 Kilometer breite, in Nordnordost – Südsüdwest-Richtung verlaufende Oberrheingraben ist der zentrale Teil einer großen, vom Mittelmeer bis nach Norwegen reichenden tektonischen Bruchzone. Das INTERREG-III MoNiT-Projektgebiet liegt im südlichen Teil dieser markanten Großstruktur (Abb. 1.4.1), die über ein außerordentliches Geopotenzial verfügt: der Oberrheingraben ist in Deutschland neben dem Gebiet der geothermischen Anomalie von Bad Urach-Boll und dem bayrischen Molassebecken das bedeutendste potenzielle Gewinnungsgebiet für geothermische Energie (TAB-Arbeitsbericht, 2003), er verfügt über die bedeutendsten Kies- und Sandvorkommen Baden-Württembergs (Werner et al. 1997), und seine quartäre Füllung aus Kiesen und Sanden enthält das größte Grundwasservorkommen Mitteleuropas (Landesanstalt für Umweltschutz, Région Alsace, 1996).

### 1.4.2 Geologische Übersicht

Der tiefe Untergrund des Oberrheingrabens besteht aus kristallinen Gesteinen (Granite und Gneise), wie sie auch im Schwarzwald und den Vogesen vorkommen (Abb. 1.4.1). Darüber folgen Sedimente aus der Zeit des Perm bis Jura, die noch vor der Grabenentstehung abgelagert wurden. Mit Beginn der Grabenbildung (Mitteleozän, vor knapp 50 Millionen Jahren) wurden im Tertiär im zentralen Graben im Wesentlichen graue und grünliche Ton- und Mergelsteine abgelagert. In diese feinkörnigen Sedimente sind im Süden des Grabens (Südeisass, Südbaden) Anhydrit-, Gips-, Steinsalz- und Kalisalzlager eingeschaltet, im NordEisass bzw. Südpfalz treten Ölvorkommen auf. Am Grabenrand überwiegen Kalk- und Sandsteine mit Konglomeraten. Die permischen bis tertiären Sedimente bauen auch die Randschollen der Vorbergzone auf. Jüngste Ablagerungen im Graben sind pliozäne bis quartäre, überwiegend kiesige und sandige Sedimente. Sie bilden im Oberrheingraben den Hauptgrund-

## 1.4 Géométrie de l'aquifère et paramètres hydrodynamiques des alluvions du Sud du Fossé rhénan supérieur

G. Wirsing, P. Elsass

### 1.4.1 Introduction

Le Fossé rhénan supérieur s'étend sur 300 kilomètres de long et sur 30 à 40 kilomètres de large avec une orientation NNE-SSW. Il correspond à la partie centrale d'une grande zone de fractures tectonique qui va de la Méditerranée à la Norvège. La zone couverte par le projet INTERREG-III MoNiT se situe dans la partie Sud de cette mégastructure (Fig. 1.4.1), qui possède un potentiel géologique exceptionnel. Le Fossé rhénan supérieur présente en effet le plus important potentiel de production d'énergie géothermique d'Allemagne (avec l'anomalie géothermique de Bad Urach-Boll et le bassin molassique bavarois) d'après l'étude TAB (2003). Il possède les plus grands gisements de sable et graviers du Bade-Wurtemberg (Werner et al. 1997), et ses alluvions quaternaires sablo graveleuses contiennent les plus importantes ressources en eaux souterraines d'Europe centrale (Landesanstalt für Umweltschutz, Région Alsace, 1996).

### 1.4.2 Contexte géologique

Le socle du Fossé rhénan supérieur est constitué de roches cristallines (granite et gneiss), tout comme la Forêt-noire et les Vosges (Fig.1.4.1). Ce socle est recouvert de sédiments d'âge permien à jurassique déposés avant l'effondrement du fossé. Les premiers dépôts après la formation du fossé (à l'Eocène moyen, il y a près de 50 millions d'années) sont essentiellement constitués, au centre du fossé, d'argiles et de marnes grises et verdâtres d'âge tertiaire. Dans la partie Sud (Sud de l'Alsace et du Pays de Bade), ces sédiments à grain fin comprennent des intercalations de couches d'anhydrite, de gypse, de sel gemme et de potasse. Dans le Nord de l'Alsace et le Sud du Palatinat, ils contiennent des gisements de pétrole. Sur les bordures du fossé se sont déposés des calcaires et des grès conglomératiques. Les dépôts du Permien au Tertiaire constituent également les blocs faillés des champs de fracture des piémonts. Les dépôts les plus récents du Fossé sont les alluvions surtout sableuses et grave-

wasserleiter, für den das hydrogeologische Modell erstellt wurde.

leuses d'âge pliocène à quaternaire. Ce sont elles qui constituent l'aquifère principal, objet de la modélisation.

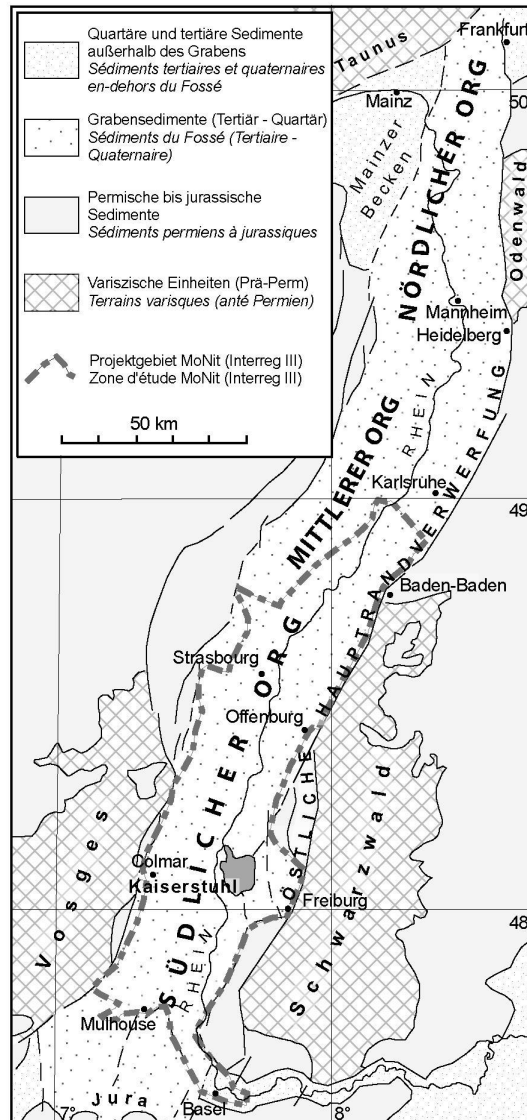


Abb. 1.4.1: Lage des Bearbeitungsgebietes im Oberrheingraben (ORG).

Fig. 1.4.1 : Situation de la zone d'étude dans le Fossé rhénan supérieur.

### 1.4.3 Bearbeitungsschritte

Bei der Erstellung eines hydrogeologischen Modells werden die komplexen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse abstrahiert, vereinfacht und schematisiert (FH-DGG, 1999). Dabei wird der Untersuchungsraum in Bereiche unterteilt, die sich hinsichtlich ihrer Eigenschaft, Grundwasser zu speichern bzw. weiterzuleiten, ähnlich verhalten. Diese hydrogeologischen Einheiten werden sowohl in ihrer horizontalen als auch vertikalen Verbreitung kartiert.

### 1.4.3 Etapes de travail

Afin de réaliser un modèle hydrogéologique, il faut disposer d'un modèle conceptuel permettant de simplifier et schématiser des conditions géologiques et hydrodynamiques complexes (FH-DGG, 1999). La zone d'étude est subdivisée en différentes entités présentant un comportement hydrogéologique analogue, selon leur capacité à accumuler et à conduire les eaux souterraines. Ce sont ces unités hydrogéologiques dont on analyse et cartographie l'extension horizontale et verticale.



Die Erarbeitung des hydrogeologischen Modells erfolgte in folgenden Arbeitsschritten:

- Durchführung reflexionsseismischer Messungen auf dem Rhein (Flusseeismik)
- Auswertung reflexionsseismischer Profile (Flusseeismik und verfügbare Industrie-seismik)
- Erstellung hydrogeologischer Profilschnitte
- Interpretation von Bohrprofilen als hydrogeologische Kurzprofile
- Konstruktion von Isolinienplänen hydrogeologisch relevanter Grenzflächen
- Erzeugung abgeleiteter Karten (z.B. Mächtigkeitkarten)
- Zuweisung hydraulischer Parameter zu den hydrogeologischen Einheiten und Regionalisierung der Daten.

#### 1.4.4 Datengrundlage

Die Bearbeitung des hydrogeologischen Modells basiert auf folgenden Grundlagen:

- Geologische Karten
- Hydrogeologische Kartierungen
- Hydrogeologische Bearbeitungen u.a. LIFE- und INTERREG II-Projekte,
- Rohstoffgeologische Bearbeitungen (deutsche Seite)
- Ergebnisse seismischer Messkampagnen
- Bohrungen aus der Aufschlussesdatenbank (ADB) des LGRB und der *Banque de données du sous-sol* (BSS) des BRGM

Bei der Bearbeitung konnte auf die Ergebnisse aus mehreren grenzüberschreitenden Projekten zurückgegriffen werden:

- Im Rahmen des LIFE-Projektes „Demonstrationsvorhaben zum Schutz und zur Bewirtschaftung des Grundwassers des deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheingrabens“ (Landesanstalt für Umweltschutz, Région Alsace, 1996) wurde in einer Übersichtskarte die Basis des Kiesgrundwasserleiters dargestellt.
- Für den schweizer Teil des Bearbeitungsgebietes wurden die Daten des INTERREG II - Projektes „Hochrhein“ (INTERREG II 2001) genutzt und an das nördlich anschließende Gebiet angepasst.
- Im Gebiet südlich des Kaiserstuhls konnten in Rheinnähe Ergebnisse verwendet werden, die im Rahmen des INTERREG II-Projektes „Grenzüberschreitende Er-

Le modèle hydrogéologique a été construit en plusieurs étapes :

- Campagnes de sismique haute résolution sur le Rhin (sismique fluviale),
- Etude des profils de réflexion sismique (sismique fluviale et sismique pétrolière disponible),
- Tracé de coupes hydrogéologiques,
- Interprétation des coupes hydrogéologiques d'après les sondages,
- Construction de courbes de niveaux des interfaces entre unités hydrogéologiques,
- Construction de cartes dérivées (p.ex. cartes d'épaisseurs)
- Attribution de paramètres hydrodynamiques aux unités hydrogéologiques et répartition spatiale de ces paramètres.

#### 1.4.4 Données disponibles

L'analyse du modèle hydrodynamique repose sur les données suivantes :

- Cartes géologiques,
- Cartographies hydrogéologiques,
- Etudes hydrogéologiques (projets LIFE et INTERREG II notamment),
- Etudes des ressources en graviers (côté allemand)
- Résultats des campagnes de mesures sismiques
- Sondages extraits des banques de données du sous-sol (ADB du LGRB et BSS du BRGM).

L'étude a pu faire appel aux résultats de plusieurs projets transfrontaliers :

- La cartographie d'ensemble du substratum de la nappe réalisée dans le cadre du projet LIFE "Projet de démonstration pour la protection et la gestion des eaux souterraines du Fossé rhénan supérieur franco-germano-suisse" (Landesanstalt für Umweltschutz, Région Alsace, 1996),
- Pour la partie suisse, les données du projet INTERREG II "*Hochrhein*" (INTERREG II 2001) ont été utilisées pour les raccorder aux secteurs situés plus au Nord en Alsace et au Pays de Bade,
- Les résultats des études réalisées dans le cadre du projet INTERREG II "Reconnaissance transfrontalière de l'aquifère profond dans la bande rhénane entre Fessenheim et Breisach" (INTERREG II 2002) ont servi pour la modélisation de

kundung des rheinnahen Aquifers zwischen Fessenheim und Breisach“ (INTERREG II 2002) erarbeitet wurden.

Diese Daten wurden durch die Ergebnisse der seismischen Messungen sowie zwischenzeitlich neu abgeteuffer Bohrungen aktualisiert. Das übrige Gebiet südlich des Kaiserstuhls (französische Seite) sowie das Gebiet nördlich davon (deutsche Seite) wurden weitgehend neu bearbeitet.

#### 1.4.5 Ergebnisse

Folgende Produkte wurden erstellt:

- Projektabelle mit digitaler Dokumentation der hydrogeologischen Kurzprofile (deutsche Seite).
- Verbreitungskarten und Isolinienpläne: Basis Neuenburg-Formation, Basis Breisgau-Formation, gering durchlässige feinklastische Horizonte im Raum Straßburg-Offenburg und nördlich davon.
- 2,5 D- Visualisierung der Grenzflächen.
- Mächtigkeitskarten für die hydrogeologisch relevanten Einheiten.
- Hydrogeologischer Längsschnitt entlang des Rheins sowie zusätzliche Längsschnitte auf deutscher Seite.
- 6 grenzüberschreitende hydrogeologische Querschnitte durch den Oberrheingraben von den Vogesen bis zum Schwarzwald.

Die Bearbeitung erfolgte mit den Programmen ArcView, GeODIN, MapInfo, Surfer und Adobe Illustrator. Sämtliche Daten liegen in digitaler Form vor.

#### 1.4.6 Auswertung flusseismischer und industrieseismischer Messungen

Neben den Bohrungen, die direkte Informationen über die lithologische Beschaffenheit und die Mächtigkeit der hydrogeologischen Einheiten liefern, können durch geophysikalische Messverfahren indirekt Informationen über den Aufbau des Untergrundes gewonnen werden. Zur Erkundung der Tiefenlage der Lockergesteinsbasis sowie der internen Gliederung der pliozänen/quartären Abfolge wurden deshalb im Rahmen des INTERREG III-Projektes MoNIT hochauflösende reflektionsseismische Messungen auf dem Rhein durchgeführt. Die Messungen erfolgten im Sommer 2002 unter Einsatz des Schiffes MS Max Honsell der Landesanstalt für Umwelt-

l'aquifère dans la bande rhénane située au Sud du Kaiserstuhl.

Ces données ont été actualisées à l'aide des résultats des campagnes sismiques ainsi que des résultats de sondages réalisés ultérieurement. La zone située au Sud du Kaiserstuhl du côté français ainsi que la zone située au Nord du côté allemand ont fait l'objet d'une révision complète par rapport au modèle régional de 1996.

#### 1.4.5 Résultats

Les livrables suivants ont été réalisés :

- Base de données et documentation numérique des coupes hydrogéologiques (côté allemand),
- Cartes de répartition et courbes de niveaux de la base de la Formation de Neuenburg et de Breisgau, des intercalaires peu perméables du secteur Strasbourg-Offenburg et plus au Nord,
- Visualisations 2,5 D des interfaces,
- Cartes d'épaisseur des unités hydrogéologiques considérées,
- Profil hydrogéologique longitudinal le long du Rhin, autres profils longitudinaux côté allemand,
- 6 coupes hydrogéologiques transversales du Fossé rhénan supérieur des Vosges à la Forêt Noire.

Ces travaux ont été réalisés à l'aide des logiciels ArcView, GeODIN, MapInfo, Surfer et Adobe Illustrator. Toutes les données sont disponibles sous forme numérique.

#### 1.4.6 Interprétation des campagnes de sismique fluviale et d'exploration pétrolière

En plus des sondages, qui apportent des informations directes mais locales sur la lithologie et l'épaisseur des unités hydrogéologiques, les mesures géophysiques peuvent apporter des informations indirectes sur la structure du sous-sol. On a ainsi procédé à une campagne de mesures de sismique haute résolution sur le Rhin dans le cadre du projet INTERREG III MoNIT pour la reconnaissance du substratum des alluvions et de la composition interne de la succession sédimentaire pliocène/quaternaire. Les mesures ont été réalisées à l'été 2002 à l'aide du bateau MS Max Honsell de la *Landesanstalt für Umweltschutz* du Bade-Wurtemberg. Cette

schutz Baden-Württemberg. Insgesamt wurde im Projektgebiet der Untergrund unter dem Rhein auf einer Länge von ca. 200 Kilometern vermessen.

Das Verfahren wurde erstmals im baden-württembergischen und elsässischen Teil des Oberrheingrabens angewendet und basiert auf dem selben Messprinzip wie landseismische Messungen, wie sie bis Mitte der 1980er Jahre im Rahmen der Erdölexploration vielfach im Oberrheingraben durchgeführt. In den letzten Jahren werden sie vermehrt bei der Suche nach geeigneten Bohrstandorten für die Erschließung tiefer Geothermie angewendet. Die im Vergleich zur Landseismik und zu Bohrungen relativ kostengünstigen flusseismischen Messungen liefern entlang der Messstrecke bis in eine Tiefe von ca. 400 Meter linienhafte Informationen über dem Untergrundaufbau. Sie werden unter Verwendung der punktförmigen Informationen aus nahegelegenen Bohrungen geeicht.

Bei der hochauflösenden Reflektionsseismik vom Rhein aus handelt es sich um ein Verfahren, bei dem sich im Wasser ausgelöste seismische Wellen in den Gesteinsuntergrund ausbreiten. Diese Wellen pflanzen sich dort mit einer gesteinspezifischen Geschwindigkeit fort und werden an Grenzflächen zwischen Schichten mit unterschiedlichen gesteinsphysikalischen Eigenschaften gebrochen, gebeugt und reflektiert. Die Wellen gelangen wieder an die Wasseroberfläche und werden dort von sehr empfindlichen Erschütterungsmessgeräten (Hydrophonen) registriert. Nach einer aufwändigen Aufbereitung werden die Messergebnisse als seismische Zeit- oder Tiefensektionen dargestellt (Abb. 1.4.2). Die Tiefenlage markanter Reflexionen in der seismischen Sektion erlaubt Rückschlüsse auf den Aufbau des Untergrundes. Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Software-Paket Seisvision am BRGM in Orléans.

campagne a permis d'obtenir un profil du sous-sol du secteur d'étude couvrant 200 kilomètres linéaires le long du Rhin.

C'est la première fois que ce procédé est utilisé dans les secteurs alsacien et badois du Fossé rhénan supérieur. Il repose sur le même principe que les mesures sismiques sur terre ferme, appliquées à maintes reprises dans le Fossé rhénan supérieur jusqu'au milieu des années 80 dans le cadre de l'exploration pétrolière. Ces dernières années, elles ont servi pour choisir l'emplacement de forages de reconnaissance de ressources géothermiques profondes. Les campagnes de sismique fluviale sont moins onéreuses que la reconnaissance terrestre ou les sondages. Elles apportent, le long du trajet parcouru, des informations linéaires sur la structure du sous-sol jusqu'à 400 m de profondeur. Ces données sont calées en profondeur d'après les informations ponctuelles des forages proches.

La méthode de sismique haute résolution employée sur le Rhin est un procédé par lequel les ondes sismiques transmises à l'eau se propagent dans le sous-sol rocheux. Ces ondes se propagent avec une vitesse spécifique à la nature de la roche et sont dispersées, réfractées, et réfléchies au passage dans les couches de roches aux propriétés physiques différentes. Les ondes réfléchies reviennent à la surface de l'eau où elles sont captées par des appareils de mesure des vibrations (hydrophones) extrêmement sensibles. Un traitement complexe permet de représenter les résultats des mesures sous forme de profils sismiques représentant des coupes en fonction du temps de trajet des ondes sismiques ou de la profondeur atteinte (Fig. 1.4.2). La position sur les profils sismiques des réflecteurs (surfaces renvoyant des réflexions remarquables) permet une interprétation de la structure du sous-sol. L'exploitation des données a été réalisée au BRGM Orléans à l'aide du logiciel Seisvision.

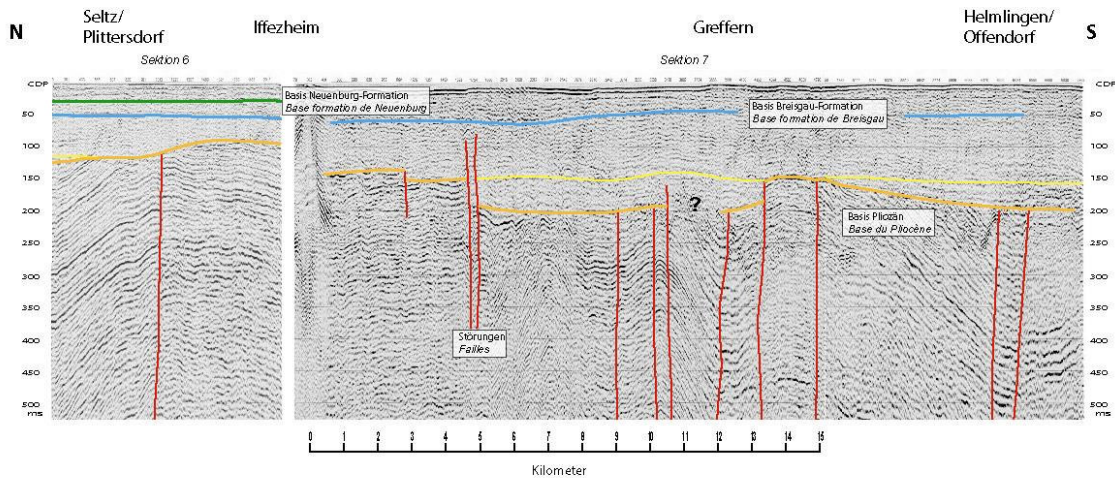


Abb. 1.4.2: Reflektionsseismisches Profil aus der INTERREG III - Messkampagne, Zeitsektionen 6 und 7 (Seltz bis Helmlingen/Offendorf) mit Interpretation

Fig. 1.4.2: Profil de réflexion sismique de la campagne de mesure INTERREG III, coupes temps 6 et 7 (de Seltz à Helmlingen/Offendorf) avec interprétation

In den beiden ca. 25 Kilometer langen Zeitsektionen 6 und 7 (Abb. 1.4.2) wurde die Grenze zwischen dem miozänen Festgesteinsuntergrund und dem diskordant darüber liegenden pliozänen/quartären Lockergestein durch eine orangefarbene Linie markiert. Die miozänen Schichten sind von Störungen (rote Linien) durchsetzt, die stellenweise bis in die darüber liegende pliozäne Abfolge reichen. Innerhalb der Lockergesteine zeichnen sich mehrere Reflektoren ab, die Grenzen zwischen verschiedenen Sedimentationskörpern bzw. den hydrogeologischen Einheiten Breisgau-Formation (blaue Linie) und Neuenburg-Formation (grüne Linie) folgen. Diese Informationen wurden bei der Konstruktion der Isolinienpläne verwendet.

Neben den Ergebnissen der flusseismischen Messungen wurden auch mehrere reflektionsseismische Profile ausgewertet, die im Untersuchungsgebiet im Rahmen der Erdöl-exploration vermessen wurden. In diesen Profilen konnte die für hydrogeologische Fragestellungen wichtige Basis der Lockergesteine meist gut identifiziert werden. Da die Zieltiefen der erdölseismischen Messungen zwischen mehreren hundert Metern und 2 – 3 Kilometern liegen, sind diese Profile messtechnisch bedingt nicht geeignet, um innerhalb des Quartärs weitere Reflektoren zu identifizieren.

#### 1.4.7 Das hydrogeologische Modell

Im Quartär wurden im Untersuchungsgebiet vom Rhein und seinen Nebenflüssen aus dem Schwarzwald und den Vogesen bis zu 240 m

Dans les deux coupes temps 6 et 7 d'une longueur d'environ 25 km (Fig. 1.4.2), la limite entre le socle miocène et les alluvions pliocène/quaternaire qui les recouvrent en discordance est marquée par une ligne orange. Les couches miocènes sont recoupées par des failles (lignes rouges), qui atteignent par endroits les terrains pliocènes sus-jacents. On constate la présence de plusieurs réflecteurs à l'intérieur des alluvions. Ceux-ci se situent à la limite entre différents corps sédimentaires et entre les unités hydrogéologiques de la Formation de Breisgau (ligne bleue) et de Neuenburg (ligne verte). Ces informations ont été utilisées lors de la réalisation des cartographies de ces unités en courbes de niveaux.

En plus des résultats des campagnes de sismique fluviale, plusieurs profils sismiques réalisés dans le secteur d'étude pour la recherche pétrolière ont pu être réutilisés. Dans ces profils, il était généralement possible de bien localiser le substratum de l'aquifère, donnée essentielle en ce qui concerne le fonctionnement hydrodynamique. Cependant comme les profondeurs d'investigation de la recherche pétrolière sont ciblées sur les profondeurs entre plusieurs centaines de mètres et 2-3 kilomètres, ces profils ne sont pas adaptés à l'identification de réflecteurs à l'intérieur des terrains du Quaternaire.

#### 1.4.7 Le modèle hydrogéologique

Dans le secteur étudié, le Rhin et ses affluents de la Forêt Noire et des Vosges ont déposé au Quaternaire des sables et des

mächtige Kiese und Sande mit unterschiedlichen Schluffanteilen abgelagert. Die Abfolge lässt sich aufgrund lithologischer Unterschiede (Unterschiede im Sand/Schluff-Gehalt, im Zersetzungsgrad der Gerölle, in der Lagerungsdichte und anhand von Groblagen) in zwei hydrogeologische Einheiten untergliedern. Dies kommt in den beiden schematisierten hydrogeologischen Längsprofilen zum Ausdruck, die zwischen Weil am Rhein und Rastatt von Süden nach Norden etwa dem heutigen Verlauf des Rheins folgt (Abb. 1.4.3a und 1.4.3b).

graviers avec une proportion variable de limons sur une épaisseur atteignant jusqu'à 240 m. La succession sédimentaire peut être subdivisée en deux grandes unités hydrogéologiques d'après des critères lithologiques (proportion de sable et de limon, degré d'altération des galets, compaction des sédiments, présence de niveaux très grossiers). Ce résultat est particulièrement net au vu des deux coupes hydrogéologiques longitudinales schématiques, qui suivent le cours actuel du Rhin entre Weil am Rhein et Rastatt du Sud vers le Nord.

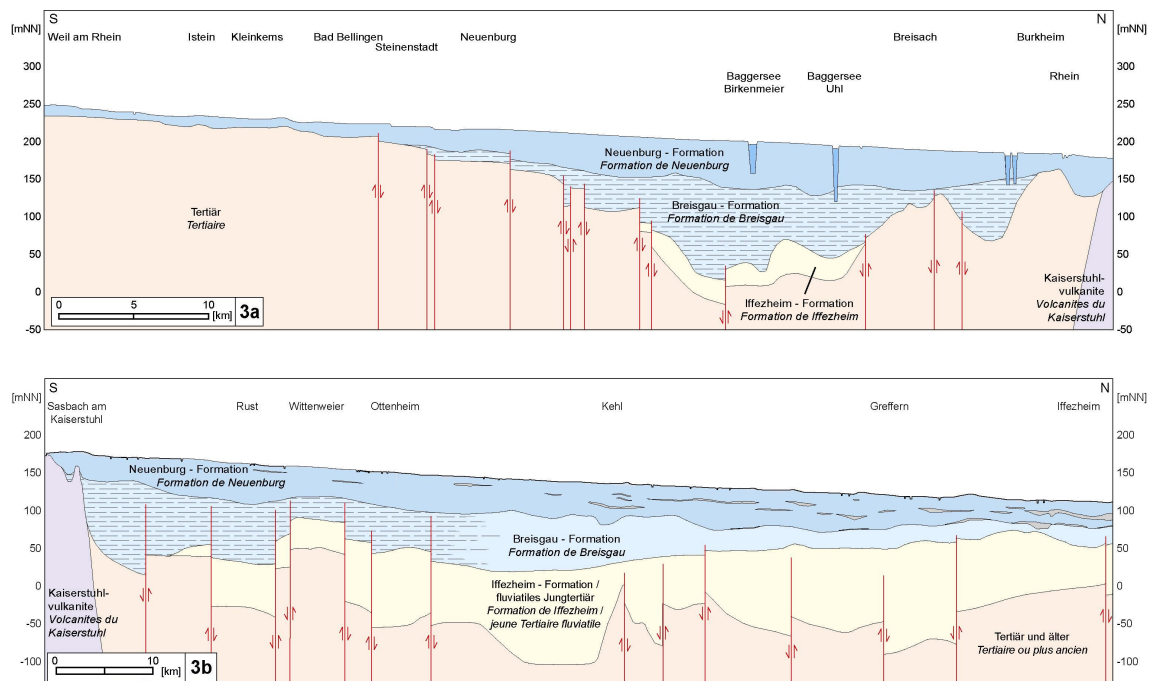


Abb. 1.4.3: Hydrogeologische Längsschnitte etwa entlang des heutigen Rheinverlaufs von Basel bis an den südlichen Kaiserstuhl (a) bzw. vom nördlichen Kaiserstuhlrund bis Rastatt (b)

Fig. 1.4.3: Coupes hydrogéologiques longitudinales le long du cours actuel du Rhin de Bâle jusqu'au Sud du Kaiserstuhl (a) et du Nord du Kaiserstuhl jusqu'à Rastatt (b).

Die hydrogeologischen Einheiten sind nach dem Symbolschlüssel Geologie (LGRB 2004) benannt. Es handelt sich dabei von oben nach unten um

- die Neuenburg-Formation mit den Oberen und Unteren Neuenburg-Schichten (frühere Bezeichnung: Reiß-Würm-Komplex, Jüngere Schotter, Frische Kiese, *Alluvions récentes*).
- die Breisgau-Formation mit den Oberen und Unteren Breisgau-Schichten.

Im südlichen Teil des Oberrheingrabens überwiegen im zentralen Bereich wegen der Nähe zum Liefergebiet der Alpen die Komponenten alpinen Ursprungs, weiter im Norden gewinnen die lokalen Komponenten aus den Vogesen und dem Schwarzwald an Bedeu-

Les unités hydrogéologiques sont identifiées d'après le code des symboles géologiques du LGRB (LGRB 2004). Il s'agit du haut vers le bas de :

- La Formation de Neuenburg avec ses couches supérieures et inférieures. (appelées antérieurement Complexe Riss-Würm, *Jüngere Schotter*, *Frische Kiese*, *Alluvions récentes*)
- La Formation de Breisgau avec ses couches supérieures et inférieures.

Dans la partie Sud du Fossé rhéno-alpin supérieur, les éléments d'origine alpine dominent au milieu du fossé en raison de la proximité de leurs zones d'alimentation des Alpes. Plus au Nord, les éléments locaux des Vosges et de la Forêt-noire prennent de l'importance.

tung. Außerdem nimmt überall zum Rand des Oberrheingrabens hin der Gehalt an lokalen Komponenten aus dem Schwarzwald und den Vogesen zu. Die Korngröße der alpinen Komponenten nimmt generell mit zunehmender Entfernung vom Hauptliefergebiet der Alpen von Süden nach Norden ab.

Nördlich von Lahr sind die lithologischen Unterschiede zwischen den beiden hydrogeologischen Einheiten geringer. Eine Unterscheidung zwischen der Neuenburg-Formation und der Breisgau-Formation ist dort in vielen Bohrungen nicht mehr möglich. Stellenweise nimmt der Sand- und Schluffgehalt mit dem Übergang von der Neuenburg- in die Breisgau-Formation leicht zu.

Südlich des Kaiserstuhls und nördlich davon bis in den Raum Straßburg/Offenburg fehlen Feinsedimentlagen innerhalb der Kiesabfolge völlig oder sie sind nur sehr geringmächtig und linsenartig ausgebildet. Von Straßburg/Offenburg aus nach Norden schalten sich in die Kiese vermehrt geringer durchlässige sandig schluffige Einheiten ein. Im nördlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes tritt ein feinkörnigerer Horizont bereichsweise flächenhaft auf und führt zu einer Untergliederung des Kiesaquifers in hydraulisch voneinander getrennte Einheiten.

Die Aquiferbasis wird meist von der altquartären Iffezheim-Formation (früher *Pliocène final* genannt), dem fluviatiles Jungtertiär (frühere Bezeichnung: Pliozän) oder insbesondere im südlichsten Bereich des Bearbeitungsgebietes von (bereichsweise aufgewittertem) älterem Tertiär gebildet. In der Freiburger Bucht und am Vorbergzonenrand wird die Basis des Kiesaquifers stellenweise von Schwemmlöss gebildet, der von den benachbarten Hochlagen umgelagert wurde. Eine Besonderheit in der Freiburger Bucht stellt der bis zu mehrere Meter mächtige tertiäre Verwitterungslehm dar, der zwischen dem Kiesaquifer und dem unterlagernden Muschelkalk eingeschaltet ist.

#### Neuenburg-Formation

Die Neuenburg-Formation besteht im Oberrheingraben aus grauen bis rötlichgrauen Kiesen alpiner sowie lokaler Herkunft mit wechselnden Sand- und geringen Schluffanteilen. Stellenweise sind in die Kiese Steine und Blöcke bzw. sehr hoch durchlässige Rollkieslagen eingeschaltet. Mit Annäherung an den Rhein nimmt der am Schwarzwaldrand-

Par ailleurs, la proportion d'éléments des Vosges et de la Forêt-noire augmente partout lorsqu'on se rapproche des bordures du fossé. La granulométrie des éléments alpins diminue en général du Sud vers le Nord en s'éloignant de leur zone d'alimentation alpine.

Au Nord de Lahr, les différences lithologiques entre les deux unités hydrogéologiques sont moindres. La distinction entre la Formation de Neuenburg et la Formation de Breisgau est même impossible à faire au niveau de nombreux forages. Par endroit la proportion de sable et de limon augmente légèrement au passage de la Formation de Neuenburg à la Formation de Breisgau.

Les intercalaires de sédiments fins dans les alluvions sablo-graveleuses sont inexistantes ou peu épais et lenticulaires au Sud du Kaiserstuhl ainsi qu'au Nord jusqu'au niveau de Strasbourg/Offenburg. Au Nord de Strasbourg/Offenburg des intercalations silto-sableuses peu perméables se développent au sein des graviers. Dans la partie Nord de la zone d'étude il existe un intercalaire peu perméable suffisamment continu sur des surfaces importantes pour constituer une barrière séparant des sous-niveaux aquifères au comportement hydraulique distinct.

Le substratum de l'aquifère est souvent constitué par la Formation d'Iffezheim d'âge Quaternaire ancien (appelée antérieurement Pliocène final), le Tertiaire récent fluviatile (appelé antérieurement Pliocène) ou, surtout dans le secteur Sud de la zone d'étude, par le Tertiaire ancien (souvent altéré). Dans le Bassin de Freiburg et dans les secteurs de piémont, la base de l'aquifère est parfois formée de loess remaniés, apportés des hauteurs environnantes. Des argiles d'altération tertiaires d'une épaisseur allant jusqu'à plusieurs mètres, intercalées entre l'aquifère graveleux et le Muschelkalk sous-jacent sont une caractéristique du Bassin de Freiburg.

#### Formation de Neuenburg

La Formation de Neuenburg est constituée, dans le Fossé rhénan supérieur, de graviers d'origine alpine et locale gris à gris rougeâtre avec des proportions variables de sable et accessoirement de limon. On trouve par endroits des galets, des blocs et des intercalations de graviers sans matrice très perméables (*Rollkies*) au sein des graviers. La pro-

und Vogesenrand dominierende Anteil an kristallinen Geröllen ab und es überwiegen Gerölle alpiner Herkunft. Die Sortierung nimmt in die gleiche Richtung zu. Innerhalb der Kiesabfolge sind linsenartig sandige Bereiche ausgebildet, die lateral nur über kurze Entfernungen parallelisiert werden können.

In den Schwarzwald- und Vogesentäler besteht die Neuenburg-Formation aus Lokalmaterial. Dies trifft auch für den östlichen Bereich der Freiburger Bucht zu. Im Westen der Freiburger Bucht besteht die Neuenburg-Formation im oberen Abschnitt überwiegend aus alpinem Material. Dieses wurde in einem Seitenarm des Rheins abgelagert, der in der so genannten Ostrheinrinne vom Hauptwürm bis ins Holozän am Ostrand des Kaiserstuhls entlang nach Norden floß.

Südlich des Kaiserstuhls ist in der Neuenburg-Formation deutlich eine obere und eine untere Groblage zu erkennen, die innerhalb einer stärker sanddominierten Abfolge liegen. Dieser beiden Groblagen bilden die Basis der Oberen und Unteren Neuenburg-Schichten. Stellenweise ist unter der Unteren Groblage eine weitere sanddominierte Lage vorhanden. Diese Untergliederung wird nach Norden zu undeutlicher. Im Raum Straßburg und nördlich davon ist sie nur noch in wenigen Bohrungen zu erkennen.

Im Süden des Bearbeitungsgebiets treten im basalen Abschnitt der Jüngeren Schotter nagefluhartig verkittete Schotter auf. Im nördlichen Teil fehlen sie.

Hydraulisch wirksame Trennschichten innerhalb der Neuenburg-Formation fehlen im Süden des Bearbeitungsgebietes. Etwa ab Offenburger-Straßburg schalten sich bereichsweise mehrere übereinander liegende Feinsedimentlinsen ein. Weiter nach Norden entwickelt sich die unterste dieser Einschaltungen zu einem weitgehend durchgängigen Zwischenhorizont, darüber folgen in bis zu drei verschiedenen Niveaus linsenartig ausgebildete Feinsedimenteinschaltungen (Landesanstalt für Umweltschutz, Région Alsace, 1996).

Die Verbreitungsgrenze der Neuenburg-Formation wurde im Wesentlichen aus der Vorläufigen Geologischen Karte (GKV 25) und der französischen geologischen Karte 1:50 000 übernommen. Wo die Grenze zwischen den Schottern der Neuenburg-Formation und dem Festgestein von Löß ü-

portion de galets cristallins est importante en bordure de la Forêt-noire et des Vosges et diminue en se rapprochant du Rhin pour faire place à des galets d'origine alpine. Le classement des éléments s'améliore également dans la même direction. Dans les graviers sont intercalées des lentilles sableuses, d'extension latérale réduite.

Dans la Forêt-noire et dans les vallées vosgiennes, la Formation de Neuenburg est constituée de matériaux locaux. C'est le cas également du secteur Est du Bassin de Freiburg. A l'Ouest du Bassin de Freiburg, la partie supérieure de la Formation de Neuenburg est formée de matériaux alpins déposés par un bras du Rhin qui suivait vers le Nord un chenal baptisé "*Ostrheinrinne*" le long de la bordure Est du Kaiserstuhl, du Würm à l'Holocène.

Au Sud du Kaiserstuhl, on distingue nettement dans la Formation de Neuenburg un niveau supérieur et un niveau inférieur de matériaux grossiers, qui sont intercalés dans une série majoritairement sableuse. Ces deux niveaux grossiers forment respectivement la base des Couches de Neuenburg supérieures et inférieures. Par endroits, il existe un niveau majoritairement sableux sous le niveau grossier inférieur. Cette distinction est moins nette vers le Nord. Dans le secteur Strasbourg et plus au Nord, rares sont les forages permettant de la confirmer.

Au Sud de la zone d'étude, la partie basale des alluvions récentes présente des graviers consolidés à l'aspect de conglomérat (*Nagefluh*). Ils n'existent pas plus au Nord.

Il n'y a pas d'intercalaires peu perméables au sein de la Formation de Neuenburg au Sud de la zone d'étude. Des intercalaires de sédiments fins superposées commencent à apparaître à la hauteur de Offenbourg/Strasbourg. Plus loin vers le Nord, l'intercalaire inférieur de sédiments fins se développe en un horizon intercalaire quasi-continu, tandis que les autres intercalaires se développent en lentilles sur jusqu'à trois niveaux différents (Landesanstalt für Umweltschutz, Région Alsace, 1996).

Les limites de l'extension de la Formation de Neuenburg ont été largement reprises de la carte géologique provisoire allemande (GKV 25) et de la carte géologique française à 1/50 000. On a eu recours aux données des forages et à la topographie pour tracer la limite dans les secteurs où le contact entre les



berdeckt wird, wurde sie unter Zuhilfenahme von Bohrergebnissen und Berücksichtigung der Topographie gezogen.

Die Kiese und Sande der Neuenburg-Formation wurden von einem zeitweise hochenergetischen Flusssystem abgelagert. Ellwanger *et al.* (2004) führen die Entstehung der Groblagen auf glaziale Erosionsereignisse in den randalpinen Becken und damit verbundene Sedimentationsereignisse in der Sedimentfalle Oberrheingraben zurück.

### Breisgau-Formation

Die Breisgau-Formation wird in die Oberen und Unteren Breisgau-Schichten untergliedert.

Die Oberen Breisgau-Schichten bestehen aus grauen bis braungrauen sandigen und reichsweise schluffigen Kiesen, in denen Gerölle aus den Alpen überwiegen. Das Lokalmaterial aus dem Schwarzwald und den Vogesen ist weniger häufig und weniger stark zersetzt, die Komponenten sind gröber und die diamiktischen Kiese sind weniger dicht gelagert als in den Unteren Breisgau-Schichten.

Typisch für die sandigen Kiese der Unteren Breisgau-Schichten sind ihre rötlich-braune Farbe und höhere Schluffanteile. Die Gneis- und Granitgerölle sind meist stark bis sehr stark verwittert („faule Gerölle“). Die Granite zerfallen dann zu einem stark schluffigen, scharfkantigen Mittel- bis Grobsand, die Gneise bei völliger Zersetzung in einen tonigen Schluff. Die zersetzten Komponenten haben grünliche, rötliche, bräunliche oder fahlgraue Farben. Die Unteren Breisgau-Schichten sind meist dicht gelagert und häufig verbacken.

In der Lockergesteinsfüllung der Schwarzwald- und Vogesentäler und der Freiburger Bucht fehlen die alpinen Komponenten in der Breisgau-Formation. Die hydrogeologische Einheit ist dann dicht bis sehr dicht gelagert, die Gerölle sind häufig völlig zersetzt, abschnittsweise sind jedoch auch Lagen mit vermehrt frischen Komponenten sowie feinklastische Horizonte (Hochflusssedimente) eingeschaltet, die jedoch nicht über große Entfernungen verfolgt werden können. Die Komponenten erreichen in den Tälern Blockgröße (>50 cm). Mit zunehmender Entfernung vom Schwarzwald nimmt ihre Größe in den Schwemmkegeln (z.B. der Dreisam) ab.

alluvions de la Formation de Neuenburg et le socle est recouvert par des lœss.

Les sables et graviers de la Formation de Neuenburg ont été déposés par un système fluvial qui présentait une très haute énergie à certaines périodes. Ellwanger *et al.* (2004) associent l'apparition des niveaux grossiers à des événements d'érosion glaciaire dans les bassins de la bordure des Alpes et à la sédimentation consécutive dans le piège à sédiments du Fossé rhénan supérieur.

### Formation de Breisgau

La Formation de Breisgau se subdivise en deux parties, les Couches de Breisgau supérieures et inférieures.

Les Couches de Breisgau supérieures sont constituées de graviers sableux et en partie limoneux de couleur grise à gris-brun, dans lesquels dominent les galets d'origine alpine. Les matériaux locaux de la Forêt-noire et des Vosges sont moins fréquents et moins altérés, les éléments sont plus grossiers et les graviers mal classés (*mass flow deposits*) sont moins bien compactés que dans les Couches de Breisgau inférieures.

Les graviers sableux des Couches de Breisgau inférieures sont caractérisées par une couleur brun-rougeâtre et une forte proportion de limon. Les gneiss et les galets de granite sont souvent fortement altérés voire décomposés ("galets pourris"). Les granites s'altèrent jusqu'à devenir des sables anguleux moyens à grossiers très limoneux, tandis que les gneiss donnent un limon argileux. Les éléments décomposés résultant de cette altération sont de couleur verte, rouge, brune ou gris pâle. Les Couches de Breisgau inférieures sont souvent très compactes voire consolidées.

Dans les alluvions des vallées vosgiennes et de la Forêt-noire ainsi que dans le Bassin de Freiburg, les éléments alpins sont inexistant dans la Formation de Breisgau. L'unité hydrogéologique est compactée à très compactée, les galets sont souvent totalement décomposés, on trouve cependant quelques niveaux contenant des éléments peu altérés ainsi que des horizons de sédiments fins (limons d'inondation), mais sans grande extension latérale. Les éléments atteignent dans les vallées la taille de gros blocs (>50 cm). Leur taille diminue dans les cônes de déjection en s'éloignant de la Forêt Noire (p. ex. celui de la Dreisam).



Die Breisgau-Formation ist in der Hydrogeologischen Karte Bereich Kaiserstuhl - Markgräflerland (HGK 1977) als „Festgelagerte Kiese und Schotter mit größeren Schluffanteilen“ beschrieben. Im Markgräflerland sind sie im Bereich der Vorbergzone in den Geologischen Karten „Altpleistozäne Schotter“ (bzw. „Ältere Schotter“, Groschopf et al. 1996) kartiert. Diese Schotter gleichen in ihrer lithologischen Ausbildung denen der Breisgau-Formation und wurden deshalb dieser hydrogeologischen Einheit zugeordnet. Ob es sich dabei tatsächlich um zeitgleich abgelagerte Einheiten handelt ist unklar.

Nach Ellwanger *et al.* (2004) wurde das teilweise bereits verwitterte Schwarzwald- und Vogesenmaterial durch Schuttströme in das Grabengebiet verlagert und dort anschließend mehrfach umgelagert.

#### **1.4.8 Isolinienpläne hydrogeologisch relevanter Grenzflächen sowie abgeleitete Kartierthemen**

Für die Basis der Neuenburg-Formation und die Basis der Breisgau-Formation wurden Isolinienpläne erstellt. Die Grenzen zwischen den Oberen und den Unteren Neuenburg-Schichten bzw. den Oberen und Unteren Breisgau-Schichten konnten nur in relativ wenigen Bohrungen eindeutig identifiziert werden. Auf eine Darstellung dieser Grenzflächen als Isolinienkarten im Zielmaßstab 1:50 000 wurde deshalb verzichtet.

Als Arbeitsgrundlage für die Erstellung der Isolinienpläne dienten hydrogeologische Profilschnitte, die interpretierten Seismik-Profile sowie die Informationen aus Bohrungen, die zwischen den Profilschnitten liegen.

Aus den beiden Isolinienplänen wurden für das Projektgebiet folgende Kartenthemen abgeleitet:

- Isolinienplan der Aquiferbasis,
- Mächtigkeit der Neuenburg-Formation,
- Mächtigkeit der Breisgau-Formation,
- Mächtigkeit des quartären Kiesgrundwasserleiters.

Die Aquiferbasis (Abb. 1.4.4) ist in weiten Teilen des Gebietes mit der Basis der Breisgau-Formation identisch. Dort wo die Breisgau-Formation fehlt, entspricht die Basis der Neuenburg-Formation der Aquiferbasis. Diese wird in großen Teilen des Untersuchungsgebietes durch die gering durchlässige Luffe-

Sur la carte hydrogéologique du secteur Kaiserstuhl-Markgräflerland (HGK 1977), la Formation de Breisgau est décrite comme "Dépôts compacts de graviers et galets avec un grande proportion de limon". Dans le Markgräflerland, ils sont cartographiés dans le secteur du piémont comme "alluvions du Pléistocène ancien" (ou "alluvions anciennes", Groschopf et al. 1996). Ces alluvions correspondent par leur lithologie à celles de la Formation de Breisgau et ont donc été attribuées à cette unité hydrogéologique. Par contre, on ne peut pas assurer qu'il s'agisse effectivement de dépôts de même âge.

D'après Ellwanger *et al.* (2004), les matériaux de la Forêt Noire et des Vosges, déjà en partie altérés, auraient été entraînés jusque dans le Fossé par des coulées boueuses ("laves torrentielles") puis remaniés à plusieurs reprises.

#### **1.4.8 Courbes de niveaux des interfaces d'intérêt hydrogéologique et cartographies associées**

Des cartes en courbes de niveaux ont été réalisées pour la base de la Formation de Neuenburg et la base de la Formation de Breisgau. Les limites entre les Couches supérieures et inférieures de Neuenburg et les Couches supérieures et inférieures de Breisgau n'est identifiable que dans peu de forages, aussi a-t-on renoncé à les cartographier en courbes de niveau à l'échelle de 1/50 000 comme prévu à l'origine.

Les cartes en courbes de niveau ont été réalisées à partir des coupes hydrogéologiques, des profils sismiques interprétés ainsi que des données des forages situés entre les coupes.

Les deux cartes en courbes de niveau ont ensuite servi de base aux cartes thématiques suivantes :

- Carte en courbes de niveau du substratum,
- Puissance de la Formation de Neuenburg,
- Puissance de la Formation de Breisgau,
- Puissance de l'aquifère quaternaire.

Le substratum de l'aquifère (Fig. 1.4.4) coïncide en général avec la base de la Formation de Breisgau. Là où la Formation de Breisgau est absente, le substratum correspond à la base de la Formation de Neuenburg. Le substratum est constitué dans la zone d'étude soit des terrains peu perméables de la Formation

heim-Formation (Oberpliozän bis Eopleistozän, Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg (2004), oft als *Pliocène final* in der französischen Literatur bezeichnet) oder das „fluviatile Jungtertiär“ (oberstes Miozän bis Oberes Pliozän, frühere Bezeichnung: Pliozän) bzw. ältertertiäre Ton- und Tonmergelsteine überwiegend oligozänen Alters gebildet. In der Freiburger Bucht, die zur Vorbergzone gehört, folgen unter den grundwasserführenden Kiesen im Westteil tertiäre (Eozän, Oligozän) und im Ostteil triassische und jurassische Sedimente.

d'Iffezheim (d'âge pliocène supérieur à pléistocène basal, d'après le Code géologique du Bade-Wurtemberg de 2004, souvent appelée Pliocène final dans la littérature française), soit du Tertiaire récent fluviatile (Miocène supérieur à Pliocène supérieur, dénommé habituellement Pliocène), soit des argiles et marnes imperméables tertiaires d'âge surtout oligocène. Dans le Bassin de Freiburg, qui appartient à la zone de piémont, le substratum est constitué à l'Ouest de terrains tertiaires éocènes et oligocènes, et à l'Est de terrains triasiques et jurassiques.

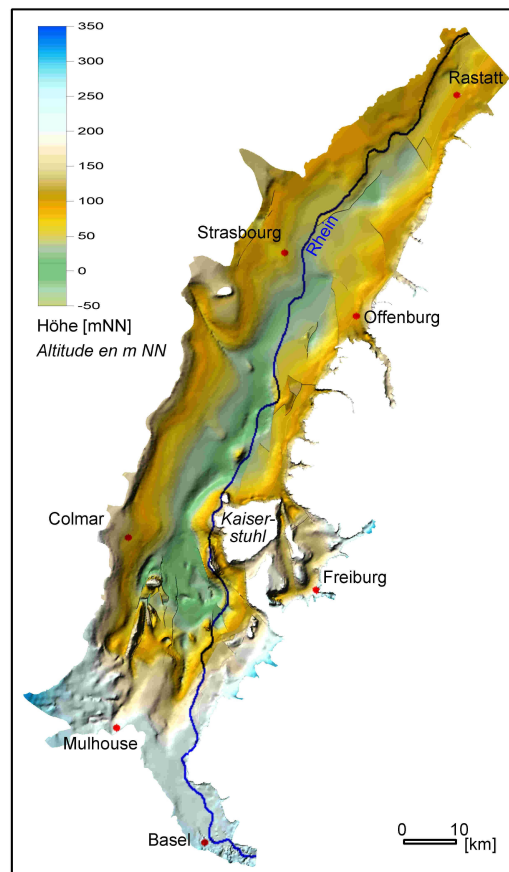


Abb. 1.4.4: Perspektivische Darstellung der Basis der grundwasserführenden Kiese (Aquiferbasis)

Fig. 1.4.4: Représentation en perspective de la base des alluvions perméables (substratum)

#### 1.4.9 Hydraulische Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten

Für die hydrogeologischen Einheiten Obere und Untere Neuenburg-Schichten sowie Obere und Untere Breisgau-Schichten wurden hydraulische Durchlässigkeiten ermittelt. Dabei wurde auf deutscher und französischer Seite auf bereits vorhandene Zusammenstellungen von Pumpversuchsergebnissen zurückgegriffen (Herrmann *et al.* 1996). Ent-

#### 1.4.9 Paramètres hydrodynamiques des unités hydrogéologiques

Les perméabilités hydrauliques ont été évaluées pour les différentes unités hydrogéologiques : Couches de Neuenburg supérieures et inférieures, Couches de Breisgau supérieures et inférieures. Pour cela on s'est basé sur des compilations existantes de résultats de pompages d'essai effectués côté français et allemand (Herrmann *et al.*, 1996). Les per-

sprechend der Position der Filterstrecke wurden die Durchlässigkeiten der jeweils getesteten hydrogeologischen Einheit zugeordnet. Die Anzahl der Werte nimmt wegen der wenigen tiefen Bohrungen mit zunehmender Tiefenlage der hydrogeologischen Einheiten stark ab.

méabilités ont été attribuées aux unités hydrogéologiques en fonction de la profondeur des crépines de l'ouvrage testé. Le nombre de valeurs disponibles diminue fortement avec la profondeur des unités hydrogéologiques en raison du faible nombre de forages profonds.

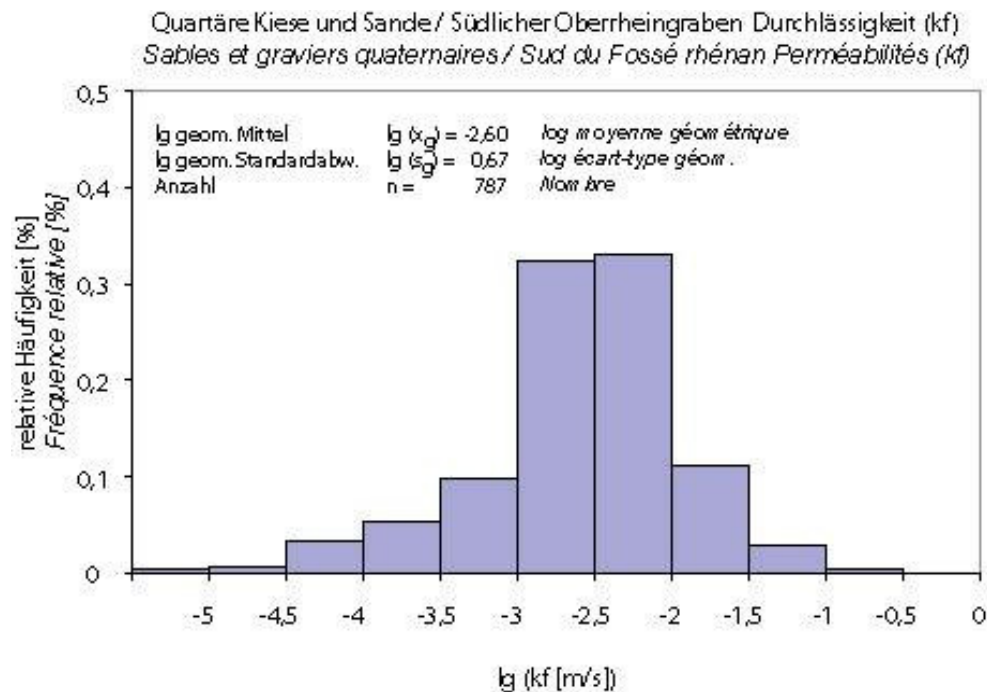


Abb. 1.4.5: Häufigkeitsverteilung der Durchlässigkeitswerte ( $k_f$ -Werte) für quartären Kiese und Sande im Untersuchungsgebiet (nur baden-württembergischer Teil)

Fig. 1.4.5: Distribution des valeurs de perméabilité ( $k_f$ ) pour les sables et graviers quaternaires du secteur d'étude (données badoises uniquement)

Die mittlere Durchlässigkeit aller Kies und Sande im baden-württembergischen Teil des Untersuchungsgebietes liegt bei  $k_f = 2,5 \cdot 10^{-3}$  m/s (Abb. 1.4.5). Für die Transmissivität ergibt sich ein Mittelwert von  $T = 1,66 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. Der Wert für die Durchlässigkeit liegt damit um das ca. 1,5-fache über dem Wert, der für die quartären Kiese und Sande im gesamten baden-württembergischen Teil des Oberrheingrabens von Basel bis Mannheim ermittelt wurde ( $k_f = 1,6 \cdot 10^{-3}$  m/s, LGRB 2002). Darin kommt die Tendenz zum Ausdruck, dass die Durchlässigkeitswerte generell von Süden nach Norden abnehmen.

La moyenne des perméabilités de tous les sables et graviers du côté badois de la zone d'étude est de l'ordre de  $k_f = 2,5 \cdot 10^{-3}$  m/s (Fig. 1.4.5). Pour la transmissivité, on obtient une moyenne de  $T = 1,66 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. La valeur de la perméabilité est ainsi environ 1,5 fois supérieure à celle estimée pour les sables et graviers quaternaires de l'ensemble de la partie du Fossé rhénan supérieur située au Bade-Wurtemberg entre Bâle et Mannheim ( $k_f = 1,6 \cdot 10^{-3}$  m/s, LGRB 2002). Ceci s'explique par le fait que les perméabilités ont globalement tendance à diminuer du Sud vers le Nord.

Die Oberen Neuenburg-Schichten ( $k_f = 2,5 \cdot 10^{-3}$  m/s) sind geringer durchlässig als die Unteren Neuenburg-Schichten ( $k_f = 4,5 \cdot 10^{-3}$  m/s). Dagegen ist die mittlere Durchlässigkeit in den Oberen ( $k_f = 6,8 \cdot 10^{-4}$  m/s) und Unteren Breisgau-Schichten ( $k_f = 8,0 \cdot 10^{-4}$  m/s) kleiner als in den darüber liegenden Neuenburg-Schichten.

Les Couches de Neuenburg supérieures sont moins perméables ( $k_f = 2,5 \cdot 10^{-3}$  m/s) que les Couches de Neuenburg inférieures ( $k_f = 4,5 \cdot 10^{-3}$  m/s). Par contre la perméabilité moyenne des Couches de Breisgau supérieures ( $k_f = 6,8 \cdot 10^{-4}$  m/s) comme des Couches de Breisgau inférieures est plus faible que celle des Couches de Neuenburg sus-jacentes.

Für die Oberen und Unteren Neuenburg-Schichten wurde die regionale Verteilung der Durchlässigkeitswerte jeweils als Isolinienplan dargestellt. Wegen der unzureichenden Datendichte in den darunter folgenden Oberen und Unteren Breisgau-Schichten sind für diese Einheiten lediglich die Belegpunkte mit den zugehörigen Durchlässigkeitswerten dargestellt.

La répartition régionale des perméabilités des Couches de Neuenburg supérieures et inférieures a été cartographiée en plages d'isovaleurs. En ce qui concerne les Couches de Breisgau, supérieures et inférieures, seules les valeurs des perméabilités aux points de mesure ont pu être cartographiées en raison de la densité d'information insuffisante.

## **1.5 Länderübergreifende Modellierung der Grundwasserverhältnisse im Oberrheingraben zwischen Karlsruhe und Basel – 1995 bis 2005**

*Th. Gudera, P. Koch, M. Wingerling, F. Toulet*

### **1.5.1 Grundwassermodellierung im LIFE-Projekt**

#### 1.5.1.1 Überblick

Bereits im Rahmen des "Demonstrationsvorhabens zum Schutz und zur Bewirtschaftung des Grundwassers des deutsch-französischen Oberrheingrabens" (LIFE, 1996) wurde für den gesamten Lockergesteinsgrundwasserleiter zwischen den Grabenrändern im Osten und Westen sowie zwischen Lauterbourg im Norden und Basel im Süden ein aufeinander abgestimmtes System von 11 regionalen numerischen Grundwassermodellen erstellt (Abb. 1.5.1). Die Teilmodelle wurden miteinander gekoppelt, sodass ein erstes Gesamtmodell für das gemeinsame Grundwasservorkommen der 3 Länder Frankreich, Schweiz und Deutschland vorlag. Auf dieser Grundlage wurden mittlere Wasserbilanzkomponenten ermittelt. Ganz besonders wichtig war die Kenntnis der Größenordnung des Wassermengenaustausches zwischen den zahlreichen oberirdischen Gewässern und dem Grundwasser. Darüber hinaus bildeten die vorliegenden Modelldaten eine wichtige Grundlage für zahlreiche lokale und regionale Untersuchungen.

Die Modellierung wurde horizontal-eben, d.h. mit einer Modellschicht, nach der Finite-Differenzen-Methode (FD-Methode) mit einem quadratischen Berechnungsraster von 500 x 500 m durchgeführt. Die links- und rechtsrheinischen Teilmodelle wurden von französischer bzw. deutscher Seite eigenverantwortlich bearbeitet. Nach Abschluss der Kalibrierung der Teilmodelle wurden diese bei der LfU gekoppelt. Damit stand in allen beteiligten Ländern ein anerkanntes länderübergreifendes Bewirtschaftungsinstrument zur Verfügung.

## **1.5 Modélisation transfrontalière des eaux souterraines du fossé du Rhin Supérieur entre Karlsruhe et Bâle – de 1995 à 2005**

*Th. Gudera, P. Koch, M. Wingerling, F. Toulet*

### **1.5.1 Modélisation des eaux souterraines dans le projet LIFE**

#### 1.5.1.1 Présentation générale

L'aquifère alluvial étendu entre Bâle au Sud, Lauterbourg au Nord et délimité à l'Est et à l'Ouest par les bordures du fossé rhénan a dorénavant et déjà été modélisé par un système de 11 modèles numériques régionaux (figure 1.5.1) dans le cadre du projet « action de démonstration portant sur la protection et la gestion des réserves d'eau souterraine dans la partie franco-allemande de la vallée du Rhin Supérieur » (Life, 1996). Le couplage des modèles a abouti à la réalisation du premier modèle global de la ressource en eaux souterraines des 3 pays (France, Suisse et Allemagne). Cet outil a permis d'évaluer les valeurs moyennes des composantes du bilan hydraulique. Un élément particulièrement important a consisté à rechercher l'ordre de grandeur des quantités échangées entre les nombreux cours d'eau superficiels et les eaux souterraines. Les données collectées ont par ailleurs constitué une base de travail importante pour de nombreuses études locales et régionales.

Les écoulements ont été simulés avec un modèle monocouche, c'est-à-dire avec une seule couche aquifère, par la méthode des différences finies avec une discrétisation spatiale en mailles carrées de 500 x 500 m. Les secteurs en rive gauche et droite du Rhin ont été traités séparément sous la responsabilité respective des acteurs français et allemands. La LfU a couplé les secteurs calibrés séparément en rive droite et gauche du Rhin. Les pays concernés disposaient désormais d'un outil de gestion transfrontalière reconnu.

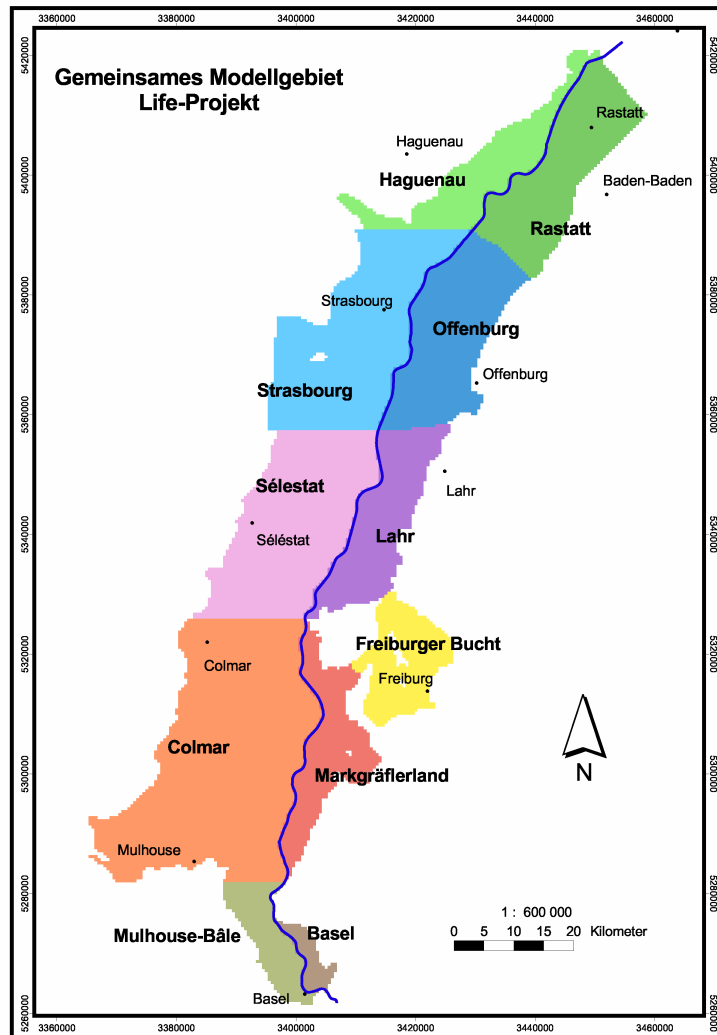


Abb. 1.5.1: Grundwassermodell des LIFE-Projektes mit Teilmodellen

Fig. 1.5.1: Emprise globale du modèle Life et des secteurs d'étude

Für die stationäre Modelleichung wurden 3 unterschiedliche Referenzsituationen ausgewählt, für niedrige Grundwasserverhältnisse der 09.09.1991, für mittlere der 20.10.1986 und für hohe Grundwasserverhältnisse der 11.04.1988. Die Grundwassermodelle wurde dabei durch Modifikation der Durchlässigkeitsbeiwerte, der Leakage-Koeffizienten oberirdischer Gewässer sowie der unterirdischen Randzuflüsse an den Grabenrändern bestmöglich an die gemessenen Piezometerhöhenverhältnisse angepasst.

Das modellierte Grundwasservorkommen umfasste ein Gesamtvolumen von rd. 298  $\text{km}^3$  und ein darin gespeichertes Wasservolumen von rd. 45  $\text{km}^3$  unter Annahme eines speichernutzbaren Hohlraumanteils von 15 %. Die Verteilung der Grundwassermächtigkeiten (Abb. 1.5.2) zeigt in Grabenmitte eine starke Zunahme von Süden nach Norden

Trois situations de références distinctes ont été retenues pour le calage du modèle en régime permanent, au 09.09.1991 pour la situation de basses eaux, au 20.10.1986 pour les moyennes eaux et au 11.04.1988 pour les hautes eaux. Les valeurs de perméabilité, les coefficients d'échanges nappe-rivière ainsi que les conditions de débits souterrains entrants au niveau des zones de bordure ont été modifiés jusqu'à obtention de la meilleure adéquation entre les résultats du modèle et la piézométrie mesurée.

L'aquifère modélisé représente un volume global de 298  $\text{km}^3$  correspondant à un volume d'eaux souterraines estimé à environ 45  $\text{km}^3$  en considérant une porosité efficace de 15%. La carte des épaisseurs de l'aquifère (figure 1.5.2) met en évidence une forte augmentation du Sud au Nord en partie centrale du fossé puis une diminution constante

und im weiteren Verlauf eine stetige Abnahme nach Norden. Die größten Mächtigkeiten mit bis zu 235 m liegen im Bereich Breisach südwestlich des Kaiserstuhls auf linksrheinischer Seite vor. Die durchschnittliche grundwassererfüllte Mächtigkeit beträgt rd. 70 m. Die Grundwasserströmung verläuft großräumig vom Schwarzwald und den Vogesen auf die Rheinniederung zu, in der Rheinniederung erfolgt im Wesentlichen ein rheinparalleler Abstrom nach Norden.

vers le Nord. Les plus grandes épaisseurs de l'ordre de 235 m sont observées au Sud-Ouest du Kaiserstuhl, en rive gauche du Rhin dans la région de Neuf-Brisach. Les alluvions en eau présentent une épaisseur moyenne d'environ 70 m. Les eaux souterraines s'écoulent dans l'ensemble des Vosges et de la Forêt Noire vers le centre de la plaine puis vers le Nord, parallèlement au cours du Rhin.

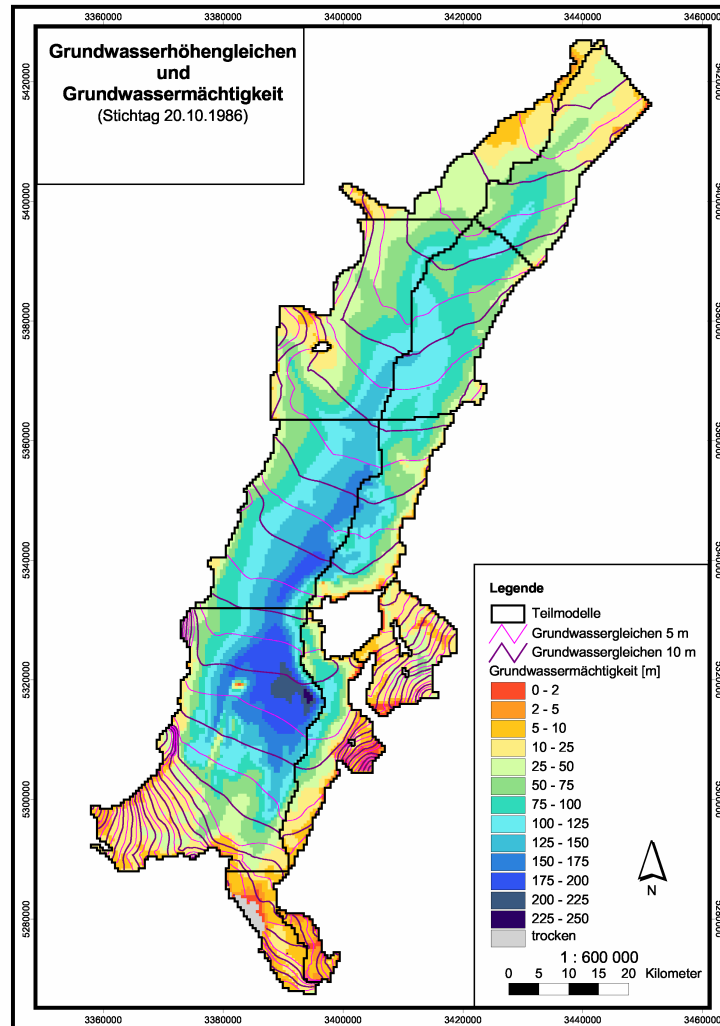


Abb. 1.5.2: Grundwassermächtigkeiten im Oberrheingraben

Fig. 1.5.2: Epaisseurs des couches aquifère dans le fossé du Rhin Supérieur

#### 1.5.1.2 Randbedingungen

- Grundwasserneubildungsverteilung aus Niederschlag: Die Sickerraten für die 3 genannten Referenzsituationen wurden durch eine einfache klimatische Wasserbilanzierung, ausgehend von länderübergreifenden Niederschlagsverteilungen des Regio-Klima-Projektes (REKLIP,

#### 1.5.1.2 Conditions aux limites

- Précipitations efficaces: La distribution spatiale imposée de la recharge de la nappe par précipitations a été introduite par mailles. Les précipitations efficaces ont été obtenues par l'intermédiaire de bilans climatiques simples pour les 3 situations de référence effectués sur la base

1995) für das langjährige Jahresmittel sowie für den hydrologischen Sommer und Winter und mittleren landnutzungsspezifischen tatsächlichen Verdunstungsraten ermittelt.

- Grundwasserentnahmen: Die Grundwasserentnahmedaten wurden bei den wasserwirtschaftlichen Dienststellen erhoben. In erster Linie wurden die Jahressummen der einzelnen Förderbrunnen für die ausgewählten Referenzjahre 1986, 1988 und 1991 erfasst und für die Modellierung aufbereitet.
- Gewässer: Zur Beschreibung der Wechselwirkung von oberirdischen Gewässern und dem Grundwasser wurde eine umfangreiche Bestandsaufnahme von modellrelevanten Gewässerparametern (geodätische Höhe der Sohle, Breite, Böschungneigung, Leakagekoeffizient, Wassertiefen) durchgeführt. Die horizontale Geometrie des Gewässernetzes wurde aus topographischen Karten digitalisiert. Damit konnte die Parametrisierung der Gewässerrandbedingung (RIVER-Package) durchgeführt werden. Im Rahmen der Modelleichung wurden die Leakage-Koeffizienten, unterschieden nach Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken, angepasst.
- Randzuströme: An den äußeren Rändern des Modellgebietes wurden Randzuströme vorgegeben, die im Laufe der Modellanpassung modifiziert wurden. Auf linksrheinischer Seite wurden bereichsweise auch Festpotenziale vorgegeben.
- Drainagen: Im südlichen Teil des linksrheinischen Untersuchungsgebietes wurden auch eine Reihe von Drainagerandbedingungen angesetzt.

#### 1.5.1.3 Ergebnisse

Aus der beschriebenen Grundwassermodellbetrachtung resultierte neben der berechneten Potenzialverteilung, die eine gute Übereinstimmung mit den vorliegenden Messdaten zeigte, eine großräumig plausible Verteilung der tiefengemittelten Durchlässigkeitsbeiwerte sowie eine detaillierte Beschreibung der durchschnittlichen Grundwasserbilanz. Das bereichsweise sehr dichten Gewässernetz im Oberrheingebiet, welches in intensi-

de la répartition transfrontalière des précipitations issue du projet climatologique régional (REKLIP, 1995), en particulier les précipitations moyennes pluriannuelles, précipitations hivernales et estivales ainsi que les valeurs de l'évapotranspiration réelle par type de culture.

- Prélèvements : Les données de prélèvements des eaux souterraines ont été collectées auprès des administrations compétentes. Il s'agissait prioritairement de saisir les quantités annuelles prélevées par ouvrage lors des années de référence 1986, 1988 et 1991 puis de les intégrer au modèle.
- Cours d'eau : La description des phénomènes d'échanges entre les eaux superficielles et les eaux souterraines a nécessité un inventaire complet de données de cours d'eau (cote du radier, largeur du lit, pente des berges, coefficient d'échange, tirant d'eau). Le tracé des cours d'eau a été obtenu par digitalisation des cartes topographiques. Les données collectées ont permis la mise en paramètres des conditions aux limites des cours d'eau (RIVER-Package). Les coefficients d'échange ont été calés différemment sur les tronçons infiltrants et drainants.
- Débits entrants en bordure de nappe : Les flux souterrains entrants au niveau des limites latérales du modèle ont été modifiés au cours du calage du modèle. Des potentiels imposés ont été introduits dans certaines zones en rive gauche du Rhin.
- Drainages : Quelques drainages ont été introduits dans la partie Sud de la zone d'étude, en rive gauche du Rhin.

#### 1.5.1.3 Résultats

Le modèle des eaux souterraines décrit plus haut a non seulement permis de calculer des niveaux de nappes reproduisant fidèlement la piézométrie observée, il a également abouti à une distribution régionale plausible des perméabilités en fonction de la profondeur ainsi qu'à une description détaillée des composantes du bilan hydraulique moyen. Le réseau des cours d'eau très dense par endroits est en étroite relation avec les eaux souterraines



ver hydraulischer Korrespondenz mit dem Grundwasser steht (Abb. 1.5.3), stellt mit der Gewässerinfiltration auf der Zuflusseite (rd.52 %) bzw. der Gewässerexfiltration auf der Abflusseite (rd. 62 %) die Hauptkomponenten der Wasserbilanz dar (Abb. 1.5.4).

(figure 1.5.3). Il constitue la composante principale de ce bilan, sachant qu'il représente environ 52% des apports par infiltration et près de 62% des prélèvements par drainage (figure 1.5.4).

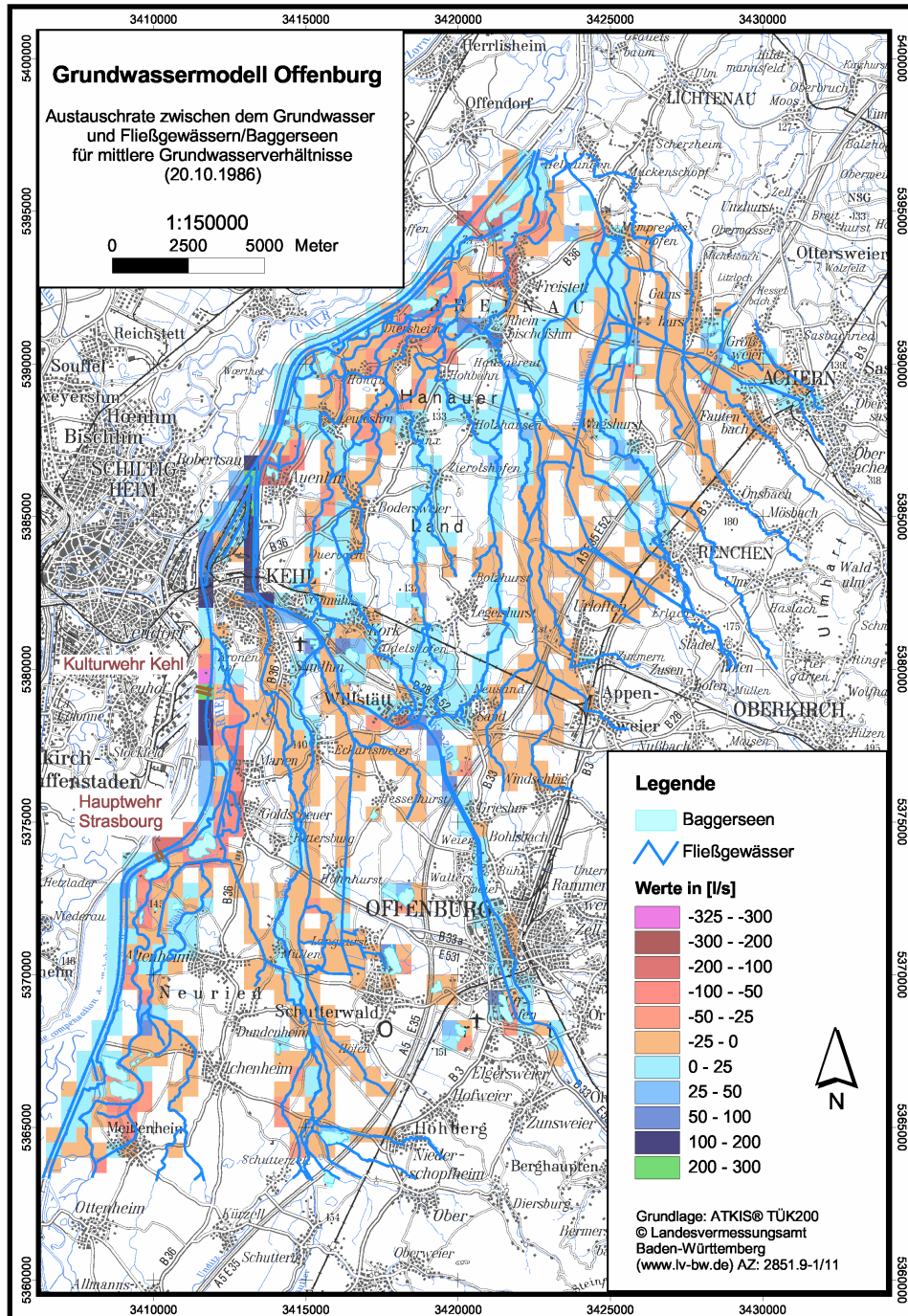


Abb. 1.5.3: Wechselwirkung der oberirdischen Gewässer mit dem Grundwasser im Teilgebiet Offenburg

Fig. 1.5.3: Echanges nappe-rivière dans le secteur d'Offenburg

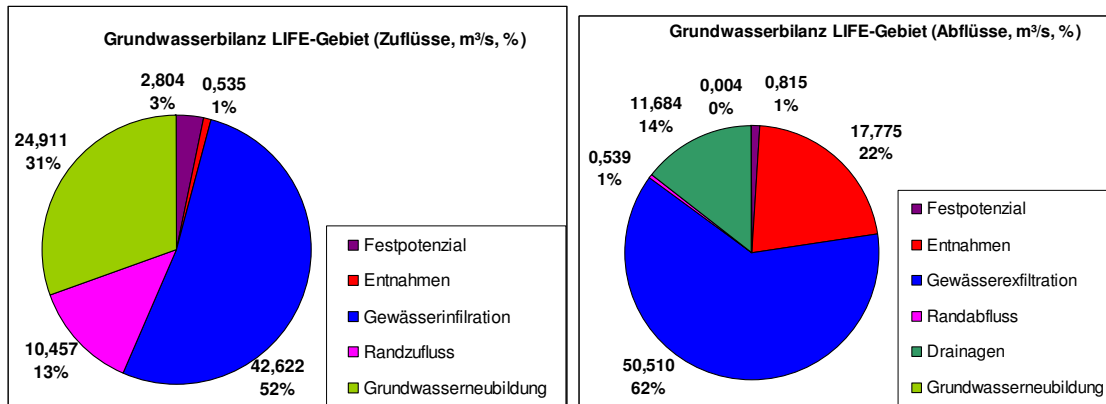


Abb. 1.5.4: Grundwasserbilanz für mittlere Grundwasserverhältnisse im LIFE-Gebiet

Fig. 1.5.4: Bilan des eaux souterraines en situation de moyennes eaux dans le projet LIFE

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist mit rd. 31 % Anteil am Gesamtzufluss die zweitgrößte Zuflusskomponente. Auf der Abstromseite stehen neben den Gewässern vor allem die Grundwasserentnahmen von Industrie, öffentlicher Wasserversorgung und Beregnung mit einem Anteil von rd. 22 %. Der gesamte durchschnittliche Grundwasserumsatz beträgt rd. 81,3 m³/s woraus eine mittlere Aufenthaltszeit von rd. 17,5 Jahren mit dem zuvor abgeschätzten Wasservolumen von 45 Km³ resultiert.

La recharge de la nappe par précipitations est avec 31% des apports globaux la deuxième composante du bilan des entrées du point de vue quantitatif. Côté écoulements, les prélèvements en eaux potables, industrielles et d'irrigation constituent avec environ 22% du bilan les principales sorties du système après les eaux superficielles. Les échanges globaux moyens de l'ordre de 81,3 m³/s correspondent à une durée de renouvellement moyenne de 17,5 années, calculées sur la base d'un volume d'eau total de 45 km³.

## 1.5.2 Grundwassermodellierung im MoNit-Projekt

## 1.5.2 Le modèle des eaux souterraines du projet MoNit

### 1.5.2.1 Einleitung

### 1.5.2.1 Introduction

Die Aufgabenstellung für das aktuelle INTERREG III – Projekt "Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben" (MoNit) ist, grob umrissen, die modellgestützte Beschreibung der vergangenen und heutigen Nitratreintrags- und -belastungssituation sowie eine Abschätzung zukünftiger Entwicklungen. Auf Grundlage der entwickelten prognosefähigen Modelle sind daher auch Szenarienbetrachtungen durchzuführen. Dies ist nur durch eine Reihe von Modellansätzen leistbar, welche die maßgebenden Prozesse auf dem Weg des Nitrats von der Erdoberfläche in das Grundwasser und im Grundwasser bis zu seinem Austrag in Gewässer oder durch Entnahmen beschreiben.

L'objectif du projet INTERREG III « modélisation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la vallée du Rhin » (MoNit) consiste à simuler les apports en nitrates actuels et historiques et les contaminations qui en résultent ainsi qu'une prévision de la situation future. Le développement des modèles permettra d'examiner différents scénarios. Pour atteindre cet objectif, différents modèles spécifiques permettront de simuler les principaux processus de transferts des nitrates entre la surface du sol et les eaux souterraines puis entre les eaux souterraines et leur écoulement dans les eaux superficielles ou leur prélèvement par pompage.

Ein wesentlicher Teil der gesamten Modellkette ist das Grundwassermodell. Nach der Grundsatzentscheidung, dass detaillierte Stofftransportberechnungen für das gesamte rd. 4.300 km² große Grundwasservorkom-

Le modèle des eaux souterraines occupe une place importante au sein de la cascade de modèles. La décision initiale de simuler le transport de particule sur l'ensemble des 4300 km² de la zone d'étude entre Bâle et

men zwischen Basel und Karlsruhe durchzuführen sind, musste ein tragfähiges Modellierungskonzept erstellt werden. Dies geschah in der ersten Projektphase und berücksichtigte Fortschritte, die in den Jahren nach Abschluss des LIFE-Projektes gemacht wurden. Dies betrifft im Besonderen die Ermittlung der Zuflüsse in Gewässern aus den oberirdischen Einzugsgebieten zu beiden Seiten des Oberrheingrabens sowie die Grundwasserneubildung aus Niederschlag.

Die Simulation der Strömungsprozesse im gesättigten Grundwasserleiter wird mit dem von der LfU weiterentwickelten Programm MODFLOW2000 (MF2K\_LfU) durchgeführt, da damit auch Randbedingungsoptionen zur Verfügung stehen, die speziell für die Anwendung im Oberrheingraben erforderlich sind. Zudem ist MODFLOW auch bei den beteiligten französischen und schweizerischen Projektpartnern, wie auch bereits während des LIFE-Projektes, die Standardmodellierungsplattform. Die Transportberechnungen werden mit MT3DMS durchgeführt, das, in einer entsprechend modifizierten Version, auf den MF2K\_LfU-Datensätzen aufsetzt.

#### 1.5.2.2 Modellaufbau

Auf Grundlage des tiefendifferenzierten hydrogeologischen Modells (siehe Kap. 1.4) wurde der Modellaufbau für den Gesamttraum realisiert. Der modellierte Bereich umfasst die Lockergesteine der Neuenburg- und Breisgauformation. Die Oberfläche von Iffezheim-Formation und Pliozän bilden die Modellbasis.

Die Modellbearbeitung erfolgt mit einer klar definierten Aufgabenteilung, nach links- und rechtsrheinischer Seite, im Gesamtmodell, sodass Randbedingungs- und Modellkopplungsprobleme entfallen.

Beim Modellaufbau und insbesondere bei der vertikalen Diskretisierung wurde darauf geachtet, dass numerische Probleme mit trockenfallenden Modellzellen in Bereichen geringer Aquifermächtigkeit vermieden werden können. Durch Voruntersuchungen konnte sichergestellt werden, dass eine horizontale Auflösung des numerischen Modells im Hinblick auf die Simulation des Nitrattransports in quadratische Modellzellen mit Seitenlängen von 100 m und in der vertikalen Richtung eine Aufteilung in 10 Modellschichten ausreichend ist. Diese Diskretisierung ist Grundlage für die Grundwasserströmungs- und -transportberechnungen.

Karlsruhe a nécessité la mise sur pieds d'une conception réaliste. Ceci fut réalisé durant la première phase du projet en tenant compte des progrès accomplis depuis la finalisation du projet LIFE. Il s'agit plus particulièrement des débits des cours d'eau par bassin versant de part et d'autre du fossé rhénan ainsi que des précipitations efficaces.

La simulation des écoulements dans la zone saturée de l'aquifère est mise en œuvre par le logiciel modifié MODFLOW 2000 (MF2K\_LfU), qui permet entre autre de traiter certaines conditions aux limites indispensables dans le fossé rhénan. Le logiciel MODFLOW est par ailleurs également utilisé régulièrement par les partenaires suisses et français, notamment dans le cadre du projet LIFE. Le transport sera simulé à l'aide d'une version modifiée du logiciel MT3DMS pour autoriser l'utilisation des données issues du modèle MF2K\_LfU.

#### 1.5.2.2 Elaboration du modèle

Un modèle numérique cohérent a été élaboré sur l'ensemble du domaine d'après un modèle hydrogéologique (cf. chapitre 1.4). Le modèle englobe les formations de Neuenburg et de Brisgau. Le toit de la formation d'Iffezheim et le pliocène constituent le substratum du modèle.

Une répartition des tâches clairement définie de part et d'autre du Rhin permet un traitement du modèle dans son ensemble tout en évitant la résolution de problèmes de conditions aux limites et de couplage.

Une attention particulière a été apportée à la discrétisation verticale pour éviter de rencontrer des problèmes liés à l'assèchement de certaines mailles dans les zones où l'aquifère est peu épais. Une étude préalable a démontré que la discrétisation horizontale du modèle numérique en mailles carrées de 100 m de côté sur 10 couches superposées est suffisante pour la simulation du transport des nitrates. Cette répartition est adoptée dès la résolution de l'écoulement et du transport.

Das Grundwassermodell umfasst rd. 429.000 aktive Zellen in der obersten Modellschicht. Nach unten nimmt die Anzahl der Modellzellen aufgrund der geringeren Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten etwas ab, so dass die Modellschicht 10 noch rd. 388.000 Modellzellen aufweist. Das Grundwassermodell umfasst somit insgesamt rd. 4 Mio. aktive Modellzellen.

### 1.5.2.3 Grundwasserströmungsmodell

#### 1.5.2.3.1 Randbedingungen

Im Rahmen der stationären Eichung des Grundwasserströmungsmodells werden insbesondere die horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte variiert, um eine möglichst gute Approximation der gerechneten Potenzialverteilung an die interpretierten Grundwasseroberflächen der Referenzsituationen 20.10.1986 und 09.09.1991 bzw. an die hierfür vorliegenden gemessene Potenziale zu erreichen. Die zur Verfügung stehenden Randbedingungen für die stationäre und instationäre Strömungsmodellierung sind in Tab. 1.5.1 zusammengestellt.

Den Schwerpunkt der Modellkalibrierung bildet die instationäre Betrachtung. Die Kalibrierung erstreckt sich auf die Durchlässigkeitsfelder, die Leakagekoeffizienten der Gewässer, die Verteilungen der unterirdischen Randzuströme sowie die Speicherkoeffizienten. Die instationäre Modellierung umfasst die Periode vom 01.01.1986 bis zum 31.12.2002. Die Strömungsrandbedingungen werden monatlich variiert, auf Tagesbasis vorliegende Informationen werden zu Monatswerten aggregiert.

Die Beurteilung der erreichten Anpassung erfolgt anhand einer Auswahl von etwa 200 Leitmessstellen aus den rd. 1.700 Grundwassermessstellen mit Piezometerhöheninformationen. Durch das sehr große und fein aufgelöste Modellgebiet entstehen gerade bei der instationären Rechnung sehr lange Rechenzeiten. Daher wird für die Bestimmung der strömungsrelevanten Parameter und Randbedingungen eine vertikale Aufteilung in 3 Modellschichten, in Anlehnung an das hydrogeologische Modell, vorgenommen, wodurch mehr Rechenläufe zur Modellanpassung durchgeführt werden können. Die modifizierten Größen werden regelmäßig im 10-schichtigen Modell nachgeführt.

La première couche du modèle comporte 429 000 mailles actives. Le nombre de mailles diminue avec la profondeur jusqu'à environ 388 000 mailles dans la 10ème couche car l'étendue de certaines couches hydrogéologiques est moindre. Le modèle des eaux souterraines englobe au total près de 4 Millions de mailles actives.

### 1.5.2.3 Modèle hydrodynamique des eaux souterraines

#### 1.5.2.3.1 Conditions aux limites

Le calage du modèle hydrodynamique des eaux souterraines en régime permanent permettra en premier lieu d'ajuster les perméabilités horizontales par approximation de la surface piézométrique calculée avec les situations de référence observées aux 20.10.1986 et 09.09.1991. Les conditions aux limites pour les modélisations en régime permanent et en régime transitoire sont indiquées dans le tableau 1.5.1.

L'ajustement des écoulements en régime transitoire constitue le point déterminant dans la phase de calage du modèle. L'ajustement concerne les champs de perméabilité, les coefficients d'échange nappe-rivière, la répartition des débits en bordure et les coefficients d'emmagasinement. L'ajustement en régime transitoire concerne la période du 01.01.1986 au 31.12.2002. Les conditions d'écoulement aux limites (Tableau 1.5.1) sont modifiées en pas de temps mensuel, sachant que les informations journalières sont préalablement agrégées en données mensuelles.

La qualité de l'ajustement sera jugée en temps réel par comparaison avec environ 200 stations de référence choisies parmi les 1 700 points de mesures piézométriques. La taille du domaine d'étude et sa discrétisation très fine occasionnent des temps de calcul très longs, spécialement en régime transitoire. C'est la raison pour laquelle les paramètres et les conditions aux limites relatives à la résolution de l'écoulement seront ajustés dans le cadre d'une discrétisation verticale en 3 couches, conformément au modèle hydrogéologique. Le gain de temps permettra de multiplier les simulations pour affiner le calage du modèle et des paramètres. Les données modifiées seront régulièrement intégrées dans le modèle en 10 couches.

Tab. 1.5.1: Randbedingungen der Grundwasserströmung im Oberrheingraben

Tab. 1.5.1: Conditions aux limites des écoulements dans le fossé du Rhin Supérieur

Randbedingung / Condition aux limites	MODFLOW- Package	Beschreibung / Description	Herkunft / Origine
GWN aus Niederschlag	Recharge	Verteilung der mittleren GWN-Höhe der Periode 01.01.1985 bis 31.12.2002 für Jahr / hydrologisches Sommer/Winterhalbjahr sowie Monats- und Jahreswerte	GWN_BW mit einer räumlichen Auflösung von 500x500 m
<i>Précipitations efficaces</i>	<i>Recharge</i>	<i>Répartition de la recharge par précipitations moyenne sur la période du 01.01.1986 au 31.12.2002 par année / période estivale hydrologique Sommer / période hivernale hydrologique ainsi que des valeurs mensuelles et annuelles</i>	<i>GWN_BW avec une discrétisation spatiale de 500x500 m</i>
Grundwasserentnahmen	ENT	Erhebung der brunnenbezogenen monatlichen bzw. jährlichen Fördermengen von Öffentlicher WV, Industrie und Beregnung	LfU-Erhebung, GWDB APRONA
<i>Prélèvements</i>	<i>ENT</i>	<i>Collecte des valeurs mensuelles et annuelles des prélèvements industriels, AEP et irrigation par puits</i>	<i>Collecte LfU, GWDB, APRONA</i>
Fließgewässer	Stream	Horizontale Geometrie des Fließgewässernetzes mit modellrelevanten Sachdaten aus LIFE Zufluss aus oberirdischen EZG monatsweise für die Periode 01.01.1986 bis 31.12.2002	LIFE und RIPS Universität Karlsruhe APRONA
<i>Cours d'eau superficiels</i>	<i>Stream</i>	<i>Tracé des cours d'eau et données issues du modèle LIFE Valeurs mensuelles des apports par les bassins versants pour la période du 01.01.1986 au 31.12.2002</i>	<i>LIFE et RIPS Université de Karlsruhe, APRONA</i>
Rhein / Kanalstrecken	River	Tägliche Wasserspiegel für die gesamte Flussstrecke zwischen Basel-Birsfelden und Karlsruhe-Maxau der Periode 01.01.1986 bis 31.12.2002	Hydraulische, eindimensionale Berechnung durch BAW mit Modell Kaskade
<i>Rhin / canaux</i>	<i>River</i>	<i>Ligne d'eau journalière sur la totalité du cours entre Bâle-Birsfelden et Karlsruhe-Maxau pour la période du 01.01.1986 au 31.12.2002</i>	<i>Calcul hydraulique unidimensionnel par la BAW avec une série de modèles en cascade</i>
Baggerseen	Lake	Horizontale Geometrie der Baggerseen, maximale/mittlere Tiefe, Zustandsbeschreibung	ZeBIS APRONA
<i>gravières</i>	<i>Lake</i>	<i>Localisation et étendue des gravières, profondeur maximale/moyenne, état général</i>	<i>ZeBIS APRONA</i>
Randzustrom	RAND	Unterirdischer Randzustrom	Randzustromraten aus LIFE-Modell
<i>Débit en bordure</i>	<i>RAND</i>	<i>Débits souterrains entrants en bordure du modèle</i>	<i>Randzustromraten modèle LIFE</i>

Randbedingung / <i>Condition aux limites</i>	MODFLOW- Package	Beschreibung / <i>Description</i>	Herkunft / <i>Origine</i>
Randzustrom	CHD	Unterirdischer Randzustrom	Gemesse- ne/interpretierte Poten- ziale in einmündenen Tälern
<i>Débit en bordure</i>	<i>CHD</i>	<i>Débits souterrains entrants en bor- dure du modèle</i>	<i>Niveaux mesu- rés/interprétés au dé- bouché des cours d'eau dans la plaine</i>
Drainagen	Drain	Landwirtschaftliche und Schutzdrai- nagen	Landwirtschaft
<i>Drainages</i>	<i>Drain</i>	<i>Drainages agricoles et pour la protec- tion contre les inondations</i>	<i>agriculture</i>

Nachfolgend wird etwas detaillierter auf die Datengrundlage bzw. Ermittlung der beiden Hauptzuflusskomponenten, die oberirdischen Gewässer und die Grundwasserneubildung aus Niederschlag eingegangen.

Bei den oberirdischen Gewässern ist zu unterscheiden in die fließenden und stehenden Gewässer, letztere sind ausschließlich Baggerseen im Untersuchungsgebiet. Die Baggerseen werden durch den Lakeansatz beschrieben, wodurch der Seewasserspiegel berechnet wird. Der Potenzialunterschied zwischen See und dem anstehenden Grundwasser bestimmt zusammen mit dem Leakage-Koeffizienten den Wassermengenaustausch. Damit stellt jeder Baggersee im oberstromigen Bereich eine Senke und im unterstromigen Bereich eine Quelle dar und für jeden Baggersee wird eine Wasserbilanz ermittelt. Die Datengrundlage bilden im gesamten Untersuchungsgebiet die horizontalen Seegeometrien sowie auf rechtsrheinischer Seite die im Zentralen Baggerseelinformationssystem (ZeBIS) vorliegenden Sachdaten. Auf linksrheinischer Seite liegen vergleichbare Sachdaten nicht vor, sodass bezüglich Seetiefen Annahmen zu treffen sind.

Bei den fließenden Gewässern wird in der Modellierung unterschieden zwischen dem Rhein und sämtlichen anderen Gewässern. Für den Rhein und die Kanalstrecken werden hydraulisch berechnete Wasserspiegel in der RIVER-Randbedingung vorgegeben. Der Potenzialunterschied zwischen Rhein und dem anstehenden Grundwasser bestimmt zusammen mit dem Leakage-Koeffizient den Wassermengenaustausch. Dieser ist im Vergleich zum Abfluss des Rheins sehr gering, 50

Les données d'entrée des deux composantes principales, les cours d'eau superficiels d'une part, les précipitations efficaces d'autre part, et les méthodes de recherche sont détaillées dans la suite.

Pour les eaux de surface, il convient de faire la distinction entre les cours d'eau et les eaux stagnantes, qui sont des gravières dans la zone d'étude. Les gravières sont traitées dans le cadre du module LAKE, qui permet de calculer un niveau d'eau. Les échanges d'eau sont calculés en fonction de la différence de potentiel entre le plan d'eau et les eaux souterraines alentour et du coefficient d'échange. De cette façon, une gravière draine les eaux souterraines dans sa partie amont et infiltre dans sa partie aval. Un bilan en eau peut ainsi être déterminé pour chaque gravière. Outre la géométrie horizontale des gravières sur toute la zone d'emprise du modèle, les données disponibles englobent également les informations collectées dans la banque de données gravières (ZeBis) en rive droite du Rhin. Il n'existe pas de données caractéristiques des gravières en rive gauche du Rhin, ce qui amène à émettre des hypothèses sur la profondeur des gravières en Alsace.

Pour ce qui concerne les cours d'eau superficiels, la modélisation distinguera entre le Rhin et les autres rivières. La ligne d'eau calculée pour les Rhin et ses canaux latéraux sera traitée par le module RIVER. Les échanges d'eau sont calculés en fonction de la différence de potentiel entre les niveaux d'eau et les eaux souterraines alentour et du coefficient d'échange. Les quantités échangées sont très faibles par rapport au débit du Rhin et n'entraîneront aucune diminution

sodass die dadurch hervorgerufene Abflussänderung vernachlässigbar ist. Die Gesamtstrecke von Basel bis Maxau wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) für die Wasserspiegellagenberechnung in 9 Teilmodelle unterteilt (Abb. 1.5.5). Die einzelnen Modelle können sowohl für sich als auch aneinander gekoppelt über mehrere Abschnitte betrieben werden. Die hydraulische Berechnung erfolgte in Tagesschritten für die gesamte Periode vom 01.01.1986 bis zum 31.12.2002 mit dem Modell „CasCade“. Für Zwischenbereiche, in denen keine exakte Berechnung möglich war, wurden die Wasserspiegelwerte ingenieurmäßig ermittelt [BAW, 2005].

Alle anderen Fließgewässer werden mit dem Stream-Package modelliert. Dabei wird an der Eintrittsstelle des Gewässers in das Modellgebiet ein Zufluss in das erste Gewässersegment vorgegeben und im weiteren Verlauf der Wasserstand in Abhängigkeit von der Austauschrate mit dem anstehenden Grundwasser sowie dem Abfluss im Gewässer berechnet. Der vorgegebene Zufluss resultiert aus einer Niederschlags-Abfluss-Regionalisierung in dem angeschlossenen oberirdischen Einzugsgebiet des Gewässers (Abb. 1.5.6, orangefarbene Linien). Die Abflüsse wurden für die Periode 01.01.1986 bis 31.12.2002 als Monatswerte berechnet. Als Antrieb geht die monatliche Gebietsniederschlagsverteilung im 500x500 m Raster ein, die das Grundwasserneubildungsmodell GWN\_BW bereitstellt. Insgesamt kann somit für 169 oberirdische Einzugsgebiete auf der rechtsrheinischen (Abb. 1.5.6 rot markierte Punkte in rechtem Bild) und 113 oberirdische Einzugsgebiete auf der linksrheinischen Seite (Abb. 1.5.6 rot markierte Punkte in linkem Bild) eine realistische Zuflussinformation vorgegeben werden.

significative du débit. La Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) a mis en œuvre 9 modèles pour simuler la ligne d'eau du fleuve entre Bâle et Maxau. Les différents modèles existent indépendamment les uns des autres ou bien peuvent être couplés sur plusieurs secteurs. Les calculs hydrauliques ont été effectués en pas de temps journaliers sur la période du 01.01.1986 au 31.12.2002 avec le modèle « CasCade ». Certains tronçons intermédiaires, pour lesquels la détermination des lignes d'eau n'a pas été possible par modélisation, ont été traités avec les techniques de l'ingénieur classiques [BAW, 2005].

Les autres cours d'eau sont traités avec le module STREAM. Le débit du cours est attribué au premier segment débouchant dans la zone d'étude et la ligne d'eau est ensuite calculée en fonction des échanges nappes-rivière et du débit des rivières. Le débit entrant est déterminé par régionalisation des pluies et débit dans le bassin versant (figure 1.5.6, lignes oranges) en pas de temps mensuels pour la période du 01.01.1986 au 31.12.2002. La répartition des précipitations mensuelles en mailles carrées de 500x500 m est issue du modèle de recharge de la nappe par précipitations GWN\_BW. Cette démarche permet d'attribuer des débits réalistes pour 169 bassins versants en rive droite du Rhin (figure 1.5.6, points rouges dans la carte de droite) et 113 bassins versants en rive gauche (figure 1.5.6, points rouges dans la carte de gauche).



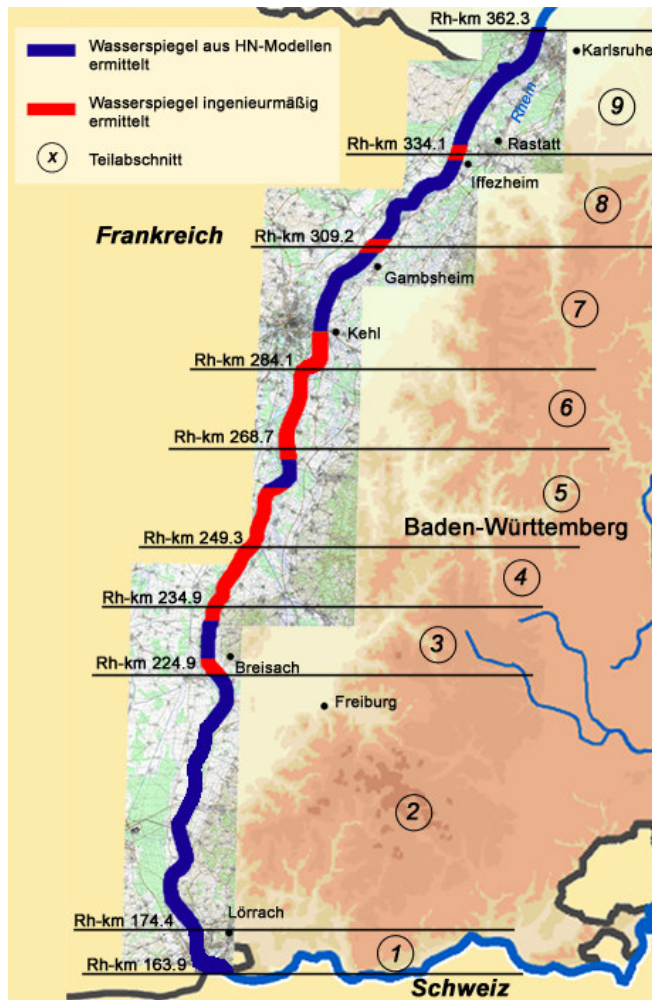


Abb. 1.5.5: Teilmodelle der Rheinstrecke Basel – Maxau für die Wasserspiegelberechnung [BAW, 2005]

Fig. 1.5.1: Les modèles en cascade pour le calcul des lignes d'eau du Rhin entre Bâle et Maxau [BAW, 2005]

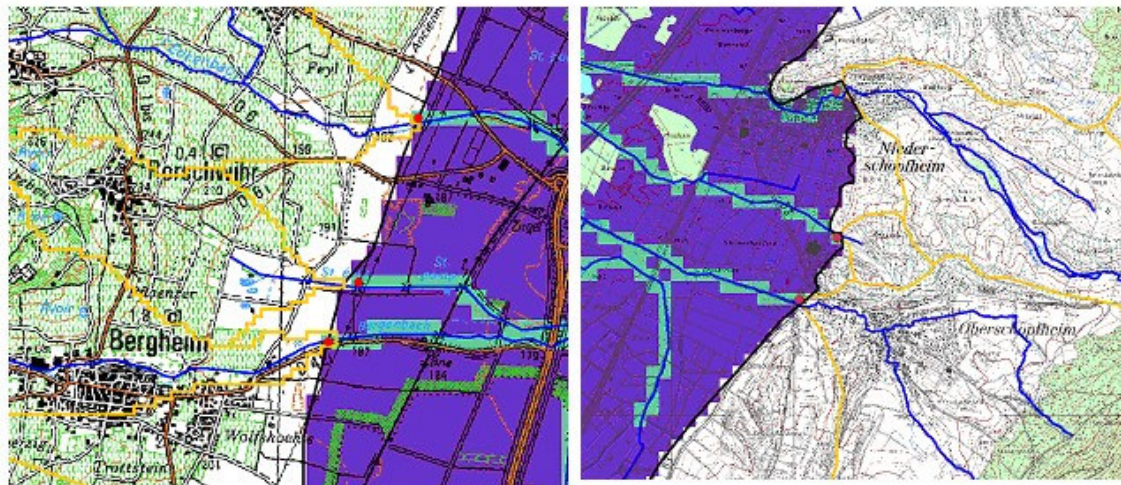


Abb. 1.5.6: Anschluss der oberirdischen Einzugsgebiete auf der links- und rechtsrheinischen Seite

Fig. 1.5.6 : Rattachement des bassins versants en rives droite et gauche du Rhin



Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag wurde mit dem Modell „GWN\_BW“, einem deterministischen, flächendifferenzierten Modell zur Berechnung der aktuellen Evapotranspiration, zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes sowie zur Bestimmung der unterhalb der durchwurzelten Bodenzone gebildeten Sickerwassermenge berechnet [WaBoA, 2004 & GIT, 2004]. Folgende stationsbezogenen Daten benötigt GWN\_BW:

- Luftdruck [hPa]
- Tagesmitteltemperatur [°C]
- Tagesmittel der relativen Luftfeuchtigkeit [%]
- Tagesmittel der Windstärke [Bft]
- Tagessumme der Sonnenscheindauer [h]
- Tagessumme des Niederschlages [mm]

Die Berechnung erfolgt auf der Basis von Tagesschritten, die Kalkulation der Strahlungsbilanz in deutlich höherer Auflösung (Stundenbasis), wobei die räumliche Diskretisierung der Eingangsdaten frei gewählt werden kann. Für die vorliegende Bearbeitung wurde eine räumliche Auflösung von 500x500 m gewählt. Die mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag beträgt 212 mm/a auf linksrheinischer Seite, der höchste durchschnittliche Neubildungswert beträgt 916 mm/a und tritt in der südwestlichen Ausbuchtung des Modellgebietes bei Mulhouse (vgl. Abb. 1.5.7) auf. Auf rechtsrheinischer Seite beträgt die mittlere durchschnittliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag 265 mm/a, der höchste durchschnittliche Neubildungswert beträgt hier 582 mm/a und tritt im Teilgebiet „Rastatt“ am Grabenrand auf (vgl. Abb. 1.5.7).

L'utilisation du modèle déterministe GWN\_BW permet de déterminer la répartition des valeurs de l'évapotranspiration, le bilan en eau du sol et les quantités des eaux de percolation qui évacuent la zone racinaire sur l'ensemble de la zone d'emprise du modèle [WaBoA, 2004 & GIT, 2004]. Le modèle GWN\_BW utilise les données climatiques suivantes :

- Pression atmosphérique [hPa]
- Température journalière moyenne [°C]
- Humidité relative de l'air moyenne journalière [%]
- Vitesse du vent moyenne journalière [Bft]
- Durée d'ensoleillement moyenne journalière [h]
- Pluviométrie journalière [mm]

La simulation est réalisée en pas de temps journaliers, sachant que la discrétisation temporelle du bilan du rayonnement global est plus fine (valeurs horaires) et que la discrétisation spatiale des données d'entrée peut être choisie librement. Un maillage de 500x500 m a été retenu dans le cadre de cette étude. Les précipitations efficaces moyennes sont de l'ordre de 212 mm/a en rive gauche du Rhin et atteint un maximum de 916 mm/a dans la zone au Sud-Ouest du modèle dans la région de Mulhouse (cf. figure 1.5.7). En rive droite, les précipitations efficaces moyennes valent 265 mm/a avec un maximum de 582 mm/a en bordure de nappe dans la région de Rastatt (cf. figure 1.5.7).

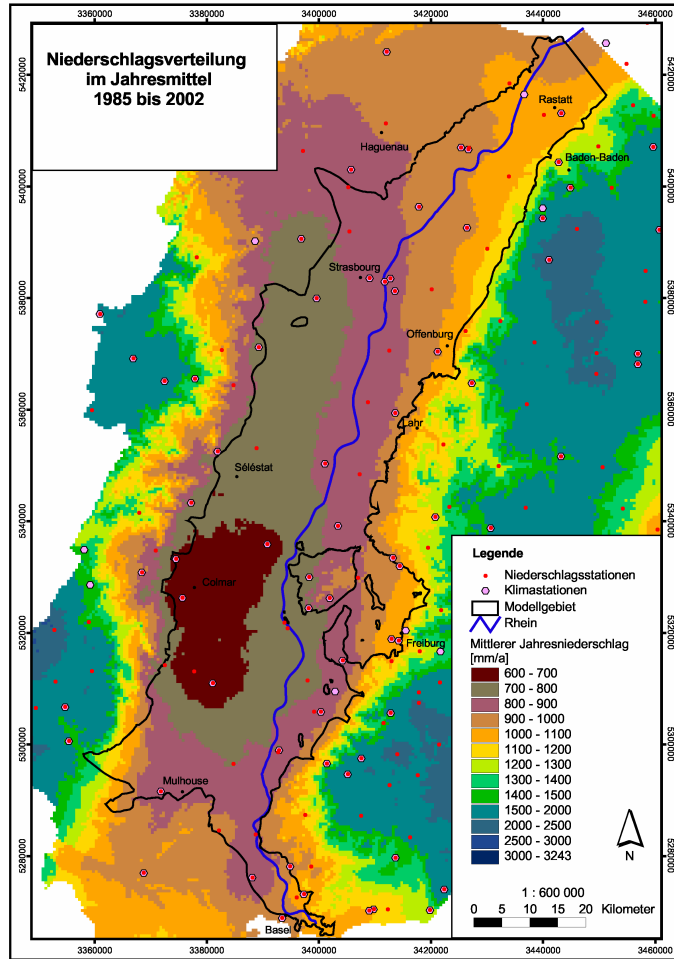


Abb. 1.5.7: Regionalisierte Niederschlagsverteilung, Jahresmittel 01.01.1985 – 31.12.2002

Fig. 1.5.7: Régionalisation de la Pluviométrie, moyenne pluriannuelle 01.01.1985 – 31.12.2002

Die an den Niederschlags- und Klimastationen vorliegenden Tageswerte des Niederschlags und der Temperatur wurden mit einer Kombination aus Berücksichtigung von Distanzgewichten und der Höhenabhängigkeit auf die Fläche interpoliert, die übrigen Klimaparameter wurden ohne Höhenabhängigkeit auf die Fläche interpoliert. Abbildung 1.5.7. zeigt die regionalisierte Niederschlagsverteilung im Jahresmittel für die Periode 01.01.1985 – 31.12.2002 sowie die zugrunde liegende Stationsverteilung. Es wurden Daten aus den Messnetzen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), des Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG) sowie Météo France verwendet. Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe beträgt 1.214 mm/a, der niedrigste Wert 628 mm/a und die höchste mittlere Niederschlagshöhe von 3.242 mm/a tritt im Südwesten im äußeren Teil des Untersuchungsgebietes auf.

Les valeurs journalières collectées par les stations pluviométriques et climatiques peuvent être régionalisées par la méthode des distances pondérées ou une par combinaison de cette méthode et d'une correction en fonction de l'altitude. Les moyennes pluriannuelles des précipitations pour la période du 01.01.1985 au 31.12.2002 et les stations utilisées sont représentées en figure 1.5.7. Les données sont issues des réseaux du Deutscher Wetterdienst (DWD), du Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG) et de Météo France. La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 1214 mm/a avec un minimum de 628 mm/a et un maximum de 3242 mm/a dans l'extrême Sud Ouest du domaine d'étude.

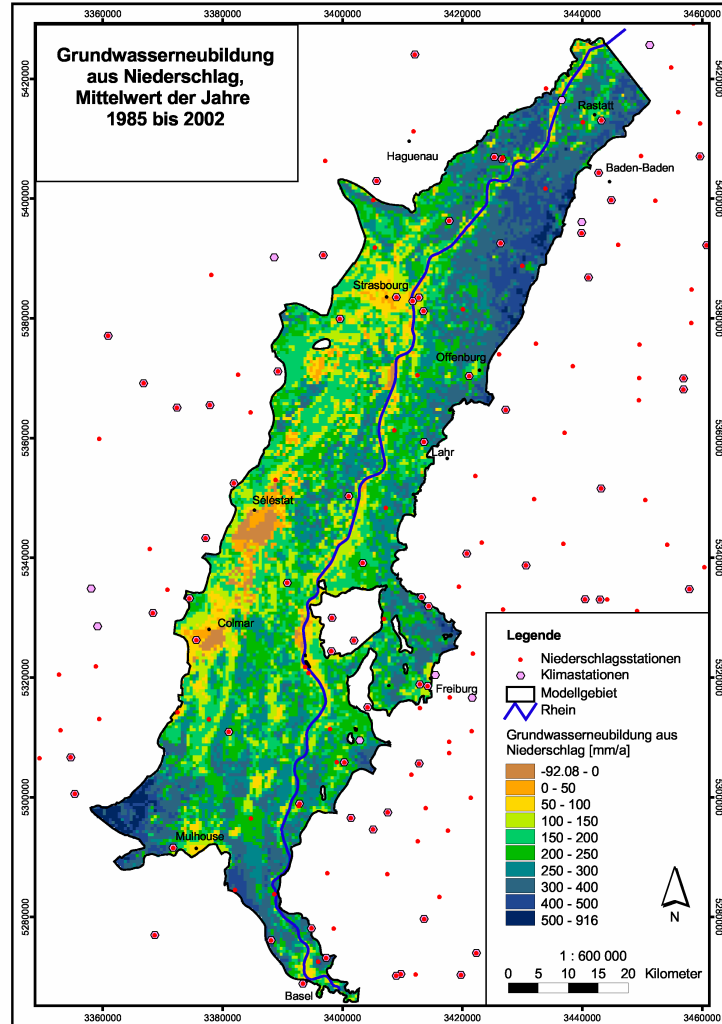


Abb. 1.5.8: Verteilung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Jahresmittel 01.01.1985 – 31.12.2002

Fig. 1.5.8: Répartition des précipitations efficaces, moyennes pluriannuelles 01.01.1985 – 31.12.2002

#### 1.5.2.4 Grundwassertransportmodell

#### 1.5.2.4 Modèle de transport des eaux souterraines

##### 1.5.2.4.1 Einführung

##### 1.5.2.4.1 Introduction

Die Vorgaben für die Modellierung der Strömungs- und Transportprozesse im gesättigten Grundwasserleiter wurden im Rahmen einer Vorstudie erarbeitet [KuP, 2004]. Dabei standen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

Différentes approches de modélisation des processus d'écoulement et de transport dans la zone saturée ont été examinées dans le cadre d'une étude préliminaire [KuP, 2004]. Il s'agissait de répondre aux interrogations suivantes :

- Wie muss das numerische Modell in horizontaler und vertikaler Richtung sowie in der Zeit diskretisiert werden?
- Welche numerischen Verfahren und Programme eignen sich für die vorgesehene Untersuchung?

- Quelle discrétisation spatiale (horizontale et verticale) et temporelle du modèle numérique est requise ?
- Quels méthodes numériques et logiciels permettent d'atteindre les objectifs prévus ?

- Wie lässt sich der Abbau von Nitrat im numerischen Modell berücksichtigen?
- Wie groß sollte der Modellierungszeitraum sein?
- Welchen Einfluss hat die instationäre Strömung auf den Nitrattransport?
- Wie lässt sich die Nitratanfangsverteilung bestimmen?
- Wie wird die ungesättigte Strömung in die Untersuchung eingebunden?
- Wie lässt sich die vorgesehene Bearbeitung in Teilmodellen durchführen und wie lassen sich diese koppeln?
- Comment prendre en compte la dégradation des nitrates dans le modèle numérique ?
- Quelle doit être la durée du simulation ?
- Quelle influence exerce le régime transitoire sur le transport des nitrates ?
- Comment déterminer la répartition initiale des teneurs en nitrates ?
- De quelle manière faut-il rattacher la zone non saturée ?
- Comment réaliser les travaux par secteurs d'étude puis effectuer un couplage ?

Bei der Erarbeitung der Vorgehensweise wurde einerseits auf die Absicherung und Prognosefähigkeit des Modellsystems und andererseits auf die Verfügbarkeit von Modelleingangs- und Vergleichsdaten geachtet. Insbesondere der große Betrachtungsraum mit einer Fläche von ca. 4.500 km<sup>2</sup> stellt spezielle Anforderungen an die Modellierung und erfordert vereinfachende Annahmen vor allem für die Modelleingangsdaten aufgrund der bereichsweise lückenhaften Datenlage.

Die wichtigsten Vorgaben für die spätere Modellierung wurden anhand eines Testmodells erarbeitet, für das als Modellierungsgebiet der Grundwasserleiter südlich des Kaiserstuhls ausgewählt wurde. In diesem Untersuchungsraum lagen seinerzeit die meisten benötigten Daten und Informationen vor, da hier eine aktuelle Detailkenntnis zu den hydrogeologischen Verhältnissen sowie eine flächendeckende Information zu den hydraulischen Modelleingangsdaten vorhanden war. Das Testmodell ermöglichte eine realitätsnahe Überprüfung von Anforderungen an das später zu erstellende Grundwassermodell.

#### 1.5.2.4.2 Berücksichtigung der ungesättigten Zone

Die ungesättigte Zone spielt beim Transport von Nitrat aus der Wurzelzone bis zur Grundwasseroberfläche eine wichtige Rolle. Insbesondere bei größeren Flurabständen und bindigen Deckschichten können sich lange Aufenthaltszeiten von bis zu 10 Jahren, bereichsweise auch von mehr als 10 Jahren ergeben. Daher werden für den ungesättigten Bereich Transportberechnungen durchgeführt, um eine sinnvolle Eintragsrandbedingung für die Nitrattransportmodellierung im Grundwasser vorgeben zu können.

L'étude préliminaire s'est attachée à concevoir un système de modèles de prévisions fiable au regard des données disponibles. La longue durée de simulation et l'étendue de la zone d'emprise constituent des conditions aux limites particulières pour un modèle, qui contraignent de recourir à des données simplifiées, notamment dans les secteurs insuffisamment documentés.

Les dispositions principales pour la modélisation future ont été testées par un modèle pilote élaboré dans la zone au Sud du Kaiserstuhl. La plupart des données et informations nécessaires avaient été préalablement collectées dans ce secteur, notamment le modèle hydrogéologique et les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère. Le modèle pilote a permis une vérification réaliste de la faisabilité du modèle des eaux souterraines futur.

#### 1.5.2.4.2 Prise en compte de la zone non saturée

La zone non saturée joue un rôle important dans le phénomène de transport des nitrates entre la zone racinaire et le toit de la nappe. Des durées de percolation de 10 ans, parfois davantage, sont observées dans les zones où le toit de la nappe est profond et pour des sols consistants. Les simulations du transport dans la zone non saturée sont destinées à définir des conditions d'apport des nitrates dans les eaux souterraines.

#### 1.5.2.4.3 Simulation von Tritium seit 1963

Der dominierende Transportprozess für Nitrat im Grundwasser des Untersuchungsgebietes ist der advective Stofftransport, d.h. der Transport mit der Grundwasserströmung. Die relevante Größe hierfür ist die Abstandsgeschwindigkeit, die durch Division der Filtergeschwindigkeit durch die transportwirksame (effektive) Porosität  $n_e$  ermittelt wird. Die Filtergeschwindigkeit wiederum resultiert aus der vorhergehenden Strömungsberechnung.

Der Wert der effektiven Porosität ist eine Funktion des Aquiferaufbaus, aber auch der Aufenthaltszeit im Aquifer. Für den großräumigen Stofftransport ist man daher zur Bestimmung von  $n_e$  auf die Betrachtung von anthropogenen Spurenstoffen mit bekannter Eintragsgeschichte angewiesen. Im vorliegenden Fall soll der Eintrag von Tritium durch die Atomwaffentests aus den 1960-er Jahren nachgebildet werden. Der Transportbetrachtung wird das stationäre Strömungsfeld bei mittleren Piezometerhöhen zugrunde gelegt. Der Tritiumeintrag erfolgt über die Grundwasserneubildung aus Niederschlag und den Zufluss aus den oberirdischen Gewässern. Die zeitliche Auflösung der Eintragsrandbedingung beträgt ein Jahr mit den mittleren Tritiumkonzentrationen der Winterniederschläge an der Messstation Hof/Saale für die Modellierungsperiode 1963 bis 2000. Der Tritiumzerfall wird durch Abbau erster Ordnung mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren approximiert.

Das numerische Modell wird anhand von gemessenen Tritiumkonzentrationen überprüft. Dabei erfolgt eine Variation von  $n_e$ , ggf. eine Modifikation der Durchlässigkeiten in den tieferen Schichten und der Leakagekoeffizienten in den oberirdischen Gewässern.

#### 1.5.2.4.4 Ermittlung der Sauerstoffkonzentrationsverteilung

Bei längeren Aufenthaltszeiten im Aquifer ist bei der Simulation des Nitrattransports auch die Möglichkeit des Nitratabbaus in Betracht zu ziehen. Die beiden dominierenden Prozesse, die heterotrophe und die autotrophe Denitrifikation, sind mikrobiell katalysiert. Gemeinsam ist beiden Prozessen auch, dass zunächst Sauerstoff abgebaut wird, bevor Nitrat als Oxidationsmittel verwendet wird.

#### 1.5.2.4.3 Simulation du Tritium depuis 1963

Le transport advectif, c'est-à-dire sous l'effet de l'écoulement, est le terme prédominant pour la caractérisation du transport des nitrates dans les eaux souterraines. Les paramètres déterminants sont la vitesse effective d'écoulement obtenue par division de la vitesse de filtration par la porosité efficace  $n_e$ . La résolution de l'écoulement préalable donne la vitesse de filtration.

La porosité efficace dépend principalement des couches hydrogéologiques, mais elle est également influencée par la durée de renouvellement de l'aquifère. Pour obtenir les valeurs de  $n_e$  à des fins de modélisation de transport, il faut recourir à rechercher des particules présentes sous forme de traces et dont l'historique est connu. La simulation des infiltrations de tritium dégagé dans le cadre des essais nucléaires au cours des années 1960 vont permettre d'y parvenir. La résolution du transport sera effectuée en régime permanent pour une piézométrie moyenne. Les apports de tritium seront combinés aux précipitations efficaces et aux infiltrations par les eaux de surface. Les apports seront simulés en pas de temps annuels en prenant la concentration moyenne de tritium observée dans les précipitations hivernales au niveau de la station de mesure Hof/Saale pour la période de 1963 à 2000. La désintégration du tritium sera approximée par une loi cinétique du 1<sup>er</sup> ordre, sa demi-vie étant de 12,3 ans.

Les concentrations de tritium mesurées permettront de valider les résultats de modèle numérique par variation de la valeur de  $n_e$  et éventuellement par modification des perméabilités dans les couches profondes de l'aquifère ainsi que des coefficients d'échanges nappe-rivière.

#### 1.5.2.4.4 Répartition spatiale des concentrations en oxygène dissous

La simulation du transport des nitrates doit tenir compte de la dégradation des nitrates dans le cas de temps de séjour prolongés au sein de l'aquifère. Les deux phénomènes dominants, les dénitrifications hétérotrophe et autotrophe, sont catalysés par l'activité microbienne. Les deux processus ont ceci en commun, que l'oxygène est consommé avant que les molécules de nitrates ne soient utilisées comme oxydant.

Der Sauerstoffabbau im Aquifer ist leichter zu identifizieren als der Nitratabbau, da bei Sauerstoff im Unterschied zu Nitrat von einem räumlich und zeitlich weitgehend konstanten Eintrag ausgegangen werden kann. Die Simulation des Sauerstofftransports ist daher dadurch motiviert, dass der Sauerstoffabbau als Indikator für eine mögliche Nitratreduktion herangezogen werden kann.

Auf Grundlage des stationär kalibrierten Strömungsmodells für mittlere Grundwasserstände wird bis zum Erreichen einer stationären Sauerstoffverteilung gerechnet (Größenordnung 30 Jahre). Für die Grundwasserneubildung wird Sauerstoffsättigung (rd. 10 mg/l), für Zuflüsse aus den Fließgewässern sowie über die Modellränder werden reduzierte Konzentrationen (rd. 2 – 5 mg/l) angenommen. Die Zustromkonzentrationen werden zeitlich konstant angenommen. Die Anfangskonzentration beträgt 5 mg/l in den oberen und 0 mg/l in den tieferen Modellschichten. Der Sauerstoffabbau wird mit einem Abbauprozess nullter Ordnung angenähert, davon ausgehend, dass die Sauerstoffzehrung weniger von der Sauerstoffkonzentration selbst, als vielmehr von der Verfügbarkeit organischen Kohlenstoffs limitiert ist. Dies trifft auch auf den Nitratabbau zu. Angepasst wird die Abbaurate, die dann auch in der Simulation des Nitrattransports verwendet wird. Das Kriterium zur Beurteilung der Kalibrierung ist dabei die Differenz zwischen den gemittelten gemessenen Werten an den vorhandenen Messstellen und den berechneten stationären Sauerstoffkonzentrationen.

#### 1.5.2.4.5 Simulation des historischen Nitrattransports bis 1991

Die Simulation des historischen Nitrattransports bis 1991 dient der Bestimmung einer plausiblen dreidimensionalen Anfangsverteilung für die detaillierte Nitrattransportmodellierung ab 1991. Darüber hinaus lassen sich mit dieser Simulation die durch die Sauerstoffmodellierung bestimmten Abbauraten für Nitrat auf Plausibilität prüfen.

Hierfür müssen die historischen Nitratreintragsrandbedingungen mit plausiblen Annahmen angeschätzt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die mittels Nitratbilanzmodell (Kap. 2.3) für die Landnutzungssituation 1979 ermittelte Nitratreintragsituation in ihrer räumlichen Verteilung auch

La consommation de l'oxygène est plus facilement identifiable dans l'aquifère que la dégradation des nitrates, car contrairement aux nitrates, les apports d'oxygène sont relativement constants dans le temps et dans l'espace. La simulation du transport de l'oxygène est motivée par le fait, que la consommation d'oxygène est utilisée comme indicateur pour une éventuelle dégradation des nitrates.

La répartition spatiale des concentrations en oxygène en régime permanent sera calculée avec le modèle hydrodynamique en régime permanent en situation de moyennes eaux sur une période d'environ 30 ans. On considèrera que les précipitations efficaces seront saturées en oxygène (environ 10 mg/l), les infiltrations par les cours d'eaux et en bordure du modèle étant moindres (environ 2 à 5 mg/l). On supposera des apports constants dans le temps. La teneur initiale sera de 5 mg/l dans les couches aquifères superficielles, et de 0 mg/l dans les couches profondes. La consommation d'oxygène sera simulée par un modèle d'ordre nul, sachant que le facteur déterminant la consommation n'est pas la teneur en oxygène dissous, mais la présence de matière organique. Le phénomène est identique dans le cas de la dénitrification. L'ajustement portera sur le taux de dégradation de l'oxygène, paramètre qui sera également adopté pour les nitrates. Les différences observées entre les valeurs réelles de terrain et les valeurs calculées en régime permanent constitueront le critère de qualité de l'ajustement.

#### 1.5.2.4.5 Simulation du transport des nitrates avant 1991

L'objectif de la simulation du transport des nitrates avant 1991 consiste à mettre en place une distribution initiale réaliste des concentrations sur la base de laquelle la modélisation détaillée sera réalisée à partir de 1991. Cette simulation permettra par ailleurs de valider les taux de dégradations des nitrates obtenus pour la consommation d'oxygène.

Pour ce faire, il faut une estimation plausible des apports historiques de nitrates. La démarche consiste à supposer que la répartition spatiale des apports de nitrates issus du modèle de bilan des nitrates (chapitre 2.3) pour l'occupation des sols de 1979 est également valable pour les années passées, un facteur

für die zurückliegenden Jahre angesetzt und mit einem Faktor die zeitliche Entwicklung seit 1920 abgeschätzt werden kann.

Mit dem stationären Strömungsfeld werden langjährige Simulationen für den Nitrattransport von 1920 bis 1991 mit monatlicher Zeitdiskretisierung durchgeführt. Als Vergleichsgröße wird die Nitratverteilung aus dem Jahr 1991 (INTERREG II, 2000) und die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration an längeren Messreihen verwendet. Die historische Eintragsfunktion wird in plausiblen Grenzen variiert und der Einfluss auf die Nitratkonzentration untersucht. Beispielhaft ist in Abb. 1.5.9 die mit dem Testmodell berechnete Nitratkonzentration nach 80 Jahren mit und ohne Nitratabbau an der Aquiferbasis dargestellt.

permettant d'estimer leur évolution depuis 1920.

Le transport des nitrates entre 1920 et 1991 sera calculé en pas de temps mensuels à l'aide des écoulements en régime permanent. La distribution spatiale des résultats obtenus sera comparée à la carte des nitrates établie en 1991 (INTERREG II, 2000) et les variations temporelles seront comparées aux historiques des concentrations en nitrates disponibles. Les apports historiques de nitrates seront variés dans des limites raisonnables. La figure 1.5.9 présente à titre d'exemple les teneurs en nitrates calculées par le modèle pilote au niveau du substratum pour une période de simulation de 80 années avec et sans dénitrification.

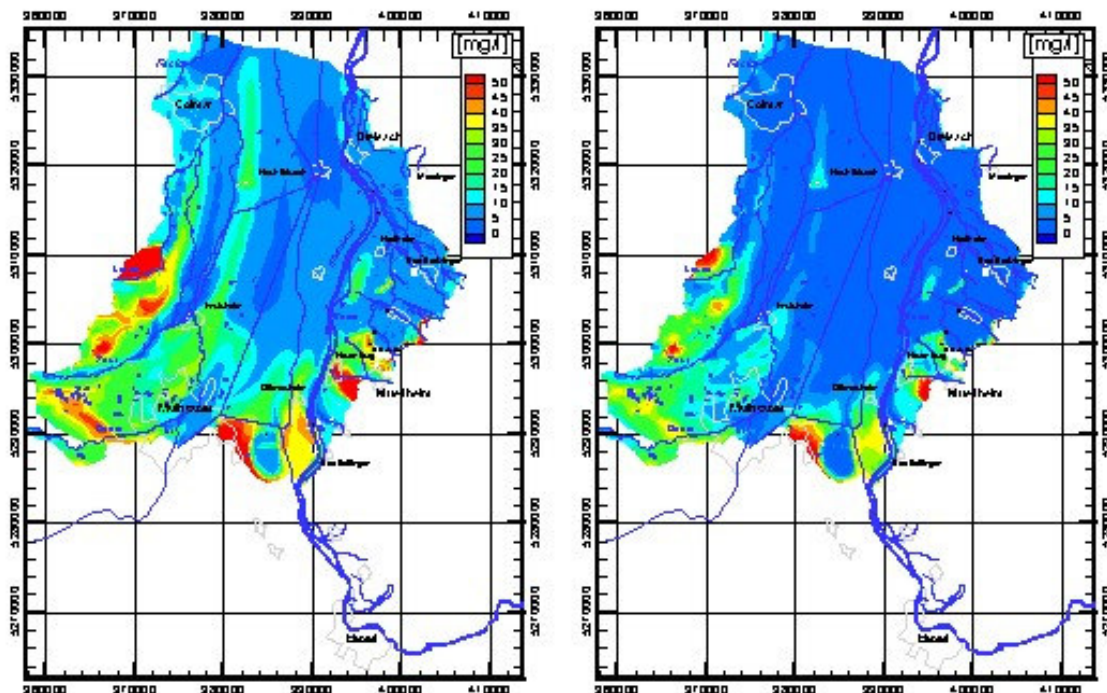


Abb. 1.5.9: Mit dem Testmodell berechnete Nitratkonzentrationsverteilung nach 80 Jahren in der 10. Modellschicht ohne Nitratabbau (linkes Bild) und mit Nitratabbau (rechtes Bild)

Fig. 1.5.9: Teneurs en nitrates calculées par le modèle pilote au niveau du substratum pour une période de simulation de 80 années avec dénitrification (à droite) et sans dénitrification (à gauche)

#### 1.5.2.4.6 Simulation des aktuellen Nitrattransports seit 1991

Auf der Basis des instationären Strömungsfeldes erfolgt die Simulation des aktuellen Nitrattransports vom 01.01.1991 bis zum 31.12.2002. Als Nitratverteilung wird die zuvor berechnete Nitratverteilung angesetzt. Bei der Kalibrierung wird hauptsächlich die Eintragsfunktion innerhalb plausibler Grenzen variiert. Zur Überprüfung der

#### 1.5.2.4.6 Simulation du transport des nitrates depuis 1991

Le transport des nitrates actuel sera simulé en régime transitoire pour la période du 01.01.1991 au 31.12.2002. La concentration initiale sera définie par les résultats de la modélisation sur la période antérieure. Le calage consistera principalement à modifier la fonction d'apport de nitrates dans des limites raisonnables. La validation des teneurs

berechneten Nitratkonzentrationen stehen für diese Periode für eine größere Zahl von Messstellen und Brunnen Messwerte zur Verfügung.

#### 1.5.2.4.7 Szenarienbetrachtungen

Es ist vorgesehen mit dem prognosefähigen GW-Transportmodell verschiedene Szenarienbetrachtungen durchzuführen. Die Szenariendefinition wird derzeit noch erarbeitet. Vorgesehen sind Szenarienbetrachtungen mit veränderten Nitrateintragsrandbedingungen sowie unter veränderten klimatischen Bedingungen. Als Grundlage für diese Simulationen wird das stationäre Strömungsfeld verwendet. Die im Rahmen der Modellkalibrierung durchgeführte Sensitivitätsstudie wird Auskunft darüber geben, welche Unsicherheiten bei der angenommenen Eintragsfunktion vorliegen. Damit erhält man auch Hinweise, welche Szenarienbetrachtungen überhaupt zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Wird beispielsweise die Nitrateintragsfunktion um 10 % erhöht und zeigt die Sensitivitätsbetrachtung keine signifikant anderen Nitratkonzentrationen, die auch nicht zu einer Verbesserung der Modellanpassung führen, dann ist davon auszugehen, dass mit einer Verminderung des Nitrateintrags um 10 % keine Auswirkungen auf die Nitratkonzentration im Grundwasser zu erwarten sind. Ein sinnvolles Szenario müsste dann eine größere Minderung des Nitrateintrags vorsehen als 10 %.

#### 1.5.2.5 Ausblick

Mit der Bearbeitung des Grundwassermodells für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde im Februar 2005 begonnen. Es ist vorgesehen die stationäre und instationäre Kalibrierung des Strömungsmodells für den Gesamtraum bis August 2005 weitgehend fertigzustellen. Parallel hierzu werden Modellierungen für die ungesättigte Zone, zum Tritiumtransport und zur Ermittlung der Sauerstoffkonzentrationsverteilung im Aquifer aufgenommen. Es ist vorgesehen die Grundwassermodellierungsarbeiten bis März 2006 abzuschließen.

en nitrates calculées sera réalisée avec un grand nombre de valeurs de teneurs pour de nombreux points d'accès à la nappe.

#### 1.5.2.4.7 Scénarios

Le modèle de transport sera utilisé pour le calcul de différents scénarios en cours de définition. Il est prévu de simuler des situations tenant compte de variations des apports de nitrates et de modifications climatiques. Les prévisions seront établies sur la base du modèle de transport en régime permanent. L'analyse de sensibilité menée lors du calage du modèle permettra de préciser les incertitudes des fonctions d'apport de nitrates. Elle renseigne également sur les variations à attendre selon le scénario considéré. Si l'analyse de sensibilité montre par exemple qu'une augmentation de 10 % des apports en nitrates n'apporte pas de modification significative des concentrations calculées permettant un meilleur calage du modèle, il s'avèrera qu'une diminution des apports de 10 % n'aura pas non plus de conséquences notables sur les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines. Dans ce cas de figure, un scénario plus adapté devrait pronostiquer une réduction des apports supérieure à 10 %.

#### 1.5.2.5 Perspectives

L'élaboration du modèle des eaux souterraines a débuté en février 2005. Les calages des écoulements en régime permanent et en régime transitoire devraient être achevés en août 2005. Les modélisations relatives à la zone non saturée, au transport du tritium et pour la répartition des concentrations en oxygène dissous dans les eaux souterraines sont menées en parallèle. Les travaux de modélisation devraient être achevés dans leur ensemble au mois de mars 2006.



## 1.6 Fließgewässer und ihre Auswirkungen auf das Grundwasser (Teilmodul Fluss-Grundwasser-Interaktion)

*P. Huggenberger, E. Zechner, Ch. Regli, I. Spottke*

Austauschprozesse zwischen Fließgewässern und dem Grundwasser stellen im Gebiet des Oberrheins auch im heutigen doch vorwiegend kanalisiertem Zustand der Fließgewässer eine wesentliche Komponente in der Gesamtwasserbilanz dar. Bei der Infiltration von Fließgewässern ins Grundwasser sowie der Exfiltration von Grundwasser in Fließgewässer sind eine Vielzahl physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse im Spiel. All diese Prozesse sind instationär.

Deutliche Merkmale infiltrierender Oberflächengewässer sind Temperaturschwankungen im Grundwasser, deutlich tiefere Nitratkonzentrationen und Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeiten. Niedrige Nitratgehalte und die häufig zu beobachtenden erhöhten hydraulischen Leitfähigkeiten des Untergrundes entlang von Fließgewässern machen flussnahe Bereiche attraktiv für die Trinkwasserproduktion. Jedoch wird das Auftreten von Mikroorganismen und der Eintrag von Problemstoffen wie z.B. endokrin wirksame Substanzen und Benzinzusatzstoffe bei flussnahen Fassungen vermehrt als Problem wahrgenommen.

Am westlichen Rand des südlichen Rheingrabens werden i.a. relativ hohe Nitratwerte im Grundwasser beobachtet. In einigen Fällen wird im Elsass durch Exfiltration von hoch belastetem Grundwasser in Fließgewässer und anschließende niederschlagsbedingte Neubildung gering belasteten Grundwassers eine Verringerung der Nitratkonzentrationen in Grundwasserfließrichtung beobachtet.

Mit dem Teilmodul Fluss-/Grundwasser-Interaktion werden relevante Größen, welche die Infiltrations- und Exfiltrationsverhältnisse zwischen Fließgewässern und Grundwasser beschreiben (z.B. Leakage Koeffizienten = Verhältnis der Durchlässigkeit zur Mächtigkeit der Gewässersohle), für charakteristische Flussabschnitte ermittelt sowie mit Wer-

## 1.6 Les eaux superficielles et leurs échanges avec les eaux souterraines (sous-module interactions nappe-rivière)

*P. Huggenberger, E. Zechner, Ch. Regli, I. Spottke*

Même dans le contexte actuel d'aménagement en canaux d'une grande partie des cours d'eau, les échanges nappe-rivière constituent une composante majeure du bilan de l'eau global dans le Rhin supérieur. Par le biais de l'infiltration des eaux de surface dans les eaux souterraines ainsi qu'à travers le drainage de la nappe vers les eaux de surface entrent en jeu une multitude de processus physiques, chimiques et biologiques. La totalité de ces processus a un caractère transitoire.

Les variations de température des eaux souterraines, des concentrations en nitrates nettement plus basses et des fluctuations de la conductivité électrique constituent des caractéristiques évidentes d'infiltration d'eau de surface. De faibles teneurs en nitrates et l'observation fréquente d'une hausse de la conductivité hydraulique du substrat le long des cours d'eau rendent les zones proches des rivières attractives pour la production d'eau potable. Pourtant, la présence de microorganismes et les entrées de matières posant des problèmes comme des substances à effet endocrinien ou des additifs de carburants sont de plus en plus perçus comme des problèmes dans les zones de captage proches des cours d'eau.

Dans la limite ouest de la partie sud du Fossé rhénan, on observe des concentrations relativement élevées de nitrates dans les eaux souterraines. Dans certains cas, on constate en Alsace une diminution des concentrations de nitrates dans le sens d'écoulement de la nappe résultant du drainage d'eaux souterraines fortement polluées vers les cours d'eau et d'une recharge concomitante de la nappe en eau faiblement polluée suite à des précipitations.

Le sous-module Interactions nappe-rivière permet de calculer pour des sections caractéristiques de cours d'eau les grandeurs pertinentes qui décrivent les conditions d'infiltration et de drainage entre les cours d'eau et les eaux souterraines (telles que les coefficients d'infiltration = rapport entre la perméabilité et l'épaisseur du lit du cours

ten aus anderen Systemen verglichen. Die Infiltration ist abhängig von den hydraulischen Verhältnissen und dem Verbauungsgrad vom Flussufer, dem strukturellen Aufbau der Flusssohle und dem Kolmatierungsgrad. Die ermittelten Größen finden Eingang in die Grundwassermodellierung im regionalen Maßstab (Gesamtmodell). Schwerpunkt der Untersuchungen bilden somit die Austauschprozesse in Abhängigkeit des geologischen Untergrundes, dem Verbauungsgrad der Flussufer, der Kolmation der Flusssohle und Abflussverhältnisse.

Der Rhein im Bereich der Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft und seine Zuflüsse Wiese und Birs dienen als Modellbeispiele bei der Ermittlung der für das regionale Modell notwendigen Leakage Koeffizienten. Drei verschiedene Pilotprojekte und spezifisch für diese Fragestellungen errichtete Grundwasser-beobachtungssysteme liefern die notwendigen Vergleichsdaten für die Modellrechnungen (Abb.1.6.1). Entlang der Wiese können zudem Kenntnisse über die Auswirkungen von Flussufer-Revitalisierungen auf die Infiltrationsverhältnisse gewonnen werden.

d'eau), mais aussi de comparer ces valeurs avec celles d'autres systèmes. L'infiltration varie en fonction des conditions hydrauliques, du degré d'aménagement de la rive, de la structure du lit du cours d'eau et du degré de colmatage. Les grandeurs calculées sont utilisées comme données d'entrée dans la modélisation des eaux souterraines à l'échelle régionale (modèle global). L'accent de l'étude repose à la fois sur les processus d'échange en fonction du substrat géologique, sur le degré d'aménagement des rives du cours d'eau, sur le colmatage du lit et sur les conditions d'écoulement.

Le Rhin dans la région des cantons de Bâle-ville et Bâle-campagne, ainsi que la Wiese et la Birs, deux de ses affluents, servent d'exemple de modélisation pour la détermination des coefficients d'infiltration nécessaires au modèle régional. Trois projets-pilote différents et plusieurs systèmes d'observation des eaux souterraines spécifiquement conçus pour cette problématique fournissent les données comparatives nécessaires aux calculs de modélisation (Fig. 1.6.1). En outre, des connaissances sur les conséquences de la renaturation des rives de cours d'eau sur les conditions d'infiltration peuvent être acquises le long de la Wiese.

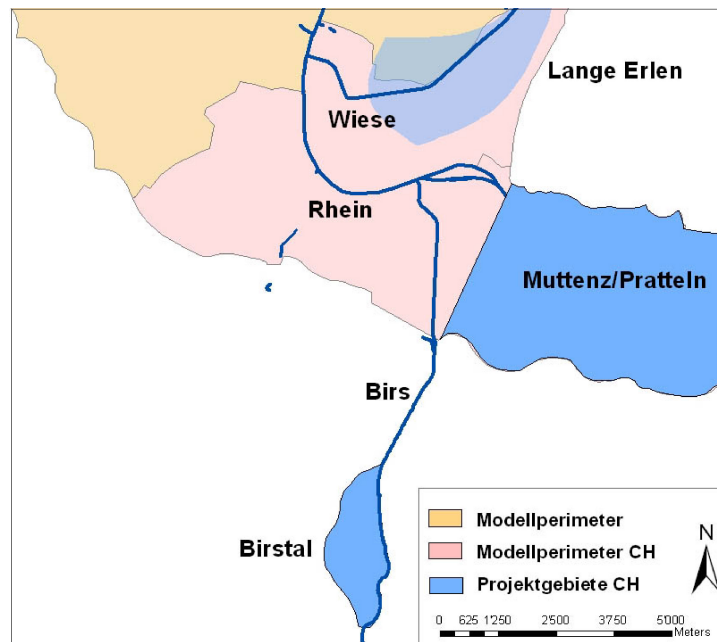


Abb. 1.6.1: Projektgebiete in der Region Basel, (Teilmodul Fluss-Grundwasser-Interaktion)

Fig. 1.6.1 : Zone du projet dans la région de Bâle (sous-module Interactions nappe-rivière)

Das Verständnis der Wechselwirkungen Fluss/Grundwasser ist, was die quantitativen Aspekte der oberflächennahen Nutzungen betrifft, sowohl für den Rhein als auch seine

Pour le Rhin et ses affluents, la compréhension des interactions entre les cours d'eau et les eaux souterraines reste encore très fragmentaire sur la question des aspects quanti-

Zuflüsse nur punktuell bekannt. Über die wichtigsten Infiltrationsabschnitte des Rheins lagen in schweizerischem Gebiet nur wenige Kenntnisse vor. Zudem waren für qualitative Fragen des Grundwasserschutzes nur punktuell Kenntnisse der Infiltrationsverhältnisse bekannt. Im Teilprojekt Muttenz-Pratteln waren auch die Austauschprozesse zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken, insbesondere zwischen dem Kiesporengrundwasserleiter und dem Karstaquifer des Oberen Muschelkalkes im Gebiet des Tafeljuras unbekannt. In diesem Gebiet findet der Austausch zwischen Rhein- und dem Grundwasser sowohl im Porengrundwasserleiter wie im Karstaquifer statt. Modelle im Bereich des Hardwaldes bei Muttenz zeigen, dass sich bei Hochwässern das Grundwasserfließfeld massiv ändert.

In gewissen Regionen bestand zudem ein Handlungsbedarf, die In- und Exfiltrationsverhältnisse in Abhängigkeit der komplexen Grundwasserentnahme und Anreicherung der Wasserversorgungen, grenzüberschreitend zu erfassen und auch modellmässig verstehen zu können (Beispiel Trinkwasserversorgung Hardwald, Brauchwasserentnahme Industrien Schweizerhalle/Grenzach, Lange Erlen).

### 1.6.1 Resultate

#### Teilprojekt Wiese

Der Lockergesteinsaquifer der Langen Erlen weitet sich von der Verengung des Wiesetals bei Lörrach gegen Süden fächerförmig auf. Im Südosten wird er durch den Dinkelberg und im Norden durch den Tüllinger Hügel begrenzt. Der ungespannte Aquifer besteht vornehmlich aus quartären sandigen Schottern der Wiese und des Rheins, wobei die Wieseschotter den Rheinschottern auflagern oder mit ihnen verzahnt sind. Die Wiese durchfließt auf den letzten Kilometern vor der Einmündung in den Rhein die Langen Erlen und verläuft, sieht man von einer revitalisierten Strecke von 600 m ab, in einem Doppeltrapez-Profil. Ein wichtiges Element der Grundwasserproduktion sind naturnah gestaltete künstliche Anreicherungsanlagen.

Die aus Pumpversuchen ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten ( $k_f$ -Werte)

tatifs de l'utilisation des eaux proches de la surface. Peu d'informations étaient disponibles en Suisse sur les sections du Rhin à forte infiltration. De plus, seules des connaissances ponctuelles sur les échanges nappes-rivière étaient disponibles pour traiter des questions relatives à la qualité dans le cadre de la protection des eaux souterraines. Dans le sous-projet Muttenz-Pratteln, les processus d'échange entre différents niveaux de la nappe n'étaient pas connus non plus, en particulier les échanges entre l'aquifère situé dans les alluvions et l'aquifère karstique du Muschelkalk Supérieur dans le domaine du Jura tabulaire. Dans cette région, les échanges Rhin-eaux souterraines se produisent tout aussi bien dans l'aquifère poreux que dans l'aquifère karstique. Des modèles dans la région de Hardwald près de Muttenz montrent que les directions d'écoulement des eaux souterraines sont fortement modifiées pendant les crues.

Dans certaines régions il était en outre nécessaire d'étudier et de modéliser d'un point de vue transfrontalier les échanges nappes-rivière en fonction des relations complexes entre prélèvements d'eaux souterraines et réinfiltrations artificielles par les producteurs d'eau (par exemple le réseau de distribution d'eau potable Hardwald, les industries consommatrices d'eau de Schweizerhalle/Grenzach, Lange Erlen)

### 1.6.1 Resultats

#### Sous-projet Wiese

L'aquifère des alluvions du Lange Erlen s'élargit en forme d'éventail vers le sud à partir du rétrécissement de la vallée de la Wiese. Il est limité au sud-est par le Dinkelberg et au nord par les collines du Tüllinger. L'aquifère libre est principalement constitué de cailloutis sableux quaternaires de la Wiese et du Rhin, les cailloutis de la Wiese recouvrant ou étant mélangés avec ceux du Rhin. Quelques kilomètres avant de se jeter dans le Rhin, la Wiese traverse le Lange Erlen avec un profil aménagé en forme de double trapèze, à l'exception d'une section renaturée sur 600 m de longueur. Des installations de réinfiltration artificielle visant à reproduire les processus naturels d'infiltration des eaux constituent un élément important de la production d'eau souterraine.

Les valeurs de conductivité hydraulique ( $k_f$ ) calculées d'après des essais de pompage se

liegen im Bereich von  $3.0 \times 10^{-3}$  bis  $7.5 \times 10^{-3}$  m/s, die ermittelten nutzbaren Porositäten ( $n_{\text{eff}}$ ) schwanken zwischen 0.08 und 0.15. Die Aquifermächtigkeiten variieren von sieben bis 20 m. Die Grundwassermächtigkeiten reichen von fünf bis zwölf Meter. Der Flurabstand beträgt maximal zehn Meter, meistens jedoch liegt er zwischen vier bis sechs Metern. Im Bereich der Anreicherungsfelder steigt der Grundwasserspiegel zuweilen bis weniger als drei Meter unter die Erdoberfläche an. Grundwasserstauer (Aquitard) sind oligozäne Tone und Mergel (Mergel der Tüllingerschichten, siltige Tone der Melettaschichten, Elsässermolasse und Cyrenenmergel). Diese Formationen können mit einem geschätzten  $k_f$ -Wert im Bereich von  $10^{-7}$  bis  $10^{-8}$  m/s als undurchlässig betrachtet werden (Zechner 1996).

Die Grundlage für die Modellkalibrierung bildete eine Zonierung der hydraulischen Durchlässigkeit. Die ermittelten horizontalen  $k_f$ -Werte liegen zwischen  $2.2 \times 10^{-3}$  bis  $7.0 \times 10^{-3}$  m/s. Generell sind die  $k_f$ -Werte entlang der Wiese höher als gegen die Ränder des Modells. Die ermittelten nutzbaren Porositäten liegen zwischen 0.06 und 0.13. Die Durchlässigkeit der Wiesesohle wurde mit  $4.2 \times 10^{-6}$  m/s ermittelt. Daraus ergibt sich ein Leakage-Faktor von  $1.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , bei Annahme einer Mächtigkeit der kolmatierten Wiesesohle von 0.3 m.

Die Ergebnisse der regionalen Strömungsmodellierung vom 13. März bis 10. April 2002 (Abb. 1.6.3) zeigen ein stark instationäres Grundwasserfließregime. Dieses wird vor allem durch den Entnahme- und Anreicherungsbetrieb der Wasserversorgung als auch durch das Hochwasser vom 20. März 2002 beeinflusst. Durch den Anstieg des Wasserstandes in der Wiese wird das Vorland überflutet und die Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser erhöht (Abb. 1.6.4).

Bei mittlerem Abfluss ist die Wiese vom Grundwasser entkoppelt, wobei der Abstand vom Grundwasser zum Wiesebett von den oberen Langen Erlen flussabwärts zunimmt. Bei Hochwasser (Grundwasserhochstand und starke Infiltration von Wiesewasser ins Grundwasser) kommt es jedoch zu einer Anbindung des Grundwasserspiegels an die Wiese. Bei Hochwasser und gleichzeitigem Betrieb wiesenahe Brunnen wird der hydraulische Gradient erhöht und schnelle Grundwasserfließwege in den

situent dans une gamme comprise entre  $3.0 \times 10^{-3}$  et  $7.5 \times 10^{-3}$  m/s, et les valeurs calculées de porosité utile (neff) entre 0.08 et 0.15. L'épaisseur de l'aquifère varie entre sept et 20 m et celle de la nappe s'étend entre cinq et douze mètres. La profondeur du toit de la nappe peut atteindre 10 m mais demeure le plus souvent entre cinq et six mètres. Dans la zone des champs d'infiltration, le toit de la nappe s'élève parfois à moins de trois mètres du sol. Les aquitards sont constitués d'argile et de marnes (marnes des Couches de Tüllinger, argiles silteuses des Couches à Meletta, molasse alsacienne et marnes à Cyrènes). Ces formations, dont les valeurs de  $k_f$  sont estimées entre  $10^{-7}$  bis  $10^{-8}$  m/s peuvent être considérées comme imperméables (Zechner 1996).

La calibration du modèle se fonde sur une répartition des perméabilités hydrauliques. Les valeurs horizontales calculées de  $k_f$  sont comprises entre  $2.2 \times 10^{-3}$  et  $7.0 \times 10^{-3}$  m/s. Les valeurs de  $k_f$  le long de la Wiese sont en général plus élevées qu'aux limites du modèle. La porosité utile calculée varie entre 0.06 et 0.13. La perméabilité du lit de la Wiese est estimée à  $4.2 \times 10^{-6}$  m/s. Il en découle un coefficient d'infiltration de  $1.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , en évaluant l'épaisseur du lit colmaté de la Wiese à 0.3 m.

Les résultats de la modélisation de l'écoulement régional sur la période entre le 13 mars et le 10 avril 2002 (Fig. 1.6.3) montrent un régime de circulation des eaux souterraines fortement variable. Ce régime est avant tout influencé par les prélèvements et les infiltrations d'eau réalisés par les compagnies de distribution d'eau potable ainsi que par la crue du 20 mars 2002. Suite à la montée du niveau d'eau dans la Wiese, les zones riveraines ont été inondées et l'infiltration dans les eaux de nappe augmentée (Fig. 1.6.4).

Dans des conditions d'écoulement moyen, la Wiese est déconnectée des eaux souterraines, ce qui entraîne une augmentation de la distance entre la nappe et le lit de la Wiese en aval de Lange Erlen. Pendant les crues, (niveau élevé de la nappe et forte infiltration des eaux de la Wiese dans la nappe) une connexion entre les eaux de nappe et la Wiese est cependant réalisée. Lors de crues avec exploitation simultanée des puits proches de la Wiese se produit une augmentation du gradient hydraulique, et les lignes

Anströmbereichen werden verstärkt aktiviert (Abb. 1.6.4). Aus gemessenen Anionenkonzentrationen in Piezometern und Grundwasserbrunnen lässt sich zudem die prozentuale Verteilung des Anteils an Wieseinfiltrat simulieren (Abb. 1.6.5).

Aus der Wasserbilanzierung resultiert eine Infiltration von 700 l/s Wiesewasser ins Grundwasser. Für die modellierte Zeitperiode resultiert dabei bei Hochwasser ein Wert von rund 13,8 m<sup>3</sup>/Tag und Laufmeter der Wiese (GPI 2003b). Der entsprechende Wert bei Niedrigwasser liegt für eine Flussstrecke von 4 km dagegen nur bei 180 l/s (Zechner 1996). Ein Vergleich mit Infiltrationswerten verschiedener alpiner und voralpiner Flüsse zeigt, dass die Infiltrationsraten für die Wiese in einem realistischen Bereich liegen (Tab. 1.6.1). Dabei muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass der vorliegende Infiltrationswert aus der Modellierung einer mittleren Hochwassersituation errechnet wurde.

d'écoulement rapide des eaux souterraines dans les zones influencées par les stations de pompage sont plus fortement activées (Fig. 1.6.4). La part relative des infiltrations de la Wiese est simulable par le biais de la mesure des concentrations anioniques dans les piézomètres et dans les puits de captage (Fig. 1.6.5).

D'après le bilan hydraulique, l'infiltration des eaux de la Wiese dans la nappe s'élève à 700l/s. Sur la période de modélisation, il en résulte une valeur approximative de 13,8 m<sup>3</sup> par jour et par mètre linéaire du cours d'eau pendant les crues (GPI 2003b). Par contre, la valeur correspondante pour les basses eaux atteint seulement 180l/s sur une section de cours d'eau de 4 km de long (Zechner 1996). Une comparaison avec des valeurs d'infiltration de divers cours d'eau alpins et préalpins montre que les vitesses d'infiltration pour la Wiese se situent dans une fourchette réaliste (Tab. 1.6.1). Il faut toutefois signaler que les valeurs d'infiltrations modélisées ont été calculées pour des conditions d'une crue d'intensité moyenne.

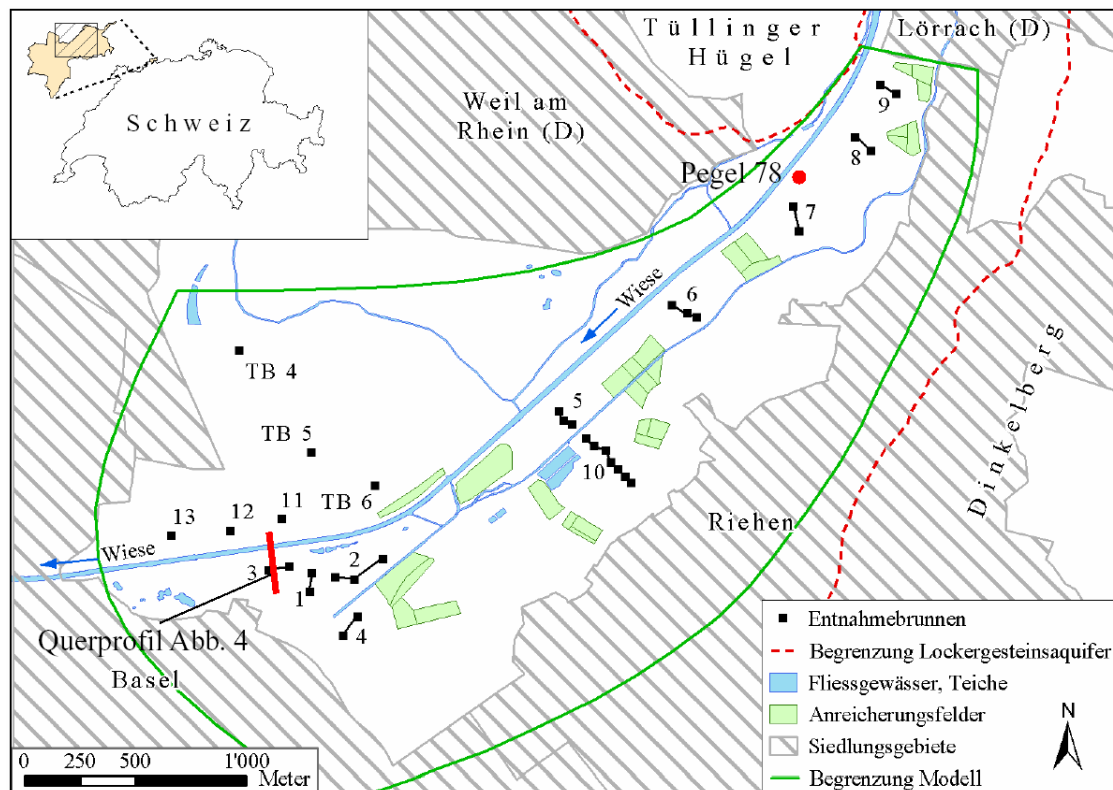


Abb. 1.6.2: Grundwassermodellgebiet Lange Erlen.

Fig. 1.6.2: La zone de modélisation des eaux souterraines de Lange Erlen.

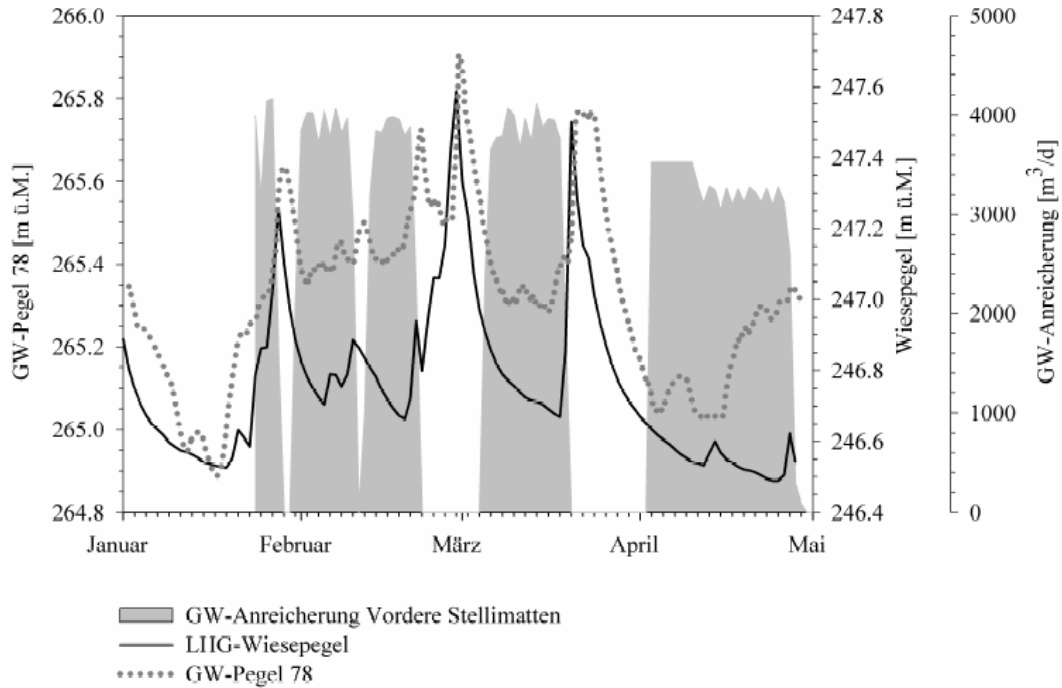


Abb. 1.6.3: Wasserstand der Wiese und in Piezometer 78 (Standort siehe Abb. 1.6.2) sowie Grundwasser-Anreicherung in den Vorderen Stellmatten von Januar bis Mai 2002.

Fig. 1.6.3: Hauteur d'eau de la Wiese (Wiesepegel), hauteur de la nappe dans le piézomètre 78 (GW-Pegel 78) (cf. Fig. 1.6.2 pour le site) et infiltration vers les eaux souterraines dans les Vorderer Stellmatten (GW-Anreicherung Vorderer Stellmatten) entre janvier et mai 2002.

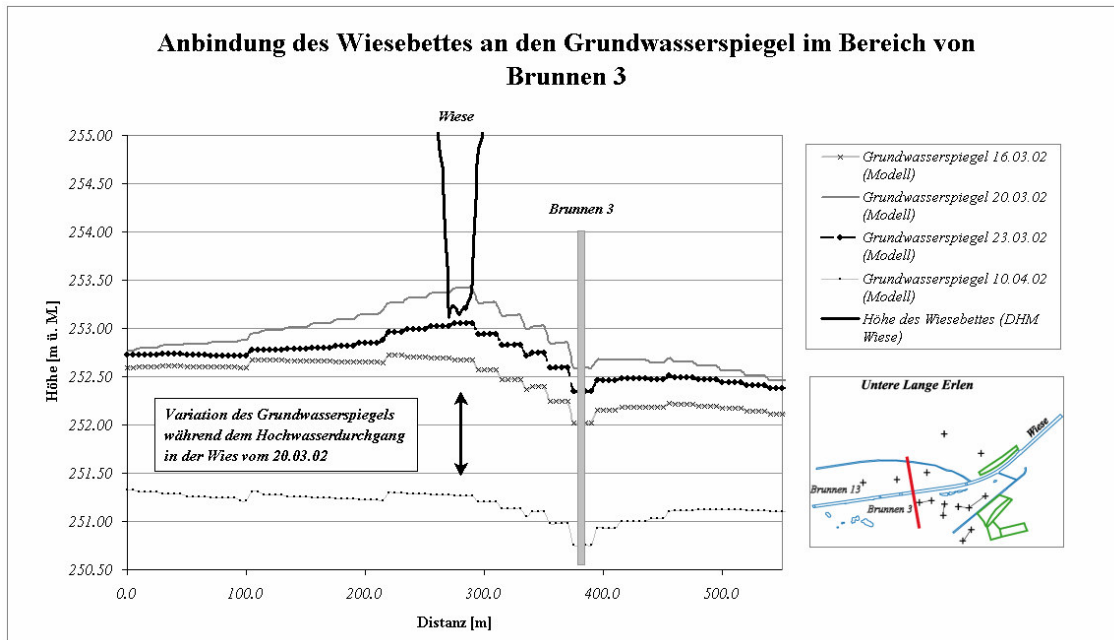


Abb. 1.6.4: Anbindung des Wiesebettes an den Grundwasserspiegel im Bereich des Brunnens 3, Spur Querprofil siehe Abb. 1.6.2.

Fig. 1.6.4: Connexion entre le lit de la Wiese et le toit de la nappe près du puits 3. Voir la Fig. 1.6.2 pour la localisation du profil transversal.



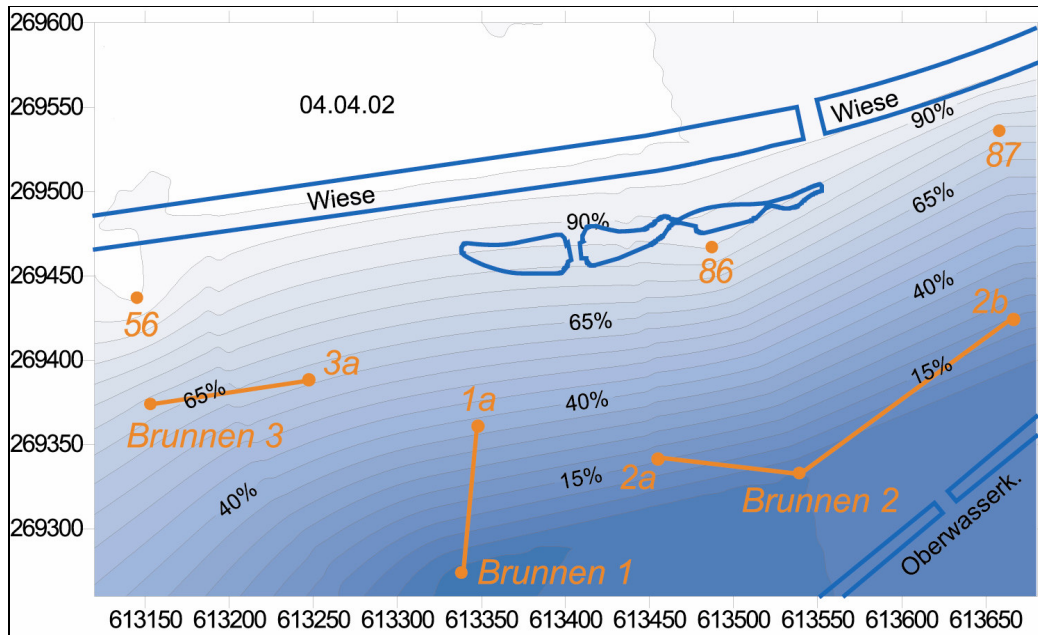


Abb. 1.6.5: Verteilung des prozentualen Anteils an Wieseinfiltrat am 4. April 2002 aus gemessenen Anionenkonzentrationen. In orange: Brunnengruppen mit Haupt- und Nebenbrunnen sowie Verbindungsleitungen.

Fig. 1.6.5: Part relative des infiltrations de la Wiese le 4 avril 2002 d'après les concentrations d'anions mesurées. En orange : les groupes de puits avec les puits principaux et secondaires ainsi que les conduites de liaison.

#### Teilprojekt MuttENZ-Pratteln

Der Felsgrundwasserträger des Oberen Muschelkalks zwischen MuttENZ, Pratteln und Grenzach stellt eines der bedeutendsten Grundwasservorkommen der Region dar. Umfangreiche Grundwassernutzungen und – anreicherungen beeinflussen das Fließfeld im Aquifer entsprechend. Erhöhte Konzentrationen an An- und Kationen (u.a. Chlorid), wie sie in gewissen Grundwasserfassungen gemessen werden, deuten zusätzlich auf eine hydraulische Verbindung mit evaporitischen Formationen des Mittleren Muschelkalkes (Anhydrit/Gips, Steinsalz) hin, welche etwa 50m unterhalb des Felsaquifers liegen. Hinweise auf die Mobilisation des Steinsalzes durch unterirdische Laugung (Subrosion) sind auch die dokumentierten Landsetzungen.

Um das 3-dimensionelle Fließfeld in den betroffenen Gesteinsformationen, sowie dessen Interaktion mit dem Rhein abzubilden, wurde ein regionales 3D Grundwassermodell des Gebietes MuttENZ-Pratteln-Grenzach erstellt. Das Modell bildet den Einfluss der komplexen geologischen Verhältnisse mit den Horst- und Grabenstrukturen möglichst exakt nach und

#### Sous-projet MuttENZ-Pratteln

L'aquifère du socle rocheux du Muschelkalk Supérieur entre MuttENZ, Pratteln et Grenzach constitue l'une des ressources en eau souterraine les plus importantes de la région. Les prélèvements et les infiltrations d'eau y sont considérables et influencent par conséquent le champ d'écoulement de l'aquifère. Des augmentations des concentrations en anions et cations (dont des chlorures), telles qu'elles sont mesurées dans certaines zones de captage des eaux souterraines, indiquent en outre l'existence d'une liaison hydraulique avec les formations évaporitiques du Muschelkalk Moyen (anhydrite, gypse, sel gemme) situées à environ 50 m en dessous de l'aquifère rocheux. Les affaissements de terrain recensés constituent également des indications de la mobilisation des roches salines par dissolution.

Afin de représenter en 3 dimensions le champ d'écoulement dans les formations rocheuses concernées ainsi que ses interactions avec le Rhin, un modèle régional en 3D des eaux souterraines de la zone MuttENZ-Pratteln-Grenzach a été construit. Ce modèle composé de trois couches reproduit aussi précisément que possible l'influence de configurations géologiques complexes avec

besteht aus drei Schichten. Die erste Schicht repräsentiert die quartären alluvialen Rheinschotter, welche vor allem im Gebiet Birsfelder Hard bis Schweizerhalle, den rheinnahen Gebieten von Grenzach, und dem nördlichen Pratteln grundwassergesättigt sind. Als zweite, mittlere Schicht werden die Mergel und Tone des Keupers als intermediärer Aquitard zwischen den zwei Hauptaquifere betrachtet. Diese sind v.a. im südöstlichen Teil von Muttenz und in Pratteln vorhanden. Die dritte Schicht repräsentiert den Aquifer in den verkarsteten Karbonaten des Oberen Muschelkalks, ist praktisch im gesamten Modellgebiet vorhanden, und stellt das bedeutendste Grundwasservorkommen dar. Aus den zwei Hauptaquifere, den quartären Schottern und den Karbonaten des Oberen Muschelkalks, werden im Gebiet in der Regel gut 2000 l/s durch Pumpbetrieb entnommen und gut 1000 l/s mit Rheinwasser künstlich angereichert. Das stationäre Modell wurde an Messungen in über 200 Grundwassermessstellen automatisch kalibriert, welche anlässlich einer grenzüberschreitenden Stichtagsmessung am 8. August 2003 genommen wurden (Abb. 1.6.6). Ein weiteres Modell mit instationären Randbedingungen bildet die hydraulischen Verhältnisse der ersten 9 Monate vom 2003 nach.

Mit einer hydrochemischen Stichtagsmessung, welche von INTERREG III-MoNit, dem AUE BL, sowie der Universität Basel co-finanziert wurde, konnten im November 2004 48 Messstellen (47 Grundwasser, 1 Rheinwasser) im Gebiet Muttenz-Pratteln auf die Zusammensetzung der Hauptionen, sowie auf den Isotopengehalt an Sauerstoff  $^{18}\text{O}$  und Deuterium  $^2\text{H}$  beprobt werden. Mit den Analysen der Isotopengehalte können die verschiedenen Einflüsse der Grundwassereinzugsgebiete festgestellt werden (Abb. 1.6.7). Von Rheinwasser sind die Proben aus den Schottern der Hard, sowie die Messstellen, bzw. Entnahmebrunnen aus rheinnahen Felsgrundwasser direkt beeinflusst. Diese sind durch einen niedrigen Gehalt an  $^{18}\text{O}$  und  $^2\text{H}$  charakterisiert, wie sie für Rheinwasser typisch sind. Die höchsten Gehalte an  $^{18}\text{O}$  und  $^2\text{H}$  wurden in zwei Messstellen in den Schottern bei Pratteln festgestellt. Deren Einzugsgebiet wird mutmasslich aus lokaler Grundwasserneubildung, sowie mit einem Anteil von Ergolztalgrundwasser gespeisen.

des structures en horst et graben. La première couche est constituée des alluvions rhénanes quaternaires, qui sont saturées en eau dans la Birsfelder Hard jusqu'à Schweizerhalle, dans les régions proches du Rhin de Grenzach et dans la partie nord du Pratteln. La couche intermédiaire comprend les marnes et argiles du Keuper qui forment un aquitard entre les deux aquifères principaux ; elle est surtout présente dans la partie sud-est de la zone. L'aquifère des calcaires karstiques du Muschelkalk Supérieur constitue la troisième couche ; elle est présente sur quasiment toute la zone de modélisation et contient la quantité d'eau souterraine la plus importante. En moyenne, 2000l/s sont prélevés par pompage des deux aquifères principaux (les alluvions quaternaires et les calcaires du Muschelkalk Supérieur) alors que 1000l/s d'eau du Rhin sont infiltrés artificiellement. Le modèle en régime permanent a été calibré automatiquement sur la base de mesures issues de plus de 200 piézomètres ; ces mesures ont été obtenues au cours d'une campagne de mesures d'une journée, fixée dans tous les pays participant au projet au 8 août 2003 (Fig. 1.6.6). Un autre modèle aux conditions aux limites transitoire reproduit les conditions hydrauliques des neuf premiers mois de 2003.

Au cours d'une campagne de mesures hydrochimiques co-financée par INTERREG III, l'AUE BL et l'Université de Bâle, la composition des ions principaux et la teneur isotopique en oxygène  $^{18}\text{O}$  et en deutérium  $^2\text{H}$  a pu être établie en novembre 2004 pour 48 stations de mesures (47 pour les eaux souterraines et une pour les eaux du Rhin) de la région de Muttenz-Pratteln. Les diverses influences des zones situées en amont de la nappe ont pu être mises en évidence grâce à l'analyse des teneurs isotopiques (Fig. 1.6.7). Les échantillons des cailloutis de la Hard ainsi que les stations de mesures et les puits de prélèvement des eaux de l'aquifère rocheux situés à proximité du Rhin sont directement influencés par les eaux rhénanes. Ces échantillons et points de mesure sont caractérisés par des teneurs faibles en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  typiques de l'eau du Rhin. Les plus fortes teneurs en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  ont été trouvées dans deux stations de mesures situées dans les alluvions dans la région de Pratteln, dont les zones amont sont probablement alimentées par une recharge locale de la nappe et par une partie des eaux souterraines de la



Die Proben aus dem Felsaquifer liegen zwischen den beiden Extremen, und zeigen, je nach Lage, verschiedene Anteile an lokaler Grundwasserneubildung und aus Rheinwasserinfiltration. Dabei zeigt sich, dass rheinnahe Brunnen der Industrie Schweizerhalle durch hohe Entnahme und damit starke hydraulische Absenkung, bis zu 90% Rheinfiltrat beziehen.

vallée de l'Ergolz. Les échantillons provenant de l'aquifère rocheux se situent entre les deux extrêmes et présentent des contributions variables à la recharge locale de la nappe et aux eaux d'infiltration du Rhin selon les niveaux. Ceci montre que les puits des industries de Schweizerhalle situés à proximité du Rhin comprennent jusqu'à 90 % d'eau d'infiltration du Rhin, en raison d'importants prélèvements et du fort rabattement hydraulique qui en découle.

Für 2005 ist geplant, die hydrochemischen Analysen als Überprüfungsgrößen für ein instationäres Transportmodell zu verwenden, welches die Flüsse über die Modellränder (u.a. Rhein) genauer quantifizieren soll.

Il est prévu d'utiliser en 2005 les analyses hydrochimiques en tant que variables de calibration dans un modèle de transport en régime transitoire permettant de quantifier avec plus de précision les écoulements aux limites du modèle (le Rhin entre autres).

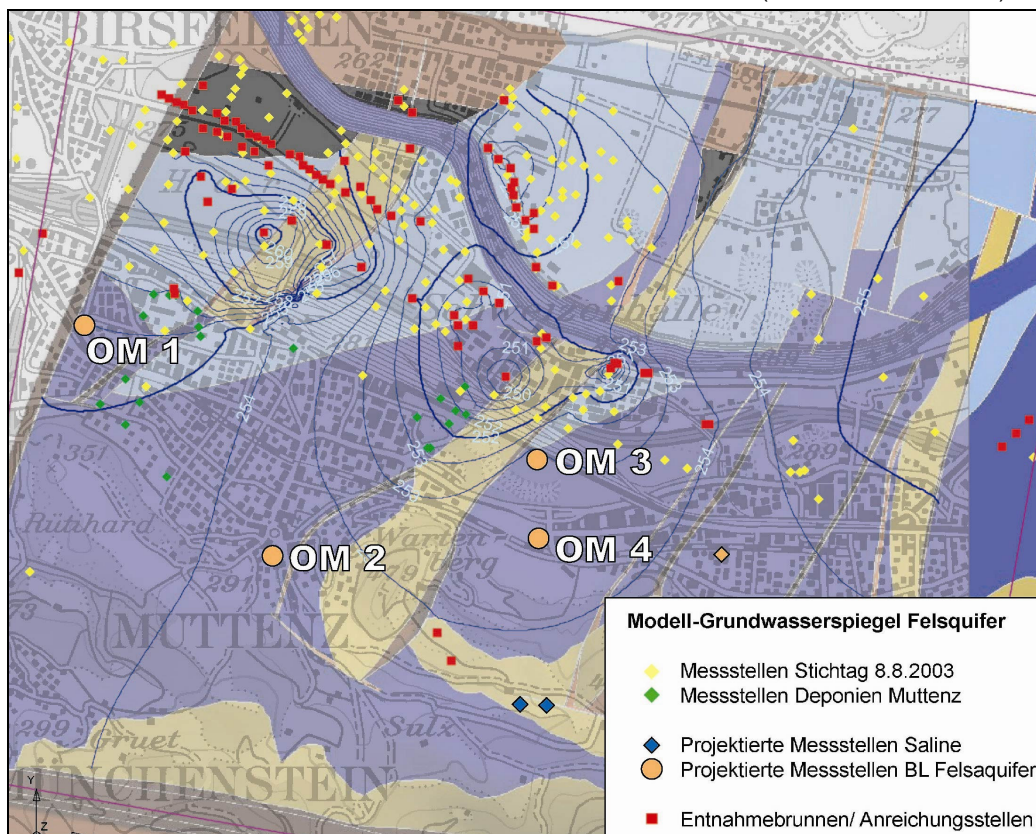


Abb. 1.6.6: Grundwassermodellgebiet mit geologischen Grabenstrukturen im Hintergrund (Top Keuper in gelb, Top des Felsaquifers des Oberen Muschelkalkes in blau, sowie dessen Basis in hellblau). Die dunkelblauen Linien entsprechen dem berechneten Modell-Grundwasserspiegel im Felsaquifer für den 8.8.2003. Die Lage der projektierten Messstellen OM 1-4 sind mit orangen Kreisen dargestellt.

Fig. 1.6.6: Zone de modélisation des eaux souterraines avec les structures géologiques du fossé en arrière-plan (sommet du Keuper en jaune, sommet de l'aquifère rocheux du Muschelkalk Supérieur en bleu et base en bleu clair). Les lignes bleu foncé représentent le niveau de la nappe dans l'aquifère rocheux calculé par le modèle pour le 8 août 2003. La position des stations de mesure projetées OM 1-4 est représentée par des ronds oranges.

### Isotopenzusammensetzung O18, H2 in Messstellen Muttentz-Pratteln

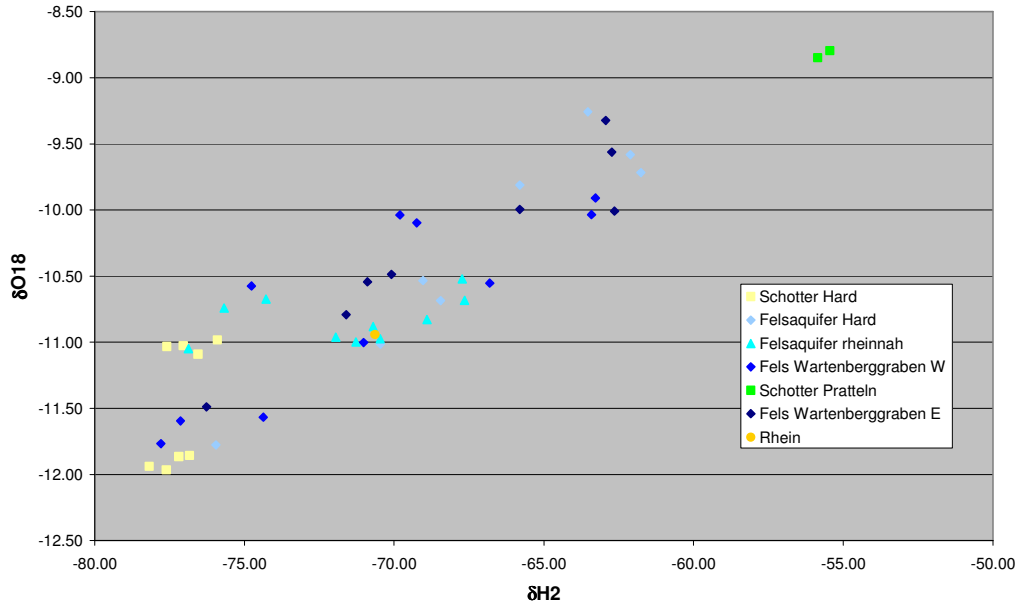


Abb. 1.7.7: Zusammensetzung der Sauerstoff- ( $^{18}\text{O}$ ) und Wasserstoff ( $^2\text{H}$ )- Isotopengehalte als Abweichung zum SMOW-Standard in Schotter und Felsgrundwasserproben vom November 2004.

Fig. 1.7.7: Ecart par rapport au standard SMOW de la composition des teneurs isotopiques en oxygène ( $^{18}\text{O}$ ) et hydrogène ( $^2\text{H}$ ) dans les échantillons issus des alluvions et des eaux du socle en novembre 2004.

#### Teilprojekt Reinach (Birs Grundwasserstrom)

Der Aufbau des Grundwassermodells in der Region Reinach soll Fragen der mikrobiologischen Belastung von flussnahen Grundwasserbrunnen und nach den erhöhten Nitratbelastungen beantworten. Zudem sollen Grundlagen für die Festlegung und Überprüfung von Grundwasserschutz zonen sowie der unterirdischen Zuströmbereiche ( $Z_u$ ) von Wasserfassungen im Birstal geschaffen werden. Unter diesem Blickwinkel wurde ein Grundwassermessnetz aufgebaut und eine Reihe von Pumpversuchen/Infiltrationsversuchen durchgeführt. Anhand der gewonnenen Grundwasserdaten wurde ein stationäres Grundwassermodell aufgesetzt. Eingabeparameter für dieses Modell sind: Felsoberfläche, Startgrundwasserspiegel, Gebietsniederschlag, Gebietsverdunstung, Künstliche Anreicherung, Pumpbetrieb der Wasserwerke, seitliche Zuflüsse, sowie Sohle, Durchlässigkeit und Abfluss der Birs. Das Modell wurde basierend auf den Daten einer Stichtagsmessung (August 2004) kalibriert. Des Weiteren wurden Markierversuche durchgeführt: Durch Einspeisung von marinen Phagen in die Birs wird untersucht,

#### Sous-projet Reinach (écoulement des eaux souterraines de la Birs)

La construction d'un modèle des eaux souterraines dans la région de Reinach doit permettre de répondre aux questions concernant à la fois la pollution microbologique de certains puits de captage situés à proximité des cours d'eau et les concentrations élevées en nitrates. Il s'agit en outre d'apporter des connaissances de base permettant de définir et de vérifier les périmètres de protection des eaux souterraines ainsi que les zones influencées par les captages d'eau ( $Z_u$ ) dans la vallée de la Birs. C'est dans cette optique qu'un réseau de mesure des eaux souterraines a été établi et qu'une série d'essais de pompage et d'infiltration a été réalisée. Sur la base des données collectées sur les eaux souterraines, un modèle en régime permanent des eaux souterraines a pu être construit. Ce modèle nécessite les paramètres d'entrée suivants : géométrie du substratum, piézométrie initiale de la nappe, précipitations et évaporation locales, infiltrations artificielles, prélèvements des stations de pompage, apports latéraux ainsi que lit, perméabilité et débit de la Birs. Le modèle a été calibré sur la base de données collectées au cours d'une cam-

ob und aus welchen Flussabschnitten die mikrobiologische Belastung der birsnahen Pumpwerke stammt. Die Eingabe von Markierstoffen in ein Piezometer im landwirtschaftlichen Gebiet dient hingegen der Beurteilung des Transportes von Nitrat im Testgebiet Reinach.

pagne de mesures d'une journée réalisée en août 2004. En outre, des essais avec des traceurs ont été effectués : l'introduction de microorganismes marins dans la Birs est destinée à mettre en évidence quelles sections de la Birs génèrent une pollution microbologique des stations de pompage situées à proximité du cours d'eau. Par ailleurs, l'introduction de matières traçantes dans un piézomètre permet d'estimer la part du transport des nitrates dans la zone de test de Reinach.



Abb. 1.8.8: Grundwasserbeobachtungsrohre zum Studium der Fluss-Grundwasser-Interaktionen entlang der Birs. Automatische Pegelmessungen, Temperatur und el. Leitfähigkeit, sowie Möglichkeit der Probenahme, Photo I. Spottke, GPI.

Fig. 1.8.8: Réseau de surveillance des eaux souterraines pour l'étude des interactions nappe-rivière le long de la Birs. Mesures automatiques de piézométrie, de température et de conductivité, et possibilité de prélèvement d'échantillons. Photo I. Spottke, GPI.

### 1.6.2 Schlussfolgerungen

Die Resultate der drei Teilprojekte lassen folgende vorläufigen Schlussfolgerungen zu:

(1) Im System der Wiesebene verhält sich die Durchlässigkeit der Flusssohle instationär. Die Austauschprozesse zwischen Fluss und Grundwasser sind abhängig von: (i) der Durchlässigkeit der Fliessgewässersohle ( $K_f$ -Wert), (ii) der hydraulischen Randbedingungen (Pegel des Fliessgewässers, Grundwasserentnahmen, etc.) sowie (iii) der Durchlässigkeit und Heterogenität des Grundwasserleiters. Kolmations-Dekolmationsprozesse spielen dabei eine wichtige Rolle.

### 1.6.2 Conclusions

Les résultats des trois sous-projets permettent d'établir les conclusions provisoires suivantes :

(1) Dans le système de la plaine de la Wiese, la perméabilité du lit du cours d'eau est variable dans le temps. Les échanges nappe-rivière dépendent de (i) la perméabilité du lit des cours d'eau (valeurs de  $K_f$ ), (ii) des conditions hydrauliques aux limites (hauteur des cours d'eau, prélèvements d'eau souterraine, etc.) et (iii) de la perméabilité et de l'hétérogénéité de l'aquifère. Les processus de colmatage et décolmatage y jouent un rôle important.

Abschätzungen der spezifischen Infiltrationsrate (q) für die Wiese zeigen Werte, welche vergleichbar sind mit anderen, ähnlichen Fließgewässern (Tab. 1.6.1).

Des estimations des flux d'infiltration spécifiques (q) réalisées sur la Wiese sont comparables avec celles de cours d'eau similaires (Tab. 1.6.1).

*Tab. 1.6.1: Spezifische Infiltrationsraten (q) verschiedener alpiner und voralpiner Fließgewässer. Daten mit Ausnahme für die Wiese und den Rhein bei Muttenz-Pratteln; aus Höhn 2002. HW: Hochwasser; NW: Niedrigwasser.*

*Tab. 1.6.1: Flux d'infiltration spécifiques (q) pour différents cours d'eau alpins et préalpins. A l'exception de celles portant sur la Wiese et le Rhin dans la région de Muttenz-Pratteln, les données sont issues de Höhn 2002. HW : hautes eaux, NW : basses eaux.*

<b>Fließgewässer / Cours d'eau</b>	<b>Breite / Largeur lit b [m]</b>	<b>q [m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>]</b>	<b>Datum / Période</b>
Poschiavino / Permunt	10	0.4-0.7 / 2-4	1989 / 1990
Limmat / Zürich	30	0.3	-
Limmat / Hardhof	30	1	-
Limmat / Dietikon	30	0.1	-
Glatt / Glattfelden	18	0.05-0.1	1979
Sissle / Eiken	12	0.08-0.2	1976
Töss / Linsental	20	0.05	1988
Rhein / Lustenau	65	3	2000
Rhein / Muttenz-Pratteln	200	0.04	2004
Thur / Grüneck-Feldi	50	0.3	-
Wiese / Lange Erlen (HW)	25	0.55	2003
Wiese / Lange Erlen (NW)	25	0.2	1996

(2) Die Resultate des Teilprojektes Muttenz-Pratteln dokumentieren insbesondere den Einfluss der Grundwassernutzungen auf das regionale Fließfeld. Die Komplexität der Beeinflussungen durch die verschiedenen grenzüberschreitenden Nutzungen führen dazu, dass das regionale Grundwassersystem nur mit Modellen verstanden werden kann, welche die räumlich zeitliche Dynamik der Nutzungen im regionalen Massstab mit genügend hoher Auflösung verknüpfen. Jede grössere Nutzungsänderung hat eine Veränderung des Fließfeldes zur Folge. Entsprechend unterstreicht dieses Teilprojekt die Notwendigkeit eines Grundwasser-Managements in urbanen Gebieten, wo ein Nebeneinander von Trinkwasserversorgung und industriellen Wassernutzungen existiert.

(2) Les résultats du sous-projet permettent en particulier de recueillir des informations sur l'influence des prélèvements des eaux souterraines sur l'écoulement régional. En raison de la complexité des influences liée aux différents prélèvements transfrontaliers, le système régional des eaux souterraines ne peut être appréhendé que par le biais de la modélisation, qui doit associer une dynamique spatio-temporelle des prélèvements à l'échelle régionale à une résolution suffisamment élevée. Chaque modification conséquente des prélèvements se traduit par une modification des directions d'écoulement. C'est pourquoi ce sous-projet souligne la nécessité d'une gestion des eaux souterraines dans les zones urbaines, dans lesquelles coexistent des captages d'eau potable et des usages industriels de l'eau.

(3) Das dritte Teilprojekt „Birstal“ veranschaulicht die Einmischung und den Transport von Nitrat aus landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten in einen regional bedeutsamen Grundwasserträger. Ein Ausweichen auf flussnahe Fassungen birgt jedoch eine ge-

(3) Le troisième sous-projet « vallée de la Birs » met en lumière l'apport et le transport des nitrates dans des zones d'agriculture intensive comportant un aquifère d'importance régionale. La solution de se rabattre sur des puits de captage proches

wisses Risiko bezüglich Auftreten von Mikroorganismen in flussnahen Wasserfassungen (Auckenthaler und Huggenberger 2003). Ein optimiertes Entnahmemanagement erfordert auch in diesem Fall fundierte Kenntnisse der Fluss-Grundwasser-Interaktionen.

des cours d'eau comporte cependant un risque certain lié à la présence de microorganismes dans les captages situés à proximité des cours d'eau (Auckenthaler et Huggenberger 2003). Dans ce cas également, une gestion optimisée des prélèvements d'eau requiert de solides connaissances sur les interactions nappe-rivière.



## 2.1 Ackerschlagbezogene Modellierung des Nitrataustrags - das Modell STICS

A. Beha, M. Finck, St. Korte, P. van Dijk

### 2.1.1 Ein prozessorientiertes Pflanzenmodell zur Ermittlung des Nitrataustrags

In Abhängigkeit von der vorherrschenden Landnutzung und den Bodeneigenschaften zeigen Nitratausträge aus der Bodenzone eine hohe räumliche Variabilität. Darüber hinaus weist der Stickstoffhaushalt im System Boden-Pflanze einen starken Jahresgang auf: Während der Vegetationsperiode nehmen die Pflanzen den im Boden enthaltenen mineralischen Stickstoff auf, dagegen kann in der vegetationsfreien Zeit der verbleibende Nitrat-Stickstoff oder das aus dem Abbau von Ernteresten resultierende Nitrat bei wassergesättigten Verhältnissen ausgewaschen werden. Die chemischen und biologischen Prozesse im Boden, insbesondere die Nachlieferung sowie die Immobilisierung von mineralischem Stickstoff, sind über die Temperatur und Feuchte stark jahreszeitenabhängig.

Einen weiteren wichtigen den Nitrataustrag beeinflussenden Faktor stellt die Bewirtschaftungspraxis auf landwirtschaftlichen Flächen dar. Durch die Wahl der Fruchtfolge, das Einsäen einer Begrünung zwischen zwei Kulturen, Düngung und Bodenbearbeitung nimmt der Landwirt direkt oder indirekt Einfluss auf den Stickstoffhaushalt im System Boden-Pflanze. Aus diesem Grund existieren auch länderspezifische Regelungen und Empfehlungen für die Landwirte, mit denen z.B. durch eine Reduzierung der Düngemenge oder Vorgabe von Terminen zur Düngung und Bodenbearbeitung der Nitrataustrag aus landwirtschaftlichen Flächen reduziert werden soll (z.B. SchALVO in Baden-Württemberg / Ferti-Mieux im Elsass).

Bei der Ermittlung des Nitrataustrags aus der Bodenzone sollten diese Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Hierfür bietet sich der Einsatz eines prozessorientierten Pflanzenmodells an, welches die im Boden und der Pflanze ablaufenden N-Umsetzungsprozesse unter Berücksichtigung der konkreten Bodeneigenschaften, Witterung und Bewirtschaftungsmaßnahmen nachbildet. Gegenüber einem Stickstoff-Bilanzmodell, welches üblicherweise den Nitrataustrag für ein Jahr berechnet, bietet das prozessorientierte Mo-

## 2.1 Modélisation de Transfert des nitrates à l'échelle parcellaire - Le modèle STICS

A. Beha, M. Finck, St. Korte, P. van Dijk

### 2.1.1 Un modèle plante à base physique pour l'estimation du lessivage des nitrates

Le lessivage des nitrates du sol varie fortement en fonction de l'utilisation du sol dominante et des caractéristiques du sol. En outre, le bilan d'azote dans le système sol-plante subit d'importantes variations intra-annuelles. Alors que pendant la période végétative les plantes extraient l'azote contenu dans le sol sous forme minérale, pendant les périodes où le sol se trouve à nu, les reliquats d'azote ou les nitrates libérés par la minéralisation des résidus de la récolte peuvent être lessivés en conditions saturées. Les processus chimiques et biologiques dans le sol, en particulier la restitution ou l'immobilisation d'azote minéral, subissent de fortes variations saisonnières en fonction de la température et de l'humidité.

Les pratiques agricoles constituent également un facteur influençant fortement le lessivage des nitrates. Par le biais des successions culturales, du semis d'une culture intermédiaire, de la fertilisation et du travail du sol, l'agriculteur influence directement ou indirectement le bilan d'azote du système sol-plante. C'est pour ces raisons qu'existent des réglementations et des recommandations nationales spécifiques visant à réduire le lessivage des nitrates dans les surfaces agricoles, par exemple par le biais de réduction des quantités d'engrais ou d'indications sur les périodes idéales d'épandage d'engrais et de travail du sol (p. ex. SchALVO dans le Bade-Wurtemberg ou les opérations Ferti-Mieux en Alsace).

Ces facteurs doivent être pris en compte dans la détermination du lessivage des nitrates hors de la zone du sol. Dans cette optique, le recours à un modèle plante à base physique constitue une solution possible. Ce modèle reproduit les processus de transformation de l'azote se produisant dans le sol et dans la plante sous l'effet de caractéristiques pédologiques, climatiques et de méthodes d'exploitation précises. Au contraire d'un modèle de bilan d'azote, qui calcule habituellement les transferts de nitrates sur une an-



dell folgende Vorteile: Es wird mit hoher zeitlicher Auflösung gearbeitet, dadurch kann der Variabilität von Niederschlag und Temperatur Rechnung getragen werden, zudem wird die zeitliche Variabilität des Nitrataustrags abgebildet.

- Die Bodeneigenschaften werden detaillierter und v.a. horizontbezogen berücksichtigt.
- Das Pflanzenwachstum wird berechnet - es sind keine Ertragsdaten als Eingangsgrößen notwendig.
- Änderungen in der Bewirtschaftungspraxis (z.B. geänderte Bodenbearbeitungstermine, Variation der Düngemenge und des Düngezeitpunktes, der Anbau von Herbst/Winterbegrünungen, Änderungen in der Fruchtfolge) können abgebildet werden, d.h. es eignet sich besonders gut für die Berechnung von Szenarien mit geänderten Bewirtschaftungspraktiken.

### 2.1.2 Das Modell STICS

Das Modell STICS (Simulateur multi-disciplinaire pour les Cultures Standards) ist ein prozessorientiertes Modell zur Simulation des Pflanzenwachstums sowie des Wasser- und Stickstoffumsatzes im System Boden-Pflanze. Es wurde durch das Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) in Avignon (Frankreich) in Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Institutionen entwickelt (Brisson et al., 1998).

Das Modell arbeitet ackerschlagbezogen und simuliert auf Tagesschrittbasis den Stickstoff-Haushalt des Systems Boden-Pflanze. Es trägt dabei den Besonderheiten des jeweiligen Ackerschlags Rechnung, z.B. Witterung, aktuelle Bodenfeuchte bzw. Wasservorrat im Boden und vorhandener Stickstoffgehalt.

Das Modell STICS besteht aus verschiedenen Einzelmodulen, in denen einzelne im System Boden-Pflanze stattfindende Prozesse simuliert werden:

- Pflanzenwachstum (Entwicklungsstadien, Blattflächenindex, oberirdische Biomasse, Wurzelwachstum, Ertragsbildung),
- Strahlungsabsorption,
- Wasserbilanz,
- Stickstoffbilanz in der Pflanze sowie im Boden.

née, le modèle à base physique offre les avantages suivants : le travail se faisant à une résolution temporelle élevée, il est possible de tenir compte de la variabilité des précipitations et des températures ; de plus, la variabilité temporelle du lessivage de nitrates est reproduite.

- Les caractéristiques du sol sont prises en compte de façon plus détaillée et horizon par horizon ;
- La croissance des plantes est calculée – le rendement n'est pas requis en tant que donnée d'entrée ;
- Les modifications des pratiques culturales (p. ex. les modifications des dates de travail du sol, les variations des quantités d'engrais et des dates d'épandage, les cultures intermédiaires en automne/hiver, les modifications des rotations des cultures) peuvent être reproduites. Ce type de modèle est donc particulièrement bien adapté au calcul de scénarios permettant de comparer différentes pratiques d'exploitation.

### 2.1.2 Le modèle STICS

Le modèle STICS (Simulateur multi-disciplinaire pour les Cultures Standards) est un modèle à base physique pour la simulation de la croissance des végétaux et des transferts d'eau et d'azote dans le système sol-plante. Il a été développé par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) d'Avignon en collaboration avec d'autres organismes scientifiques.

Le modèle travaille à l'échelle de la parcelle et simule les transferts d'azote dans le système sol-plante au pas de temps journalier. Il tient ainsi compte des particularités de la parcelle, par exemple du climat, de l'humidité du sol ou de la réserve en eau du sol, ou encore de la teneur en azote disponible.

Le modèle STICS est composé de plusieurs modules, dans lesquels chacun des processus se déroulant dans le système sol-plante sont simulés :

- Croissance des plantes (stades de développement, indice foliaire, biomasse aérienne, croissance racinaire, rendement) ;
- Absorption du rayonnement ;
- Bilan d'eau ;
- Bilan d'azote dans la plante et le sol.



Da das Modell auf Tagesschrittbasis arbeitet, können während der Berechnung auch die zahlreichen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Prozessen sowie der aktuelle Wasser- und Stickstoffgehalt im System Boden-Pflanze berücksichtigt werden. Die Steuerung des Pflanzenwachstums erfolgt im wesentlichen auf der Basis von Temperatursummen, von denen die jeweilige Dauer eines Entwicklungsstadiums abhängt.

Zur Zeit stehen standardmäßig u.a. Pflanzenmodelle für folgende Kulturen zur Verfügung:

- Körnermais
- Winterweizen
- Zuckerrüben
- Senf (Zwischenfrucht)
- Weidelgras (Zwischenfrucht)
- Raps
- Sommergerste
- Kartoffel
- Wiese/Weide
- Sonnenblumen
- Reben
- Unbewachsener Boden (z.B. zwischen zwei Kulturen)

Für das Projekt Monit wurden durch die INRA für folgende Kulturen in Anlehnung an bereits bestehende Pflanzenmodellen neue Pflanzenmodelle entwickelt:

- Ölrettich (Zwischenfrucht)
- Roggen

#### Datenbedarf

Zunächst wurden von den Programmentwicklern (INRA) zahlreiche kultur- und sortenspezifischen Informationen zusammengestellt und den einzelnen Pflanzenmodellen hinterlegt. Hierzu zählen Temperaturschwellenwerte (für die Keimung, zur Ermittlung von Frostschäden), Vernalisationsdauer und -zeitpunkt, Wachstumsfaktoren für das Wurzelwachstum, Zunahme des Blattflächenindex, Fruchtbildung und Temperatursummen für die jeweiligen Entwicklungsstadien. Vom Modellanwender sind nun noch Boden-, Witterungs- und Bewirtschaftungsdaten einzugeben, um den Nitrataustrag berechnen zu können.

Le modèle travaillant à un pas de temps journalier, il est possible de prendre en compte au cours des calculs les interactions entre les processus isolés ainsi que les teneurs actuelles en eau et en azote du système sol-plante. La croissance des plantes dans le modèle s'effectue en fait sur la base de la somme des températures, dont dépend la durée de chaque stade de développement.

Les principaux modèles de plante disponibles actuellement sont les suivants :

- Maïs-grain
- Blé d'hiver
- Betterave sucrière
- Moutarde (culture intermédiaire)
- Ray-grass (culture intermédiaire)
- Colza
- Orge d'été
- Pommes de terre
- Prairie/pâturage
- Tournesol
- Vigne
- Sol nu (p. ex. entre deux cultures)

Pour le projet Monit, l'INRA a développé de nouveaux modèles de plante pour les cultures suivantes :

- Radis oléifère (culture intermédiaire)
- Seigle

#### Données nécessaires

En premier lieu, le développeur du logiciel (INRA) a rassemblé un grand nombre d'informations spécifiques sur les cultures et les variétés, puis consigné les différents modèles de plantes. Parmi ces informations figurent les valeurs des températures critiques (pour la germination, la détermination des dommages dus au gel), la durée et la période de vernalisation, les facteurs de croissance racinaire, l'augmentation de l'indice foliaire, la formation de fruits et la somme des températures pour chaque stade de développement. Il ne reste à l'utilisateur du modèle qu'à entrer les données de sol, de climat et d'itinéraires techniques pour calculer le lessivage des nitrates.

- Witterung:  
Tageswerte von Niederschlag, Temperatur, Globalstrahlung, potentielle Verdunstung etc.
- Bewirtschaftung:  
Kulturart und Sorte, Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung, Saat- und Erntetermine, Beregnung etc.
- Boden:  
Bodenphysikalische Kennwerte der einzelnen Horizonte (z.B. Feldkapazität, Rohdichte, Steingehalt); organischer Stickstoff-Gehalt des obersten Horizontes etc.

- Climat :  
Valeurs journalières des précipitations, températures, rayonnement global, évaporation potentielle, etc.
- Exploitation :  
Culture et variété, rotations culturales, fertilisation, travail du sol, date de semis et de récolte, irrigation, etc.
- Sol :  
Paramètres physiques des sols horizon par horizon (p. ex. capacité au champ, densité apparente, teneur en éléments grossiers) ; teneur en azote organique de l'horizon supérieur, etc.

### Ergebnisse

Als Ergebnis der Berechnungen werden u.a. folgende Werte ausgegeben ( i.allg. Tageswerte):

aus dem Teilsystem „Pflanze“:

- Entwicklung der Biomasse (trocken/frisch)
- N-Gehalt und Wassergehalt der Pflanze
- Ertrag (trocken/frisch)
- Qualität (Wassergehalt, Stickstoff-, Zucker-, Ölgehalt ) des Ertrags
- Trockenmasse und C/N-Verhältnis Ernterückstände

aus dem Teilsystem „Boden“ (Wasser- und Stickstoffbilanz)

- Evaporation, Transpiration, (Interzeption)
- Düngerverluste (z.B. Volatilisation)
- Wassergehalt in den einzelnen Bodenhorizonten
- $\text{NO}_3\text{-N}$ -( $\text{NH}_4\text{-N}$ )-Gehalt in den einzelnen Bodenhorizonten
- Sickerwassermenge
- Nitrat- ausstrag (Sickerwasser)
- Mineralisation aus dem Humus
- Mineralisation der Ernterückstände
- Denitrifikation
- Stickstoffentzug durch die Pflanze

### 2.1.3 Validierung des Modells

Bevor umfangreiche Prognoserechnungen in Angriff genommen werden, war zunächst zu testen, ob das Modell in der Lage ist, auch unter den klimatischen Verhältnissen im Oberrheingraben das Pflanzenwachstum der im Elsass und Baden-Württemberg verwen-

### Résultats

Les résultats des calculs fournissent entre autre les valeurs suivantes (valeurs journalières en général) :

du sous-système « plante » :

- Evolution de la biomasse (sèche/fraîche)
- Teneur en N et en eau de la plante
- Rendement (sec/frais)
- Qualité (teneur en eau, azote, sucre et huile) de la récolte
- Matière sèche et rapport C/N des résidus de récolte

du sous-système « sol » (bilan d'eau et d'azote) :

- Evaporation, transpiration (interception)
- Perte d'engrais (p. ex. volatilisation)
- Teneur en eau des différents horizons du sol
- Teneur en  $\text{NO}_3\text{-N}$  et  $\text{NH}_4\text{-N}$  des différents horizons du sol
- Quantité d'eau de percolation
- Lessivage des nitrates (eau de percolation)
- Minéralisation de l'humus
- Minéralisation des résidus de récolte
- Dénitrification
- Consommation d'azote par la plante

### 2.1.3 Validation du modèle

Avant d'entreprendre des calculs de pronostics de grande envergure, il est nécessaire de tester en premier lieu si, sous les conditions climatiques de la vallée du Rhin Supérieur, le modèle est également en mesure de décrire de façon satisfaisante la croissance des plan-

deten Sorten und den Wasser- und Stickstoffhaushalt zufriedenstellend zu beschreiben.

Deshalb wurden Berechnungen für verschiedene Standorte durchgeführt, für die Messdaten aus landwirtschaftlichen Versuchen vorliegen. Die Daten wurden von verschiedenen landwirtschaftlichen Institutionen (Ämter für Landwirtschaft, Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung, Landesanstalt für Pflanzenbau, ARAA) zur Verfügung gestellt.

Es zeigte sich, dass eine Anpassung der Pflanzenmodelle an deutsche Verhältnisse insbesondere der deutschen Sorten notwendig war. Dies konnte anhand von Angaben zur Pflanzenentwicklung (Auflaufen, Ährenschieben, Reife, Erntezeitpunkt) und der Ertragsstruktur (Trockenmasse Ertrag, Proteingehalt, Wassergehalt) erfolgen. Die Anpassung der Pflanzenmodelle erfolgte direkt durch die INRA in Avignon.

Für einen Körnermaisstandort (Monomais) im südlichen Oberrheingraben wurden für die Jahre 1999 und 2000 z.B. folgende Ergebnisse berechnet:

Tab. 2.1.1: *Berechnungsergebnisse: Stickstoffbilanz (kg N/ha) 26.04.1999 - 10.10.1999 für den Standort BBV Biengen, Variante 1, berechnet bis zur Basis des Bodenprofils (2 m)*

Tab. 2.1.1: *Résultats de calculs : bilan d'azote (kg N/ha) 26.04.1999 - 10.10.1999 pour le site BBV Biengen, variante 1, calculé jusqu'à la base du profil du sol (2 m)*

tes pour les variétés utilisées en Alsace et dans le Bade-Wurtemberg ainsi que les bilans d'eau et d'azote dans le sol.

C'est pourquoi des calculs ont été effectués pour différents sites pour lesquels des données de mesure provenant d'expérimentations agronomiques sont disponibles. Les données ont été mises à disposition par différentes institutions agricoles (Ämter für Landwirtschaft, Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung, Landesanstalt für Pflanzenbau, ARAA).

Il s'est avéré qu'une adaptation des modèles de plante aux conditions et aux variétés allemandes était nécessaire. Cette adaptation a été effectuée sur la base des caractéristiques de développement des cultures (levée des semis, épiaison, maturité, date de récolte) et des rendements (matière sèche, teneur en protéines et en eau). L'adaptation du modèle a été effectuée directement par l'INRA d'Avignon.

A titre d'exemple, les résultats suivants ont été calculés pour les années 1999 et 2000 pour un site en maïs-grain (monoculture de maïs) dans le sud du Fossé Rhénan :

<b>Input / Entrées</b>		<b>Output / Sorties</b>	
Niederschlag / <i>Pluie</i>	12	Entzug durch die Pflanze / <i>Exportation culture</i>	174
Bewässerung / <i>Irrigation</i>	0	Verbleib Ernterückstände / <i>Restitution culture</i>	133
Handelsdünger / <i>Engrais</i>	151	Nitratauswaschung / <i>Lixiviation</i>	35
Mineralisation Humus / <i>Minéralisation humus</i>	183	Immobilisierung Dünger / <i>Organisation engrais</i>	15
Mineralisation Ernterückstände / <i>Minéralisation résidus de récolte</i>	7	Düngerverluste / <i>Volatilisation engrais</i>	8
		Denitrifikation / <i>Dénitrification</i>	8
Anfangswert NO <sub>3</sub> -N (Boden) / <i>NO<sub>3</sub>-N sol initial</i>	135	Endwert NO <sub>3</sub> -N (Boden) / <i>NO<sub>3</sub>-N sol final</i>	116
<b>Summe / Total</b>	<b>488</b>	<b>Summe / Total</b>	<b>488</b>

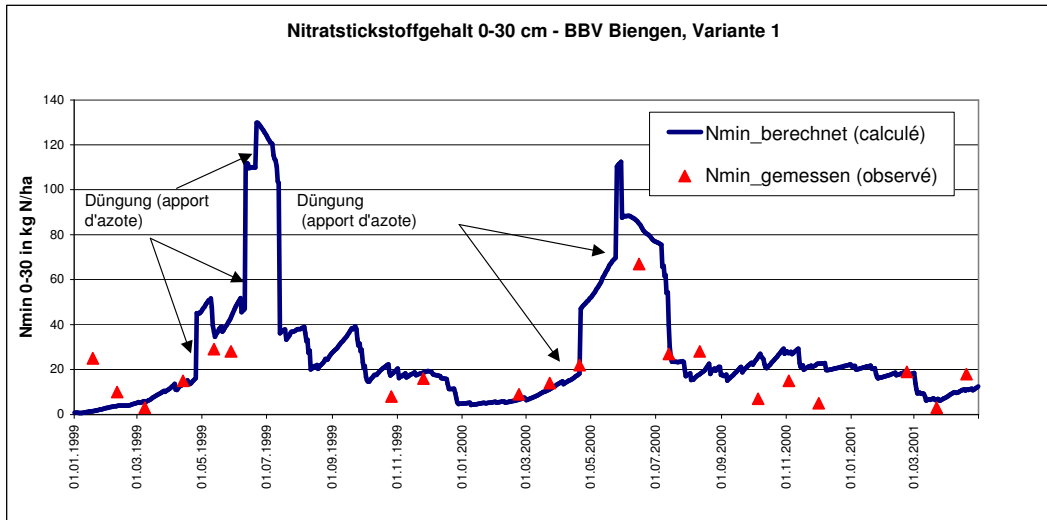


Abb. 2.1.1: BBV Biengen - Variante 1: Nmin Werte im Horizont 0-30 cm in den Jahren 1999/2000

Fig. 2.1.1: BBV Biengen - variante 1: Valeurs du reliquat d'azote dans l'horizon 0-30 cm pour les années 1999/2000

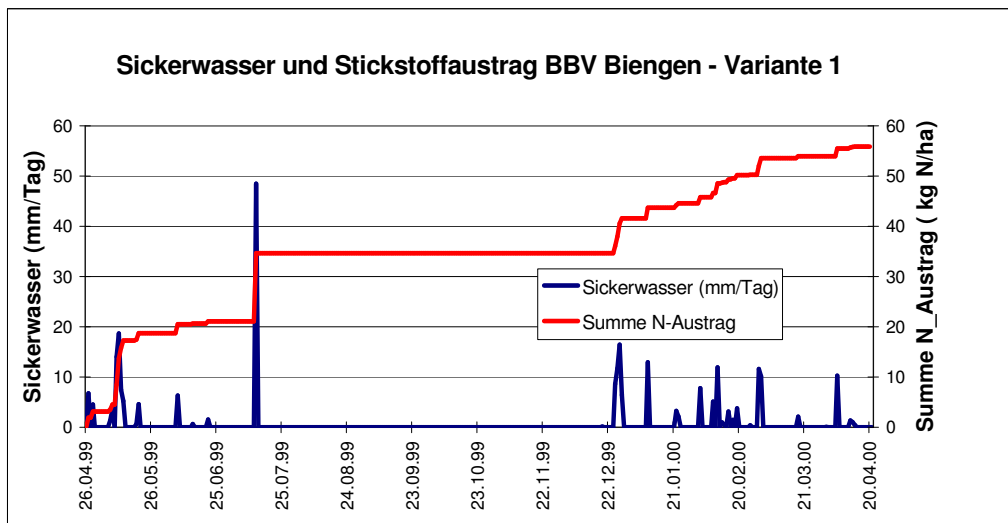


Abb. 2.1.2: BBV Biengen - Variante 1: Sickerwasser und N-Austrag 1999/2000

Fig. 2.1.2: BBV Biengen - variante 1: l'eau de percolation (ligne bleu) et lessivage d'azote (ligne rouge) 1999/2000

### 2.1.4 Berechnung von Szenarien

Um die Effizienz von Maßnahmen zur Reduzierung des Nitrataustrags aus landwirtschaftlichen Flächen im Oberrheingraben bewerten zu können, sollen mit dem Modell STICS Szenarien berechnet werden, die neben dem Nitrataustrag bei derzeitigen Verhältnissen auch den Nitrataustrag bei geänderten Bewirtschaftungsverfahren abbilden. Hierfür werden die konventionelle Standardbewirtschaftung und die umweltgerechte Bewirtschaftung definiert.

### 2.1.4 Calcul de scénarios

Afin d'être en mesure d'évaluer l'efficacité des mesures de réduction du lessivage des nitrates sur les surfaces agricoles dans le Fossé rhénan, il est nécessaire de calculer des scénarios avec le modèle STICS, reproduisant non seulement le lessivage des nitrates dans les conditions actuelles mais également avec des méthodes d'exploitation modifiées. C'est pourquoi les pratiques caractéristiques de l'agriculture conventionnelle et de l'agriculture respectueuse de l'environnement sont définies.

Eine umweltgerechte Bewirtschaftung für Körnermais (Monomais) unterscheidet sich von der konventionellen Bewirtschaftung z.B. wie folgt (nach SchALVO Baden-Württemberg):

Une agriculture respectueuse de l'environnement pour le maïs-grain (monoculture de maïs) se différencie d'une agriculture conventionnelle par exemple de la manière suivante (d'après SchALVO Baden-Württemberg) :

Maßnahmen / <i>Mesures</i>	Konventionell (Standardbewirtschaftung) / <i>Agriculture conventionnelle</i>	Umweltgerecht (z.B. SchALVO) / <i>Agriculture respectueuse de l'environnement (p. ex. SchALVO)</i>
Pflugtermin / <i>Date de labour</i>	1.11.	1.2. (1.3)
Saattermin / <i>Date de semis</i>	26.4.	26.4.
1. N-Gabe / <i>1. Apport N</i>	25.4.: 70 kg N/ha	25.4.: 40 kg N/ha
2. N-Gabe / <i>2. Apport N</i>	15.5.: 100 kg N/ha	6.6.: z.B. 100 kg N/ha (aufgrund Nmin - Messung) / <i>(sur la base des mesures du reliquat d'azote)</i>

Die Berechnung von Szenarien soll jeweils für die wichtigsten Fruchtarten bzw. Fruchtfolgen im Projektgebiet an charakteristischen Standorten erfolgen. Bei der Definition der Szenarien soll selbstverständlich den länderspezifischen Unterschieden Rechnung getragen werden.

Die Auswahl der „charakteristischen“ Standorte wird unter den Kriterien Boden, jährliche Niederschlagssumme und Landschaftseinheiten im Projektgebiet getroffen.

### 2.1.5 Ausblick

Das Modell STICS eignet sich gut zur Berechnung des Nitrataustrags für viele im Projektgebiet angebaute landwirtschaftliche Kulturen, insbesondere für die wichtigsten Kulturen Körnermais und Winterweizen.

Geänderte Bewirtschaftungspraktiken wie Variation von Düngetermin und Düngemenge sowie Zeitpunkt und Tiefe der Bodenbearbeitung gehen direkt als Eingangsgrößen in das Modell ein. Durch die Aneinanderreihung von Einzelsimulationen können Fruchtfolgen sowie Kulturen mit Begrünung z.B. gegenüber Monokulturanbau gerechnet und hinsichtlich der Verringerung des Nitrataustrags bewertet werden.

Das Modell STICS arbeitet ackerschlagbezogen, d.h. es ermittelt den Nitrataustrag für einen konkreten Standort bzw. eines Standorttyps, der durch eine Kombination von Fruchtfolge, Bodeneigenschaften sowie Witterung gegeben ist. Eine Übertragung der Ergebnisse auf die Fläche ist für kleinere

Les calculs de scénarios doivent être effectués pour les cultures et les rotations principales sur des parcelles caractéristiques situées dans la zone du projet. Lors de la définition des scénarios, il faudra naturellement tenir compte des différences nationales spécifiques.

Le choix des parcelles « caractéristiques » tient compte des critères sol, total annuel des précipitations et unités de paysage dans la zone du projet.

### 2.1.5 Perspectives

Le modèle STICS est bien adapté au calcul du lessivage des nitrates pour un grand nombre de cultures présentes dans la zone du projet, en particulier pour les cultures dominantes, maïs-grain et blé d'hiver.

Les modifications des pratiques agricoles, telles que les variations des dates d'apports ou des quantités d'engrais, la date et la profondeur de travail du sol, peuvent directement être utilisées comme grandeurs d'entrée dans le modèle. L'enchaînement des simulations individuelles permet de simuler l'impact des rotations et des cultures intermédiaires sur le lessivage par rapport à une situation de monoculture.

Le modèle STICS travaille à l'échelle de la parcelle, c'est-à-dire qu'il détermine le lessivage des nitrates pour un site précis ou pour un type de site défini par une combinaison entre les successions culturales, les propriétés du sol et le climat. Une spatialisation des résultats a déjà été réalisée par l'ENGEES

Gebiete in Frankreich mit Hilfe einer Anknüpfung an ein geographisches Informationssystem (GIS) bereits realisiert worden (Gomez et al., 2002). Für die enorme Größe unseres Projektgebiets wären die notwendigen programmtechnischen Anpassungen allerdings so umfangreich gewesen, dass sie im Rahmen der kurzen Projektlaufzeit nicht hätten realisiert werden können. Alternativ werden nun die auf Einzelschlagebene berechneten Unterschiede im Nitrataustrag auf der Basis optimierter Bewirtschaftungsweisen in das flächenhaft rechnende Modell „STOFFBLANZ“ integriert (siehe Kapitel 2.3).

Das von der INRA entwickelte Modell STICS ist als Instrument zur Effizienzbewertung von Bewirtschaftungsmaßnahmen geeignet. Der weitere Einsatz von STICS könnte durch die Anknüpfung eines Geoinformationssystems GIS optimiert werden, so dass die Auswirkungen auf den Nitrataustrag bei flächenhafter Umsetzung von Bewirtschaftungsmaßnahmen unmittelbar berechnet werden können. Als flächenhaftes Planungsinstrument der Landwirtschaftsverwaltung ermöglicht es die Erarbeitung regional angepasster, optimal kombinierter und räumlich differenzierter Maßnahmenpakete zur Erreichung einer guten Grundwasserqualität.

pour une zone réduite en Alsace à l'aide d'un couplage avec un Système d'Information Géographique (SIG). La zone couverte par notre projet étant énorme, les adaptations techniques du programme nécessaires auraient toutefois été trop importantes pour être réalisable pendant la courte durée du projet. C'est pourquoi l'alternative consistera à intégrer dans le modèle spatialisé « STOFFBLANZ » les différences de lessivage des nitrates calculées par STICS entre différentes méthodes d'exploitation optimisées pour des parcelles individuelles (voir chapitre 2.3).

Le modèle STICS développé par l'INRA est adapté en tant qu'instrument d'évaluation de l'efficacité des mesures agricoles. L'utilisation de STICS pourrait être optimisée par le biais d'un couplage avec un Système d'Information Géographique, de telle sorte que les effets spatialisés des mesures agricoles sur le lessivage des nitrates puissent être calculés directement. En tant qu'instrument d'orientation spatialisé des administrations agricoles, il rend possible l'élaboration de groupes de mesures adaptées régionalement, combinées de façon optimale et spatialement différenciées pour l'obtention d'une eau souterraine de bonne qualité.

## 2.2 Untersuchung der Nitratherkunft im Bodenwasser und Grundwasser

### Untersuchungskonzept und erste Resultate

A. Auckenthaler, Ch. Seiberth, A. Affolter, M. Casper

#### 2.2.1 Einleitung

Die Hauptursache für die Nitratanreicherung im Grund- und Quellwasser ist die intensive ackerbauliche Nutzung in deren Zuströmbereich [BfL & BUWAL, 1998]. In den letzten 30 bis 40 Jahren hat sich ein schleichender aber folgenschwerer Wandel in der Bodennutzung vollzogen, der vor allem in einer Abnahme des Dauergrünland- und Kunstwieseanteils und in einer Zunahme der Maisfläche zu sehen ist [FiBL, 1998]. Durch den Umbruch von Dauergrünland können Stickstoffmengen bis zu einigen 100 kg N/ha freigesetzt werden. Das herrschende dynamische Gleichgewicht des Stickstoffhaushaltes wurde durch diesen Kulturlandschaftswandel stark verändert [Plattner, 1999].

Der natürliche, anthropogen nicht beeinflusste Nitratgehalt im Grundwasser liegt bei rund 5 mg/L. Eine Erhöhung dieses Wertes ist auf eine der folgenden Quellen zurückzuführen:

- Ausbringen von Hofdünger (mit Mineralisation und Nitrifikation)
- Verwendung von mineralischen Stickstoffdüngern
- Mineralisation und Nitrifikation von organischer Substanz im Boden
- Deposition von Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre

Lokal kann auch die Infiltration von Abwasser aus undichten Kanalisationen zu einer erhöhten Nitratbelastung beitragen [Mengis, 1999]. Die Infiltration von Oberflächenwasser führt in der Regel zu einer Abnahme der Nitratkonzentration im Grundwasser [Rohmann & Sontheimer, 1985].

Der Düngung kommt in Anbetracht der Komplexität der Umwandlungsprozesse von Stickstoffverbindungen im Boden eine wichtige Bedeutung zu (siehe Abb. 2.2.1). Als alleinige Ursache für eine erhöhte Nitratauswaschung gilt sie allerdings nicht [Plattner,

## 2.2 Recherche de l'origine des nitrates dans le sol et dans la nappe

### Concept de recherche et premiers résultats

A. Auckenthaler, Ch. Seiberth, A. Affolter, M. Casper

#### 2.2.1 Introduction

L'utilisation agricole intensive dans les zones situées en amont constitue la cause majeure d'enrichissement des sols et des eaux de source en nitrates [BfL & BUWAL, 1998]. Au cours des 30 à 40 dernières années, des changements insidieux mais lourds de conséquences se sont produits dans l'utilisation des sols, qui se manifestent avant tout par une réduction de la part des herbages permanents et du ley-farming (alternance cultures/herbages) et par une augmentation des surfaces de maïs [FiBL, 1998]. Le retournement d'un herbage permanent peut libérer jusqu'à plusieurs centaines de kg N/ha. L'équilibre dynamique dominant du cycle de l'azote a été fortement modifié par ces changements de culture [Plattner, 1999].

La teneur en nitrates naturelle, non influencée par l'homme, s'élève à environ 5 mg/l. L'augmentation de cette valeur est attribuable à l'une des sources suivantes :

- Epandage de fumier de ferme (avec minéralisation et nitrification)
- Utilisation d'engrais azotés minéraux
- Minéralisation et nitrification de substances organiques dans le sol
- Apports atmosphériques de composés azotés

L'infiltration d'eaux usées à partir de fuites de canalisations peut également contribuer localement à une augmentation de la pollution par les nitrates [Mengis, 1999]. L'infiltration d'eau de surface génère en général une diminution de la concentration des nitrates dans les eaux souterraines [Rohmann & Sontheimer, 1985].

La fertilisation revêt une grande importance au regard de la complexité des processus de transformation des composés azotés (cf. Fig. 2.2.1). Elle ne constitue toutefois pas l'unique cause de l'augmentation du lessivage des nitrates [Plattner, 1999]. L'opinion la plus



1999]. Vermehrt wird die Meinung vertreten, dass vor allem die Freisetzung von Stickstoff aus der organischen Substanz als Regler für den Eintrag von Nitrat ins Grundwasser entscheidend ist [Knappe & Russow, 1998; Zerulla, 1993]. Eine Isotopenstudie ( $\delta^{15}\text{N}$  und  $\delta^{18}\text{O}$ ) in Grundwasserfassungen im Schweizerischen Mittelland kommt ebenfalls zum Schluss, dass in erster Linie Hofdünger sowie die Mineralisation von organischer Substanz im Boden die bestimmenden Nitratquellen sind [Mengis, 1999]. Eine Vielzahl weiterer Faktoren, wie die Bodenbearbeitung, die Art und Zeit der Düngergabe, die biologische Bodenaktivität, die Art des biologischen Materials (C/N-Verhältnis) [Plattner, 2000] und die Witterungsbedingungen beeinflussen die Nitratwaschung ebenfalls. Um eine Reduktion der Nitratwaschung aus dem Boden und damit eine Verhinderung des Eintrags ins Grund- und Trinkwasser zu erreichen, müssen alle diese Prozesse und Faktoren berücksichtigt werden.

Aus den Nitratkonzentrationen im Grundwasser kann nicht auf die verschiedenen Stickstoffquellen und die Prozesse der Nitratwaschung geschlossen werden. Eine Erfolgskontrolle der Massnahmen in der Landwirtschaft wie zum Beispiel einer ausgeglichenen Düngerbilanz oder einer optimalen Bodenbewirtschaftung ist deshalb nicht möglich. Eine detailliertere Betrachtung der komplexen Verhältnisse ist aber notwendig um die Vollzugsarbeit den jeweiligen Problemen konkreter anzupassen. Als Möglichkeit zur Unterscheidung der Nitratherkunft bietet sich die Isotopenuntersuchung ( $\delta^{15}\text{N}$  und  $\delta^{18}\text{O}$ ) von Bodenwasser und Grundwasser an. Die beiden Elemente Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) des Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) weisen je nach Herkunft eine unterschiedliche Elementmasse auf (Abb.2.2.3). Bei der Bildung von Nitrat werden in Abhängigkeit des Prozesses eher leichtere Elemente oder schwerere bevorzugt [Voerkelius, 1990]. Es ist somit möglich das Nitrat im Boden- oder Grundwasser einzelnen Prozessen zuzuordnen. Insbesondere bei Grundwasseruntersuchungen können jedoch mehrere Prozesse überlagert auftreten, was eine genaue Zuordnung allein mit Isotopenuntersuchungen schwierig macht. Es ist deshalb sinnvoll neben den reinen Untersuchungen auch eine Grundwassermodellierung im betroffenen Gebiet zu machen und damit die Fliesswege und Mischungsverhältnisse bestimmen zu können. Zu einer detaillierten Untersuchung gehören

largement répandue est celle selon laquelle la libération d'azote à partir de substances organiques joue un rôle déterminant en tant que régulateur de l'entrée de nitrates dans les eaux souterraines [Knappe & Russow, 1998 ; Zerulla, 1993]. Une étude isotopique ( $\delta^{15}\text{N}$  et  $\delta^{18}\text{O}$ ) dans les zones de captage d'eaux souterraines dans le Mittelland suisse arrive également à la conclusion que le fumier de ferme et la minéralisation de substances organiques dans le sol constituent les principales sources de nitrates [Mengis, 1999]. Un grand nombre de facteurs supplémentaires, tels que le travail du sol, le type d'épandage, l'époque de fertilisation, l'activité biologique du sol et le type de matériel biologique (rapport C/N) [Plattner, 2000] de même que les conditions climatiques, influencent également le lessivage des nitrates. L'ensemble de ces processus et facteurs doit être pris en compte pour aboutir à une réduction du lessivage des nitrates et éviter par ce biais leur pénétration dans l'eau du sol et dans l'eau potable.

Les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines ne permettent de déterminer ni les diverses sources d'azote ni les processus du lessivage des nitrates. C'est pourquoi un contrôle du succès des mesures agricoles, tel qu'un bilan de fertilisation nul ou qu'une exploitation du sol optimale, n'est pas possible. Toutefois, un examen détaillé des relations complexes est nécessaire à une adaptation précise des réactions à chaque problème particulier. Les analyses isotopiques ( $\delta^{15}\text{N}$  et  $\delta^{18}\text{O}$ ) constituent un outil possible de différenciation de l'origine des nitrates dans l'eau du sol et dans les eaux souterraines. Les deux éléments Azote (N) et Oxygène (O) des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) présentent une masse élémentaire différente selon leur origine (Fig. 2.2.3). Lors de la formation des nitrates, des éléments plus ou moins lourds sont favorisés en fonction des processus en jeu [Voerkelius, 1990]. Il est ainsi possible de mettre en relation les nitrates présents dans le sol ou dans les eaux souterraines avec les processus individuels. Toutefois, plusieurs processus peuvent également se dérouler simultanément, en particulier dans le domaine des eaux souterraines, ce qui rend difficile une identification de l'origine des nitrates à partir des seules analyses isotopiques. C'est pourquoi il est judicieux de recourir en complément à une modélisation des eaux souterraines de la zone concernée, afin de déterminer par ce biais les voies d'écoulement et les conditions de mélange des eaux. Une re-

zusätzlich die Berechnung einer Düngerbilanz und des Wasserhaushaltes sowie die Bestimmung gängiger Bodenparameter.

Das Ziel dieses Teilprojektes ist die Nitrat- auswaschung aus dem Boden ins Grund- wasser bezogen auf einzelne Standorte mit unterschiedlicher Bewirtschaftung detailliert zu verstehen. Mit Hilfe dieser Information soll die in der gesamten Oberrheinebene gross- flächig berechnete Nitratauswaschung bes- ser beurteilt werden können. Der vorliegende Artikel erläutert das Untersuchungskonzept mit einer Beschreibung der einzelnen Stand- orte und zeigt erste Resultate.

cherche détaillée devra comprendre en outre le calcul d'un bilan d'engrais et d'eau ainsi que la définition de paramètres pédologiques courants.

Ce sous-projet a pour objectif de comprendre de façon détaillée le lessivage des nitrates du sol dans les eaux souterraines, sur des sites individuels dans lesquels les pratiques cultu- rales varient. Grâce à ces informations, il sera possible de mieux estimer le lessivage des nitrates calculé à l'échelle de l'ensemble de la plaine rhénane. Cet article détaille le concept de l'étude à l'aide d'une description des sites individuels et présente les premiers résultats.

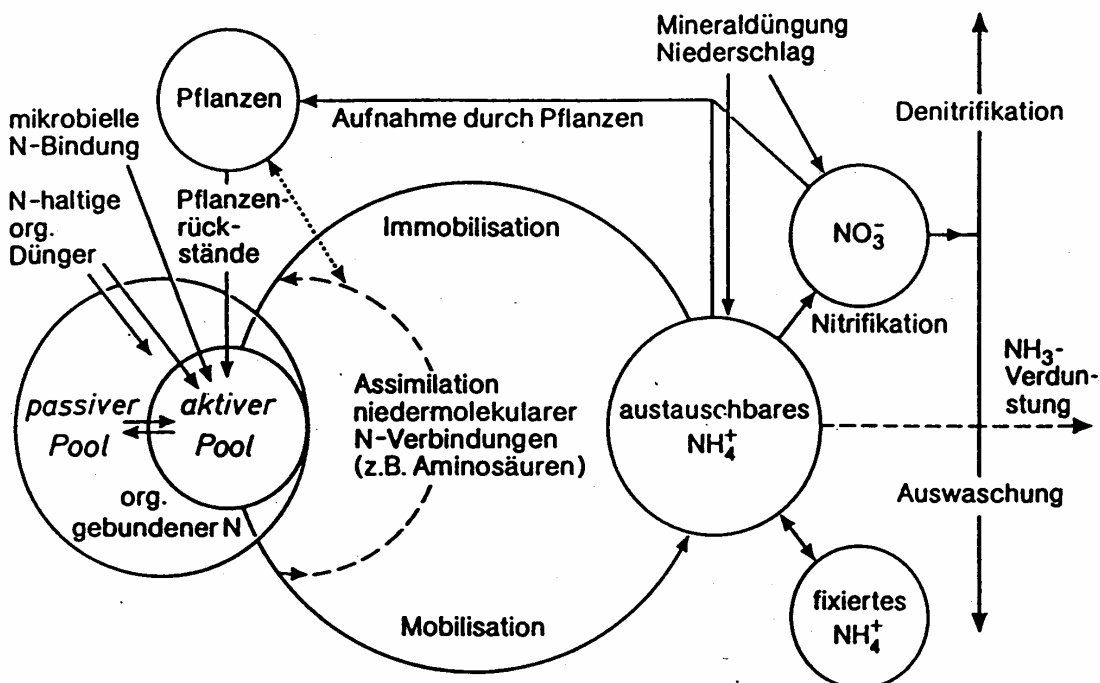


Abb. 2.2.1: Prozesse im Stickstoffkreislauf. Über die trockene und nasse Deposition aus der Atmosphäre sowie der Düngung gelangt Stickstoff in den Boden. Hier findet eine Reihe von komplexen Umwandlungsreaktionen statt. Eine wichtige aber schwierig messbare Grösse ist der aktive und passive Stickstoffpool im Boden, der massgeblich zur Nitratauswaschung beitragen kann. Aus dem Boden gelangt der Stickstoff über den Ernteentzug, die Denitrifikation oder die Auswaschung ins Grundwasser.

Fig. 2.2.1: Les processus du cycle de l'azote. Concerne autant les dépositions atmosphériques sèches et humides que l'azote du sol issu de la fertilisation. Une série de transformations complexes se déroule ici. Les pools passif et actif d'azote dans le sol constituent des grandeurs importantes mais difficiles à mesurer, pouvant participer de façon prépondérante au lessivage des nitrates. L'azote résiduel présent dans le sol après la récolte, la dénitrification et le lessivage contribuent à la migration de l'azote du sol vers les eaux souterraines.

## 2.2.2 Untersuchungskonzept

Das Hauptuntersuchungsgebiet der Nitrat- herkunftsstudie liegt in Reinach in der Nord- westschweiz südlich von Basel. In diesem Gebiet werden immer wieder erhöhte Nitrat-

## 2.2.2 Concept de recherche

La principale zone de recherche pour l'étude de l'origine des nitrates est située à Reinach, dans le nord-ouest de la Suisse au sud de Bâle. Dans cette zone, des teneurs en nitra-

gehalte im Grund- und Trinkwasser festgestellt. Durch frühere hydrogeologische Untersuchungen sind die Grundwasserfließwege bekannt [Schudel, 1992]. Um die Übertragbarkeit der Resultate in die Oberrheinebene zu gewährleisten wurden zusätzlich an Standorten in Deutschland und in Frankreich gleichwertige Untersuchungen durchgeführt. Neben den reinen Bodenuntersuchungen und Bodenwasseranalysen auf Nitrat und Nitratisotope wurden in Reinach zusätzlich mehrere Grundwassermessstellen beprobt, sowie weitergehende hydrogeologische Abklärungen und darauf basierend eine Grundwassermodellierung gemacht. Mithilfe der Modellierung werden die Bestimmung der Nitratherkunft und das Verständnis für die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser eindeutiger. Damit ist auch die Interpretation der Isotopendaten insbesondere bei Hinweisen auf eine Denitrifikation in der ungesättigten Zone und mögliche Überlagerungen von Auswaschungsprozessen einfacher.

Um die Auswaschungsprozesse des Nitrates im Boden besser zu verstehen, wurden im Gebiet Reinach 5 Standorte mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzung sowie ein Waldstandort und ein Sportplatz untersucht. Zudem wurden 8 landwirtschaftlich genutzte Parzellen in der Oberrheinebene in die Untersuchungen einbezogen. Wie der Tabelle 2.2.1 zu entnehmen ist, handelt es sich bei den landwirtschaftlich genutzten Böden und im Wald in Reinach sowie den Standorten in Deutschland und dem Standort Rustenhart in Frankreich um sehr skelettreiche Braunerden. Der Standort Gemüse in Reinach und die drei weiteren Standorte in Frankreich haben einen wesentlich höheren Feinerdeanteil. Beim Sportplatz handelt es sich um einen Kultisol. Dieser Standort ist aufgrund seiner intensiven Nutzung verbunden mit Düngung und Bewässerung eine interessante Nitratquelle in Agglomerationsgebieten. Die Namen der Standorte in Tabelle 2.2.1 beziehen sich bei den Schweizer Standorten auf die Kultur zu Beginn der Studie. Bei den anderen Standorten auf die Gebietsbezeichnung.

Die Bodenwasserproben wurden an allen 15 Standorten mittels Saugkerzen entnommen. Bei den Standorten in Reinach wurden diese vertikal installiert, ausser beim Sportplatz, wo sie wie in Deutschland und Frankreich horizontal eingebaut wurden. Die Saugkerzen wurden knapp unter die durchwurzelte Zone

tes de plus en plus élevées sont trouvées dans l'eau du sol et dans l'eau potable. Les écoulements des eaux souterraines sont connus grâce à des études hydrogéologiques antérieures [Schudel, 1992]. Afin de garantir la compatibilité des résultats dans l'ensemble de la plaine du Rhin Supérieur, des études équivalentes ont été réalisées sur des sites allemand et français. A Reinach, en plus des simples études pédologiques et des analyses de l'eau du sol pour la recherche de nitrates et de ses isotopes, plusieurs piézomètres ont été échantillonnés et des études hydrogéologiques complémentaires dans le cadre d'une modélisation hydrodynamique ont été menées. La modélisation permet de déterminer avec certitude l'origine des nitrates et de préciser la compréhension de l'évolution temporelle des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines. Par ce biais, l'interprétation des données isotopiques est facilitée, en particulier en cas d'indication d'une dénitrification dans la zone non saturée, ou lors de la superposition possible de différents processus de lessivages.

Afin de mieux comprendre les processus de lessivage des nitrates dans le sol, des recherches ont été effectuées dans la région de Reinach sur cinq sites comportant des usages agricoles différents ainsi que sur un site forestier et un terrain de sport. En outre, huit parcelles agricoles situées dans la plaine du Rhin Supérieur ont été intégrées dans la recherche. Comme l'indique le Tab. 2.2.1, il s'agit de sols de type « sehr skelettreiche Braunerden », que ce soit pour les sols utilisés pour un usage agricole et sous forêt à Reinach, ou dans les sites allemands et dans le site Rustenhart en France. Le site Légumes à Reinach et les trois autres sites français possèdent une fraction de terre fine sensiblement plus élevée. Le sol du terrain de sport est de type Kultisol. En raison de son usage très intensif combiné à des pratiques de fertilisation et d'irrigation, ce site représente une source intéressante de nitrates dans une zone d'habitation. Les noms des sites dans le Tab. 2.2.1 font référence à la culture en place au début de l'étude pour les sites suisses, et à la désignation de la zone pour les autres sites.

Des échantillons d'eau du sol ont été prélevés dans la totalité des 15 sites au moyen de bougies poreuses. Ces bougies poreuses ont été installées verticalement dans les sites de Reinach, sauf dans le terrain de sport où elles ont été placées horizontalement, comme dans les sites allemands et français.

auf rund 60 cm Tiefe eingebaut. Beim Standort Wald in Reinach wurden zusätzlich in einer Tiefe von 120 cm weitere Saugkerzen und in 200 cm eine Saugplatte installiert. Ebenso wurde beim Standort Weizen eine Saugplatte in 200 cm Tiefe eingebaut. Aus all diesen Standorten wurden 14-tägig Bodenwasserproben entnommen und auf Nitrat und an den Schweizer Standorten zusätzlich auf Sulfat, Chlorid und die elektrische Leitfähigkeit analysiert. Zu Beginn der Studie wurde in den 14-tägigen Proben ebenfalls das Ammonium bestimmt. Aufgrund der langen Zeitspanne zwischen den Probenahmen verglichen mit der raschen Umsetzung von Ammonium im Boden wurde aber nach rund 5 Monaten auf eine weitere Beprobung verzichtet. Die Untersuchung der Isotope erfolgte bei den Schweizer Standorten monatlich und bei den Deutschen und Französischen Standorten vierteljährlich, sofern genügend Bodenwasser gesammelt werden konnte. Die Analyse der Isotope erfolgte bei der Firma Hydroisotop in Schweitenkirchen Deutschland. Wie der Tabelle 2.2.2 zu entnehmen ist, wurden neben dem Bodenwasser verschiedene für die Nitratauswaschung relevante Bodenparameter, wie das C/N-Verhältnis,  $N_{\min}$  und IRGA-Messungen durchgeführt. Bei der IRGA-Messung wird die  $CO_2$  Produktion im Boden gemessen [Wüthrich, 1994]. Diese ist ein Mass für die Aktivität der Mikroorganismen im Boden und kann damit als Grösse für die Umsetzung von Stoffen u.a. dem Stickstoff im Boden herangezogen werden.

Um die Nitratkonzentrationen im Bodenwasser an den Schweizerischen Standorten in einen grösseren Zusammenhang zu stellen, wurde eine Bilanzierung der Düngergaben, der Nass- und Trockendeposition sowie der Ernteentzüge erstellt. Geplant sind ebenfalls eine Modellierung der Stickstoffverluste mit dem Pflanzenmodell STICS und die Erstellung einer Wasserbilanz. Die dazu notwendigen Wetterdaten stammen von zwei offiziellen Messstellen in rund 5 km Entfernung.

Im Untersuchungsgebiet Reinach wurde neben den Bodenwasseranalysen auch das Grundwasser untersucht. Aus den gut durchlässigen Birsschottern der Reinacher Heide wird Trinkwasser für rund 50'000 Menschen gefördert. Das Grundwasser in den Brunnen stammt aus zwei Grundwasserströmen, dem Hauptgrundwasserstrom gespeisen von teilweise künstlich infiltriertem Birswasser und

Les bougies ont été mises en place à environ 60 cm de profondeur, juste sous la zone racinaire. Dans le site forestier, une bougie supplémentaire a été installée à 120 cm de profondeur ainsi qu'une plaque poreuse à 200 cm de profondeur. Une autre plaque à la même profondeur a également été placée dans le site Blé. Sur l'ensemble des sites, des échantillons d'eau du sol ont été prélevés à un pas de temps de 14 jours pour l'analyse des nitrates. Dans les sites suisses, on a en plus analysé les sulfates, les chlorures et la conductivité électrique. Au début de l'étude, une analyse de l'ammonium a également été effectuée, mais elle a été abandonnée après environ 5 mois en raison du trop grand intervalle de prélèvement par rapport à la vitesse de transformation de l'ammonium dans le sol. L'analyse des isotopes a été effectuée chaque mois pour les sites suisses et tous les trimestres pour les sites allemands et français, à condition qu'une quantité suffisante d'eau puisse être rassemblée. L'analyse des isotopes était effectuée par la société Hydroisotop de Schweitenkirchen, en Allemagne. Comme l'illustre le Tab. 2.2.2, plusieurs paramètres pédologiques influençant le lessivage des nitrates ont été mesurés en plus du prélèvement d'eau du sol, comme le rapport C/Nitrates,  $N_{\min}$  et des mesures d'IRGA. Lors des mesures d'IRGA, la production de  $CO_2$  dans le sol a été mesurée [Wüthrich, 1994]. Celle-ci constitue une mesure de l'activité des microorganismes dans le sol et peut par ce biais être utilisée comme grandeur pour la transformation de matières - dont l'azote - dans le sol.

Afin de placer les concentrations de nitrates dans l'eau du sol dans les sites suisses dans un contexte plus large, on a effectué un bilan des doses d'engrais fertilisants, des dépôts secs et humides ainsi que des exportations par la récolte. La modélisation de la déperdition d'azote avec le modèle plante STICS et la réalisation d'un bilan de l'eau sont également prévus. Les données météorologiques nécessaires proviennent de deux stations de mesures officielles situées à une distance d'environ 5 km.

Dans la zone d'étude de Reinach, une étude des eaux souterraines a été effectuée en complément des analyses d'eau du sol. L'eau potable pour environ 50 000 personnes est extraite des cailloutis très perméables de la Birs dans la région de Reinach. L'eau des puits provient de deux courants souterrains, un courant souterrain principal alimenté par les eaux de la Birs dont une partie est infiltrée

einem westlich zufließenden Grundwasserstrom aus dem untersuchten Landwirtschaftsgebiet. Die Piezometer und Grundwasserbrunnen aus dem Landwirtschaftsgebiet zeigen starke Schwankungen des Nitratgehaltes und Höchstwerte um 35 bis 60 mg/L. Die anderen Grundwasserfassungen zeigen Werte um 10 bis 20 mg/L. Aus diesen beiden Grundwasserströmen wurden im Zeitraum September 2003 bis September 2004 14-tägig Nitratanalysen durchgeführt. Monatlich wurden ebenfalls in ausgewählten Piezometern und Trinkwasserbrunnen Isotopenproben erhoben. Insgesamt wurden 5 Piezometer, 5 Trinkwasserbrunnen und eine Quelle beprobt. Im Untersuchungsprogramm waren zudem drei Oberflächengewässer und zwei Drainagesysteme. An diesen Probenahmestellen wurden neben dem Nitrat auch Ammoniumanalysen durchgeführt. Seit Oktober 2004 bis September 2005 wird das Grundwasser noch monatlich auf Nitrat untersucht.

artificiellement, et un second courant amont situé plus à l'ouest provenant de la zone agricole comprise dans notre étude. Les piézomètres et puits d'eau souterraine alimentés à partir de cette zone agricole présentent de fortes fluctuations des teneurs en nitrates et des valeurs maximales atteignant 35 à 60 mg/l. Ces valeurs sont de l'ordre de 10 à 20 mg/l dans les autres zones de captage des eaux souterraines. Des analyses de nitrates ont été réalisées à un intervalle de 14 jours dans ces deux courants de circulation des eaux souterraines entre septembre 2003 et septembre 2004. Des prélèvements isotopiques ont également été effectués dans les piézomètres et puits de captage d'eau potable sélectionnés, à un pas de temps mensuel. Au total, 5 piézomètres, 5 puits de captage et une source ont été échantillonnés. Le programme de recherche incluait également trois cours d'eau et deux systèmes de drainage. Les nitrates dans les eaux souterraines seront encore recherchés entre octobre 2004 et septembre 2005.

Tab. 2.2.1 (auf deutsch): Bodenbeschreibung der 15 Standorte

	Boden Ansprache	Boden Bezeichnung	Skelett [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Kultur
<b>Schweiz</b>							
Gemüse	Löss-Braunerde-Pararendzina						Gemüse
Buntbrache	Kalk-Schotter-Braunerde (Regosol)	Wie Weizen					Seit 1997 Buntbrache
Kleegras	Kalk-Schotter-Braunerde (Regosol)	Wie Weizen					2003 Kunstwiese und Klee 2004 Weizen, Raps
Wald Waldgrube	Kalk-Schotter-Braunerde (Regosol)	<b>AhBv</b> 0 – 25 cm	20	32	45	23	Wald
		<b>BvC</b> 25 -60 cm	83	65	23	12	
		<b>C</b> > 60cm	96	66	24	10	
Raps	Kalk-Schotter-Braunerde (Regosol)	Wie Weizen					2003 Raps 2004 Weizen, Wintergerste
Weizen	Kalk-Schotter-Braunerde (Regosol)	<b>AhBv</b> 0-30cm	16	26	46	28	2003 Triticale 2004 Wiese, Wintergerste
		<b>BvC</b> 30-120cm	88	53	27	20	
		<b>C</b> >120cm	84	73	20	6	
Sportplatz	Kultosol (Accusol)	<b>Ap</b> 0-20cm	48	43	32	27	Kunstrasen
		<b>BvC</b> 20-60cm	52	47	24	28	
<b>Deutschland</b>							
Müllheim Standort 1	Schotter- Parabraunerde	<b>Ah</b> 0-20 cm	65	35	43	21	2003 Raps, Phacelia 2004 Weizen, Mais
		<b>Bv</b> 20-40cm	77	40	41	19	
		<b>Bt</b> 40-60cm	74	44	24	32	
		<b>C</b> > 60cm	80	70	10	20	
Müllheim Standort 2	Wie Standort 1	Wie Standort 1					2003 Maisbrache, S-Gerste 2004 W-Rüben, Raps, Brache
Müllheim Standort 3	Wie Standort 1	Wie Standort 1					2003 Raps 2004 Brache, Getreide
Müllheim Standort 4	Wie Standort 1	Wie Standort 1					2003 W-Weizen, Phacelia 2004 Phacelia, K-Mais

Fortsetzung Tab. 2.2.1 (auf deutsch)

	Boden Ansprache	Boden Bezeichnung	Skelett [%]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Kultur
<b>Frankreich</b>							
Rouffach	Parabraunerde	Ah 0-20 cm	8	31	47	22	2003 Mais 2004 Brache, Mais
		AiBv 20-35cm	4	52	31	16	
		BtBvt 35-55cm	3	20	44	35	
		Cv 55-100cm	45	33	43	24	
Rustenhart	Schotter-Parabraunerde	Ah 0-10cm	49	61	28	11	2003 Saatbeet 2004 Mais
		Al 10-30cm	82	62	27	11	
		Bt 30-45cm	89	61	18	21	
Sélestat Ind.	Löss-Braunerde	Ah 0-20cm	10	37	50	13	2003 Saatbeet 2004 Mais
		Bv 20-45cm	9	24	61	15	
		BvCv 45-80cm	3	21	67	12	
		C >80cm	7	19	72	10	
Sélestat Nord	Lösslehm-Braunerde	Ah 0-20cm	6	31	46	23	2003 Weizen 2004 Weizen
		BvCv 20-65cm	2	31	50	19	
		C >65cm	3	27	50	22	

Tab. 2.2.1 (en francais):Description des sols des 15 sites

	Identification des sols	Description des sols	cailloux [%]	Sable [%]	Limons [%]	Argiles [%]	Culture
<b>Suisse</b>							
Légumes	Löss-Braunerde-Pararendzina						Légumes
Jachère mixte	Kalk-Schotter- Braunerde (Regosol)	Idem blé					Jachère mixte depuis 1997
Trèfle	Kalk-Schotter- Braunerde (Regosol)	Idem blé					2003 Prairie artificielle et trèfle 2004 Blé, colza
Forêt Waldgrube	Kalk-Schotter- Braunerde (Regosol)	AhBv 0 – 25 cm	20	32	45	23	Forêt
		BvC 25 -60 cm	83	65	23	12	
		C > 60cm	96	66	24	10	
Colza	Kalk-Schotter- Braunerde (Regosol)	Idem blé					2003 Colza 2004 Blé, orge d'hiver
Blé	Kalk-Schotter- Braunerde (Regosol)	AhBv 0-30cm	16	26	46	28	2003 Triticale 2004 Blé, orge d'été
		BvC 30-120cm	88	53	27	20	
		C >120cm	84	73	20	6	
Terrain de sport	Kultisol (Accusol)	Ap 0-20cm	48	43	32	27	Pelouse artificielle
		BvC 20-60cm	52	47	24	28	

**Allemagne**

Müllheim Site 1	Schotter- Parabraunerde	Ah 0-20 cm	65	35	43	21	2003 Colza, phacélie 2004 Blé, maïs
		Bv 20-40cm	77	40	41	19	
		Bt 40-60cm	74	44	24	32	
		C > 60cm	80	70	10	20	
Müllheim Site 2	Idem site 1	Idem site 1					2003 Jachère, orge d'été 2004 Betterave d'hiver, colza, jachère
Müllheim Site 3	Idem site 1	Idem site 1					2003 Colza 2004 Jachère, céréales
Müllheim Site 4	Idem site 1	Idem site 1					2003 Blé d'hiver, phacélie 2004 Phacélie, maïs-grain

**France**

Rouffach	Parabraunerde	Ah 0-20 cm	8	31	47	22	2003 Maïs 2004 Jachère, Maïs
		AiBv 20-35cm	4	52	31	16	
		BtBvt 35-55cm	3	20	44	35	
		Cv 55-100cm	45	33	43	24	

Suite Tab. 2.2.1 (en français)

	Identification des sols	Description des sols	Composition [%]				Culture
			cailloux [%]	Sable [%]	Limons [%]	Argiles [%]	
Rustenhart	Schotter-Parabraunerde	Ah 0-10cm	49	61	28	11	2003 Lit de semences 2004 Maïs
		Al 10-30cm	82	62	27	11	
		Bt 30-45cm	89	61	18	21	
		Cv >45cm	88	72	15	13	
Sélestat Ind.	Löss-Braunerde	Ah 0-20cm	10	37	50	13	2003 Lit de semences 2004 Maïs
		Bv 20-45cm	9	24	61	15	
		BvCv 45-80cm	3	21	67	12	
		C >80cm	7	19	72	10	
Sélestat Nord	Lösslehm-Braunerde	Ah 0-20cm	6	31	46	23	2003 Blé 2004 Blé
		BvCv 20-65cm	2	31	50	19	
		C >65cm	3	27	50	22	

Tab. 2.2.2: Gemessene Parameter an den Schweizer Standorten

Tab. 2.2.2: Paramètres mesurés dans les sites suisses

Parameter / Paramètre	Matrix / Matrice	Messhäufigkeit / Fréquence de mesure
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bodenwasser / Eau du sol	Zwei Messungen pro Monat / Deux mesures par mois
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Bodenwasser / Eau du sol	Zwei Messungen pro Monat / Deux mesures par mois
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Bodenwasser / Eau du sol	Zwei Messungen pro Monat / Deux mesures par mois
Cl	Bodenwasser / Eau du sol	Zwei Messungen pro Monat / Deux mesures par mois
El. Leitfähigkeit / Conductivité hydraulique	Bodenwasser / Eau du sol	Zwei Messungen pro Monat / Deux mesures par mois
NO <sub>3</sub> Isotope ( <sup>15</sup> N und <sup>18</sup> O) / Isotope de NO <sub>3</sub> ( <sup>15</sup> N et <sup>18</sup> O)	Bodenwasser / Eau du sol	Eine Messung pro Monat / Une mesure par mois
N <sub>min</sub> / Reliquat d'azote	Boden / Sol	Eine Messung pro Jahreszeit / Une mesure par saison
C <sub>N</sub> -Verhältnis / Rapport C <sub>N</sub>	Boden / Sol	Eine Messung pro Jahreszeit / Une mesure par saison
IRGA	CO <sub>2</sub> an Bodenoberfläche / CO <sub>2</sub> à la surface du sol	Eine Messung pro Jahreszeit / Une mesure par saison
Bodeneigenschaften: / Caractéristiques du sol : (Korngrößenverteilung Lage- rungsdichte, Porenvolumen) / Caractéristiques du sol : (granulométrie, densité, volume des pores)	Boden / Sol	Einmalige Messung / Une seule mesure

### 2.2.3 Resultate

In diesem Abschnitt wird exemplarisch auf vier Standorte im Gebiet Reinach eingegangen. Die anderen Daten werden lediglich partiell zu Vergleichszwecken herangezogen. Die detaillierten Resultate der Bodenstandorte sowie der Grundwasseranalysen und de-

### 2.2.3 Résultats

Le rapport intermédiaire sera basé sur 4 sites de la région de Reinach à titre d'exemple. Les autres données ne seront utilisées que partiellement à titre de comparaison. Les résultats détaillés des sites pédologiques ainsi que les analyses des eaux souterraines



ren Interpretation werden im Schlussbericht näher erläutert.

In den Abbildern 2.2.2a-c sind die Nitratkonzentrationen des Bodenwassers der Standorte Klee gras, Raps und Weizen dargestellt. Auffällig sind die grossen Konzentrationschwankungen und die hohen Maximalwerte von über 800 mg/L. In die Abbilder sind die Abfolge der Kulturen, die Bodenbearbeitung und die Düngerzeitpunkte mit den Düngermengen eingetragen. Die Düngung scheint keinen direkten Einfluss auf die Nitratkonzentration des Bodenwassers zu haben. Dabei ist zu beachten, dass die Düngerbilanz ausgeglichen ist und nur soviel Stickstoff ausgebracht wird, wie schlussendlich von den Pflanzen wieder entzogen wird (siehe Tab. 2.2.3). Der Überschuss an Stickstoff, entspricht in etwa gerade dem Betrag der Deposition. Die Ernte hat ebenfalls keinen sichtbaren Einfluss auf die Nitratkonzentrationen. Bei der Bodenbearbeitung gibt es Hinweise auf eine Erhöhung der Konzentrationen bei allen drei Standorten im Herbst 2004, wobei dieser Effekt beim Weizen weniger gut erkennbar ist. Beim Weizen scheint die Auswaschung allerdings bereits vor der Bearbeitung begonnen zu haben wie die steigenden Nitratwerte in der Saugplatte in 200 cm Tiefe zeigen. Der Pflanzenbewuchs hat vermutlich eine wichtige Funktion für die Nitratkonzentration im Bodenwasser. Kurze Zeit nach der Aussaat kann eine Reduktion der Nitratwerte in 60 cm Bodentiefe festgestellt werden. Beim Standort Klee gras steigt der Nitratgehalt im Herbst 2003 allerdings rund anderthalb Monate nach der Saat deutlich an.

Eine Erklärung für die stark variierenden Nitratgehalte im Boden ist auch im Wassergehalt zu suchen. Hohe Nitratgehalte können durch die Aufkonzentrierung der Bodenlösung vorwiegend im Spätsommer und Herbst entstehen, was bei den drei Standorten Klee gras, Raps und Weizen in 60 cm Tiefe der Fall zu sein scheint. Bei längeren stärkeren Niederschlägen wie im Herbst 2003 und 2004 wird das Nitrat dann in tiefere Bodenschichten ausgewaschen, wie dies in Abbild 2.2.2c des Standortes Weizen zu sehen ist. Eine genauere Beurteilung des Einflusses des Bodenwasserhaushaltes auf die Nitratkonzentrationen und der Nitratauswaschung wird aufgrund der Wasserbilanz möglich sein.

et leur interprétation seront présentés de façon plus explicite dans le rapport final.

Les Fig. 2.2.2a-c présentent les concentrations en nitrates dans l'eau du sol pour les sites Trèfle, Colza et Blé. Les fortes variations des concentrations en nitrates et les valeurs maximales élevées dépassant 800 mg/l y apparaissent de façon frappante. L'assolement, le travail du sol, les périodes et quantités de fertilisation sont indiqués dans les figures. La fertilisation ne semble pas avoir d'influence directe sur la concentration en nitrates de l'eau du sol. Il faut par ailleurs noter que le bilan d'engrais est nul, et qu'une quantité d'azote identique est apportée puis retirée par les plantes (cf. Tab. 2.2.3). Le surplus d'azote correspond quasiment à la déposition. La récolte n'a également aucune influence directe sur les concentrations en nitrates. Une augmentation de la concentration en nitrates sous l'effet du travail du sol ne se produit que dans trois sites en automne 2004, et cet effet est moins reconnaissable dans le site Blé. Dans ce dernier site, le lessivage des nitrates semble toutefois commencer déjà avant le travail du sol, comme le montrent les valeurs croissantes des concentrations de nitrates mesurées par la plaque poreuse située à 200 cm de profondeur. La croissance végétale semble avoir une fonction importante pour les concentrations en nitrates de l'eau du sol. Une réduction des nitrates peut être établie à 60 cm de profondeur peu de temps après le semis. Cependant, à l'automne 2003, les teneurs en nitrates dans le site Trèfle augmentent nettement environ un mois et demi après le semis.

La teneur en eau constitue également un élément d'explication des fortes variations des teneurs en nitrates dans le sol. De fortes teneurs en nitrates peuvent survenir par augmentation de la concentration des eaux du sol, surtout en fin d'été et en automne. Ceci semble être le cas à 60 cm de profondeur pour les trois sites Trèfle, Colza et Blé. Suite à de fortes précipitations prolongées comme en automne 2003 et 2004, les nitrates sont lessivés dans les couches plus profondes du sol, comme on peut le constater dans la Fig. 2.2.2c pour le site Blé. Une estimation plus précise de l'influence des transferts d'eau dans le sol sur les concentrations en nitrates et sur le lessivage des nitrates sera possible grâce au bilan de l'eau.

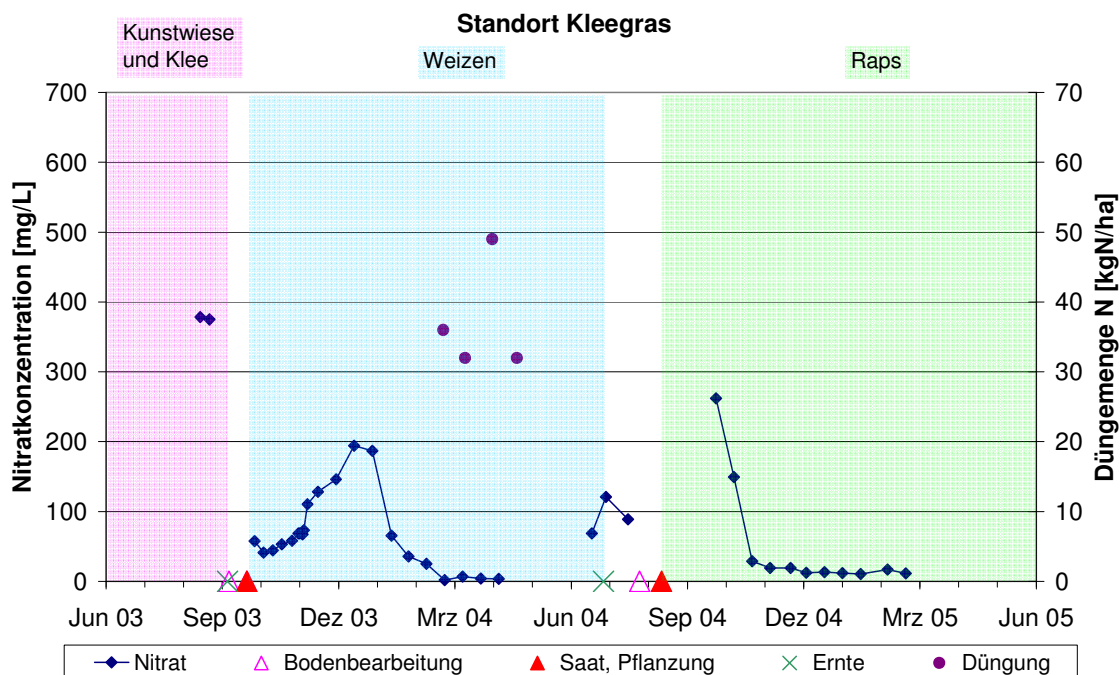
Zusammengefasst kann gesagt werden, dass über die Düngung, die Landbewirtschaftung und den Saatzeitpunkt die Höhe der Nitratkonzentrationen zwar beeinflusst, eine Auswaschung jedoch nicht verhindert werden kann.

En résumé, on peut dire que bien que la fertilisation, le travail du sol et le moment du semis influencent fortement les niveaux de concentrations des nitrates, mais le lessivage ne peut toutefois pas être empêché.

Tab. 2.2.3: *Düngerbilanz 2004. Bei den Düngerdaten handelt es sich um gemessene Werte, die Daten der Deposition stammen von Rihm und Dällenbach 1999, diejenigen der Ernteentzüge wurden aus dem gemessenen Ertrag und Erfahrungswerten berechnet [Anonym, 2001].*

Tab. 2.2.3: *Bilan d'engrais 2004. Les données concernant les engrais sont des valeurs mesurées, les données de déposition sont tirées de Rihm et Dällenbach 1999, les exportations par la récolte ont été calculées d'après les rendements mesurés et des valeurs expérimentales [Anonyme, 2001]*

	Anzahl Düngungen / Nombre d'apports d'engrais	Düngereintrag Entrées de Nitrates par les engrais N [kg/ha]	Depositionen Déposition N [kg/ha]	Ernteentzug Exportation par la récolte N [kg/ha]	Saldo Solde [kg/ha]
Kleegras / Trèfle	4	149	10-20	-140	19 - 29
Raps / Colza	4	152	10-20	-140	22 - 32
Weizen / Blé	3	87	10-20	-150	-43 - -53
Buntbrache / Jachère mixte	0	0	10-20	0	10 - 20



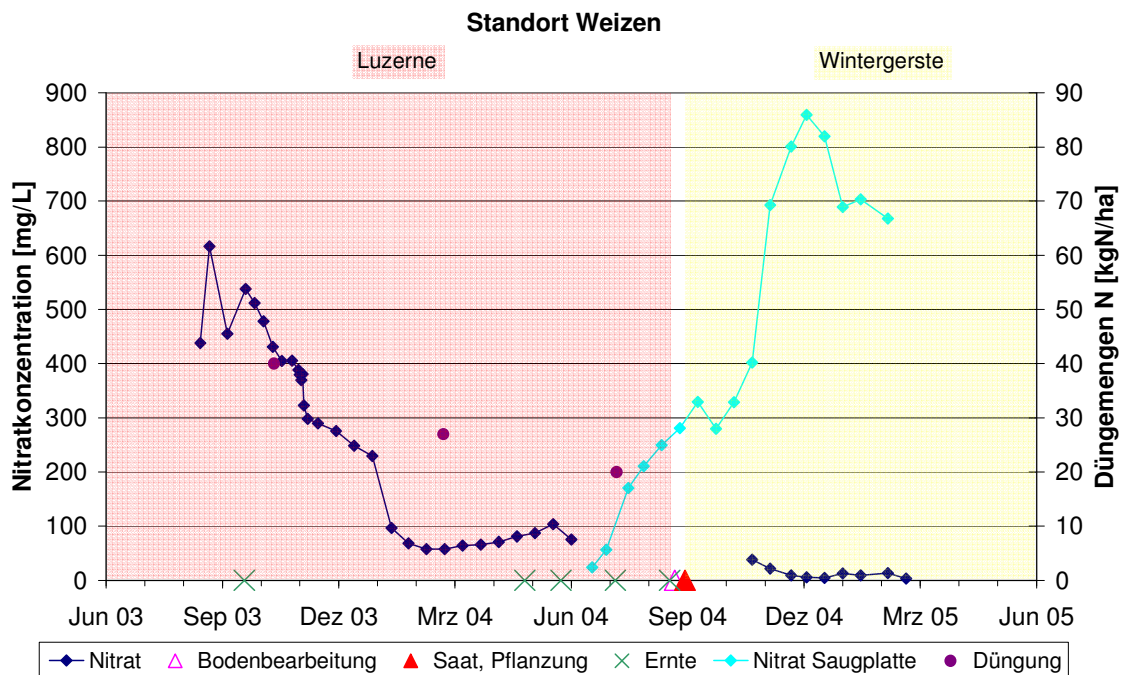
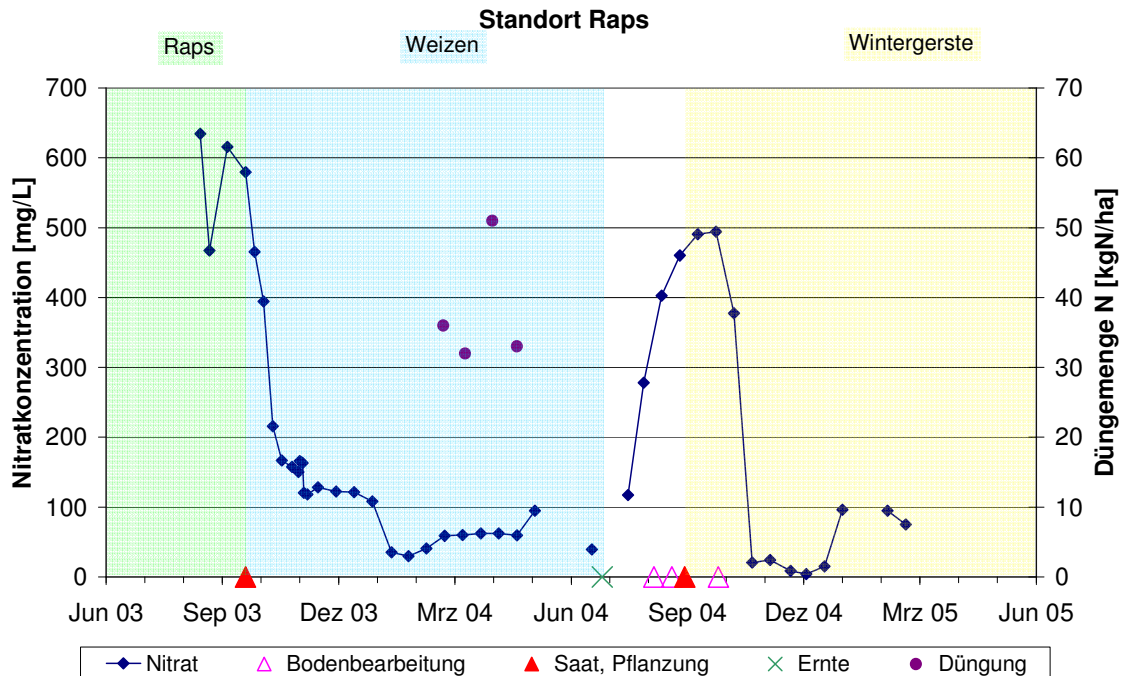


Abb. 2.2.2a-c: Verlauf der Nitratkonzentrationen im Bodenwasser der Standorte Klee gras, Raps und Weizen. Einge tragen sind die Saat- und Erntezeitpunkte mit den jeweiligen Kulturen sowie die Düngergaben und die Zeitpunkte der Bodenbearbeitung. Die Saugkerzen wurden auf 60 cm Tiefe eingebaut, die Saugplatte beim Standort Weizen in 200 cm Tiefe. Bei den Standorten Klee gras und Raps wurden ausschliesslich mineralische Dünger eingesetzt, beim Weizen ausschliesslich organischer Dünger.

Abb. 2.2.2a-c: Evolution des concentrations en nitrates dans l'eau du sol pour les sites Trèfle, Colza et Blé. Sont indiquées les dates de semis et de récolte pour chaque culture ainsi que les doses d'engrais et les dates de travail du sol. Les bougies poreuses se trouvent à 60 cm de profondeur et la plaque poreuse dans le site Blé à 200 cm de profondeur. Les sites Trèfle et Colza ont été fertilisés exclusivement avec des engrais minéraux et le site Blé exclusivement avec des engrais organiques.

Als Vergleich zu diesen landwirtschaftlich genutzten Standorten dient der Standort Buntbrache. Hier wird seit 1997 kein Dünger eingetragen und es findet kein Ernteentzug und keine Bodenbearbeitung statt (Tab. 2.2.1 und 2.2.3). Die Nitratkonzentrationen an diesem Standort sind sehr stabil und bleiben das ganze Jahr über auf geringen Werten mit einem Median von 1.6 mg/L und einer Maximumkonzentration von 17.7 mg/L. Eine jahreszeitliche Nitratauswaschung im Herbst/Winter ist nicht zu beobachten. Aufgrund dieser Tatsache kann angenommen werden, dass die Düngung und die Bodenbearbeitung der landwirtschaftlichen Flächen sehr wohl einen Einfluss auf die Auswaschung haben kann. Die während der Wachstumsphase der Pflanzen ausgebrachten Dünger werden vermutlich teilweise in den aktiven Stickstoffpool des Bodens eingebaut (siehe Abb.2.2.1). Der Anteil des aktiven Pools, der bis zur Ernte der Pflanzen nicht aufgebraucht wurde, kann dann im Herbst/Winter ausgewaschen werden.

Die Isotopenzusammensetzung des Bodenwassers der drei Standorte Klee gras Weizen und Raps zeigt eine partielle Denitrifikation (Abb. 2.2.3). Aufgrund der Isotopenmuster kann die Nitratherkunft den Prozessen Düngung und Mineralisation organischer Substanz im Boden zugeordnet werden. Im jahreszeitlichen Verlauf können die Prozesse jedoch nicht weiter unterschieden werden. So kann der Einfluss z.B. von Hofdüngern auf die Veränderung des Isotopenmusters nur sehr schwach erkannt werden. Dabei ist aber zu beachten, dass jeweils nur sehr geringe Mengen an Dünger ausgebracht werden und daher ein messbarer Effekt auf die Zusammensetzung der Nitratisotope auch nicht zwingend zu erwarten ist.

Le site Jachère mixte permet d'établir des comparaisons par rapport à ces sites soumis à exploitation agricole. Sur ce site, aucun apport d'engrais n'a été effectué depuis 1997 et il n'est soumis à aucune récolte ni travail du sol (Tab. 2.2.1 et 3). Les concentrations de nitrates y sont très stables et restent toute l'année à des niveaux faibles, avec une médiane de 1,6 mg/l et une concentration maximale de 17,7 mg/l. Aucun lessivage de nitrates saisonnier en automne/hiver n'y est observé. On peut donc admettre qu'il est fort possible que la fertilisation et le travail du sol des surfaces agricoles influencent le lessivage des nitrates. Les fertilisants apportés pendant la période de croissance des végétaux sont probablement partiellement stockés dans le pool d'azote actif du sol (cf. Fig. 2.2.1). La fraction du pool actif non utilisée par les végétaux peut alors être lessivée en automne ou en hiver.

La composition isotopique de l'eau du sol dans les trois sites Trèfle, Blé et Colza met en évidence une dénitrification partielle (Fig. 2.2.3). Sur la base des échantillons isotopiques, l'origine des nitrates issus des processus de fertilisation et de minéralisation de la matière organique dans le sol peut être déterminée. Cependant, ces processus ne peuvent pas être différenciés davantage au cours des saisons. Ainsi, l'influence des déjections animales sur les modifications des échantillons isotopiques ne peut être que très faiblement distinguée. Sur ce point, il faut toutefois noter que les quantités d'engrais apportées sont chaque fois très faibles, et que par conséquent l'on ne doit pas s'attendre à observer forcément un effet mesurable sur la composition isotopique des nitrates.

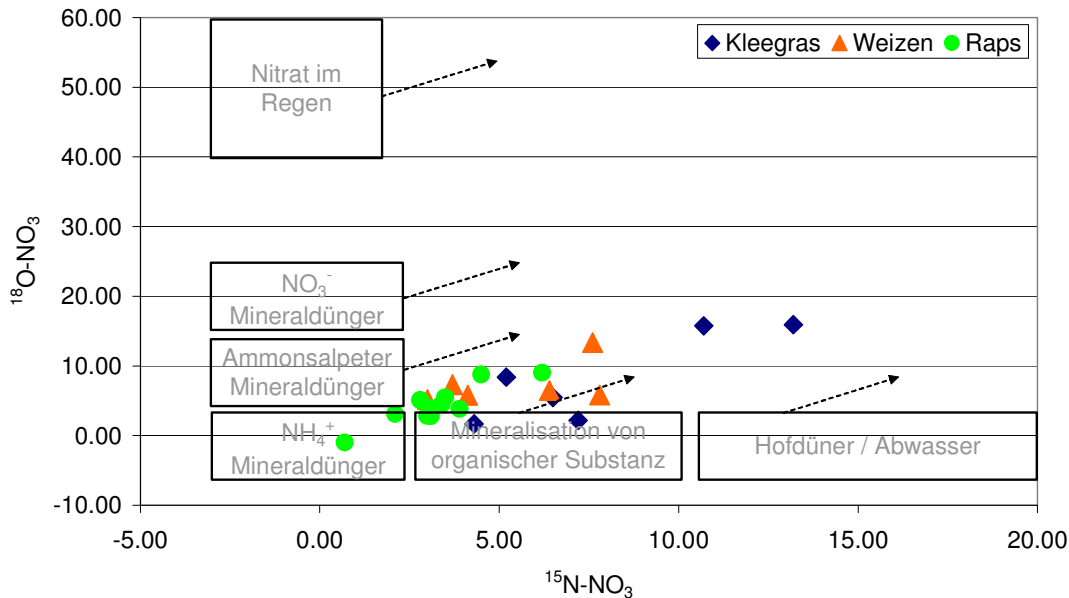


Abb. 2.2.3: Isotopenzusammensetzung von Nitrat unterschiedlicher Herkunft und gemessene Isotopenwerte im Bodenwasser bei den Standorten Klee gras, Weizen und Raps im Gebiet Reinach. Bei den Mineraldüngern handelt es sich um industriell hergestellte Stickstoffverbindungen. In den Nitratquellen Regen und  $\text{NO}_3^-$  Mineraldüngern ist bereits Nitrat enthalten. In den übrigen Nitratquellen liegt der Stickstoff organisch gebunden oder als Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) vor. Dieser Stickstoff muss erst durch Mineralisation oder Nitrifikation zu Nitrat umgewandelt werden. Die Pfeile zeigen die Richtung der Veränderung der Isotopenverhältnisse aufgrund der partiellen Denitrifikation an [nach Voerkelius, 1990 und Mengis, 1999].

Fig. 2.2.3: Composition isotopique des nitrates de différentes origines et valeurs isotopiques mesurées dans l'eau du sol dans les sites Trèfle, Blé et Colza dans la région de Reinach. Les engrais minéraux sont des composés azotés d'origine industrielle. Les sources de nitrates Précipitations et Engrais minéraux  $\text{NO}_3^-$  contiennent déjà des nitrates. Dans les autres sources de nitrates, l'azote est présent soit fixé par des liaisons organiques, soit en tant qu'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Cet azote doit d'abord être converti en nitrates par minéralisation ou par nitrification. Les flèches indiquent la direction des variations des liaisons isotopiques sur la base d'une dénitrification partielle [d'après Voerkelius, 1990 et Mengis, 1999].

## 2.2.4 Ausblick

Die dargestellten Resultate aus dem Gebiet Reinach zeigen grosse jahreszeitliche Schwankungen der Nitratwerte und teilweise sehr hohe Konzentrationen im Bodenwasser. Die Isotopenanalysen deuten auf eine Herkunft des Nitrates von mineralischem Dünger und organischer Substanz im Boden hin. Einen wichtigen Beitrag zum konkreteren Verständnis der hohen Nitratgehalte im Bodenwasser sollte die Wasserbilanzierung liefern. Hohe Nitratwerte können beispielsweise durch die Aufkonzentrierung der Bodenlösung durch die Verdunstung entstehen. Ob das Nitrat dann auch tatsächlich ausgewaschen wird, hängt stark vom Wassereintrag ab. Für die Berechnung der Nitratfracht muss deshalb auch die Grundwasserneubildungsrate berechnet werden, da die Wasserentnahmen über die Saugkerzen kei-

## 2.2.4 Perspectives

Les résultats de la région de Reinach présentés ici montrent d'importantes variations saisonnières des teneurs en nitrates et dans certains cas de très fortes concentrations dans l'eau du sol. Les analyses isotopiques indiquent que les nitrates proviennent des engrais minéraux et des substances organiques du sol. Le bilan hydrique devrait largement contribuer à une meilleure compréhension des fortes teneurs en nitrates dans l'eau du sol. Ces fortes valeurs pourraient par exemple provenir de l'augmentation de la concentration des eaux du sol suite à des phénomènes d'évaporation. Le lessivage effectif des nitrates dans ce cas dépend largement des entrées d'eau. C'est pourquoi il est également nécessaire de déterminer la vitesse de recharge de la nappe afin de calculer la charge en nitrates, les prélèvements

ne Berechnung des Wasserflusses zulassen. Für die weitere Quantifizierung des Nitrattransportes in Reinach ist die Einbindung der Daten in ein Grundwassermodell geplant. Mithilfe der Modellierung und der Isotopendaten sollte die Nitratherkunft in den Grundwasserbrunnen und die Prozesse, die zu den gemessenen Nitratkonzentrationen führen, erklärt werden können. Die bisher im Grundwasser gemessenen Nitratkonzentrationen entsprechen glücklicherweise nicht denjenigen des Bodenwassers. Die Modellierung und die Isotopenanalysen sollen auch hier dazu beitragen, den Effekt einer möglichen Denitrifizierung oder einer reinen Verdünnung der Konzentrationen zu verstehen. In einem weiteren Schritt wird die Übertragbarkeit der Resultate auf die Oberrheinebene untersucht. Dabei spielt die Auswertung der Resultate der insgesamt 8 Testflächen in Deutschland und Frankreich eine entscheidende Rolle. Erste Resultate dieser Testflächen zeigen ähnliche Nitratkonzentrationen und Isotopenmuster wie in Reinach.

d'eau avec les bougies poreuses ne permettant aucun calcul de circulation d'eau. Pour les futures quantifications du transport de nitrates dans la région de Reinach, il est prévu de relier les données avec un modèle hydrodynamique. A l'aide de la modélisation et des données isotopiques, il devrait être possible d'expliquer l'origine des nitrates dans les puits d'eaux souterraines ainsi que les processus conduisant aux concentrations de nitrates mesurées. Heureusement, les concentrations mesurées dans l'eau de nappe ne correspondent pas à celles de l'eau du sol. La modélisation et l'analyse isotopique doivent également participer à une meilleure compréhension des effets d'une éventuelle dénitrification ou d'une simple dilution des concentrations en nitrates. Au cours d'une prochaine étape, on recherchera les moyens de transposer ces résultats à la plaine du Rhin Supérieur. Dans ce cadre, l'analyse des résultats de l'ensemble des huit parcelles françaises et allemandes jouera un rôle prépondérant. Les premiers résultats montrent des concentrations en nitrates et des échantillons isotopiques similaires à celles observés à Reinach.

## 2.3 Flächenhafte Abbildung von Stickstoff-Umsätzen im Projektgebiet – das Modell STOFFBILANZ

*H. Lambrecht, M. Finck, St. Korte, M. Casper, J. Grimm-Strele*

### 2.3.1 Einsatz des Modells STOFFBILANZ in MoNit

Die zeitliche Dynamik des Stickstoffhaushaltes und die komplexen Vorgänge, die für die Nitratauswaschung eine Rolle spielen, erfordern zweifellos eine detaillierte, prozessorientierte Modellierung, wie sie durch das Modell STICS geschieht (Kap. 2.1). Andererseits ist es das Ziel von MoNit, ein Planungsinstrument für den Oberrheingraben zwischen Basel und Karlsruhe, d.h. für ein Gebiet von 4.500 km<sup>2</sup> zu entwickeln. Da der Grundwasserkörper und die Oberflächengewässer eines solchen Teilraums nie isoliert betrachtet werden können, umfasst das gesamte Projektgebiet mit den relevanten Einzugsgebieten sogar eine Fläche von etwa 14.000 km<sup>2</sup>.

In MoNit erfolgt die flächenhafte Abdeckung des Projektgebiets durch den Einsatz des flächendifferenzierten Bilanzmodells STOFFBILANZ, das an der TU Dresden entwickelte wurde. Unter Berücksichtigung der regionalen Besonderheiten des Projektgebietes wurde dieses Modell in enger Zusammenarbeit zwischen der TU Dresden und dem Teilprojekt Nitratverlagerung angepasst und weiterentwickelt. Während STOFFBILANZ durch seinen modularen Aufbau grundsätzlich eine umfassendere Betrachtung von Wasser-, Nitrat- und Phosphortransport sowie Bodenerosion erlaubt wird in MoNit nur das Nitratmodul genutzt. Unter Berücksichtigung der heutigen wie der „historischen“ Einträge wird der gegenwärtige Zustand des Grundwassers in der Region nachvollzogen.

### 2.3.2 Bilanzierungsansatz

Es gibt verschiedene Ansätze zur Abschätzung diffuser Nitrateinträge. So genannte Hoftorbilanzen gehen von den Stickstoffumsätzen innerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs aus. Einfache Flächenbilanzen beschreiben der Stickstoffsaldo, der sich durch die Zufuhr an Düngemitteln und die Abfuhr an Erntegut auf einer Fläche ergibt. Der Ansatz von STOFFBILANZ stellt eine Erweiterung

## 2.3 Répartition spatiale des flux d'azote dans la zone d'étude – le modèle STOFFBILANZ

*H. Lambrecht, M. Finck, St. Korte, M. Casper, J. Grimm-Strele*

### 2.3.1 Mise en œuvre du modèle STOFFBILANZ dans MoNit

La dynamique temporelle du cycle de l'azote et les processus complexes jouant un rôle dans le lessivage des nitrates exigent sans aucun doute la mise en œuvre d'une modélisation détaillée à base physique, de type STICS (chapitre 2.1). Par ailleurs, l'objectif de MoNit est de développer un instrument d'orientation pour le Fossé rhénan entre Bâle et Karlsruhe, soit pour une zone de 4500 km<sup>2</sup>. Les eaux souterraines et les eaux de surface ne pouvant pas être considérés séparément, la superficie totale à laquelle le projet doit s'intéresser égale environ 14 000 km<sup>2</sup>, incluant les zones amont correspondantes.

Dans MoNit, la mise en oeuvre du modèle STOFFBILANZ permet une spatialisation du bilan d'azote sur l'ensemble de la zone du projet. Ce modèle, développé à la TU de Dresde, a été adapté et développé plus avant dans le cadre d'une collaboration étroite entre la TU de Dresde et le sous-projet Transferts des nitrates, afin de tenir compte des particularités régionales de la zone du projet. Bien que STOFFBILANZ, grâce à sa construction modulaire, permette en principe d'aborder des processus tels que les transports d'eau, de nitrates et de phosphore ainsi que l'érosion des sols, seul le module nitrates est utilisé dans MoNit. Prenant en considération les entrées d'azote actuelles et « historiques », l'état actuel des eaux souterraines dans la région sera simulé.

### 2.3.2 Méthodes de bilan

Il existe différentes approches pour estimer les émissions diffuses des nitrates. Les soldes dits « soldes à l'exploitation » (Hoftorbilanzen) se fondent sur les transferts d'azote au sein des exploitations agricoles. Les soldes à la surface simples décrivent la différence entre les entrées d'azote par la fertilisation et les sorties par l'exportation de la récolte pour une surface donnée. L'approche

zung des Flächenbilanzansatzes dar, insofern der Stickstoffkreislauf im Boden in vereinfachter Weise in die Betrachtung einbezogen wird.

Die Quellen mineralischen Stickstoffs im Modell sind:

- Eintrag von Außen: durch (i) den kulturartbezogenen Mineraldüngeraufwand sowie durch (ii) den Anfall von Wirtschaftsdünger, welcher aus der Viehbesatzdichte ermittelt wird. Hierbei werden Lagerungs- und Ausbringungsverluste in Höhe von 50% angerechnet und berücksichtigt, dass beim Einsatz von Wirtschaftsdünger der Mineraldüngeraufwand reduziert wird. Eine weitere Quelle stellt (iii) die atmosphärische Deposition dar. Schließlich wird (iv) die Fixierung von Stickstoff durch Leguminosen berücksichtigt.
- Mobilisierung im Boden: durch (i) die Mineralisierung von organischem Dünger, der in Vorjahren aufgebracht wurde, (ii) die von den Bodeneigenschaften abhängige Nachlieferung von mineralischem Stickstoff aus der Bodenmatrix sowie (iii) die Entstehung oder auch Mobilisierung von Stickstoff aus Pflanzenresten, die nach der Ernte auf dem Feld verbleiben.

Die Senken mineralischen Stickstoffs im Modell sind:

- der Ernteentzug, d.h. die Abfuhr des Hauptproduktes und gegebenenfalls des Nebenproduktes vom Feld.
- die Denitrifikation in den oberen Bodenschichten. Diese ist Abhängig von der Bodenart sowie dem Bodentyp und wird über eine Michaelis-Menten-Kinetik abgebildet.
- Immobilisierung in Ernte- und Wurzelrückständen.

Gegenüber der einfachen Flächenbilanz bildet das Modell STOFFBILANZ auch die Immobilisierung und Mobilisierung ab. Da der Bilanzzeitraum ein Jahr umfasst, gibt es a priori keine Informationen über vorhergehende Jahre oder Folgejahre. Es wird aber von einem stationären Zustand ausgegangen, in dem sich die Bewirtschaftungsweise von Jahr zu Jahr nicht oder nur unwesentlich verändert. Für den Einsatz von Wirtschaftsdünger bedeutet das, dass immer gerade soviel or-

de STOFFBILANZ va au-delà de ce dernier solde, dans la mesure où le cycle de l'azote dans le sol est pris en considération de manière simplifiée.

Les sources d'azote minéral dans le modèle sont les suivantes :

- Entrées de l'extérieur : par (i) les apports d'engrais minéraux en fonction de la culture, comme par (ii) les apports des déjections animales, qui sont déterminées en fonction de la densité de bétail. L'azote contenu dans les déjections animales est réduit de 50 % pour comptabiliser les pertes pendant le stockage et l'épandage. En plus, le modèle prend en compte une réduction de la dose d'engrais minéral apportée en cas d'un apport de déjections animales. La déposition atmosphérique (iii) constitue une source supplémentaire d'apport. Enfin (iv) est prise en compte la fixation d'azote par les légumineuses ;
- Mobilisation dans le sol : elle comprend (i) la minéralisation des déjections animales apportées au printemps, (ii) la libération de l'azote minéral issu de la matrice du sol en fonction des caractéristiques du sol ainsi que (iii) la mobilisation de l'azote issu des résidus des cultures restant dans le champ après la récolte.

Les puits d'azote minéral dans le modèle sont les suivants :

- L'exportation à la récolte, c'est-à-dire l'enlèvement hors de la surface du produit principal de la culture et le cas échéant des produits secondaires ;
- La dénitrification dans les couches supérieures du sol. Celle-ci dépend de la texture du sol ainsi que du type de sol et est reproduite par une cinétique de Michaelis-Menten ;
- L'immobilisation dans les résidus de récolte et les racines.

Au contraire des soldes à la surface simples, STOFFBILANZ reproduit également l'immobilisation et la mobilisation. Le bilan s'effectuant sur une année, il n'y a pas a priori d'information sur l'année précédente ou suivante. STOFFBILANZ se fonde cependant sur un état stationnaire, dans lequel les méthodes d'exploitation ne changent pas ou peu d'une année à l'autre. Pour les apports de déjections animales, cela signifie qu'il y a autant d'azote organique minéralisé (en pro-



ganischer Stickstoff aus dem Düngereinsatz der Vorjahre mineralisiert wird, wie vom Wirtschaftsdüngereinsatz im Bilanzjahr immobilisiert wird. Aus diesem Grund wird der nach Lagerungs- und Ausbringungsverlusten verbleibende Anteil Wirtschaftsdünger effektiv als vollständig pflanzenverfügbar betrachtet.

Der Anbau von Zwischenfrüchten wird bei STOFFBILANZ nicht berücksichtigt. Der Zwischenfruchtanbau wirkt sich vor allem auf den Zeitpunkt aus, zu dem mineralischer Stickstoff im Boden verfügbar wird. Da Zwischenfrüchte in der Regel jedoch auf dem Feld verbleiben, wird der Stickstoff im Sinne einer Bilanz nicht entfernt. Sie wirken gewissermaßen als Zwischenspeicher über die Winterzeit. Diese Überlegung verdeutlicht sehr anschaulich die Grenzen eines Bilanzansatzes und mithin des Modells STOFFBILANZ. Zur Untersuchung der Auswirkungen bestimmter Fruchtfolgen oder auch Winterbegrünungen auf die Nitratauswaschung dient, wie eingangs erläutert, das prozessorientierte Modell STICS. Beide Modelle ergänzen sich im Gesamtkonzept von MoNit, wobei bei STOFFBILANZ der flächenhafte Nitrataustrag und bei STICS die zeitliche Dynamik desselben im Vordergrund steht.

### **2.3.3 Von STOFFBILANZ benötigte Daten**

Tabelle 2.3.1 gibt eine Übersicht über die Daten, die benötigt werden, um den oben beschriebenen Bilanzumsatz flächig umzusetzen. Ein großer Teil der Arbeit des Projekts bestand in der Aufbereitung und grenzüberschreitenden Abstimmung von Datengrundlagen. Diese werden in den Kapiteln 2.4 für die deutsche Seite und 2.5 für die französische Seite näher erläutert.

Für einige Bilanzglieder sind mehrere Datenquellen erforderlich. So wird der Ernteentzug anhand von Ertragsdaten und Entzugsfaktoren berechnet. Die verwendeten Daten beziehen sich entweder auf Kulturarten, Gemeinden bzw. Cantons oder auf spezifische Rasterelemente. Im letzten Fall mussten in der Regel räumlich kontinuierliche Daten aus Karten oder Satellitenaufnahmen in die Pixelarstellung des Rasters überführt werden.

venance des apports printaniers) qu'il y en a d'immobilisé pendant l'année du bilan. C'est pourquoi la part restante de l'azote issu des déjections animales est considérée comme entièrement disponible pour les cultures après déduction des pertes par stockage et par épandage.

Les cultures intermédiaires ne sont pas prises en compte par STOFFBILANZ. Les cultures intermédiaires modifient principalement le moment de l'année pendant lequel l'azote minéral devient disponible dans le sol. Les cultures intermédiaires restent en règle générale dans le champ, et l'azote n'est donc pas perdu au sens du bilan. Ces cultures jouent d'une certaine manière un rôle de stockage intermédiaire pendant la période hivernale. Cette réflexion précise clairement les limites de l'approche de bilan et par conséquent celles du modèle STOFFBILANZ. L'étude des effets de différentes successions culturales ou de cultures intermédiaires hivernales sur le lessivage des nitrates nécessite l'utilisation du modèle à base physique STICS, comme cela a été expliqué plus haut. Les deux modèles se complètent dans le concept global de MoNit, l'accent portant sur la spatialisation du lessivage de nitrates pour STOFFBILANZ et sur la dynamique temporelle pour STICS.

### **2.3.3 Données requises par STOFFBILANZ**

Le tableau 2.3.1 résume les données nécessaires à la spatialisation du bilan décrit ci-dessus. La préparation et l'harmonisation transfrontalières des bases de données représentent une large part des tâches du projet. Ces données seront présentées de façon plus détaillée dans le chapitre 2.4 pour le côté allemand et dans le chapitre 2.5 pour le côté français.

Certains éléments du bilan nécessitent plusieurs sources de données. Par exemple, les exportations par la récolte sont calculées à partir des données de rendements et des facteurs d'exportation. Les données utilisées concernent soit des cultures, des communes ou des cantons, ou bien des pixels spécifiques. Dans le dernier cas, des données spatialisées et continues issues de cartes, ou bien des images satellitaires ont en général dû être converties pour obtenir les valeurs des pixels.

Tab. 2.3.1: Übersicht über die Datengrundlagen von STOFFBILANZ

Tab: 2.3.1: Synthèse des données requises par STOFFBILANZ

Informationen / Information		
bezogen auf: / concernant:	über: / sur:	benötigt für: / pour:
Kulturart / Culture	Ertrag / Rendement	Ernteentzug / Exportation par la récolte
	N-Entzugsfaktoren / Facteurs d'exportation de N	
	N-Bedarfsfaktoren / Besoins en N	Immobilisierung im Nebenprodukt / Immobilisation dans les résidus
	Düngepraxis / Pratiques de fertilisation	Handelsdünger / Engrais minéraux
	Nachlieferung aus Ernterückständen / Minéralisation des résidus de récolte	Nachlieferung, Mobilisierung / Minéralisation, mobilisation
Gemeinde / Commune	Viehbesatz / Bétail	Wirtschaftsdünger, Handelsdünger / Déjections animales, engrais minéraux
	Agrarstatistik / Statistiques agraires	Regionalisierung (siehe Kap. 2.3.4) / Régionalisation (cf. chap. 2.3.4)
Rasterzelle / Maille	Landnutzung / Occupation du sol	
	Bodenart, Bodentyp / Texture et type de sol	Anpassung Erträge, Denitrifikation / Adaptation des rendements, dénitrification
	Nachlieferung aus Bodenmatrix / Minéralisation des matières organiques du sol	Nachlieferung, Mobilisierung / Minéralisation, mobilisation
	Relief / Relief	Anpassung Erträge, Nachlieferung / Adaptation des rendements, minéralisation
	Grundwasserneubildung / Recharge de la nappe	Berechnung von Konzentrationen / Calculs des concentrations
	atmosphärische Deposition / Déposition atmosphérique	N-Einträge aus der Luft und durch Niederschlag / Entrées de nitrates par l'air et les précipitations

### 2.3.4 Regionalisierung der Ergebnisse

Die Regionalisierung der Daten erfolgt in zwei Schritten (Abb. 2.3.1). STOFFBILANZ operiert im inneren Projektgebiet auf einem 500m- und im äußeren Projektgebiet auf einem 1000m-Raster. Alle benötigten Daten werden daher in dieser Auflösung aufbereitet. Insbesondere wird jeder Rasterzelle eine Hauptnutzungsform zugeordnet (siehe Kap. 2.3.5). Mit Ausnahme der Hauptnutzungsform Acker, basiert die Berechnung des Nitrataustrags dann auf dieser Hauptnutzungsform.

### 2.3.4 Régionalisation des résultats

La régionalisation des données s'effectue en deux étapes (Fig. 2.3.1). Pour la zone intérieure du projet (zone de l'aquifère principal), STOFFBILANZ utilise des cellules de 500 m alors la taille des pixels atteint 1000 m pour la partie extérieure du projet. Toutes les données nécessaires ont ainsi été préparées aux résolutions correspondantes. Dans le détail, une classe d'utilisation du sol principale a été attribuée à chaque cellule (voir chap. 2.3.5). A l'exception de la classe Terres arables, les calculs de lessivage des nitrates sont basés sur la classe de l'utilisation principale du sol.

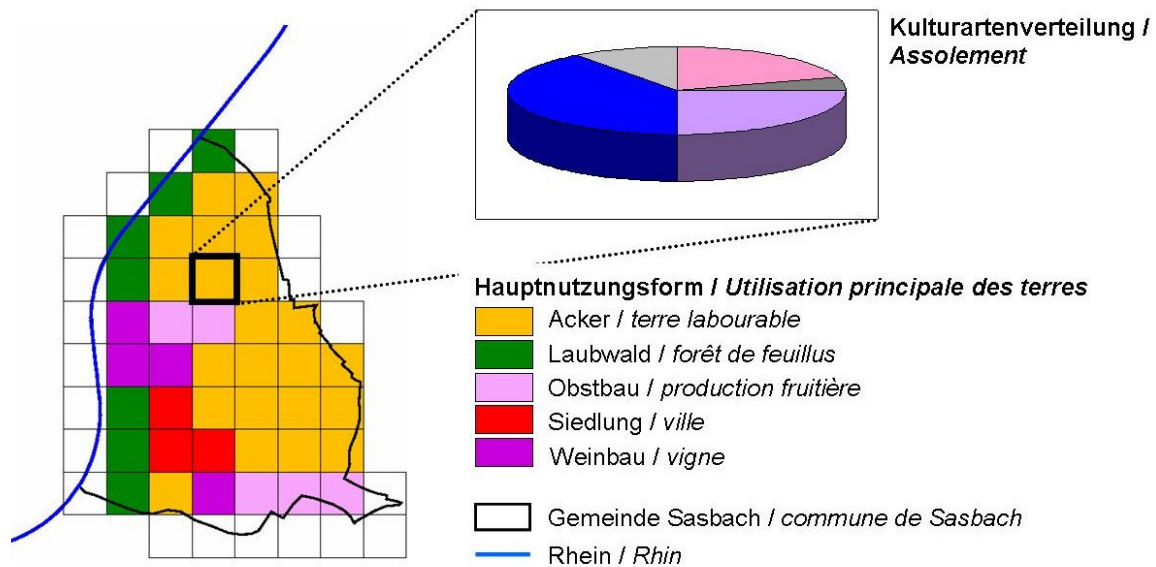


Abb.2.3.1: Regionalisierungsansatz von STOFFBILANZ am Beispiel der Gemeinde Sasbach.

Fig. 2.3.1: Procédure de régionalisation de STOFFBILANZ : l'exemple de la commune de Sasbach (D)

Bei Acker ist jedoch eine weitere Differenzierung entsprechend der tatsächlich angebaute Kulturarten notwendig. Diese basiert auf der Agrarstatistik. Im deutschen Projektgebiet bezieht die sich auf Gemeinden und auf französischer Seite auf Cantons. Die über die Gemeindestatistik gegebene Kulturartenverteilung wird dann auf alle Ackerflächen angewendet, die sich in derselben Gemeinde befinden. Bildlich gesprochen werden auf jeder Ackerfläche einer Gemeinde alle Kulturen entsprechend ihres Anteils an der Gemeindestatistik angebaut.

Cependant, une différenciation supplémentaire est nécessaire pour la classe Terres arables, pour afficher les surfaces des différentes cultures réellement présentes. Celle-ci est basée sur les statistiques agricoles. Dans la partie allemande du projet, ces statistiques concernent les communes et côté français les cantons. La répartition des cultures fournies par les statistiques communales est donc appliquée sur l'ensemble des terres arables se trouvant dans la même commune. Concrètement, toutes les cultures sont réparties de la même façon sur toutes les parcelles de la commune, la proportion de la surface occupée par chaque culture étant fonction des statistiques agricoles communales.

### 2.3.5 Datengrundlagen

#### Landnutzung

Für das Jahr 2000 liegt für die räumliche Differenzierung der Landnutzung ein Ausschnitt aus dem Landsat 5 TM – Satellitenbild mit einer Klassifizierung in 16 Nutzungsklassen und einer räumlichen Auflösung von 30m mal 30m zugrunde. Im Modell Stoffbilanz hingegen wird nur in die neun Hauptnutzungsformen Ackerflächen, Grünland, Obstbau, Weinbau, Nadelwald, Laubwald, Siedlung, Gewässer sowie Devastierung unterschieden, die den Rasterflächen zugewiesen werden und auf denen die Berechnung des Nitrataustrags basiert. Daher ist es notwendig, dass eine inhaltliche sowie eine räumliche Aggregation

### 2.3.5 Données de base

#### Utilisation du sol

Pour l'année 2000, la différenciation spatiale de l'utilisation du sol se fonde sur un extrait d'une image satellitaire Landsat 5 TM, avec une division en 16 classes d'utilisation et une résolution spatiale de 30 \* 30 m. Toutefois, le modèle STOFFBILANZ ne distingue que neuf classes principales d'utilisation du sol : Terres arables, Prairies, Production fruitière, Vigne, Forêts de conifères, Forêts décidues, Habitat, Surfaces d'eau et Friches/non classée. Ces classes sont attribuées aux surfaces des cellules sur lesquelles est basé le calcul du lessivage des nitrates. C'est pourquoi il est nécessaire d'effectuer une agrégation thématique et

der Eingangsdaten auf die neun Hauptnutzungsklassen und das 500m- bzw. 1000m-Raster erfolgen muss.

Zunächst werden bei der Reklassifizierung folgende Klassen zusammengefasst: (i) dichte Siedlung, lockere Siedlung und Industrie zu Siedlung, (ii) Laubwald und Mischwald zu Laubwald, (iii) Intensivgrünland und (extensiv) Grünland zu Grünland, (iv) Gewässer und Feuchtgebiete zu Gewässer sowie (v) Brachland, Windbruch und Kies/Bahnanlagen zu Devastierung. Die Klassen Acker, Obstbau, Weinbau und Nadelwald erfahren keine Veränderung. Bei der räumlichen Aggregation des reklassifizierten Satellitenbildes wird die Hauptnutzungsform der jeweiligen Rasterfläche zugewiesen, die den größten Flächenanteil der Rasterzelle ausmacht. In Abbildung 2.3.2 werden nebeneinander der Ausgangsdatensatz sowie der aggregierte Eingangsdatensatz für STOFFBILANZ dargestellt.

spatiale des données originales permettant d'aboutir à ces neuf classes d'utilisation du sol principale pour des mailles de 500 ou 1000 m.

En premier lieu, les classes suivantes sont rassemblées par reclassification : (i) Habitat groupé, Habitat dispersé et Industrie dans la classe Habitat, (ii) Forêts décidues et Forêts mixtes dans Forêts décidues, (iii) Prairies intensives et Prairies extensives dans Prairies, (iv) Eaux de surface et Zones humides dans Eaux de surface, ainsi que (v) Friches, Chablis, Gravier/installations ferroviaires dans Friches/non classée. Les classes Terres arables, Production fruitière, Vigne et Forêts de conifères ne sont pas modifiées. Lors de l'agrégation spatiale de l'image satellitaire reclassifiée, on attribue à chaque cellule l'utilisation du sol dominante. La Fig. 2.3.2 présente côte à côte le jeu de données de départ et le jeu de données agrégées pour STOFFBILANZ.

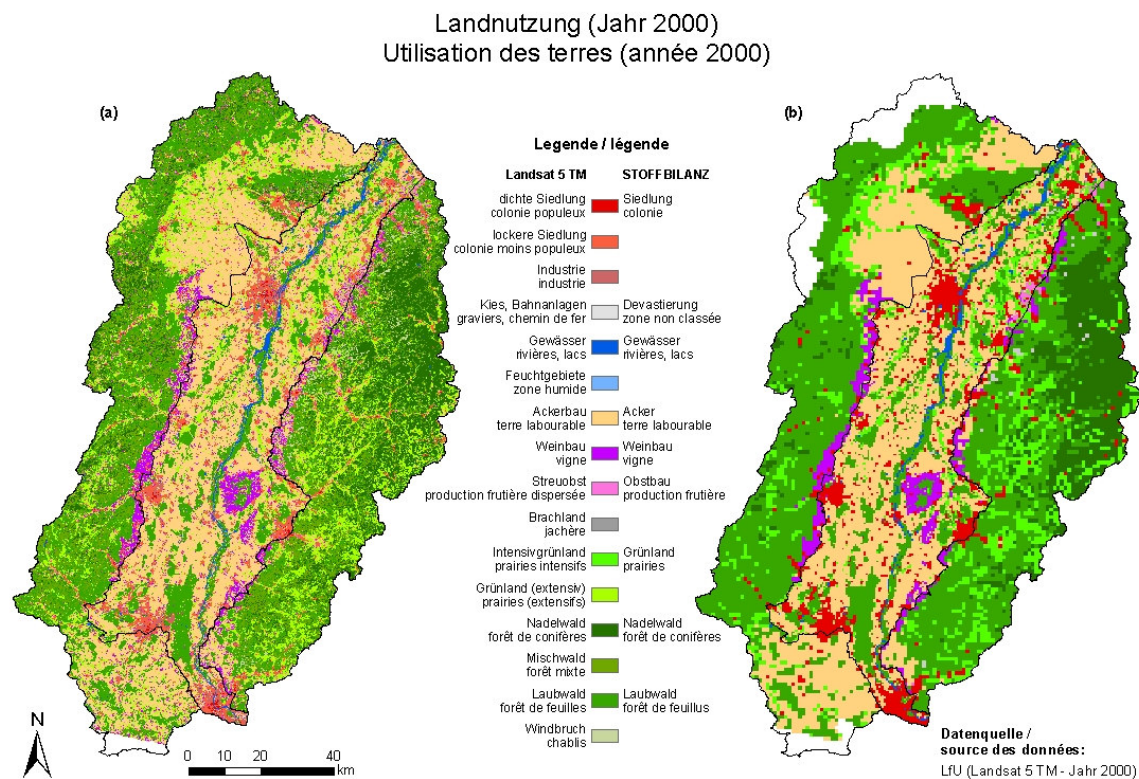


Abb. 2.3.2: Landnutzung im Projektgebiet für das Jahr 2000. (a) Satellitenbild im 30m-Raster mit 16 Nutzungsklassen. (b) Räumlich auf 500m- bzw. 1000m-Raster aggregierter Eingangsdatensatz für STOFFBILANZ mit neun Hauptnutzungsformen.

Fig. 2.3.2: Utilisation du sol dans la zone du projet pour l'année 2000. (a) Image satellitaire (cellules de 30 m) avec 16 classes d'utilisation du sol. (b) Données d'entrées agrégées et spatialisées sur des cellules de 500 ou 1000 m pour STOFFBILANZ avec neuf classes d'utilisation du sol.

## Atmosphärische Deposition

Die atmosphärische Deposition an Stickstoff wurde aus dem europäischen Gemeinschaftsprogramm EMEP übernommen (EMEP = Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe). Verwendet wurden die mittleren jährlichen Depositionen für oxidierte und reduzierte Stickstoffverbindungen, ermittelt im aktuellsten Rechenlauf für das Jahr 2000 auf einem 50km Raster (die Daten sind frei verfügbar unter <http://www.emep.int>). Gerechnet wurde dabei mit dem Unified EMEP Model (EMEP, 2003a). Die Berechnungen basieren auf den offiziellen, jährlichen Emissionsdaten und sind an Messdaten aus dem EMEP Programm verifiziert (EMEP, 2003b).

Für die Nutzung der Daten in STOFFBILANZ wurde versucht die atmosphärische Deposition an Stickstoff innerhalb des Projektgebietes zu differenzieren, da die räumliche Auflösung des 50 km-Rasters sehr grob ist. Nach Nagel und Gregor (1999) wurde eine nutzungsbezogene und flächengewichtete Unterscheidung der Deposition vorgenommen: (i) Für das Verhältnis Wald zu Gewässer werden die Werte 22,3 zu 11,5 sowie (ii) für das Verhältnis Wald zu sonstiger Nutzung werden die Werte 22,3 zu 14,8 angenommen. Auf eine Differenzierung der Deposition auf Siedlungsflächen wurde verzichtet, da entsprechende Verhältniszahlen aufgrund mangelnder Datenlage nicht auf das Projektgebiet transferiert werden konnten. Somit ergeben sich für Waldflächen deutlich höhere, für Gewässerflächen deutlich niedrigere Werte gegenüber den sonstigen Hauptnutzungsformen, die den relativen Verhältnissen in Deutschland im Mittel entsprechen. In Abbildung 2.3.3 werden nebeneinander der Ausgangsdatensatz für STOFFBILANZ dargestellt.

## Déposition atmosphérique

Les données concernant l'azote issu de la déposition atmosphérique ont été reprises du programme de la Communauté Européenne EMEP (EMEP = Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe). Les dépositions annuelles moyennes pour les molécules d'azote oxydées et réduites ont été utilisées, les données les plus récentes concernant l'année 2000 sur des cellules de 50 km (les données sont librement accessibles à l'adresse <http://www.emep.int>). Les calculs ont été effectués à l'aide du modèle EMEP Unified (EMEP, 2003a) ; ils sont basés sur les données annuelles officielles d'émission et vérifiés par des données de mesure du programme EMEP (EMEP, 2003b).

Pour l'utilisation de ces données dans STOFFBILANZ, on a tenté de différencier la déposition atmosphérique d'azote à l'intérieur de la zone du projet, la résolution spatiale des mailles de 50 km étant très grande. En s'appuyant sur Nagel et Gregor (1999), la déposition atmosphérique d'azote a été différenciée en fonction de l'utilisation du sol et de la surface concernée : (i) pour les classes Forêts à Eaux de surface, on a adopté des valeurs de 22,3 à 11,5, ainsi que (ii) des valeurs de 22,3 à 14,8 pour le rapport entre Forêts et les autres classes. On a renoncé à effectuer une différenciation pour les surfaces de la catégorie Habitat, les valeurs de cette classe ne pouvant pas être transférées sur la zone du projet en raison de données manquantes. Le résultat final montre des valeurs nettement plus élevées pour les surfaces forestières et nettement plus faibles pour les surfaces en eau vis-à-vis des autres classes d'utilisation du sol, qui correspondent aux conditions moyennes en Allemagne. La Fig. 2.3.3 présente côte à côte le jeu de données de départ et le jeu de données d'entrée élaboré pour STOFFBILANZ.



Atmosphärische Deposition (Jahr 2000)  
Déposition atmosphérique (année 2000)

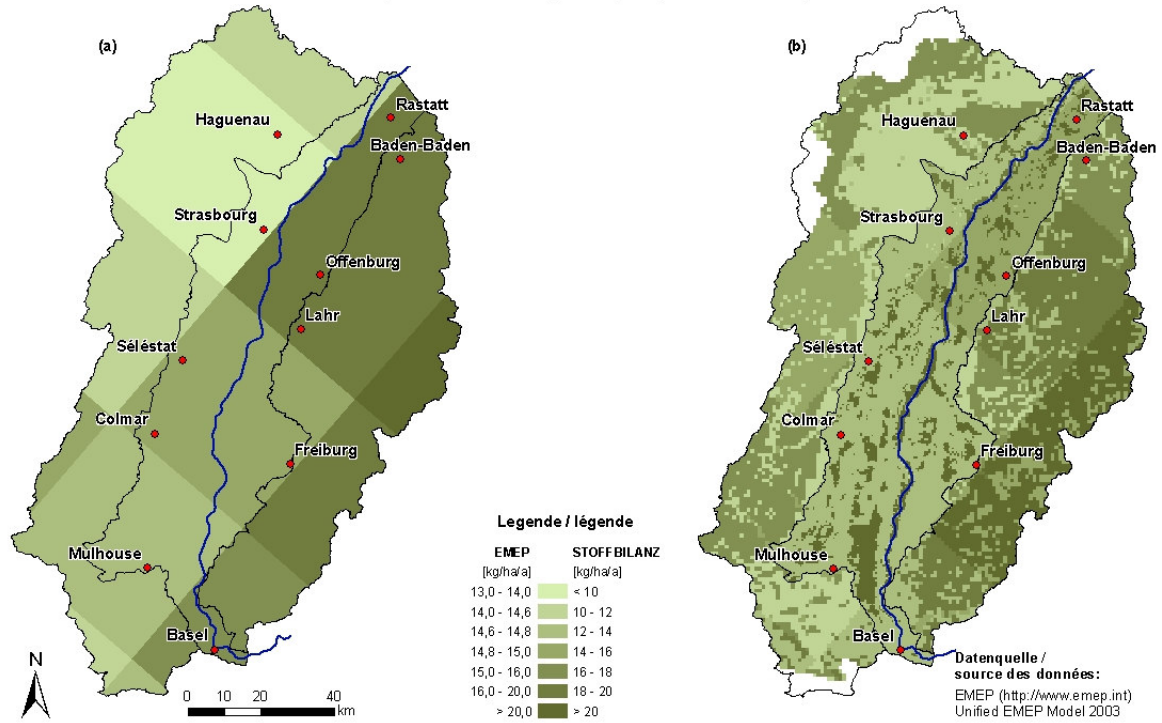


Abb.2.3.3: Atmosphärische Deposition an Stickstoff im Projektgebiet für das Jahr 2000. (a) 50km-Raster Originaldaten aus EMEP. (b) Nach Landnutzung aufbereitete Eingangsdaten für STOFFBILANZ.

Fig. 2.3.3: Déposition atmosphérique d'azote dans la zone du projet pour l'année 2000. (a) Données originales avec mailles de 50 km issues d'EMEP. (b) Données d'entrée pour STOFFBILANZ élaborées à partir de l'utilisation du sol.

## **2.4 Datengrundlage für die Modelle STOFFBILANZ und STICS : Elsass**

*P. van Dijk, M.-L. Burtin, J. Sauter, O. Rapp, R. Koller*

### **2.4.1 Datenübersicht**

In Frankreich obliegt der ARAA die Sammlung, Aufbereitung und Übermittlung der Daten, welche für die Erstellung der Modelle des Nitratreintrags im Rahmen des MoNit-Projekts (STOFFBILANZ und STICS) gebraucht werden. Diese Daten betreffen genauer gesagt die Böden (Kap. 2.4.2), die Bodennutzung (2.4.3), die landwirtschaftlichen Praktiken und Erträge (2.4.4), die Fruchtfolge (2.4.5) und die Validation des Modells „Boden – Pflanze“ (STICS; 2.4.6).

Um auf der Grundlage des STOFFBILANZ-Modells eine Regionalisierung vornehmen zu können, wurden die meisten Eingabedaten regionalisiert geliefert. Angesichts der großen Vielfalt der Datenquellen und der unterschiedlichen Bezugsgrößen sind die Regionalisierungsverfahren gelegentlich kompliziert und mühsam gewesen.

Das STOFFBILANZ-Modell verwendet die Ergebnisse der Modellrechnung GWN\_BW als Eingangsdaten zur Grundwasserneubildung. Aus diesem Grund stellen wir in diesem Kapitel auch einige Bodendaten vor, die für das GWN\_BW-Modell verwendet wurden.

Eine weitere Kategorie von Daten betrifft 4 Musterparzellen im Elsass, die zur Validation des STICS-Modells zur Verfügung gestellt wurden. Dies sind punktuelle Angaben, die seit November 2002 anhand kontinuierlicher Messungen vor Ort gesammelt wurden. Wir stellen hier vor allem die Messmethoden und die Art der an den Standorten ermittelten Daten vor.

### **2.4.2 Böden und Unterscheidungsmerkmale**

Die dem Projekt MoNit zur Verfügung gestellten Bodendaten für das Elsass stammen im Wesentlichen aus der Bodendatei Elsass im Maßstab 1:100 000. Mit dem Aufbau dieser Datei wurde unter Leitung der ARAA im Jahre 1995 begonnen. Sie ist Teil des nationalen

## **2.4 Données de base pour les modèles STOFFBILANZ et STICS : Alsace**

*P. van Dijk, M.-L. Burtin, J. Sauter, O. Rapp, R. Koller*

### **2.4.1 Aperçu des données fournies au projet**

Du côté français, l'ARAA est chargée de la collecte, la préparation, et la mise à disposition des données nécessaires pour les modèles de transferts de nitrates utilisés dans le projet Monit (STOFFBILANZ et STICS). Ces données concernent plus précisément les sols (chapitre 2.4.2), l'occupation des sols (2.4.3), les pratiques agricoles et rendements (2.4.4), les successions culturales (2.4.5) et les données de validation pour le modèle «sol – plante» (STICS ; 2.4.6).

Pour permettre une modélisation spatialisée avec le modèle STOFFBILANZ, la plupart de ces données d'entrées ont été fournies de façon spatialisée. Etant donné la grande variabilité des sources de données liées aux thèmes mentionnés ci-dessus et la variabilité des géométries auxquelles ces données se rapportent, les procédures de spatialisation se sont avérées parfois complexes et laborieuses.

Le modèle STOFFBILANZ utilise les résultats des calculs du modèle GWN\_BW de la recharge de la nappe. C'est pourquoi nous présentons également certaines données liées aux sols préparées pour le modèle GWN\_BW dans ce chapitre.

Une autre catégorie de données fournie au projet sont les données de validation pour le modèle STICS issues de 4 parcelles d'essai en Alsace. Il s'agit ici de données ponctuelles qui sont issues d'un travail de mesure en continu sur le terrain depuis novembre 2002. Nous présentons ici surtout les méthodes de mesure et le type des données obtenues sur ces sites.

### **2.4.2 Sols et données attributaires**

Les données sur les sols d'Alsace fournies au projet Monit sont principalement issues de la Base de Données informatique sur les Sols d'Alsace au 1/100 000. Le développement de cette base de données a débuté en 1995 sous maîtrise d'ouvrage de l'ARAA. Elle est

Programms IGCS (Inventar für Bodenschutz und –bewirtschaftung), welches von dem Nationalen Institut für Agronomie-Forschung (INRA) und dem Landwirtschaftsministerium durchgeführt wird. Das elsässische Programm zur Errichtung einer Bodendatei wird im Wesentlichen von 3 Partnern getragen: der Regionalen Landwirtschaftskammer, der Region Elsass und dem Landwirtschaftsministerium. Die in dieser Datei erfassten Angaben (Maßstab 1:100 000) sind dem von der Region Elsass erstellten Bodenhandbuch entnommen.

Diese Datenbasis enthält Unterscheidungsmerkmale, die die wichtigsten Eigenschaften der elsässischen Böden beschreiben: Tiefe, Bodentextur, pH-Wert, Skelettgehalt (grobe Bestandteile), Merkmale der Wasserzirkulation usw. Die verschiedenen Bodenschichten oder –horizonte werden je nach Bodentyp bis auf eine Tiefe von 1 bzw. 2 m beschrieben. Die Datenorganisation ist an der von der INRA im Rahmen des IGCS-Programms entwickelten DONESOL-Struktur ausgerichtet. Insbesondere werden für die Regionalisierung kartographische Bodeneinheiten (UC) identifiziert, die ihrerseits eine oder mehrere typologische Bodeneinheiten (US) umfassen können, die im Einzelnen in der Datei registriert sind.

Die Datengrundlage der ARAA umfasst den gesamten Grundwasserbereich des Elsass, den Sundgau/elsässischen Jura, das Outre-Forêt und die Weinberge, jedoch nicht die Vogesen, das Buckel-Elsass und das Hannerland. Die Bodendaten der drei letztgenannten Zonen sind der nationalen Datenbank "Böden Frankreichs" (Maßstab 1:1 000 000) entnommen (INRA Orleans, Einheit INFOSOL).

Mehrere im MoNit-Projekt verwendete Modelle benötigen bodenbezogene Eingangsdaten. Wir stellen hier Daten für die Modelle GWN\_BW (Grundwasserneubildung) und STOFFBILANZ (Kap. 2.3) vor, die aus der bodenkundlichen Datenbasis des Elsass gewonnen wurden. Nachstehend wird die Auswahl/Bearbeitung der ARAA beschrieben, die den Bedürfnissen dieser Modelle entspricht. Auf deutscher Seite wurde eine vergleichbare Arbeit vom LGRB Freiburg durchgeführt.

Es wurden lediglich die Unterscheidungsmerkmale der Bodentypen (US), die in den kartographischen Bodeneinheiten (UC) vorherrschen, zur Verfügung gestellt. Diese Entscheidung, die im Hinblick auf die Regionali-

assoziierte au programme national IGCS (Inventaire Gestion et Conservation des Sols) conduit par l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et le Ministère de l'Agriculture. Le programme alsacien de base de données sur les sols est principalement soutenu par 3 partenaires : la Chambre Régionale d'Agriculture, la Région Alsace et le Ministère de l'Agriculture. Les données constitutives de la base à l'échelle du 1/100 000 sont issues des guides des sols d'Alsace réalisés sous maîtrise d'ouvrage de la Région Alsace.

Cette base de données contient des données attributaires décrivant les principales caractéristiques des sols d'Alsace : profondeur, texture, pH, teneur en cailloux (éléments grossiers), caractéristiques de circulation de l'eau, etc. Les différentes couches ou horizons constituant le sol sont décrits jusqu'à 1 à 2 mètres de profondeur en fonction du type de sol. L'organisation des données suit la structure DONESOL développée par l'INRA dans le cadre du programme IGCS. En particulier, elle identifie au niveau spatial des Unités Cartographiques de sol (UC) qui peuvent regrouper une ou plusieurs Unités typologiques de Sol renseignées (US) individuellement dans la base de donnée attributaire.

La base de données ARAA couvre l'ensemble de l'emprise de la nappe d'Alsace, le Sundgau/Jura alsacien, l'Outre-Forêt, et les collines du vignoble, mais ne comprend ni le massif vosgien, ni l'Alsace Bossue, ni le Pays de Hanau. Les données sols concernant ces dernières zones sont issues de la base de données nationale « sols de France », à l'échelle du 1/1 000 000 (INRA Orléans Unité INFOSOL).

Plusieurs modèles utilisés dans le projet MoNit nécessitent des données d'entrée liées aux sols. Ici nous présentons les données extraites de la base de données sur les sols d'Alsace pour les modèles GWN\_BW (la recharge de la nappe) et le modèle STOFFBILANZ (chapitre 2.3). Ci-dessous sont brièvement décrits les extractions/traitements faits par l'ARAA permettant de répondre aux besoins de ces modèles. Du côté allemand, un travail identique a été effectué par le LGRB de Fribourg.

Seules les données attributaires du type du sol (US) dominant dans l'unité cartographique (UC) ont été fournies. Ce choix, fait dans l'objectif d'une spatialisation des données, a pour conséquence une certaine perte



sierung der Daten getroffen wurde, bringt einen gewissen Informationsverlust mit sich, stellt aber trotzdem eine vernünftige Lösung dar. Andere, wesentlich kompliziertere Lösungen sind kaum verlässlicher, da

- die in der UC angetroffenen Bodentypen und die entsprechenden Parameter nicht auf einen Mittelwert gebracht werden können;
- die Zuordnung der Bodentypen (US) zu einem genauen Ort innerhalb einer kartographischen Einheit (UC) unter Anwendung stochastischer Methoden zu unrealistischen Kombinationen von Boden und Geomorphologie/Bodennutzung führen kann.

In 87% der Fälle deckt der vorherrschende Bodentyp 65% der Fläche einer kartographischen Einheit ab, in 52% der Fälle entspricht dieser Anteil 85%, und in 44% der Fälle deckt der Bodentyp die gesamte kartographische Fläche ab (100%). Infolgedessen hat der gewählte vereinfachte Ansatz kaum Auswirkungen auf die Darstellung der meisten kartographischen Einheiten. Für 13% der kartographischen Einheiten kann die Abweichung größer sein.

#### Bodendaten für das GWN\_BW-Modell

Die ARAA hat folgende Informationen für das Modell der Grundwasserneubildung zur Verfügung gestellt: a) Substrat, b) nutzbare Feldkapazität, c) Wurzeltiefe, d) kapillarer Aufstieg (6 Klassen).

Die Klassifizierung dieser Unterscheidungsmerkmale erfolgt nach dem deutschen System der Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK 200). Sie wurde von der ARAA vorgenommen, die für das Projekt die grundlegenden beschreibenden Daten der Bodentypen neu interpretiert hat. Die so ermittelten Ergebnisse wurden den Ergebnissen eines allgemeinen Gutachtens für das elsässische Territorium gegenübergestellt, welches die Schlüssigkeit der Ergebnisse gewährleisten soll.

Die Klassifizierung wurde wegen der Unterschiedlichkeit der enthaltenen Informationen für die beiden Dateien (1:100 000 und 1:1 000 000) getrennt vorgenommen. Abbildung 2.4.1 zeigt die Karte des Speichervorrats als Beispiel für den Teil des elsässischen Territoriums, der durch die Bodendatei 1:100 000 abgedeckt ist.

d'information, mais constitue néanmoins une solution raisonnable. D'autres solutions beaucoup plus complexes ne sont guère plus fiables car :

- les types de sols rencontrés dans l'UC et les paramètres correspondants ne peuvent pas être moyennés ;
- l'affectation des types de sols (US) à une localisation précise à l'intérieur d'une unité cartographique (UC) en utilisant des méthodes stochastiques peut conduire à des combinaisons irréalistes entre sol et géomorphologie/occupation du sol.

Dans 87% des cas, l'US dominante couvre plus de 65% de la surface de l'UC, dans 52% des cas ce pourcentage égale 85%, et dans 44% des cas l'US couvre l'ensemble de l'UC (100%). En conclusion, l'approche simplifiée choisie a peu de conséquences sur la représentation de la plupart des UC. Pour 13 % des UC, l'erreur peut être plus importante.

#### Données sols pour le modèle GWN\_BW

L'ARAA a fourni les informations suivantes pour la modélisation de la recharge de la nappe : a) substrat, b) réserve utile, c) profondeur d'enracinement, d) remontées capillaires (6 classes).

La codification pour ces données attributaires suit le système allemand du Bodenübersichtskarte 1/200 000 (BÜK 200). Elle a été réalisée par l'ARAA pour le compte du projet par réinterprétation des données élémentaires descriptives des US. Les résultats ainsi obtenus ont été confrontés aux résultats d'une expertise générale du territoire alsacien qui veille à respecter une cohérence globale des résultats.

La codification a été faite indépendamment pour les deux bases de données (au 1/100 000 et au 1/1 000 000) du fait de différences importantes portant sur les informations contenues. Figure 2.4.1 visualise la carte de la réserve utile comme exemple pour la partie du territoire alsacien couverte par la base de données sols au 1/100 000.

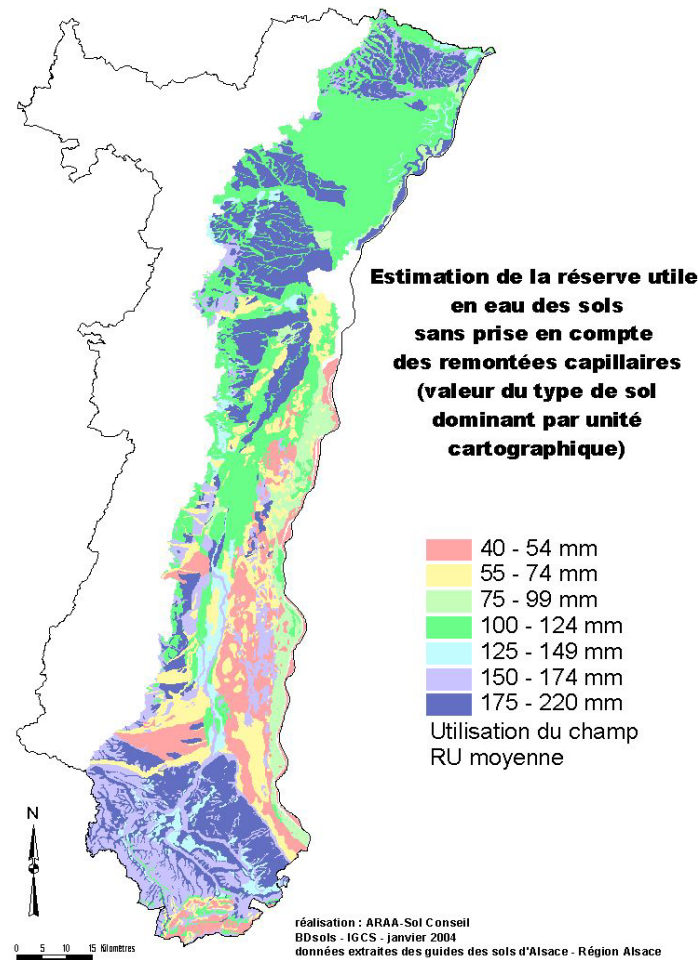


Abb. 2.4.1: Wasserverfügbarkeit der Böden im Elsass (Angaben ARAA für die LfU).

Fig. 2.4.1 : La réserve utile en eau des sols en Alsace (Données ARAA, préparées pour la LfU).

#### Bodendaten für das STOFFBILANZ-Modell

Für die für das STOFFBILANZ-Modell benötigten Bodendaten wurde eine Tabelle von Merkmalen erstellt. In der Tabelle 2.4.1 sind die wichtigsten Parameter, zu denen Angaben vorhanden sind, zusammengefasst. Einige Parameter werden in STOFFBILANZ nicht verwendet, sie wurden jedoch aufgeführt, um eine Regionalisierung der Ergebnisse des STICS-Modells (Kap. 2.1) vorzubereiten.

Die in der Bodendatei Elsass enthaltenen Angaben über die Korngröße gehen auf die Analyse von Probeentnahmen zurück, die insbesondere im Fall von skeletthaltigen Böden durch Expertenaussagen ergänzt wurden. Um die Bodentexturklassen zu klassifizieren (Tab. 2.4.1: Feinboden-KA3), haben wir das Schema der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Grenzwerte der Bodenarten, Tabelle 26, S. 135, 1994, 4. verbesserte und erweiterte Auflage) verwendet.

#### Données sols pour le modèle STOFFBILANZ

Pour répondre aux besoins de données sols du modèle STOFFBILANZ, un tableau attributaire a été créé. Le tableau 2.4.1 résume les principaux paramètres renseignés dans ce tableau attributaire de la base de données. Certains paramètres ne sont pas utilisés par STOFFBILANZ, mais ont été préparés pour anticiper une éventuelle spatialisation des résultats sortants du modèle STICS (chapitre 2.1).

Les données granulométriques de la Base de données des sols d'Alsace sont issues des analyses d'échantillons, complétées par le jugement à dire expert, surtout pour les sols caillouteux. Afin de coder les classes de texture (Tableau 2.4.1: Feinboden\_KA3), nous avons utilisé le schéma du "Bodenkundliche Kartieranleitung" (Grenzwerte der Bodenarten, Tabelle 26, p. 135, 1994, 4. verbesserte und erweiterte Auflage).

Für die Trockenrohddichte wurde auf eine Datenbasis zurückgegriffen, die physikalische Analysen von für repräsentative Profile entnommene Bodenproben enthält. Für jeden Bodentyp haben wir das entsprechende Profil ausgewählt, um die Trockenrohddichte pro Horizont zu bestimmen.

Die Klassifizierung der Bodentypen nach der „Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland“ wurde hauptsächlich unter Verwendung der Kriterien vorgenommen, die Merkmale von Hydromorphie/Gley und Kalk im ersten und zweiten Horizont besitzen.

La densité apparente a été dérivée d'une base de données contenant des analyses physiques des échantillons de sol pour des profils représentatifs. Pour chaque type de sol, nous avons sélectionné le profil correspondant pour déterminer la densité apparente par horizon.

La classification des types des sols suivant le système « Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland » a été faite en utilisant principalement des critères concernant la présence d'hydromorphie/gley et la présence de calcaire dans les premier et deuxième horizons du sol.

*Tab. 2.4.1: Unterscheidungsmerkmale der elsässischen Bodendatengrundlage 1:100 000.*

*Tab. 2.4.1 : Données attributaires de la base de données des sols alsacienne au 1/100 000.*

<b>Attribut / Merkmal</b>	<b>Description / Beschreibung</b>
UC	Unité Cartographique / Kartographische Bodeneinheit
NOMUC	Nom de l'UC / Name der UC
COMUC	Nom du pédopaysage / Name der Bodengeomorphologisch-landschaftlichen Einheit
NbUS	Nombre d'Unités typologiques de Sol (US) dans l'UC / Zahl der Bodentypen in der Kartographischen Bodeneinheit
US	Unité typologique de sol (US) dominante / Dominante Bodentypen
USUC%	% de la surface d'US dans l'UC / % Fläche des dominanten Bodentyps in der kartographischen Bodeneinheit
NOMUS	Nom de l'US / Name des Bodentyps
MAT	Roche mère / Ausgangsmaterial
<b>Par horizon / pro Schicht</b>	
SCHICHT_NR	Numéro de l'horizon / Horizontnummer
OBERGRENZE_CM	Limite supérieure (en cm profondeur) / Tiefe der Obergrenze in cm
UNTERGRENZE_CM	Limite inférieure (en cm profondeur) / Tiefe der Untergrenze in cm
MAECHTIGKEIT_CM	Épaisseur / Mächtigkeit
SKELETT_VOL%	Teneur en cailloux (%) / Skelettgehalt [%]
TON_%	Teneur en argile de la matrice du sol (%) / Tongehalt an der Bodenmasse [%]
SCHLUFF_%	Teneur en limon de la matrice du sol (%) / Schluffanteil an der Bodenmasse [%]
SAND_%	Teneur en sable de la matrice du sol (%) / Sandanteil an der Bodenmasse [%]
HUMUS_%	Teneur en humus (%) / Humusanteil an der Bodenmasse [%]
TRD	Densité apparente / Trockenrohddichte (g/cm <sup>3</sup> )
LDEFF	Densité apparente modifiée en fonction de la teneur en argile / Effektive Lagerungsdichte (g/cm <sup>3</sup> )
FEINBODEN_KA3	Classe de texture (codification en 'Bodenartenuntergrupper' du 'Bodenkundliche Kartieranleitung') / Bodentextur (Kodifizierung von Bodenartenuntergruppen nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung)
BODENTYP	Unité Typologique du sol suivant le systématique allemand (Bodensystematische Einheiten)

Abbildung 2.4.2 zeigt einige ausgewählte Parameter dieser Tabelle der Unterscheidungsmerkmale. Das STOFFBILANZ-Modell schließlich verwendet folgende zwei Datenkategorien:

- (a) BODENTYP (bedingt die vom Modell ermittelte Denitrifizierung) und
- (b) Bodentextur (bedingt die Mineralisierung des Bodens).

La Figure 2.4.2 montre quelques paramètres extraits de ce tableau attributaire. Le modèle Stoffbilanz utilise enfin les deux couches de données suivantes (Tableau 2.4.1) :

- (a) BODENTYP (qui conditionne la dénitrification calculée par le modèle), et
- (b) classe de texture (qui conditionne la minéralisation dans le sol).

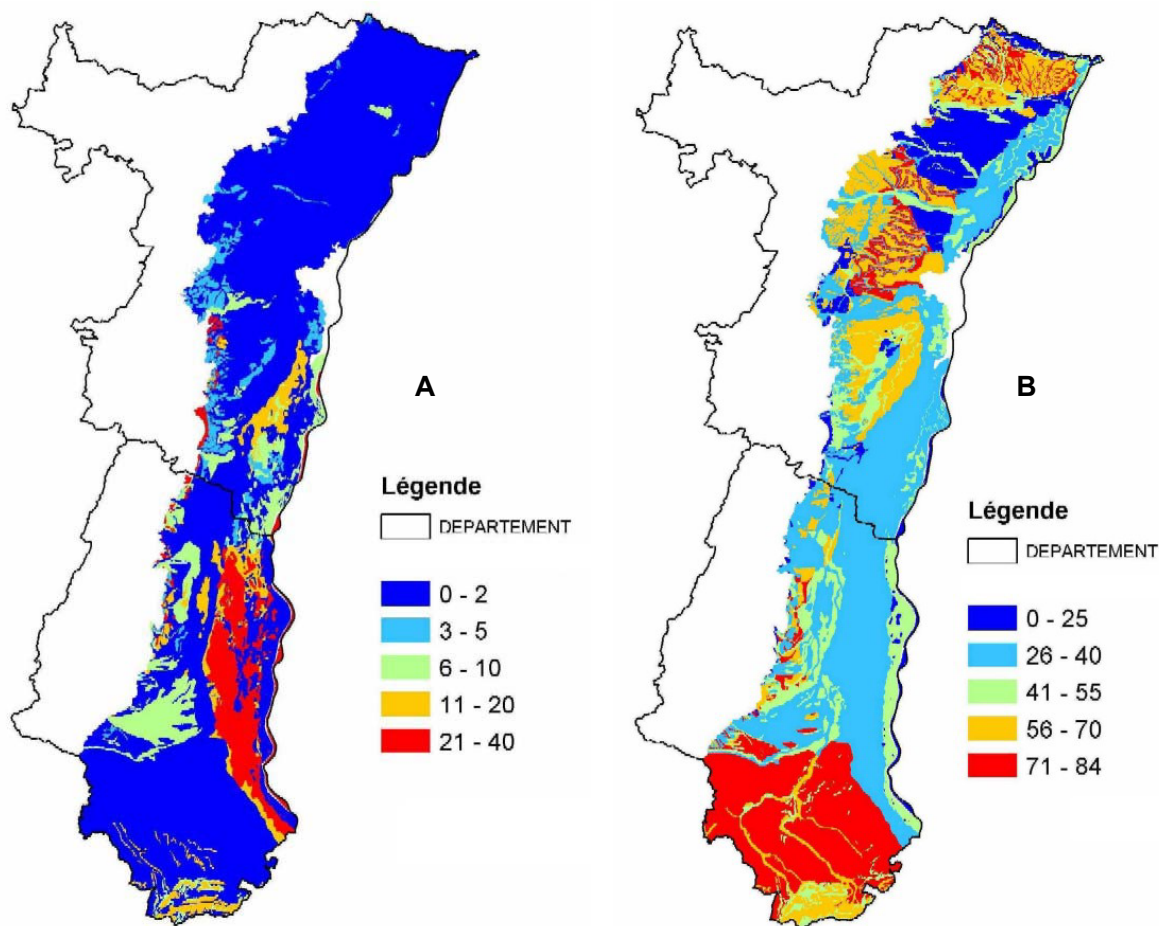


Abb. 2.4.2: Einige Bodenparameter aus der für das MoNit-Projekt bereitgestellten Daten. a) Skelettanteil (%), und b) Schluffanteil (%) im oberen Bodenhorizont (Angaben ARAA für die LfU).

Fig. 2.4.2: Quelques paramètres du sol issus de la base de données fournie au projet Monit. a) taux de cailloux (%), et b) teneur en limons (%) dans le horizon supérieur du sol. (Données ARAA, préparées pour la LfU).

### 2.4.3 Bodennutzung und Verwendung der landwirtschaftlichen Nutzfläche

Zur Beschreibung der Bodennutzung wurden mehrere Informationsquellen herangezogen. Zunächst einmal stehen für die Jahre 1975, 1991 und 2000 Bodennutzungskarten, die auf Grundlage von Fernerkundungsdaten für den gesamten Untersuchungsbereich (einschließlich Elsass) erstellt wurden, im MoNit-Projekt (Kap. 2.3.5) zur Verfügung. Allerdings weisen diese Karten nur eine einzige Klasse für Ackerboden aus. Um eine detaillierte Dar-

### 2.4.3 Occupation du sol et utilisation de la surface agricole utile

Pour décrire l'occupation du sol, diverses sources d'information ont été mobilisées. Tout d'abord, des cartes d'occupation du sol, pour les années 1975, 1991 et 2000, basées sur des données de télédétection pour le périmètre entier de l'étude (y compris l'Alsace) sont disponibles dans le projet Monit (chapitre 2.3.5). Ces cartes possèdent une seule classe pour les terres arables. Pour détailler l'utilisation de la Surface Agricole

stellung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF), insbesondere der Ackerböden zu erreichen, wurde die statistische Datei der „landwirtschaftlichen Erhebung“ (RA) verwendet.

Diese Datei enthält die Statistik der landwirtschaftlichen Betriebe auf Ebene der Gemeinden und Kantone für die Jahre 1979, 1988 und 2000. Für die Regionalisierung sind diese Daten am besten geeignet, weil sie einen hohen Informationswert mit einer räumlichen Auflösung verbinden, die sich für die Bedürfnisse des MoNit-Projekts gut eignet. Die Statistik umfaßt Anbauflächen, Weideland, Weinberge sowie den Viehbestand. Für das Jahr 2000 verfügen wir außerdem über Angaben zu den Bewässerungsflächen.

Die ARAA hat ihre Daten nach Kantonen geordnet, da die Ebene der Gemeinden gewisse Nachteile mit sich bringt:

- (a) Die Angaben beziehen sich auf Böden von Betrieben, die in einer Gemeinde angesiedelt sind, deren Boden aber nicht notwendigerweise in der Gemarkung der Gemeinde liegt. Eine Regionalisierung dieser Angaben auf Ebene der Gemeinde verursacht Inkohärenzen zwischen der einer Gemeinde zugeordneten landwirtschaftlichen Gesamtfläche und der tatsächlichen landwirtschaftlichen Nutzfläche.
- (b) Die sich auf Gemeinden beziehenden Angaben sind wegen der Auflagen des Datenschutzes nicht alle zugänglich.

Auf kantonaler Ebene fallen die o.g. Probleme kaum ins Gewicht. Die Angaben der landwirtschaftlichen Erhebung (RA), die von der Dienststelle AGRESTE des SCEES zur Verfügung gestellt wurden, wurden auf ein Arbeitsblatt übertragen und zum Zweck der Regionalisierung in ArcView den Polygonen der kantonalen Verwaltungsgrenzen des IGN zugeordnet. Diese Vorgehensweise wurde auf die Angaben für die Jahre 1979, 1988 und 2000 angewandt. Es wurden rund 40 Variablen, die die Verwendung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und die Viehzucht betreffen, ausgewählt und im ArcView-Format zur Verfügung gestellt. Die Abbildungen 2.4.3 und 2.4.4 zeigen Beispiele von Daten, die in der dem MoNit-Projekt gelieferten Datei abgespeichert sind.

Utile (SAU) et en particulier les terres arables, la base de données statistique du « recensement agricole » (RA) a été exploitée.

Cette base de données contient les statistiques des exploitations agricoles au niveau communal et cantonal pour les années 1979, 1988 et 2000. Ces données conviennent le mieux pour la spatialisation car elles combinent un niveau d'information très élevé avec une résolution spatiale qui correspond bien aux besoins du projet Monit. Les statistiques incluent les surfaces des cultures, des prairies, des vignobles, ainsi que les effectifs de bétails. Pour l'année 2000, nous disposons également des informations par rapport aux surfaces irriguées.

L'ARAA a préparé et mis à disposition des données par canton, l'échelle communale ayant certains inconvénients :

- (a) les données correspondent aux terres des exploitations dont le siège est situé dans une commune, mais les terres ne se trouvent pas forcément sur le territoire communal. La spatialisation de ces informations au niveau de la commune donne lieu à une incohérence entre la surface totale agricole attribuée à une commune et la SAU réelle.
- (b) les données à l'échelle communale ne sont pas toutes accessibles en raison de la confidentialité sur les données statistiques.

Ces deux problèmes sont plus ou moins négligeables au niveau cantonal. Les données du RA qui sont fournies par le service AGRESTE du SCEES, ont été exportées vers une feuille de calcul et ensuite liées aux polygones des limites administratives cantonales de l'IGN dans ArcView pour la spatialisation. Cette procédure a été réalisée avec les données des années 1979, 1988 et 2000. Environ 40 variables liées à l'utilisation de la SAU et à l'élevage ont été sélectionnées et mises à disposition au format ArcView. Les figures 2.4.3 et 2.4.4 montrent des exemples des données stockées dans la base de données fournie au projet Monit.

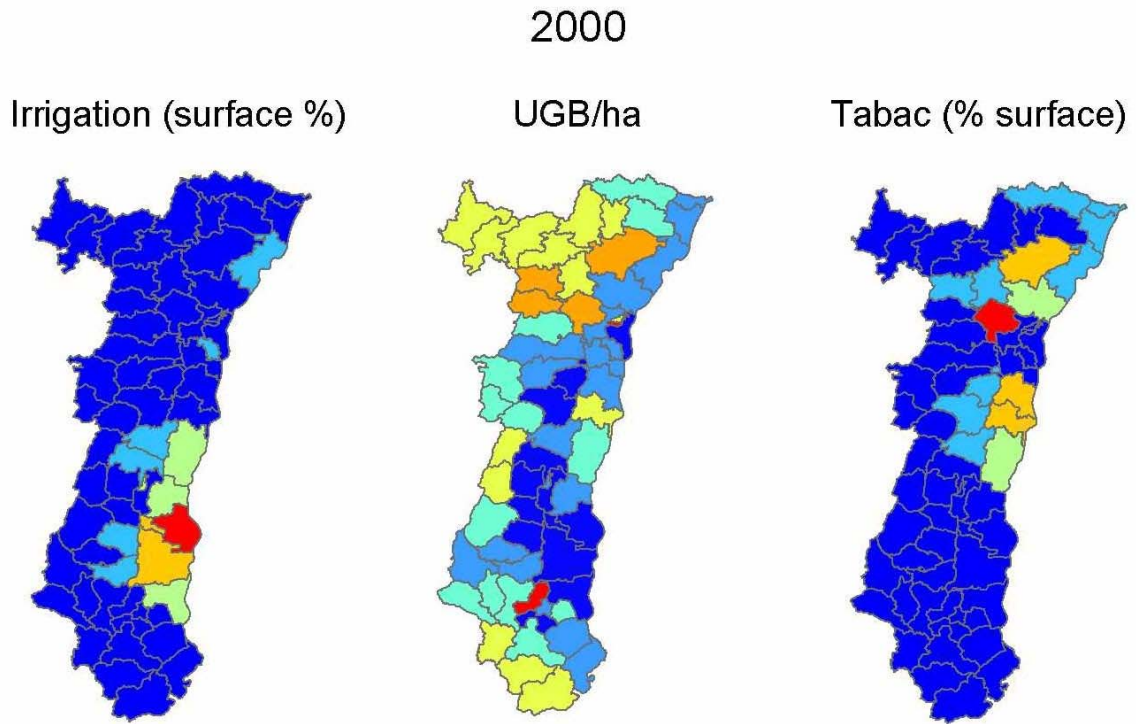
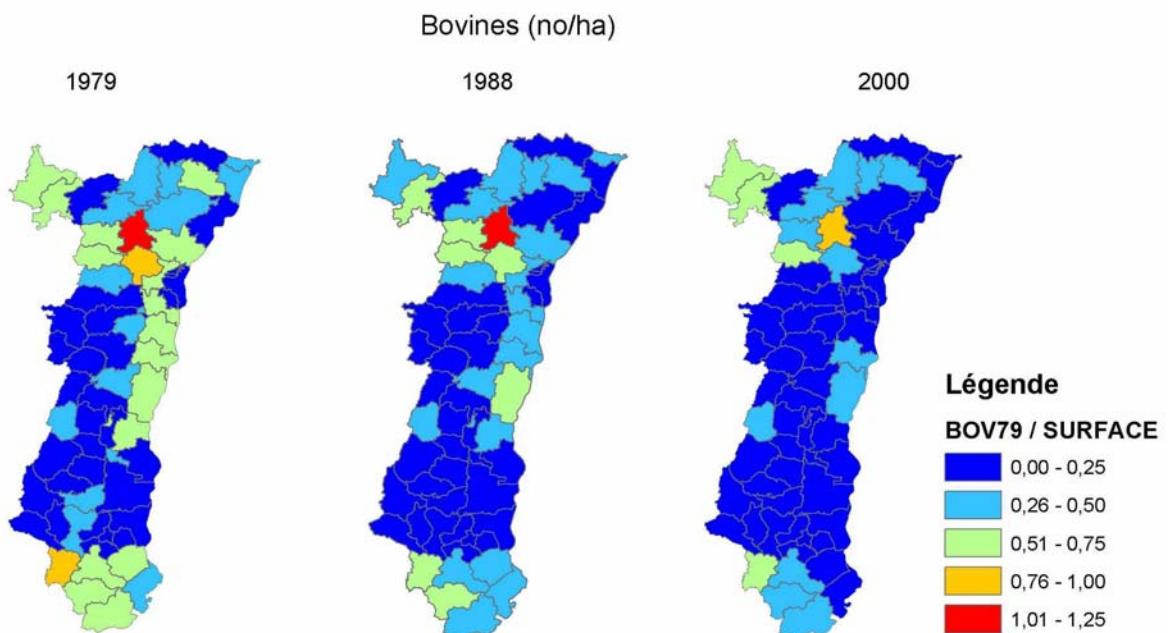


Abb. 2.4.3: Einige Beispiele von Angaben aus RA-2000 (Bewässerungsflächen, Großvieheinheiten (GV) pro ha, Tabakanbauflächen), nach Kantonen regionalisiert (Datenquelle: SCEES/Agreste). (Blau nach rot = Erhöhung der Werte)

Fig. 2.4.3: Quelques exemples (les surfaces irriguées, le nombre d'Unité Gros Bétail (UGB) par ha, et les surfaces de tabac) des données issues du RA-2000 spatialisées au niveau cantonal (Source des données : SCEES/Agreste). (Bleu à rouge = augmentation des valeurs).





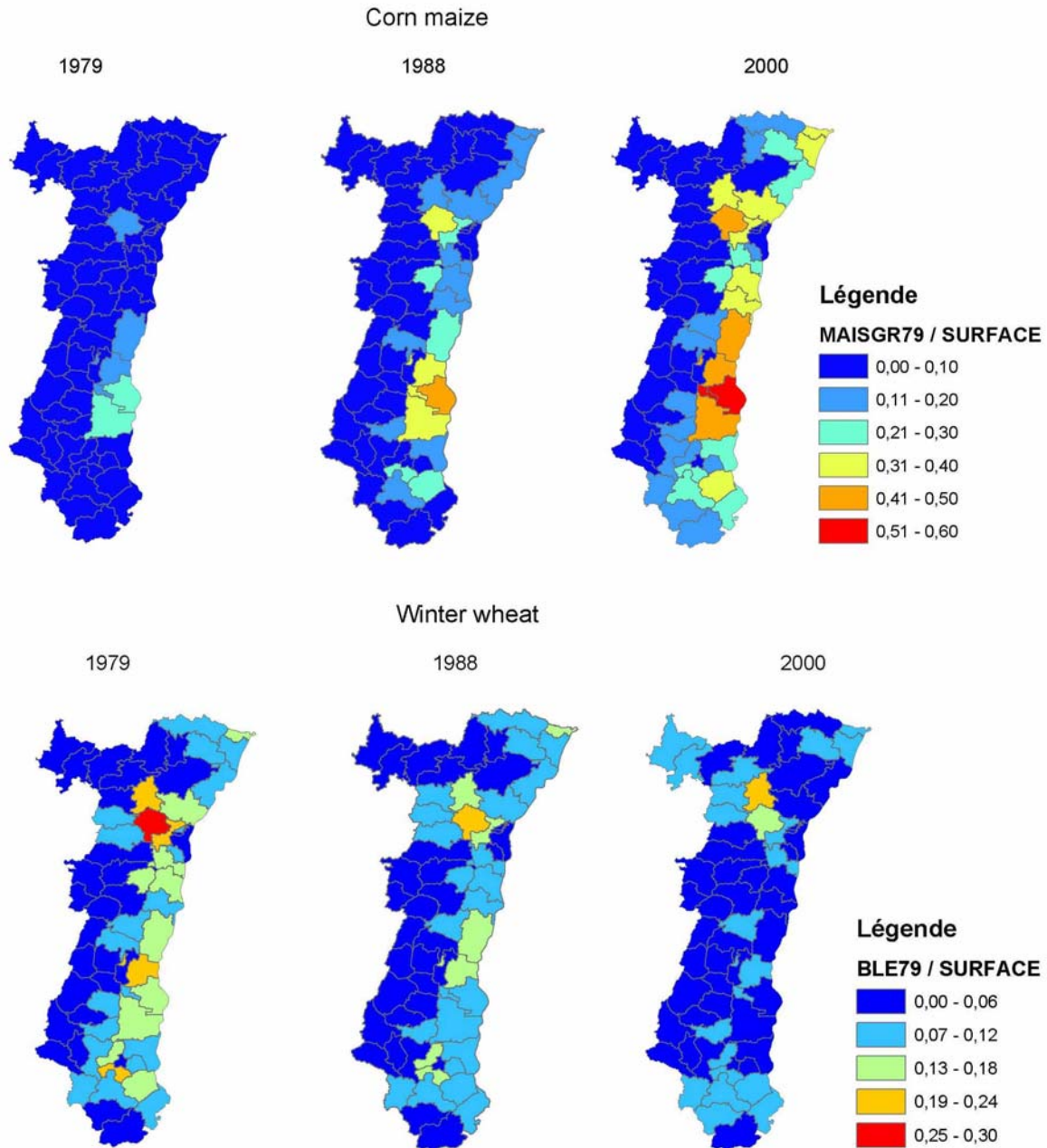


Abb. 2.4.4 : Einige Beispiele von Angaben aus den Erhebungen von 1979, 1988 und 2000 (Stückzahl Rinder/ha, Maisflächen, Weizenflächen), nach Kantonen regionalisiert (Datenquelle: SCEES/Agreste).

Fig. 2.4.4: Quelques exemples (le nombre de bovins/ha, les surfaces en maïs grain, et les surfaces en blé) des données issues des RA de 1979, 1988 et 2000, spatialisées au niveau cantonal (Source des données : SCEES/Agreste).

#### 2.4.4 Stickstoffdüngung und Ertrag pro Kultur

Wir waren beauftragt, Angaben über die Erträge und den Stickstoffeintrag für die wichtigsten Kulturen der elsässischen Ebene für den Zeitraum 1980 bis 2000 zur Verfügung zu stellen. Nach Einschätzung der ARAA hängen die Stickstoffmengen hauptsächlich von der landwirtschaftlichen Region und dem

#### 2.4.4 Fertilisation azotée et rendements par culture

La demande était de fournir des données sur les rendements et les doses d'azote minéral apporté pour les principales cultures de la plaine d'Alsace dans la période de 1980 à 2000. L'ARAA a considéré que ces doses d'azote dépendent principalement de la zone agricole et du type de sol, facteurs détermi-

Bodentyp ab, welche ausschlaggebende Faktoren des Ertragspotentials und folglich der einzubringenden Stickstoffmenge sind, und von der Bewirtschaftungsart mit vordringlich organischer Düngung.

Die Hauptquellen für diese Angaben waren:

- die Datengrundlage der elsässischen Böden (Kap. 2.4.2) zur Einteilung der elsässischen Ebene nach FERTI-MIEUX-Maßnahmen und nach Bodentyp;
- die Datenbasis der FERTI-MIEUX-Ergebnisse, die für die wichtigste Anbauart der elsässischen Ebene, den Mais, Auskunft über die durchschnittlichen Erträge der Landwirte in dieser Region (unterteilt nach Bodentyp) geliefert hat, sowie über die Mengen der mineralischen Düngegabe (entweder in Verbindung mit Dung oder nicht);
- eine Analyse der Dateien der Bewirtschaftungszentren, die für die übrigen Kulturen - außer Mais - Angaben über die durchschnittlichen Erträge und den mineralischen Stickstoffeintrag im Jahre 2000 und für alle Kulturen Angaben über die Ertragsentwicklung und den Stickstoffeintrag im Zeitraum 1982 bis 2000 geliefert hat.

#### Angewendete Methode

(a) Einteilung der elsässischen Ebene nach FERTI-MIEUX-Maßnahmen und nach Bodentyp

Die gesamte elsässische Ebene wird durch 8 FERTI-MIEUX-Maßnahmen abgedeckt (Abb. 2.4.5a). Für jede Maßnahme wurden die wichtigsten Bodentypen kartographiert. Der MoNit-Untersuchungsbereich wird somit in FERTI-MIEUX/Bodentyp-Sektoren unterteilt (Abb. 2.4.5b).

(b) Bestimmung der Daten für das Jahr 2000

- Für Mais

Die Werte für Ertrag und mineralischer Düngemenge bei Düngungsarten ohne Ergänzung von Dung werden für jede einzelne FERTI-MIEUX-Maßnahme und jeden Bodentyp geliefert; es wird dabei auf Datenmaterial aus der Auswertung der FERTI-MIEUX-Maßnahmen zurückgegriffen. Für Düngungsarten mit Einbringung von Dung wurde der Eintrag von mineralischem Stickstoff pau-

nants du potentiel de rendement accessible et par conséquent de la dose d'azote à apporter, et du système de culture au travers principalement du régime d'apports organiques.

Trois sources principales de données ont été utilisées :

- la base de données des sols d'Alsace (chapitre 2.4.2), pour définir un zonage pertinent de la plaine d'Alsace par opération FERTI-MIEUX et par type de sol ;
- la base de données des évaluations FERTI-MIEUX, qui, pour le maïs, culture principale de la plaine d'Alsace, a fourni des informations sur les rendements moyens obtenus par les agriculteurs de ces zones en fonction de leur type de sol, et sur les doses d'azote minéral apporté en fonction d'apports ou non de déjections animales ;
- une analyse des données des centres de gestion qui a fourni, pour les autres cultures que le maïs, les rendements moyens et les doses d'azote minéral en 2000, et pour toutes les cultures, les tendances d'évolution des rendements et des doses d'azote entre 1982 et 2000.

#### Méthode employée

(a) Zonage de la plaine d'Alsace par opération FERTI-MIEUX et par type de sols

Toute la plaine d'Alsace est couverte par 8 opérations FERTI-MIEUX (Fig. 2.4.5a). Pour chaque opération, les principaux types de sol ont été cartographiés. Le périmètre de l'étude MoNit est ainsi subdivisé en secteurs FERTI-MIEUX/type de sol (Fig. 2.4.5b).

(b) Détermination des données pour l'année 2000

- Pour le maïs

Les chiffres de rendement et de dose d'azote minéral pour les systèmes sans apports de déjections animales sont fournis pour chaque opération FERTI-MIEUX et par type de sol ; ils sont issus des données enregistrées lors des évaluations des opérations FERTI-MIEUX. Pour les systèmes avec apports de déjections animales, les doses d'azote minéral ont été diminuées forfaitairement de 30U,



schal um 30 Einheiten reduziert, welches die registrierte durchschnittliche Abweichung zwischen dem Eintrag ohne Dung und dem Eintrag mit ergänzendem Dung ist.

- Für Getreide und Zuckerrüben

Hierfür schien die Verwendung der Daten der Bewirtschaftungszentren verlässlicher als die der FERTI-MIEUX-Datei. Die Angaben stehen nach Agrarzonengliederung zur Verfügung (Abb. 2.4.5c). Jeder Sektor, der sich aus der Überschneidung einer FERTI-MIEUX-Maßnahme und eines Bodentyps ergab, wurde einer Agrarzone zugeordnet. Der Durchschnittsertrag und der mittlere Stickstoffeintrag einer jeden Zone wurde mit Hilfe von Experten moduliert. Ein Beispiel: die Agrarzone „Wissembourg“ unterteilt sich in 2 Sektoren: FERTI Nord Alsace – gut aggregierte Schluff- bzw. Lößböden und FERTI Nord Alsace – leicht verschlämmbare Schluff- bzw. Lößboden. Der durchschnittliche Getreideertrag im Jahre 2000 betrug 77dz/ha und der mittlere Stickstoffeintrag 170 E. Gut aggregierte Schluffböden besitzen ein höheres Ertragspotential als leicht verschlämmbare Schluffböden. Daher wurde beschlossen, den gut aggregierten Schluffböden einen mittleren Ertrag von 80dz/ha und einen Stickstoffeintrag von 180 E, den leicht verschlämmbaren Schluffböden dagegen einen mittleren Ertrag von 75dz/ha und einen Stickstoffeintrag von durchschnittlich 160 E zuzuordnen. Bei gemischter Düngewirtschaft wurde der Stickstoffeintrag um 20 E reduziert.

- Für die übrigen Kulturen

Da die für andere Kulturen bereitgestellten Flächen in der elsässischen Ebene beschränkt sind, wurde beschlossen, von einer Schätzung der mittleren Erträge für kleine Sektoren abzusehen. Es wurden stattdessen die mittleren Erträge und die mittleren Stickstoffeinträge der Region dem gesamten Untersuchungsgebiet zugeordnet. Da es sich um kleine Flächen handelt, wurde auch auf eine Differenzierung nach erfolgter oder nicht erfolgter Verwendung von Dung verzichtet.

écart moyen enregistré entre les doses sans apports de déjections animales et les doses avec apports.

- Pour le blé et les betteraves sucrières

Il a paru plus fiable d'utiliser les données des centres de gestion que la base de données FERTI-MIEUX. Celles-ci sont disponibles par zone agricole (Figure 2.4.5c). Chaque secteur, issu du croisement entre une opération FERTI-MIEUX et un type de sol, a été rattaché à une zone agricole. Le rendement moyen et la dose moyenne d'azote associés à cette zone agricole ont été modulés à dire d'expert. Exemple : la zone agricole "Wissembourg" se partage entre 2 secteurs, FERTI Nord Alsace - limon sain et FERTI Nord Alsace - limon battant. Le rendement moyen du blé en 2000 est de 77 q/ha et la dose moyenne d'azote de 170 U. Les limons sains ont des potentiels de rendement plus élevés que les limons battants ; il a donc été décidé d'affecter un rendement moyen de 80q/ha et une dose d'azote de 180 U aux limons sains, et un rendement moyen de 75 q/ha et une dose d'azote moyenne de 160 U aux limons battants. Les doses d'azote ont été réduites de 20 U dans les systèmes avec apports de déjections animales.

- Pour les autres cultures

Les surfaces occupées par ces autres cultures étant réduites en plaine d'Alsace, il a été décidé de ne pas tenter d'estimer des rendements moyens par petits secteurs. Ce sont donc les rendements moyens et les doses d'azote moyennes régionaux qui ont été affectés à l'ensemble du périmètre d'étude alsacien. Compte tenu des faibles surfaces concernées, il n'a pas paru judicieux de faire des différences en fonction des apports de déjections animales.

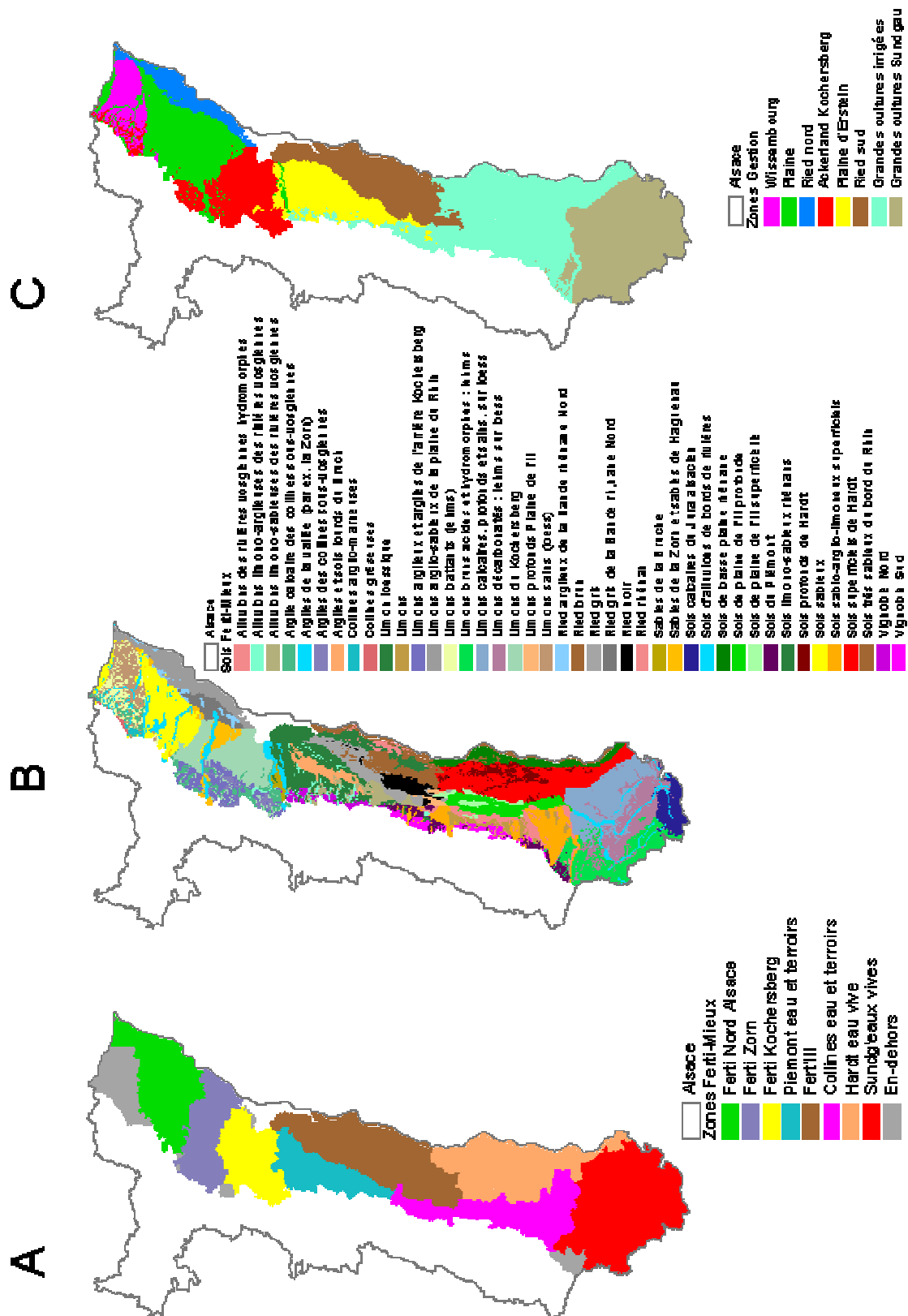


Abb. 2.4.5: Die verschiedenen für die Regionalisierung der Düngungs- und Ertragsangaben für das Elsass verwendeten Bezugsgrößen. A) FERTI-MIEUX-Maßnahmen, b) Sektor FERTI-MIEUX/Bodentyp, c) landwirtschaftliche Zonen, auf denen die Angaben der Bewirtschaftungszentren beruhen.

Fig. 2.4.5: Les différentes géométries utilisées pour la spatialisation des données de fertilisation et de rendements en Alsace. a) Opérations FERTI-MIEUX, b) Secteur FERTI-MIEUX/type de sol, c) Zones agricoles d'où sont issues les données des centres de gestion.

(c) Bestimmung der Daten für die Jahre 1980 und 1990

Die Analyse der Angaben der Bewirtschaftungszentren hat einen Rückschluss auf die Entwicklung der registrierten Durchschnittserträge und die mittleren Stickstoffeinträge zugelassen. Beispiel: für Zuckerrüben weisen die Angaben über den Beobachtungszeitraum einen signifikanten Anstieg aus, der mit 1,3 t/a beziffert wurde (s. Abb. 2.4.6). Im gleichen Zeitraum ist eine fallende Tendenz des Stickstoffeintrags um 1kg N/ha/a festzustellen (Abb. 2.4.7).

(c) Détermination des données pour les années 1980 et 1990

L'analyse des données des Centres de gestion a permis de déterminer s'il y avait une tendance à l'évolution des rendements moyens et des doses d'azote moyenne enregistrées. Exemple : pour les betteraves sucrières, les données montrent qu'on observe une tendance à l'augmentation significative des rendements au cours du temps ; cette augmentation a été chiffrée à 1,3 t/an (voir Figure 2.4.6). Dans le même temps, on observe une tendance de la dose d'azote à la diminution de 1 kg N/ha/an (Figure 2.4.7).

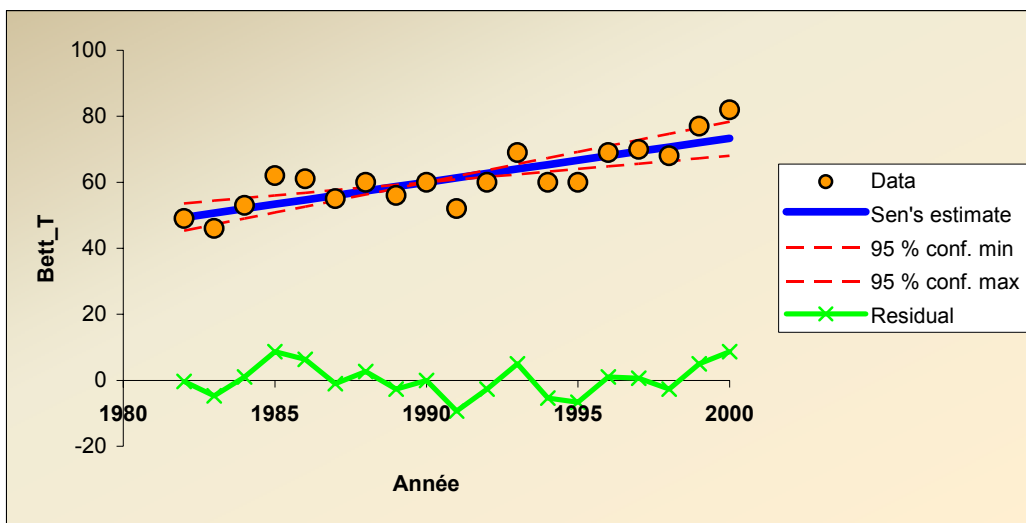


Abb. 2.4.6: Durchschnittlicher Zuckerrübenenertrag (T/ha) 1982–2000 (Angaben SUAG67; Analyse ARAA).

Fig. 2.4.6: Rendement moyen des betteraves sucrières (T/ha) de 1982 à 2000 (Données SUAG67 ; Analyse : ARAA)

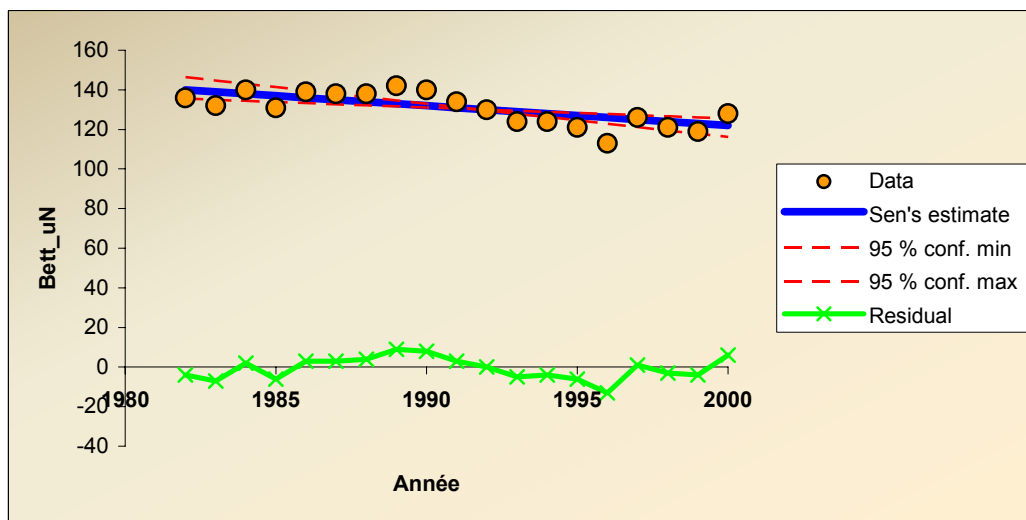


Abb. 2.4.7: Eintrag von mineralischem Stickstoff auf Maiskulturen 1982-2000 (Angaben SUAG67; Analyse ARAA).

Fig. 2.4.7: Dose d'azote minéral sur maïs de 1982 à 2000 (Données : SUAG67 ; Analyse : ARAA)

Für Mais, Getreide und Zuckerrüben reichten die Angaben für eine Analyse nach Agrarzonen aus. Für die übrigen Kulturen wurde das gesamte Territorium betrachtet. Die ermittelten Tendenzen wurden auf die Angaben für 2000 übertragen, um Rückschlüsse auf die Jahre 1990 und 1980 zu ziehen. Beispiel: für den Maisanbau in der Agrarzone Wissembourg zeigt die Trendanalyse eine Ertragssteigerung um 2 dz/a und eine Zunahme des Stickstoffeintrags um 1 kg N/ha/a. Tabelle 2.4.2 wurde auf diese Weise rekonstruiert.

Pour maïs, blé et betteraves sucrières, les données étaient suffisantes pour réaliser cette analyse par zone agricole. Pour les autres cultures, elle a été conduite à l'échelle du territoire. Les tendances ainsi estimées ont été appliquées aux données 2000 pour reconstituer les données 1990 et 1980. A titre d'exemple : pour le maïs dans la zone agricole de Wissembourg, l'analyse des tendances montre une augmentation des rendements de 2 q/an et une augmentation des doses d'azote de 1 kg N/ha/an. On reconstitue ainsi le tableau 2.4.2.

Tab. 2.4.2: Ertrag und Stickstoffeintrag im Maisanbau in 2 Zonen (Beispiel)

Tab. 2.4.2: Rendement et dose d'azote sur maïs dans 2 zones (exemple)

Opération / Maßnahme	Type de sol / Bodentyp	Rendement en q/ha / Ertrag in dz/ha			Dose N en kg/ha / N-Eintrag in kg/ha		
		2000	1990	1980	2000	1990	1980
FERTI Nord Alsace	Limon sain / gut aggregierte Schluffböden	105	85	65	180	170	160
FERTI Nord Alsace	Limon battant leicht verschlämmbare Schluffböden	90	70	50	170	160	150

#### 2.4.5 Fruchtwechsel

Diese Untersuchung wurde im Rahmen einer Vereinbarung mit der Regionaldienststelle Elsass-Lothringen für Landwirtschaftliche Statistik (SRSA) durchgeführt.

Die Beschreibung des Fruchtwechsels im Elsass wurde von der ARAA unter Verwendung der TerUti-Daten vorgenommen. Diese Datengrundlage setzt sich aus einer Auswahl von insgesamt 500 000 Standorten in Frankreich (davon 8 000 im Elsass) zusammen, für die seit 1992 alljährlich an derselben Stelle die Bodennutzung registriert wird (bei gemischten Kulturen gilt die Hauptanbauart). Die Nomenklatur umfaßt 41 Typen der Verwendung landwirtschaftlicher Nutzfläche; 22 von ihnen betreffen Ackerboden. Für die Jahre 1992 bis 2003 wurden die Angaben im Rahmen einer Vereinbarung von der SRSA Elsass-Lothringen zur Verfügung gestellt. Sie wurden nach landwirtschaftlichen Einheiten (PRA) zusammengefasst (Abb. 2.4.8). Diese Datenbasis ist für eine Analyse des Fruchtwechsels bestens geeignet. Es sind drei verschiedene Analysen vorgenommen worden:

- eine Häufigkeitsanalyse der Kombinationen von Hauptkulturen über 3 und über 4 Jahre;

#### 2.4.5 Successions culturales

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention avec le Service Régional de Statistique Agricole (SRSA) de Lorraine-Alsace.

La caractérisation des successions culturales en Alsace a été faite par l'ARAA en utilisant la base de données TerUti. Cette base de données est composée d'un échantillon important de points sur tout le territoire français (500 000 dont environ 8 000 en Alsace), pour lesquels l'occupation du sol (en cas de culture, c'est la culture principale) est déterminée chaque année au même endroit depuis 1992. La nomenclature comprend 41 types d'utilisation de la SAU, dont 22 concernent les terres arables. Les données ont été fournies pour la période de 1992 à 2003 sous convention par le SRSA Lorraine-Alsace, et elles sont agrégées par petite région agricole (PRA, Fig. 2.4.8). Cette base de données est parfaitement adaptée pour l'analyse des successions culturales. Trois types d'analyses ont été effectuées :

- une analyse fréquentielle des combinaisons des cultures principales sur 3 et sur 4 ans ;

- eine Wahrscheinlichkeitsanalyse der Fruchtfolge;
- eine Analyse vom Typ „Markov-Kette“, in Zusammenarbeit mit INRA Mirecourt.

- une analyse des probabilités de succession d’une culture par une autre ;
- une analyse de type « chaîne de Markov » faite en collaboration avec l’INRA de Mirecourt.

Diese Analysen wurden auf Ebene der landwirtschaftlichen Einheiten (PRA) durchgeführt, um die durch Boden, Relief und Klima bestimmten Grenzbedingungen der Landwirtschaft in ihrer Vielfalt berücksichtigen zu können.

Ces analyses ont été faites par Petite Région Agricole (PRA) pour pouvoir prendre en compte la variabilité des conditions aux limites pour l’agriculture induites par le sol, le relief et le climat.

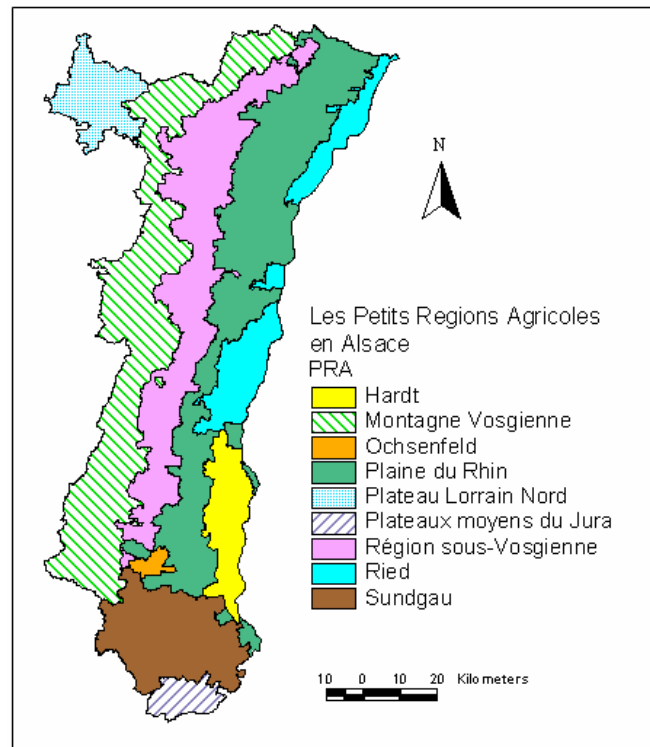


Abb. 2.4.8: Aufteilung in landwirtschaftliche Einheiten im Elsass.

Fig. 2.4.8: Le zonage en Petites Régions Agricoles en Alsace.

### Häufigkeitsanalyse

Die Häufigkeitsanalyse ermöglicht es, eine Typologie der Fruchtfolgen zu erstellen und deren Ausmaß zu ermitteln. Dies erlaubt es, gezielte Simulationen mit Hilfe des STICS-Modells der am häufigsten vorkommenden Fruchtfolgen durchzuführen. Abbildung 2.4.9 zeigt Beispiele der Ergebnisse, welche mit Hilfe der Häufigkeitsanalyse für zwei verschiedenartige landwirtschaftliche Einheiten ermittelt wurden (4-jähriger Fruchtwechselzyklus). Die Abbildung weist drei Zeitabschnitte aus (1992-1997, 1996-2000 und 1998-2003), woran die zeitliche Entwicklung abgelesen werden kann.

### Analyse fréquentielle

L’analyse fréquentielle permet de définir une typologie des successions culturales et de connaître leur importance. Ceci permet de cibler les simulations avec le modèle STICS pour évaluer les successions culturales les plus courantes. Figure 2.4.9 donne des exemples des résultats obtenus avec l’analyse fréquentielle pour deux PRA contrastées (successions culturales sur 4 ans). Dans la figure, trois périodes (1992-1997, 1996-2000 et 1998-2003) sont affichées, ce qui permet d’identifier les évolutions dans le temps.

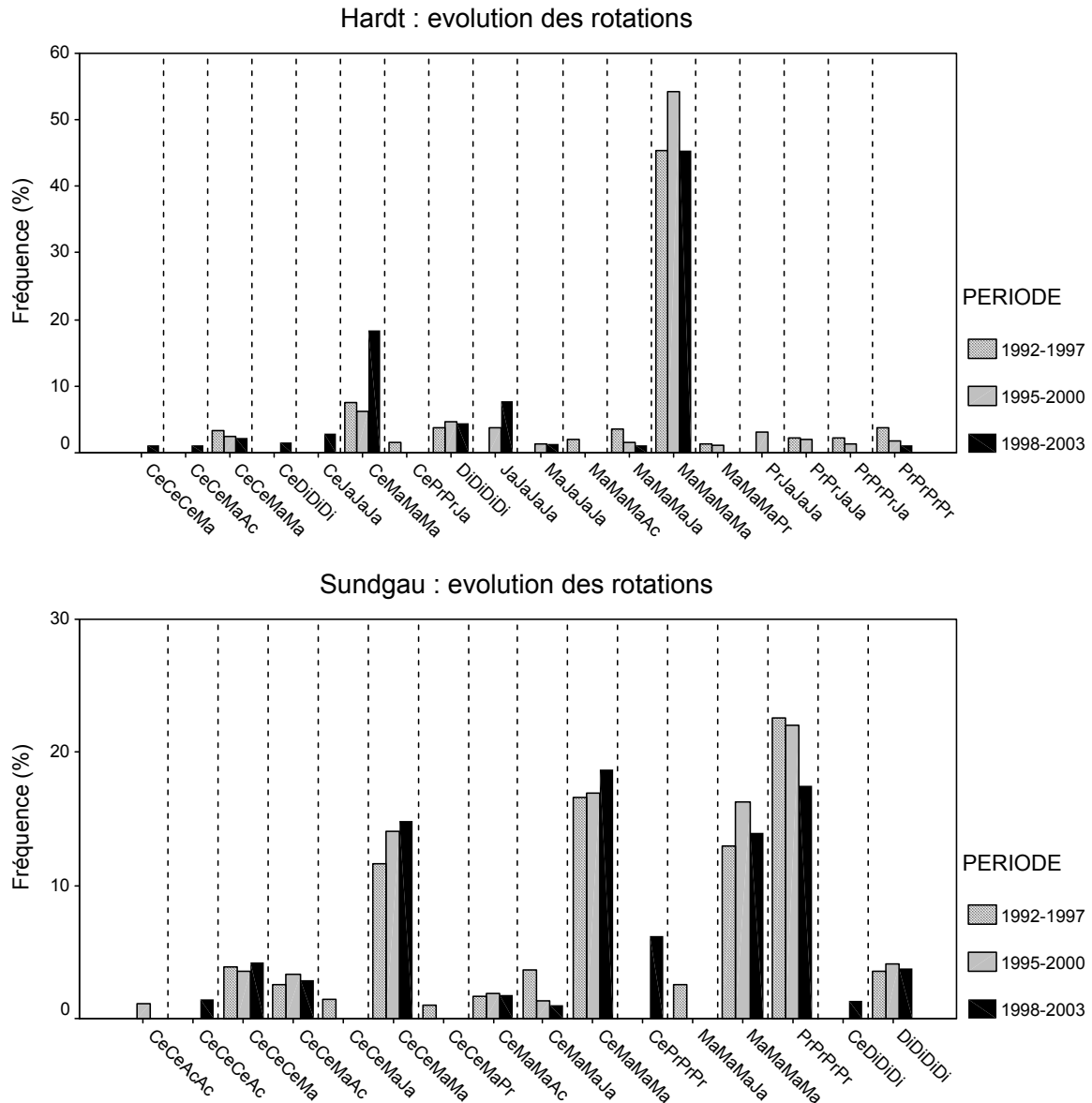


Abb. 2.4.9: Häufigkeit der Kombinationen der Hauptanbauarten im 4-Jahres-Zyklus (die Reihenfolge der Kulturen kann variieren) für die landwirtschaftlichen Einheiten des Hardts und des Sundgau (Angaben TerUti: SRSA Elsass-Lothringen; Analyse ARAA).

Fig. 2.4.9: La fréquence des combinaisons des cultures principales sur 4 ans (l'ordre des cultures peut varier) pour les petites régions agricoles de la Hardt et du Sundgau. (Données TerUti : SRSA Lorraine-Alsace ; Analyse : ARAA)

#### Wahrscheinlichkeitsanalyse der Fruchtfolge

Mit dieser Analyse wird der Versuch unternommen, die Wahrscheinlichkeit der Aufeinanderfolge von bestimmten Kulturen zu ermitteln. Das Ergebnis ist ein Raster von Wahrscheinlichkeiten, mit Hilfe dessen es möglich sein könnte, ausgehend von einer bestimmten Ausgangssituation eine stochastische Simulation der Fruchtfolgen vorzunehmen. Mit dieser Methode erhält man keine begrenzte Anzahl von Anbauzyklen, die nur einen Teil der landwirtschaftlichen

#### Analyse de probabilité des successions d'une culture par une autre

Cette analyse cherche à calculer la probabilité qu'une culture donnée soit suivie par une autre culture donnée. Le résultat est une matrice de probabilités, qui pourra permettre de simuler de façon stochastique les successions culturelles étant donné une situation de départ. Cette méthode ne produit pas un nombre restreint de rotations qui ne représentent qu'une partie de la SAU, comme c'est le cas avec la méthode fréquentielle. Au contraire, elle permet de simuler également

Nutzfläche darstellen, wie es bei der Häufigkeitsmethode der Fall ist. Sie ermöglicht es vielmehr, auch weniger häufige oder gar außergewöhnliche Fruchtfolgen zu simulieren. Tabelle 2.4.3 zeigt ein Beispiel der erzielten Ergebnisse: für jede Kultur des 1. Jahres wird die Wahrscheinlichkeit eines Wechsels im 2. Jahr angegeben. Beispiel: im Sundgau folgt auf Mais in 64% der Fälle noch einmal Mais und in 26% der Fälle Getreide; in 8% der Fälle folgt Getreide auf Getreide; wesentlich häufiger ist die Reihenfolge Getreide – Mais (57%). In der Hardt folgt fast immer Mais auf Mais (89% der Fälle). Ferner kann man feststellen, dass Brachland in der Hardt nachhaltiger anzutreffen ist als im Sundgau.

les successions moins courantes ou même exceptionnelles. Le tableau 2.4.3 montre un exemple des résultats obtenus : pour chaque culture de la première année, la probabilité est donnée qu'elle soit suivie par l'autre de l'année suivante. Exemple : dans le Sundgau, un maïs est suivi dans 64% des cas par un maïs et dans 26% des cas par un blé ; le blé suivi par du blé a été trouvé dans 8% des cas ; blé – maïs est beaucoup plus courant (57%). Dans la Hardt, le maïs est presque toujours suivi par du maïs (89% des cas). On peut aussi observer que les jachères dans la Hardt ont un caractère plus permanent que dans le Sundgau.

Tab. 2.4.3: *Wahrscheinlichkeit der Kultur y (2. Jahr) als Folge der Kultur x (1. Jahr). Beispiel Hardt und Sundgau (Angaben TerUti: SRSA Elsass-Lothringen; Analyse: ARAA).*

Tab. 2.4.3: *Probabilité de présence de la culture y (deuxième année) en succession de la culture x (première année). L'exemple de la Hardt et du Sundgau. (Données TerUti : SRSA Lorraine-Alsace ; Analyse : ARAA)*

<b>Hardt</b>		<b>Culture : deuxième année</b>										
<b>Culture : première année</b>	Mais	Jachères	Blé	Prairies artific.	Prairies temp.	Orge	Betteraves	Colza, navette	Pommes de terre	Avoine	Autres legumes	
Mais	89,0	2,7	4,1	0,5	0,6	0,4	1,4	0,3	0,5	0,1	0,2	
Jachères	13,1	70,1	2,2	1,9	10,1	0,4	0,7	0,4	0,0	0,4	0,0	
Blé	52,6	9,1	13,6	2,6	3,2	7,1	1,3	5,8	1,9	0,0	0,0	
Prairies artific.	10,2	14,3	3,1	59,2	10,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Prairies temp.	5,8	27,9	3,5	20,9	32,6	1,2	0,0	1,2	1,2	0,0	1,2	
Orge	38,6	20,5	15,9	0,0	2,3	9,1	0,0	2,3	2,3	9,1	0,0	
Betteraves	88,9	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
Colza, navette	13,6	9,1	36,4	4,5	13,6	4,5	0,0	9,1	0,0	4,5	0,0	
Pommes de terre	25,0	0,0	43,8	0,0	0,0	18,8	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	
Avoine	21,4	7,1	7,1	0,0	7,1	14,3	0,0	7,1	0,0	35,7	0,0	
Autres legumes	15,4	0,0	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,9	

<b>Sundgau</b>		<b>Culture : deuxième année</b>										
<b>Culture : première année</b>	Mais	Blé	Jachères	Orge	Betteraves	Prairies temp.	Colza, navette	Prairies artific.	Autres legumes	Avoine	Pommes de terre	
Mais	64,2	26,3	3,0	1,1	3,4	0,5	0,5	0,0	0,1	0,3	0,2	
Blé	57,2	8,4	4,5	10,5	5,7	1,6	8,3	0,5	0,5	0,8	0,8	
Jachères	32,2	16,4	41,8	1,7	0,0	3,4	1,7	0,0	0,0	0,6	0,0	
Orge	54,5	11,4	7,6	2,3	0,8	7,6	4,5	3,8	0,0	3,8	1,5	
Betteraves	57,4	40,3	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Prairies temp.	18,8	2,3	2,3	0,0	0,0	58,6	0,8	2,3	0,0	0,0	0,0	
Colza, navette	12,1	77,8	1,0	4,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	
Prairies artific.	7,3	7,3	4,9	0,0	0,0	14,6	0,0	63,4	0,0	0,0	0,0	
Autres legumes	10,8	5,4	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	70,3	0,0	8,1	
Avoine	45,5	9,1	0,0	18,2	9,1	4,5	0,0	4,5	0,0	4,5	4,5	
Pommes de terre	44,4	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	16,7	

#### Analyse des Typs „Markov-Kette“

Zur Beschreibung der Fruchtfolge ist diese Analyse die vollständigste. Um das Ausmaß des Fruchtwechsels und die zeitliche Folge zu veranschaulichen, wurde die Software CARROTAGE des INRA Mirecourt verwendet (Mari et al., 2002; Mignolet et al., 2003). Abbildung 2.4.10 zeigt Beispiele der mit CARROTAGE ermittelten Ergebnisse für dieselben landwirtschaftlichen Einheiten (PRA) wie in Abbildung 2.4.9 und in Tabelle 2.4.3. Die Abbildung zeigt die häufigsten Dreiergruppen in beiden PRA.

#### Analyse « chaîne de Markov »

Cette analyse est la plus complète pour caractériser les successions culturales. Le logiciel CARROTAGE de l'INRA Mirecourt (Mari et al., 2002 ; Mignolet et al., 2003) a été utilisé pour visualiser l'importance des successions culturales et les échanges de l'une à l'autre dans le temps. Figure 2.4.10 montre des exemples des sorties du logiciel CARROTAGE pour les mêmes deux PRA que celles de la figure 2.4.9 et du tableau 2.4.3. La figure permet d'identifier les principaux triplets de cultures dans les deux PRA.



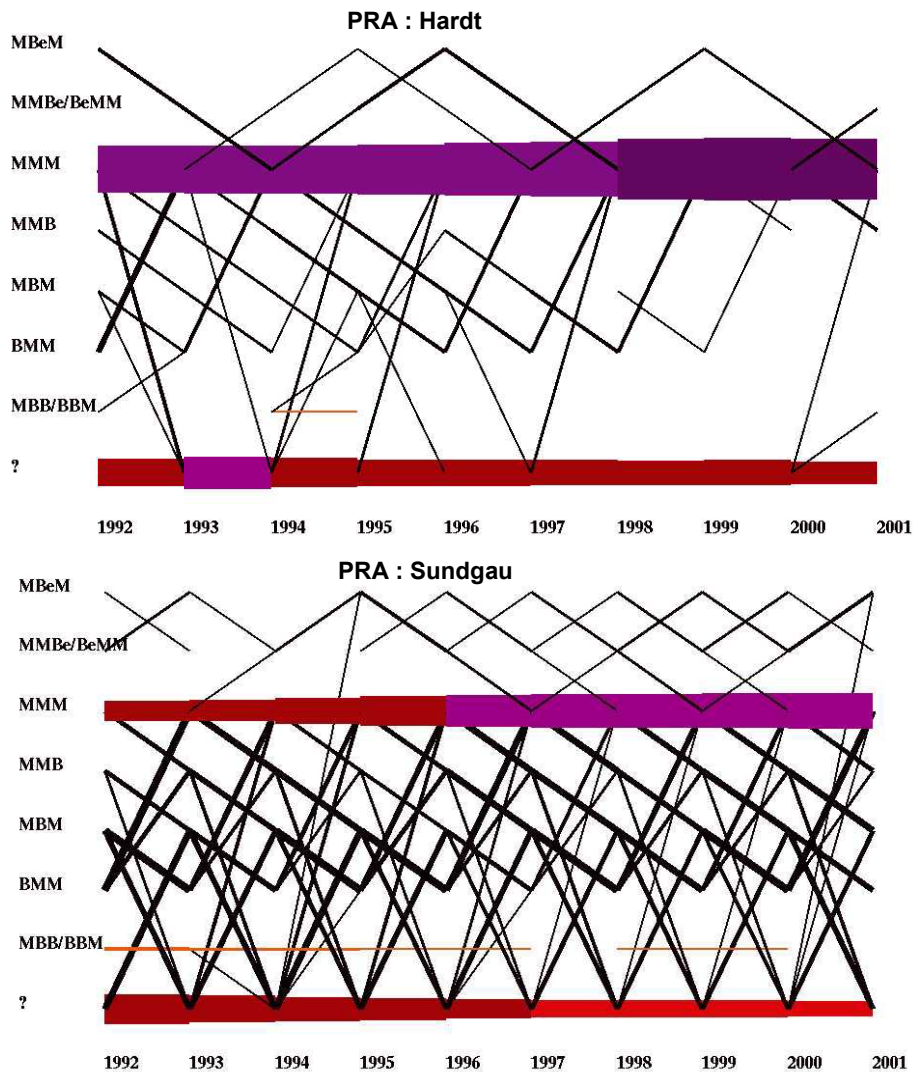


Abb. 2.4.10: Mit CARROTAGE ermittelte Ergebnisse als Markov-Diagramm (M=Maïs, B=Getreide, Be=Zuckerrüben). Die Liniendicke ist proportional zur Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Dreiergruppe (Angaben TerUti: SRSA Elsass-Lothringen; Analyse: INRA-Mirecourt/ARAA).

Figure 2.4.10: Sorties du logiciel CARROTAGE sous forme de diagramme de Markov (M=maïs, B=blé, Be=betterave). L'épaisseur des traits est proportionnelle à la probabilité de l'occurrence du triplet. (Données TerUti : SRSA Lorraine-Alsace ; Analyse : INRA-Mirecourt/ARAA).

#### 2.4.6 Daten zur Validierung von STICS (Versuchspartzen)

In der Absicht, Datengruppen zur Validierung des STICS-Modells zu erstellen, hat die ARAA die Messergebnisse für vier Standorte im Einzugsbereich des Grundwassers in der elsässischen Ebene zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um dieselben Standorte, die auch zum „Beobachtungsbereich für Nitratimmissionen in das Grundwasser mit landwirtschaftlichem Ursprung“ gehören (Finanzträger: Gewässerbehörde Rhein-Maas, Regionalrat Elsass, Landwirtschaftsministerium) und die seit 2002 operationell sind. Die durchgeführten Messungen und die gesammelten Daten werden nachstehend beschrieben.

#### 2.4.6 Données de validation de STICS (parcelles d'essai)

Dans le but de produire des jeux de données pour valider le modèle STICS, l'ARAA a mis à disposition les résultats des mesures réalisées sur quatre sites situés dans l'emprise de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace. Il s'agit des sites qui font partie de « l'observatoire des fuites de nitrates des parcelles agricoles vers les eaux souterraines » (financeurs : Agence de l'eau Rhin Meuse, Conseil Régional d'Alsace, Ministère de l'Agriculture) et qui sont opérationnels depuis 2002. Les mesures effectués et les données accueillies sont décrites ci-dessous.



- **Die Bodenmerkmale:** Für jeden Standort verfügen wir über die Beschreibung des pedologischen Profils und die Bestimmung des charakteristischen Feuchtegehalts (Feldkapazität, Hcc, und Welkepunkt, HpF4,2) sowie der Trockenroh-dichte für jeden Horizont.
- **Wasserentnahmen und Analysen:** An jedem Standort wurden 7 Saugkerzen in ca. 1 m Tiefe horizontal im Boden installiert. Im Zeitraum vom Einsetzen der Drainage (Oktober) bis zum Ende des Frühjahrs finden an jedem Standort alle 2 Wochen Entnahmen statt. Die pro Saugkerze gesammelte Wassermenge wird registriert und ihr Nitratgehalt ermittelt. Abbildung 2.4.11 zeigt die zeitliche Entwicklung der gesammelten Wassermengen am Beispiel eines Standorts. Die Analyse des Nitratgehalts der gesammelten Entnahmen wurde dem Zentrum für Analysen und Forschung, Abt. Hydrologie und Umwelt, in Illkirch übertragen. Der Ammoniumgehalt wird von der LUFA Augustenberg untersucht.
- **Stickstoffhaltige Restablagerungen:** Die Probeentnahmen zur Bestimmung der stickstoffhaltigen Restablagerungen werden zum Teil von der ARAA zu den relevanten Zeitpunkten des Stickstoffzyklus (Ende des Winters, nach der Ernte des Strohgetreides und bei Wiedereinsetzen der Drainage) und zum Teil vom Büro für Umwelt- und Geowissenschaften, mit Entnahmen alle 2 Wochen vorgenommen. Die Proben der ARAA werden von dem SADEF auf ihren NO<sub>3</sub>- und NH<sub>4</sub>-Gehalt untersucht.
- **Isotopische Messungen:** Viermal pro Jahr werden Bodenproben für isotopische Stickstoffanalysen entnommen. Damit wird die Herkunft des Stickstoffs ermittelt (Kap. 2.2). Die Analysen werden von der Firma Hydroisotop vorgenommen; die Interpretation erfolgt durch Herrn Auckenthaler und seine Kollegen vom Kantonalen Laboratorium Liestal.
- **Biomasse und absorbiertes Stickstoff:** Am Ende der Vegetationszyklen wird auf jeder Parzelle die erzeugte Biomasse und die absorbierte Stickstoffmenge ermittelt. Dies gestattet es, bei der Auswertung die Schlüssigkeit der Ergebnisse zu überprüfen.
- **Les caractéristiques du sol :** Nous disposons pour chaque site de la description du profil pédologique et de la détermination des humidités caractéristiques (à la capacité au champ, Hcc, et au point de flétrissement, HpF4,2), ainsi que de la densité apparente pour chacun des horizons.
- **Prélèvements d'eau et analyses effectuées :** Sur chaque site, 7 bougies poreuses ont été installées horizontalement à environ 1 m profondeur dans le sol. Dans la période qui va de la reprise du drainage (octobre) jusqu'à la fin du printemps, chaque site est prélevé 1 fois toutes les 2 semaines. Le volume d'eau recueilli par bougie poreuse est enregistré et sa teneur en nitrates est déterminée. La figure 2.4.11 montre l'évolution dans le temps des volumes d'eau recueillies pour un des sites. Les analyses des teneurs en nitrates des échantillons recueillis ont été confiées au département « Hydrologie et Environnement » du Centre d'Analyses et de Recherches d'Illkirch. La teneur en ammonium est également analysée, par la LUFA Augustenberg.
- **Reliquats azotés :** L'échantillonnage pour la détermination des reliquats azotés est fait pour une partie par l'ARAA aux dates clés du cycle de l'azote (en sortie d'hiver, après la récolte des céréales à paille et à la reprise du drainage), et une autre partie par l'entreprise « Büro für Umwelt- und Geowissenschaften » avec une fréquence plus importante (une fois toutes les 2 semaines). Les échantillons de l'ARAA sont analysés pour leurs teneurs en NO<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub> par la SADEF.
- **Mesures isotopiques :** 4 fois par an, un échantillonnage du sol a lieu pour des analyses isotopiques de l'azote présent dans le sol. Ceci permet d'identifier l'origine de l'azote (chapitre 2.2). Les analyses isotopiques sont faites par l'entreprise Hydroisotop et l'interprétation des données par M. Auckenthaler et ses collègues du « Kantonalen Laboratorium Liestal ».
- **Biomasse et azote absorbé :** Sur chaque parcelle, en fin de cycle de chaque couvert végétal, des déterminations de la biomasse produite et de la quantité d'azote qu'elle a prélevée sont réalisées. Ceci doit permettre, lors des interpréta-

fen und die Stickstoffbilanz abzuschließen.

Mit Hilfe dieser Vor-Ort-Erhebungen können mehrere Teile des STICS-Modells validiert werden: der Stickstoffgehalt des Bodens, die mit der Ernte entnommene Stickstoffmenge, die Restablagerungen von Stickstoff in der Parzelle und die mit der Drainage ins Grundwasser transportierte Stickstoffmenge. Die für die Validierung verwendbaren Daten betreffen den Zeitraum September 2003 bis Ende des Winters 2005.

tions, de vérifier la cohérence des résultats et de boucler le bilan d'azote.

Ces données de terrain permettent de valider plusieurs compartiments du modèle STICS : l'azote dans le sol, l'azote exporté à la récolte, l'azote dans les résidus restants sur la parcelle, et l'azote qui part avec l'eau de drainage vers la nappe. Les données utilisables pour la validation couvrent la période de septembre 2003 jusqu'à la fin d'hiver 2005.

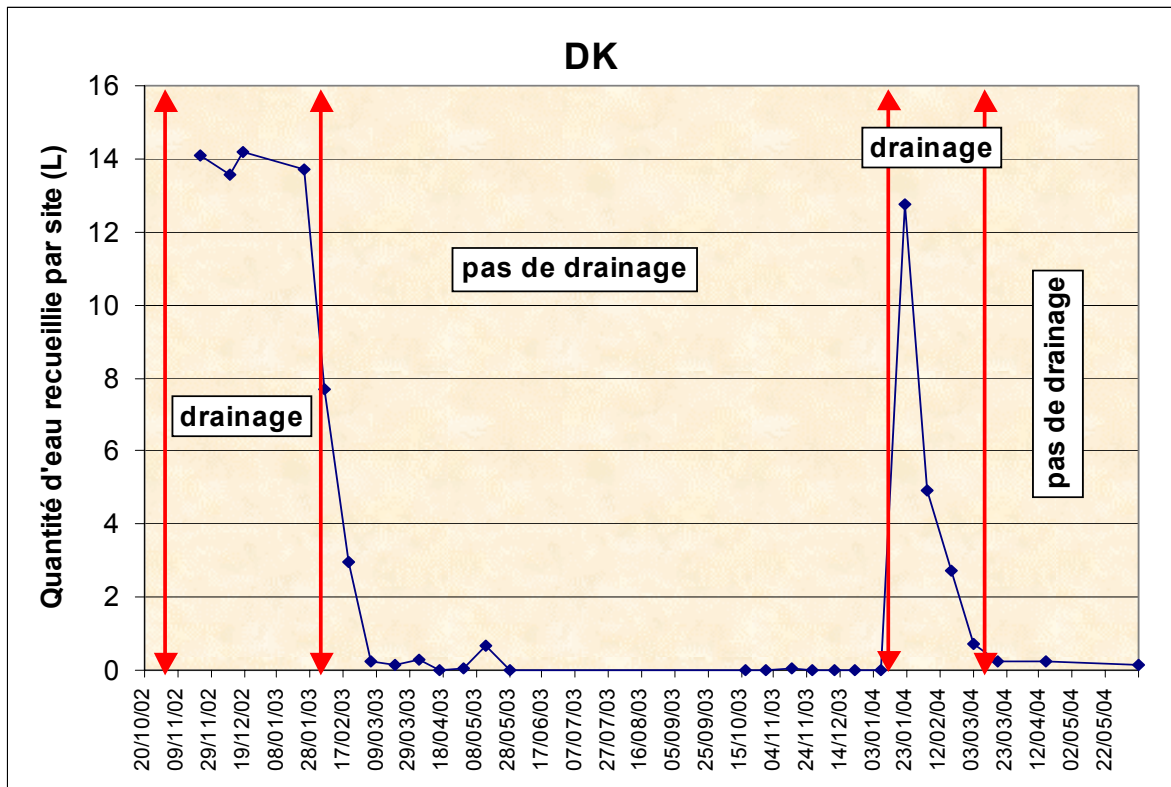


Abb. 2.4.11: Entwicklung der in den Saugkerzen des Standorts DK (Dambach-la-Ville) gesammelten Wassermengen.

Fig. 2.4.11: L'évolution des volumes d'eau recueillie dans les bougies poreuses du site DK (Dambach-la-Ville).

## **2.5 Datengrundlagen für die N-Modelle STOFFBILANZ und STICS: Deutschland und Schweiz**

*M. Finck, M. Steiner, A. Auckenthaler, St. Korte*

### **2.5.1 Einführung**

Ein wesentlicher Teil der bisherigen Projektarbeit war die Schaffung einer gemeinsamen bzw. vergleichbaren Datenbasis für das länderübergreifende Projekt. Hierzu wurden zahlreiche Recherchen zur Datenlage und Datenverfügbarkeit in Hinblick auf die Anforderung der beiden Modelle Stoffbilanz und STICS in den jeweiligen Teilgebieten durchgeführt. Viele Fragen zur Vergleichbarkeit oder Übertragbarkeit mussten geklärt werden und ein einheitliches Vorgehen bei der weiteren Datenaufbereitung abgestimmt werden. Im Folgenden werden die von der LUFA, dem LGRB und der LfU für die deutsche und Schweizer Projektseite zusammengestellten und aufbereiteten Datengrundlagen vorgestellt. Dies sind Daten für die Bereiche Boden (2.5.2), Landnutzung (2.5.3), Düngemengen (2.5.4), Ertrag (2.5.5), N-Nachlieferung (2.5.6), Standardbewirtschaftung (2.5.7), Fruchtfolgen (2.5.8) und Daten zur Validierung des prozessorientierten Modells STICS (2.5.9).

Weitere Eingangsdaten, die länderübergreifend ermittelt wurden, sind bereits in anderen Kapiteln erläutert worden: Satellitenbilddauswertungen, atmosphärische Deposition und Denitrifikation in Kapitel 2.3 sowie die Sickerwasserrate in Kapitel 1.5.

Die mit den N-Modellen berechneten Nitrausträge sind Eingabedaten für das Grundwassermodell. Um die heute gemessenen Konzentrationen im Grundwasser erklären zu können, ist v.a. auch die historische Eintragungssituation zu rekonstruieren. Dies erfolgt anhand zweier weiterer Modellrechnungen mit den Landnutzungsdaten und Bewirtschaftungsdaten für die Jahre 1979 und 1991. Für diese Jahre liegen, wie für das Jahr 1999 umfangreiche agrarstatistische Daten der Bodennutzungshaupterhebung vor. Es ergibt sich somit ein Bild der Nitratreintragungssituation in 10-Jahrsschritten für Ende der 70er, Ende der 80er und Ende der 90er Jahre.

## **2.5 Données de base pour les modèles STOFFBILANZ et STICS: Allemagne et Suisse**

*M. Finck, M. Steiner, A. Auckenthaler, St. Korte*

### **2.5.1 Introduction**

Jusqu'à présent, la réalisation d'une base de données commune contenant des données similaires des deux côtés du Rhin occupait une part importante du projet. Dans ce cadre, beaucoup d'efforts ont été effectués dans les différentes zones du projet pour identifier les données disponibles répondant aux besoins des modèles Stoffbilanz et STICS et pour procéder à leur acquisition. Il était nécessaire de résoudre des problèmes d'harmonisation et de transposition des données, et il fallait également se mettre d'accord sur des procédures communes de traitement des données. Ci-après sont présentées les données de base rassemblées et élaborées pour les parties allemande et suisse du projet par la LUFA, le LGRB et la LfU. Ces données concernent les sols (2.5.2), l'utilisation du sol (2.5.3), les quantités d'engrais (2.5.4), les rendements (2.5.5), la minéralisation de l'azote (2.5.6), les pratiques agricoles standardisées (2.5.7), les successions culturales (2.5.8) et les données de validation du modèle à base physique STICS (2.5.9).

Les données d'entrée couvrant l'ensemble de la zone transfrontalière du projet ont déjà été présentées dans d'autres chapitres : les images satellitaires classifiées, la déposition atmosphérique et la dénitrification dans le chapitre 2.3 et la recharge de la nappe dans le chapitre 1.5.

Le lessivage de nitrates calculé à l'aide des modèles constitue une donnée d'entrée pour le modèle des eaux souterraines. La reconstruction de l'historique des entrées de nitrates dans la nappe est nécessaire à l'explication des concentrations qui y sont mesurées actuellement. Cette reconstruction est effectuée à partir des simulations utilisant des données d'utilisation du sol et des données des pratiques agricoles pour les années 1979 et 1991. Pour ces années, ainsi que pour 1999, un très grand nombre de données statistiques agricoles issues des recensements agricoles est disponible. Il en résulte une image de la situation des entrées de nitrates à des intervalles de 10 ans pour la fin des années 70, 80 et 90.

## 2.5.2 Bodendaten

Bodendaten werden derzeit im Projekt für zwei Modellbausteine verwendet: das Grundwasserneubildungsmodell GwN\_BW und das N-Bilanzmodell STOFFBILANZ. Letzteres verwendet als Eingangsgrößen für sein Wasserhaushaltsmodell die Ergebnisse des ersteren. Zusätzlich werden auch Bodeneigenschaften für die Berechnung von Bilanzgliedern des N-Haushalts - wie z.B. Düngermengen, Erträge, etc. - benötigt. Für eine flächenhafte Anwendung des prozessorientierten Modells STICS stehen ebenfalls tiefendifferenzierte bodenphysikalische Daten aus der BK 1: 25 000 zur Verfügung.

Für das Grundwasserneubildungsmodell wurden im inneren Projektgebiet Bodendaten aus der BK 1:25 000 vom LGRB aufbereitet, für das äußere Projektgebiet wurden die Daten direkt aus der Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg im Maßstab 1: 200 000 (BÜK 200) übernommen. Es handelt sich dabei um Angaben zur nutzbaren Feldkapazität in der durchwurzelten Bodenzone, Grundwasserbeeinflussung, Substrat und Gründigkeit.

### Bodendaten für GwN\_BW

Als Grundlage für die Zuordnung der Bodeneigenschaften zu den Rasterelementen des Modells STOFFBILANZ diente ebenfalls die Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg (BÜK 200). Hierbei wurden die Parameter Bodenart und Bodentyp verwendet. Um die unterschiedliche Klassifikation der Bodentypen auf deutscher und französischer Seite zu vereinheitlichen, wurden die französischen Bodentypen anhand ihrer dominierenden Merkmale in das deutsche System „übersetzt“ (vgl. Kap. 2.4.2).

Für den Schweizer Teil wurde die Bodenkarte der Eidgenössischen Forschungsanstalt Zürich-Reckenholz im Maßstab 1: 25 000 bzw. die daraus im Rahmen des INTERREG II-Projektes „Erkundung der Grundwasserleiter und Böden im Hochrheintal“ abgeleiteten und vereinheitlichten Bodenkenngrößen herangezogen. In Abb. 2.5.1 sind die Bodendaten für das Modell STOFFBILANZ in Form von Bodenartengruppen aufbereitet worden.

## 2.5.2 Données de sol

Les données de sol sont actuellement utilisées dans le projet pour deux composantes du système de modélisation : le modèle de recharge de la nappe GWN\_BW et le modèle de bilan d'azote STOFFBILANZ. Le second modèle utilise les sorties du premier modèle concernant la recharge de la nappe en tant qu'entrée pour son module hydrologique. De plus, des données concernant les caractéristiques du sol sont également nécessaires pour l'estimation de certains éléments du bilan d'azote, comme les quantités d'engrais, les rendements, etc. Des données portant sur les caractéristiques physiques des sols à différentes profondeurs issues de la carte du sol à l'échelle 1 : 25 000 sont également disponibles pour la spatialisation du modèle à base physique STICS.

Les données de sol pour le modèle de recharge de la nappe ont été préparées par le LGRB à partir de la carte du sol à l'échelle 1 : 25 000 pour la zone intérieure du projet, alors que les données pour la zone extérieure ont été directement reprises de la carte pédologique générale du Bade-Wurtemberg à l'échelle 1 : 200 000 (BÜK 200). Il s'agit ici de données sur la réserve utile de la zone racinaire, l'hydromorphie, le substrat et la profondeur d'enracinement.

### Données de sol pour GWN\_BW

La carte pédologique générale du Bade-Wurtemberg (BÜK 200) a également servi de source pour les données sols à fournir au modèle STOFFBILANZ. Il s'agit des paramètres Texture du sol et Type de sol. Afin d'harmoniser les différentes classifications de types de sols des côtés français et allemand, les types de sols français ont été « transposés » dans le système allemand en fonction de leurs caractéristiques principales (cf. chap. 2.4.2).

Pour la partie suisse, on a utilisé la carte des sols de l'Institut de Recherche Helvétique de Zürich-Reckenholz à l'échelle 1 : 25 000 ainsi que des données de caractéristiques pédologiques dérivées et uniformisées du projet INTERREG-II « Identification de l'aquifère et des sols dans la vallée du Rhin Supérieur ». La Fig. 2.5.1 présente les classes de texture du sol élaborées pour le modèle STOFFBILANZ.

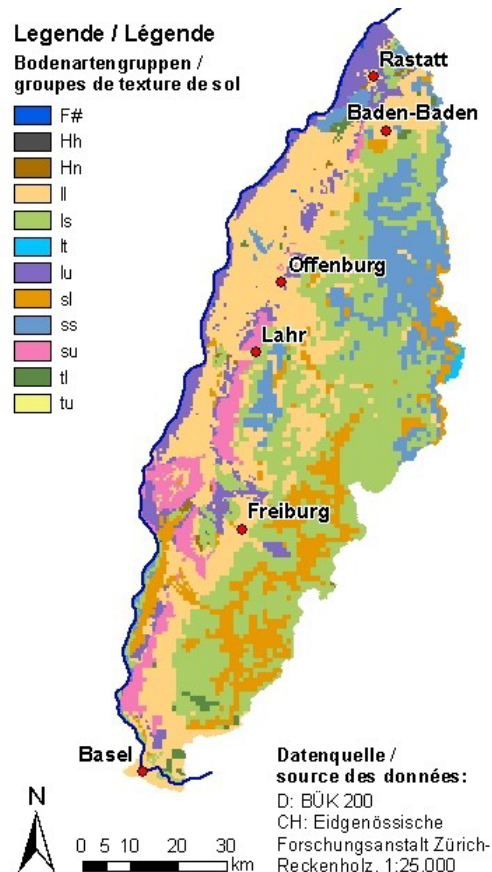


Abb. 2.5.1: Bodenartengruppen für das deutsch-schweizerische Projektgebiet (Datenquelle: LGRB; Darstellung: LfU).

Fig. 2.5.1: Classes de texture du sol pour la zone d'étude franco-allemande (source des données : LGRB ; réalisation : LfU).

### Bodendaten für eine flächenhafte Anwendung von STICS

Um eine zunächst angedachte flächenhafte Anwendung des prozessorientierten Modells im gesamten inneren Modellgebiet zu ermöglichen, wurde die Bodenkarte von Baden-Württemberg im Maßstab 1: 25 000 der Anforderung des Modells nach einer tiefendifferenzierten bodenphysikalischen Beschreibung entsprechend aufbereitet. Hierfür wurde vom LGRB für jede bodenkundliche Kartiereinheit innerhalb des inneren Projektgebietes ein „Typprofil“ festgelegt und horizontweise die Parameter Textur, Humusgehalt, Skelettgehalt, Trockenrohdichte und effektive Lagerungsdichte beschrieben.

### 2.5.3 Landnutzungsdaten

In Ergänzung zu den aus dem Satellitenbild abgeleiteten Hauptnutzungsformen (vgl. Kapitel 2.3.5) wurde die kulturartenspezifische Agrarstatistik auf Gemeindeebene genutzt.

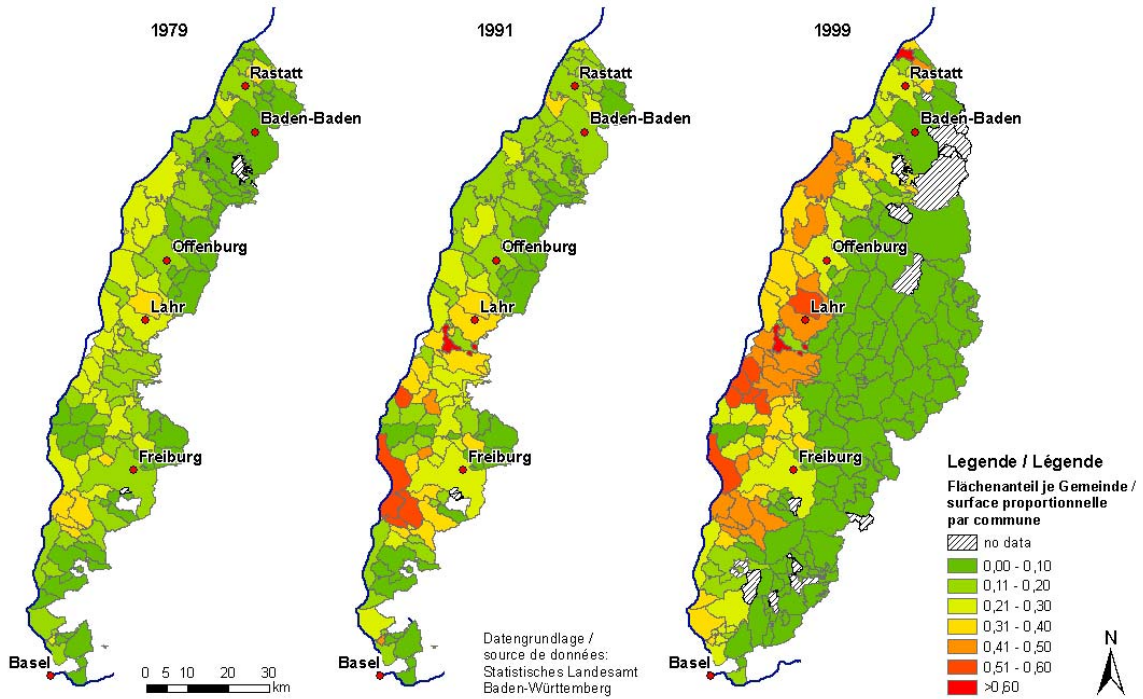
### Données de sol pour la spatialisation de STICS

Afin de permettre la spatialisation initialement prévue du modèle à base physique sur l'ensemble de la zone du modèle, on a procédé à une description des paramètres physiques du sol requis par le modèle pour le Bade-Wurtemberg à l'échelle 1 :25 000. Dans ce but, le LGRB a établi un profil type pour chacune des unités cartographiques pédologiques de la zone d'étude et a décrit différents paramètres pour chaque horizon : texture, teneur en humus, teneur en cailloux, densité apparente et une densité effective prenant en compte la teneur en argile (« effective Lagerungsdichte »).

### 2.5.3 Données d'utilisation du sol

Afin de compléter les principales classes d'utilisation du sol dérivées de l'image satellitaire (cf. chap. 2.3.5), on a utilisé les statistiques agricoles à l'échelle de la commune (« Gemeinde »); ceci a permis de préciser les surfaces occupées par chaque culture.

Körnermais (D & CH) / mais grain (D & CH)



Winterweizen (D & CH) / blé d'hiver (D & CH)

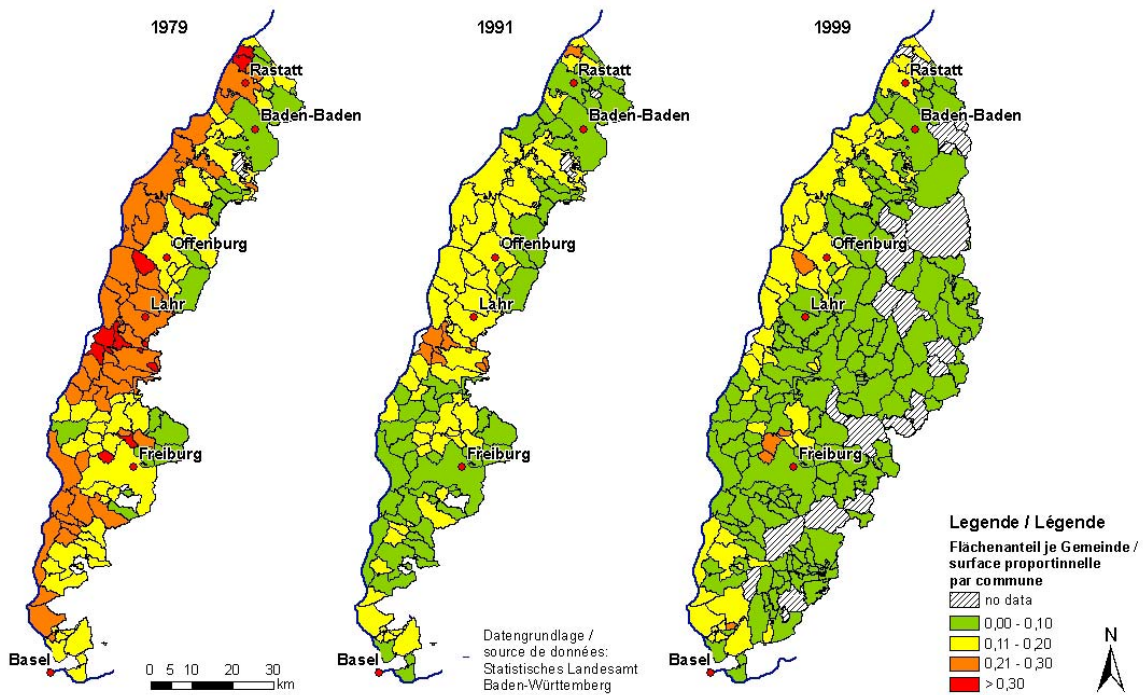


Abb. 2.5.2: Flächenanteile für (a) K-Mais und (b) W-Weizen pro Gemeinde für die Jahre 1979, 1991 und 1999. Daten für die Jahre 1979 und 1991 noch unvollständig - beinhalten nur Gemeinden der Rheinebene (inneres Projektgebiet). (Datenquelle: StaLa; Darstellung: LfU)

Fig. 2.5.2: Surface relative (a) du maïs-grain et (b) du blé d'hiver par commune pour les années 1979, 1991 et 1999. Les données pour 1979 et 1991 sont encore incomplètes et couvrent uniquement les communes de la plaine rhénane (zone intérieure du projet). Source des données : StaLa ; réalisation : LfU)



Für die Aufteilung der Ackerflächen in verschiedene Kulturarten wurden die auf Gemeindeebene vorliegenden Daten aus der Bodennutzungshaupterhebung des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg von 1999 verwendet. Für die Abbildung der historischen Nitratreintragsituation werden die Daten der Bodennutzungshaupterhebungen 1979 und 1991 heran gezogen. In Abb. 2.5.2 wird die Flächennutzungsänderung anhand von K-Mais und W-Weizen dargestellt.

Sonderkulturen wie Wein- und Obstbau konnten direkt aus der Satellitenbilddauswertung übernommen werden. Für die Sonderkulturen Tabak und Gemüse wurden spezifische Auswertungen durch das Statistische Landesamt vorgenommen. Eine weitere Aufteilung in Erdbeeren, Spargel und sonstiges Gemüse wurde anhand der Gemüseanbauerhebung des Jahres 2000 abgeleitet.

Um den Rasterzellen mit der Hauptnutzung „Ackerfläche“ die jeweiligen Flächenanteile der einzelnen Kulturarten zuzuordnen, musste die rasterbasierte Hauptnutzungskarte mit den an Verwaltungsgrenzen orientierten Agrarstatistik-Daten verschnitten werden. Somit wurde jeder Rasterzelle mit der Hauptnutzung Ackerland eine statistisch ermittelte Kulturartenverteilung zugeordnet (vgl. auch Kap. 2.3.4). Die weiteren Berechnungsschritte wurden dann kulturartenspezifisch durchgeführt.

#### 2.5.4 Düngemenge

Im Gegensatz zur französischen Projektseite liegen auf deutscher und Schweizer Seite keine Daten zum praxisüblichen kulturspezifischen N-Düngereinsatz vor. Eine möglichst plausible Abschätzung der Düngemengen für die Ackerbaukulturen wurde in mehreren Schritten durchgeführt.

(1) Zunächst wurden die nach ordnungsgemäßer Landwirtschaft (ogL) bewirtschafteten Varianten des SchALVO-Vergleichsflächenprogramms 1988 – 2000 im Hinblick auf die kulturspezifischen Düngemengen statistisch ausgewertet (vgl. auch 2.5.3.2). Es wurde angenommen, dass die ermittelte durchschnittliche Düngemenge der Ausbringung auf mittlere Böden entspricht.

La répartition des surfaces agricoles en différentes cultures a été réalisée à partir des données disponibles à l'échelle de la commune, issues du recensement agricole de 1999 du Service Statistique du Land Baden-Wurtemberg. Les données des recensements agricoles de 1979 et 1991 ont servi à la représentation de l'historique de la situation des entrées de nitrates. Les modifications de l'utilisation des surfaces agricoles sont présentées dans la Fig. 2.5.2 pour le maïs-grain et le blé d'hiver.

Les cultures spéciales telles que la vigne et la production fruitière ont pu être directement reprises à partir des analyses des données satellitaires. Pour les cultures spéciales du tabac et des légumes, des analyses spécifiques ont été effectuées par le Service Statistique. Une distinction supplémentaire a été effectuée entre fraises, asperges et certains légumes à partir du recensement de culture des légumes de l'année 2000.

Afin d'attribuer à chaque cellule portant l'utilisation principale « terres arables » la surface relative exacte de chaque culture, il était nécessaire de recouper la carte raster de l'utilisation principale du sol avec les limites administratives communales. Ainsi, un assolement a été attribué à chaque pixel de la classe « terres arables » correspondant aux statistiques de la commune (également cf. chap. 2.3.4). Les étapes suivantes de calcul ont alors été conduites culture par culture.

#### 2.5.4 Quantités d'engrais

Contrairement au côté français du projet, les côtés allemand et suisse ne disposent d'aucunes données concernant les doses d'azote appliquées par culture. On a donc utilisé une procédure en plusieurs étapes pour aboutir à des estimations réalistes des apports d'azote.

(1) En premier lieu, on a procédé à l'analyse statistique des données concernant les pratiques culturales conformes à la réglementation, qui sont issues des parcelles comparatives du programme SchALVO de 1988-2000 (cf. également 2.5.3.2). Cette analyse donne des informations sur les quantités d'engrais utilisées par culture. On a considéré que ces quantités moyennes d'engrais correspondaient aux sols « moyens ».

(2) Für einige Kulturarten wurden Zu- und Abschläge für leichte bzw. schwere Böden veranschlagt. Grundlage hierfür war eine statistische Auswertung der Düngeempfehlung (NID) (1996 – 2003), die nach den Bodenartengruppen leicht, mittel, schwer für einige Kulturarten zu einer Differenzierung der Düngemengen kommt. Der Grund hierfür sind unterschiedliche Standorteignungen, die auch zum Erfahrungswissen des Landwirts gehören. Entsprechend wurde angenommen, dass auch in der Vergangenheit – also bereits vor Quantifizierung durch den NID – dieses Wissen in der Düngepraxis des Landwirts Anwendung fand. Somit wurden die ermittelten Zu- und Abschläge für leichte bzw. schwere Böden auch bei der Ableitung der Düngegaben für die beiden zurückliegenden Modellierungszeitpunkte 1979 und 1991 angenommen.

(3) Abschließend fand eine Plausibilisierung der ermittelten Düngemengen und der Zu- und Abschläge durch die Pflanzenbauberatung statt. Analog erfolgte die Abschätzung der Düngemengen für 1979 und 1991.

Für die Sonderkulturen Weinbau, Obstbau, Tabak, Spargel und Erdbeeren sowie Gemüsebau liegen bisher keine Düngemengen sondern nur N-Salden vor (MLR, 2004). Vermutlich muss zusätzlich eine Abschätzung der Düngemengen durch die entsprechende landwirtschaftliche bzw. gartenbauliche Beratung erfolgen.

Die Wirtschaftsdüngermenge wurde aus der in der Agrarstatistik ausgewiesenen Viehbesatzdichte pro ha und Gemeinde berechnet. Es wird angenommen, dass nur 50% der anfallenden Wirtschaftsdüngermenge aufgrund von Ausbringungs- und Lagerungsverlusten, sowie unvollständiger Umsetzung der organischen N-Verbindungen tatsächlich als N-Düngung angerechnet werden können. Der ermittelte Stickstoffanfall aus Wirtschaftsdünger wird ausschließlich auf den Ackerflächenanteil der Gemeinde verteilt. Die kulturspezifische Gesamtdüngermenge wird schließlich um einen Anteil der bereits über den Wirtschaftsdünger ausgebrachten N-Menge reduziert.

(2) Pour certaines cultures, ces estimations ont été adaptées pour prendre en compte l'impact des sols légers ou lourds sur les pratiques de fertilisation. Cette adaptation est basée sur une analyse statistique des quantités d'engrais recommandées (NID) (1996-2003), qui introduit une différenciation des quantités d'engrais pour certaines cultures pour les sols légers, moyens et lourds. Cette différenciation s'explique par des propriétés différentes selon les sites, qui sont connues et prises en compte par les agriculteurs. On a par conséquent supposé que ces connaissances étaient également appliquées par les agriculteurs pour les pratiques de fertilisation dans le passé, c'est-à-dire avant la quantification par le NID. Les suppléments ou réductions des quantités d'engrais pour les sols légers ou lourds ont donc aussi été pris en compte dans l'estimation des doses d'engrais pour les deux années de modélisation de 1979 et 1991.

(3) Enfin, la plausibilité des quantités d'engrais ainsi déterminées ainsi que celle des suppléments et réductions a été vérifiée par des experts en production végétale. L'estimation des quantités d'engrais pour 1979 et 1991 a été effectuée de la même manière.

Pour les cultures spéciales vigne, production fruitière, tabac, asperge et fraises ainsi que pour les cultures maraîchères, on ne dispose pour l'instant d'aucune information concernant les quantités d'engrais utilisées, sauf en ce qui concerne les soldes d'azote (MLR, 2004). Une estimation supplémentaire des quantités d'engrais sera probablement réalisée par les experts agricoles ou horticoles correspondants.

Les quantités d'engrais organiques ont été déterminées sur la base des données de densité de bétail par ha et par commune fournies par les statistiques agricoles. On a admis que seulement 50 % des quantités de déjections animales pouvaient être réellement considérées comme des engrais azotés, en raison des pertes pendant l'épandage et le stockage, ainsi qu'à cause de transformations incomplètes des composés azotés organiques. Les quantités calculées d'azote issu des déjections animales ont été exclusivement rapportées à la fraction de terres arables de chaque commune. La quantité d'engrais totale spécifique à chaque culture a finalement été réduite à une fraction de la



quantité d'azote déjà apportée par les déjections animales.

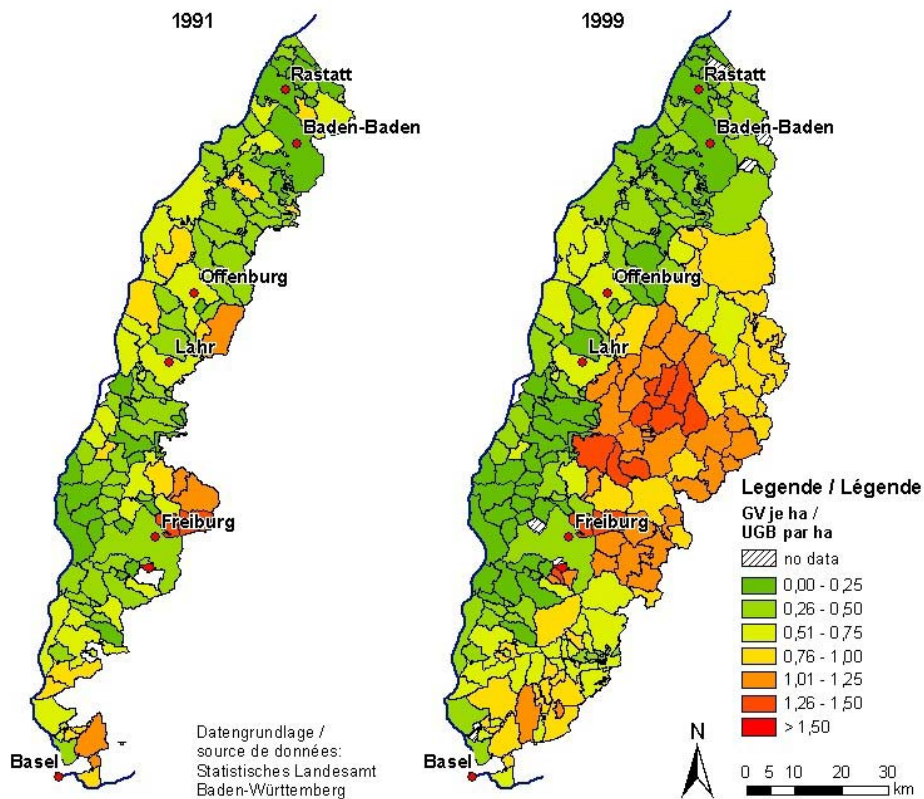


Abb. 2.5.3: Viehbesatz pro Gemeinde in GV/ha für die Jahre 1991 und 1999. Daten 1991 noch unvollständig - beinhaltet nur Gemeinden der Rheinebene (inneres Projektgebiet). (Datenquelle: StaLa; Darstellung: LfU)

Fig. 2.5.3: Cheptel par commune en UGB/ha pour 1991 et 1999. Les données 1991 sont encore incomplètes et limitées aux seules communes de la plaine du Rhin (zone intérieure du projet). (Source des données : StaLa ; réalisation : LfU)

### 2.5.5. Ertragsdaten, N-Entzug und N-Bedarf

Die Ertragsdaten der Besonderen Ernteermittlung wurden vom Statistischen Landesamt für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet 3 (geringere und bessere Rheinebene) für 1979 bis 2002 ermittelt. Da die Erfassung der Erträge auf der Ebene landwirtschaftlicher Vergleichsgebiete erst ab 1985 erfolgte, wurden die entsprechenden Daten für die Jahre 1979 bis 1984 in einem Näherungsverfahren ermittelt. Schließlich wurde aus der langjährigen Datenreihe 1979 bis 2002 der Trend ermittelt und die Erträge für die Modellierungszeitpunkte 1979, 1991 und 1999 abgegriffen. Abb. 2.5.4 zeigt die Ertragsentwicklung für K-Mais von 1979 bis 2002. Mit dem Modell STOFFBILANZ erfolgt modellintern eine Differenzierung des Ertrags in Abhängigkeit von Bodenart, Hydromorphiegrad und für W-Weizen auch bzgl. der Höhenlage.

### 2.5.5 Données de rendement, exportation et besoins d'azote

Les données de rendement ont été déterminées par le Service Statistique du Land Bade-Wurtemberg pour la zone comparative n° 3 (basse et haute plaine du Rhin) sur la période 1979-2002. Le recensement des rendements agricoles dans la zone comparative n'ayant été effectué qu'à partir de 1985, les rendements correspondants sur la période 1979-1984 ont été estimés approximativement. Une tendance a finalement été calculée pour la série temporelle de 1979-2002, à partir de laquelle les rendements pour les années 1979, 1991 et 1999 ont été déduits. La Fig. 2.5.4 montre l'évolution des rendements pour le maïs-grain de 1979 à 2002. Le modèle STOFFBILANZ effectue une différenciation interne de rendement en fonction de la texture du sol et du degré d'hydromorphie ; pour le blé d'hiver, il effectue une distinction supplémentaire en fonction de l'altitude.

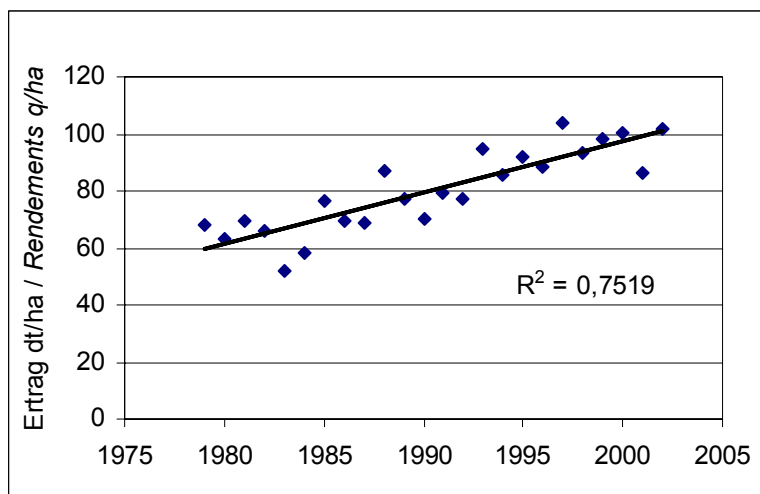


Abb. 2.5.4: Ertragsentwicklung von K-Mais für das landwirtschaftliche Vergleichsgebiet 3 von 1979 bis 2002. (Datenquelle: StaLa; Darstellung: LUFA).

Fig. 2.5.4: Evolution des rendements de maïs-grain pour la zone comparative agricole 3 de 1979 à 2002. (Source des données : StaLa ; réalisation : LUFA).

Zur Ermittlung des N-Entzugs über das Erntegut bzw. des N-Bedarfs der Gesamtpflanze wurden die kulturspezifischen Entzugs- und Bedarfsfaktoren aus dem pflanzenbaulichen Versuchswesen (LAP Forchheim) herangezogen (Infodienst). Aufgrund des geringen Anteils an Ackerfläche auf Schweizer Projektgebiet wurden die deutschen Ertrags- und Bedarfsfaktoren übernommen.

Les facteurs d'exportation et de besoins en azote spécifiques à chaque culture issus d'expérimentations agricoles (LAP Forchheim) ont été utilisés pour l'estimation des exportations d'azote par la récolte et celle des besoins en azote de l'ensemble de la plante (Service d'Information). La fraction de terres arables étant limitée dans la partie suisse du projet, on a repris pour cette zone les valeurs allemandes des facteurs d'exportation et de besoins.

### 2.5.6 N-Nachlieferung

Das Modell STOFFBILANZ hat zum Ziel die N-Umsätze für ein Bilanzjahr abzubilden und berücksichtigt neben den Bilanzgliedern N-Zufuhr (Dünger, Deposition) und N-Abfuhr mit dem Erntegut auch die Immobilisierung und Mobilisierung. Die Mobilisierung von N erfolgt zum einen aus der organischen Bodensubstanz und zum anderen aus Ernteresten. In der Realität sind diese beiden N-Quellen nicht scharf gegeneinander abgegrenzt, trotzdem werden sie auf deutscher Seite üblicherweise getrennt quantifiziert. Darüber hinaus wird die Nachlieferung aus dem Boden getrennt für den kulturspezifischen Vegetationszeitraum und den Zeitraum nach der Ernte bis Winter quantifiziert.

### 2.5.6 Minéralisation de l'azote

Le modèle STOFFBILANZ a pour objectif de reproduire les transferts d'azote pour un bilan annuel et prend en compte l'immobilisation et la mobilisation d'azote en plus des entrées d'azote provenant de l'extérieur (engrais, déposition atmosphérique) et des sorties par les récoltes. La mobilisation de l'azote peut se produire à partir des matières organiques du sol ou à partir des résidus de récolte. Dans la réalité, la limite entre ces deux sources d'azote n'est pas clairement établie, bien qu'elles soient habituellement quantifiées séparément du côté allemand. En outre, la libération d'azote a été quantifiée séparément pour les périodes végétatives de chaque culture et pour la période allant de la récolte jusqu'à l'hiver.

Für die N-Nachlieferung des Bodens während der Vegetationszeit liegen aus der Düngereberatung (NID) nach Boden- bzw. Standorteigenschaften (Ackerzahl) und Kulturart differenzierte Kennzahlen vor. Für den Zeitraum nach der Ernte bis zum Winter - wenn also keine Mineralisierung mehr stattfindet -

Pour la libération de l'azote pendant la période végétative, on dispose de valeurs caractéristiques en fonction de la culture et de caractéristiques pédologiques ou locales (indice de valeur agronomique) provenant du conseil de fertilisation (NID). Pour la période comprise entre la récolte et l'hiver, au cours

liegen Daten der Projektgruppe Hohenlohe vor (Stickstoffschlüssel, 2002). Die in Abhängigkeit von der Bodenart angegebene Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens kann zusätzlich anhand von Faktoren für die Häufigkeit der Anwendung von organischem Dünger, sowie der Abfuhr von Ernteresten modifiziert werden. Je häufiger organischer Dünger ausgebracht wird und je häufiger die Ernteste auf dem Feld verbleiben, desto höher ist die berechnete Mineralisierung. Eine weitere Modifikation erfolgt über die angebaute Hauptfrucht und ggf. auch über die Folgefrucht. Je früher die Ernte der Hauptfrucht, z.B. W-Gerste und W-Raps, umso länger ist der Zeitraum bis zum Winter und damit bis zum Stillstand der Mineralisierung. Entsprechend ist die berechnete Mineralisierung für spät geerntete Kulturarten wie z.B. Mais und Rüben gering. Wird allerdings eine Sommerung als Folgefrucht angebaut, z.B. Mais, so wird die Nachlieferung erhöht, um die Mineralisation des Bodens zu Jahresbeginn bis zur Maisaussaat Ende April ebenfalls zu berücksichtigen.

Für die Umsetzung dieses für die Schlagenebene konzipierten und stark differenzierten Berechnungsansatzes auf das gesamte Projektgebiet sind Informationen zur dort typischen, praxisüblichen Bewirtschaftung notwendig. Hierauf wird in den Kapiteln zur Standardbewirtschaftung (2.5.7) und Fruchtfolgen (Kap. 2.5.8) näher eingegangen.

Für die N-Nachlieferung aus den Ernteresten während des Winterhalbjahres liegen Kennzahlen in Abhängigkeit vom Einarbeitungstermin aus der Projektgruppe Hohenlohe vor (Stickstoffschlüssel, 2002). Auch hier ist eine Verifizierung der Zahlen für das Projektgebiet anhand entsprechender Auswertungen von Versuchs- und Vergleichsflächen erforderlich.

### **2.5.7 Standardbewirtschaftung**

Prozessorientierte N-Modelle benötigen detaillierte Angaben zu Bewirtschaftungspraktiken. Diese sind in der Regel nur für einzelne Ackerschläge aus dem landwirtschaftlichen Versuchswesen oder speziellen Programmen dokumentiert. Die entsprechenden Modellierungsergebnisse sind dann auf Ackerschläge

de laquelle il n'y a plus de minéralisation, on dispose de données provenant du groupe du projet Hohenlohe (Stickstoffschlüssel, 2002). La libération d'azote à partir des matières organiques du sol en fonction de la texture du sol peut de plus être modifiée sur la base de facteurs liés à la fréquence de l'apport d'engrais organique ou à l'exportation de résidus de récolte. Plus la fréquence d'épandage d'engrais organique est élevée et plus les résidus de récolte restent sur le champ, plus la libération d'azote calculée est élevée. Une modification supplémentaire est établie en fonction de la culture principale et le cas échéant de la culture suivante. Plus la récolte de la culture principale intervient tôt (orge d'hiver ou colza d'hiver par exemple), plus la période allant jusqu'à l'hiver, c'est-à-dire jusqu'à l'arrêt de la minéralisation, est rallongée. En conséquence, la libération d'azote calculée pour des cultures récoltées tardivement (comme par exemple le maïs et la betterave) est faible. Si la culture suivante est une culture d'été par exemple, la libération d'azote est augmentée pour prendre en compte la minéralisation pendant la période allant du début de l'année jusqu'au semis (vers fin avril).

Ces concepts fortement différenciés ont été conçus pour être appliqués à l'échelle de la parcelle. Pour permettre une mise en oeuvre sur l'ensemble de la zone du projet, il est nécessaire de connaître les pratiques agricoles « courantes » ou « standardisées ». Les chapitres concernant les pratiques agricoles standardisées (2.5.7) et les successions culturales (2.5.8) traitent plus particulièrement ces points.

Pour la minéralisation de l'azote à partir des résidus de récolte pendant le semestre hivernal, on dispose de valeurs caractéristiques liées à des dates de formation issues du groupe de projet Hohenlohe (Stickstoffschlüssel, 2002). Dans ce cas, il est également nécessaire de procéder à une vérification des valeurs pour la zone du projet sur la base d'analyses équivalentes de zones de recherche et de zones comparatives.

### **2.5.7 Pratiques agricoles standardisées**

Les modèles N à base physique nécessitent des renseignements détaillés sur les pratiques agricoles standardisées. En général, ces renseignements n'existent que pour des parcelles individuelles dans le cadre d'essais agronomiques ou pour des programmes spéciaux. Les résultats de modélisation corres-

mit den gleichen Boden- und Witterungseigenschaften sowie Bewirtschaftungspraktiken übertragbar. Die Berechnung des Nitratsaustrags für jeden einzelnen Schlag in einem Gebiet stößt zum einen an die Grenzen der Datenverfügbarkeit (i.d.R. führt der Landwirt nicht für jede einzelne Fläche eine Schlagkarte), zum anderen wären immense Rechnerkapazitäten erforderlich. Um schlagbezogene Berechnungen mit STICS auf größere Flächen bzw. das Projektgebiet übertragen zu können, wurde eine für die Region typische Bewirtschaftung, eine sogenannte „Standardbewirtschaftung“, definiert. Als Grundlage dienten Daten aus dem SchALVO-Vergleichsflächen-Programm von 1988-2000, die statistisch ausgewertet (LUFA, 2004) und anschließend durch die Pflanzenbauberatung modifiziert wurden.

Die Standardbewirtschaftung umfasst für jede Kulturart bzw. Fruchtfolge Angaben zu folgenden Themen:

- Art, Tiefe und Zeitpunkt der Bodenbearbeitung
- Saattermin, Erntetermin
- Menge, Zeitpunkt und Art der Düngung
- Verbleib der Pflanzenreste nach der Ernte
- Zwischenfruchtanbau

Um neben der gegenwärtigen auch die historische Situation des Nitrataustrags abbilden zu können, wurde die Standardbewirtschaftung für die drei Modellierungszeitpunkte 1979, 1991 und 1999 definiert (Tab. 2.5.1). Um die zukünftige Situation prognostizieren zu können, werden z.B. verschiedene umweltgerechte Bewirtschaftungspraktiken definiert und deren Auswirkungen auf den Nitrataustrag mit dem Modell STICS berechnet.

Einige dieser Informationen aus der Standardbewirtschaftung finden auch Eingang in das Bilanzmodell STOFFBILANZ; so bestimmt beispielsweise der Verbleib der Pflanzenreste nach der Ernte und die Häufigkeit der organischen Düngung die N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz (vgl. Kap. 2.5.6).

pondants sont donc transposables à des parcelles ayant des conditions identiques de sol, de climat et de pratiques agricoles. Le calcul du lessivage des nitrates pour chaque parcelle individuelle dans une région se heurte d'une part à la limite de la disponibilité des données (en général, les agriculteurs n'enregistrent pas les pratiques pour chaque parcelle) et d'autre part à l'immense capacité de calcul nécessaire. Afin de pouvoir transposer les calculs spatialisés avec STICS sur des surfaces plus importantes ou sur la zone de projet, des pratiques agricoles dites « standardisées », spécifiques à la zone du projet, ont été définies. Les données de base utilisées dans ce cadre sont issues des parcelles comparatives du Programme SchALVO de 1988-2000, qui ont été analysées statistiquement (LUFA, 2004) puis modifiées par les experts en production végétale.

Les pratiques agricoles standardisées intègrent des renseignements sur les thèmes suivants pour chaque culture ou succession culturale :

- Type, profondeur et date du travail du sol
- Dates de semis et de récolte
- Quantité, dates d'apport et type d'engrais
- Conservation sur le champ des résidus végétaux après la récolte
- Culture intermédiaire

Afin de représenter la situation historique du lessivage des nitrates en plus de la situation actuelle, des pratiques agricoles standardisées ont été définies pour les trois années de modélisation (1979, 1991 et 1999). Afin de pronostiquer la situation future, on a par exemple défini plusieurs pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et calculé leur effet sur le lessivage des nitrates à l'aide du modèle STICS.

Une partie de ces informations sur les pratiques agricoles standardisées sert également d'entrée dans le modèle STOFFBILANZ ; ainsi, la conservation des résidus de récolte et la fréquence d'épandage des matières organiques déterminent par exemple la minéralisation de l'azote issu de la matière organique du sol (cf. chap. 2.5.6).

Tab. 2.5.1 (auf deutsch): Standardbewirtschaftung im Projektgebiet MONIT: Beispiel Körnermais und Winterweizen (LUFA).

	Ende 90er Jahre	Ende 80er Jahre	Ende 70er Jahre	Ende 90er Jahre	Ende 80er Jahre	Ende 70er Jahre
<b>KULTURART</b>	Körnermais	Körnermais	Körnermais	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
<b>Fruchtfolge</b>	Körnermais nach Körnermais	Körnermais nach Körnermais	Körnermais nach Körnermais	Winterweizen nach Körnermais	Winterweizen nach Körnermais	Winterweizen nach Körnermais
Bedeutung der Fruchtfolge (% d. Anbaufläche dieser Kulturart)	90%	99%	100%	70%	85%	100%
<b>BODENBEARBEITUNG nach Ernte der Vorfrucht</b>						
Bei Sommerungen: Bodenbearbeitung im Herbst: Termin	01.11.	01.11.	01.11.			
Bei Sommerungen: Bodenbearbeitung im Herbst: Gerät	Pflug	Pflug	Pflug			
Bei Sommerungen: Bodenbearbeitung im Herbst: Tiefe	25	25	25			
<b>BODENBEARBEITUNG vor der Saat</b>						
1. Bodenbearbeitung vor der Saat: Termin		Ende Feb. Mitte März	Ende Feb. Mitte März			
1. Bodenbearbeitung vor der Saat: Gerät		Abschleppen	Abschleppen			
1. Bodenbearbeitung vor der Saat: Tiefe in cm (Median)		5	5			
2. Bodenbearbeitung vor der Saat: Termin	01.04.	01.04.	01.04.	30.10.	30.10.	30.10.
2. Bodenbearbeitung vor der Saat: Gerät	Kulti-Egge	Kulti-Egge	Kulti-Egge	Pflug	Pflug	Pflug
2. Bodenbearbeitung vor der Saat: Tiefe in cm (Median)	10	10	10	25	25	25
3. Bodenbearbeitung vor der Saat: Termin	20.04.	20.04.	20.04.	03.11.	03.11.	03.11.
3. Bodenbearbeitung vor der Saat: Gerät	Kulti-Egge	Kulti-Egge	Kulti-Egge	Kulti-Egge / Saatbettkombi-nation / Walze	Kulti-Egge / Saatbettkombi-nation / Walze	Kulti-Egge / Saatbettkombi-nation / Walze
3. Bodenbearbeitung vor der Saat: Tiefe in cm	5	5	5	5	5	5
<b>AUSSAATTERMIN</b>	26.04.	26.04.	26.04.	04.11.	04.11.	04.11.
<b>BODENBEARBEITUNG nach der Saat</b>						
1. Bodenbearbeitung nach der Saat: Termin		20. Mai		-	-	-
1. Bodenbearbeitung nach der Saat: Gerät		Hacke		-	-	-
1. Bodenbearbeitung nach der Saat: Tiefe in cm		10		-	-	-

Fortsetzung Tab. 2.5.1 (auf deutsch)

	Ende 90er Jahre	Ende 80er Jahre	Ende 70er Jahre	Ende 90er Jahre	Ende 80er Jahre	Ende 70er Jahre
<b>KULTURART</b>	Körnermais	Körnermais	Körnermais	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
<b>Fruchtfolge</b>	Körnermais nach Körnermais	Körnermais nach Körnermais	Körnermais nach Körnermais	Winterweizen nach Körnermais	Winterweizen nach Körnermais	Winterweizen nach Körnermais
<b>MINERALDÜNGUNG</b>						
Startdüngung: Termin	25.04.	25.04.	25.04.	10.03.	10.03.	10.03.
Startdüngung: Menge in kg N/ha	60	170	150	50	70	70
Düngung zum Schossen: Termin	01.06.			24.04.	24.04.	24.04.
Düngung zum Schossen: Menge in kg N/ha	110			70	40	40
Düngung als Qualitätsgabe: Termin	-	-	-	26.05.	26.05.	26.05.
Düngung als Qualitätsgabe: Menge in kg N/ha	-	-	-	50	50	50
<b>ERNTETERMIN</b>	17.10.	17.10.	17.10.	01.08.	01.08.	01.08.
Verbleib der Erntereste der Hauptfrucht ( in % der Fälle)	100	100	100	90	90	10

Tab. 2.5.1 (en français): *Pratiques agricoles standardisées dans la zone du projet MoNit : les exemples du maïs-grain et du blé d'hiver (LUFA).*

	Fin des années 90	Fin des années 80	Fin des années 70	Fin des années 90	Fin des années 80	Fin des années 70
<b>CULTURE</b>	Maïs-grain	Maïs-grain	Maïs-grain	Blé d'hiver	Blé d'hiver	Blé d'hiver
<b>Successio culturale</b>	Maïs-grain après maïs-grain	Maïs-grain après maïs-grain	Maïs-grain après maïs-grain	Blé d'hiver après maïs-grain	Blé d'hiver après maïs-grain	Blé d'hiver après maïs-grain
Importance de la succession culturale (% de la surface occupée par cette culture)	90%	99%	100%	70%	85%	100%
<b>TRAVAIL DU SOL après récolte de la culture précédente</b>						
Si culture d'été : Travail du sol en automne : Date :	01.11.	01.11.	01.11.			
Si culture d'été : Travail du sol en automne : Outil :	Charrue	Charrue	Charrue			
Si culture d'été : Travail du sol en automne : Profondeur (cm) :	25	25	25			

Suite Tab. 2.5.1 (en français)

	Fin des années 90	Fin des années 80	Fin des années 70	Fin des années 90	Fin des années 80	Fin des années 70
<b>CULTURE</b>	Maïs-grain	Maïs-grain	Maïs-grain	Blé d'hiver	Blé d'hiver	Blé d'hiver
<b>Successio culturale</b>	Maïs-grain après maïs-grain	Maïs-grain après maïs-grain	Maïs-grain après maïs-grain	Blé d'hiver après maïs-grain	Blé d'hiver après maïs-grain	Blé d'hiver après maïs-grain
<b>TRAVAIL DU SOL avant le semis</b>						
1. Travail du sol avant le semis : date :		Fin février mi mars	Fin février mi mars			
1. Travail du sol avant le semis : outil :		Nivellement	Nivellement			
1. Travail du sol avant le semis : profondeur médiane (cm) :		5	5			
2. Travail du sol avant le semis : date :	01.04.	01.04.	01.04.	30.10.	30.10.	30.10.
2. Travail du sol avant le semis : outil :	Herse	Herse	Herse	Charrue	Charrue	Charrue
2. Travail du sol avant le semis : profondeur médiane (cm) :	10	10	10	25	25	25
3. Travail du sol avant le semis : date :	20.04.	20.04.	20.04.	03.11.	03.11.	03.11.
3. Travail du sol avant le semis : outil :	Herse	Herse	Herse	Herse/ combiné préparation de semis/ rouleau	Herse/ combiné préparation de semis/ rouleau	Herse/ combiné préparation de semis/ rouleau
3. Travail du sol avant le semis : profondeur (cm) :	5	5	5	5	5	5
<b>DATE DE SEMIS</b>	26.04.	26.04.	26.04.	04.11.	04.11.	04.11.
<b>TRAVAIL DU SOL après le semis</b>						
1. Travail du sol après le semis : date :		20. Mai		-	-	-
1. Travail du sol après le semis : outil :		Bineuse		-	-	-
1. Travail du sol après le semis : profondeur (cm) :		10		-	-	-
<b>FERTILISATION MINÉRALE</b>						
Premier apport d'engrais : date :	25.04.	25.04.	25.04.	10.03.	10.03.	10.03.
Premier apport d'engrais : quantité en kg N/ha :	50	150	150	60	80	80
Fertilisation à la montaison : date :	01.06.			24.04.	24.04.	24.04.
Fertilisation à la montaison : quantité en kg N/ha :	100			80	50	50
Apport tardif (objectif : qualité de la récolte) : date :	-	-	-	26.05.	26.05.	26.05.
Apport tardif (objectif : qualité de la récolte) : Quantité en kg N/ha :	-	-	-	60	60	60
<b>DATE DE RECOLTE</b>	17.10.	17.10.	17.10.	01.08.	01.08.	01.08.
Pas d'exportation des résidus de récolte de la culture principale (en % des cas)	100	100	100	90	90	10



## 2.5.8 Fruchtfolgen

Kenntnisse über regional typische Fruchtfolgen sind sowohl für die ackerschlagbezogene Modellierung mit STICS als auch für die flächenhafte Modellierung mit STOFFBILANZ erforderlich.

- (1) STICS: Die Berechnung des Nitrataustrags wird für regionaltypische Fruchtfolgen ermittelt und z.B. dem Austrag bei Monokulturanbau oder einer veränderten Fruchtfolge (Szenario) gegenübergestellt. (vgl. Kap. 2.1.4)
- (2) STOFFBILANZ: Im Modell STOFFBILANZ wird die Nachlieferung aus dem Boden für das Winterhalbjahr unter anderem in Abhängigkeit von der Folgekultur ermittelt. Folgen Sommerungen wie z.B. Mais, so wird die Nachlieferung zu Jahresbeginn bis zur Aussaat zusätzlich berücksichtigt (vgl. Kap. 2.5.6).

## 2.5.8 Successions culturales

La connaissance des successions culturales typiques de la région est nécessaire tant pour la modélisation avec STICS à l'échelle de la parcelle que pour la modélisation spatialisée avec STOFFBILANZ.

- (1) STICS : le calcul du lessivage des nitrates est effectué pour des successions culturales régionales typiques et comparé par exemple au lessivage sous monoculture ou sous une autre succession culturale (scénarios) (cf. chap. 2.1.4) ;
- (2) STOFFBILANZ : dans STOFFBILANZ, la libération d'azote dans le sol pour le semestre hivernal est calculée entre autres en fonction de la culture suivante. Si celle-ci est une culture d'été (telle que le maïs), la minéralisation supplémentaire du début de l'année jusqu'au semis est prise en compte (cf. chap. 2.5.6).

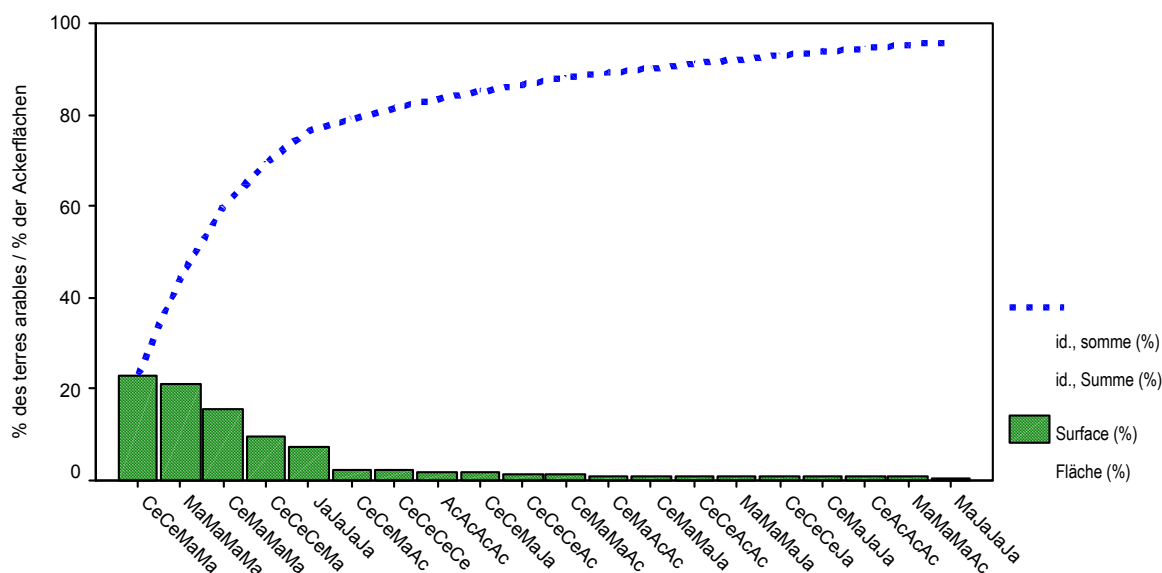


Abb. 2.5.5: Beispiel für eine Fruchtfolgeanalyse aus der Breisgauer Bucht. CeCeMaMa bedeutet, dass die Fruchtfolge in 4 Jahren zweimal Getreide und zweimal Mais enthielt. In der Reihenfolge kann Getreide und Mais allerdings auch alternieren. Ce = céréales / Getreide, Ma = maïs / Mais, Ja = Jachère / Brache, Ac = autres cultures / sonstige Kulturen. (Bewertung GA-Daten, Datenbewertung durch: ARAA/LUFA)

Fig. 2.5.5: Exemple pour une analyse de succession culturale de la région « Breisgauer Bucht ». CeCeMaMa signifie, que la rotation comprend deux fois céréales et deux fois maïs en quatre ans. La succession peut être alternante. Ce = céréales, Ma = maïs, Ja = jachère, Ac = autres cultures. (Analyse données PAC, Analyse données par : ARAA/LUFA)

Für den Zeitraum 1995 bis 2003 liegen der LUFA die Flächennutzungsdaten des Gemeinsamen Antrags flurstücksscharf vor. Analog der Vorgehensweise auf französischer Seite (Kap 2.4.5) werden die typischen Fruchtfolgen (s. Abb. 2.5.5) für Landwirtschaftsregionen ermittelt. Diese Landwirtschaftsregionen wurden - in Entsprechung zu

Pour la période 1995-2003, la LUFA dispose de données PAC d'utilisation des surfaces agricoles à l'échelle de la parcelle. Les successions culturales typiques (voir Fig. 2.5.5) ont été calculées pour des régions agricoles suivant les méthodes utilisées du côté français (chap. 2.4.5). Ces régions agricoles ont été délimitées – sur le modèle des « Petites



den „Petites Régions Agricoles“ im Elsass - von einer Unter-Arbeitsgruppe des Teilprojektes Sozio-Ökonomie anhand von Bodeneigenschaften, naturräumlichen Einheiten sowie den landbaulichen Nutzungsmöglichkeiten (MLR 1990) abgegrenzt (s. Abb. 2.5.6).

Régions Agricoles » alsaciennes – par un sous-groupe de travail du sous-projet Socio-économie sur la base des caractéristiques pédologiques, d’unités naturelles et l’utilisation des terres agricoles (MLR 1990) (cf. Fig. 2.5.6).

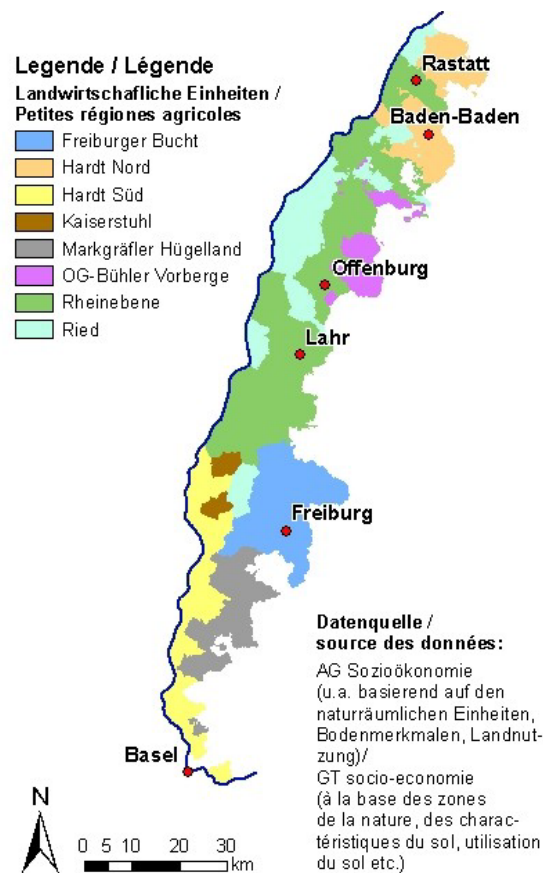


Abb. 2.5.6: Landwirtschaftliche Einheiten auf deutsch-schweizerischer Seite. (Datenquelle: AG Sozioökonomie; Darstellung LfU)

Fig. 2.5.6: Petites régions agricoles des côtés allemand et suisse (Source des données : GT Socio-économie ; réalisation : LfU)

### 2.5.9 Validierungsdaten für die schlagbezogene Modellierung (STICS)

#### Modellvalidierung

Im Vortrag zum Modell STICS wurde bereits auf die Notwendigkeit einer Validierung und Modellkalibrierung - insbesondere der Anpassung der Pflanzenmodelle - eingegangen (vgl. Kap. 2.1.3).

Kalibrierung meint die Veränderung der Systemparameter, bis eine ausreichende Übereinstimmung mit den Messwerten erreicht wird. Bei der Validierung wird das (ggf. kalibrierte) Modell systematisch anhand anderer Datensätze daraufhin überprüft, ob auch hier eine ausreichende Übereinstimmung mit Messwerten erreicht wird.

### 2.5.9 Données de validation pour le modèle spatialisé (STICS)

#### Validation du modèle

Le chapitre sur le modèle STICS traite déjà de la nécessité d’une validation et d’une calibration du modèle, et en particulier de l’adaptation des modèles plantes (cf. chap. 2.1.3).

La calibration désigne la modification des paramètres du système jusqu’à ce qu’une concordance suffisante avec les valeurs mesurées soit obtenue. Lors de la validation, le modèle (calibré le cas échéant) est systématiquement vérifié sur la base d’autres jeux de données et la concordance entre les valeurs calculées et mesurées est testée.

Für diesen Zweck konnten Daten aus sogenannten Validierungsflächen genutzt werden, die weitaus umfangreicher und detaillierter vorliegen als die für die einfache Bilanzierung herangezogenen Daten. Einige Validierungsflächen wurden zum Nachkalibrieren der bestehenden Pflanzenmodelle, andere wiederum zum Überprüfen (Validieren) des gesamten Modells, insbesondere bzgl. der Abbildbarkeit von Unterschieden in Düngungs- und Bodenbearbeitungssterminen, Düngemenge, Begrünung und Fruchtarten, genutzt.

### Validierungsflächen

Bei den Validierungsflächen handelt es sich um Einzelschläge aus dem landwirtschaftlichen Versuchswesen und Forschungsprojekten der Landwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg. Es handelt sich im Einzelnen um Versuchsflächen des Instituts für umweltgerechte Landwirtschaft in Müllheim, einen Fruchtfolgeversuch des Landwirtschaftsamtes Offenburg, Flächen aus dem landesweiten Bodenbearbeitungsversuch (Aktion 006), Versuchsflächen des Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim sowie Flächen aus dem SchALVO-Vergleichsflächenprogramm. Alle Validierungsflächen liegen innerhalb des Projektgebietes, so dass Klima- und Bodenverhältnisse übertragbar sind.

Für alle Validierungsflächen liegen Daten zur Bewirtschaftungsweise (Düngermenge, Saat-, Dünge-, Bodenbearbeitungs- und Erntetermine), zu Erntemenge und N-Gehalt des Erntegutes, zu Nmin-Werten im Boden sowie ggf. zur Bewässerung vor. In Einzelfällen sind auch noch detailliertere Angaben wie Zeitpunkt des Erreichens bestimmter phänologischer Stadien oder die Entwicklung der Biomasse einschließlich ihres N-Gehaltes vorhanden.

Sofern nicht bereits profilbezogene Bodendaten vorlagen, wurde eine Profilbeschreibung durch das LGRB durchgeführt und das C/N-Verhältnis im Oberboden durch die LUFA bestimmt.

Eine ausführliche Dokumentation der Validierungsflächen ist in Tabelle A.1 (im Anhang) enthalten.

Dans ce but, il était possible de recourir à des données provenant de parcelles dites de validation, qui sont largement plus nombreuses et plus détaillées que les données utilisées pour les bilans simples. Quelques parcelles de validation ont été utilisées pour la recalibration des modèles de plantes existants, d'autres pour la vérification (validation) du modèle entier, en particulier pour tester les impacts des dates d'apports d'engrais et de travail du sol, des quantités d'engrais, des cultures intermédiaires et des cultures sur les résultats de la simulation.

### Parcelles de validation

La validation porte sur des parcelles individuelles provenant des essais agronomiques et de projets de recherche des administrations du Land Bade-Wurtemberg. Dans le détail, il s'agit de parcelles d'essai de l'Institut für umweltgerechte Landwirtschaft (IfuL) de Müllheim, d'une étude sur les successions culturales de l'Office de l'Agriculture d'Offenburg, de parcelles provenant du réseau national de travail du sol (Action 006), de parcelles d'essai du Landesanstalt für Pflanzenbau (LAP) de Forchheim, ainsi que de parcelles provenant du programme de parcelles comparatives SchALVO. Toutes les parcelles de validation sont situées à l'intérieur de la zone de projet, ce qui rend les conditions climatiques et pédologiques transposables.

On dispose pour toutes les parcelles de validation de données sur les méthodes d'exploitation (quantités d'engrais, dates de semis, de fertilisation, de travail du sol et de récolte), des rendements et de la teneur en azote de la récolte, des reliquats d'azote dans le sol ainsi que de l'irrigation le cas échéant. Dans quelques cas, des renseignements plus détaillés sont disponibles comme la date à laquelle certains stades phénologiques sont atteints ou la croissance de la biomasse (y compris la teneur en azote).

Lorsque les données pédologiques sur des profils de sol n'étaient pas disponibles, une description du profil a été réalisée par le LGRB et le rapport C/N des horizons supérieurs établi par la LUFA.

Une documentation détaillée sur les parcelles de validation est comprise dans le tableau A.1 (en annexe).

## Projekteigene Datenerhebung

Auf deutscher Seite wurden ausgewählte Validierungsflächen im August 2003 mit Saugkerzen bestückt und mit einem zusätzlichen Untersuchungsprogramm ausgestattet, um ergänzende Informationen zu erhalten, die für die Modellüberprüfung bedeutend sind. Als zusätzliche Daten werden an diesen Standorten regelmäßig die Bodenwassermenge aus Saugkerzen sowie sein Nitrat- und Ammonium-Gehalt bestimmt, weiterhin im 14-tägigen Turnus Bodenproben entnommen und auf Nmin und Wassergehalt untersucht. Vierteljährlich wird eine Isotopenbestimmung zur Ermittlung der Nitratherkunft und eine InfraRot-Gas-Analyse (IRGA) zur Messung der bodenbiologischen Aktivität durchgeführt. Darüber hinaus wird die Biomasse in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten zu bestimmten phänologischen Stadien ermittelt und ihr N-Gehalt bestimmt.

Für dieses Zusatzprogramm wurden auf deutscher Seite die Versuchsflächen „Viehwegacker“ des IfuL Müllheim mit den Kulturen Winterweizen (mit Zwischenfrucht Phacelia), Körnermais, Sommergerste und Winterrapsgewählt. In Abb. 2.5.7 sind die Ergebnisse der Nmin-Beprobung für die Fläche 4 dargestellt. Es handelt sich um die Fruchtfolge W-Weizen (Hauptfrucht 2003) - Phacelia (Zwischenfrucht) - K-Mais (Hauptfrucht 2004) - S-Gerste (Hauptfrucht 2005).

## Collecte des données dans le cadre du projet

Du côté allemand, certaines parcelles de validation sélectionnées ont été équipées en août 2003 de bougies poreuses pour des recherches supplémentaires, afin d'obtenir des informations plus complètes nécessaires aux vérifications du modèle. Dans ces sites, ces données supplémentaires comprennent des mesures régulières de la quantité d'eau du sol prélevée dans les bougies poreuses ainsi que des teneurs en nitrates et en ammonium ; de plus, des échantillons de sol sont prélevés à un pas de temps de 14 jours pour déterminer les reliquats d'azote et la teneur en eau du sol. Quatre fois par an, une détermination isotopique est effectuée pour étudier l'origine des nitrates ainsi qu'une analyse infra-rouge des gaz (IRGA) pour la mesure de l'activité biologique du sol. En outre, une estimation de la biomasse (et de sa teneur en azote) dans les différents compartiments de la plante lors de stades phénologiques définis est réalisée.

Pour ce programme complémentaire ont été sélectionnées du côté allemand les parcelles d'essai « Viehwegacker » de l'IfuL de Müllheim avec comme cultures du blé d'hiver (et de la phacélie en tant que culture intermédiaire), du maïs-grain, de l'orge d'été et du colza d'hiver. La Fig. 2.5.7 présente les résultats de l'échantillonnage des reliquats d'azote et des quantités d'eau du sol prélevées par le biais des bougies poreuses dans la parcelle 4. La succession culturale est constituée de blé d'hiver (culture principale 2003), de phacélie (culture intermédiaire), de maïs-grain (culture principale 2004) et d'orge d'hiver (culture principale 2005).

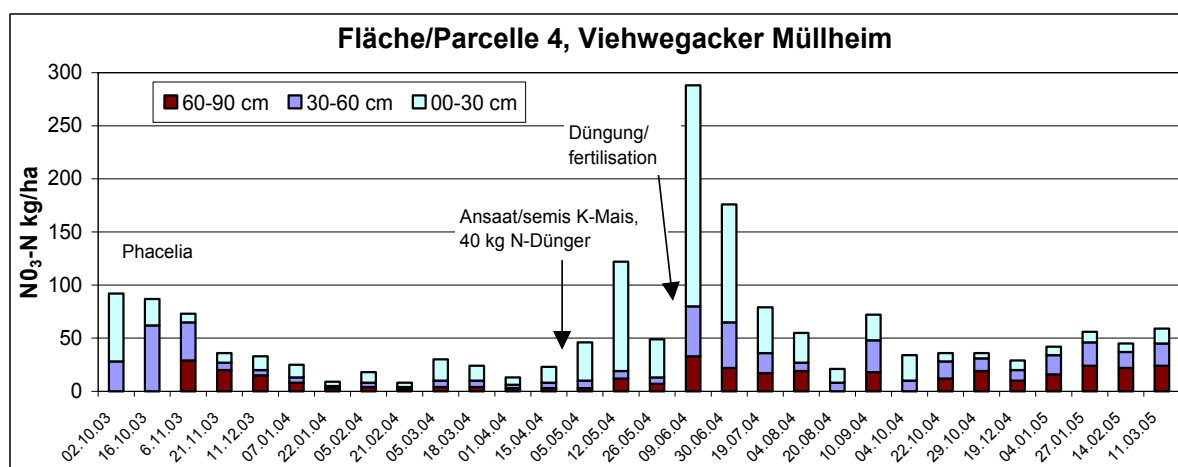


Abb. 2.5.7: Fläche/Parcelle 4, Viehwegacker Müllheim, Nmin im Boden.

Fig. 2.5.7: Parcelle 4, Viehwegacker de Müllheim, volumes d'eau prélevés et reliquats d'azote dans le sol.

Auf Schweizer Seite können Flächen aus dem Schweizer Teilprojekt „Nitratherkunft“ für die Validierung des prozessorientierten Modells herangezogen werden. Es handelt sich hier um 7 Standorte bei Reinach südlich von Basel, 5 davon unter landwirtschaftlicher Nutzung, einen Waldstandort sowie einen Sportplatz.

Auch hier wird 14-tägig das Bodenwasser aus Saugkerzen auf Nitrat und Ammonium sowie weitere Parameter ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , LF) untersucht. Die IRGA-Messung erfolgt ebenfalls vierteljährlich. Der Nmin-Gehalt im Boden wurde einmal im Dezember und 2mal im Januar gemessen. Die Isotopenuntersuchung erfolgt - im Gegensatz zu den deutschen und französischen Standorten - monatlich. Dies deshalb, weil mit den Schweizer Testflächen primär ein anderes Untersuchungsziel verfolgt wird, nämlich die Zuordnung des im Sickerwasser gemessenen Nitrats zu einzelnen Prozessen der N-Freisetzung (vgl. Kap. 2.2).

#### 2.5.10 Ausblick

Die sehr zeitaufwändige Phase der Datenrecherche und Datenaufbereitung ist nun weitgehend abgeschlossen. Lediglich bezüglich der Düngemengen und Erträge bei Sonderkulturen sind vermutlich noch weitere Recherchen erforderlich. Schließlich sind noch einige Fragen zur länderspezifischen Vergleichbarkeit wie z.B. bezüglich der Berücksichtigung der Nachlieferung aus dem Boden noch zu klären.

Das Modell STOFFBILANZ und insbesondere das Modell STICS sind in der Lage regionaltypische Bewirtschaftungspraktiken bei der Ermittlung des Nitratsaustrags zu berücksichtigen. Um eine möglichst gute Abbildung der historischen und gegenwärtigen Situation des Nitrateintrags ins Grundwasser zu erhalten, sind Informationen über die entsprechenden Bewirtschaftungsweisen erforderlich. Hierzu ist eine Verifizierung der bereits vorliegenden Angaben zur Standardbewirtschaftung (2.5.7) für die Modellierungszeitpunkte 1979, 1991 und 1999 wünschenswert.

Um die zukünftige Situation prognostizieren zu können, werden z.B. verschiedene umweltgerechte Bewirtschaftungspraktiken definiert und deren Auswirkungen auf den Nitratsaustrag mit dem Modell STICS berechnet (Szenarien).

Pour la partie suisse du projet, on peut utiliser des parcelles provenant du sous-projet suisse « Origine des nitrates » pour la validation du modèle à base physique. Il s'agit ici de sept sites dans la région de Reinach, au sud de Bâle, dont cinq sont utilisées à des fins agricoles, l'une est située sous forêt et la dernière dans un terrain de sport.

La teneur en nitrates, ammonium et d'autres paramètres ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , conductibilité) de l'eau du sol est également analysée tous les 15 jours sur ces sites. L'analyse IRGA s'effectue par trimestre. Les reliquats d'azote dans le sol ont été mesurés une fois en décembre et deux fois en janvier. Contrairement aux sites en Allemagne et en France l'analyse isotopique s'effectue à un pas de temps mensuel. C'est dû au fait, que la campagne de mesures sur les sites suisses à principalement pour but d'étudier comment la concentration de nitrates mesurée dans l'eau d'infiltration dépend des différents processus de minéralisation d'azote (cf. chap. 2.2)

#### 2.5.10 Perspectives

La longue phase de recherche et de préparation des données est à présent quasiment achevée. Seules sont encore probablement nécessaires des recherches sur les quantités d'engrais et les rendements pour les cultures spéciales. Enfin, quelques questions restent à éclaircir, par exemple par rapport à la comparaison des méthodes nationales spécifiques pour la prise en compte de la minéralisation de la matière organique du sol.

Le modèle STOFFBILANZ et le modèle STICS en particulier sont capables de prendre en compte les pratiques agricoles typiques d'une région pour l'estimation du lessivage des nitrates. Afin d'obtenir la meilleure représentation de la situation passée et présente des entrées de nitrates dans les eaux souterraines, des informations sur les pratiques agricoles correspondantes sont nécessaires. Dans ce but, une vérification des pratiques agricoles standardisées déjà disponibles (2.5.7) est souhaitable pour les années de modélisation de 1979, 1991 et 1999.

Afin de pouvoir pronostiquer la situation future, on définit par exemple différentes pratiques d'exploitation respectueuses de l'environnement, et on calcule leurs répercussions sur le lessivage des nitrates à l'aide du modèle STICS (scénarios).

Schließlich werden zur Abschätzung der flächenhaften Wirkung dieser umweltgerechten Bewirtschaftungsverfahren die Ergebnisse der Szenarienrechnung mit STICS mit dem Modell STOFFBILANZ in die Fläche übertragen.

Enfin, une estimation spatialisée des effets de ces méthodes d'exploitation respectueuses de l'environnement est réalisée par le biais du transfert des résultats des calculs de scénarios effectués avec STICS dans le modèle STOFFBILANZ.



### **3.1 Ökonomische Modellierung der Produktionsauswahl der landwirtschaftlichen Betriebe im Elsass und in Baden**

*J-D Rinaudo, N. Graveline, V. Segger*

#### **3.1.1 Einleitung**

Die Entwicklung der Nitratfracht im Grundwasser des Oberrheingraben hängt in starkem Maße von der Art der landwirtschaftlichen Nutzung und insbesondere vom Ausmaß der verschiedenen Kulturen und Bewirtschaftungsweisen ab. Die seit drei Jahrzehnten beobachtete konstant steigende Nitratfracht im Grundwasser des Rheingraben lässt sich demnach mit einer Ausbreitung der Ackerflächen bei gleichzeitigem Rückgang des Grünlandes, mit einem wachsenden Maisanbau und einer Intensivierung der Bewirtschaftung erklären. Um die künftige Entwicklung der Grundwasserqualität zu verstehen und zu simulieren, ist es notwendig, die Entwicklung der Agrarproduktion zu prognostizieren, wobei sowohl die Entwicklung des technischen und wirtschaftlichen Umfeldes, in dem die landwirtschaftlichen Betriebe tätig sind als auch mögliche rechtliche Vorgaben zur Eindämmung des durch die Landwirtschaft verursachten diffusen Nitratreintrags ins Grundwasser ebenfalls zu berücksichtigen sind. Mit dem „sozio-ökonomischen“ Modul des MoNit-Projekts wird versucht, dieser Anforderung zu entsprechen, indem mikroökonomische Modelle entwickelt wurden, die die alljährlichen Bewirtschaftungsentscheidungen von landwirtschaftlichen Betrieben darstellen (Ackerbau, Viehhaltung). Diese Modelle können sodann mit dem Modell für die Stickstoffbilanz und dem hydrodynamischen Modell und dem Transportmodell, die von den anderen MoNit-Arbeitsgruppen erstellt wurden, verknüpft werden. Der vorliegende Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die von der Arbeitsgruppe „Sozio-Ökonomie“ entwickelte allgemeine Methodik sowie über die bisher vorliegenden Zwischenergebnisse.

Die hier vorgestellte Arbeit wurde vom BRGM (Federführung der Arbeitsgruppe) und der LEL Schwäbisch-Gmünd in enger Rücksprache mit den Mitgliedern der Arbeitsgruppe gemeinsam durchgeführt. Diese Gruppe hat etwa alle drei Monate mit Beteiligung von Sachverständigen des ALLB Offenburg, des ALLB Herrenberg der Vereinigung für Dyna-

### **3.1 Modélisation économique des choix de production des exploitations agricoles en Alsace et Pays de Bade**

*J-D Rinaudo, N. Graveline, V. Segger*

#### **3.1.1 Introduction**

L'évolution des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la vallée du Rhin supérieur est fortement dépendante de la nature des activités agricoles, et notamment de l'importance relative des différentes cultures et des pratiques culturales. L'augmentation soutenue des teneurs en nitrates observées depuis trois décennies dans l'aquifère du fossé Rhénan est ainsi en grande partie expliquée par l'augmentation des surfaces arables et la diminution des surfaces en prairies qui l'accompagne, la croissance de la place du maïs dans les assolements et l'intensification des pratiques culturales. Pour comprendre et simuler quelle sera l'évolution future de la qualité des eaux souterraines, il s'avère donc indispensable d'anticiper l'évolution de la production agricole, en tenant compte à la fois de l'évolution de l'environnement technique et économique dans lequel évoluent les exploitations agricoles et des mesures réglementaires qui pourraient être mises en place pour réduire la pollution diffuse générée par cette activité. Le module « socio-économie » du projet MoNit cherche à répondre à cet objectif en développant des modèles microéconomiques d'exploitations agricoles capables de représenter les choix annuels de production d'exploitations agricoles (cultures, production animales) et, dans une certaine mesure, les itinéraires techniques associés. Ces modèles pourront être couplés au modèle de bilan d'azote et modèle hydrodynamique et de transport développés par les autres groupes de travail de MoNit. Ce texte présente rapidement la méthodologie générale développée par le groupe de travail « économie » ainsi que les résultats intermédiaires obtenus à ce jour.

Le travail présenté dans ce texte a été réalisé conjointement par le Brgm (pilotage du groupe de travail) et la LEL Schwäbisch Gmünd, en étroite concertation avec les membres du groupe de travail. Ce groupe s'est réuni environ tous les trois mois, regroupant des experts de l'ALLB Offenburg, ALLB Herrenberg, l'Association pour la Re-

misierung der Agronomie im Elsass (ARAA), der Regionaldirektion für Umweltfragen im Elsass (DIREN), dem IFUL Mülheim, der LfU Baden-Württemberg, der LUFA, der Region Elsass und des Regierungspräsidiums Freiburg (RP FR) getagt.

### 3.1.2 Methodik

Die auf beiden Seiten des Rheins entwickelte und angewandte Methodik umfasst acht Schritte, die in nachstehendem Schaubild beschrieben werden: (1) das Untersuchungsgebiet wird zunächst in kleine Agrarregionen (Landwirtschaftseinheiten) unterteilt, auf die die Ergebnisse der einzelnen Schritte des Projekts bezogen werden; (2) es wird eine Typologie landwirtschaftlicher Betriebe erstellt und eine statistische Auswertung der Betriebe nach dieser Typologie vorgenommen; (3) in den Haupttypen werden konkrete Betriebe mit repräsentativem Charakter ausgesucht und genauer untersucht (befragt), um die notwendige Information für (4) die Erstellung mikroökonomischer Modelle landwirtschaftlicher Betriebe zu sammeln; (5) es wird ein Szenario der wahrscheinlichsten Entwicklungstendenzen des wirtschaftlichen Umfeldes und der rechtlichen Rahmenbedingungen entworfen; sodann wird (6) eine Liste denkbarer Maßnahmen zur Kontrolle des landwirtschaftlich verursachten diffusen Nitrateintrags ins Grundwasser erstellt, und zwar unter Heranziehung vorhandener Veröffentlichungen und unter Auswertung des gegenwärtig im Elsass und in Baden eingesetzten Instrumentariums. Schließlich werden (7) die ökonomischen Modelle zur Simulation der Auswirkungen der erwarteten Szenarien (Entwicklungstendenzen und rechtliche Rahmenbedingungen) verwendet, um deren Auswirkungen auf die Fruchtfolgen und das Einkommen der Betriebe zu ermitteln. Die Simulationsergebnisse werden dann insgesamt auf die Landwirtschaftseinheiten innerhalb des Untersuchungsbereiches übertragen (Extrapolation) und als Ausgangsgrößen für das Stickstoffbilanz-Modell verwendet (8). Bis Ende März werden die Schritte 1 bis 3 abgeschlossen sein; die ökonomischen Modelle sind zum großen Teil bereits erstellt (BRGM und LEL), und die großen Linien des Entwicklungsszenarios sind von der Arbeitsgruppe bestimmt worden.

lance Agronomique en Alsace (ARAA), la Direction Régionale de l'Environnement en Alsace (DIREN), l'IFUL Mülheim, la LfU Baden Württemberg, la LUFA, la Région Alsace, le Regierumspräsidium Freiburg (RP FR).

### 3.1.2 Méthodologie

La méthodologie générale développée et appliquée des deux cotés du Rhin comporte cinq étapes principales qui sont décrites dans la figure ci-dessous : (1) la zone d'étude est d'abord découpée en petites régions agricoles à l'échelle desquelles les données résultants des différentes étapes du projet seront agrégées ; (2) une typologie des exploitations agricoles est réalisée ainsi qu'une classification statistique des exploitations dans les types identifiés ; (3) des exploitations réelles représentatives des principaux types sont identifiées et enquêtées, afin d'acquérir l'information nécessaire au (4) développement de modèles microéconomiques d'exploitations agricoles ; (5) un scénario tendanciel décrivant l'évolution la plus probable de l'environnement économique et réglementaire est ensuite construit ; puis (6) une liste d'instruments de contrôle de la pollution diffuse d'origine agricole est établie, en s'appuyant à la fois sur une revue de littérature et sur une analyse des instruments actuellement mis en œuvre en région Alsace et dans le Pays de Bade. Enfin, (7) les modèles économiques sont utilisés pour simuler l'impact des scénarios envisagés (scénario tendanciel et mesures) pour en évaluer l'impact sur les assolements et le revenu des exploitations. Les résultats des simulations sont ensuite agrégés à l'échelle de petites régions agricoles constitutives de la zone d'étude (extrapolation) puis utilisés comme condition d'entrée du modèle de bilan d'azote (8). A fin mars, les étapes 1 à 3 sont terminées, les modèles économiques sont en grande partie développés (Brgm et LEL) et les grandes lignes du scénario tendanciel ont été identifiées par le groupe de travail.



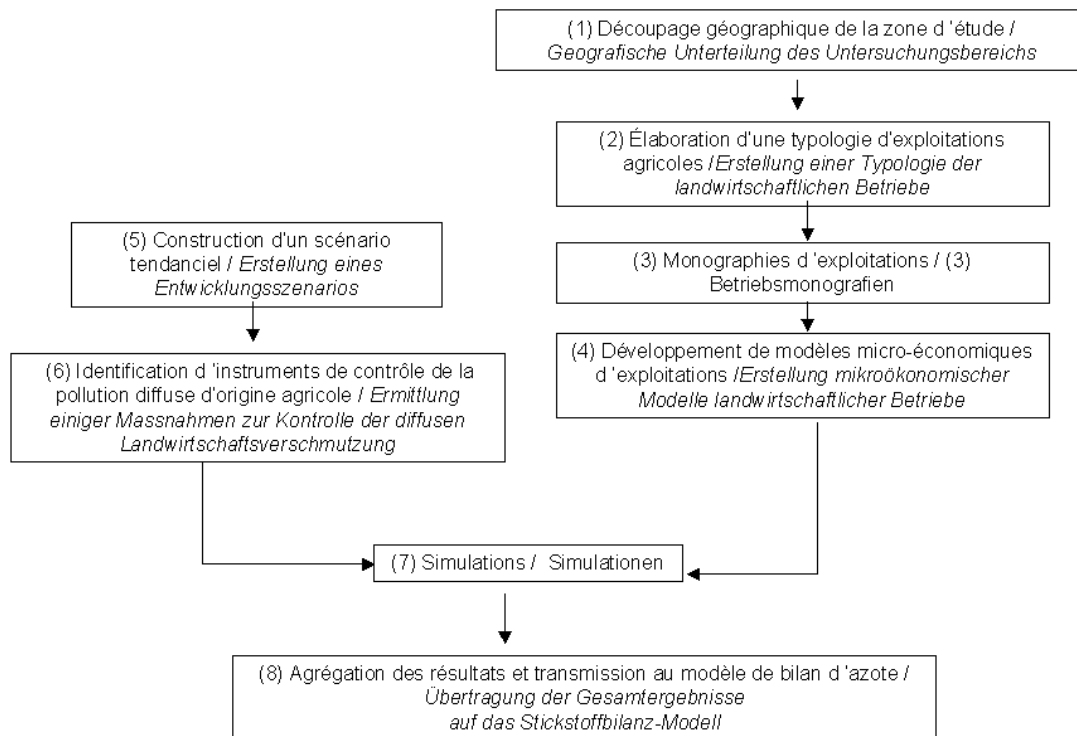


Abb. 3.1.1: Übersicht über die von der Arbeitsgruppe „Sozio-Ökonomie“ erstellten Methodik

Fig. 3.1.1: Vue d'ensemble de la méthodologie développée par le groupe de travail « socio-économie ».

### 3.1.3 Die Typologie der landwirtschaftlichen Betriebe

#### Ziele der Typologie

Die Erstellung einer Typologie landwirtschaftlicher Betriebe verfolgt ein doppeltes Ziel:

- (1) Erstens soll die Vielfalt landwirtschaftlicher Produktionssysteme vereinfacht dargestellt werden, indem aus der komplexen und vielgestaltigen Realität eine begrenzte Anzahl ausgesondert wird. Dieser Arbeitsschritt, der zur Definition einer Anzahl von Betriebstypen führt, ist sowohl in Frankreich als auch in Deutschland unter Einbeziehung von Sachverständigen bereits durchgeführt worden.
- (2) Zweitens soll die relative Bedeutung eines jeden Betriebstyps für die jeweilige räumliche Einheit (kleine Agrarregion - „PRA“ bzw. Landwirtschaftseinheit) quantifiziert werden. Dieser Arbeitsschritt macht eine statistische Auswertung der landwirtschaftlichen Betriebe, für die individuelle Angaben gebraucht werden, erforderlich.

Bei diesem typologischen Ansatz wird von der Annahme ausgegangen, dass unter glei-

### 3.1.3 La typologie des exploitations agricole

#### Objectifs de la typologie

La réalisation d'une typologie d'exploitations agricole répond à deux objectifs :

- (1) d'abord, il s'agit de construire une représentation simplifiée de la diversité des systèmes de production agricole en extrayant de la réalité complexe et multiforme un nombre d'éléments limité ; cette étape, qui conduit à la définition des types, a été réalisée en France comme en Allemagne, en s'appuyant sur des avis d'experts.
- (2) ensuite, il s'agit de quantifier l'importance relative de chaque type d'exploitation à l'échelle d'entités spatiales définies (Petites Régions Agricoles - PRA). Cette étape implique un travail de classification statistique des exploitations agricoles, pour lesquelles on doit disposer de données individuelles.

L'hypothèse fondamentale sous-jacente aux démarches typologiques est que des exploi-

chen Rahmenbedingungen und mit gleichen Faktorausstattungen arbeitende landwirtschaftliche Betriebe sehr ähnliche Bewirtschaftungsstrategien verfolgen und angesichts der zu erwartenden Entwicklungsszenarios in gleicher Weise reagieren werden.

#### Erstellung der Typologie der landwirtschaftlichen Betriebe im Elsass

Im Jahr 2000 hat das französische Landwirtschaftsministerium eine umfassende Erhebung der landwirtschaftlichen Betriebe (RGA) durchgeführt. Diese Erhebung gibt Aufschluss über die Struktur und die Produktion eines jeden Betriebes. Im Jahr 2002 haben sich die Landwirtschaftskammern der Départements Bas-Rhin und Haut-Rhin mit dem Amt für Statistik der Departements-Direktion für Landwirtschaft und Forsten (DDAF) zusammengesetzt, um die vorhandenen Daten auszuwerten und nach der Methode der „Bündelung nach von Experten festgelegten Hauptausrichtungen“ eine Typologie landwirtschaftlicher Betriebe zu erstellen (Chambre Régionale d'Agriculture d'Alsace 2003). Die Definition der Betriebstypen und der jedem Typ eigenen Zugehörigkeitskriterien wurde von den Landwirtschaftskammern unter Einbeziehung von rund 80 Experten durchgeführt, während die EDV-gestützte Klassifizierung von der Statistischen Dienststelle der DDAF übernommen wurde. Am Ende dieser Arbeit wurde jeder der 15094 elsässischen Betriebe einem der von den Experten ermittelten Typen zugeordnet. Das Ergebnis wurde dem Projekt für die Ebene der "kleinen Agrargebiete" von der Regionalen Landwirtschaftskammer zur Verfügung gestellt.

Die Arbeit der Landwirtschaftskammer ermöglichte die Unterscheidung von 62 Betriebstypen. Wir haben diese 62 Typen für die Zwecke des Projekts zu 13 Haupttypen zusammengefasst, wobei diejenigen Typen ausgeschlossen wurden, die in unserem Untersuchungsbereich kaum oder nicht vorhanden sind (Graveline et al., 2004).

#### Erstellung der Typologie der landwirtschaftlichen Betriebe in Baden

Da es für die badische Seite eine derartige Typologie nicht gibt, haben sich die Projektpartner darauf verständigt, eine Typologie nach dem elsässischen Modell zu erstellen. Die wichtigsten Typen wurden nach Expertenaussagen (deutsche Mitglieder der Ar-

tations agricoles ayant les mêmes contraintes et les mêmes moyens de production sont susceptibles d'adopter des stratégies de production très similaires et de réagir de la même manière aux scénarios envisagés.

#### Réalisation de la typologie des exploitations agricole en Alsace

En 2000, le ministère de l'agriculture français a réalisé un recensement général des exploitations agricoles (RGA). Celui-ci permet de connaître la structure et la production de chaque exploitation. En 2002, les Chambres d'agriculture du Bas Rhin et Haut Rhin se sont associées au Service Statistique de la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) pour exploiter ces données et réaliser une typologie d'exploitations agricoles, utilisant une méthode « d'agrégation autour de pôles à dire d'expert » (Chambre d'agriculture Régional D'alsace 2003). La définition des types d'exploitations et des critères d'appartenance à chaque type a été réalisée, environ 80 experts consultés par les Chambres d'Agriculture tandis que le travail de classification (informatique) a été réalisé par le service statistique de la DDAF. A l'issue de ce travail, chacune des 15094 exploitations alsaciennes a été affectée à l'un des types identifiés par les experts. Les résultats ont été mis à disposition du projet à l'échelle des petites régions agricoles par la Chambre d'Agriculture Régionale.

Ce travail de la Chambre d'Agriculture a conduit à l'identification de 62 types d'exploitations. Pour les besoins du projet, ces 62 types ont été regroupés en 13 grands types, en excluant notamment les types peu ou pas présents sur notre zone d'étude (Graveline et al., 2004).

#### Réalisation de la typologie des exploitations agricole en Pays de Bade

En l'absence de typologie existant du côté badois, les partenaires du projet se sont engagés dans la construction d'une typologie en s'inspirant de l'expérience alsacienne. Les principaux types ont été identifiés à dire d'expert (membres allemands du groupe de

beitsgruppe) erstellt. Nach einer qualitativen Beschreibung der verschiedenen Typen, ihrer produktionstechnisch-wirtschaftlichen Ausrichtung und ihrer Rahmenbedingungen haben die Experten Klassifizierungskriterien und Schwellenwerte für diese Kriterien festgesetzt. Die Klassifizierung der Betriebe wurde von der LEL Schwäbisch-Gmünd unter Verwendung der im „Gemeinsamen Antrag“ zur Beantragung von Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) meldepflichtigen Angaben vorgenommen. Die statistische Auswertung wurde für die Ebene der „kleinen Agrargebiete“ (Landwirtschaftseinheiten) erstellt (in Frankreich, für Deutschland noch zu klären).

Der typologische Ansatz hat zur Ermittlung von 13 Typen geführt, die sich größtenteils, wenn auch nicht systematisch, mit den elsässischen Typen decken.

#### Ergebnisse

Die wichtigsten Typen im Untersuchungsgebiet (Rheinebene) sind die folgenden:

- Die auf „grandes cultures“ (Getreide, Ölsaaten, Hülsenfrüchte) spezialisierten Betriebe (C1, C2, C3, C4, C5 nur in Baden) machen 64% bzw. 54% der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) in Baden bzw. im Elsass (SAU) aus und 45,5% bzw. 43,5% der Gesamtanzahl der Betriebe. C1 und C2 haben sich auf Maisanbau spezialisiert, mit unterschiedlichem Umfang an Beregnung; C3 weist eine wesentlich größere Vielfalt auf; C4 besteht aus Kleinbetrieben und ist in bezug auf die Anzahl der Betriebe die wichtigste Gruppe in dieser Kategorie (27% aller Betriebe in Baden, 34% im Elsass); C5 ist eine Besonderheit in Baden: es ist einerseits ein auf „grandes cultures“ ausgerichteter Typ (49% Körnermais, 15% andere Getreidearten), der andererseits in kleinerem Umfang Intensiv- oder Dauerkulturen mit hoher Wertschöpfung betreibt.
- Die intensiven Marktfruchtbetriebe der Typen D1 (Elsass) und D1-M (Baden) bauen auf elsässischer Seite Zuckerrüben, Tabak, Hopfen oder Freilandgemüse und auf badischer Seite Intensivkulturen wie Tabak, Spargel, Erdbeeren, Freilandgemüse oder Beerensträucher an.

travail). Après une description qualitative des différents types, de leur orientation technico-économique et de leurs contraintes, les experts ont défini des critères de classification et des valeurs seuils pour ces critères. La classification des exploitations a ensuite été réalisée par la LEL Schwäbisch Gmünd en utilisant les données de déclaration de la politique agricole commune. Les résultats du traitement statistique ont été fournis à l'échelle des petites régions agricoles (en France, en cours de discussion en Allemagne).

La démarche typologique a abouti à l'identification de 13 types, coïncidant en grande partie (mais pas systématiquement) aux types alsaciens.

#### Résultats

Les principaux types d'exploitations présents dans la zone d'étude (plaine du Rhin) sont les suivants:

- Les exploitations spécialisées en grandes cultures (C1, C2, C3, C4, C5-uniquement en Bade) représentent ensemble 64% et 54% de la surface agricole utile du côté badois et Alsacien respectivement et 45,5% et 43,8% du nombre d'exploitations. C1 et C2 sont spécialisés en maïsiculture, avec plus ou moins d'irrigation; C3 est beaucoup plus diversifié; C4, composé de petites exploitations représente le principal groupe de cette famille en terme d'effectif (27% de l'effectif total en Bade, 34% pour l'Alsace); C5 est spécifique au pays badois: il s'agit d'un type orienté grandes cultures (49% en maïs grain et 15% d'autres céréales) et pratiquant, sur de petites surfaces, des cultures maraîchères ou permanentes à très forte valeur ajoutée.
- Les exploitations diversifiées des types D1 (alsacien) et D1-M (badois) pratiquent des cultures comme la betterave, le tabac, le houblon ou légumes en plein champs du côté alsacien et des cultures maraîchères du côté Badois.

- Spezialisierte Milchviehbetriebe der Typen L1 und L2 (intensiv, extensiv) sind in der Ebene nur schwach vertreten (5,5% der Betriebe im Elsass, 1% in Baden). Diese Betriebe umfassen jedoch eine beachtliche Fläche, insbesondere im Elsass (15% gegenüber 2% in Baden). Die spezialisierten Rindermastbetriebe (B1 und B2) fallen zahlenmäßig noch weniger ins Gewicht.
- Die Betriebe, die vorrangig Weinbau betreiben (V1 und V2, beide Elsass), stellen 38% aller landwirtschaftlichen Betriebe dar und decken 8% der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Elsass ab. In Baden wurde ein einziger Typ VD abgegrenzt, der vorrangig Betriebe mit Dauerkulturen (Weinbau, Obstbau) umfasst; unter diesen Typ fallen 14% der Betriebe und 8% der LF. Der Typ VD in Baden umfasst auch Erdbeer-, Beerenstrauch- und Gemüsekulturen.
- Intensivkulturen (Gemüse) gibt es im Elsass wenige (0,8%); sie bedecken nur 0,1% der LF: In Frankreich wurde kein entsprechender Typ ausgewiesen. In Baden sind die Gemüsekulturen großflächig; sie sind im Typ D1-M zusammengefasst.
- Sonstige Typen: die Typen Schweinehaltung (DS) und Geflügelhaltung (DG) sind im Untersuchungsgebiet sowohl auf elsässischer als auch auf badischer Seite so gut wie nicht vorhanden (1% aller Betriebe und 1-2% der LF). Auf badischer Seite wurde der Typ Betriebe mit geringem Tierbestand (Typ Tp) ausgewiesen.
- Les exploitations laitières des types L1 et L2 (intensives, extensives) sont peu présentes en plaine (5.5% des exploitations coté alsacien et 1% coté badois). Ces exploitations occupent cependant une surface non négligeable, notamment en Alsace (15 %, contre 2% en pays de Bade). Les exploitations bovins viande (B1 et B2) sont encore moins présentes que les exploitations laitières.
- Les exploitations à dominante viticole (V1 et V2 pour l'Alsace) représentent 38% de l'ensemble des exploitants agricoles et 8 % de la surface agricole du coté alsacien. En pays de Bade un seul type a été identifié VD, regroupant les exploitations à dominante viticole ou cultures pérennes (vergers); ce type représente 14% des exploitants et 8 % de la SAU totale. Le type badois VD diversifie aussi sa production avec des fraises, des baies et des cultures maraîchères :
- Les maraîchers sont très peu nombreux en Alsace (0.8 %) et n'occupent que 0.1 % de la SAU : il n'a pas été retenu de type coté français. En Bade les exploitations maraîchères, de grande taille, ont été regroupées dans le type D1-M.
- Autres types : du coté alsacien et badois de la zone d'étude, les types porcins DS et volailles DG sont quasi inexistant (1 % des exploitations et de 1 à 2% de la SAU). Coté badois le type « petits élevages » a été distingué.

Nach Fertigstellung der Typologie wurde für jeden der Haupttypen ein repräsentativer Betrieb ausgewählt und für diesen ein mikroökonomisches Entscheidungsmodell erstellt.

Suite à la réalisation de la typologie, une exploitation réelle, représentative de chacun des principaux types (en terme de surface agricole) a été identifiée et un modèle microéconomique en représentant le fonctionnement a été développé.

### 3.1.4 Erstellung ökonomischer Modelle

### 3.1.4 Modélisation économique

#### Ziel

#### Principe de la modélisation

Die Anwendung eines ökonomischen Modells auf ein landwirtschaftliches Problem hat zum Zweck, die Entscheidungen der Landwirte bezüglich der anzubauenden Kulturen und der zum Einsatz kommenden Produktionsfaktoren mit Hilfe einer Simulation darzustellen. Im vorliegenden Fall sollen mit Hilfe des Modells die Entscheidungen in bezug auf angebaute Kulturen, Fruchtfolge und Bewirtschaftung

Dans le cas d'un problème agricole, l'objectif de la modélisation économique consiste à représenter au moyen d'un outil de simulation les décisions des agriculteurs en termes de choix des cultures et des facteurs de productions utilisés. Dans le cas présent, le modèle aura pour objectif de simuler les décisions en matière d'utilisation de choix de cultures, de rotations et de pratiques culturales et d'en

tungspraktiken simuliert und davon ausgehend ein Risikoindikator der Umweltbelastung durch Nitrat sowie eine Schätzung des dadurch erzielbaren landwirtschaftlichen Einkommens abgeleitet werden.

#### Struktur der ökonomischen Modelle

Es wird von der Annahme ausgegangen, dass jeder Landwirt über eine bestimmte Menge an Ressourcen verfügt (landwirtschaftliche Nutzfläche, Arbeitskräfte, Wasser, Produktionsquoten, landwirtschaftliche Geräte usw.), die er so einzusetzen sucht, dass er unter Beachtung einer Reihe von wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen ein möglichst hohes Einkommen damit erzielt. Die Erstellung eines Modells auf der Grundlage dieses Verhaltens ist relativ einfach und besteht darin, das Einkommen unter Berücksichtigung folgender Datenbasis zu maximieren:

- (a) den möglichen landwirtschaftlichen Kulturen (einschließlich Grünland mit dazugehöriger Viehhaltung);
- (b) den für jede landwirtschaftliche Kultur in Frage kommenden Düngepraktiken und den daraus herzuleitenden Deckungsbeiträgen;
- (c) den technischen Voraussetzungen für jede Bewirtschaftungsweise (Arbeitskräftebedarf pro Hektar, Wasserbedarf pro Hektar usw.);
- (d) dem Preis der landwirtschaftlichen Produkte (einschließlich der GAP-Prämien) und der Höhe der variablen Produktionskosten (Düngemittel, Wasserbedarf für Bewässerung usw.).

#### Anwendung der Modelle

Nach Erstellung einer allgemeinen Modellstruktur, mit der sich die Besonderheiten der elsässischen und badischen Betriebe darstellen lassen, wurden konkrete, für die verschiedenen Typen repräsentative Betriebe ausgewählt und befragt (eine Betriebsmonografie pro Typ). Auf Grund der Befragungen wurden für jeden dieser Betriebe die Zielsetzungen, die Struktur der Produktionsmittel, die vorhandenen Rahmenbedingungen, die spezifischen Probleme in Zusammenhang mit dem Stickstoffeinsatz, die technischen Voraussetzungen für seine Anwendung usw. ermittelt. Bis dato wurden zehn Betriebsmodelle erstellt.

déduire une estimation du revenu agricole associé en réaction à des conditions externes changeantes (politiques agricoles, prix, réglementation...).

#### Structure des modèles économiques

Pour cela, on considère que chaque agriculteur dispose d'une certaine quantité de ressources (en surface cultivable, en main d'œuvre, en eau, en quotas pour certaines productions, en disponibilité de machines agricoles, etc.) qu'il cherche à utiliser de façon à dégager le revenu le plus élevé possible, tout en respectant un certain nombre de contraintes techniques, économiques et administratives. La modélisation d'un tel comportement est donc relativement simple et consiste en une maximisation du revenu étant donné :

- (a) un ensemble de cultures possibles (y compris les prairies associées à l'élevage) ;
- (b) un ensemble de pratiques de fertilisation pour chaque culture et la marge brute associée à chaque pratique
- (c) l'itinéraire technique associé à chaque pratique (besoins en main d'œuvre par hectare, besoins en eau par hectare, etc.) ;
- (d) les prix des produits agricoles (y compris les primes PAC) et ceux des facteurs variables de production (dont le prix des engrais, celui de l'eau d'irrigation, etc. ).

#### Mise en œuvre des modèles

Après avoir développé une structure générale du modèle, permettant de représenter les spécificités des exploitations alsaciennes et badoises, des exploitations réelles, jugées représentatives des types identifiés précédemment, ont été identifiées et enquêtées (1 monographies d'exploitation par type). Les entretiens ont permis de caractériser les objectifs de chaque exploitation, de décrire la structure de ses moyens de production, ses contraintes, les problèmes spécifiques liés à la gestion de l'azote, les itinéraires techniques, etc. A ce jour, dix modèles d'exploitation ont été développés.

### 3.1.5 Szenarien künftiger Entwicklung und Simulation

Die künftige Entwicklung der Produktionssysteme und Flächennutzung (relative Bedeutung der verschiedenen Kulturen) wird weitgehend durch Veränderungen der wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen bestimmt werden, die es zu prognostizieren gilt. Der Zweck dieses Teils der Arbeit besteht darin, die Einflussfaktoren zu erkennen und die Entwicklungstendenzen in der Landwirtschaft des Untersuchungsgebiets zu beschreiben. Die Ausarbeitung eines Szenarios (in Bearbeitung) umfasst folgende Schritte:

- (1) Ermittlung der wichtigsten Faktoren, welche landwirtschaftliche Entscheidungen beeinflussen. Da gibt es zunächst globale Veränderungen, wie die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (siehe vergleichende Beschreibung der Umsetzung dieser Reform in Frankreich und in Deutschland von Graveline, Segger und Rinaudo, 2004); die Entwicklung der Agrarmärkte (infolge der EU-Erweiterung, WTO, usw.); die Entwicklung der Energiepreise; die Umsetzung der europäischen Gesetzgebung (nach dem in den einzelnen Richtlinien festgelegten Zeitplan); oder der Klimawandel. Auch durch lokale Phänomene verursachte Veränderungen werden berücksichtigt, wie das mit dem Auftreten des Maiswurzelbohrers verbundene Risiko, das Entstehen alternativer, mit Mais konkurrierender Märkte usw.
- (2) Die Arbeitsgruppe versucht, für jeden dieser Einflussfaktoren eine Entwicklungstendenz zu beschreiben (Spezifizierung des Szenarios), und unter Einbeziehung eines Unsicherheitsfaktors einen zeitlichen Rahmen für das Auftreten dieser Veränderungen anzusetzen.
- (3) Der dritte Schritt wird darin bestehen, die aufgelisteten Entwicklungshypothesen anlässlich eines Fachseminars mit landwirtschaftlichen Experten oder durch Befragung von Experten verschiedener Sachbereiche (Wissenschaftler, europäische oder nationale Experten usw.) bestätigen (und präzisieren) zu lassen.
- (4) Der vierte und letzte Schritt wird darin bestehen, die bestätigten Hypothesen un-

### 3.1.5 Définition des scénarios et simulation

L'évolution future des systèmes de production agricole et de l'occupation du sol (importance relative des différentes cultures) sera déterminée en grande partie par des changements de l'environnement économique et réglementaire qu'il convient d'anticiper. L'objectif de cette partie du travail est d'identifier les facteurs de changements et de décrire un scénario tendanciel d'évolution de l'agriculture de la zone. Le développement du scénario (travail en cours) repose sur les étapes suivantes :

- (1) Identification des principaux facteurs susceptibles d'influencer les décisions agricoles. Il s'agit d'abord de changements globaux, comme par exemple la réforme de la Politique Agricole Commune (pour une description comparée de la mise en œuvre de cette réforme en France et en Allemagne, voir Graveline, Segger et Rinaudo, 2004); de l'évolution des marchés agricoles (liés à l'élargissement européen, à l'OMC, etc); de l'évolution de prix de l'énergie; de l'application de la législation européenne (selon le calendrier prévu dans diverses directives); ou encore le changement climatique. Des changements d'origine plus locale sont également envisagés, comme le risque lié à la chrysome du maïs, le développement de filières économiques alternatives à celle du maïs, etc.
- (2) Pour chacun de ces facteurs de changement, le groupe de travail cherche à définir l'importance de la prise en considération de chacun des facteurs par rapport aux objectifs posés, à décrire une tendance d'évolution (spécification du scénario), à préciser l'horizon temporel auquel ces changements sont susceptibles de survenir ainsi que l'incertitude associée aux changements anticipés.
- (3) La troisième étape consistera à faire valider (et préciser) les hypothèses d'évolution retenues par des experts de la profession agricole (organisation d'un séminaire de prospective) ou par des experts spécialistes des questions posées (scientifiques, experts européens ou nationaux, etc).
- (4) La quatrième et dernière étape consistera à compiler les hypothèses validées pour

ter Einbeziehung aller erwarteten Veränderungen zu einem Entwicklungsszenario zusammenzufügen. Die Auswirkungen dieses Entwicklungsszenarios werden sodann an den landwirtschaftlichen Betriebsmodellen simuliert. Die erzielten Ergebnisse werden unter Verwendung der Betriebsklassifizierung (Typologie) auf das gesamte Untersuchungsgebiet übertragen.

- (5) Parallel dazu versucht die Arbeitsgruppe, eine Liste von Maßnahmen zu erstellen, die auf regionaler Ebene angewandt werden können: rechtliche, wirtschaftliche (Subventionen für spezifische Anbau-praktiken oder Kulturen) oder vertragliche Maßnahmen (vom Typ CAD oder MEKA). Diese Aufgabe wird in enger Zusammenarbeit mit den öffentlichen Entscheidungsträgern durchgeführt, die diese Maßnahmen umsetzen sollen, und nach Möglichkeit mit denjenigen, die sie anzuwenden haben werden (Landwirte).

générer un scénario tendanciel incluant les différents changements envisagés pour un horizon temporel défini (2015 dans un premier temps). L'impact de ce scénario tendanciel sera ensuite simulé en utilisant les modèles d'exploitations agricoles. Les résultats obtenus à l'échelle de ces exploitations de références seront extrapolés à l'échelle de la zone, en mobilisant le résultat de la classification automatique (étape typologie).

- (5) En parallèle, le groupe de travail cherche à réaliser une liste de mesures pouvant être mises en œuvre à l'échelle régionale : mesures réglementaires, économiques (subventions pour pratiques ou cultures spécifiques) ou contractuelles (de type CAD ou MEKA). Ce travail sera réalisé en étroite collaboration avec les décideurs publics susceptibles de mettre en œuvre ces mesures et, si possible, avec ceux ayant à les appliquer (profession agricole).





## 3.2 Modellkopplung und Szenarien

J. Grimm-Strele, M. Casper, St. Korte, H. Lambrecht

### 3.2.1 Raum- und Zeitbezug

Die Nachbildung der komplexen Prozesse des Nitrattransports erfordern, wie schon in Kap. 1.3 beschrieben wurde, ein Modellsystem, in dem Modelle unterschiedlicher Art und mit unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen zu integrieren sind. Dafür wurde ein iterativ zu betreibendes modulares Modellsystem verwendet, mit den in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Bausteinen. Diese haben unterschiedliche räumliche und zeitliche Skalen. Zur Sicherstellung der Interaktion der Modelle müssen die zeitliche und die räumliche Diskretisierung angepasst werden. Tab. 3.2.1 gibt einen Überblick über die räumliche und zeitliche Auflösung der Modelle.

Tab. 3.2.1: *Räumliche und zeitliche Auflösung der im Rahmen des Projektes eingesetzten Modelle*

Tab. 3.2.1: *Résolution spatio-temporelle des modèles mis en œuvre dans le cadre du projet*

## 3.2 Couplage des modèles et scénarios

J. Grimm-Strele, M. Casper, St. Korte, H. Lambrecht

### 3.2.1 Cadre spatio-temporel

Comme cela a déjà été décrit dans le chapitre 1.3, la représentation des processus complexes de transport des nitrates nécessite un système de modèles dans lequel sont intégrés différents types de modèles pour des échelles spatiales et temporelles variables. Pour cela on construit itérativement un système de modèles composé des modules décrits dans le chapitre précédent. Ces composantes possèdent des échelles spatiales et temporelles différentes. Afin de garantir des interactions correctes entre les modèles, il faut adapter la discrétisation spatio-temporelle. Le Tab. 3.2.1 synthétise la résolution spatio-temporelle des modèles.

<b>Modell / Modèle</b>	<b>Zeitliche Auflösung / Résolution temporelle</b>	<b>Räumliche Auflösung / Résolution spatiale</b>
1. GWN_BW	(Stunden) 1 Tag <i>(valeurs horaires) 1 jour</i>	500m Raster <i>Mailles de 500 m</i>
2. SÖM / MSE	Gleichgewichtszustände <i>Etats d'équilibre</i>	Agrarregion <i>Région agricole</i>
3. Stoffbilanz	(Halb-) Jahresmittelwert <i>Valeur moyenne annuelle (semestrielle)</i>	500m/1000m Raster (Gemeinde/commune, Agrarregion bei Szenarien) <i>Mailles de 500 m/1000 m (Gemeinde/commune, Régions agricoles pour les scénarios)</i>
4. STICS	1 Tag <i>1 jour</i>	Schlag <i>Parcelle</i>
5. IWK-Regio	1 Monat <i>1 mois</i>	Rand-Einzugsgebiet <i>Bassins versants</i>
6. MODFLOW MT3D	1 Monat <i>1 mois</i>	100m Raster 10 Schichten <i>Mailles de 100 m 10 couches</i>

Grundlage der räumlichen Zusammenführung ist der Bezug auf ein Raster. Das

Pour permettre la mise en relation des modèles, nous passons par le mode raster. La

Grundraster ist durch das Grundwassermodell mit einer Maschenweite von 100 m gegeben. Daten, die mit einem anderen Raumbezug vorliegen, wie die statistischen Landnutzungsdaten, die auf Verwaltungseinheiten (Gemeinde / Gemarkung, bzw. Canton / Commune) bezogen sind, werden je nach Modellerfordernis (vgl. Kap. 2.3, 3.1) auf die Rasterelemente umgerechnet. Das betrifft diverse Datensätze, die auf unterschiedliche landwirtschaftliche Einheiten bezogen sind (Agrarregionen, Ferti mieux –Gebiete usw.), aber genauso Bodendaten u. a.

Grundlage für den Zeitbezug bildet ebenfalls das Grundwassermodell mit einem Zeitschritt von einem Monat. Teilmodelle mit einer höheren zeitlichen Auflösung wie GwN\_BW übergeben die Ergebnisse (im Beispiel Grundwasserneubildung) als Summe, bzw. in anderen Fällen als Mittelwert.

### 3.2.2 Modellkoppelung

Bevor die Modelle gekoppelt werden können, werden die Teilmodelle "intern" kalibriert, bzw. validiert, d. h. sofern notwendig an die Gegebenheiten im Oberrheingraben angepasst. Für mehrere Teilmodelle stehen jedoch nur sehr wenige oder keine Validierungsdaten zur Verfügung (Tab. 3.2.2). So gibt es z. B. keine unabhängige Datenbasis für die Nitratfracht aus der Bodenzone, dem Modellergebnis des Bilanzmodells.

Es ist deshalb wichtig, die Modelleingangsdaten möglichst präzise zu ermitteln. Zentral für die Qualität der Simulation des Nitratintrags ist z. B. die genaue Ermittlung der landwirtschaftlichen Praxis (z.B. Düngemengen, Bearbeitungsmethoden, Viehbesatz, Fruchtfolgen) in den beteiligten Ländern. Diese Daten werden in einem mehrstufigen System flächenhaft plausibilisiert und abgeglichen. Dabei hat die Experteneinschätzung ein großes Gewicht. Viele der erhobenen Daten liegen erstmalig länderübergreifend vor. Das setzte z. B. bei den Bodendaten einen Abgleich der länderspezifischen Beschreibungen voraus.

grille de base est déterminée d'après le modèle des eaux souterraines et comprend des mailles carrées de 100 m de côté. Les données disposant d'un cadre spatial différent, notamment les utilisations du sol disponibles pour des unités administratives (commune/lieu-dit ou canton/communes) sont interpolées sur les éléments du maillage en fonction des exigences de chaque modèle (cf. chap. 2.3 et 3.1). Ceci concerne différents jeux de données correspondants aux différents découpages en zones agricoles (Régions Agricoles, régions Ferti-Mieux, etc.), mais également les données pédologiques et autres.

La discrétisation temporelle du système de modèles est également conformée au modèle des eaux souterraines avec un pas de temps mensuel. Les sous-modèles disposant d'une résolution temporelle plus élevée (comme GWN\_BW) fournissent les résultats (p. ex. la recharge de la nappe) de façon agrégée sous la forme d'une somme, dans le cas contraire sous forme d'une moyenne.

### 3.2.2 Couplage des modèles

Avant de procéder au couplage des modèles, chacun des sous-modèles est calé, c'est-à-dire ajusté aux conditions de la vallée du Rhin Supérieur. Cependant, pour plusieurs sous-modèles, les données de validation sont rares ou inexistantes (Tab. 3.2.2). Il n'existe par exemple aucune base de données indépendante sur le lessivage des nitrates du sol pour valider les résultats du modèle de bilan.

Il est donc important de déterminer les données d'entrée des modèles avec la plus grande précision possible. Par exemple, la détermination précise des pratiques agricoles dans les pays concernés par le projet (p. ex. quantités d'engrais, méthodes de travail du sol, têtes de bétail, successions culturales) constitue ainsi un élément fondamental pour la qualité de la simulation de lessivage des nitrates. La plausibilité de ces données est vérifiée par un système itératif sur l'ensemble de la zone d'étude, puis un ajustement est effectué. Au cours de cette étape, l'évaluation des experts revêt une grande importance. Une grande partie des données collectées sont transfrontalières. Ceci suppose une homogénéisation des descriptions propres à chaque pays, comme par exemple dans le cas des données pédologiques.

Tab. 3.2.2: Validierungsdaten und Modell-Output der Teilmodelle

Tab. 3.2.2: Données de validation et sorties de modèle des sous-modèles

Modell / Modèle	Validierungsdaten / Données de validation	Modell-Output / Sorties du modèle
SÖM / MSE	Aktuelle Landwirtschaft, Einkommen	Hoftypenverteilung, Einkommen, Landnutzungsverteilung
	<i>Pratiques agricoles actuelles, revenu</i>	<i>Type d'exploitation agricole revenu, assolement</i>
GwN_BW	Ist verifiziert	Interpolierte Klimadaten Grundwasserneubildung, Sicker- wassermenge
	<i>Ce modèle a été vérifié</i>	<i>Données climatiques interpolées, recharge de la nappe, quantité d'eau de percolation</i>
STOFFBILANZ	"plausible" Nitrataustragsverteilung	Nitrataustrag (Mittelwert über Bilanzansatz)
	<i>Distribution « plausible » du lessivage des nitra- tes</i>	<i>Lessivage des nitrates (moyenne annuelle)</i>
STICS	Pflanzenwachstum, Ertrag, N <sub>min</sub> -Werte von Vali- dierungsflächen, Sickerwasserkonzentrationen	Nitrataustrag, Erntemengen
	<i>Croissance des plantes, rendements, reliquats d'azote dans le sol sur les parcelles de valida- tion, concentration dans les eaux de percolation</i>	<i>Lessivage des nitrates, rendements</i>
IWK-Regio	Pegelganglinien	Oberirdische Zuflüsse
	<i>Mesures du niveau des eaux de surface</i>	<i>Apports latéraux par les eaux de surface</i>
MODFLOW	Grundwasserstandsmessstellen (200 Leitmst.)	Grundwasserströmung
	<i>Stations de mesure du niveau de la nappe (200 stations de référence)</i>	<i>Écoulement des eaux souterraines</i>
MT3D	Nitratverteilung 1997 & 2003, Zeitreihen	Nitratkonzentrationen ( <u>Endergebnis</u> )
	<i>Distribution des nitrates 1997 &amp; 2003, séries temporelles</i>	<i>Concentrations en nitrates (<u>Résultat final</u>)</i>

Die Koppelung der Teilmodelle erfolgt durch Übergabe der Ergebnisdateien. Dabei kann und muss die inhaltliche Richtigkeit in jeder Stufe von den Modellbetreibern sichergestellt werden. In der letzten Spalte der Tab. 3.2.2 sind die von dem betreffenden Modell gelieferten Daten dargestellt.

Der erste Schritt des Arbeitsplans (Kap. 1.3) sieht die Verifikation der Modellkette durch Nachbildung des aktuellen (2002) Zustands der flächenhaften Nitratbelastung des Grundwassers vor. Dazu kommen vor allem die Modelle GWN\_BW, STOFFBILANZ, das Modell IWK-Regio und das Grundwassermodell MODFLOW/MT3D zum Einsatz. Das sozio-ökonomische Modell (SÖM) und das Pflanze-

Le couplage des sous-modèles est effectué par transfert des fichiers de résultats. Lors de cette étape, il est possible et nécessaire de vérifier l'exactitude du contenu de chaque phase de la modélisation. La dernière colonne du Tab. 3.2.2 présente les données fournies par les différents modèles.

La première étape de l'échéancier (chap. 1.3) prévoit une vérification du système de modèles par reproduction de la répartition spatiale actuelle (2002) de la pollution des eaux souterraines par les nitrates. Les modèles mis en œuvre dans ce cadre sont surtout GWN\_BW, STOFFBILANZ, IWK-Regio et le modèle des eaux souterraines MODFLOW/MT3D. Le modèle socio-économique (SÖM) et le mo-

Boden-Modell STICS dienen in erster Linie der Prognose zukünftiger Gebietszustände und sind insofern hier nicht relevant.

Diese Simulationen können im Rahmen des Projektes anhand realer Messdaten (Zeitreihen und Daten aus den Bestandsaufnahmen 1997 / 2003) überprüft werden, was vor allem auch die Kalibrierung des Grundwasserströmungs- und -transportmodells möglich macht.

Abb. 3.2.1 zeigt etwas vereinfacht die Kopplung der Teilmodelle und den Datenfluss innerhalb des Projektes. Die grauen Pfeile stellen Ansatzpunkte für Szenarienrechnungen dar, diese werden im folgenden Kapitel genauer diskutiert. Die Kopplung der Modelle erfolgt auf der Ebene der Projektkoordination, die auch für die zentrale Datenhaltung zuständig ist.

dèle « sol-plante » STICS permettent avant tout de prévoir les situations futures et ne sont pas concernés ici.

Dans le cadre du projet, ces simulations peuvent être vérifiées grâce à des données de mesure réelles (séries temporelles et données issues des inventaires 1997/2003), ce qui permet également de calibrer les modèles hydrodynamique et de transport.

La Fig. 3.2.1 présente de manière simplifiée le couplage des sous-modèles et les flux des données au sein du projet. Les flèches grises représentent les points de départ pour le calcul des scénarios qui seront évoqués de façon détaillée dans le chapitre suivant. Le couplage des modèles est effectué au niveau de la coordination du projet, qui est également responsable de l'archivage centralisé des données.

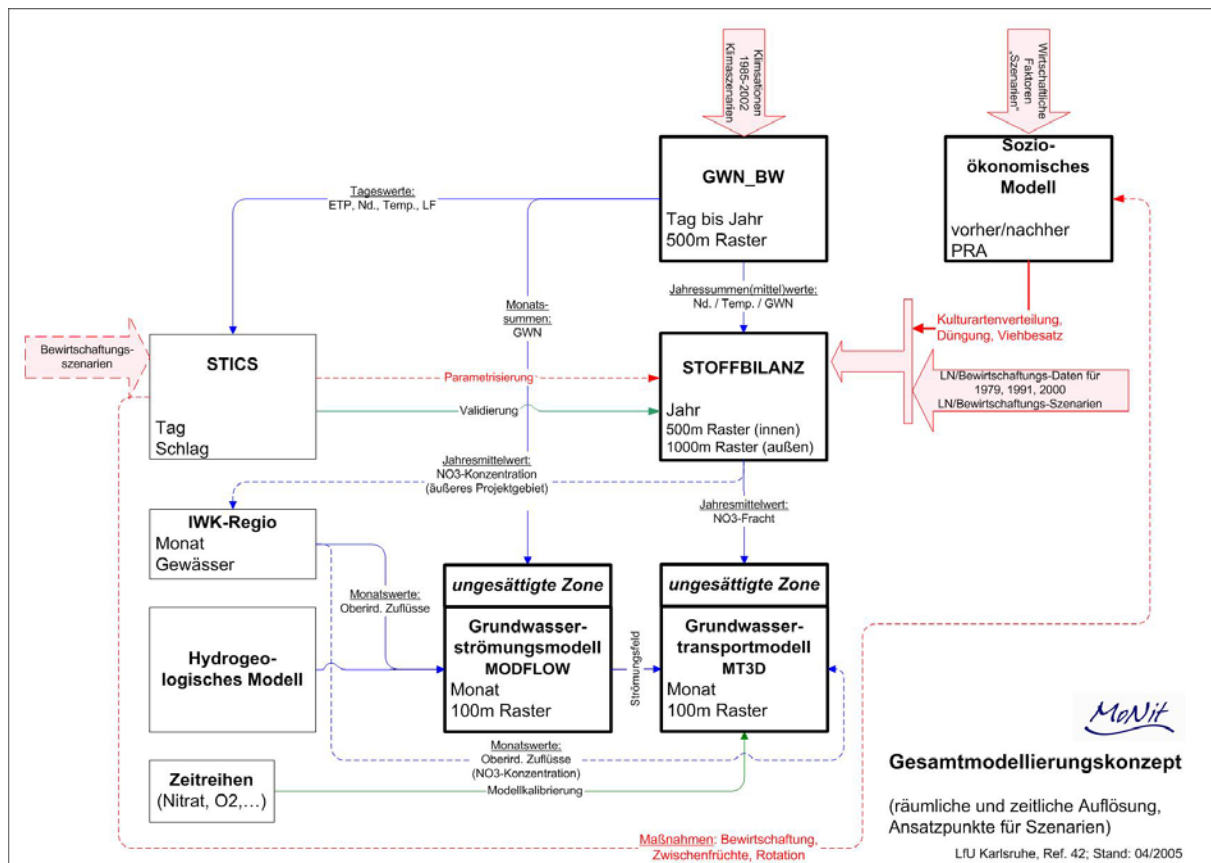


Abb. 3.2.1 (auf deutsch): Gesamtmodellierungskonzept: Datenfluss und Szenarienabbildung

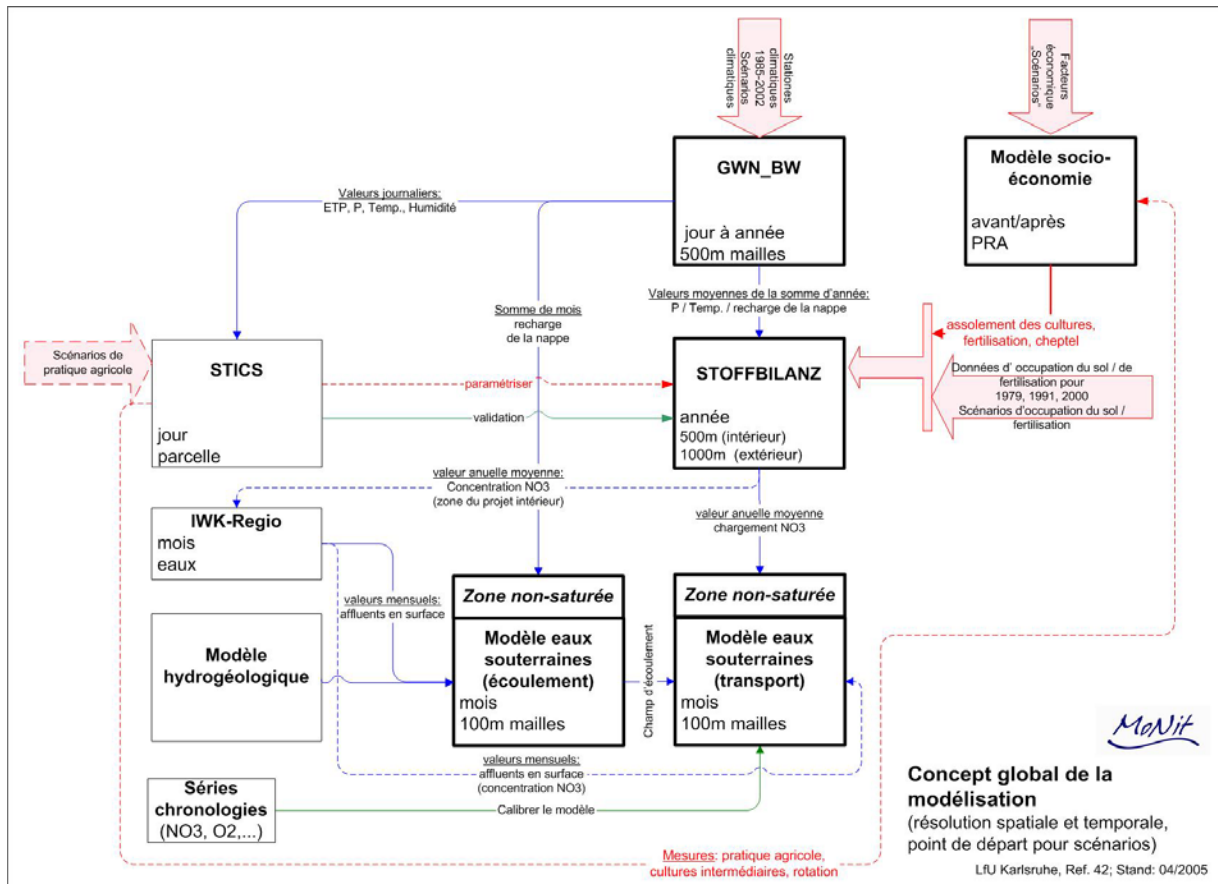


Fig. 3.2.1 (en français): Concept global de modélisation : flux des données et représentation des scénarios.

### 3.2.3 Szenarienabbildung

Die Modellierungsaufgabe ist durch das DPSIR-Modell (driving forces /Belastungsursache - pressures /Factoren der Belastung -state /Zustand, bzw. Zustandsänderung -impact /Auswirkung - response /Reaktion des Ökosystems oder Steuerungsmaßnahmen) der OECD zu beschreiben. Aufgabe des Projektes ist es, sowohl die Auswirkungen der Belastungsursachen (driving forces), bzw. der Belastungsfaktoren (pressures) aufzuzeigen als auch die Wirkungen möglicher Steuerungsmaßnahmen (responses) zu prognostizieren.

Die Belastungsfaktoren (driving forces) können als externe, auf der regionalen Ebene nicht unmittelbar beeinflussbare Faktoren, die Steuerungsmaßnahmen (responses) als mögliche Maßnahmen, vor allem auch der lokalen Ebene betrachtet werden. Äußere Faktoren sind aus Sicht von MoNit alle externen Aktivitäten, die den Nitratgehalt im Grundwasser beeinflussen können: Änderung der politischen Rahmenbedingungen, Vorschriften, Verordnungen, eine veränderte landwirtschaftliche Praxis, neue Varietäten

### 3.2.3 Représentation des scénarios

Les activités de modélisation peuvent être décrites par le biais du modèle DPSIR de l'OCDE (driving forces /forces motrices - pressures /pressions - state /état ou modifications de la situation - impact /impact - response /réponses de l'écosystème ou mesures de contrôle). Le projet doit permettre de montrer les impacts des forces motrices (driving forces) et des pressions (pressures), mais aussi de pronostiquer les impacts de possibles mesures de contrôle (responses).

Les forces motrices (driving forces) peuvent être considérées en tant que facteurs externes, impossibles à influencer directement à l'échelle régionale, les mesures de contrôle (responses) surtout comme mesures possibles à l'échelle locale. Du point de vue de MoNit, les facteurs externes concernent toutes les activités externes pouvant influencer les teneurs en nitrates des eaux souterraines comme des modifications de la politique, des directives, de la réglementation ou des pratiques agricoles, ou bien l'utilisation des

bei den angebauten Pflanzen, neue Bearbeitungsmethoden, veränderte Weltmarktpreise, Klimaänderungen usw..

Unabhängig davon kann die Frage der Umsetzung behandelt werden. Ob die Maßnahmen am wirkungsvollsten durch legislative, administrative, vertragliche, kooperative oder freiwillige Instrumente umgesetzt werden, wird nur im ökonomischen Modul im Hinblick auf ökonomische Kriterien bewertet.

Der erste Schritt soll die singuläre Betrachtung einzelner Einflüsse und Maßnahmen sein, um eine Beurteilungsgrundlage für deren Auswirkungen, bzw. die Wirksamkeit dieser Faktoren zu bekommen. In einem zweiten Schritt sind die einzelnen Faktoren zu Szenarien zu kombinieren. Diese Szenarien müssen einerseits die wahrscheinlichste Entwicklung beschreiben ("base line scenario") und andererseits "policy scenarios" sein, die gezielte Maßnahmen umfassen. Durch die Überlagerung der Wirkungen von Faktoren, die gleichzeitig auftreten können, können sich deren Auswirkungen möglicherweise gegenseitig neutralisieren.

Eine besondere Schwierigkeit beinhaltet die Definition des base line scenarios. Es gibt mehrere Möglichkeiten, solche Szenarien abzuleiten (Alcamo et al., 2001). Alcamo et al. (2001) empfehlen dafür den "story and simulation" (SAS) Ansatz.

Kriterien für ein "gutes" Szenario sind:

- (1) es erfüllt die Projektziele (siehe Kap. 1.2);
- (2) es ist ausreichend dokumentiert (ist noch zu erledigen), so dass die Nutzer (Entscheidungsträger, Betroffene, stake holder) tatsächlich die Implikationen verstehen;
- (3) es ist plausibel, d. h., es ist nicht mit einfachen Argumenten als unsinnig einzustufen;
- (4) es ist intern konsistent;
- (5) es umfasst auch nicht erwartete, aber mögliche Fälle (geringe Wahrscheinlichkeit, aber gravierende Konsequenzen, häufig mit nicht-linearen Trends, bzw. sprunghaften Änderungen).

Die Entwicklung der von Alcamo et al. (2001) beschriebenen Szenarien waren Projekte mit Laufzeiten von mehreren Jahren. Das ist im

nouvelles variétés, de nouvelles méthodes de travail du sol, ou encore des modifications des prix sur le marché mondial ou des changements climatiques, etc.

La question de l'application peut être abordée indépendamment de ces aspects. Seul le modèle socio-économique peut en effet évaluer sur la base de critères économiques si les mesures seront les plus efficaces par le biais d'instruments législatifs, administratifs, contractuels, coopératifs ou volontaristes.

La première phase réside dans l'examen de chaque action ou mesure individuelle, permettant d'obtenir une base d'évaluation de leurs impacts ou de l'efficacité de chaque facteur. Au cours d'une seconde phase, ces facteurs individuels seront combinés pour constituer des scénarios. Ces scénarios doivent décrire d'une part le développement le plus réaliste « base line scenario » et constituer d'autre part des « policy scenarios », qui comprennent les mesures visées. La superposition des facteurs pouvant se produire simultanément peuvent neutraliser leurs effets isolés.

La définition du « base line scenario » comporte des difficultés particulières. Il existe différentes méthodes permettant d'aboutir à ce type de scénarios (Alcamo et al., 2001). L'approche dite « story and simulation » est recommandée par Alcamo et al. (2001).

Les critères pour un « bon » scénario sont les suivants :

- (1) il répond aux objectifs du projet (cf. chap. 1.2)
- (2) il est suffisamment documenté (ceci reste encore à faire) de telle sorte que les utilisateurs (décideurs, acteurs concernés, parties prenantes) en saisissent réellement les implications
- (3) il est plausible, c'est-à-dire qu'il ne peut pas être jugé absurde à partir d'arguments simples
- (4) il est cohérent sur le plan interne
- (5) il ne considère pas seulement les cas prévisibles mais également les cas possibles (cas peu probables mais aux conséquences graves, se produit souvent avec les tendances non linéaires ou les modifications brusques)

Le développement des scénarios décrits par Alcamo et al. (2001) a été réalisé pour des projets d'une durée de plusieurs années.

Rahmen von MoNit nicht möglich. Stattdessen erfolgt die Definition verschiedener Szenarien unter Beteiligung aller Arbeitsgruppen und mit Hilfe externer Experten. Die Vorgehensweise zur Herleitung der agrarpolitischen Szenarien ist im Kap. 3.1 beschrieben worden.

Die Auswahl der maßgebenden Szenarien sollte durch die für die Umsetzung der Maßnahmen zuständigen Verwaltungen der Projektpartner auf der Grundlage von Vorschlägen der Projektgruppe erfolgen.

Die Szenarien müssen trotz der vereinfachten Herleitung an den genannten Kriterien gemessen werden. Wenn das Projekt seine Leistungsfähigkeit grundsätzlich bewiesen hat, wäre es aus Sicht der Projektbeteiligten sinnvoll und notwendig, dass von den Entscheidungsträgern, die die eigentlichen Nutzer des Projektes sein sollen, zielgerichtet Szenarien nach einer anspruchsvollen Methodik entwickelt und mit MoNit evaluiert werden. Alcamo et al. (2001) empfehlen dafür die 10-Schritt-Methode SAS.

Die Untersuchung der unterschiedlichen Szenarien erfolgt mit verschiedenen Teilmodellen durch eine der Fragestellung angepasste Kopplung der Simulationsmodelle und auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen (siehe auch Tab. 3.2.2).

SÖM soll vor allem die Reaktion der Landwirte auf veränderte Rahmenbedingungen (Vorschriften, Preise) vorhersagen. STICS soll dazu eingesetzt werden, veränderte Bewirtschaftungspraktiken (z.B. Düngeinsatz, Fruchtfolgen) in ihrer Wirkung auf den Nitrat- austrag zu bewerten. Eine flächenhafte Umsetzung der Ergebnisse erfolgt in beiden Fällen über das Modell STOFFBILANZ.

### **3.2.4 Beispielszenarien**

Exemplarisch werden drei einfache Szenarien beschrieben:

(1) Reform der der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU:

Mit Hilfe des sozio-ökonomischen Modells wird die Reaktion der Landwirte auf die agrarpolitischen Rahmenbedingungen bestimmt. Da es sich bei dem verwendeten Modell um ein Optimierungsmodell handelt, wird hier das Einkommen der Landwirte unter modifizierten Rahmenbedingungen maximiert. Die Landwirte reagieren im

Cette procédure n'est pas possible dans le cadre de MoNit et est remplacée par la définition de différents scénarios avec la participation de tous les groupes de travail et avec l'aide d'experts extérieurs. La méthode de définition des scénarios de politique agricole est décrite dans le chapitre 3.1.

La sélection des scénarios déterminants doit être effectuée sur la base de propositions du groupe du projet, par les administrations des partenaires du projet responsables de la mise en oeuvre des mesures.

Malgré leur méthode de définition simplifiée, les scénarios doivent être évalués par rapport aux critères évoqués. Lorsque le projet aura clairement démontré son efficacité, les partenaires du projet estiment qu'il serait judicieux et utile que les décideurs, qui sont en fait les utilisateurs réels du projet, développent des scénarios ciblés suivant une méthodologie rigoureuse puis procèdent à leur évaluation avec MoNit. Pour ce faire, Alcamo et al. recommandent la méthode en 10 étapes SAS.

L'étude des différents scénarios est effectuée à l'aide d'un couplage des divers sous-modèles en fonction des questions traitées et à différentes échelles spatio-temporelles (voir également le Tab. 3.2.2).

SÖM doit avant tout permettre de prévoir la réaction des agriculteurs à des modifications des conditions générales (directives, prix). Puis la mise en oeuvre de STICS permet d'évaluer les impacts des modifications des pratiques agricoles (comme par exemple l'utilisation d'engrais ou les successions culturales) sur le lessivage des nitrates. Dans les deux cas, la spatialisation des résultats est effectuée par le modèle STOFFBILANZ.

### **3.2.4 Exemples de scénarios**

A titre d'exemple, trois scénarios simples sont décrits :

(1) Réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) de l'UE :

A l'aide du modèle socio-économique, on évalue le comportement des agriculteurs en fonction de la politique agricole. Le modèle utilisé étant un modèle d'optimisation, il maximise le revenu des agriculteurs pour les nouvelles conditions induites par la nouvelle PAC. Les agriculteurs réagissent par une modification des cultures selon leurs possibi-



Rahmen ihrer durch Hofgröße, Personalbestand und Mechanisierungsgrad begrenzten Möglichkeiten mit einer Veränderung der angebauten Kulturen. Diese Landnutzungsverteilung wird für jede Agrarregion im Projektgebiet ermittelt und als Eingabegröße an das Modell STOFFBILANZ übergeben. Dort werden die neuen Nitratüberschüsse errechnet und flächenhaft auf das Modellraster umgesetzt. Diese Nitratfrachten dienen dann als Input für das Grundwassermodell.

### (2) Änderung der Klimarandbedingungen

Basierend auf den Prognosen für den Zeitraum 2021-2050 aus dem Gemeinschaftsvorhaben der Länder Baden-Württemberg und Bayern KLIWA (Details unter <http://kliwa.de>) werden modifizierte Niederschlags- und Temperaturverteilungen für das Modellgebiet berechnet. Diese werden dann mit Hilfe des Modells GWN\_BW in Grundwasserneubildungsraten umgesetzt. Eine modifizierte Grundwasserneubildung ergibt bei konstanter bzw. durch Temperaturänderung leicht modifizierter Nitratfracht eine veränderte Nitratkonzentration im Sickerwasser (Output aus STOFFBILANZ), was dann zu einer veränderten Nitratverteilung im Grundwasser führt (Grundwassermodell). Veränderte Klimabedingungen bedeuten jedoch auch andere Wuchsbedingungen für die angebauten Kulturen. Mit Hilfe des Modells STICS lassen sich Pflanzenwachstum und Ertrag abschätzen. Sollten sich deutlich veränderte Erträge ergeben, können diese Ergebnisse auch die Basis für eine sozioökonomische Modellierung darstellen, welche dann auch die Landnutzungsverteilung modifiziert.

### (3) Kosten-Wirksamkeits-Analyse für die Handlungsoption „umweltgerechte Landwirtschaft“

Um isoliert einzelne Handlungsoptionen zu bewerten, können auch nur einzelne Modelle eingesetzt werden. So lässt sich die Handlungsoption „Entwicklung der Landwirtschaft von konventioneller zu umweltgerechter Landwirtschaft“ durch den Einsatz des Simulationsmodells STICS quantifizieren („Ausmaß der Nitratreduktion“, „Änderung des Ertrags“). Die Ergebnisse

lities qui sont limitées par la taille de leur exploitation, leurs effectifs et leur degré de mécanisation. Cet assolement est calculé pour chaque région agricole du projet et fournie à STOFFBILANZ en tant que grandeur d'entrée du modèle. STOFFBILANZ calcule ensuite les nouvelles répartitions spatiales des excédents du bilan d'azote calculés. Le lessivage des nitrates simulé est alors utilisé comme donnée d'entrée dans le modèle des eaux souterraines.

### (2) Modifications des conditions climatiques

Sur la base des prévisions pour la période 2021-2050 établies par le projet commun des Länder Bade-Wurtemberg et Bavière KLIWA (détails sur <http://kliwa.de>), des distributions modifiées des précipitations et des températures sont calculées pour la zone couverte par le modèle. Ces valeurs sont ensuite utilisées dans le modèle GWN\_BW pour simuler la recharge de la nappe. Une modification de la recharge de la nappe en combinaison avec une émission de nitrate pas ou peu modifiée (dans des conditions de températures constantes ou modifiées) induit une modification de la concentration en nitrates dans l'eau de percolation (sortie de STOFFBILANZ). Ceci génère une modification de la distribution des nitrates entrant dans les eaux souterraines (modèle des eaux souterraines). Cependant, des changements climatiques impliquent également des modifications des conditions de croissance des cultures. La croissance des cultures et les rendements sont estimés à l'aide de STICS. Si les rendements étaient clairement modifiés, ces résultats pourraient également constituer la base d'une modélisation socio-économique modifiant à son tour l'assolement.

### (3) Analyse coût-efficacité de l'option d'action « agriculture respectueuse de l'environnement »

Afin d'analyser séparément des options individuelles d'action, l'utilisation de modèles individuels peut être suffisante. Ainsi, on peut quantifier l'action « conversion d'une agriculture conventionnelle vers une agriculture respectueuse de l'environnement » avec le modèle de simulation STICS (« ampleur de la réduction de nitrates », « modification des rendements »). Les résultats de STICS doi-



von STICS müssen dann als Korrekturwerte in STOFFBILANZ einfließen und als neue Eintragsbedingung an das Grundwassermodell übergeben werden.

Auf der anderen Seite müssen die Kosten ermittelt werden. Diese Kosten errechnen sich als geänderte Deckungsbeiträge durch veränderte Erträge, Dünger- und Bearbeitungskosten und Marktpreise.

Realistische Szenarien ergeben sich durch die Kombination verschiedener äußerer Faktoren (z.B. GAP-Reform, Klimawandel und Umsetzung verschiedener Einzelmaßnahmen). Die Berechnung und Analyse dieser Szenarien stellt den Abschluss des Projektes MoNit dar.

vent alors être intégrés dans STOFFBILANZ en tant que valeurs correctives et les nouveaux résultats de STOFFBILANZ doivent être transmis comme entrée dans le modèle des eaux souterraines.

D'autre part, il est nécessaire d'évaluer les coûts. Ces coûts sont estimés en tant que rentabilité à travers des modifications des rendements, des coûts de fertilisation et de travail du sol et des prix du marché.

Les scénarios réalistes sont issus de la combinaison de différents facteurs externes (p. ex. les réformes de la PAC, les fluctuations climatiques et la mise en oeuvre de diverses mesures individuelles). Le calcul et l'analyse de ces scénarios constituent la conclusion du projet MoNit.

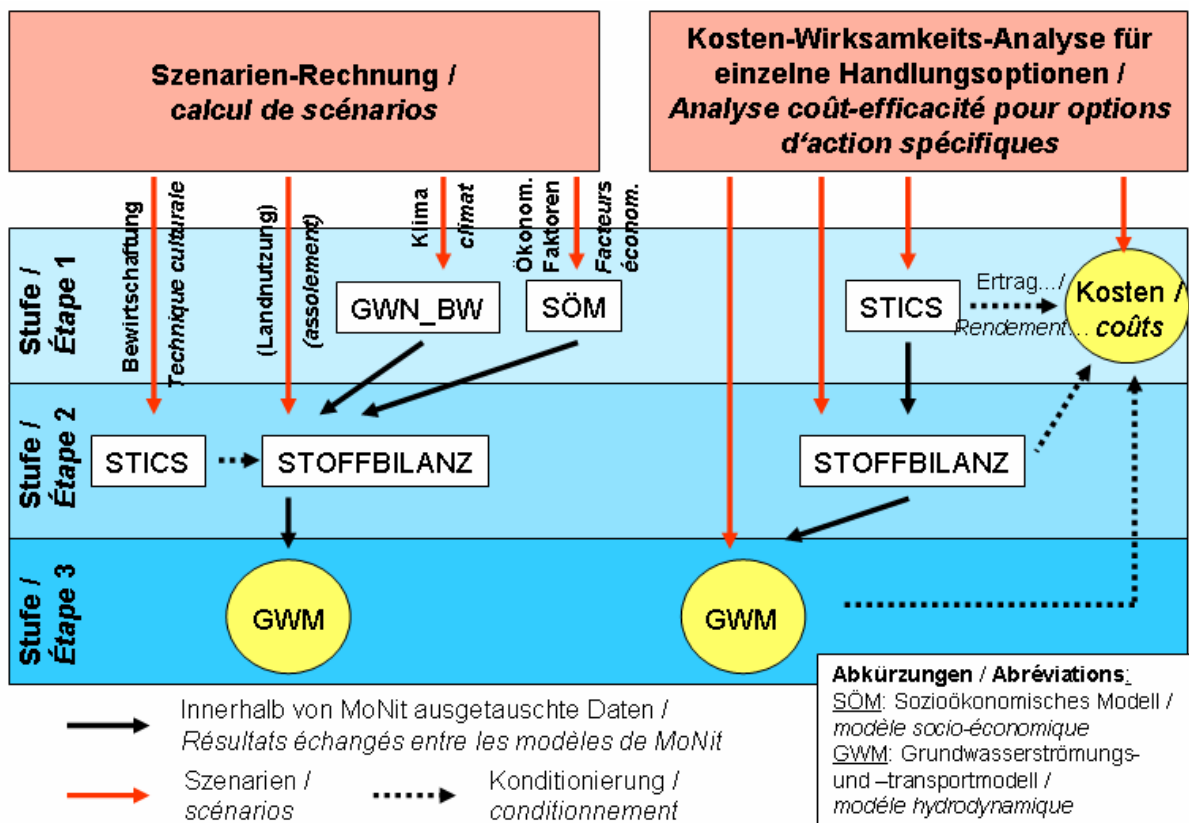


Abb. 3.2.5: Möglichkeiten der Szenarien-Abbildung innerhalb des Projektes MoNit  
 Fig. 3.2.5: Scénarios possibles dans le cadre du projet MoNit.

### 3.2.5 Ausblick

Die Ergebnisse des Projektes MoNit sollen in eine integrierte Planung einfließen. Sie sollen als grenzüberschreitendes Planungs- und Prognoseinstrument dienen.

Insbesondere die Wirkung einer flächenhaften Umsetzung von Einzelmaßnahmen auf beiden Seiten des Rheins auf die Quali-

### 3.2.5 Perspectives

Les résultats du projet MoNit doivent être insérés dans une orientation intégrée. Ils doivent servir d'instrument transfrontalier de planification et de prévision.

Les effets d'une mise en oeuvre à grande échelle des mesures individuelles des deux côtés du Rhin sur la qualité des eaux souter-

tät des Grundwassers lässt sich gut prognostizieren. Aber auch die Änderung politischer Rahmenbedingungen (für der GAP-Reform) lässt sich vorab in Ihrer Wirkung abschätzen.

Dazu ist jedoch die Zusammenarbeit der beteiligten Partner auch für die Zukunft sicher zu stellen. Als Kommunikationsplattform kann dazu auch weiterhin der WebGenesis-Server des Projektes (<http://monit.server.de>) dienen, daneben sollte eine ständige Arbeitsgruppe der zuständigen Verwaltungen eingerichtet werden, die die Lenkungsgruppe dieses Projektes ersetzt. In einem Folgeprojekt ist eine weitere Verbesserung der Einzelmodelle, der Modellkopplung und der flächenhaften Validierung (z.B. über Fernerkundungsmethoden) anzugehen.

raines est particulièrement aisée à pronostiquer. De la même façon, les modifications des conditions politiques (dont les réformes de la PAC) sont également évaluables, surtout du point de vue de leurs effets.

Pour cela, il est nécessaire de garantir la collaboration future des partenaires concernés. Dans ce cadre, le serveur WebGenesis du projet (<http://monit.server.de>) peut servir de plate-forme de communication. Parallèlement, un groupe de travail permanent des administrations compétentes devrait être formé pour remplacer le groupe de pilotage du projet. Une suite éventuelle du projet devrait se concentrer sur une amélioration complémentaire des modèles individuels, du couplage des modèles et de la validation spatialisée (p. ex. à partir de méthodes de télédétection).

## **Namen und Anschriften der Autoren / Nom et directions des auteurs**

Affolter, Annette, Kantonales Laboratorium, Postfach 171, CH- 4414 Füllinsdorf  
Auckenthaler, Adrian, Kantonales Laboratorium, Postfach 171, CH- 4414 Füllinsdorf  
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, 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  
Finck, Margarete, LUFA Augustenberg, Postfach 430230, D-76217 Karlsruhe  
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  
Grimm-Strele, Jost, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe  
Gudera, Thomas, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe  
Huggenberger, Peter, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel  
Koch, Peter, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe  
Koller, Rémi, ARAA, Espace Européen de l'Entreprise 2, rue de Rome – BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg CEDEX  
Korte, Stephanie, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe  
Lambrecht, Hendrik, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe  
Rapp, Olivier, ARAA, Espace Européen de l'Entreprise 2, rue de Rome – BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg CEDEX  
Regli Christian, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel  
Rinaudo, Jean-Daniel, BRGM Languedoc Roussillon, 1039, rue de Pinville, F-34000 Montpellier  
Sadorge, Jean-Luc, Région Alsace 35, avenue de la Paix - B.P 1006/F, F- 67070 STRASBOURG Cedex  
Sauter, Joëlle, ARAA, Espace Européen de l'Entreprise 2, rue de Rome – BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg CEDEX  
Schremp, Stephen, GIT HydroS Consult GmbH, C/o Institut für Hydrologie, Fahnenbergplatz, D-79098 Freiburg i.Br.  
Segger, Volker, LEL Schwäbisch Gmünd, Oberbettringer Str. 162, D-73525 Schwäbisch Gmünd  
Seiberth, Christoph, GEOServe GmbH, Rütliweg 42, CH-4144 Arlesheim  
Simon, Marion, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe  
Spottke, Ina, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel  
Steiner, Magdalena, LUFA Augustenberg, Postfach 430230, D-76217 Karlsruhe  
Toulet, Fabien, APRONA, 140, rue du Logelbach, F-68000 Colmar,  
van Dijk, Paul, ARAA, Espace Européen de l'Entreprise 2, rue de Rome – BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg CEDEX

Wingering, Michel, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 42 Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

Wirsing, Gunther, Regierungspräsidium Freiburg, Referat 52, D-79083 Freiburg

Zechner, Eric, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel

### **Abkürzungen im Text / Abréviations dans le texte**

ALLB OG	Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Offenburg
ARAA	Association pour la Relance Agronomique en Alsace
APRONA	Association pour la Protection de la Nappe phréatique de la Plaine d'Alsace
AUE	Amt für Umweltschutz und Energie, Kanton Basel-Landschaft
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BL	Basel Landschaft
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières d'Alsace
BS	Basel Stadt
BÜK	Bodenübersichtskarte
COMIFER	Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée
DIREN	Direction de l'Environnement
EMEP	Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe
GPI	Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel
HGK	Hydrogeologische Karte
IfuL	Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung in Müllheim
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
KLBL	Kantonales Laboratorium Basel-Land, Liestal
LAP	Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim
LEL	Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau beim Regierungspräsidium Freiburg
LUFA	Staatl. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg, Karlsruhe-Durlach
MLR	Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum
NID	Nitrat-Informationsdienst des Landes Baden-Württemberg bei der LAP Forchheim+A37
REKLIP	Regio-Klima-Projekt
SCEES	Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques
SRSA	Service Régional de Statistique Agricole (de Lorraine-Alsace)
StaLa	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart
SWISSMETEO	Meteorologischer Dienst der Schweiz
TK	Topographische Karte
TU Dresden	Technische Universität Dresden
UMEG	Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg
UVM	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

## Literaturverzeichnis / Bibliographie

### Publikationen / Publications

- Alcamo, J. et al., 2001: Scenarios as tools for international environmental assessments. Environmental issue report No.24, Luxembourg.
- Arbeitsgruppe Boden, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl. Hannover.
- Auckenthaler A. und P. Huggenberger, 2003. Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser, Transport – Nachweismethoden – Wassermanagement. Birkhäuser, Basel.
- Bertrand, G. et al., 2004: Quaternary faulting in the Upper Rhine Graben: new insights from the Rhine 2002 hires river seismic campaign; 1<sup>st</sup> General Assembly of the European Geosciences Union (EGU), Abstracts, Nizza.
- BfL (Bundesamt für Landwirtschaft) und BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1998: Konzept zur Verminderung der Nitratbelastungen aus der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung, Bern, S.1-22.
- Brisson, N. et al., 1998: STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn. Agronomie 18: 311-346.
- Casper, M. et al., 2004: Modellierung des Nitratreintrages und Nitrattransportes im Grundwasser des Oberrheingrabens – Modellierungskonzept und Datenmanagement in einem länderübergreifenden Projekt (MoNit): In: Bronstert, A. et al. (Hrsg): Beiträge zum Tag der Hydrologie 2004 in Potsdam; Forum für Hydrologie und Wasserwirtschaft 05.2004 Band 2 Poster, Bad Hönnef.
- Ellwanger, D., J. Lämmermann-Barthel, I. Neeb, 2004: Eine landschaftsübergreifende Lockergesteinsgliederung vom Alpenrand bis zum Oberrhein. GeoArchaeoRhein, 4; Münster (im Druck).
- EMEP, 2003a: Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe, PART I: Unified EMEP Model Description, EMEP Status Report 2003.
- EMEP, 2003b: Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe, PART II: Unified EMEP Model Performance, EMEP Status Report 2003.
- FH-DGG (Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft), 1999: Hydrogeologische Modelle. Ein Leitfaden für Auftraggeber, Ingenieurbüros und Fachbehörden. Hydrogeologische Beiträge der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (Hrsg.), Heft 10, 36 S., Hannover.
- FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau), 1998: Erarbeitung von Massnahmen zur Reduktion der Nitratauswaschung ins Grundwasser durch Anpassungsmassnahmen in der Landwirtschaft im Klettgau. Vorstudie 1998 Teil 1: Pflanzenbau. Frick, S. 1-113.
- Gebel, M., 2003: Die Berücksichtigung von N-Umsatzprozessen auf Ackerflächen bei der Quantifizierung von Stickstoffeinträgen in Flussgebieten mit dem Modell STOFFBILANZ. In: Geoöko 24 (3-4): 249-259.
- Gomez, E. et al., 2002: Dynamiques agricoles et pollution nitrique diffuse: Modélisation intégrée du transfert des nitrates sur le bassin de la Seine. Rapport technique, UMR CNRS 7619 Sisyphe.
- Graveline N. und S. Loubier, 2004 : Instruments de contrôle de la pollution agricole par les nitrates : revue de littérature. Rapport final BRGM/RP-53170-FR.
- Graveline N., J-D. Rinaudo, F. Geberth und V. Segger, 2004: Analyse des systèmes de production agricole de la vallée du Rhin Supérieur. Rapport BRGM/RP-53171-FR.
- Groschopf, R., G. Kessler, J. Leiber et al., 1996: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Freiburg im Breisgau und Umgebung 1 : 50 000, 3. erg. Aufl. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.). Freiburg i. Br.
- Herrmann, A., W. Meinken und I. Stober, 1996: Durchlässigkeiten im Quartär des Oberrheingrabens zwischen Basel und der Nordgrenze des Lkr. Karlsruhe. Forschungsbericht (unveröffentlicht) des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg im Rahmen des L'IFE Projektes, Az: 1107.01/96-4763, Freiburg i. Br.

- HGK, 1977: Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg - Oberrheingebiet Bereich Kaiserstuhl - Markgräflerland mit Erläuterungen. Hrsg: Geologisches Landesamt und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., Karlsruhe.
- Höhn, E., 2002. Hydrogeological Issues of Riverbank Filtration – A Review. In: Ray, C. (Hrsg.), Riverbank Filtration: Understanding Contaminant Biogeochemistry and Pathogen Removal, Kluwer Academic Publisher, S. 17-41.
- INTERREG II, 2000: Bestandsaufnahme der Grundwasserqualität im Oberrheingraben. Région Alsace (Hrsg.). Strasbourg
- INTERREG II, 2001: Erkundung der Grundwasserleiter und der Böden im Hochrheintal zwischen Schaffhausen und Basel. Abschlussbericht zum INTERREG II-Projekt, Ergebnisse und Karten, Waldshut.
- INTERREG II, 2002: Grenzüberschreitende Erkundung des tiefen rheinnahen Grundwasserleiters zwischen Fessenheim und Breisach. Endbericht, Regierungspräsidium Freiburg.
- Kaiser, M. und M. Gebel, 2003: Quantifizierung diffuser Stoffeinträge mit dem Modell STOFFBI-LANZ in einem bewaldeten Gewässereinzugsgebiet im Mittelgebirge. Geoök 24 (3-4) :262-269
- Knappe, S. und R. Russow, 1998: Multitracer-Untersuchungen zur Bestimmung der Sickerwasser- und Anionenbewegungen in monolithischen Lysimetern mit unterschiedlichen Bodenformen. Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz, 22:17-24.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) und Région Alsace, 1996: Demonstrationsvorhaben zum Schutz und zur Bewirtschaftung des Grundwassers des deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheingrabens. Karlsruhe.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg), 2001: Grundwasserüberwachungsprogramm – Grundwasseroberfläche im Oktober 1986, April 1988 und September 1991 im Oberrheingraben, Erläuterungen und Karten. Karlsruhe.
- LGRB (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau), 2002: Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. Freiburg i. Br.
- Loubier S., 2003 : Modélisation du comportement des agriculteurs : Revue de littérature. Rapport Final BRGM/RP-53172-FR.
- Mari, J.-F., F. Le Ber und M. Benoît, 2002 : Segmentation temporelle et spatiale de données agricoles. Revue Internationale de Géomatique, 12 (4) :439-460.
- Nagel, H.D. und H.D. Gregor (Hrsg.), 1999: Ökologische Belastungsgrenzen: ein Internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik (Critical Loads & levels). Berlin, Heidelberg, New York.
- Paschen, H., D. Oertel und R. Grünwald, 2003: Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Deutscher Bundestag, Ausschuss für Bildung, Forschung und Technologiefolgenabschätzung, TAB-Arbeitsbericht Nr. 84; 2003.
- Plattner, C., 1999: Die Nitratproblematik im Karstgebiet des Gempfenplateau. Regio Basiliensis, 40/3:187-201.
- Région Alsace (Hrsg.) (2000): Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin Supérieur – Bestandsaufnahme der Grundwasserqualität im Oberrheingraben. Strasbourg.
- Région Alsace (Hrsg.) (2005): Bestandsaufnahme 2003 der Grundwasserqualität im Oberrheingraben – erste grenzüberschreitende Ergebnisse. Tagungsband vom 7. März 2005, Strasbourg.
- Région Alsace und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), 1998: das Grundwasser im Oberrheingraben – eine elementare Ressource
- Rihm, B. und F. Dällenbach, 1999: Deposition von Stickstoffverbindungen in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft Bern, METEOTEST Fabrikstr. 14, 3012 Bern
- Rohmann, U. und D. Sontheimer, 1985: Nitrat im Grundwasser. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut Uni Karlsruhe (TH).
- Röhr C., 2005: Der Oberrheingraben. [www.oberrheingraben.de](http://www.oberrheingraben.de). 01.04.2005.

- Schudel, P., 1992: Untersuchung über die Nitratbelastung im Trinkwasser in Reinach BL. Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft, Amt für Umweltschutz und Energie.
- StaLa (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg), 1999: Landwirtschaftszählung 1999 – Betriebsgrößenstruktur, Bodennutzung, Viehhaltung, Sozialökonomische Betriebstypen, Betriebssystematik, Arbeitskräfte, Hofnachfolge und Besitzverhältnisse. Stuttgart.
- StaLa (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg), 2000a: Statistik von Baden-Württemberg. Band 560, Heft 3. Stuttgart.
- StaLa (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg) 2000b: Anbau von Gemüse und Erdbeeren in Baden-Württemberg 2000. In: Statistische Berichte, Kennziffer C I 3. Stuttgart.
- StaLa (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg), 2000c: Ernte der Hauptfeldfrüchte in Baden-Württemberg 1999: endgültige Ergebnisse. In: Statistische Berichte, Kennziffer C II 1. Stuttgart.
- Stickstoffschlüssel 2002. Projektgruppe Kulturlandschaft Hohenlohe, Arbeitsgruppe Ressourcenschonende Ackernutzung (Hrsg.). Universität Hohenheim.
- UVM (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg), 2000: Grenzübergreifende Luftqualitätsanalyse am Oberrhein - Interreg II-Projekt.
- Voerkelius, S., 1990: Isotopendiskriminierung bei der Nitrifikation und Denitrifikation; Grundlagen und Anwendungen der Herkunfts-Zuordnung von Nitrat und Distickstoffmonoxid. Dissertation TU München.
- WaBoA, 2004: Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.).
- Werner, W., J. Leiber und H. Bock, 1997: Die grobklastische pleistozäne Sedimentserie im südlichen Oberrheingraben – geologischer und lithologischer Aufbau, Lagerstättenpotential. Zbl. Geol. Paläont., Teil 1, 9/10, S. 1059-1085, Stuttgart.
- Wüthrich, C., 1994: Die biologische Aktivität arktischer Böden mit spezieller Berücksichtigung ornitologischer eutrophierter Gebiete (Spitzbergen und Finnmark). Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Band 17, Geographisches Institut der Universität Basel.
- Zerulla, W., K. Isermann und G. Heynes, 1993: Einfluss langjährig unterschiedlicher N-Düngung auf Ertrag und N-Verlagerung im Bodenprofil verschiedener Ackerböden. Agrobiological Research, 46(4):277-285.

### **Sonstige Quellen / autres sources**

- ARAA, 2004a: Travaux réalisés par l'ARAA dans le cadre du projet INTERREG III MoNit, Période : septembre 2003 – février 2004. Rapport pour le projet Monit.
- ARAA, 2004b: Travaux réalisés par l'ARAA dans le cadre du projet INTERREG III MoNit, Période : mars – août 2004. Rapport pour le projet Monit.
- ARAA, 2004c: Notice concernant la représentation des pratiques de fertilisation du maïs en Alsace. Rapport pour le projet Monit.
- ARAA. Evaluation des modifications de pratiques de gestion d'azote des agriculteurs – Opérations FERTI-MIEUX FERTI Zorn, collines eau et terroirs, Sundg'eaux vives, PIEMONT eau et terroirs, HARDT eau vive (2002 à 2005).
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau), 2005: Wasserspiegellagen des Rheins zwischen Basel und Karlsruhe von 1996 bis 2002, Tagesmittelwerte. Unveröffentlichter Bericht. Karlsruhe.
- Centre d'Economie et Gestion d'Entreprise de la Chambre d'Agriculture du Haut-Rhin. Rapports des campagnes 1990-2000.
- Centre de Gestion de la Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin. Résultats économiques. Rapports des campagnes 1982-2000.
- Dobsclaff, N., 2004: Statistische Auswertung der SchALVO-Vergleichsflächen 1988 - 2000 zur Ermittlung der Standardbewirtschaftung. Unveröffentlichter Bericht, LUFA Augustenberg, Karlsruhe.
- Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel, 2003: Lange Erlen – Grundwassermodell 2002. Technischer Bericht. Baudepartement Basel-Stadt.

- GIT, 2004: Bestimmung der Sickerwassermenge für das Projektgebiet INTERREG III / MONIT - Validierung der Modellergebnisse. Unveröffentlichter Projektbericht der GIT HydroS Consult GmbH
- GIT, 2004: MONIT - Bestimmung der Sickerwassermenge - Informationen zu Simulation und Datenaufbereitung. Unveröffentlichter Projektbericht der GIT HydroS Consult GmbH
- Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung Juni 2001, 2001. FAL (Hrsg.), Reckenholz.
- KuP (Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH), 2004: Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben (MoNit) – Vorstudie zur Konzeption des Strömungs- und Transportmodells. Unveröffentlichter Projektbericht.
- LAP Forchheim; LEL Schwäbisch Gmünd, 2005: Infodienst der Landwirtschaftsverwaltung. [http://landwirtschaft.bwl.de/servlet/PB/-s/awn0w51xhq97u1kaebp68qc5ttz4n3l8/show/1162219\\_I1/Humusbilanz\\_Vers\\_10.xls](http://landwirtschaft.bwl.de/servlet/PB/-s/awn0w51xhq97u1kaebp68qc5ttz4n3l8/show/1162219_I1/Humusbilanz_Vers_10.xls) (04.04.2005). Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, Stuttgart.
- LIFE, 1996: Demonstrationsvorhaben zum Schutz und zur Bewirtschaftung des Grundwassers des deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheingrabens.
- Mengis, M., 1999: Bestimmung der Herkunft von Nitrat in Trinkwasser anhand des Nitrat-Isotopengehalts. Mengis + Lorenz AG.
- Mignolet, C., C. Schott, J.-F. Mari und M. Benoît, 2003: Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine. Typologies des successions de cultures et des techniques culturales dans le bassin de la Seine. INRA Mirecourt, document de travail N° 8.
- Plattner, T., 2000: Nitrat im Bodenwasser der Böden des Einzugsgebietes der Schomelquelle (Gemeinden Gempen und Nuglar-St. Pantaleon, nördliches Gempenplateau). Diplomarbeit UNI Basel, Departement Geographie.
- REKLIP, 1995: Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd. Hrsg: Trinationale Arbeitsgemeinschaft Regio-Klima-Projekt.
- Rinaudo J-D., 2003: Modèle économique du secteur agricole dans la plaine du Rhin Supérieur: Vue d'ensemble de la méthodologie – Ökonomische Modellierung der landwirtschaftlichen Gebiete in der Oberrheinebene: Überblick über die Methodik. Zwischenbericht im Projekt Mo-Nit.
- Weller, F., 1990: Standorteigenschaften für den Landbau in Baden-Württemberg 1:250.000. FH Nürtingen, Fachbereich Landespflege. Hrsg. Ministerium Ländlicher Raum (MLR), Stuttgart.
- ZeBIS, 2004: Zentrales BaggerseeInformationssystem für Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.).
- Zechner E., 1996. Hydrogeologische Untersuchungen und Tracertransport – Simulation zur Validierung eines Grundwassermodells der Langen Erlen (Basel-Stadt). Dissertation. Universität Basel.



Tab. A.1: Ausführliche Datendokumentation (Datengrundlagen für STOFFBILANZ und STICS)  
 Tab. A.1: Documentation détaillée des données (base de données pour STOFFBILANZ et STICS)

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- erence tempo- relle	weitere Bearbeitungsschritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par	
<b>1. Gesamtgebiet</b>									
Boden/ Sol	D	BK 25 projektbezogen/ adaptée au projet	LGRB		Polygone (gesamtes Projektgebiet mit wenigen Lücken)/ Polygones (toute la zone d'étude avec quelques lacunes)	ohne/ sans	Zuordng. eines Typ- profils pro Polygon, Ergänzung um Datenfelder für Berechnung der GwN/ Attribution d'un profil type à tout polygone, complétion des données pour le calcul de la recharge de la nappe		
					Polygone (inneres Projektgebiet)/ Polygones (zone intérieure du projet)	ohne/ sans		GwN_BW, (STOFFBIL.) (STICS)	
					Polygone (äußeres Projektgebiet)/ Polygones (zone extérieure du projet)	ohne/ sans		GwN_BW, (STOFFBIL.)	
	BÜK 200	LGRB		Nutzbare Feldkapazität in der durchwurzelten Bodenzone, Grundwasserbeeinflussung, Substrat, Gründigkeit/ Réserve utile dans la zone racinaire, hydromorphie, substrat, profondeur d'enracinement	Polygone (gesamtes Projektgebiet)/ Polygones (zone d'étude entière)	ohne/ sans		STOFF- BILANZ	
			LGRB	Nutzbare Feldkapazität in der durchwurzelten Bodenzone, Grundwasserbeeinflussung, Substrat, Gründigkeit/ Réserve utile dans la zone racinaire, hydromorphie, substrat, profondeur d'enracinement					

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réfé- rence tempo- relle	weitere Bearbeitung- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Boden/ Sol	F	BDSols Alsace 1/100000; BÜK 200	ARAA	Nutzbare Feldkapazität in der durchwurzelten Bodenzone, Grundwasserbeeinflussung, Substrat, Gründigkeit/ <i>Réserve utile dans la zone racinaire, hydromorphie, substrat, profondeur d'enracinement</i>	Polygone (inneres Projektgebiet)/ <i>Polygones (zone intérieure du projet)</i>	ohne/ sans		GwN_BW, (STOFFBIL.) (STICS)
		BDSols France 1/1000000 (INRA Unité Infosol) ; BÜK 200	INRA/ARAA	Nutzbare Feldkapazität in der durchwurzelten Bodenzone, Grundwasserbeeinflussung, Substrat, Gründigkeit/ <i>Réserve utile dans la zone racinaire, hydromorphie, substrat, profondeur d'enracinement</i>	Polygone (äußeres Projektgebiet)/ <i>Polygones (zone extérieure du projet)</i>	ohne/ sans		GwN_BW, (STOFFBIL.)
		BDSols Alsace 1/100000	ARAA	Bodenart, Humus-, Steingehalt etc./ <i>Texture, %humus, %cailloux, etc.</i>	Polygone (inneres Projektgebiet)/ <i>Polygones (zone intérieure du projet)</i>	ohne/ sans		STICS
		BDSols Alsace 1/100000; BÜK 200	ARAA	Bodenart, Bodentyp/ <i>texture et type de sol</i>	Polygone (inneres Projektgebiet)/ <i>Polygones (zone intérieure du projet)</i>	ohne/ sans		STOFF- BILANZ
		Bodenkarte 25 000 aus INTERREG II-Projekt	1: Eidgenöss. Forschungs- anstalt Zürich- Reckenholz	Bodenart, Bodentyp/ <i>Texture et type de sol</i>	Polygone/ <i>Polygones</i>	ohne/ sans		STOFF- BILANZ
		CH						

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Défenseur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitungsschritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
atmosphärische Deposition/ Déposition atmosphérique	D, F, CH	EMEP-Programm	EMEP	atmosphärische Deposition an Stickstoff/ Déposition atmosphérique d'azote	Raster/Mailles de (50x50km)	2000	nutzungsbezogene und flächengewichtete Differenzierung/ Différenciation par rapport à l'utilisation, pondération par rapport à la surface	STOFF-BILANZ
Landnutzung/ Utilisation du sol	D, F, CH	Landsat	LfU	10 (1975) bzw. 16 (1991, 2000) Landnutzungsklassen/Classes d'utilisation du sol	Raster/Mailles de 50x50m (1975), 25x25m (1991), 30x30m (2000)	1975, 1991, 2000	Reklassifizierung in 9 LN-Klassen/ Reclassification en 9 classes d'utilisation du sol	STOFF-BILANZ
Agrarstruktur/ Structure agricole	D	Bodennutzungs- haupterhebung/ Recensement principal de l'utilisation du sol	StalA	Anbaufläche der Haupt-Kulturarten (Weizen, Roggen, S-Gerste, W-Gerste, Hafer, Getreide gesamt, Hackfrüchte gesamt, Kartoffeln, Zuckerrüben, Ölfrüchte gesamt, W-Raps, Futterpflanzen gesamt, Silomais, Brache) in ha/ Surface des cultures principales (blé, seigle, orge d'été et d'hiver, avoine, plantes sarclées, pommes de terre, betteraves sucrières, plantes oléagineuses, colza, plantes fourragères, maïs ensilage, jachère) en ha	Gemeinde	1979, 1991, 1999		STOFF-BILANZ
				Bodennutzung in ha (Landwirtschaftlich genutzte Fläche, Ackerland, Dauerkulturen, Dauergrünland)/ Utilisation du sol en ha (surface agricole utilisée, terre labourable, cultures permanentes, prairie)				
				Anzahl der Betriebe/ Nombre d'exploitations				

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Défenseur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitung- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
	F	Ararerhebung/ Recensement Agricole	SCEES	Anbaufläche der Haupt-Kulturarten/ Surfaces des cultures principales	Canton	1979, 1988, 2000		STOFF- BILANZ
Sonderkulturen/ Cultures spéciales	D	Gemüseanbau- erhebung/ Recensement de la filière maraîchère	StLa	Anbaufläche von Gemüse und Erdbeeren in ha/ Surface de légumes et fraises en ha	Kreis (nur Auswahl)	2000		STOFF- BILANZ
		Sonderauswer- tung Tabak, Gemüse/ Evaluation spéciale tabac, maraîchage	StLa	Anbaufläche von Tabak und Gemüse/ Surface de maraîchage, tabac	Gemeinde	1999		(STOFF- BILANZ)
Ertrag/ Rendement	D	Besondere Ernteeermittlung/ Evaluation spéciale du rendement	StLa	Ertragsmenge in kg/ha für die Kulturarten Winterweizen, Roggen, Wintergerste, Sommergerste, Körnermais, Silomais, Sonnen-blumen, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben/ Rendement en kg/ha pour les cultures blé d'hiver, seigle, orge d'hiver et d'été, mais grain, mais ensilage, tournesols, colza, pommes de terre, betteraves sucrières	landwirtschaftl. Vergleichsgebiet 3 (bessere und geringere Rheinebene)/ Zone comparative n°3 (basse et haute plaine du Rhin)	jährlich/ annuel; 1979-2003		STOFF- BILANZ
		Auswertung/ Evaluations Ferti-Mieux	ARAA	Maiserträge im Ferti-Mieux-Programm Rendements pour le maïs par opération FM	Polygone nach Ferti- Mieux-Regionen/ Polygones, zonage Ferti-Mieux	4jährig/ tous les 4 ans	Verbindung mit den Bodentypen, wie sie in Ferti-Mieux unterschieden werden/ Lien avec les types de sols distingués dans Ferti-Mieux	STOFF- BILANZ

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Détenir de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitung- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Ertrag/ Rendement	F	Wirtschafts- abteilung der Landwirtschafts- kammern der Départements 67 und 68/ Services économiques des Chambres d'agriculture du 67 et 68	Wirtschafts- abteilung der Landwirt- schaftskam- mern der Dé- partements 67 und 68/ Services économiques des Chambres d'agriculture du 67 et 68	Ertrag nach Kultur und nach Landwirtschaftszone/ Rendement par culture par "zone agricole"	Polygone nach "landwirtschaftlichen Gebieten"/ Polygones, zonage "zones agricoles"	1982-2000	Verbindung mit den Bodentypen die in Ferti- Mieux für Mais, Weizen und Zuckerrüben unterschieden werden/ Lien avec les types de sols distingués dans Ferti-Mieux pour le maïs, blé et betteraves	STOFF- BILANZ
Organische Düngung/ Fertilisation organique	D	Viehzählung/ Recensement du bétail	StaLA	Viehbesatz in GVE/ha/ Cheptel en UGB/ha	Gemeinde	1979, 1991, 1999	modellinterne Umrechnung in Wirtschaftsdünger- menge/ Conversion en quantité d'engrais minéral par le modèle	STOFF- BILANZ
	F	Agrarerhebung/ Recensement Agricole	SCEES	Viehbesatz in GVE/ha/ Cheptel en UGB/ha	Canton	1979, 1988, 2000	modellinterne Umrechnung in Wirtschaftsdünger- menge/ Conversion en quantité d'engrais minéral par le modèle	STOFF- BILANZ

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitungsschritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Standardbewirtschaftung: Mineraldüngung/ <i>Pratiques agricoles standardisées: fertilisation minérale</i>	D	SchALVO- Vergleichsflächen 1988-2000/ zone comparative de la SchALVO 1988- 2000	LUFA	Mineraldüngermenge in kg N/ha / <i>Quantité d'engrais minéral en kg N/ha</i>	Stichprobe/ échantillon	1988-2000	statistische Auswertung mit anschließender Modifikation durch Pflanzenbau-beratung/ <i>Evaluation statistique modifiée par des experts de la production végétale</i>	STOFF- BILANZ
Standardbewirtschaftung: Mineraldüngung/ <i>Pratiques agricoles standardisées: fertilisation minérale</i>	D	Düngerempfehlung des NID/ <i>Recommandation de fertilisation par le NID</i>	LAP / NID	Düngerempfehlung pro Kulturart, differenziert nach Bodenartengruppen leicht/mittel/schwer/ <i>Recommandation de fertilisation par culture, différenciée pour les sols légers, moyens et lourds</i>	Stichprobe innerhalb innerem Projektgebiet/ Echantillon en zone intérieure du projet	jährlich/ <i>annuel</i> (1996-2003)	kulturartenspezifische Ermittlung von Zu- und Abstrichen für die Düngemenge/ <i>Adaptation de la fertilisation au type de sol selon les cultures</i>	STOFF- BILANZ
Standardbewirtschaftung: Mineraldüngung/ <i>Pratiques agricoles standardisées: fertilisation minérale</i>		N-Salden/ Soldes azotiques	MLR	N-Salden für Wein- und Obstbau, Tabak, Erdbeeren, Spargel u. Gemüse/ <i>Soldes azotiques viticulture, production fruitière, tabac, fraises, asperges et maraîchage</i>	Baden-Württemberg	ohne/ sans	Modifikation durch landw. Beratung erforderlich/ <i>Modification par des experts agricoles nécessaire</i>	(STOFF- BILANZ)
Standardbewirtschaftung: Mineraldüngung/ <i>Pratiques agricoles standardisées: fertilisation minérale</i>	F	Auswertung von Ferti-Mieux/ <i>Evaluations Ferti-Mieux</i>	ARAA	Mengen mineralischen Stickstoffs für Mais aus FM-Programm/ <i>Doses d'azote minéral pour le maïs par opération FM</i>	Polygone/ zonage Ferti-Mieux	4jährig/ <i>tous les 4 ans</i>	Verbindung mit den Bodentypen, wie sie in Ferti-Mieux unterschieden werden/ <i>Lien avec les types de sols distingués dans Ferti-Mieux</i>	STOFF- BILANZ

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Détenir de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitung- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
	F	Wirtschafts- abteilung der Landwirtschafts- kammern der Départements 67 und 68/ Services économiques des Chambres d'agriculture du 67 et 68	Wirtschafts- abteilung der Landwirtschaft skammern der Départements 67 und 68/ Services économiques des Chambres d'agriculture du 67 et 68	kulturartenspezifische Mengen mineralischen Stickstoffs nach "Landwirtschaftsgebieten" Doses d'azote minéral par culture par "zone agricole"	Polygone/ zonage Ferri-Mieux	1982-2000	Verbindung mit den Bodentypen, wie sie in Ferri-Mieux unterschieden werden für Mais, Weizen, Zuckerrüben/ Lien avec les types de sols distingués dans Ferri-Mieux pour le maïs, blé et betteraves	STOFF- BILANZ
Standardbe- wirtschaftung allgemein/ Pratiques agricoles standardisées en général	D	SCHALVO- Vergleichsflächen 1988-2000/ zone comparative de la SCHALVO 1988- 2000	LUFA	pro Kulturart bzw. Fruchtfolge: Bodenbearbeitung: Termine, Geräte, Bearbeitungstiefe; Saat-, Erntetermin, Zwischenfruchtanbau, Verbleib der Erntereste/ par culture, assolement: travail du sol: date, matériel, profondeur; Date de semis et récolte, culture intermédiaire, conservation sur le champ des résidus végétaux après récolte	Stichprobe innerhalb innerem Projektgebiet/ Echantillon en zone intérieure du projet	1988-2000	statistische Auswer- tung mit anschlies- sender Modifikation durch Pflanzenbau- beratung/ Evaluation statistique modifié par des experts de la production végétale	STICS
Standardbe- wirtschaftung: Fruchtfolge/ Pratiques agricoles standardisées: assolement	D	Gemeinsamer Antrag/ Demande commune	MLR	Hauptkultur in ha/ Culture principale en ha	Landwirtschafts- region/ Petite Région Agricole (PRA)	1995-2003	Fruchtfolgeanalyse/ Analyse des successions culturales (ARAA/INRA Mirecourt)	STICS
	F	Datengrundlage/ Base de données "TerUti"	Service Régional Statistiques Agricoles (SRSA/ SCEES)	Hauptkulturen auf tausenden von Orten im Elsass, jahresweise/ Culture principale sur des milliers des points en Alsace par an	Landwirtschafts- region/ Petite Région Agricole (PRA)	1992-2003	Fruchtfolgeanalyse/ Analyse des successions culturales (ARAA/INRA Mirecourt)	STICS

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitungsschritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
N-Entzugs- und N-Bedarfs-faktoren/ Facteurs d'exportation et du besoin d'azote	D	Kennzahlen aus der landw. Beratung/ Valeurs du conseil agricole	LAP	N-Entzug über das Erntegut in kg N / kg Erntegut; N-Bedarf der Pflanze in kg N / kg Biomasse/ Exportation azotique par la récolte en kg N/kg; besoin en azote de la plante en kg N/kg biomasse	ohne/ sans	ohne/ sans		STOFF- BILANZ
	F	Kennzahlen aus der landw. Beratung/ Valeurs du conseil agricole	COMIFER	N-Entzug über das Erntegut in kg N / kg Erntegut; N-Bedarf der Pflanze in kg N / kg Biomasse/ Exportation azotique par la récolte en kg N/kg; besoin en azote de la plante en kg N/kg biomasse	ohne/ sans	ohne/ sans		STOFF- BILANZ
N-Nachlieferung aus Bodenmatrix/ minéralisation issue de la matrice du sol	D	Kennzahlen aus der Düngeberatung/ Valeurs du conseil de fertilisation	LAP / NID	nach Bodenart und Kultur differenzierte Angaben zur N-Nachlieferung aus der organ. Bodensubstanz während der Vegetationsperiode in kg N/ha/ Minéralisation de l'azote issue de composants organiques du sol pendant la période de végétation par type de sol et par culture en kg N/ha	ohne/ sans	ohne/ sans		STOFF- BILANZ
		Faustzahlen aus Stickstoffschlüssel	Projekt-gruppe Hohenlohe	nach Bodenart, Häufigkeit organischer Düngung, Verbleib der Erntereste sowie Haupt- und Folgekultur differenzierte Angaben zur N-Nachlieferung aus der organ. Bodensubstanz für die vegetations-freie Zeit in kg N / ha/	ohne/ sans	ohne/ sans		STOFF- BILANZ
N-Nachlieferung aus Ernteresten/ Minéralisation issue de résidus végétaux	D	Faustzahlen aus Stickstoffschlüssel	Projekt-gruppe Hohenlohe	kulturartendifferenzierte Angaben zur N-Nachlieferung aus Ernteresten in kg N / ha/ Azote minéral issu de résidus végétaux par culture en kg N/ha	ohne/ sans	ohne/ sans		STOFF- BILANZ



Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- erence tempo- relle	weitere Bearbeitungsschritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Witterung/ Temps	D	Ergebnis aus Bearbeitung mit GWN-BW/ Résultat de GWN-BW	LfU	Tages-Min/Max-Temperatur, globalstrahlung, Niederschlag, ETP/ Température journalière min/max, rayonnement, précipitation, évapotranspiration	Stationswerte, regionalisiert/ Valeurs de stations, régionalisées	Tageswerte/ Valeurs journalières		STICS
	F	Ergebnis aus Bearbeitung mit GWN-BW/ Résultat de GWN-BW	LfU	Tages-Min/Max-Temperatur, globalstrahlung, Niederschlag, ETP/ Température journalière min/max, rayonnement, précipitation, évapotranspiration	Stationswerte, regionalisiert/ valeurs de stations, régionalisées	Tageswerte/ Valeurs journalières		STICS
Versickerung/ Recharge de la nappe	D	Ergebnis aus Bearbeitung mit GWN-BW/ Résultat de GWN-BW	LfU	Sickerwassermenge in mm/d/ Recharge de la nappe en mm/d	Rasterzellen/ Mailles de 250m bzw. 500m	Tageswerte/ Valeurs journalières		STOFF-BILANZ
	F	Ergebnis aus Bearbeitung mit GWN-BW/ Résultat de GWN-BW	LfU	Sickerwassermenge in mm/d/ Recharge de la nappe en mm/d	Rasterzellen/ Mailles de 250m bzw. 500m	Tageswerte/ Valeurs journalières		STOFF-BILANZ
<b>2. Einzelflächen</b>								
Validierungsflächen Deutschland/ Parcelles de validation				meteorol. Daten ( Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Windstärke, Luftfeuchte) der nächstgelegenen meteorol. Stationen/ Données météorologiques (température, pluviométrie, rayonnement, vitesse du vent, humidité atmosphérique) de la station météo la plus proche				
	D	Alle Flächen/ Toutes les surfaces	LFU	Boden: Profilaufnahme, Bodenprobe zur Bestimmung C/N-Verhältnis durch LGRB und LUFA/ Sol: profil, échantillon pour déterminer le ratio C/N par LGRB et LUFA				

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitungs- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Validierungs- flächen Deutschland/ Parcelles de validation		Bodenbearbeitungs- versuche Biengen und Hausen/ Expériences du travail du sol à Biengen et Hausen	IfuL	Bewirtschaftung; Ertrag; Nmin und Bodenwasser ( monatliche Beprobung)/ Pratique agricole; rendement; reliquat d'azote et eau du sol ( mesure mensuelle)	Einzelschlag/ Parcelle	1998-2002	Anpassung des Pflanzenmodells für Körnermais, Winter- weizen, Ölrrettich/ Paramétrisation du modèle de plantes par rapport au maïs grain, blé d'hiver, radis oléifère	STICS
	D	N-Minimierungs- versuch / Bereg- nungsversuch Hausen/ Expérience de minimisation de l'azote/ expérience d'irrigation à Hausen	IfuL	Bewirtschaftung; Bewässerung; Ertrag; Nmin (z. T. vierzehntägig ermittelt); 1992- 1997 Saugkerzenwasser wöchentlich; Menge und NO <sub>3</sub> -Gehalt/ Technique culturale; irrigation; rendement; reliquat d'azote (partiellement tous les 15 jours); prélèvements hebdomadaires 1992-1997: quantité et teneur en nitrates	Einzelschlag/ Parcelle	1992 - 2002	Anpassung des Pflanzenmodells für Körnermais; Modellierung eines Bewässerungs- standorts; Vergleich SchALVO-ogL/ Paramétrisation du modèle de plantes pour maïs grain; modélisation d'un site d'irrigation; comparaison SchALVO-pratiques culturales conformes à la réglementation	STICS
		Silomais/mais ensilage Dreisamtal ( Ebnet, Zarten, Kirchzarten, Buchenbach)	IfuL	Bewirtschaftung; Ertrag; Nmin und Bodenwasser ( vierzehntägig)/ technique culturale; rendement; reliquat d'azote et eau du sol ( tous les 15 jours)	Einzelschlag/ Parcelle	1996 - 2002	Anpassung des Pflanzenmodells unter Berücksichtig. org. Düngung/ paramétrisation du modèle de plantes en tenant compte de la fertilisation organique	STICS

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- erence tempo- relle	weitere Bearbeitungsschritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Validierungsflächen Deutschland/ parcelles de validation	D	Fruchtfolgeversuch Hugsweiler/ Expérience de successions culturales à Hugsweiler	ALLB Offenburg	Bewirtschaftung, Ertrag (kg, TS bei Ernte), Nmin ( 2 Werte/ Jahr), z. T. Angaben zum Zeitpunkt Auflaufen, Ährenschieben / Fahenschieben; Ähren/qm/ Technique culturale, rendement (kg, récolte: matière sèche), reliquat d'azote (2 valeurs par an), informations concernant la levée des semis, épiaison en épis/qm partiellement disponible	Einzel Schlag/ Parcelle	1998 - 2002	Anpassung des Pflanzenmodells für Körnermais, Winterweizen, Ölrettich/ Paramétrisation du modèle de plantes pour mais grain, blé d'hiver, radis oléifère	STICS
		Aktion 006, Efringen-Kirchen	LAP	Bewirtschaftung; Ertrag (kg, TS bei Ernte, TKG); Nmin (mind. 5 Werte/Jahr), z. T. Angaben zum Zeitpunkt Auflaufen, Reife)/ Technique culturale, rendement (kg, récolte: matière sèche), reliquat d'azote (au moins 5 valeurs/an), informations par rapport à la levée des semis, maturité partiellement disponible	Einzel Schlag/ Parcelle	1995-2002	Anpassung des Pflanzenmodells für Körnermais/ Paramétrisation du modèle de plantes pour mais grain, blé d'hiver, radis oléifère	STICS
		Gründungs-C45versuch, Forchheim/ Expérience de fertilisation par résidus végétaux C45, Forchheim	LAP	Bewirtschaftung, Biomasse u. Stickstoffgehalt der Pflanze ( mehrere Werte/Jahr), Nmin monatlich/ Technique culturale, biomasse et teneur en azote de la plante (plusieurs valeurs par an), reliquat d'azote une fois par mois	Einzel Schlag/ Parcelle	2002-2003	Anpassung des Pflanzenmodells für Zwischenfrüchte/ Paramétrisation du modèle de plantes aux cultures intermédiaires	STICS
		SCHALVO- Vergleichsflächen, Feldkirch/ Parcelles comparatives du programme SCHALVO, Feldkirch	LAP	Bewirtschaftung, Ertrag, Nmin ( 5-6 Werte/Jahr)/ Technique culturale, rendement, reliquat d'azote (5 à 6 valeurs/an)	Einzel Schlag/ Parcelle	1994-2000	Anpassung des Pflanzenmodells für Kartoffeln/ Paramétrisation du modèle de plantes aux pommes de terre	STICS

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Défendeur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- erence tempo- relle	weitere Bearbeitung- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Validierungsfläche n mit zusätz- lichem Unter- suchungs- programm/ parcelles de validation avec programme d'analyse supplémentaire	D	Fruchtfolgeversuch, Müllheim/ Expérience de succession culturale, Müllheim	IfuL	Bewirtschaftungsdaten/ Données sur la technique culturale				
		Fruchtfolgeversuch, Müllheim/ Expérience de succession culturale, Müllheim	LUFA	Boden: Profilaufnahme, C/N-Verhältnis (einmalig), Nmin-Beprobung (14-tägig)/ Sol: profil, ratio C/N (unique), mesure de reliquat d'azote (tous les 15 jours)	Einzelschlag, 4 Parzellen mit verschiedenen Kulturen/ Parcelle, 4 parcelles avec des cultures différentes	1997-2002	Anpassung des Pflanzenmodells für Körnermais, Winter- weizen, Winterraps, So- mmergerste/ Paramétrisation du modèle de plantes au maïs ensilage, blé d'hiver, colza d'hiver, orge d'été	STICS
			LUFA	Biomassenentwicklung: phänologische Stadien, Biomasse in kg und N-Gehalt der Biomasse in kg N/kg Trockenmasse/ Production de biomasse: stade phénologique, biomasse en kg et teneur en azote de la biomasse en kg N/kg matière sèche				
			LUFA	Saugkerzenwasser: Menge und NO <sub>3</sub> - und NH <sub>4</sub> -Gehalte, Isotopenuntersuchung/ Bougies poreuses: volume et teneur en NO <sub>3</sub> et NH <sub>4</sub> , analyse isotopique				
	F		ARAA/INRA	Bewirtschaftungsdaten/ Données sur la technique culturale	Einzelschlag, 4 Parzellen mit verschiedenen Kulturen/ Parcelle, 4 parcelles avec des cultures différentes	2003-2005		STICS

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- erence tempo- relle	weitere Bearbeitung- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Validierungs- flächen mit zusätzlichem Untersuchungs- programm/ parcelles de validation avec programme d'analyse supplémentaire	F	4 Beobachtungs- standorte für Nitratwaschung vom Acker ins Grundwasser/ 4 parcelles de l'observatoire des fuites de nitrates des parcelles agricoles vers la nappe	ARAA	Boden: Profilaufnahme, Nmin-Beprobung (14-tägig)/ Sol: profil, mesure de reliquat d'azote (tous les 15jours)				
			ARAA	Biomassenentwicklung: Biomasse in kg und N-Gehalt der Biomasse in kg N /kg Trockenmasse/ Production de biomasse: biomasse en kg et teneur en azote de la biomasse en kg N/kg matière sèche				
			ARAA KLBL	Saugkerzenwasser: Menge und NO3- und NH4-Gehalte, Isotopenuntersuchung/ Bougies poreuses: volume et teneur en NO3 et NH4, analyse isotopique				
			KLBL	Saugkerzenwasser: F5114-tägig Nitratgehalt, Ammoniumgehalt, Wassermengeenge; monatlich Isotopenmessung/ Eau de bougie poreuse: F51 tous les 15 jours volume, teneur en nitrates, ammonium, analyse isotopique mensuelle	Einzel Schlag/ Parcelle	2003-2005	Prozessbeschrei- bung, N-Bilanzierung/ Description de processus, établir un bilan d'azote	Modellierung Stoff- transport, STICS/ Modélisation du transport de particules, STICS
	CH	Untersuchungs- gebiet Reinach Schweiz/ Zone d'étude Reinach Schweiz	Landwirt/ Agriculteur	Bewirtschaftungsdaten/ Données sur la technique culturale	Einzel Schlag/ Parcelle	2003-2005	Prozessbeschrei- bung, N-Bilanzierung/ Description de processus, établir un bilan d'azote	Modellierung Stoff- transport, STICS/ Modélisation du transport de particules, STICS

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- erence tempo- relle	weitere Bearbeitungsschritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Validerungsflächen mit zusätzlichem Untersuchungsprogramm/ Parcelles de validation avec programme d'analyse supplémentaire	CH	Untersuchungsgebiet Reinach Schweiz/ Zone d'étude Reinach Schweiz	KLBL	Bodeneigenschaften: Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Porenvolumen, Infiltrationskapazität/ <i>Propriétés du sol: distribution granulométrique, porosité, capacité d'infiltration</i>	Einzelschlag/ <i>Parcelle</i>	2003	N-Auswaschung/ <i>Lessivage d'azotes</i>	STICS
				Bodenparameter vierteljährlich: C/N-Verhältnis, IRGA-Messung, Nmin/ <i>Paramètres pédologiques trimestriels: ratio C/N, mesures IRGA, reliquat d'azote</i>	ausgewählte Parzellen/ <i>Parcelles choisies</i>	2003-2004	Prozessbeschreibung, N-Bilanzierung/ <i>Description de processus, établir un bilan d'azote</i>	Modellierung Stofftransport, STICS/ <i>Modélisation du transport de particules, STICS</i>
			KLBL	Bodenansprache/ <i>tous les paramètres pédologiques</i>	Einzelschlag/ <i>Parcelle</i>	2003	N-Auswaschung/ <i>Lessivage d'azotes</i>	STICS
			SWISS-METEO	Wetterdaten: Niederschlag, Verdunstung, Sonnenscheindauer, Temperatur/ <i>Données climatiques: pluviométrie, évaporation, durée d'insolation, température</i>	Untersuchungsgebiet Reinach/ <i>Zone d'étude Reinach</i>	2003-2005	Prozessbeschreibung, N-Bilanzierung/ <i>description de processus, établir un bilan d'azote</i>	Modellierung Stofftransport, STICS/ <i>Modélisation du transport de particules, STICS</i>

Thema/ Thème	Land	Datenquelle/ Source de données	Datenhalter/ Déteneur de données	(verwendete) Parameter/ Paramètres utilisés	Raumbezug/ Entité spatiale	Zeit- bezug/ Réf- rence tempo- relle	weitere Bearbeitung- schritte, Ziele/ tâches à effectuer, objectifs	verwendet für/ utilisées par
Validerungs- flächen mit zusätzlichem Untersuchungs- programm/ parcelles de validation avec programme d'analyse supplémentaire	CH	Untersuchungs- gebiet Reinach Schweiz/ zone d'étude Reinach Schweiz	KLBL	Grundwasser: 14-tägig Nitrat/ eaux souterraines: nitrates tous les 15 jours	Grundwasser-strom Reinach/ Courant d'eau souterrain à Reinach	2003-2005	Prozessbeschrei-bung, N-Bilanzierung/ Description de processus, établir un bilan d'azote	Modellierung Stoff- transport, STICS/ Modélisation du transport de particules, STICS
			AUE, GPI	Pegelstände, Hydrogeologische Untersuchungen/ Hauteur des eaux, étude hydrogéologique	Grundwasser-strom Reinach/ Courant d'eau souterrain à Reinach	2003-2005	N-Transport/ Transport d'azote	Modellierung Stoff- transport, STICS/ Modélisation du transport de particules, STICS