





Fluss-Grundwasser-Interaktion

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

Interactions nappe-rivière

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



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



Baden-Württemberg

Fluss-Grundwasser-Interaktion



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

Interactions nappe-rivière



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

HERAUSGEBER / PUBLICATION LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>

BEARBEITUNG / RÉALISATION Universität Basel, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie
LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

GEFÖRDERT DURCH / COFINANCÉ PAR EU - INTERREG III A Programme Oberrhein Mitte-Süd und PAMINA
UE - Programmes INTERREG III A Rhin Supérieur Centre-Sud et PAMINA

BEZUG / DISTRIBUTION Die Broschüre ist kostenlos erhältlich bei der Verlagsauslieferung der LUBW
La brochure est gratuite et peut être demandée auprès du distributeur de la LUBW
JVA Mannheim-Druckerei, Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim
Telefax 0621/398-380, [bibliothek@lubw.bwl.de/](mailto:bibliothek@lubw.bwl.de)

STAND / ÉTAT Juli / juillet 2006

BILDNACHWEIS / RÉFÉRENCE D'IMAGE Titelbild / Image de couverture
Reiner Steinmetz, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

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

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

FINANZPARTNER / COFINANCEURS

Europäische Union – Gemeinschaftsinitiative INTERREG III A

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Région Alsace

Agence de l'eau Rhin-Meuse

Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

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

Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg

Kanton Basel-Stadt

Kanton Basel-Landschaft

Schweizer Eidgenossenschaft

PROJEKTRÄGER / MAÎTRE D'OUVRAGE

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

Sommaire

1	EINLEITUNG INTRODUCTION	7
2	FRAGESTELLUNG PROBLÉMATIQUE	10
3	UNTERSUCHUNGSGEBIETE SECTEURS D'ÉTUDE	12
3.1	Muttenz-Pratteln <i>Muttenz-Pratteln</i>	13
3.2	Wieseebene <i>La plaine de la Wiese</i>	15
3.3	Birstal <i>La vallée de la Birse</i>	17
4	GEOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE SITUATION GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE	19
4.1	Muttenz-Pratteln <i>Muttenz-Pratteln</i>	22
4.2	Wieseebene <i>La plaine de la Wiese</i>	26
4.3	Birstal <i>La vallée de la Birse</i>	28
5	HYDROLOGIE DER REGION BASEL HYDROLOGIE DE LA RÉGION de BÂLE	30
5.1	Grundwasserneubildung <i>Recharge de la nappe</i>	32
5.1.1	Meteorologische Basisdaten <i>Données de base météorologique</i>	33
5.1.2	Oberflächenversiegelung <i>Imperméabilisation des surfaces</i>	35
5.1.3	Resultate <i>Résultats</i>	36
5.2	Oberflächengewässer <i>Eaux de surface</i>	41
6	GRUNDWASSERNUTZUNGEN EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES	44
6.1	Muttenz-Pratteln <i>Muttenz-Pratteln</i>	46
6.2	Wieseebene <i>La plaine de la Wiese</i>	48
6.3	Birstal <i>La vallée de la Birse</i>	50

7	GRUNDWASSERMESSDATEN DONNÉES RELATIVES À LA NAPPE	53
7.1	MuttENZ-Pratteln <i>MuttENZ-Pratteln</i>	54
7.2	WieseEbene <i>La plaine de la Wiese</i>	57
7.2.1	Markierversuche <i>Essais de traçage</i>	60
7.2.2	Partikelanalysen <i>Analyses de particules</i>	60
7.3	Birstal <i>La vallée de la Birse</i>	63
8	AUFBAU VON PROGNOSEINSTRUMENTEN CRÉATION D'INSTRUMENTS DE PRÉVISION	67
8.1	MuttENZ-Pratteln <i>MuttENZ-Pratteln</i>	68
8.2	WieseEbene <i>La plaine de la Wiese</i>	71
8.3	Birstal <i>La vallée de la Birse</i>	74
9	RESULTATE RÉSULTATS	81
9.1	MuttENZ-Pratteln <i>MuttENZ-Pratteln</i>	81
9.1.1	Chlorid und Sulfat <i>Chlorures et sulfates</i>	81
9.1.2	Sauerstoff-18 und Deuterium <i>Oxygène et deutérium</i>	85
9.1.3	Grundwassermodell <i>Modélisation de la nappe</i>	87
9.2	WieseEbene <i>La plaine de la Wiese</i>	91
9.3	Birstal <i>La vallée de la Birse</i>	97
10	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN DISCUSSION ET CONCLUSIONS	103
	NAMEN UND ANSCHRIFT DER AUTOREN NOM ET ADRESSE DES AUTEURS	108
	LITERATURVERZEICHNIS BIBLIOGRAPHIE	109

1 Einleitung

Introduction

Austauschprozesse zwischen Flusswasser und Grundwasser stellen im Gebiet des Oberrheins eine wesentliche Komponente in der Gesamtwasserbilanz dar. Bei der Infiltration von Flusswasser in die Grundwasserleiter sowie der Exfiltration von Grundwasser in die Fliessgewässer findet eine Vielzahl physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse statt. Der Charakter dieser Prozesse ist instationär.

Deutliche Hinweise auf infiltrierende Oberflächengewässer sind Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit, Schwankungen der Temperatur sowie deutlich tiefere Nitratkonzentrationen im flussnahen Grundwasser. 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 wirksamen Substanzen und Benzinzusatzstoffen bei flussnahen Fassungen vermehrt als Problem wahrgenommen.

Mit dem vorliegenden Teilmodul werden für die wichtigsten Schweizer Teilbereiche des INTERREG-III-Projektgebietes relevante Grössen, welche die Infiltrations-/Exfiltrationsverhältnisse zwischen Fluss- und Grundwasser beschreiben, für charakteristische Flussabschnitte ermittelt. Diese Grössen finden Eingang in die Grundwassermodellierung von drei Teilgebieten im regionalen Massstab: die Rheinebene im Gebiet des Tafeljuras (**MuttENZ-Pratteln**), die untere **Wieseebene** und die Region Reinach im unteren **Birstal**. Das Verständnis der Austauschprozesse zwischen Fluss- und Grundwasser im Zusammenhang mit Grundwasseranreicherungen bzw. Grundwasserentnahmen war, was die quantitativen Aspekte der oberflächennahen Nutzungen

Les échanges entre les cours d'eau et la nappe représentent une part importante du bilan hydrologique dans l'espace du Rhin supérieur. L'infiltration des eaux de surface dans l'aquifère et le drainage des eaux souterraines par les cours d'eau donnent lieu à une multitude de processus physico-chimiques et biologiques. Tous ces processus varient suivants les conditions hydrologiques : ils ont un caractère transitoire.

L'infiltration d'eaux de surface se manifeste par des variations de la conductivité électrique et de la température et par la présence de concentrations en nitrates nettement plus basses dans les nappes d'accompagnement des cours d'eau. Les concentrations en nitrates basses ainsi que la bonne perméabilité du sous-sol, fréquemment observée le long des cours d'eau, expliquent l'attrait de ces nappes pour la production d'eau potable. Toutefois la présence de microorganismes et l'infiltration de substances nocives, comme par exemple les composés à effet endocrinien ou les additifs pour carburant, posent des problèmes de plus en plus importants pour les captages d'eau potable situés à proximité des cours d'eau.

Le présent module se propose de déterminer, pour les principaux sous-secteurs suisses du secteur d'étude du projet INTERREG III, les paramètres hydrodynamiques caractérisant les phénomènes d'infiltration et de drainage entre cours d'eau et nappe, pour des tronçons caractéristiques de ces cours d'eau. Ces paramètres seront utilisés dans la modélisation de la nappe des trois sous-secteurs à l'échelle régionale : la plaine du Rhin dans le secteur du Jura tabulaire (**MuttENZ-Pratteln**), la plaine inférieure de la **Wiese** et la région de Reinach dans la partie inférieure de la **vallée de la Birse**. En effet, la connaissance des échanges nappe-rivière dans le contexte des activités de recharge artificielle et de prélèvement d'eau potable, n'était pas suffisante du point de vue quantitatif à

betrifft, sowohl für den Rhein als auch für seine Zuflüsse nur punktuell bekannt, verlässliche Daten fehlten. Die Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser, abhängig von den hydraulischen Verhältnissen und dem Verbauungsgrad von Flussufern sowie dem strukturellen Aufbau und dem Kolmatierungsgrad der Flusssohlen waren bisher ebenfalls nur vereinzelt bekannt. Kenntnisse der Infiltrationsverhältnisse im Hinblick auf Fragen des qualitativen Grundwasserschutzes fehlten weitgehend. Die Schweizer Teilgebiete weisen zudem in dicht besiedeltem urbanem Raum intensive Grundwassernutzungen auf. Dadurch existieren zahlreiche Zielkonflikte zwischen der Grundwassernutzung und anderen teilweise ebenfalls rechtlich geschützten Interessen. In den nächsten Jahren zeichnen sich zudem Nutzungsänderungen ab. Einige davon betreffen das Grundwasserdargebot, andere könnten die Qualität des Grundwassers direkt oder indirekt beeinflussen.

Eine nachhaltige regionale oder überregionale Grundwasserbewirtschaftung setzt voraus, dass die Auswirkungen von Einzeleinriffen auf ein Gesamtsystem verstanden werden können. Deshalb spielen Prognoseinstrumente für das Grundwasser eine immer wichtigere Rolle. Die räumliche Auflösung dieser Instrumente muss sich nach den Fragestellungen im urbanen Raum richten.

Der Rhein im Gebiet der Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft und seine Zuflüsse Wiese und Birs dienen auch zum Vergleich von Austauschraten zwischen Fluss- und Grundwasser im grossmasstäblichen Grundwassermodell des Projektes „MoNit“.

Beim Aufbau der Prognoseinstrumente in den drei Teilgebieten **Muttenz-Pratteln**, **Wieseebene** und **Birstal** wurden insbesondere Synergien zwischen lokalen Grundwasserschutz- und Grundwassermanagementprojekten und dem INTERREG-III-Projekt „MoNit“, Teilprojekt Fluss-Grundwasser-Interaktion genutzt. Die Grundwasserbeobachtungssysteme als Basis für die Modellberechnungen sind auf die Fragestellungen der drei Teilprojekte

ce jour, car on ne disposait que d'informations ponctuelles pour le Rhin et ses affluents. Il en était de même, pour les mécanismes d'infiltration des eaux de surface dans la nappe, fonction de la configuration hydraulique et du degré d'aménagement des rives, de la stratification et du degré de colmatage du lit des cours d'eau. En outre, on ne disposait pratiquement d'aucune donnée sur l'impact de l'infiltration sur la qualité des eaux de la nappe. Par ailleurs, les sous-secteurs suisses présentent une exploitation intensive des nappes souterraines dans des zones urbaines très densément peuplées. Cela crée un certain nombre de conflits d'objectifs entre le captage des eaux et d'autres intérêts, également garantis par le droit. De plus, des modifications en termes d'exploitation de la nappe vont intervenir dans les toutes prochaines années. Certaines de ces modifications concernent la ressource en eau souterraine du point de vue de la quantité, d'autres sont susceptibles d'influencer directement ou indirectement la qualité de la nappe.

Or une gestion durable sur le plan régional voire interrégional suppose la prise en compte de l'impact d'interventions isolées sur la globalité du système. Aussi, l'usage des instruments de prévision du niveau et de la qualité de la nappe devient de plus en plus nécessaire. La résolution spatiale de ces instruments se doit d'être à la mesure des problématiques soulevées par les zones urbaines.

Le Rhin dans le périmètre des Cantons de Bâle-Ville et de Bâle-Campagne et ses affluents, la Wiese et la Birse, serviront de base pour la comparaison des taux d'échange entre rivières et nappe dans le modèle de la nappe à grande échelle du projet « MoNit ».

Pour la mise en place des instruments de prévision dans les trois sous-secteurs **Muttenz-Pratteln**, **plaine de la Wiese** et **vallée de la Birse**, on s'est notamment appuyé sur les synergies existantes entre les structures locales de protection et de gestion de la nappe et le projet INTERREG III « MoNit », sous-projet « Interactions nappe-rivière ». Des réseaux d'observation de la nappe, spécialement conçus pour répondre

ausgelegt worden und liefern die notwendigen Grundlagedaten für die Modellrechnungen. Der Modellmasstab wurde kleiner gewählt als im viel grossräumigeren Gebiet des trinationalen INTERREG-III-Projekts „MoNit“, da der Schweizer Teil als südlichster Abschnitt des „MoNit“ Projektgebietes nur einige Modellzellen (100 x 100 m) umfasst hätte.

Mit dem Teilmodul „Fluss-Grundwasser-Interaktion“ wurden relevante Grössen ermittelt oder abgeschätzt, welche die Infiltrations- und Exfiltrationsverhältnisse zwischen Flusswasser und Grundwasser charakterisieren (z.B. Leakage Koeffizienten = Verhältnis der Durchlässigkeit zur Mächtigkeit der Gewässersohle). Die Resultate der Teilgebiete **Birstal** und **Wieseebene** liefern Angaben zum zeitlichen Verlauf von Austauschprozessen zwischen Flusswasser und Grundwasser. Entlang der Rheinzufüsse Birs und Wiese liegen nun detaillierte Angaben über den Einfluss von Flussuferrevitalisierungen auf die Infiltrationsverhältnisse Fluss-Grundwasser vor. Die Resultate aller Teilprojekte illustrieren die nicht zu unterschätzende Bedeutung der Fluss-Grundwasser-Interaktionen für das Grundwasserdargebot in der Region Basel. Das Fallbeispiel **Birstal** illustriert insbesondere auch die Einmischung von nitratreichen seitlichen Grundwasserzuflüssen in einen regional wichtigen Grundwasserstrom (siehe INTERREG-III-Projekt „MoNit“, Teilprojekt „Nitratherkunft“).

Die hier beschriebenen Untersuchungen wurden aus Mitteln der Schweizer Eidgenossenschaft gefördert und sind Teil des von der EU geförderten INTERREG-III-Projekts „MoNit“. Während der Arbeiten in den drei Teilgebieten, die im vorliegenden Bericht beschrieben sind, konnten Synergien zu anderen laufenden kantonalen und kommunalen Grundwasserschutzvorhaben aufgebaut werden.

aux problématiques des trois sous-projets, fournissent les données fondamentales requises pour les calculs de modélisation. L'échelle de modélisation retenue est plus petite que celle du secteur d'étude, beaucoup plus vaste, du projet trinational INTERREG III « MoNit », car la partie suisse, formant la section la plus au sud du secteur de projet « Monit », n'aurait constitué que quelques mailles de la grille spatiale de la modélisation d'origine (100 x 100 m).

Le sous-module « Interactions nappe-rivière » a permis de déterminer ou d'estimer les paramètres essentiels, permettant de caractériser les relations d'infiltration et de drainage entre rivières et nappe (p. ex. coefficient de fuite = ratio entre la perméabilité et l'épaisseur de la couche formant le lit du cours d'eau). Les résultats des sous-secteurs **vallée de la Birse** et **plaine de la Wiese** nous renseignent sur l'évolution dans le temps des processus d'échange entre rivières et nappe. On possède désormais des données détaillées sur l'impact des mesures de renaturation des rives sur les mécanismes d'infiltration rivière-nappe, pour la Birse et la Wiese, deux affluents du Rhin. Les résultats de l'ensemble des sous-projets illustrent l'impact non négligeable des interactions nappe-rivière sur la ressource quantitative de la nappe dans la région de Bâle. L'exemple d'étude de la **vallée de la Birse** illustre notamment un cas d'apport latéral d'eaux souterraines riches en nitrates dans une nappe d'eau souterraine d'importance régionale (voir projet INTERREG III « MoNit », sous-projet « Origine des nitrates »).

Les travaux décrits dans le présent rapport sont cofinancés par la Confédération Suisse et sont une partie du projet INTERREG III « MoNit », un projet cofinancé par l'UE. Les travaux dans les trois zones ont permis de dégager des synergies avec d'autres projets en cours dans le domaine de la protection de la nappe au niveau cantonal et au niveau communal.

2 Fragestellung

Problématique

Ziel des Teilprojekts Fluss-Grundwasser-Interaktion war die Beschreibung und Quantifizierung der relevanten Prozesse und Grössen des Austausches zwischen Fluss- und Grundwasser. Die dafür nötigen Untersuchungen wurden im Rahmen des INTERREG-III-Projektes „MoNit“ durchgeführt. „MoNit“ befasste sich mit der Erstellung eines Modells der Nitratbelastung des Grundwassers im Oberrheingraben, welches den Ist-Zustand der Nitratbelastung abbildet und als Prognoseinstrument die Wirksamkeit der bereits eingeleiteten Massnahmen zur Verringerung der Nitratreinträge überprüft. Ausgangspunkt dieser Arbeiten ist die europäische Wasserrahmenrichtlinie vom 23. Oktober 2000, die bis zum Jahr 2015 einen guten Zustand der Gewässer fordert, weswegen die Einleitung von Schadstoffen in das Grundwasser zu verhindern oder zu begrenzen ist.

Austauschprozesse zwischen Fliessgewässern und dem Grundwasser stellen im südlichen und mittleren Oberrheingraben eine wesentliche Komponente in der Gesamtwasser- und damit auch in der Stoffbilanz dar. Der Rhein ist Vorfluter für alle die Vogesen nach Osten und den Schwarzwald nach Westen entwässernden Flüsse. Beim Übertritt aus den Mittelgebirgen in die Rheinebene tritt durch den grösseren Flurabstand häufig Wasser aus den Fliessgewässern ins Grundwasser über und trägt damit bedeutend zur Grundwasserneubildung bei. Hingegen wirken die Fliessgewässer in ihren Unterläufen wiederum als Vorfluter für das Grundwasser, welches in die Oberflächengewässer übertritt. Diese Wechselwirkungen sind gekennzeichnet durch eine Vielzahl physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse, deren Charakter instationär ist.

Deutliche Merkmale für eine Infiltration aus Fliessgewässern sind Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur im Grundwasser sowie deutlich tiefere Nitratkonzentrationen. Niedrige Nitratgehalte und die

L'objectif du sous-projet « interactions nappe-rivière » consiste à caractériser et à quantifier les principaux processus et paramètres d'échange rivière-nappe. Les études requises à cet effet ont été conduites dans le cadre du projet INTERREG III « MoNit ». Le projet « MoNit » visait la création d'un modèle de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dans le Fossé rhénan, destiné à illustrer l'état actuel de la pollution en nitrates et à servir d'instrument de prévision pour évaluer l'efficacité des mesures de réduction des pertes de nitrates d'ores et déjà engagées. Ces travaux ont pour origine la Directive Cadre européenne sur l'eau du 23 octobre 2000, qui exige, d'ici 2015, l'obtention d'un bon état pour toutes les masses d'eau, d'où l'obligation d'empêcher ou de limiter les rejets de polluants dans la nappe.

Dans les secteurs sud et centre du Fossé Rhénan, les processus d'échange nappe-rivière constituent une part essentielle du bilan hydrologique et par conséquent du bilan des flux de matières. Le Rhin fait office de collecteur pour tous les cours d'eau drainant les Vosges en direction de l'est et la Forêt Noire en direction de l'ouest. Au débouché des massifs montagneux dans la plaine du Rhin, la grande profondeur de la nappe engendre une infiltration des eaux de surface dans la nappe, contribuant ainsi largement à la recharge de cette dernière. En revanche, dans leur partie aval, les cours d'eau sont en position de drainage pour la nappe, qui se déverse à son tour dans les eaux superficielles. Ces interactions sont caractérisées par une multitude de processus physico-chimiques et biologiques à caractère transitoire.

Parmi les indices de l'infiltration des cours d'eau dans la nappe, on observe des variations de la conductivité électrique, des variations de température et la présence de concentrations en nitrates nettement plus basses. Ces faibles concentrations

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 wirksamen Substanzen und Benzinzusatzstoffen bei flussnahen Fassungen vermehrt als Problem wahrgenommen. Am westlichen Rand des südlichen Rheingrabens werden im Allgemeinen relativ hohe Nitratwerte im Grundwasser beobachtet. Durch Drainage oder Exfiltration von Grundwasser in Fliessgewässer findet in einigen Grundwassergebieten entlang dieser Fliessgewässer eine Verringerung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser statt (Lachenal et al. 2003).

Im Rahmen des Teilprojekts Fluss-Grundwasser-Interaktion wurde der Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser in drei verschiedenen Gebieten detailliert untersucht: **MuttENZ-Pratteln** (Rhein), **Wieseebene** (Wiese) und **Birstal** (Birs). Aufgrund der unterschiedlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse (Rheingraben, Tafeljura), der intensiven Grundwassernutzungen sowie dem Bestreben, Fliessgewässer ökologisch aufzuwerten, sind Aspekte des Grundwasserschutzes in besonderem Mass in die Betrachtungen eingeflossen.

Ausgehend von den hydrologischen und hydrogeologischen Daten sowie den Kenntnissen über die bestehenden Nutzungen, sollte im Rahmen dieses Projektes eine übersichtliche Informationsgrundlage über die Basisdaten der drei Teilprojektgebiete erarbeitet werden. Eine solche Zusammenstellung ist von wesentlicher Bedeutung im Hinblick auf weitere Nutzungen dieser Daten bei der Bearbeitung zukünftiger hydrogeologischer Fragestellungen in der Region. Deshalb wurden die verfügbaren Daten aus den verschiedenen Themenbereichen in separaten Kapiteln zusammengeführt und dargestellt. Die Beschreibung und Erläuterung der Prognoseinstrumente der drei Teilgebiete, die Diskussion und die Schlussfolgerungen stellen jedoch den eigentlichen Kern dieser Arbeit dar.

en nitrates ainsi que la perméabilité accrue du sous-sol, fréquemment observées le long des cours d'eau, expliquent l'attrait des nappes d'accompagnement des cours d'eau pour la production d'eau potable. Toutefois, la présence de microorganismes et l'infiltration de polluants, comme p. ex. les substances présentant un effet endocrinien et les additifs pour carburant dans les captages d'eau potable proches des cours d'eau est de plus en plus fortement ressentie comme un problème. En limite ouest de la partie sud du Fossé rhénan, on observe généralement des concentrations en nitrate relativement élevés dans la nappe. Le drainage ou l'exfiltration de la nappe dans les cours d'eau entraînent une diminution des concentrations en nitrates dans cette dernière (Lachenal et al. 2003).

Dans le cadre du sous-projet « Interactions nappe-rivière », les échanges entre les cours d'eau et la nappe ont été étudiés de manière détaillée pour trois secteurs particuliers : **MuttENZ-Pratteln** (Rhin), **plaine de la Wiese** (Wiese) et **vallée de la Birse** (Birse). En raison des différences géologiques et hydrogéologiques (Fossé rhénan, Jura tabulaire), de l'exploitation intensive des eaux souterraines et de la volonté de réaménager les cours d'eau sur le plan écologique, l'étude a tout particulièrement tenu compte des enjeux liés à la protection de la nappe.

Sur la base des données hydrologiques et hydrogéologiques connues et de la connaissance des utilisations existantes, le projet se proposait d'établir une vue d'ensemble sur les données de base disponibles pour les trois sous-secteurs de projet. Une telle compilation est extrêmement importante au titre de l'exploitation desdites données et de l'évaluation de problématiques futures liées à l'hydrogéologie de la région. C'est la raison pour laquelle les données relatives aux différentes thématiques ont été regroupées et exposées sous forme de chapitres distincts. Toutefois, le véritable noyau de la présente étude consiste dans la description et l'explication des outils de prévision des trois sous-secteurs, dans la discussion et dans les conclusions y afférentes.

3 Untersuchungsgebiete

Secteurs d'étude

Das Untersuchungsgebiet des INTERREG-III-Projekts „MoNit“ erstreckt sich von Basel (CH) bis Rastatt (D). Das Teilprojekt Fluss-Grundwasser-Interaktion beschränkt sich hingegen auf drei für die Grundwassernutzung bedeutsame Gebiete im Schweizer Teil des INTERREG-III-Gebietes „MoNit“ (Abb. 3.1). Es handelt sich um die Gebiete **MuttENZ-Pratteln**, **Wiesebene** und **Birstal**. Sie sind charakterisiert durch intensive Grundwassernutzungen in dicht besiedeltem, urbanem Raum. Entsprechend existieren Zielkonflikte zwischen der Grundwassernutzung und anderen, teilweise ebenfalls rechtlich geschützten Interessen. In den nächsten Jahren zeichnen sich zudem zahlreiche Nutzungsänderungen ab. Einige davon betreffen die Grundwasserquantität, andere könnten die Qualität des Grundwassers direkt oder indirekt beeinflussen. Alle drei Gebiete haben die grosse Bedeutung der Fluss-Grundwasser-Interaktion für das Grundwasserdargebot und für die Gewährleistung eines nachhaltigen Grundwässerschutzes gemein.

Le secteur d'étude du projet INTERREG III « MoNit » s'étend de Bâle (CH) jusqu'à Rastatt (D). En revanche, le sous-projet « Interactions nappe-rivière » se limite à trois secteurs importants pour l'exploitation des eaux souterraines dans la partie suisse du secteur d'étude du projet INTERREG III « MoNit » (fig. 3.1). Il s'agit des trois sous-secteurs **MuttENZ-Pratteln**, **plaine de la Wiese** et **vallée de la Birse**. Ces trois sous-secteurs se caractérisent par une exploitation intensive des nappes dans des zones urbaines densément peuplées. Il en résulte un certain nombre de conflits d'usage entre le captage des eaux et d'autres intérêts également garantis par le droit. De plus, des modifications se dessinent à l'horizon des années à venir du point de vue de l'exploitation de la nappe. Certaines de ces modifications concernent la quantité d'eau souterraine, d'autres sont susceptibles d'influencer directement la qualité de la nappe. Les trois secteurs ont deux points en commun : l'importance des interactions nappe-rivière pour le maintien de la ressource et une protection durable des eaux souterraines.

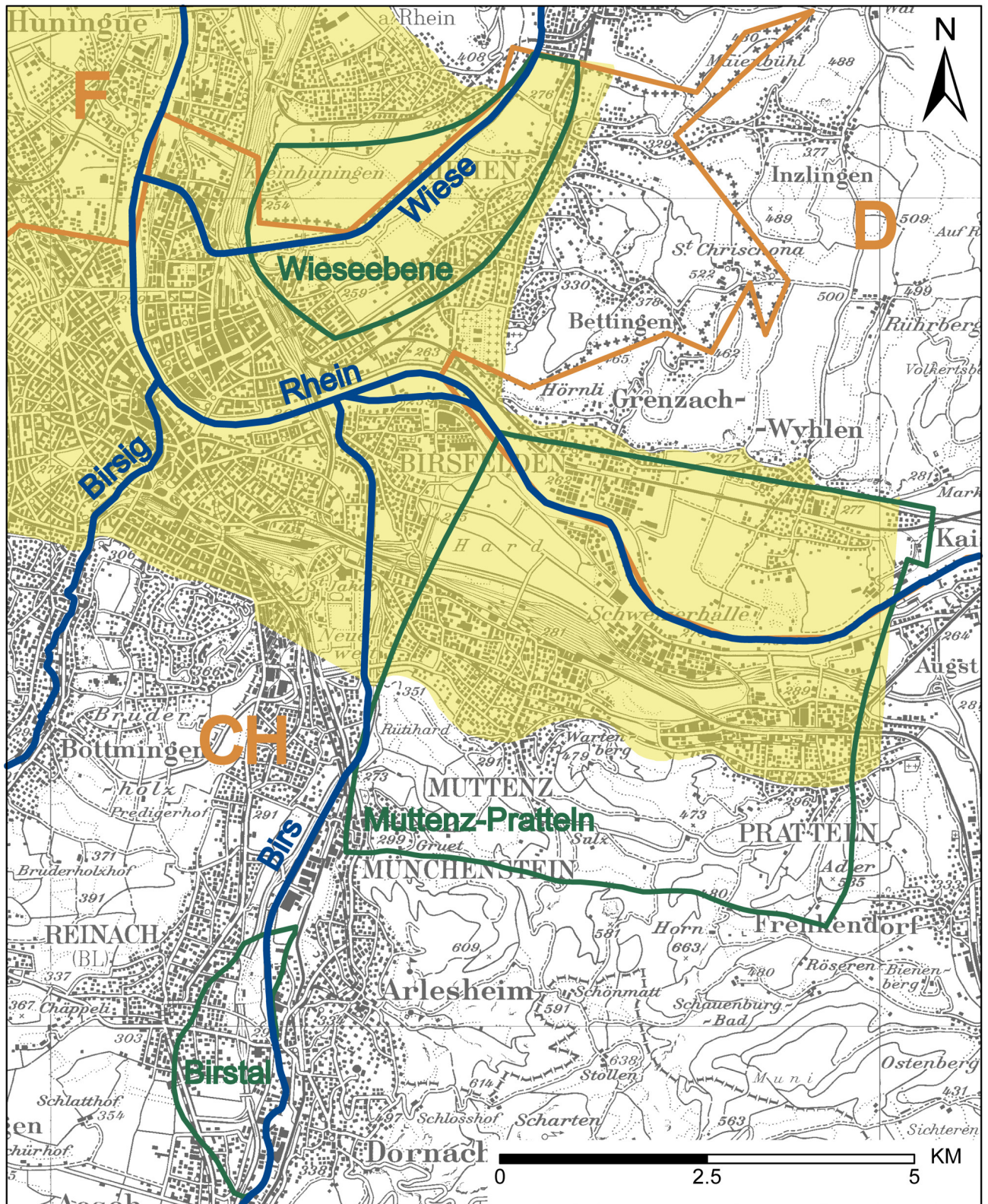


Abbildung 3.1: Übersicht über die Lage der Untersuchungsgebiete Muttenz-Pratteln, Wieseebene, Birstal (grün) und über die Lage des INTERREG-III-Gebietes „MoNit“ (gelb)

Figure 3.1: Plan de situation des trois sous-secteurs de Muttenz-Pratteln, plaine de la Wiese, vallée de la Birse (en vert) et du secteur d'étude du projet INTERREG III « MoNit » (en jaune)

3.1 MUTTENZ-PRATTELN

Das Untersuchungsgebiet Muttenz-Pratteln liegt östlich der Rheingrabenflexur und gehört deshalb

3.1 MUTTENZ-PRATTELN

Le secteur d'étude Muttenz-Pratteln se situe à l'est de la flexure du Fossé rhénan ; d'un point de vue

geographisch bereits zum Hochrheingebiet. Die Ausdehnung des INTERREG-III-Gebietes „MoNit“ reicht hingegen weiter nach Westen. Das Modellgebiet Muttenz-Pratteln umfasst eine Fläche von ca. 64 km² und erstreckt sich von den Anhöhen des baselbieter Tafeljuras im Süden über den Hochrhein Richtung Dinkelberg im Norden (Abb. 3.1).

Geologisch ist das Untersuchungsgebiet Teil des Tafeljuras und charakterisiert durch NNE-SSW verlaufende Horst- und Grabenstrukturen. Der Rhein durchfließt das Gebiet von Ost nach West. In den quartären Rheinschottern und in den geklüfteten und verkarsteten Karbonaten des Oberen Muschelkalkes findet sich Grundwasser in nutzbaren Mengen. Besonders der Obere Muschelkalk stellt einen bedeutenden regionalen Aquifer dar. Der Pegelstand des Rheins und die Höhe der Flusssohle sind die bedeutendsten hydraulischen Randbedingungen für die beiden Aquiferstockwerke. Der Austausch von Flusswasser des Rheins und dem Grundwasserträger wird von einer Reihe von unterschiedlichen Faktoren definiert: (1) der struktureologischen Anordnung der grundwasserführenden bzw. eher als Stauer wirkenden geologischen Formationen, (2) der Permeabilität der Rheinsohle, (3) dem Verlauf des Rheinpegels zwischen den Stauwehren Augst-Wyhlen und Birsfelden, (4) dem Gefälle des Grundwasserspiegels in der Rheinebene und gegen den Rhein sowie (5) der anthropogenen Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch Grundwasserentnahmen und -anreicherungen.

Beidseits des Hochrheintals findet man eine weitgehend durchgängige Besiedlung. Es wechseln Industriegebiete mit Einkaufs- und Gewerbebezonen sowie Siedlungsgebieten. Während die Siedlungsgebiete (Gemeinden Muttenz (CH), Pratteln (CH) und Grenzach (D)) ihren Ursprung an den Talrändern haben, sind die industriellen Nutzungen eher in der Nähe des Rheins angesiedelt worden. Die zum Teil über 100 Jahre alten Betriebe waren ursprünglich hauptsächlich im Bereich der chemischen Industrie und Salzgewinnung tätig.

Das Vorkommen von Steinsalz im Untergrund und

géographique, il fait donc déjà partie du secteur du Rhin amont (Hochrhein). Le secteur d'étude du projet INTERREG III « MoNit » s'étend plus à l'ouest. Le secteur du modèle Muttenz-Pratteln présente une superficie d'env. 64 km² et s'étend depuis les hauteurs du Jura bâlois au sud, via le Rhin amont et jusqu'au Dinkelberg au nord (fig. 3.1).

Du point de vue géologique, le secteur d'étude fait partie du Jura tabulaire et se caractérise par des horsts et des grabens orientés NNE-SSO. Le Rhin traverse ce secteur d'est en ouest. Les graviers quaternaires du Rhin et les carbonates fracturés et karstiques du Muschelkalk supérieur constituent un aquifère présentant un débit parfaitement exploitable. Le Muschelkalk supérieur constitue notamment un aquifère important sur le plan régional. Le niveau d'eau et l'altitude du fond du lit du Rhin sont les principales conditions aux limites hydrauliques pour ces deux aquifères superposés. L'échange entre le Rhin et l'aquifère est déterminé par un ensemble de facteurs très variés : (1) la stratigraphie des couches aquifères et de celles formant des niveaux imperméables, (2) la perméabilité du lit du Rhin, (3) la ligne d'eau du Rhin entre les barrages de Augst-Wyhlen et de Birsfelden, (4), le gradient de la nappe dans la plaine du Rhin et au voisinage du Rhin et (5) l'impact anthropique sur le niveau de la nappe (prélèvements d'eaux souterraines et recharge artificielle de la nappe).

De part et d'autre de la vallée du Rhin amont, l'urbanisation est presque continue. Cette zone est constituée de zones commerciales et industrielles, entrecoupée de zones résidentielles. Tandis que les zones résidentielles (communes de Muttenz, Pratteln, Grenzach) sont installées en bordure de vallée, les zones à vocation industrielle se situent plutôt en bordure du Rhin. Les exploitations industrielles, dont certaines centenaires, sont essentiellement dédiées aux secteurs de la chimie et de l'extraction de sel.

Les gisements de sel gemme et la liaison hydraulique

die hydraulische Verbindung dieser Formation mit einem etwa 50 m oberhalb liegenden Kluftaquifer führte und führt zusätzlich zu unterirdischen Laugungen (Subrosion), welche Gebäude und Verkehrsinfrastrukturen im Raum Muttenz durch Gebietssetzungen beeinträchtigen.

Aus den beiden Hauptaquiferen werden durch den Pumpbetrieb der industriellen Nutzer und der lokalen Trinkwasserversorgung (Hardwasser AG) annähernd 60 Mio. m³/a entnommen. Eine künstliche Anreicherung mit Rheinwasser unterstützt seit 1963 die Trinkwassergewinnung in einer Größenordnung von 30 Mio. m³/a. Im Vergleich zur Trinkwasserentnahme ist die Anreicherungs- menge mehr als doppelt so gross.

3.2 WIESEEBENE

Das Modellgebiet Wieseebene umfasst eine Fläche von ca. 6 km² und ist Teil des Gebietes, in dem Rhein und Wiese früher zusammenflossen (Konfluenzbereich, Abb. 3.1). Die Wiese ist ein etwa 55 km langer Mittelgebirgsfluss, der im Südwestschwarzwald am Feldberg auf circa 1200 m ü. M. entspringt und bei Basel in den Rhein mündet. Das gesamte Einzugsgebiet umfasst ca. 450 km². Geologisch befindet sich dieser Konfluenzbereich am südöstlichen Rand des Rheingrabens und besteht aus Schottern des Rheins und der Wiese. Durch die unmittelbare Nachbarschaft zu den urbanen Zentren Basel, Riehen, Weil am Rhein und Lörrach unterliegt die Wieseebene einem grossen Nutzungsdruck. Neben der Trinkwassergewinnung sind vor allem die Naherholung und, untergeordnet, die Land- und Forstwirtschaft zu nennen.

Die Wiese wurde Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts verbaut. Dadurch wurde die natürliche Dynamik bezüglich Abfluss, Strömungsverhältnissen, Mobilisierung von Sediment durch laterale Erosion und Umlagerungen im Gerinne stark reduziert. Die Intensität und Häufigkeit des Austausches von Wasser sowie gelöster und partikulärer Stoffe zwischen dem Fluss und dem Grundwasser gingen zurück. Aus wasserbaulicher Sicht ist die Wiese deshalb ein gestörtes System

que de cette couche avec un aquifère fracturé situé env. 50 m plus haut a provoqué et continue de provoquer des phénomènes de dissolution souterraine (subrosion), qui provoquent des affaissements affectant les bâtiments et les infrastructures de transport dans la région de Muttenz.

Les prélèvements dans les deux principaux aquifères par les pompages industriels et les captages d'eau potable locaux (Hardwasser AG) s'élèvent à env. 60 millions de m³/an. Une recharge artificielle de la nappe par infiltration d'eau du Rhin soutient depuis 1963 la production d'eau potable, à hauteur d'env. 30 millions de m³/an. La quantité réalimentée constitue environ le double de la quantité de prélèvement d'eau potable.

3.2 PLAINE DE LA WIESE

Le secteur de modélisation de la plaine de la Wiese présente une superficie d'env. 6 km² et fait partie de l'ancienne zone de confluence de la Wiese et du Rhin. La Wiese est une rivière de moyenne montagne de 55 km de long dont la source est située dans le sud de la Forêt Noire, près du Feldberg, à une altitude d'env. 1200 m ; elle se jette dans le Rhin à la hauteur de Bâle. Son bassin hydrographique s'étend sur env. 450 km². D'un point de vue géologique, cette zone de confluence, formée des graviers du Rhin et de la Wiese, se trouve en bordure sud-est du Fossé rhénois. De par son voisinage immédiat avec les centres urbains de Bâle, de Riehen, de Weil am Rhein et de Lörrach, cette zone subit d'énormes pressions d'exploitation. En plus de la production d'eau potable, la zone est dédiée aux activités de détente de proximité et, à un niveau moindre à l'exploitation agricole et sylvicole.

Vers la fin du XIXe et au début du XXe siècle, la Wiese a été aménagée. Ces aménagements ont fortement diminué le dynamisme naturel de l'écoulement en débit et direction, la mobilisation des sédiments par l'érosion des berges et les dépôts dans le lit majeur de la rivière. L'intensité et la fréquence des échanges d'eau et de substances dissoutes ou particulières entre la rivière et la nappe ont diminué. Du point de vue hydraulique, elle constitue ainsi un système perturbé, qui présente d'importants

und weist bezüglich ökologischer Aspekte ebenfalls grosse Defizite auf [REGLI und HUGGENBERGER 2006].

Die intensive Nutzung der Wiesebene für die Trinkwasserproduktion in der Region Basel erfordert die Anreicherung des Grundwassers mit Wasser aus Oberflächengewässern. Bis 1964 wurde Wiesewasser für diese Anreicherung verwendet. Aufgrund von Beeinträchtigungen der Qualität des Wiesewassers sind die Industriellen Werke Basel (IWB) damals auf die Versorgung ihrer Anreicherungsanlagen mit vorfiltriertem Rheinwasser umgestiegen. Heute werden ca. 2/3 der entnommenen Wassermenge in der Wiesebene künstlich angereichert. Der Rest des Zuflusses stammt aus der Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser, den Randzuflüssen aus dem Gebiet des Dinkelberges und der Grundwasserneubildung durch Niederschlag. Der Anteil an infiltrierendem Wiesewasser unterliegt starken Schwankungen. Insbesondere bei Hochwasser steigt der Anteil an Flussfiltrat.

Die Qualität des Wiesewassers hat sich seit den 1980er Jahren stark verbessert und ist heute nur noch bedingt schlechter als das für die Grundwasseranreicherung eingesetzte Rheinwasser [AMT FÜR UMWELT UND ENERGIE 1998, WÜTHRICH et al. 2003]. Durch die Anreicherung mit Rheinwasser ist die Wasserversorgung der Region Basel heute vermehrt von der Wasserqualität des Rheins abhängig.

Die Industriellen Werke Basel (IWB) versorgen eine zunehmend grösser werdende Region mit Trinkwasser. Sie decken aus der Wiesebene circa 55 % des Trinkwasserbedarfs der Stadt Basel und der Gemeinden Riehen, Bettingen und Binningen ab. Die anderen ca. 45 % des Trinkwasserbedarfs werden von der Hardwasser AG (MuttENZ-Pratteln) bezogen (vgl. Kapitel 3.1). Der Wasserverbund südliches Markgräflerland beliefert den grössten Teil seines Versorgungsgebietes von Weil am Rhein über Blansingen bis nach Wittlingen mit Wasser aus der Wiesebene. Aufgrund des Grundwasserschutzes (Schutz-zonen und Nutzungsbeschränkungen) ist die Wiesebene bis heute von

déficits du point de vue écologique [REGLI und HUGGENBERGER 2006].

L'exploitation intensive de la plaine de la Wiese en vue de la production d'eau potable dans la région bâloise nécessite la recharge artificielle de la nappe à partir des eaux de surface. Jusqu'en 1964, cette recharge a été réalisée avec l'eau de la Wiese. En raison de la dégradation de la qualité de l'eau de la Wiese, les producteurs d'eau de Bâle (IWB) sont passés à l'eau du Rhin préalablement filtrée pour alimenter leurs installations de recharge de la nappe. Actuellement, 2/3 de la quantité d'eau prélevée dans la plaine de la Wiese provient de la recharge artificielle. Le reste des apports provient de l'infiltration des eaux de surface dans la nappe, d'affluents drainés dans la région du Dinkelberg et de la recharge naturelle due aux précipitations. La proportion d'eau de la Wiese fluctue fortement. La part d'eau infiltré depuis la rivière s'accroît surtout au moment des crues.

Depuis les années 1980, la qualité de l'eau de la Wiese s'est beaucoup améliorée ; et actuellement, elle est guère inférieure à celle de l'eau du Rhin utilisée pour la recharge [AMT FÜR UMWELT UND ENERGIE 1998, WÜTHRICH et al. 2003]. Du fait de la recharge artificielle de la nappe en eau du Rhin, l'approvisionnement en eau de la région de Bâle est actuellement tributaire de la qualité de l'eau du Rhin.

Les Industrielle Werke Basel (IWB) approvisionnent en eau potable une région d'une superficie croissante. La production d'eau potable à partir de la plaine de la Wiese couvre env. 55% des besoins de la ville de Bâle et des communes de Riehen, Bettingen et Binningen. Les 45% restants sont fournis par la Hardwasser AG (MuttENZ-Pratteln) (voir également Chapitre 3.1). Le syndicat des eaux Südliches Markgräflerland approvisionne la plupart de son territoire, qui va de Weil am Rhein via Blansingen jusqu'à Wittlingen, en eau potable captée dans la plaine de la Wiese. Grâce aux mesures prises pour la protection des eaux (périmètres/zones de protection et limitations d'exploitation), la plaine de la Wiese a

einer Überbauung und intensiven landwirtschaftlichen Nutzungen verschont geblieben.

Die Forderung nach ökologischer Aufwertung der Wiese bei gleichzeitiger Gewährleistung einer sicheren Trinkwasserversorgung für die Region Basel verdeutlicht die bestehenden Probleme einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen und führt zu vermehrten Interessenkonflikten. Hinsichtlich dieser Herausforderungen ergeben sich aber erhöhte Anforderungen an Beurteilungsmethoden [REGLI und HUGGENBERGER 2006]. Dabei sind die Kenntnisse der Prozesse der Fluss-Grundwasser-Interaktion eine wesentliche Voraussetzung.

3.3 BIRSTAL

Das Untersuchungsgebiet Birstal befindet sich südlich von Basel, ist ungefähr 12 km² gross und umfasst die Gemeinden Reinach und Aesch (Abb. 3.1). Das Tal verläuft von NNE nach SSW. Der Talabschnitt Reinach-Aesch wird im Westen durch eine tektonisch bedingte Anhöhe und im Osten durch den Anstieg zum Gempenplateau (Rheintalflexur-Tafeljura) begrenzt.

Die Birs entspringt im Kanton Bern bei Tavannes und mündet nach 75 km Fliessstrecke durch das schweizerische Jura-Gebirge bei Basel in den Rhein. Das gesamte Einzugsgebiet der Birs ist 866 km² gross. Im Jahr 2005 betrug der mittlere Abfluss der Birs an der Station Münchenstein-Hofmatt 15.8 m³/s (Bundesamt für Umwelt). Durch die Grösse des Einzugsgebietes erreicht der Abfluss der Birs teilweise sehr hohe Abflussspitzen. Historisch sind Abflüsse bis 350 m³/s dokumentiert. Aus diesem Grund wurde die Birs im 19. Jahrhundert kanalisiert und begradigt. Die damit verbundene Kürzung der Fliessstrecke um den Faktor 3 bis 4 führte zu einer stärkeren Strömung. Kiesinseln, Sandbänke und Auelandschaften verschwanden, die Birssohle und der Grundwasserspiegel senkten sich ab. Damit verringerte sich auch das Speichervermögen des sehr durchlässigen quartären Schotteraquifers (maximale Grundwassermächtigkeit 14 m), dessen

pu être préservée jusqu'ici de la sur-urbanisation et d'une exploitation agricole intensive.

L'exigence d'une amélioration écologique de la Wiese, tout en pérennisant l'approvisionnement en eau potable de la région, illustre bien les problèmes dont s'accompagne la gestion durable des ressources d'eau souterraine, car les conflits d'usage se multiplient. Ces défis s'accompagnent logiquement d'exigences plus élevées en termes de méthodes d'évaluation [REGLI und HUGGENBERGER 2006]. A ce titre, une bonne connaissance des processus d'interactions entre rivières et nappe est indispensable.

3.3 LA VALLEE DE LA BIRSE

Le sous-secteur d'étude « vallée de la Birse » se situe au sud de Bâle. Il couvre env. 12 km² de superficie, à l'intérieur de laquelle se situent les communes de Reinach et de Aesch (fig. 3.1). La vallée est orientée dans le sens NNE-SSO. Le tronçon Reinach-Aesch de la vallée est délimité à l'ouest par un relief d'origine tectonique et à l'est par la remontée du Plateau de Gempen (flexure de la vallée du Rhin – Jura tabulaire).

La source de la Birse se situe dans le canton de Berne près de Tavannes ; 75 km plus loin, après avoir traversé le Jura suisse, elle se jette dans le Rhin près de Bâle. Le bassin hydrographique de la Birse s'étend sur env. 866 km². En 2005, le débit moyen de la Birse, mesuré au niveau de la station de Münchenstein-Hofmatt, était de 15.8 m³/s (Bundesamt für Umwelt). Du fait de la taille du bassin hydrographique, le débit de la Birse peut atteindre des pointes élevées en relativement peu de temps. En effet, la documentation fait état de débits historiques pouvant aller jusqu'à 350 m³/s. Aussi, la Birse a été canalisée et rectifiée au cours du XIXe siècle. Le raccourcissement du cours d'eau (facteur 3 voire 4) a été à l'origine d'un courant plus puissant. Celui-ci a entraîné la disparition des îlots de galets, des bancs de sable et des prairies alluviales ; le lit du cours d'eau s'est creusé, le niveau piézométrique de la nappe a baissé. En même temps, on a assisté à une réduction de la capacité de stockage de l'aquifère

Basis von den tertiären Rheingrabensedimenten gebildet wird. Im späten 20. Jahrhundert begannen auf Initiative des Kantons Basel-Landschaft und der Umweltschutzverbände an den ersten Birsabschnitten Revitalisierungsarbeiten mit dem Ziel, den Hochwasserschutz zu verbessern und einen natürlichen Flusslauf zu schaffen.

Die Birsebene mit dem gut durchlässigen Birschotter ist gleichzeitig Teil der Grossagglomeration Basel und umfasst ein Nebeneinander von Wohn-, Gewerbe und Industriezonen auf engstem Raum. Eines der wenigen noch unbebauten Gebiete befindet sich im Norden des Untersuchungsgebietes, das 39 ha grosse Naturschutzgebiet Reinacher Heide. Dieses Gebiet war ehemals eine Auenlandschaft und entstand, nachdem durch die Verbauung der Birs Überschwemmungen ausblieben. Die Reinacher Heide ist heute durch drei Vegetationstypen charakterisiert: Schotterflächen, Magerwiesen und die verbliebenen birsnahen Auenwaldabschnitte. Das Gebiet dient zudem als Grundwasserproduktionsgebiet aus welchem das Wasserwerk Reinach und Umgebung aus acht Fassungen Grundwasser fördert. Durch die grossen Entnahmen wurde in den 1970er Jahren im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes eine Grundwasseranreicherungsanlage errichtet, bei welcher vorfiltriertes Birswasser versickert wird. Oberflächenwasser infiltriert auch an mehreren Stellen des Untersuchungsgebietes ins Grundwasser und ist ein wesentlicher Bestandteil der indirekten Grundwasserneubildung. Durch die birsnahe Lage einzelner Wasserfassungen im Gebiet der Reinacher Heide können insbesondere bei Hochwasser Grundwasserverunreinigungen durch Trübung, Bakterien und aerobe mesophile Keime festgestellt werden. Auch in diesem Teilgebiet spielen die Kenntnisse der Fluss-Grundwasser-Interaktion eine wesentliche Rolle bei der Erarbeitung von Massnahmen zur nachhaltigen Sicherung von Grundwasserressourcen.

des graviers très perméable (épaisseur maximale de la nappe : 14 m), dont la base est formée de sédiments du Fossé rhénan datant du Tertiaire. Vers la fin du XIXe, des travaux de renaturation ont été entrepris sur les premiers tronçons de la Birse, à l'initiative des cantons de Bâle-Campagne et des associations de protection de la nature, afin d'améliorer la protection contre les crues et de réaménager un cours d'eau naturel.

La plaine de la Birse, caractérisée par les graviers très perméables de la Birse, fait partie intégrante de la grande agglomération de Bâle ; elle constitue une mosaïque très exiguë de zones résidentielles, commerciales et industrielles. L'une des rares zones non encore construites se situe au nord de ce sous-secteur d'étude, à savoir la réserve naturelle Reinacher Heide, d'une superficie de 39 ha. C'est une ancienne prairie alluviale, préservée par l'aménagement hydraulique (rectification) de la Birse et la disparition des inondations. La réserve de la Reinacher Heide se caractérise actuellement par trois formes de végétation : surfaces caillouteuses, prairies maigres et quelques rares zones de prairies alluviales humides en bordure de la Birse. Par ailleurs, la réserve sert de zone de captage d'eau souterraine avec huit puits exploités par l'usine de Reinach et environs. En raison de l'importance des prélèvements, on a construit à la fin des années 70 une installation de recharge artificielle dans la partie sud du secteur d'étude, qui fonctionne avec de l'eau de la Birse préalablement filtrée. Par ailleurs, de l'eau de surface s'infiltré de manière naturelle à différents endroits du secteur d'étude ; cette infiltration contribue largement à la recharge indirecte de la nappe. Grâce à la position très proche de la Birse de différents forages d'eau potable sur le secteur de la réserve Reinacher Heide, on a pu constater, notamment au moment de situations de crues, des cas de pollution de la nappe en termes de turbidité, de présence de bactéries et de germes aérobies mésophiles. Dans ce sous-secteur, l'interaction nappe-rivière joue un rôle essentiel pour la mise au point des mesures pour la protection durable de la ressource en eau souterraine.

4 Geologisch-Hydrogeologische Verhältnisse

Situation géologique et hydrogéologique

Die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse in den drei Teilgebieten unterscheiden sich bedingt durch ihre Lage zur Rheintalflexur und bedingt durch die geologisch-tektonischen Verhältnisse (Abb. 4.1). Die Teilgebiete liegen im Übergangsbereich des Hochrheins in der Oberrheinische Tiefebene. Das Hochrheintal östlich von Basel bildet eine relativ schmale Erosionsrinne des eiszeitlichen Rheins, in die leicht nach Südosten abtauchenden Gesteine des Tafeljuras und des Sedimentmantels von Schwarzwald und Vogesen. Am Übergang zur Oberrheinischen Tiefebene verlässt der Rhein den Tafeljura und erreicht den Oberrheingraben mit seiner prominenten tertiären und quartären Füllung des zwischen Schwarzwald und Vogesen eingesunkenen Grabens.

Die beiden Teilgebiete **Wiese** und **Birstal** liegen am südöstlichen Ende und noch innerhalb des Rheingrabens, das Gebiet **Muttentz-Pratteln** hingegen liegt ausserhalb des Rheingrabens, im Gebiet des Tafeljuras.

La situation géologique et hydrogéologique dans les trois sous-secteurs varie en fonction de leur situation respective par rapport à la flexure de la vallée du Rhin et en fonction de leur situation géologique et tectonique respective (fig. 4.1). Les sous-secteurs se situent à la charnière entre le Rhin amont et la plaine du Rhin supérieur. La vallée du Rhin amont à l'est de Bâle forme un chenal d'érosion relativement étroit du Rhin de l'époque glaciaire, creusé dans les couches, légèrement plongeantes vers le S-E, du Jura tabulaire, qui forment la couverture sédimentaire de la Forêt Noire et des Vosges. Au débouché dans la plaine du Rhin supérieur, le Rhin quitte le Jura tabulaire et débouche dans le Fossé rhénan effondré entre les massifs de la Forêt Noire et des Vosges et rempli de dépôts tertiaires et quaternaires.

Les deux sous-secteurs de la **Wiese** et de la **vallée de la Birse** se situent en limite sud-est, mais encore à l'intérieur du Fossé rhénan, tandis que le sous-secteur de **Muttentz-Pratteln** se situe à l'extérieur du Fossé rhénan, dans le périmètre du Jura tabulaire.

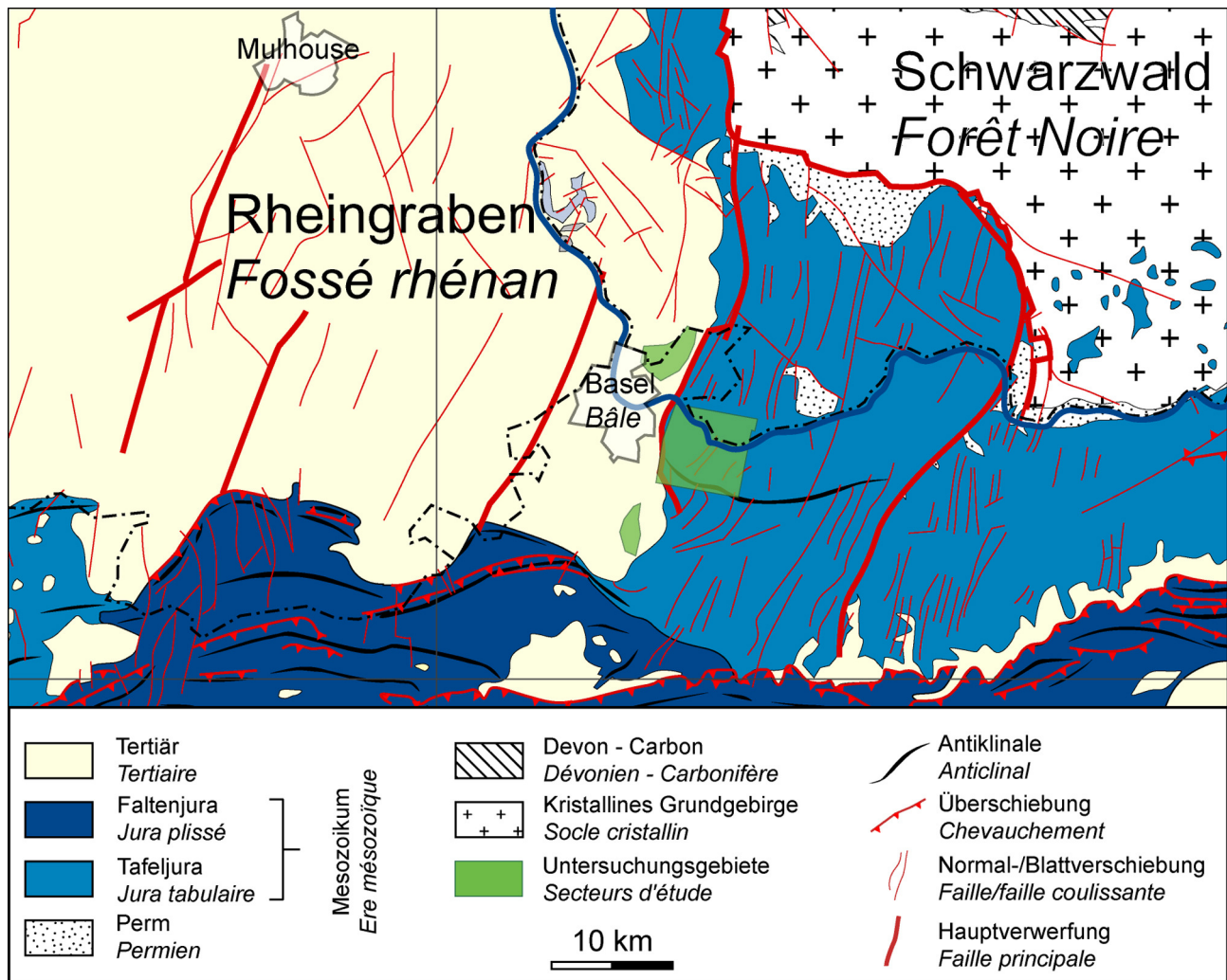


Abbildung 4.1: Geologische Übersicht mit der Lage der Teilgebiete
 Figure 4.1: Carte géologique et situation des sous-secteurs

Im Hochrheintal (östlich der Rheintalflexur) fließt der Rhein in quartären Schottern, die teilweise von an die Oberfläche reichenden Felsschwellen unterbrochen werden, im Oberrheingraben (westlich der Rheintalflexur) hingegen praktisch nur noch in quartären Schottern.

Das derzeitige Grundwasserregime im Oberrheingraben wird durch die Topographie der Felsoberfläche, die als Grundwasserstauer wirkt, den Verlauf alter, teilweise stärker durchlässiger Flussrinnen und durch die Wasserführung des Rheins bestimmt. Durch die Stauhaltungen variiert der Wasserpegel des Rheins bedeutend weniger als in seinem ursprünglichen Zustand.

Im Gebiet des Tafeljuras fließt Grundwasser im Schottergrundwasserleiter und im Kluft- bzw. Karstgrundwasserleiter (geologische Einheiten des

Dans la vallée du Rhin amont (à l'est de la flexure de la vallée du Rhin), le lit du Rhin est formé de graviers quaternaires, entrecoupés par endroits de seuils rocheux, tandis que sur son parcours dans le Fossé du Rhin supérieur (à l'ouest de la flexure), on ne trouve pratiquement plus que des graviers quaternaires.

Le régime actuel d'écoulement de la nappe dans le Fossé rhénan est déterminé par la topographie du substratum rocheux limitant l'aquifère, par le cours d'anciens chenaux, en partie plus perméables, et par le débit du Rhin. Du fait de l'aménagement de barrages sur le Rhin, la ligne d'eau du Rhin varie nettement moins que cela n'aurait été le cas dans son état d'origine.

Dans le périmètre du Jura tabulaire, la nappe s'écoule dans l'aquifère des graviers et dans l'aquifère fracturé et karstique (unités géologiques

Hauptmuschelkalkes und des Trigonodusdolomits). Das regionale Grundwasserregime im tieferen Grundwasserstockwerk wird wesentlich durch NNE-SSW verlaufende Horst- und Grabenstrukturen beeinflusst.

Sowohl die Mächtigkeiten der quartären Schotter, als auch die Grundwassermächtigkeiten und der Flurabstand zeigen in den drei Gebieten **Muttentz-Pratteln**, **Wieseebene** und **Birstal** deutliche Unterschiede (Tab. 4.1). So sind die grössten Schottermächtigkeiten (50 m) im Gebiet Muttentz-Pratteln, die kleinsten Schottermächtigkeiten (20 m) im Gebiet Wieseebene zu finden. In der Wieseebene und im Birstal findet man maximale Grundwassermächtigkeiten zwischen 12 und 13 m, was im Vergleich mit dem Gebiet Muttentz-Pratteln (32 m) weniger als die Hälfte ist. Das Gebiet Birstal weist mit 29 m den grössten Flurabstand auf.

du Muschelkalk et de la Dolomie à Trigonodus). Le régime régional d'écoulement de la nappe dans l'aquifère profond est essentiellement tributaire de la structure en horsts et grabens orientés NNE-SSO.

Les épaisseurs des dépôts de graviers quaternaires, comme les hauteurs de zone saturée et la profondeur de la nappe présentent, dans les trois sous-secteurs d'étude **Muttentz-Pratteln**, **plaine de la Wiese** et **vallée de la Birse**, des différences marquées (Tab. 4.1). Ainsi, on trouve la plus grande épaisseur d'alluvions (50 m) dans le sous-secteur de Muttentz-Pratteln, contre la plus petite épaisseur (20 m) dans le sous-secteur de la plaine de la Wiese. Les zones saturées dans la plaine de la Wiese et dans la vallée de la Birse sont respectivement de 12 et de 13 m, soit inférieures de plus de moitié à celle du sous-secteur Muttentz-Pratteln (32 m). La profondeur de la nappe est maximale dans le sous-secteur de la vallée de la Birse, avec 29 m.

Tabelle 4.1: Übersicht über die Schottermächtigkeit, die Grundwassermächtigkeit und den Flurabstand in den einzelnen Teilgebieten bezogen auf den quartären Schotterkörper

Tableau 4.1: Récapitulatif de l'épaisseur respective des alluvions, de l'épaisseur mouillée et de la profondeur de la nappe dans les différents sous-secteurs, pour l'aquifère des graviers quaternaires.

	Schottermächtigkeit Epaisseur des graviers [m]		Grundwassermächtigkeit Epaisseur de la zone saturée [m]		Flurabstand Profondeur de la nappe [m]	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Muttentz-Pratteln	0	50	0	32	5	20
Wieseebene / Plaine de la Wiese	7	20	5	12	4	6
Birstal / Vallée de la Birse	0	36	0	13	1	29

Die Durchlässigkeit der quartären Schotter (GW-Leiter 1) in den drei Gebieten **Muttentz-Pratteln**, **Wieseebene** und **Birstal** ist im Allgemeinen sehr hoch (Tab. 4.2) und erreicht maximal 1.0E-2 m/s. Es zeigt sich jedoch, dass in den Rheinschottern auch Abschnitte mit geringer durchlässigen Schichten vorzufinden sind (k_f -Werte 3.6E-6 m/s). Dies gilt auch für den Kluftaquifer (GW-Leiter 2) des Gebietes Muttentz-Pratteln.

La perméabilité des graviers quaternaires (aquifère 1) dans les trois sous-secteurs **Muttentz-Pratteln**, **plaine de la Wiese** et **vallée de la Birse** est généralement très élevée (Tab. 4.2), culminant à 1.0E-2 m/s. Il s'avère cependant que les alluvions du Rhin présentent localement des couches moins perméables (perméabilité de l'ordre de 3.6E-6 m/s). Il en est de même de l'aquifère fracturé (aquifère 2) du sous-secteur Muttentz-Pratteln.

Tabelle 4.2: Übersicht über die k_f -Werte der Grundwasserleiter in den einzelnen Teilgebieten
 Tabelle 4.2: Récapitulatif des perméabilités des aquifères dans les différents sous-secteurs.

	k _f -Werte / perméabilité [m/s]	
	Minimum	Maximum
Muttenz-Pratteln		
GW-Leiter / aquifère 1	3.6E-6	1.4E-2
GW-Leiter / aquifère 2	3.0E-7	2.3E-2
Wieseebene / Plaine de la Wiese		
GW-Leiter / aquifère	3.0E-3	7.5E-3
Birstal / Vallée de la Birse		
GW-Leiter / aquifère	3.0E-3	1.0E-2

4.1 MUTTENZ-PRATTELN

Der geologische Schichtaufbau des Gebietes Muttenz-Pratteln umfasst die klassischen Einheiten des Tafeljuras, vom Wellengebirge bis Opalinuston. Über einer erosiven Kontaktfläche folgen quartäre Schotter des Hochrheins (Abb. 4.1.1).

4.1 MUTTENZ-PRATTELN

La structure géologique du sous-secteur Muttenz-Pratteln comprend les unités classiques du Jura tabulaire, depuis le Wellengebirge jusqu'à l'argile à Opalinus. Les graviers quaternaires du Rhin amont les surmontent par contact érosif (fig. 4.1.1).

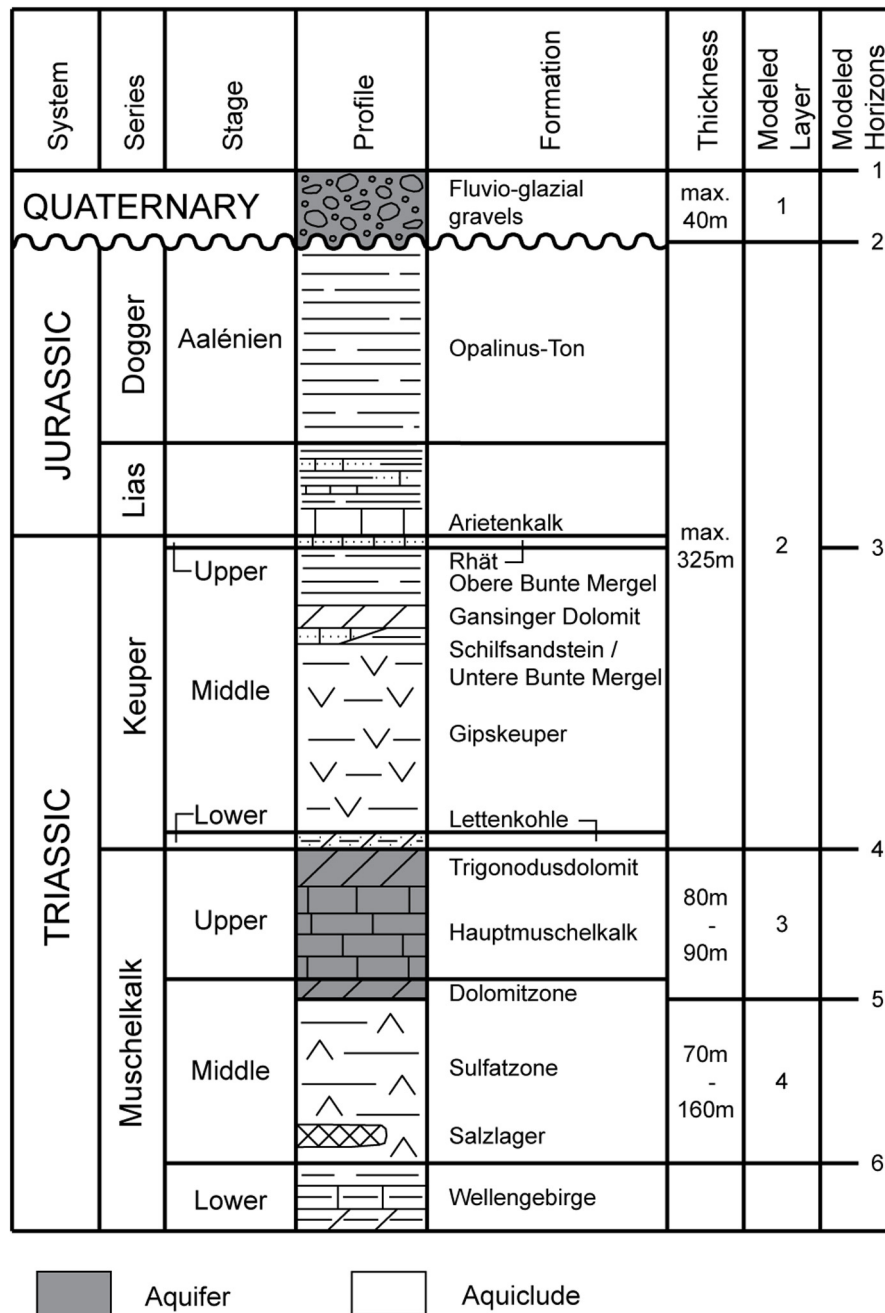


Abbildung 4.1.1: Lithostratigraphie und Hydrostratigraphie des Untersuchungsgebiets Muttentz-Pratteln (SPOTTKE et al. 2005)
 Figure 4.1.1: Lithostratigraphie et hydrostratigraphie du sous-secteur d'étude Muttentz-Pratteln (SPOTTKE et al. 2005)

Strukturell dominieren NNE-SSW orientierte Horst- und Grabenstrukturen und als östliche Begrenzung die Rheingrabenrandverwerfung (Abb. 4.1, Abb. 4.1.2). Die Grabenstrukturen werden von listrisch flach auslaufenden Abschiebungen begrenzt [SPOTTKE et al. 2005]. Die Horststrukturen zwischen den Gräben fallen leicht nach SE ein. Im Norden und im Süden des Gebietes verlaufen zwei steil einfallende Abschiebungen von Ost nach West und trennen somit diese Bruchscholle des Tafeljuras von weiteren ab. Die Störungen beeinflussen die

D'un point de vue structural, ce sont les horst et grabens orientés NNE-SSO qui dominent ; à l'est, le secteur d'étude est délimité par la faille principale formant le bord du Fossé rhénan (fig. 4.1, fig. 4.1.2). Les grabens sont délimités par des failles listriques [SPOTTKE et al. 2005]. Les horsts entre les grabens plongent légèrement vers le SE. Au nord et au sud du secteur d'étude se situent deux failles subverticales, orientées d'est en ouest, qui séparent ces compartiments du Jura tabulaire. Il en résulte des perturbations de l'écoulement de la

Grundwasserströmung vor allem im Kluftaquifer: einerseits am äusseren Gebietsrand durch Abschiebungen, welche den Aquifer vollständig versetzen, andererseits innerhalb des Gebietes durch einen bevorzugten Grundwasseraustausch entlang den NNE-SSW verlaufenden Grabenstrukturen. Die vorherrschenden lithostratigraphischen Einheiten reichen von der Mittleren Trias bis in den Unteren Dogger (Abb. 4.1.1). Darüber liegen diskordant die quartären Rheinschotter. Durch den komplexen erosiven Kontakt der mesozoischen Sedimente mit dem Quartär, stehen mesozoische Einheiten mit unterschiedlichen hydraulischen Leitfähigkeiten in Kontakt mit den stark durchlässigen, quartären Schottern.

Die geklüfteten und teilweise verkarsteten Formationen von Dolomitzone, Hauptmuschelkalk und Trigonodusdolomit bilden einen regional bedeutsamen Kluftaquifer. Eine Kompilation aus 23 Pumpversuchen ergab eine mittlere hydraulische Leitfähigkeit (k_f) des Aquifers von $1.3E-4$ m/s bei einer Standardabweichung von $4.9E-3$ m/s (SALADIN 2004). Zusammen mit einer Mächtigkeit von 50-80 m resultieren Transmissivitäten in der Grössenordnung von bis zu $1.0E-1$ m²/s. Die darüber liegenden Sedimente des Keupers, Lias, und Unteren Doggers gelten als Grundwasserstauer mit geschätzten k_f -Werten zwischen $1.0E-14$ m/s und $1.0E-7$ m/s. Diese Einheiten sind in den tektonischen Gräben, sowie im südöstlichen Gebietsabschnitt erhalten (Abb. 4.1.2). Hier wirken die Mergel und Tone des Keupers als intermediärer Aquitard zwischen Kluft- und Schotteraquifer, wobei die Aquitard-Mächtigkeit, bedingt durch das Einfallen der Formationen nach Südosten sowie durch den Anstieg der Topographie südlich des Hochrheintals, gegen SE zunimmt. Im NW des Gebiets sind die beiden Grundwasserleiter direkt miteinander verbunden. Die quartären alluvialen Rheinschotter sind im nördlichen Muttentz bis Schweizerhalle, den rheinnahen Gebieten von Grenzach und dem nördlichen Pratteln grundwassergesättigt. Die mittleren Mächtigkeiten des quartären Aquifers variieren zwischen 10 und 20 m, vereinzelt reichen sie aber in Gebieten vertiefter Quartärbasis (Abb.

nappe essentiellement au niveau de l'aquifère fracturé : d'une part, les failles situées en bordure extérieure du secteur ont provoqué une discontinuité de l'aquifère ; d'autre part, on note un échange privilégié entre les nappes le long des grabens orientés NNE-SSO. Les unités lithostratigraphiques dominantes vont du Trias moyen jusqu'au Dogger inférieur (fig. 4.1.1). Celles-ci sont surmontées d'une formation discordante de graviers quaternaires du Rhin. Du fait du contact érosif et complexe des sédiments mésozoïques avec le Quaternaire, des unités mésozoïques de perméabilité variable se trouvent au contact des alluvions quaternaires extrêmement perméables.

Les formations fracturées voire karstiques de la Zone dolomitique, du Muschelkalk principal et de la Dolomie à Trigonodus constituent un aquifère fracturé significatif sur le plan régional. Une compilation de 23 essais de pompage a permis de calculer la moyenne de la conductivité hydraulique (k_f) de l'aquifère à $1.3E-4$ m/s, avec un écart type de $4.9E-3$ m/s (SALADIN 2004). Cela, combiné à une épaisseur de 50-80 m, entraîne des valeurs de transmissivité pouvant aller jusqu'à $1.0E-1$ m²/s. Les sédiments sus-jacents des formations du Keuper, du Lias, et du Dogger inférieur sont des couches non productives (aquicludes) avec des valeurs de k_f estimée de $1.0E-14$ m/s jusqu'à $1.0E-7$ m/s. Ces unités sont préservées dans les grabens ainsi que dans la partie sud-est du secteur d'étude (figure 4.1.2). Ici, les marnes et les argiles du Keuper forment un aquifère semi-perméable (aquitard) intermédiaire entre les aquifères fracturé et alluvionnaire, dont l'épaisseur, déterminée par le pendage des formations vers le sud-est et par la remontée de la topographie au sud de la vallée du Rhin amont, s'accroît progressivement en direction du sud-est. En revanche, dans la partie nord-ouest du secteur d'étude, les deux aquifères sont directement connectés. Les alluvions quaternaires du Rhin sont saturées en eau dans le secteur nord de Muttentz jusqu'à Schweizerhalle, de même qu'en bordure du Rhin entre Grenzach et la partie nord de Pratteln. L'épaisseur moyenne de l'aquifère

4.1.3) bis über 30 m tief. Für die Schotter wurde aufgrund von 56 Pumpversuchen ein mittlerer k_f -Wert von $3.1E-3$ m/s ermittelt (Standardabweichung von $3.0E-3$; SALADIN 2004).

quaternaire varie entre 10 et 20 m, pouvant atteindre jusqu'à plus de 30 m dans les secteurs présentant un substratum plus profond (fig. 4.1.3). Une série de 56 essais de pompage a permis d'obtenir une perméabilité k_f moyenne de $3.1E-3$ m/s pour les alluvions quaternaires (écart type : $3.0E-3$; SALADIN 2004).

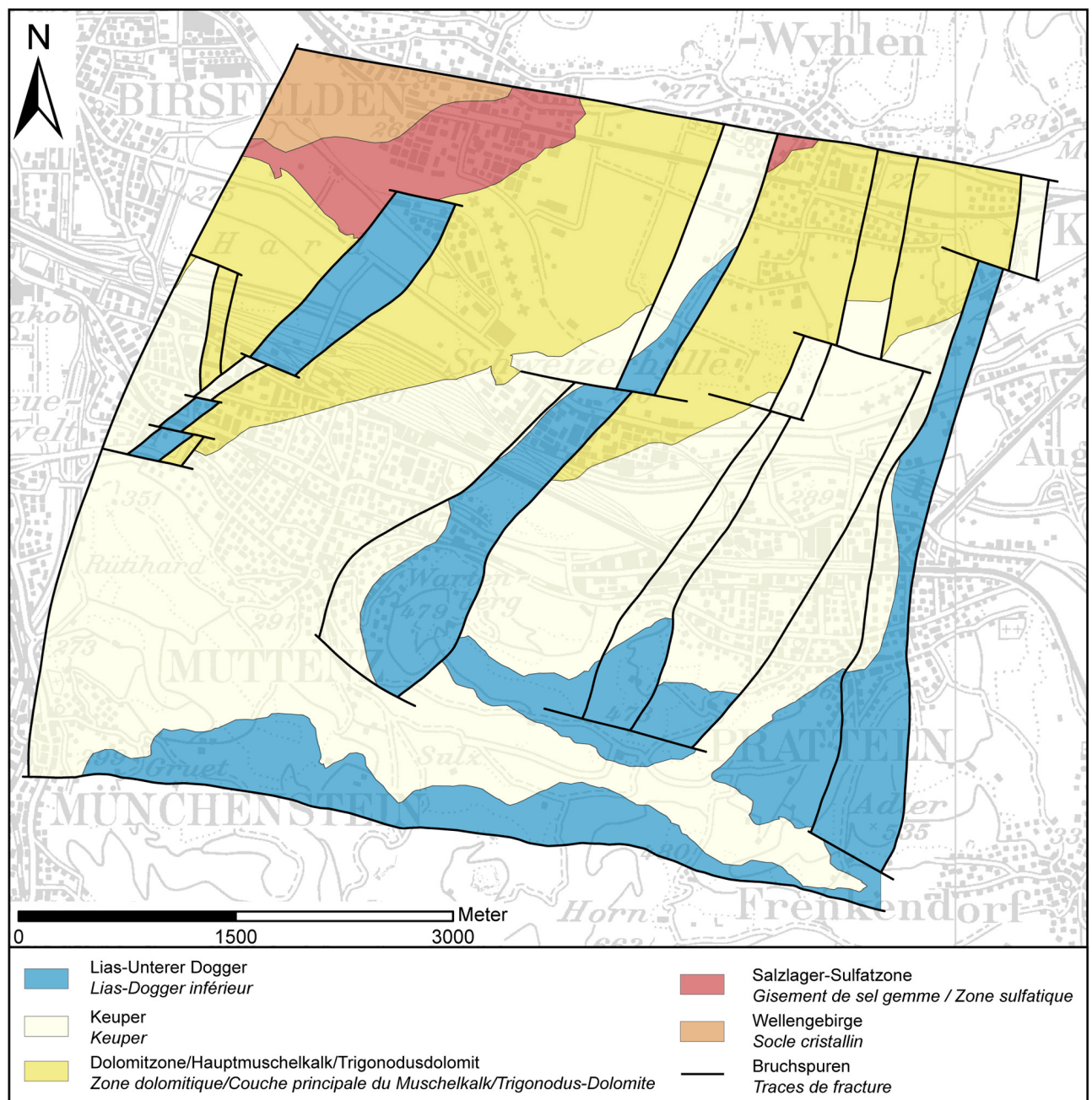


Abbildung 4.1.2: Von quartären Lockergesteinen abgedeckte geologische Karte des Teilgebietes Muttenz-Pratteln
 Figure 4.1.2: Carte géologique des formations recouvertes par les alluvions quaternaires du sous-secteur Muttenz-Pratteln

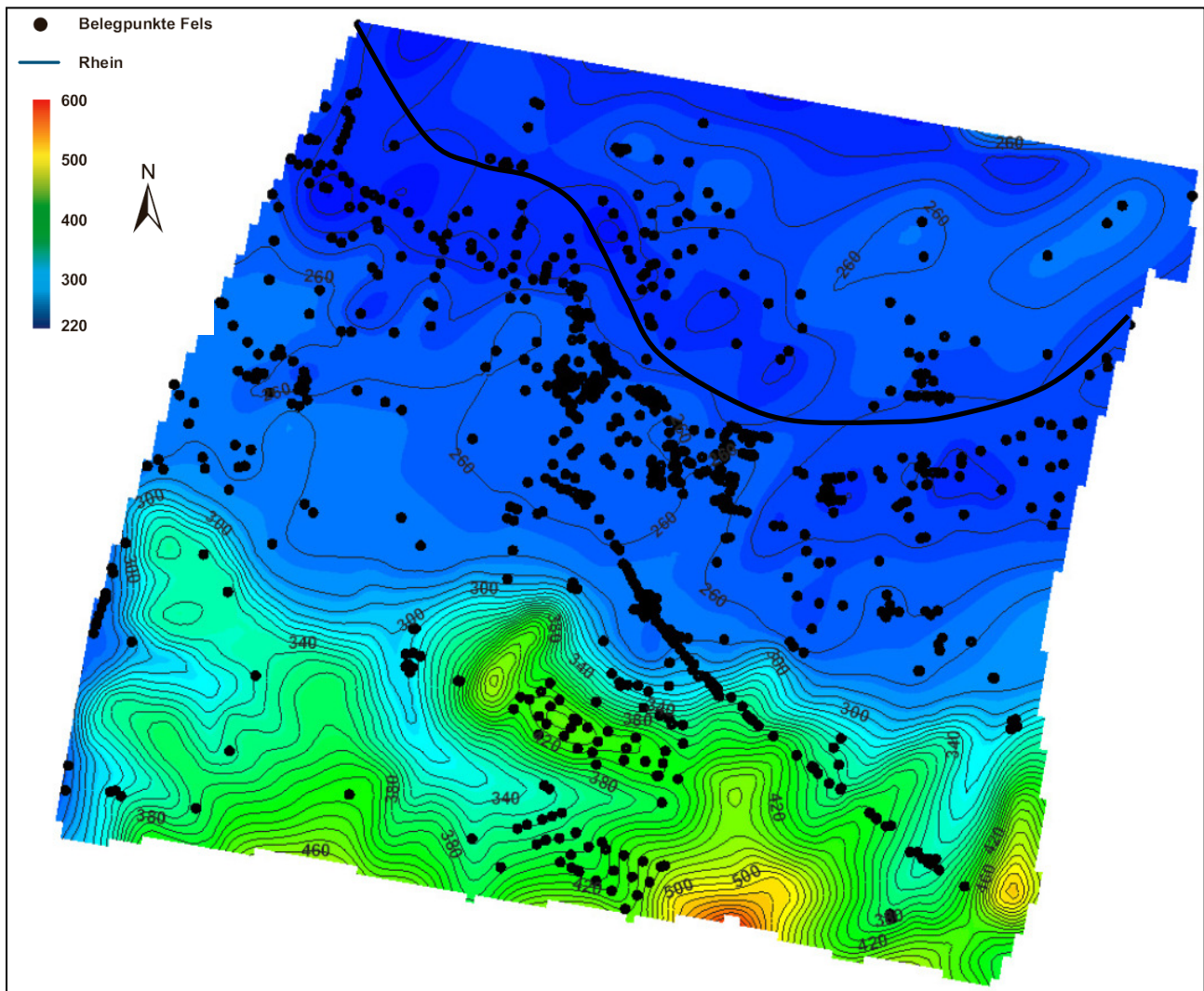


Abbildung 4.1.3: Quartärbasis im Projektgebiet Muttenz-Pratteln (mit Belegpunkten)
 Figure 4.1.3: Carte du substratum du secteur d'étude Muttenz-Pratteln (avec points d'observation)

4.2 WIESEEBENE

Der Lockergesteinsaquifer der Wieseebene weitet sich bei Lörrach gegen Südenwesten fächerförmig auf. Im Südosten wird er durch den Dinkelberg und im Norden durch den Tüllinger Hügel begrenzt. Der ungespannte Aquifer besteht hauptsächlich aus holozänen, sandigen Schottern des Rheins und der Wiese, wobei die Wieseschotter auf den Rheinschottern auflagern oder mit ihnen verzahnt sind. Die grauen, kalkhaltigen, groben und sandreichen Rheinschotter stammen aus dem schweizerischen, alpinen und mittelländischen Einzugsgebiet; die rötlichbraunen, silikatischen, feineren Wieseschotter aus dem Schwarzwald [ZECHNER 1996]. Grundwasserstauer (Aquitard) und zugleich Quartärbasis (Abb. 4.2.1) sind oligozäne Tone und Mergel (Tüllingerschichten, Melettaschichten, Elsässermolasse und Cyrenmergel).

4.2 LA PLAINE DE LA WIESE

Près de Lörrach, l'aquifère alluvial de la plaine de la Wiese s'élargit en éventail en direction du sud-ouest. Au sud-est, il est limité par le Dinkelberg, et au nord par la colline Tüllinger Hügel. L'aquifère libre est essentiellement constitué de graviers sableux holocènes du Rhin et de la Wiese, ces derniers surmontant ou s'imbriquant dans ceux du Rhin. Les graviers gris, calcaires, grossiers et sableux du Rhin proviennent du bassin d'alimentation alpin et du Plateau suisse ; les graviers brun-rouge, siliceux et plus fins de la Wiese en revanche proviennent de la Forêt Noire [ZECHNER 1996]. Le substratum formant la base du Quaternaire, est constitué d'argiles et de marnes oligocènes (fig. 4.2.1) (Couches de Tüllingen, Couches à Meletta, Molasse alsacienne et Marnes à Cyrènes).

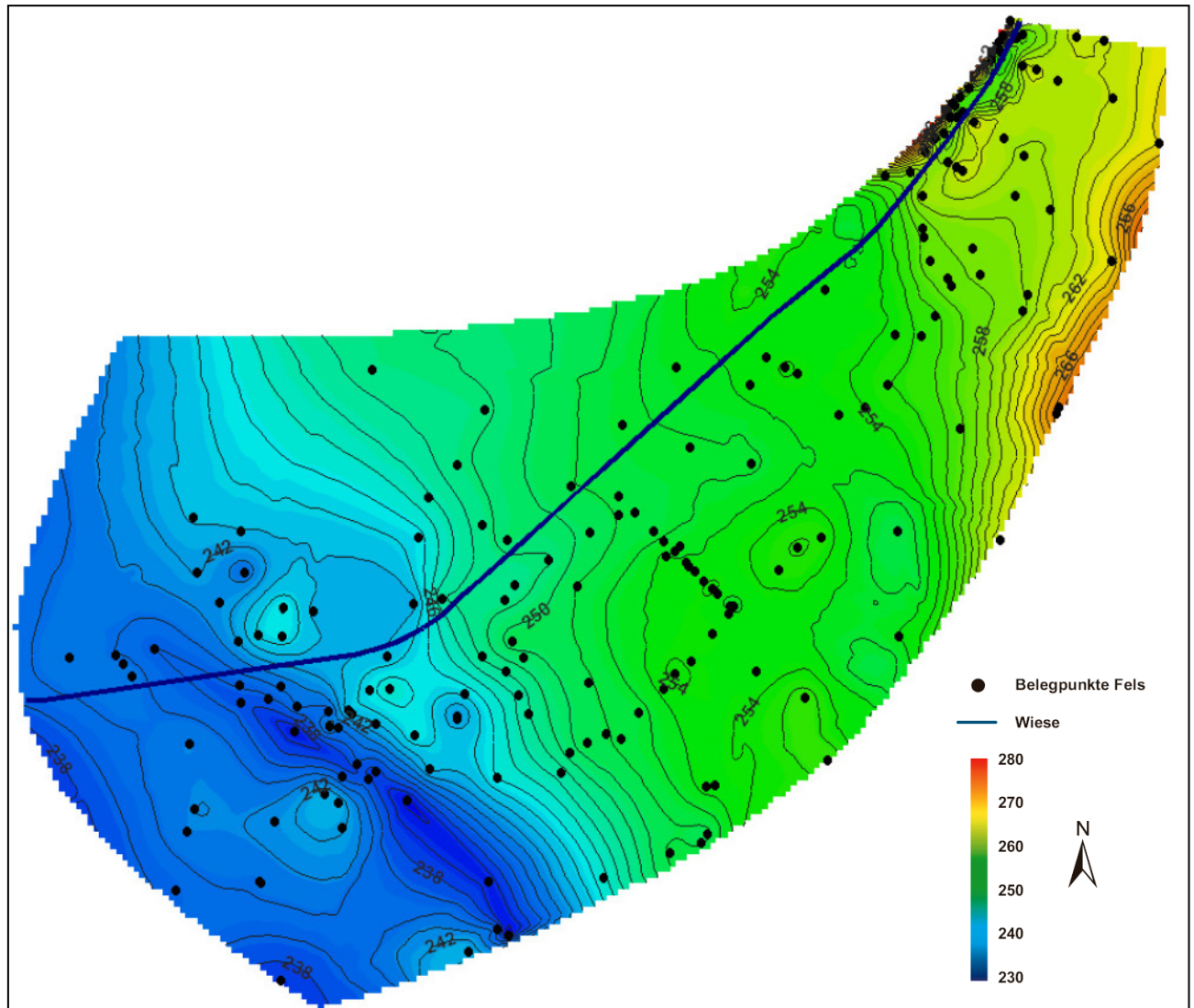


Abbildung 4.2.1: Quartärbasis im Projektgebiet Wieseebene (mit Belegpunkten)
 Figure 4.2.1: Carte du substratum du secteur d'étude plaine de la Wiese (avec points d'observation)

Die Mächtigkeit des Schotterkörpers über der Quartärbasis variiert zwischen 7 und 20 m, die Grundwassermächtigkeit beträgt 5 bis 12 m und der Flurabstand liegt meistens zwischen 4 und 6 m. Im Bereich der Anreicherungsfelder steigt der Grundwasserspiegel zuweilen bis weniger als 3 m unter die Erdoberfläche an.

Die aus Pumpversuchen ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten (k_f -Werte) für den Schotteraquifer liegen im Bereich von $3.0E-3$ bis $7.5E-3$ m/s, die ermittelten nutzbaren Porositäten (n_{eff}) schwanken zwischen 0.08 und 0.15. Die k_f -Werte der Quartärbasis werden dagegen auf $1.0E-7$ bis $1.0E-8$ m/s geschätzt und als undurchlässig bezeichnet [ZECHNER 1996].

L'épaisseur des alluvions au-dessus du substratum varie entre 7 et 20 m, l'épaisseur de la nappe entre 5 et 12 m et la profondeur de la nappe est généralement comprise entre 4 et 6 m. Dans le périmètre des zones de recharge artificielle de la nappe, le niveau piézométrique de cette dernière monte par endroits à moins de 3 m sous la surface du sol.

La perméabilité obtenue à la faveur d'essais de pompage (coefficients de perméabilité k_f) dans les graviers varie entre $3.0E-3$ et $7.5E-3$ m/s, tandis que la porosité efficace (n_{eff}) varie entre 0.08 et 0.15. En revanche, la perméabilité k_f du substratum est estimée entre $1.0E-7$ et $1.0E-8$ m/s, et il est donc considéré comme imperméable [ZECHNER 1996].

Im Birstal lagern quartäre Schotter auf oligozänen Sedimenten (Meletta-Schichten, Elsässer Molasse, Cyrenenmergel), welche sowohl den Grundwasserstauer als auch die Quartärbasis bilden. Die Topographie der Quartärbasis zeigt eine erosive Rinnenstruktur (Abbildung 4.3.1), welche eine Hochzone umgibt.

Dans la vallée de la Birse, les graviers quaternaires reposent sur des sédiments oligocènes (Couches à Meletta, Molasse alsacienne et Marnes à Cyrènes), formant un aquiclude et le substratum. La topographie du substratum présente une morphologie de chenal d'érosion (fig. 4.3.1) entouré une zone surélevée.

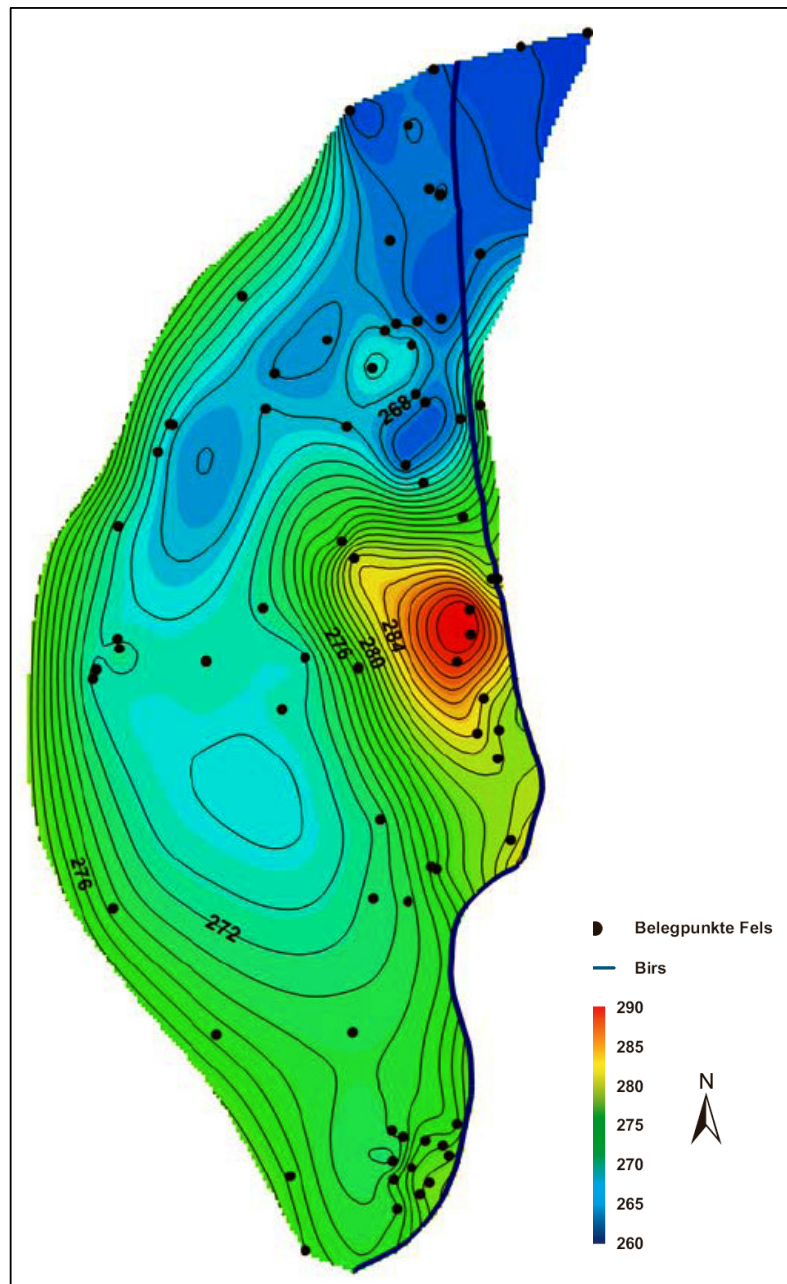


Abbildung 4.3.1: Quartärbasis im Projektgebiet Birstal (mit Belegpunkten)
 Abbildung 4.3.1: Carte du substratum du secteur d'étude vallée de la Birse (avec points d'observation)

Die quartäre Schotterfüllung besteht hauptsächlich aus Niederterrassenschottern aus dem Jura (Birsschotter). Randlich treten vereinzelt auch Hochterrassenschotter auf. Die Birsschotter bestehen hauptsächlich aus hellen Malmkalken, bräunlichen Oolithen und grauen Kalken des Lias und Muschelkalkes. Die Gerölle sind unterschiedlich stark gerundet, das Schichtgefüge variiert zwischen schlecht und sehr gut sortiertem Kies mit teilweise verlehmtem Porenraum. Die quartären Schotter bilden einen bis zu 36 m mächtigen Grundwasserleiter, dessen hydraulische Leitfähigkeit zwischen $3.0E-3$ m/s und $1.0E-2$ m/s variiert. Die Grundwassermächtigkeit beträgt bis zu 13 m, bei einem maximalen Flurabstand von 29 m. Im Gebiet der Anreicherungsanlage Aesch (siehe Kapitel 6.3 Grundwassernutzungen) ist die Grundwassermächtigkeit durch die künstliche Anreicherung um etwa 2 m höher.

Le remplissage de graviers quaternaire est essentiellement composé de graviers des terrasses inférieures du Jura (graviers de la Birse). Marginalement, on rencontre également du gravier des terrasses supérieures. Les alluvions de la Birse sont essentiellement constituées de calcaires clairs du Malm, de calcaires oolithiques bruns et de calcaires gris du Lias et du Muschelkalk. Les éléments sont de forme plus ou moins arrondie et le classement va de mauvais à très bon, les pores sont en partie colmatés par de l'argile. Les alluvions quaternaires forment un aquifère d'une épaisseur pouvant aller jusqu'à 36 m, dont la conductivité hydraulique varie entre $3.0E-3$ m/s et $1.0E-2$ m/s. L'épaisseur de la nappe peut atteindre jusqu'à 13 m pour une profondeur maximale de nappe de 29 m. Dans le périmètre de l'installation de recharge artificielle de la nappe de Aesch (voir Chapitre 6.3 Exploitation des eaux souterraines), l'épaisseur de la nappe augmente d'environ 2 m.

5 Hydrologie der Region Basel

Hydrologie de la région de Bâle

Die für die Prognoseinstrumente relevanten hydrologischen Daten werden nicht nach Teilgebieten, sondern für alle Teilprojekte zusammen dargestellt. Eine Gliederung in Grundwasserneubildung und Oberflächengewässer ermöglicht einen raschen Überblick über die wichtigsten hydrologischen Basisdaten. Die einzelnen Schritte bei der Abschätzung von Grundwasserneubildung und Grundwasserabfluss werden erörtert und die Resultate im Überblick dargestellt und diskutiert. Die Grundwasserneubildung und der Gesamtabfluss wurden für das gesamte INTERREG-Gebiet aufgrund der verfügbaren meteorologischen und hydrologischen Daten mit dem am Institut für Hydrologie der Universität Freiburg entwickelten und von der GIT HydroS Consult GmbH erweiterten hydrologischen Modell GWN-BW (Grundwasserneubildung-Baden-Württemberg) ermittelt (Teilprojektbericht Grundwasserströmung und Nitrattransport). Angaben zu den einzelnen Stationen im Bereich der Schweizer Modellgebiete werden tabellarisch aufgeführt. Aufgrund des Projektschwerpunktes Fluss-Grundwasser-Interaktion wird die flächenhafte Grundwasserneubildung durch Niederschlag und durch seitliche Randzuflüsse in Beziehung zum Anteil der Grundwasserneubildung durch Gewässerinfiltration gesetzt.

In der Region Basel (inklusive den Teilgebieten **MuttENZ-Pratteln**, **Wieseebene** und **Birstal**) wird das natürliche hydrologische System (Grundwasserneubildung und Oberflächenabfluss) durch eine Vielzahl von Einflüssen überlagert. Neben verbauten Fließgewässern und unterschiedlichsten Grundwassernutzungen, ist der urbane Raum charakterisiert durch einen hohen Anteil an versiegelten Flächen verbunden mit einer verringerten Grundwasserneubildung und einem für städtische Gebiete typischen Siedlungswasserabflussregime bei Hochwasser.

Les données hydrologiques ayant un impact sur les outils de prévision n'ont pas été illustrées par sous-secteur, mais d'une manière globale pour l'ensemble des trois sous-secteurs. La répartition en recharge de la nappe d'une part et infiltration d'eaux de surface de l'autre, permet de visualiser rapidement les principales données de base hydrologiques. Suit un exposé des différentes étapes ayant permis d'estimer la recharge et l'écoulement de la nappe, suivi d'un récapitulatif et d'une discussion des résultats. La recharge et le débit total de la nappe ont été déterminés pour l'ensemble du secteur d'étude INTERREG sur la base des données météorologiques et hydrologiques disponibles, à l'aide du modèle hydrologique GWN-BW (Recharge de la Nappe Bade-Wurtemberg) mis au point par l'Institut d'hydrologie de l'Université de Fribourg (D) et perfectionné par la société GIT HydroS Consult GmbH (*cf.* sous-projet « Modélisation hydrodynamique et transport des nitrates »). Les données, ventilées par stations dans le périmètre de modélisation suisse, seront récapitulées sous forme de tableaux. En raison du choix de l'axe principal du projet, à savoir l'interaction nappe-rivière, la recharge globale de la nappe liée aux précipitations et aux apports latéraux est comparée à la proportion de recharge par voie d'infiltration des eaux de surface.

Dans la région de Bâle (y compris dans les sous-secteurs **MuttENZ-Pratteln**, **plaine de la Wiese** et **vallée de la Birse**), le système hydrologique naturel (recharge de la nappe et drainage par les eaux de surface) subit un certain nombre d'influences extérieures. En plus du degré d'aménagement des cours d'eau et de la diversité d'exploitation des eaux souterraines, l'espace urbain se caractérise par une fraction considérable de surfaces imperméabilisées, ce qui entraîne une réduction de la recharge et un régime de débit typique des zones résidentielles en situation de crue.

Aufbauend auf meteorologischen und bodenkundlichen Datensätzen sowie Auswertungen zur Oberflächenversiegelung wurde mit GWN-BW eine flächendetaillierte Verteilung der Sickerwassermengen aus Niederschlag für den Zeitraum von 1985 bis 2002 berechnet. Für ausgewählte Standorte der Region werden die Sickerwassermengen anhand dieser Berechnungen erläutert. Abbildung 5.1 gibt einen Überblick über das Gewässernetz und die Messstationen der Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet.

Die zur Verfügung stehenden Daten stammen aus den Archiven der Kantone Basel-Stadt und Basellandschaft, des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), MeteoSchweiz, der Meteo-Station Basel Binningen, Swisstopo, des Kraftwerkbetreibers Birsfelden und aus dem Archiv der Abteilung Angewandte und Umweltgeologie der Universität Basel.

A partir des données météorologiques et pédologiques disponibles et des évaluations du degré d'imperméabilisation des surfaces, nous avons procédé à un calcul détaillé, pour les différents types de surfaces, à l'aide du modèle GWN-BW, afin de représenter la répartition des quantités d'eau d'infiltration imputables aux précipitations pour la période de 1985 à 2002. Pour un certain nombre de sites de la région, nous avons expliqué l'infiltration sur la base de ces calculs. Le réseau des eaux de surface et l'implantation des stations de mesure ressortent de la figure 5.1.

Les données disponibles ont été fournies par les archives des Cantons de Bâle-Ville et de Bâle-Campagne ainsi que par l'Office fédéral de l'Environnement (BAFU), MeteoSchweiz (station météorologique de Bâle Binningen), Swisstopo, les opérateurs de la centrale de Birsfelden et par les archives de la faculté de Géologie de l'Environnement Appliquée de l'Université de Bâle.

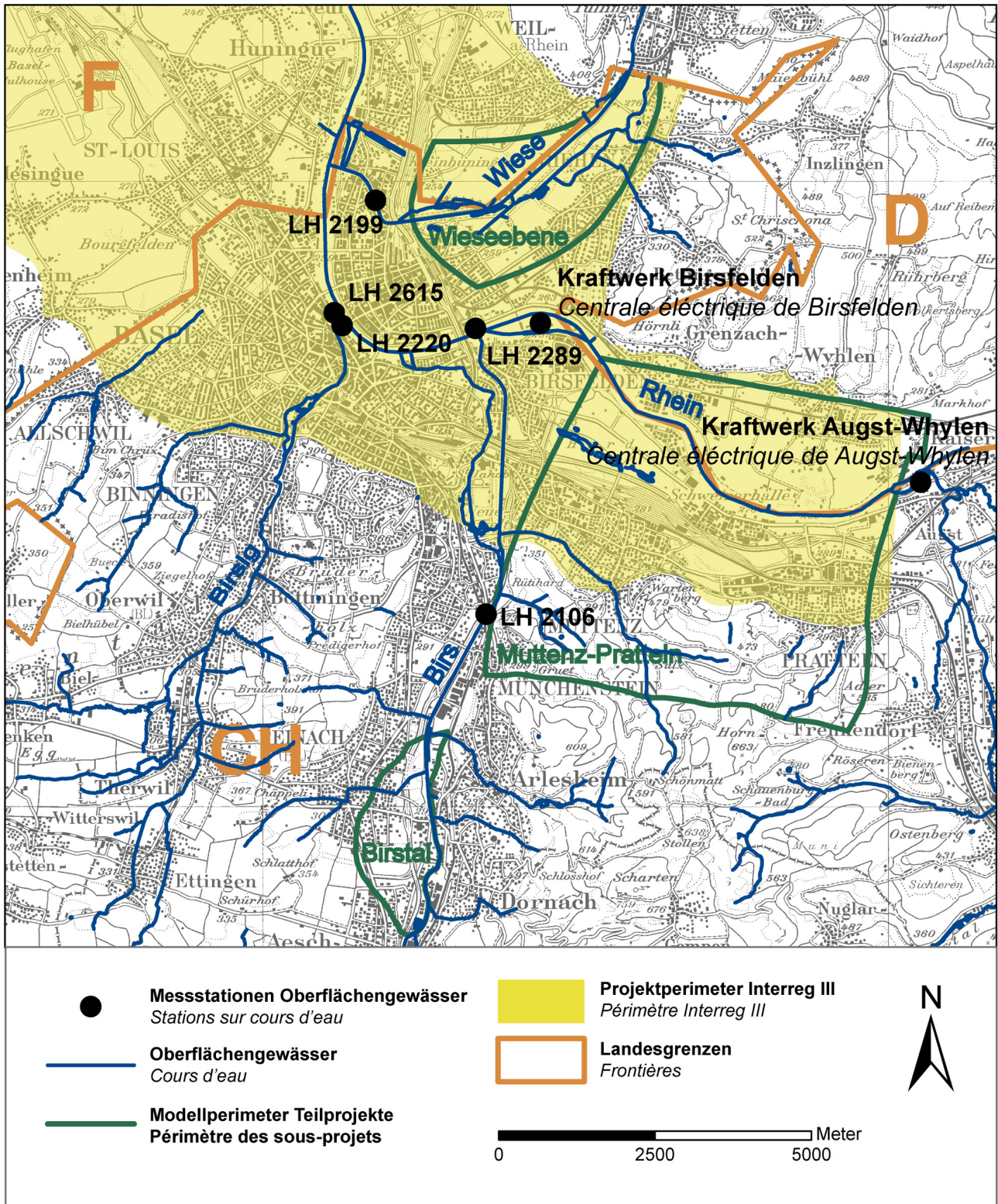


Abbildung 5.1: Fließgewässernetz und Messstationen der Oberflächengewässer
 Figure 5.1: Réseau des cours d'eau et des stations de mesure des eaux de surface

5.1 GRUNDWASSERNEUBILDUNG

Die natürliche direkte Grundwasserneubildung findet durch eine flächenhafte Infiltration und Perkolation von Niederschlagswasser statt. Sie entspricht der Sickerwassermenge, welche die

5.1 RECHARGE DE LA NAPPE

La recharge naturelle et directe de la nappe s'effectue par infiltration, sur toute la surface, et par percolation des eaux de précipitation. Elle correspond à la quantité d'eau d'infiltration qui atteint

Grundwasseroberfläche erreicht (DIN 4049). Dabei muss zwischen natürlicher direkter und indirekter sowie künstlicher Grundwasserneubildung unterschieden werden. Eine indirekte natürliche Grundwasserneubildung findet linear über seitliche Zuflüsse zum Aquifer und durch Gewässerinfiltration als eine Komponente der Interaktion zwischen Flusswasser und Grundwasser statt. Die Gewässerinfiltration dominiert in vielen Flusstälern die Grundwasserneubildung und wird in den einzelnen Teilprojekten (MuttENZ-Pratteln, Wieseebene und Birstal) separat behandelt.

Anthropogen wird in allen drei Gebieten die Grundwasserneubildung zusätzlich durch künstliche Grundwasseranreicherungen lokal erhöht (siehe Kapitel 6; Grundwassernutzungen). Dabei wird Flusswasser in Bereichen der Talauen durch Wassergräben, Beregnungsanlagen, Versickerungsbecken und Versickerungsfelder oder Schluckbrunnen zur Versickerung gebracht.

Mit dem deterministischen Modell „GWN-BW“ wurde für das Gebiet des INTERREG-III-Projekts „MoNit“ für den Zeitraum von 1985 bis 2002 flächendetailliert, die räumliche und zeitliche Verteilung der Evapotranspiration und der Sickerwassermenge aus Niederschlag unterhalb der durchwurzelten Bodenzone berechnet. Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung muss die berechnete Sickerwassermenge mit dem Quotienten aus Basis und Gesamtabfluss multipliziert werden. Dadurch können, nicht zur Grundwasserneubildung beitragende, schnelle laterale Abflusskomponenten abgetrennt werden. Für schwach reliefierte Standorte ist die mit der Methodik „GWN-BW“ berechnete Sickerwassermenge gleich der Grundwasserneubildung.

5.1.1 METEOROLOGISCHE BASISDATEN

Zur Berechnung der Grundwasserneubildung wurden von insgesamt elf Messstationen meteorologische Datensätze für den Zeitraum von 1961 bis 2002 ausgewertet. Drei dieser Messstationen sind als Klimastationen ausgebaut. Zwei von ihnen gehören zum automatischen

la nappe (DIN 4049). A ce titre, il y a lieu de distinguer la recharge naturelle et directe de la recharge artificielle. La recharge naturelle indirecte s'effectue de manière linéaire, par les affluents latéraux de l'aquifère et par l'infiltration d'eaux de surface qui fait partie intégrante des interactions rivière-nappe. Dans bon nombre de vallées, l'infiltration d'eaux de surface domine la recharge de la nappe ; elle fait l'objet d'une étude spécifique pour les différents sous-projets (MuttENZ-Pratteln, plaine de la Wiese et vallée de la Birse).

De plus, la recharge est renforcée de manière artificielle dans les trois sous-secteurs par voie de réinfiltration locale (voir Chapitre 6, Exploitation des eaux souterraines). Dans ces secteurs, la recharge de la nappe se fait par infiltration artificielle d'eau de rivière par voie de fossés, d'installations d'arrosage, de bassins d'infiltration ou de puits absorbants.

Le modèle de calcul déterministe « GWN-BW » a permis de modéliser toute la surface du périmètre du projet INTERREG III « MoNit » pour la période de 1985 jusqu'à 2002, en illustrant la répartition, dans l'espace et le temps, de l'évapotranspiration et de la quantité d'eau d'infiltration issue des précipitations, infiltrée au-delà de la zone racinaire. Pour déterminer la recharge de la nappe, la quantité théorique d'eau d'infiltration doit être multipliée par le quotient « débit de base / débit total ». Ce mode de calcul permet d'exclure les éléments qui ne contribuent pas à la recharge de la nappe, comme p. ex. des ruissellements latéraux rapides. Pour les sites à faible relief, la quantité d'eau d'infiltration calculée avec la méthode « GWN-BW » est identique à la recharge.

5.1.1 DONNEES DE BASE MÉTÉOROLOGIQUES

Pour le calcul de la recharge, nous avons évalué les enregistrements d'un total de onze stations de mesure, effectués sur la période de 1961 à 2002. Trois parmi ces stations sont aménagées pour les mesures climatiques. Deux des stations sont rattachées au réseau de mesure automatisé suisse

Messnetz der Schweiz (ANETZ). Die übrigen acht Messstationen sind Bestandteil des konventionellen Meteo-Messnetzes der Schweiz, bei denen ausschliesslich der Niederschlag gemessen wird. Ein Überblick über Lokalität, Zeitraum der erhobenen Messdaten und Messparameter der projektrelevanten Messstellen findet sich in Abbildung 5.1.1.1 und der Tabelle 5.1.1.1

(ANETZ). Les huit stations restantes relèvent du réseau conventionnel des stations météorologiques suisses, elles sont essentiellement dédiées à la mesure des précipitations. Un récapitulatif de l'implantation, de la période de mesure et des paramètres de mesure ayant un impact sur le projet est fourni plus bas, voir figure 5.1.1.1 et tableau 5.1.1.1

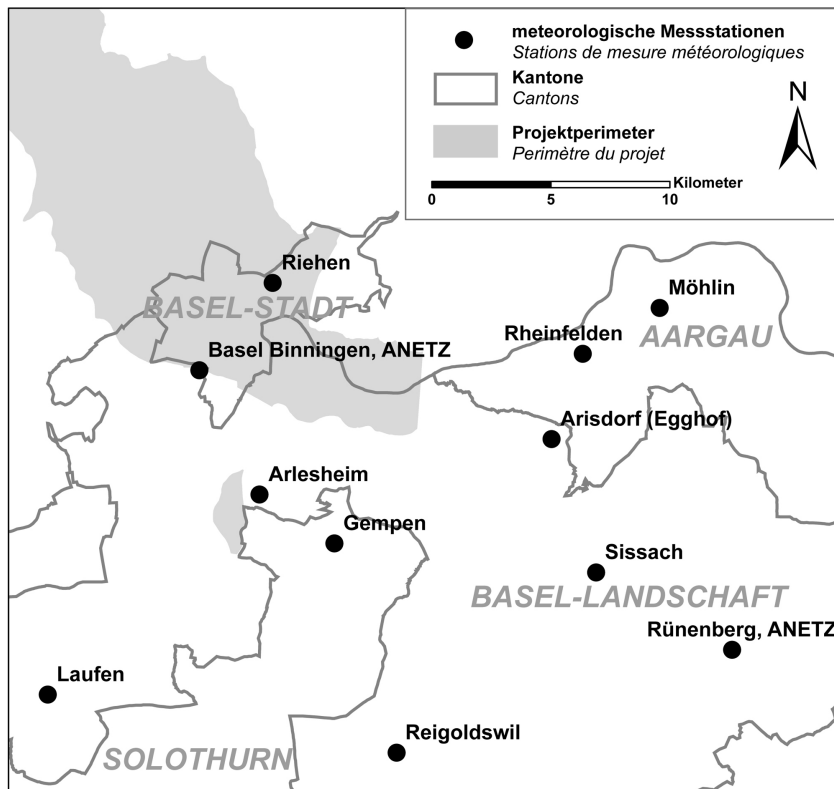


Abbildung 5.1.1.1: Meteorologisches Messnetz im Bereich der Schweizer Untersuchungsgebiete
 Figure 5.1.1.1: Réseau de mesure météorologique dans le périmètre des secteurs d'étude suisses

Tabelle 5.1.1.1: Zusammenstellung der meteorologischen Messstationen (Quelle MeteoSchweiz)
 Tabelle 5.1.1.1: Récapitulatif des stations météorologiques suisses (source : MeteoSchweiz)

Stationsnamen und –nummer <i>Nom et numéro de la station</i>	Koordinaten CH Koordinaten D Höhe <i>Coordonnées CH Coordonnées D Altitude</i>	Zeitraum <i>Période</i>	Messparameter <i>Paramètres mesurés</i>
Möhl 1520	630200 / 268250 (3412222 / 5270370) 305 m ü.M.	1961 - 2002	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>
Rheinfelden 1560	626970 / 266320 (3409714 / 5270408) 271 m ü.M.	1961 - 2002	Niederschlag (mm/d) Relative Luftfeuchte RH (%) Windgeschwindigkeiten (m/s), Beaufortklassen Temperatur (°C), Tmin, Tmax (ab 1971) <i>Précipitations (mm/d)</i> <i>Taux d'humidité relative RH (%)</i> <i>Vitesses du vent (m/s), classes Beaufort</i> <i>Température (°C), Tmin, Tmax (depuis 1971)</i>
Sissach 1610	627530 / 257100 (3409542 / 5259292) 380 m ü.M.	1.1969 - 12.1986, 6.1995 - 2002	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>
Reigoldswil 1660	619140 / 249500 (3401880 / 5252002) 526 m ü.M.	1961 - 2002	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>
Arisdorf (Egghof) 1680	625660 / 262720 (3408373 / 5264869) 430 m ü.M.	1961 - 2002	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>
Rünenberg ANETZ 1690	633 250 / 253 840 (3415770 / 5255492) 610 m ü.M.	1983-2002	Niederschlag (mm/d) Relative Luftfeuchte RH (%) Windgeschwindigkeiten (m/s) Temperatur (°C) <i>Précipitations (mm/d)</i> <i>Taux d'humidité relative RH (%)</i> <i>Vitesses du vent (m/s)</i> <i>Température (°C)</i>
Laufen 1824	604475 / 251950 (3386821 / 5254126) 355 m ü.M.	1987 - 2002	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>
Gempfen 1890	616530 / 258320 (3398267 / 5261330) 676 m ü.M.	1969 - 2002	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>
Arlesheim 1900	613380 / 260380 (3395788 / 5263226) 325 m ü.M.	1947 - 1997	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>
Basel Binningen ANETZ 1940	610 850 / 265 620 (3393378 / 5268830) 316 m ü.M.	1980 - 2002	Niederschlag (mm/d) Relative Luftfeuchte RH Windgeschwindigkeiten (m/s) Temperatur (°C), Tmin, Tmax Sonnenscheindauer (h/d) oder Globalstrahlung (Wh/m ²) <i>Précipitations (mm/d)</i> <i>Taux d'humidité relative RH (%)</i> <i>Vitesses du vent (m/s)</i> <i>Température (°C), Tmin, Tmax</i> <i>Ensoleillement (h/d) ou rayonnement global (Wh/m²)</i>
Riehen 1955	613930 / 269300 (3395953 / 5272490) 260 m ü.M.	1900 – 1962, 1995 - 2002	Niederschlag (mm/d) <i>Précipitations (mm/d)</i>

5.1.2 OBERFLÄCHENVERSIEGELUNG

Der Versiegelungsgrad wurde aus Satellitendaten aus dem Jahr 2000 abgeleitet. Diese Auswertung wurde mit dem mittleren Versiegelungsgrad der sich im Projektperimeter befindenden Gemeinden überprüft. Grundlagendaten aus dem Bereich der Siedlungsentwässerung von den Gemeinden Augst, Pratteln, Muttentz, Birsfelden, Münchenstein, Binningen, Allschwil, Reinach und Aesch lieferten

5.1.2 IMPERMÉABILISATION DES SURFACES

Le degré d'imperméabilisation a été inféré des données relevées par satellite en 2000. Cette évaluation a été recoupée avec le degré d'imperméabilisation moyen des communes situées à l'intérieur du périmètre du projet. Cette comparaison a été effectuée sur la base des données d'assainissement des zones résidentielles des communes de Augst, Pratteln, Muttentz, Birsfel-

die Datengrundlage für diesen Vergleich.

In einem ersten Schritt fand eine Differenzierung zwischen Gemeinde und Siedlungsflächen statt. Der Anteil der Siedlungsfläche wurde anschliessend mit einem mittleren Versiegelungsgrad multipliziert und der daraus berechnete Flächenwert auf den Flächenanteil, welcher sich im Projektperimeter befindet, reduziert (Tab. 5.1.2.1).

den, Münchenstein, Binningen, Allschwil, Reinach et Aesch.

Dans un premier temps, il a fallu différencier la superficie de la commune des zones résidentielles proprement dites. La fraction de zone résidentielle obtenue a été multipliée ensuite par le degré d'imperméabilisation moyen, réduite à la fraction de surface située à l'intérieur du périmètre du projet (tab. 5.1.2.1).

Tabelle 5.1.2.1: Versiegelte Flächen im Projektperimeter (Quelle AUE BL)
Tableau 5.1.2.1: Surfaces imperméabilisées à l'intérieur du périmètre du projet (source : AUE BL)

	Gemeindefläche Territoire communal (ha)	Siedlungsfläche Zone résidentielle (ha)	mittl. Versiegelungs- grad Degré d'imperméabi- lisation moyen (%)	reduzierte Fläche surface réduite (ha)	Fläche im Projektperimeter Surface située dans le périmètre du projet (ha)
Aesch	739	220	0.65	143	107
Allschwil	892	378	0.48	182	145
Arlesheim	694	-	-	-	0
Binningen	443	297	0.30	89	4
Birsfelden	252	167	0.48	80	80
Münchenstein	718	nicht bekannt	0.40		ca. 45
Muttenz	1664	397	0.40	159	135
Reinach	700	345	0.52	180	144
Pratteln	1070	277	0.63	175	131
Augst	164	nicht bekannt	0.00		0

5.1.3 RESULTATE

Die Abbildungen 5.1.3.1 und 5.1.3.2 zeigen die flächenhafte Verteilung der Sickerwassermengen in der Region Basel für die Monate Februar und August 2002. Berücksichtigt wird dabei der Anteil von Niederschlagswasser, welcher bis unterhalb des durchwurzelten Bodens versickert.

Deutlich zu erkennen ist, dass die Sickerwassermenge im Basler Stadtzentrum in beiden Monaten geringer ist als in den angrenzenden Gemeinden und auf Grünflächen, wie z.B. in der Wieseebene. Im August während der Vegetationsperiode sind die Sickerwassermengen vergleichsweise gering. Maximale Sickerwassermengen werden im Frühjahr erreicht (Bsp. Monat

5.1.3 RÉSULTATS

Les figures 5.1.3.1 et 5.1.3.2 illustrent la répartition, rapportée à la surface, des quantités d'eau d'infiltration dans la région de Bâle pour les mois de février et d'août 2002. A ce titre, on tient compte de la fraction de précipitation infiltrée au-delà de la couche racinaire.

On note à l'évidence que la quantité d'eau d'infiltration dans le centre-ville de Bâle est inférieure pour les deux mois considérés à celle des communes avoisinantes et dans les espaces naturels comme p. ex. la plaine de la Wiese. Pour le mois d'août, soit en cours de période de végétation, la quantité d'eau d'infiltration est relativement faible. Les maximums en regard de la quantité d'eau d'infiltration sont at-

Februar). Die höchsten Sickerwassermengen in der Region Basel findet man im Februar auf dem Dinkelberg. Ein Vergleich von drei ausgewählten Standorten (Abb. 5.1.3.3) zeigt, dass neben einer räumlichen Variabilität, die Versickerung von Niederschlagswasser jahreszeitenabhängig ist. Jedoch bestehen auch grosse Unterschiede in den Sickerwassermengen zwischen einzelnen Jahren.

Die monatlichen Sickerwassermengen am ausgewählten Standort in der Wieseebene liegen zwischen einigen mm/Monat bis über 300 mm/Monat. Die jährlichen Sickerwassermengen variieren zwischen 250 und 2550 mm/a. Auf dem Dinkelberg wurden monatliche Sickerwassermengen zwischen einigen mm/Monat bis über 250 mm/Monat berechnet, die jährlichen Sickerwassermengen bewegen sich zwischen 350 und 1200 mm/a. Die monatlichen Sickerwassermengen für den Messeplatz in Basel liegen deutlich tiefer und bewegen sich zwischen einigen mm/Monat und über 30 mm/Monat. Auch die jährlichen Sickerwassermengen variieren nur zwischen 30 und 120 mm/a.

Zwischen den einzelnen Standorten wird eine beträchtliche Variation der Versickerung beobachtet. Tendenziell werden die Maxima der Versickerung im Frühjahr erreicht. In der Umgebung des Messegeländes sind die Sickerwassermengen um den Faktor 10 kleiner als bei den anderen ausgewählten Standorten. In der Wieseebene und auf den Dinkelberg fallen weiterhin Monate mit hohen Sickerwassermengen in einzelnen Sommermonaten auf. Solche Phasen maximaler Versickerung können höher sein, als die gesamten jährlichen Sickerwassermengen einzelner Jahre. Bei der Durchführung von Untersuchungen, bei denen die Schwankungen der Sickerwassermengen von Bedeutung sein können (Beurteilung des Grundwasserabstroms von Deponien oder Betriebsstandorten), sollte deshalb neben der räumlichen Variabilität unbedingt berücksichtigt werden, inwiefern eine Periode mit relativ hoher oder niedriger Versickerung vorliegt.

teints au printemps (ex. mois de février). Les maximums en termes d'eau d'infiltration, pour la région de Bâle, se situent au mois de février sur le Dinkelberg. Une comparaison des trois sites sélectionnés (fig. 5.1.3.3) montre qu'en plus des variations spatiales, on doit tenir compte de variations saisonnières dans l'infiltration des eaux de précipitation. Cependant, la quantité d'eau d'infiltration présente aussi des différences quantitatives notables d'une année à l'autre.

Les quantités d'eau d'infiltration mensuelles sur le site de mesure sélectionné de la plaine de la Wiese varient entre quelques mm/mois et 300 mm/mois. Les quantités d'eau d'infiltration annuelles varient entre 250 et 2550 mm/a. Sur le Dinkelberg, on peut calculer des quantités mensuelles variant entre quelques mm/mois et jusqu'à 250 mm/mois, pour des quantités annuelles variant entre 350 et 1200 mm/a. Les quantités mensuelles pour le parc des expositions de Bâle sont nettement inférieures, entre quelques mm/mois et plus de 30 mm/mois, et la quantité annuelle d'eau d'infiltration ne présente qu'une faible variation, entre 30 et 120 mm/a.

Au niveau des différents sites, on observe une variation considérable sur le plan de l'infiltration. Généralement, les maximums d'infiltration sont atteints au printemps. Dans le périmètre du parc des expositions, les quantités d'eau d'infiltration sont dix fois plus faibles qu'aux autres points sélectionnés. Dans la plaine de la Wiese et sur le Dinkelberg, on note de plus des mois d'été isolés avec une forte quantité d'eau d'infiltration. Ces phases d'infiltration maximales peuvent dépasser la quantité annuelle totale de certaines années. Aussi, lors de la mise en œuvre d'études susceptibles d'être influencées par la variation des quantités d'infiltration d'eau de pluie (p. ex. évaluation de l'écoulement de la nappe dans le périmètre de décharges ou de sites industriels), il faudra absolument tenir compte, en plus de la variabilité spatiale, de la période de l'année, à savoir de l'existence ou non d'une période de forte ou de faible infiltration.

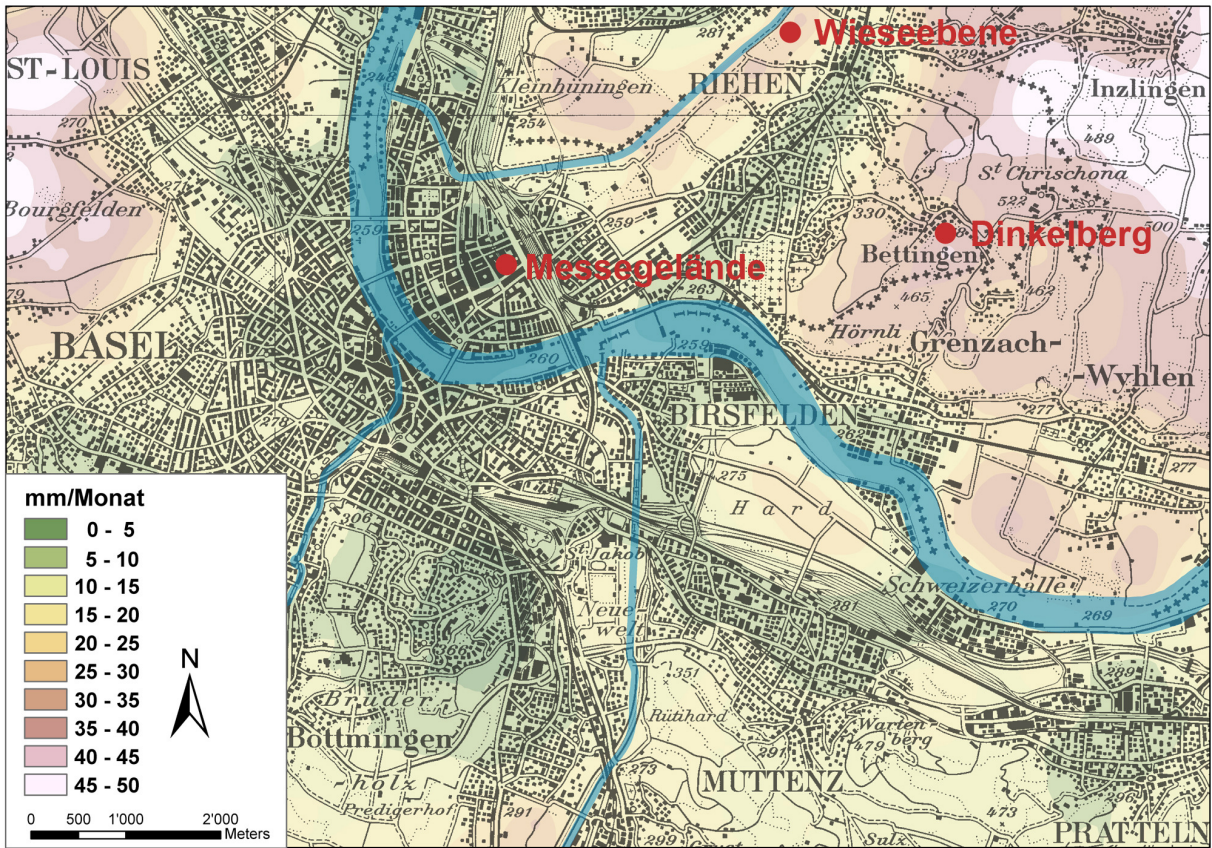


Abbildung 5.1.3.1: Verteilung der Sickerwassermengen (Februar 2002)
 Figure 5.1.3.1: Répartition des quantités d'infiltration d'eau de pluie (février 2002)

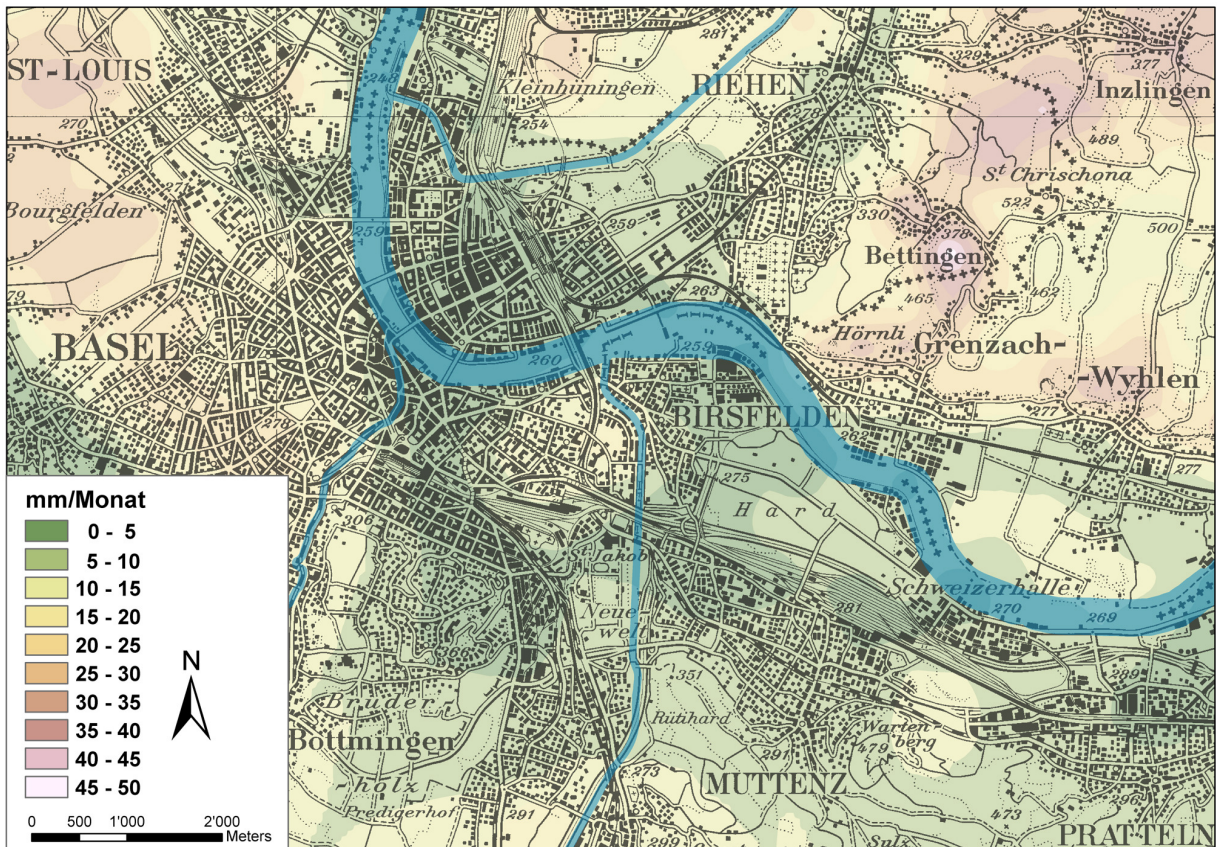


Abbildung 5.1.3.2: Verteilung der Sickerwassermengen (August 2002)
 Figure 5.1.3.2: Répartition des quantités d'infiltration d'eau de pluie (août 2002)

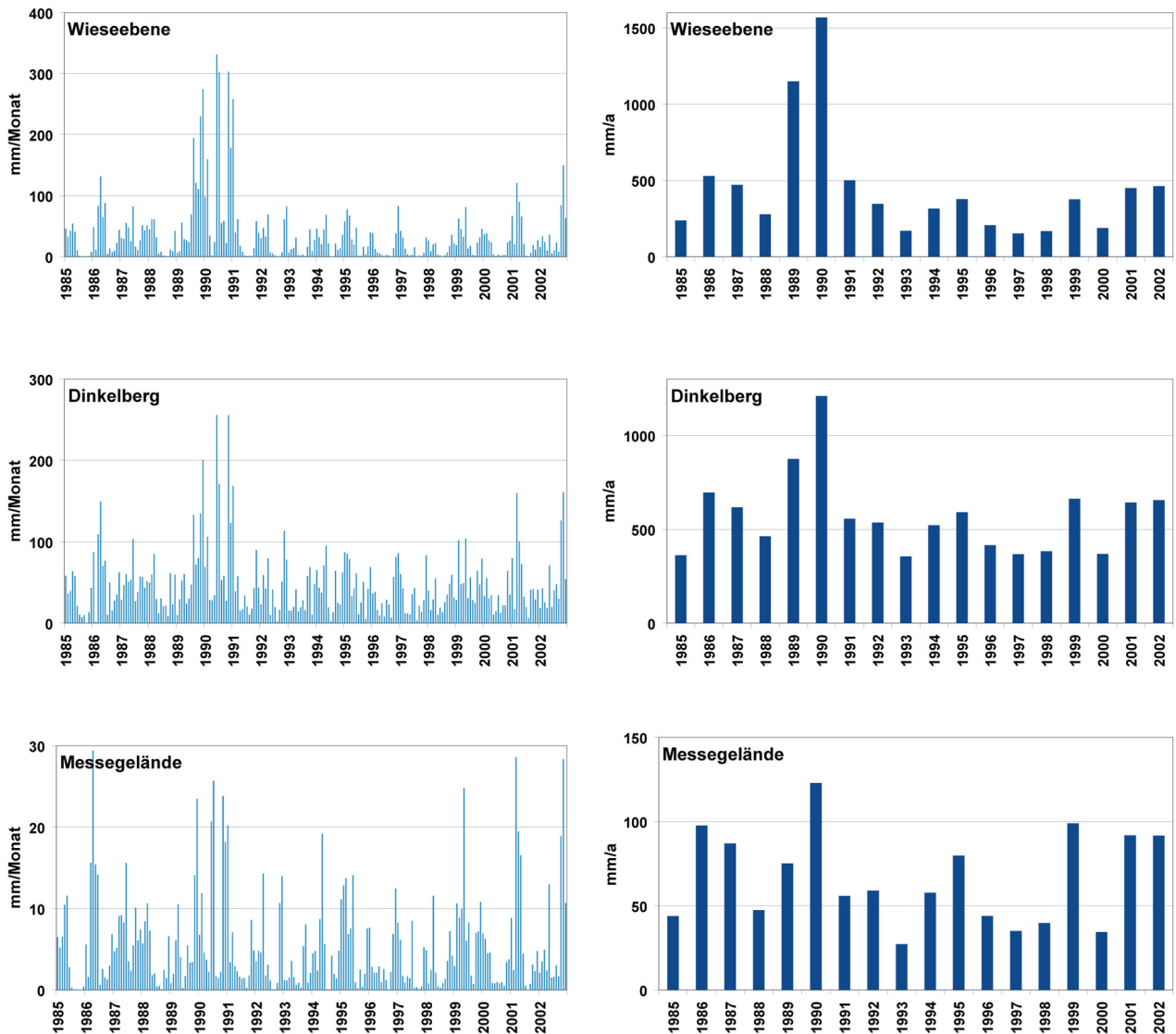


Abbildung 5.1.3.3: Vergleich monatlicher und jährlicher Sickerwassermengen, Lage der Stationen siehe Abb. 5.1.3.1
 Figure 5.1.3.3: Comparaison des quantités d'infiltration d'eau mensuelles et annuelles, implantation des stations de mesure voir fig. 5.1.3.1

Für das instationäre Grundwassermodell der Region **Muttenz-Pratteln** wurden, für den Zeitraum vom 01.01.2003 bis zum 30.09.2003, 30 % der bei der Station Binningen gemessenen Niederschläge für die Rate der Grundwasserneubildung mit Werten zwischen 2-25 mm/Monat gewählt. Aufgrund der Lage des modellierten quartären Aquifers musste keine indirekte lineare Grundwasserneubildung in Form von seitlichen Zuflüssen berücksichtigt werden. Für den modellierten Bereich der **Wieseebene** wurde für die natürliche Grundwasserneubildung durch Niederschlag konstant ein Wert von ca. 15 mm/Monat gewählt. Randzuflüsse wurden mit dem

Au titre du modèle en régime transitoire de la nappe dans la région de **Muttenz-Pratteln**, nous avons retenu, pour la période du 01/01/2003 jusqu'au 30/09/2003, 30 % des précipitations mesurées au niveau de la station de Binningen pour le calcul du taux de recharge de la nappe, soit une valeur comprise entre 2 et 25 mm/mois. En raison de la situation particulière de l'aquifère quaternaire à modéliser, il n'a pas été nécessaire de tenir compte d'une éventuelle composante de recharge linéaire indirecte sous forme d'apports latéraux. Pour le périmètre modélisé de la **plaine de la Wiese**, nous avons retenu une valeur constante pour la recharge de la nappe par les précipitations, de l'ordre d'env. 15 mm/mois.

Grundwassermodell kalibriert. Aufgrund der hohen Grundwasserentnahme- und Anreicherungsmengen und den intensiven Austauschprozessen zwischen Fluss- und Grundwasser sind die Fehler, welche durch diese Vereinfachungen in die Grundwasserberechnungen der Teilgebiete MuttENZ-Pratteln und Wieseebene einfließen, gering. Für das **Birstal** wurden aufbauend auf den berechneten Sickerwassermengen Standorte für versiegelte und unversiegelte Flächen ausgewählt und die dort berechneten Werte dem Grundwassermodell als flächenhafte Grundwasserneubildung zugewiesen. Dadurch wurde eine monatliche Grundwasserneubildung von 2-25 mm/Monat für versiegelte und von 5-45 mm/Monat für unversiegelte Bereiche angesetzt. Mittels hydrologischer Oberflächenmodellierung der Felsoberfläche liessen sich für den westlichen Rand des Grundwassermodells unterirdische Teileinzugsgebiete ermitteln. Zusammen mit den geschätzten monatlichen Grundwasserneubildungsraten sowie der Berücksichtigung der Versiegelung, konnten die westlichen Randzuflüsse als indirekte lineare Grundwasserneubildung mengenmässig abgeschätzt werden (siehe MoNit-Teilprojekt „Nitrat-herkunft“). Die lineare Grundwasserneubildung über Gewässerinfiltration wird in Grundwassermodellen mittels eines Durchlässigkeitswerts der Flusssohle berücksichtigt. Dieser wurde für die einzelnen Teilprojekte mit den Grundwasserströmungsmodellen sowie diversen Markierversuchen kalibriert.

Abbildung 5.1.3.4 zeigt, dass die Gewässerinfiltration in den drei Teilgebieten zwischen 12 % und 23 % an der gesamten Grundwasserbilanz ausmachen kann. In der Wieseebene und im Birstal stellt die Gewässerinfiltration somit eine wesentliche Komponente bei der Grundwasserneubildung dar. Für die gesamte Wasserbilanz der Modellgebiete ist hingegen die Grundwasserneubildung durch flächig versickerndes Niederschlagswasser gering. Auch die Grundwasserneubildung durch seitliche Randzuflüsse ist, ausgenommen vom Teilgebiet Birs, im Verhältnis zu den übrigen Komponenten der Grundwasserbilanz klein.

Les apports latéraux ont été calibrés au moyen du modèle de la nappe. En raison de l'importance des prélèvements et des quantités de réinfiltration et de l'intensité des processus d'échange nappe-rivière, les écarts du calcul appliqué à la nappe dans les sous-secteurs de MuttENZ-Pratteln et de la plaine de la Wiese, résultant de ces simplifications, sont relativement faibles. Pour la **vallée de la Birse**, et sur la base des quantités d'infiltration calculées, nous avons choisi des sites dans des zones imperméabilisées et non imperméabilisées, afin d'attribuer les quantités calculées pour ces sites à la composante de recharge de la nappe rapportée à la surface. Ainsi, nous avons estimé une recharge mensuelle de l'ordre de 2 à 25 mm/mois pour les zones imperméabilisées et de 5 à 45 mm/mois pour les zones non imperméabilisées. La modélisation hydrologique de la surface du substratum rocheux a également permis de déterminer des sous-bassins d'alimentation en bordure ouest du modèle de la nappe. En tenant compte des taux de recharge mensuels et du degré d'imperméabilisation, nous avons pu effectuer une estimation quantitative des apports latéraux en provenance de l'ouest, intitulés « recharge indirecte linéaire » (voir sous-projet MoNit « Origine des nitrates »). La recharge linéaire de la nappe par voie d'infiltration des eaux de surface tient compte d'un coefficient de perméabilité du lit du cours d'eau. Ce coefficient a été calibré pour les différents sous-projets à l'aide de modèles d'écoulement de la nappe et d'essais de traçage.

La figure 5.1.3.4 montre que l'infiltration des eaux de surface dans les trois sous-secteurs peut constituer un pourcentage compris entre 12 % et 23 % du bilan des eaux souterraines total. Dans la plaine de la Wiese et dans la vallée de la Birse, l'infiltration des eaux de surface représente ainsi une composante essentielle pour la recharge de la nappe. Pour le bilan hydrologique total des secteurs de modélisation toutefois, la recharge surfacique de la nappe par précipitation est faible. La recharge de la nappe par les apports latéraux était également faible par rapport aux autres composantes du bilan des eaux souterraines, à part dans le sous-secteur de la Birse.

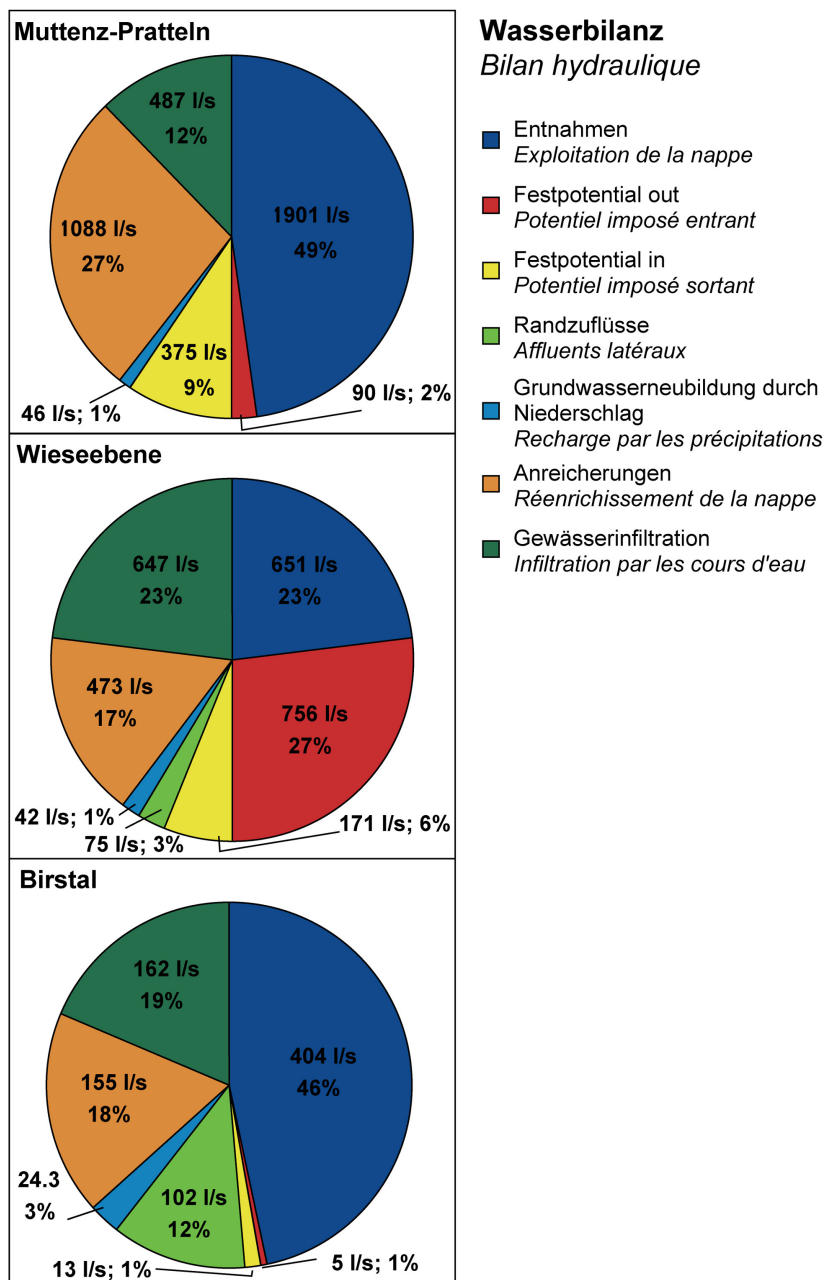


Abbildung 5.1.3.4: Anteil der Gewässerinfiltration bei der Grundwasserbilanz der einzelnen Teilgebiete während mittlerer hydrologischer und betrieblicher Randbedingungen.

Anmerkung: unter Grundwasserneubildung wird hier nur die flächenhafte Versickerung von Niederschlagswasser verstanden.

Figure 5.1.3.4: Pourcentage des infiltrations des eaux de surface dans les bilans en eaux souterraines pour les différents sous-secteurs et pour des conditions hydrologiques et d'exploitation moyennes.

Remarque : par recharge de la nappe, on entend seulement l'infiltration spatiale des précipitations.

5.2 OBERFLÄCHENGEWÄSSER

Die wichtigsten Fließgewässer sind neben dem Rhein seine seitlichen Zuflüsse Wiese, Birs und Birsig. Diese sind als Vektordatensatz im Oberflächengewässernetz der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt enthalten, welcher vom Bundesamt für Landestopografie „Swisstopo“ zur Verfügung gestellt wurde (Abb. 5.1).

5.2 EAUX DE SURFACE

Les principaux cours d'eau sont le Rhin et ses affluents, la Wiese, la Birse et la Birsig. Ces cours d'eau existent sous forme de fichiers « vecteur » dans le réseau des eaux de surface des cantons de Bâle-Campagne et de Bâle-Ville, mis à disposition par l'Office fédéral de Topographie « Swisstopo » (fig. 5.1).

Die Berechnung der instationären Wasserspiegellage des Rheins im Gebiet MuttENZ-Pratteln basiert auf Wasserstandszeitreihen Unterwasser und Oberwasser der Kraftwerke Birsfelden und Augst-Whylen (Lage siehe Abb. 5.1). Für das Gebiet Wieseebene wurde der Pegel LH 2199 und für das Gebiet Birstal der Pegel LH 2199 zur Berechnung der instationären Wasserspiegellage verwendet.

Le calcul de la ligne d'eau transitoire du Rhin dans le secteur de MuttENZ-Pratteln a été effectué sur la base de différentes séries de mesure de niveau (mesures effectuées en aval et en amont des centrales électriques de Birsfelden et de Augst-Whylen (implantation : voir fig. 5.1). Pour les sous-secteurs de la vallée de la Wiese et de la vallée de la Birse, les lignes d'eau ont été calculées sur la base du limnigraphe LH 2199.

Tabelle 5.2.1: Messstationen Oberflächengewässer für die Gebiete MuttENZ-Pratteln, Wieseebene und Birstal (Quelle: Bundesamt für Umwelt)

Tableau 5.2.1: Stations de mesure des eaux de surface des trois sous-secteurs MuttENZ-Pratteln, plaine de la Wiese et vallée de la Birse (source : Office fédéral de l'environnement)

	Fluss <i>Rivière</i>	Breite Largeur [m]	Station <i>Station</i>	Abfluss Débit [m ³ /s]			Datenreihe <i>Série de données</i>
				min. <i>min.</i>	max. <i>max.</i>	mit. <i>mit. moy.</i>	
MuttENZ-Pratteln / MuttENZ-Pratteln	Rhein/ <i>Rhin</i>	230	Kraftwerk / <i>Centrale hydroélectrique</i> Birsfelden Kraftwerk / <i>Centrale hydroélectrique</i> Augst-Whylen	-	-	-	-
Wieseebene / Plaine de la Wiese	Wiese/ <i>Wiese</i>	25	LH2199	0	342	11,4	73 Jahre / <i>ans</i> 1933-2005
Birstal / Vallée de la Birse	Birs/ <i>Birse</i>	30	LH2106	0.83	330	15,3	89 Jahre / <i>ans</i> 1917-2005

Für das INTERREG-III-Projekt „MoNit“ wurden zusätzliche Wasserstands- und Abflussmessstationen vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) zur Verfügung gestellt (Tab. 5.2.2).

Das eidgenössische Messnetz wird heute von der Abteilung Landeshydrologie (LH) des BAFU unterhalten. Wasserstands- und Abflussdaten der Oberflächengewässer wurden als Stundenmittel und Tagesmittel zur Verfügung gestellt. Die für die Pegelmessungen relevanten Bezugshorizonte wurden mitgeliefert.

Weiterhin sind für das INTERREG-III-Gebiet „MoNit“ von der Fachstelle für Melioration Basel-Landschaft Übersichtspläne der bekannten Drainagen (Massstab 1:1000) für einzelne Gemeinden zur Verfügung gestellt worden, um die drainierten Flächenanteile zu berücksichtigen.

Au titre du projet INTERREG III « MoNit », le BAFU (Office fédéral de l'environnement) a mis à disposition des stations de mesure de niveau et de débit (tab. 5.2.2).

Le réseau des stations de mesure suisse est actuellement entretenu par le Service Hydrologie nationale (LH) de l'office BAFU. Les données relatives au niveau et au débit des eaux de surface ont été mises à disposition sous forme de moyennes horaires et de moyennes journalières. Les niveaux de référence des limnigraphes indispensables à la mesure des niveaux ont été communiqués.

De plus, le service « Amélioration des terres » de Bâle-Campagne (Fachstelle für Melioration Basel-Landschaft) a mis à disposition du projet INTERREG III « MoNit » des plans de situation des drainages connus (échelle 1/1000e) pour les différentes communes, pour pouvoir tenir compte des fractions de surfaces drainées.

Tabelle 5.2.2: Messstationen Oberflächengewässer für das INTERREG-III-Projekt „Monit“ (Quelle: Bundesamt für Umwelt)
 Tableau 5.2.2: Stations de mesure des eaux de surface utilisées pour le projet INTERREG III « Monit » (source : Office fédéral de l'environnement)

Stationsnamen und –nummer Nom et numéro de la station	Koordinaten CH Höhe Coordonnées CH Altitude	Zeitraum Période	Messparameter Paramètres mesurés
Rhein Basel, Schifflande LH 2220	611270 / 267695 245 m.ü.M	01.01.1986 - 31.12.1995	Tagesmittelwerte / <i>Moyennes journalières</i> Q, P
Rhein Basel, Rheinhalle LH 2289	613400 / 267650 246 m.ü.M	01.01.1996 - 31.12.2002	Tagesmittelwerte / <i>Moyennes journalières</i> Q,P Stundenmittelwerte / <i>Moyennes horaires</i> Q,P
Rhein Basel, Klingenthal LH 2615	611140 / 267900 245 m.ü.M	nicht angefordert	
Wiese Basel LH 2199	611800 / 269700 247 m.ü.M	01.01.1986 - 31.12.2002	Stundenmittelwerte / <i>Moyennes horaires</i> Q, P
Birs Münchenstein, Hofmatt LH 2106	613570 / 263080 268 m.ü.M	01.01.1986 - 31.12.2002	Stundenmittelwerte / <i>Moyennes horaires</i> Q, P

6 Grundwassernutzungen

Exploitation des eaux souterraines

In den drei Teilgebieten **MuttENZ-Pratteln**, **Wieseebene** und **Birstal** wird über zahlreiche Förderbrunnen Grundwasser entnommen. Das geförderte Wasser dient als Trink- und Brauchwasser. Da die Entnahmemengen entweder die Grundwasserneubildung übersteigen, bzw. im Fall von MuttENZ-Pratteln ein intensiver Pumpbetrieb potentiell Grundwasserverunreinigungen anziehen kann, wurden in allen drei Teilgebieten schon in den 60er Jahren Grundwasseranreicherungssysteme aufgebaut. In der **Wieseebene** und im **Birstal** wird vorfiltriertes Flusswasser versickert, um den Grundwasserbedarf zu decken. Im Gebiet **MuttENZ-Pratteln** versucht man dagegen mit Hilfe der Grundwasseranreicherung einen Grundwasserberg zu schaffen, der den Zustrom von belastetem oder belastungsgefährdetem Grundwasser aus den umliegenden Industriestandorten verhindert.

In allen Teilgebieten beeinflusst der Entnahme- und Anreicherungsbetrieb auch die Fluss-Grundwasser-Interaktion. Deshalb ist eine umfassende Zusammenstellung der Nutzungsdaten zur Entwicklung von Prognoseinstrumenten für das Verständnis der Fluss-Grundwasser-Interaktion von wesentlicher Bedeutung. Im Kapitel Grundwassernutzungen werden infolgedessen nicht nur Grundwasserentnahmen sondern generell die Nutzungen, welche für das Verständnis der Grundwasserdynamik und der Interaktionsprozesse Fluss-Grundwasser von Bedeutung sind, zusammengestellt.

Im Rahmen der Datenerhebungen für das INTERREG-III-Projekt sind die massgeblichen Jahresentnahme- und Anreicherungsmengen erfasst worden. Tabelle 6.1 zeigt eine jährliche Grundwasserentnahme in den drei Projektgebieten von ungefähr 81.8 Mio. m³. Dem gegenüber stehen 45.2 Mio. m³ Wasser, die dem Aquifer künstlich

Dans les trois sous-secteurs **MuttENZ-Pratteln**, **plaine de la Wiese** et **vallée de la Birse**, l'eau souterraine est prélevée à partir d'un grand nombre de forages. L'eau produite se décompose en eau potable et en eau industrielle. Dans la mesure où le prélèvement excède la recharge naturelle et que, dans le cas du secteur de MuttENZ-Pratteln, le pompage intensif risquerait d'attirer des pollutions potentielles de la nappe, des systèmes de recharge artificielle de la nappe ont été mis en place dans chacun des trois secteurs dès les années 1960. Dans les secteurs **plaine de la Wiese** et **vallée de la Birse**, on réinjecte de l'eau de rivière préalablement filtrée pour couvrir les besoins en eau souterraine. Dans le secteur de **MuttENZ-Pratteln** en revanche, on essaie de créer un dôme piézométrique par réinjection dans la nappe, afin d'empêcher les apports d'eaux souterraines contaminées ou menacées de contamination en provenance des sites industriels environnants.

Bien évidemment, l'interaction nappe-rivière est affectée dans les trois sous-secteurs par les activités de prélèvement et de recharge artificielle. Aussi, une synthèse exhaustive de toutes les données relatives à l'exploitation est indispensable à la mise au point d'outils de prévision capables de calculer les interactions nappe-rivière. Aussi, le chapitre Exploitation des eaux souterraines ne se limite pas seulement aux prélèvements d'eau souterraine, mais traite globalement tous les types d'exploitation à prendre en compte pour connaître la dynamique de l'eau souterraine et les processus d'interaction nappe-rivière.

Dans le cadre du relevé des données pour le projet INTERREG III, nous avons collationné l'essentiel des quantités annuelles en termes de prélèvements et de réinjection. Le tableau 6.1 montre un prélèvement annuel d'eau souterraine, pour les trois secteurs d'étude, d'environ 81.8 millions de m³, contre 45.2 millions de m³ d'eau réinjectés artifi-

zugeführt werden. Aus der Tabelle 6.1 ergeben sich erhebliche Unterschiede in den Entnahmemengen: das Gebiet **MuttENZ-Pratteln** ist diesbezüglich das Bedeutendste, während im **Birstal** nur ein Zehntel dessen gefördert wird.

ciellement dans l'aquifère. Le tableau 6.1 permet de déceler des différences quantitatives considérables en termes de prélèvement : en effet, la plus grosse quantité d'eau est prélevée dans le secteur de **MuttENZ-Pratteln**, par comparaison, la quantité produite dans la **vallée de la Birse** n'en représente qu'un dixième.

Tabelle 6.1: Vergleich von Grundwasserentnahme und Grundwasseranreicherung über die drei Teilgebiete
Tableau 6.1: Comparaison des quantités de prélèvement et de réinjection dans la nappe, par sous-secteurs

	Entnahme pro Jahr Prélèvement annuel [Mio. m ³]	Anreicherung pro Jahr Réalimentation annuelle [Mio. m ³]
MuttENZ-Pratteln	60.0	30.0
Wieseebene / Plaine de la Wiese	24.0	10.0
Birstal / Vallée de la Birse	5.8	5.2
Summe / Somme	81.8	45.2

Die Grundwassernutzungen in den Gebieten MuttENZ-Pratteln, Wieseebene und Birstal gestalten sich in verschiedenen Umfängen. So fördern in MuttENZ-Pratteln 81 Brunnen Grundwasser, während die Entnahmen im Birstal über 10 Brunnen erfolgen (Tab. 6.2). Die flächenmässig grösste Anreicherung findet in der Wieseebene statt. In Bezug auf die Anreicherungsmenge wird im Gebiet MuttENZ-Pratteln mit 30 Mio. m³ pro Jahr die grösste Wassermenge versickert.

L'exploitation des nappes dans les secteurs de MuttENZ-Pratteln, la plaine de la Wiese et la vallée de la Birse varie beaucoup sur le plan quantitatif. Ainsi, on produit de l'eau souterraine dans le secteur de MuttENZ-Pratteln par le biais de 81 forages, tandis que le prélèvement dans la vallée de la Birse ne fait appel qu'à 10 forages au total (tab. 6.2). La plus forte recharge artificielle de la nappe, en termes de superficie, s'effectue dans la plaine de la Wiese. Quant à la quantité d'eau réinjectée au titre de la recharge artificielle, c'est le secteur de MuttENZ-Pratteln qui domine, avec 30 millions de m³ d'eau réinfiltrée.

Tabelle 6.2: Vergleich von Messstellen, Brunnen und Grundwasseranreicherung über die drei Teilgebiete
Tableau 6.2: Comparaison des points de mesure, des forages et de la recharge artificielle de la nappe, par sous-secteurs

	Messstellen Anzahl Points de mesure Nombre	Brunnen Anzahl Forages Nombre	Anreicherungsfelder Anzahl Fläche [m ²] Bassins d'infiltration	
			Nombre	Superficie [m ²]
MuttENZ-Pratteln	204	81*	8**	-
Wieseebene / Plaine de la Wiese	46	14***	11	130'000
Birstal / Vallée de la Birse	25	10	1	6'610

- * 50 Brunnen im Schotteraquifer, 31 Brunnen im Kluftaquifer
- ** 3 Graben-, bzw. Bachversickerungssysteme und 5 Weiher)
- *** 9 Vertikalbrunnen mit Nebenbrunnen, 3 Vertikalbrunnen ohne Nebenbrunnen, 2 Horizontalbrunnen ohne Nebenbrunnen

- * 50 forages dans l'aquifère des graviers, 31 forages dans l'aquifère fracturé
- ** 3 systèmes de recharge artificielle de type fossés ou ruisseaux et 5 étangs)
- *** 9 puits verticaux avec forages satellites, 3 puits verticaux sans forages satellites, 2 puits horizontaux sans forages satellites

6.1 MUTTENZ-PRATTELN

Schotteraquifer und Kluftaquifer werden im Gebiet MuttENZ-Pratteln von Industrie- und Trinkwasserversorgung mit Entnahmemengen von etwa 60 Mio. m³ pro Jahr intensiv beansprucht. Der grössere Teil dieser Grundwasserentnahmen (etwa 70 %) erfolgt durch die industriellen Nutzer. Diese entnehmen rheinnah in Schweizerhalle zwischen MuttENZ und Pratteln aus dem Kluftaquifer sowie in Grenzach aus beiden Grundwasserstockwerken Brauchwasser (Abb. 6.1.1). Die mengenmässig geringere Trinkwassergewinnung der Gemeinden MuttENZ, Pratteln und Grenzach erfolgt, je nach Standort des Brunnens, aus einem der beiden Aquifere.

Der Trinkwasserversorger (Hardwasser AG) entnimmt pro Jahr etwa 12 Mio. m³ und beliefert damit die Versorgungssysteme der Stadt Basel als Ergänzung zu den Entnahmen aus der Wieseebene. Seit 1963 wird die Trinkwassergewinnung im Hardwald im NW von MuttENZ durch eine künstliche Anreicherung mit Rheinwasser in einer Grössenordnung von 30 Mio. m³ pro Jahr unterstützt. Die Anreicherung erfolgt dabei über ein Netzwerk von Gräben und Teichen und schafft einen „Grundwasserberg“, der mit der Richtung seiner hydraulischen Gradienten einen gewissen Schutz vor Grundwasserverunreinigungen aus den Hafenanlagen (u.a. Brennstoff-Tanklager) im Nordwesten und Norden, der Industrie Schweizerhalle im Osten, dem Rangierbahnhof im Südosten, sowie der Autobahn A2 im Süden bietet.

6.1 MUTTENZ-PRATTELN

Les deux aquifères (gravier et aquifère fracturé) du secteur de MuttENZ-Pratteln sont énormément sollicités, à la fois pour la production d'eau potable et d'eau industrielle, avec des prélèvements de l'ordre de 60 millions de m³ par an. La majeure partie de ces prélèvements (env. 70%) est le fait d'utilisateurs industriels. Ceux-ci prélèvent de l'eau à proximité du Rhin à Schweizerhalle, entre MuttENZ et Pratteln, dans l'aquifère fracturé, ainsi qu'à Grenzach, où le prélèvement d'eau industrielle s'effectue dans les deux aquifères (fig. 6.1.1). La production d'eau potable, quantitativement plus faible, des communes de MuttENZ, de Pratteln et de Grenzach s'effectue, en fonction de l'implantation des forages, indifféremment à partir de l'un ou l'autre aquifère.

Le producteur d'eau potable (Hardwasser AG) prélève env. 12 millions de m³ par an, qu'il injecte dans les systèmes d'approvisionnement de la ville de Bâle, pour compléter les prélèvements en provenance de la plaine de la Wiese. Depuis 1963, la production d'eau potable dans la forêt Hardwald au nord-ouest de MuttENZ est soutenue par une recharge artificielle de la nappe en eau du Rhin de l'ordre de 30 millions de m³ par an. Dans ce secteur, la réinjection s'effectue via un réseau de fossés et d'étangs, créant un dôme piézométrique avec un gradient hydraulique orienté de façon à protéger la nappe locale de l'influence d'éventuelles contaminations en provenance des installations portuaires (qui comptent entre autres des entrepôts d'hydrocarbures) au nord-ouest et au nord, des sites industriels de Schweizerhalle à l'est, de la gare de triage au sud-est et de l'autoroute A2 au sud.

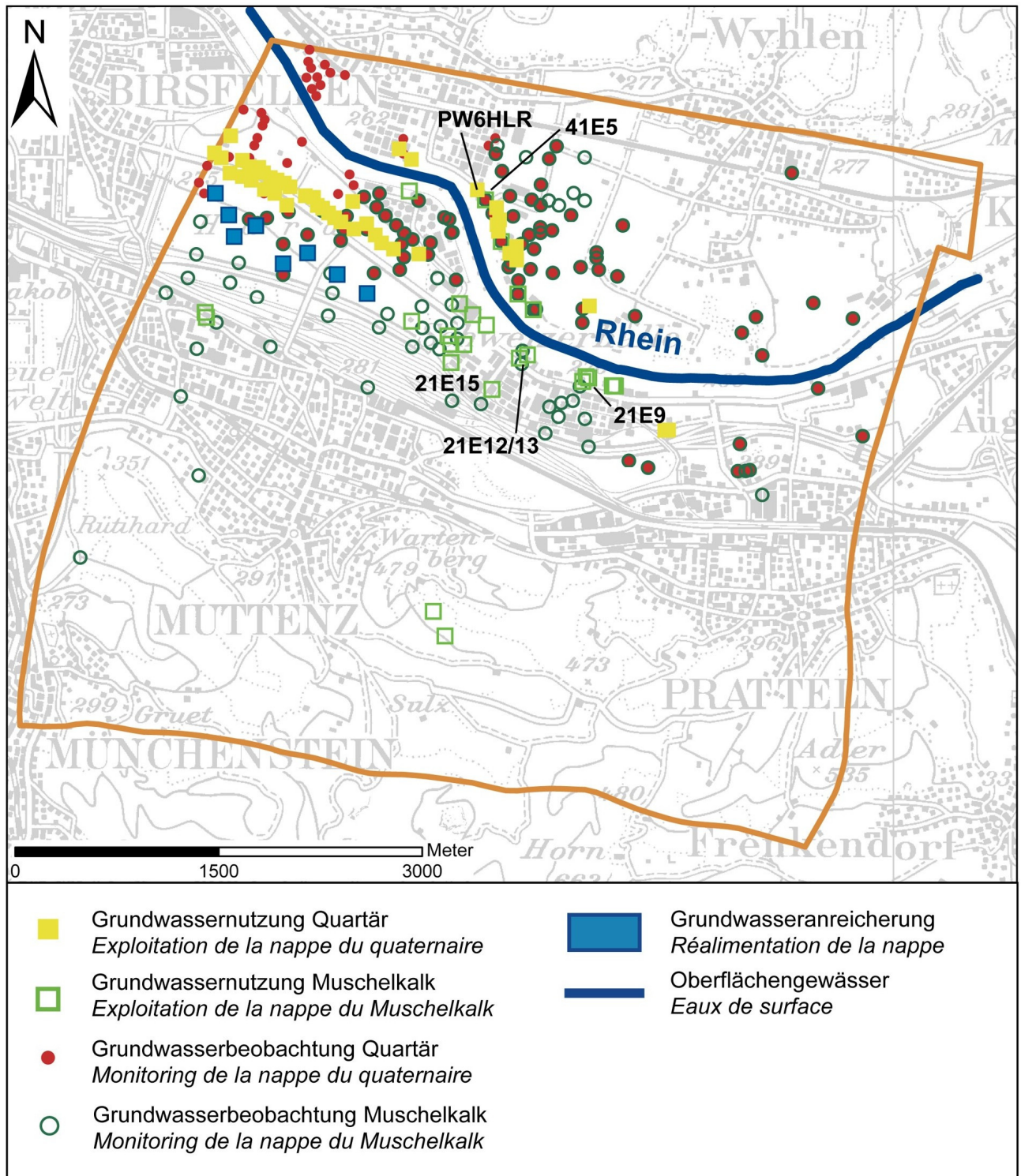


Abbildung 6.1.1: Grundwassernutzungen und -messstellen im Projektgebiet Muttenz-Pratteln
 Figure 6.1.1: Exploitation des eaux souterraines et stations de mesure dans le secteur d'étude Muttenz-Pratteln

Ein Vergleich der bedeutendsten Entnahme- und Anreicherungsbrunnen in der Woche vor der Grundwasserspiegel-Stichtagsmessung vom 08.08.2003 zeigt, dass fast alle Entnahmenbrunnen, die über 0.05 m³/s fördern, industrielle Nutzungen darstellen (Abb. 6.1.2). Die Brunnen mit über 0.1 m³/s Entnahmen befinden sich im Gebiet

Une comparaison des principaux puits de captage et de réinjection au cours de la semaine précédant la mesure synchrone du niveau piézométrique de la nappe du 08.08.2003 démontre que la quasi-totalité des puits d'une production supérieure à 0.05 m³/s est dédiée à des usages industriels (fig. 6.1.2). Les forages dont la production excède 0.1

Schweizerhalle (21E15, 21E12, 41E5, 21E9) und in Grenzach (PW6HLR), und fördern ausschliesslich aus dem Kluftaquifer.

m³/s se situent dans le périmètre de Schweizerhalle (21E15, 21E12, 41E5, 21E9) et de Grenzach (PW6HLR), et la production s'effectue exclusivement à partir de l'aquifère en roche fracturée.

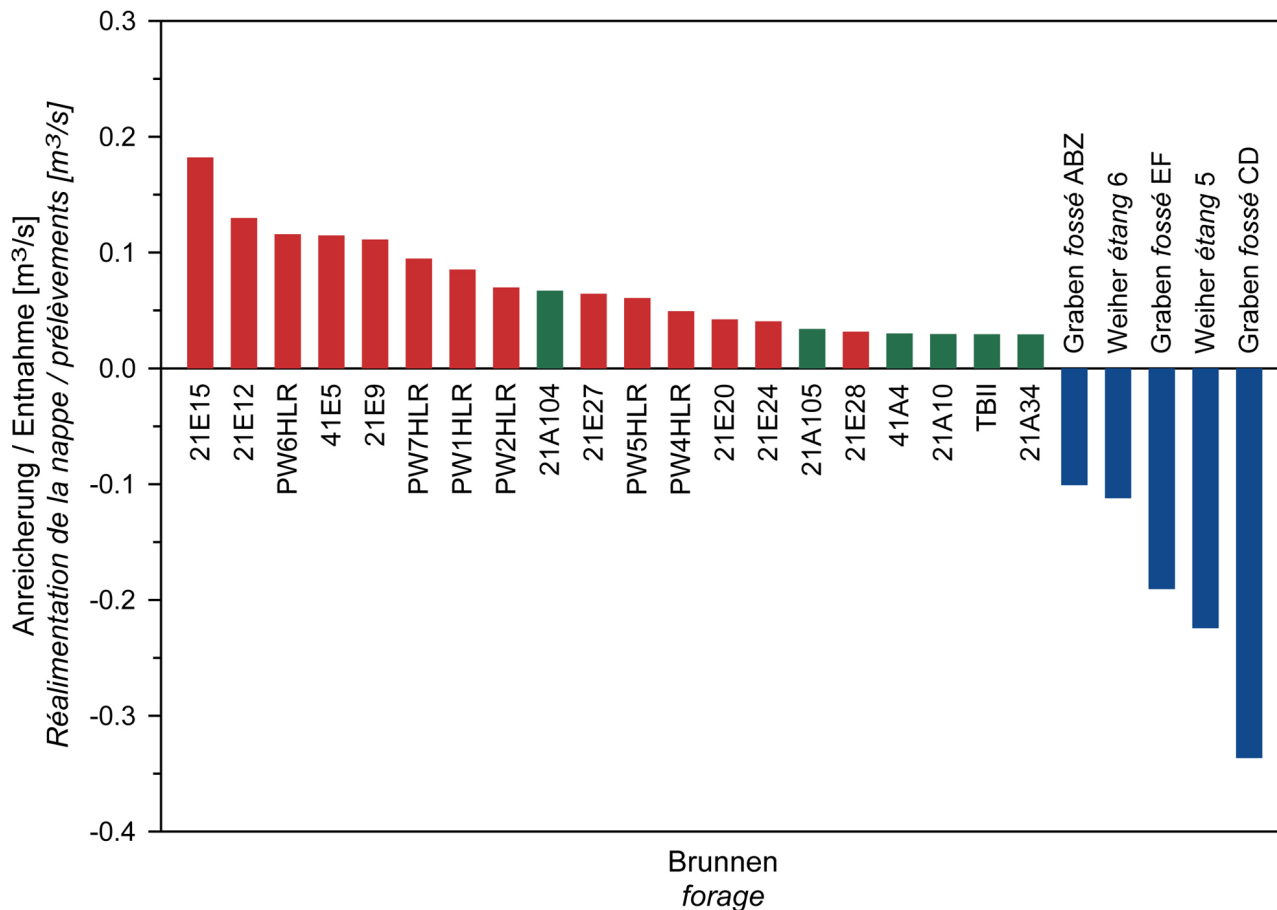


Abbildung 6.1.2: Vergleich der bedeutendsten Entnahme- und Anreicherungsbrunnen im Gebiet Muttenz-Pratteln für die Woche vom 1.-8.8.2003 (positive Mengen entsprechen Entnahmebrunnen (rot – Industrie, grün – Trinkwasser), negative Mengen entsprechen Grundwasseranreicherungen)

Figure 6.1.2: Comparaison entre les principaux puits de captage et de réinjection dans le sous-secteur de Muttenz-Pratteln pour la semaine du 01 au 08.08.2003 (les quantités positives correspondent aux forages de production (rouge – eau industrielle, vert – eau potable), tandis que les quantités négatives correspondent aux réinjections)

6.2 WIESEEBENE

Die Grundwasserfassungen in der Wieseebene werden von den Industriellen Werken Basel (IWB) und dem Wasserverbund südliches Markgräflerland betrieben (WVSML) (Abb. 6.2.1). Die IWB entnehmen pro Jahr etwa 14 Mio. m³ Wasser, der WVSML 10 Mio. m³ Wasser.

Diese intensive Nutzung der Wieseebene für die Trinkwasserproduktion in der Region Basel erfordert die Anreicherung des Grundwassers aus Oberflächengewässern. Bis 1964 wurde Wiesewasser für diese Anreicherung verwendet.

6.2 LA PLAINE DE LA WIESE

Les captages d'eau souterraine dans la plaine de la Wiese sont exploités par les Industrielle Werke Basel (IWB) et le syndicat des eaux Wasserverbund südliches Markgräflerland (WVSML) (fig. 6.2.1). IWB prélève env. 14 millions de m³ d'eau par an, contre 10 millions de m³ d'eau pour WVSML.

L'exploitation intensive de la plaine de la Wiese en vue de la production d'eau potable dans la région bâloise nécessite la recharge artificielle de la nappe à partir des eaux de surface. Jusqu'en 1964, cette réinjection a été réalisée avec l'eau de la

Aufgrund von Beeinträchtigungen der Qualität des Wiewassers infiltrieren die IWB nun vorfiltriertes Rheinwasser. Heute werden etwa 2/5 der entnommenen Wassermenge in der Wiesebene künstlich angereichert (ca. 10 Mio. m³/a).

Die Grundwasseranreicherung erfolgt über 11 bewaldete Wasserstellen, welche meistens in drei Felder unterteilt sind. Diese Teilfelder werden jeweils nur ca. zehn Tage pro Monat betrieben. Die Grundwasseranreicherung ist, bedingt durch Rheintrübungen und -verschmutzungen, Umbauten, Betriebsstörungen und Ausserbetriebnahmen während Grundwasserhochständen, nur während etwa neun bis zehn Monaten im Jahr in Betrieb [RÜETSCHI 2004]. Flussnahe Wasserfassungen müssen zudem während Hochwasser aufgrund der erhöhten Fluss-Grundwasser-Interaktionen abgeschaltet werden.

Wiese. En raison de la dégradation de la qualité de l'eau de la Wiese, les producteurs d'eau de Bâle (IWB) sont passés à l'eau du Rhin préalablement filtrée. Actuellement, 2/5 ème de la quantité d'eau prélevée dans la plaine de la Wiese sont réinjectés au titre de la recharge artificielle.

La réinjection s'effectue par le biais de 11 zones d'inondation boisées, généralement subdivisées en trois champs. Chacun de ces champs n'est utilisé qu'environ dix jours par mois. L'activité de réinjection ne fonctionne qu'environ neuf à dix mois par an ; le reste du temps, les installations sont arrêtées pour cause de turbidité et contamination de l'eau du Rhin, lors de travaux, d'arrêts d'exploitation (p. ex. remontée du niveau piézométrique de la nappe) [RÜETSCHI 2004]. Par ailleurs, les captages d'eau souterraine à proximité des cours d'eau sont obligatoirement mis à l'arrêt en période de crue pour cause d'intensification des interactions rivière-nappe.

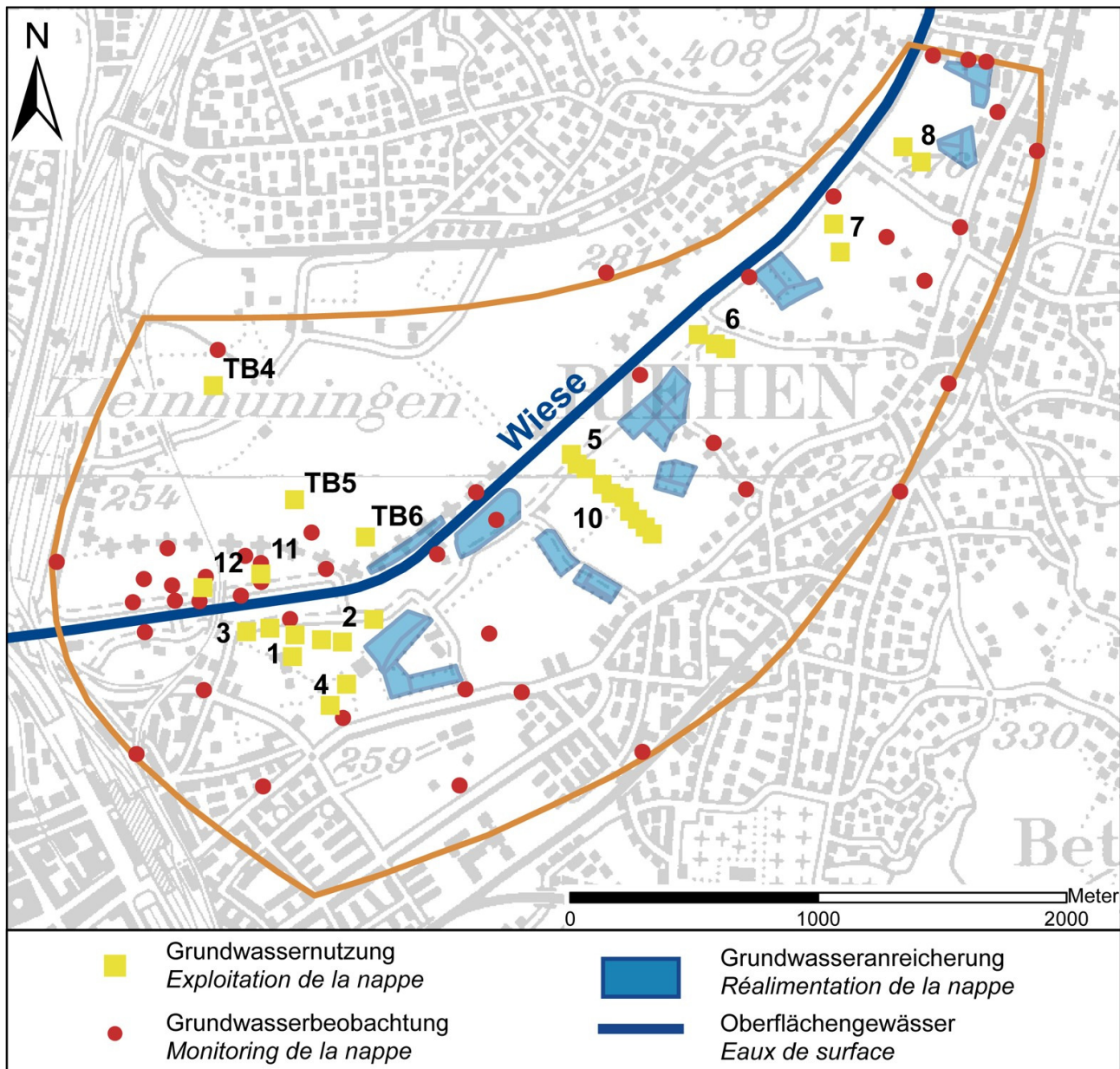


Abbildung 6.2.1: Grundwassernutzungen und –messstellen im Projektgebiet Wieseebene
 Figure 6.2.1: Exploitation des eaux souterraines et stations de mesure piézométrique de la nappe dans le sous-secteur de projet de la plaine de la Wiese

6.3 BIRSTAL

Die lokalen Wasserversorger, das „Wasserwerk Reinach und Umgebung“ und der „Zweckverband Wasserversorgung Aesch-Dornach-Pfeffingen“, entnehmen zusammen über zehn Fassungen Grundwasser für die Trinkwasserversorgung (Abb. 6.3.1). Die entnommene Wassermenge beläuft sich pro Jahr auf etwa 5.8 Mio. m³ Wasser. Um die Trinkwassergewinnung auch in Trockenperioden sicherstellen zu können, wird in einer Anreicherungsanlage über mehrere Stufen (Absatzbecken, Kiesfilter, Sandfilter) Birswasser

6.3 LA VALLEE DE LA BIRSE

Les producteurs d'eau locaux, à savoir « Wasserwerk Reinach und Umgebung » et le syndicat des eaux « Zweckverband Wasserversorgung Aesch-Dornach-Pfeffingen » prélèvent de l'eau potable en partenariat sur un réseau de dix puits (fig. 6.3.1). La quantité prélevée par an est de l'ordre de 5.8 millions de m³. Afin d'assurer l'approvisionnement en eau potable pendant les périodes de sécheresse, une installation de réinjection à plusieurs étages (bassin de décantation, filtre à gravier, filtre à sable) permet de filtrer et

gefiltert und in den Untergrund versickert. Mit einer versickerten Wassermenge von 5.2 Mio. m³ pro Jahr wird die Entnahmemenge aber nicht ausgeglichen. Das bedeutet, dass die übrige Entnahmemenge vorwiegend über Randzuflüsse, Flussinfiltrat und die lokale Grundwasserneubildung gedeckt werden muss.

Die Zuströmbereiche zu den Grundwasserentnahmebrunnen der Gemeinden Reinach und Aesch befinden sich teilweise in intensiv genutzten Wohn-, Gewerbe- oder Industriegebieten. Zudem verläuft die Autobahn H18 teilweise durch die Schutzzonen. Landwirtschaftliche Aktivitäten finden hauptsächlich im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes statt. Zusammen mit Unfall- und Betriebsstandorten können sie die Grundwasserqualität beeinflussen.

Der Einfluss der landwirtschaftlichen Aktivitäten auf den Nitratgehalt im Grundwasser und in den Grundwasserfassungen wird im separaten INTTERREG-III-Teilprojekt „Nitratherkunft“ ausführlich beschrieben.

Das Gebiet der Reinacher Heide, in dem sich acht der zehn Grundwasserfassungen befinden, ist als Naturschutzgebiet ausgewiesen, um die auf den ehemaligen Kiesbänken lebenden seltenen Pflanzen und Tiere zu schützen und dient zudem der Bevölkerung als Erholungsgebiet.

Nutzungsänderungen im Bereich Flussufer der Birs wurden abschnittsweise bereits durchgeführt, weitere Strecken sollen in der nächsten Zeit ebenfalls verändert werden. Seitens des Kantons Basel-Landschaft besteht der Wunsch, die Infrastruktureinrichtungen entlang der Birsufer mit zeitgemässen Hochwasserschutzmassnahmen zu schützen und überall wo möglich, die Gewässerbreite den Anforderungen an einen zeitgemässen Hochwasserschutz anzupassen [BUWAL und BWG 2003]. Seitens der Umweltschutzverbände wird mit diesen Massnahmen insbesondere auch eine Verbesserung der Lebensräume entlang der Birs angestrebt.

d'infiltrer de l'eau de la Birse. Toutefois, la réinjection de 5.2 millions de m³ annuels ne compense pas la quantité prélevée. Il s'ensuit que le reste de la quantité prélevée doit être couvert par des apports latéraux, de l'infiltration d'eau de rivière et par la recharge locale de la nappe.

Les zones de captage des puits de production d'eau potable des communes de Reinach et de Aesch se situent en partie dans des zones résidentielles, commerciales voire industrielles très denses. De plus, l'autoroute H18 pénètre en partie dans les zones de protection des captages. Les activités agricoles sont essentiellement cantonnées à l'ouest du secteur d'étude. Celles-ci, additionnées aux sites d'éventuels accidents et aux sites industriels, constituent une menace potentielle pour la qualité de l'eau souterraine.

L'impact des activités agricoles sur les concentrations en nitrates dans la nappe et dans les zones de captage des eaux est décrit de manière détaillée au titre du sous-projet INTTERREG III spécifique « Origine des nitrates ».

Le périmètre de la Reinacher Heide, qui compte huit des dix captages d'eau, a été déclaré réserve naturelle pour la protection de la faune et de la flore colonisant les anciens bancs de gravier et constitue une zone de détente de proximité pour la population.

Sur certains tronçons de la Birse, des modifications d'exploitation le long des berges de la rivière ont d'ores déjà été initiées ; ce processus est appelé à se poursuivre pour des tronçons supplémentaires de la rivière. Du côté du Canton de Bâle-Campagne, on souhaite doter les infrastructures le long de la Birse d'un système de protection moderne contre les crues et adapter la largeur du cours d'eau aux exigences d'une protection moderne contre les crues dans toute la mesure du possible [BUWAL und BWG 2003]. Du côté des associations de protection de la nature, ces mesures visent notamment à améliorer l'habitat de la faune et de la flore sur les berges de la Birse.

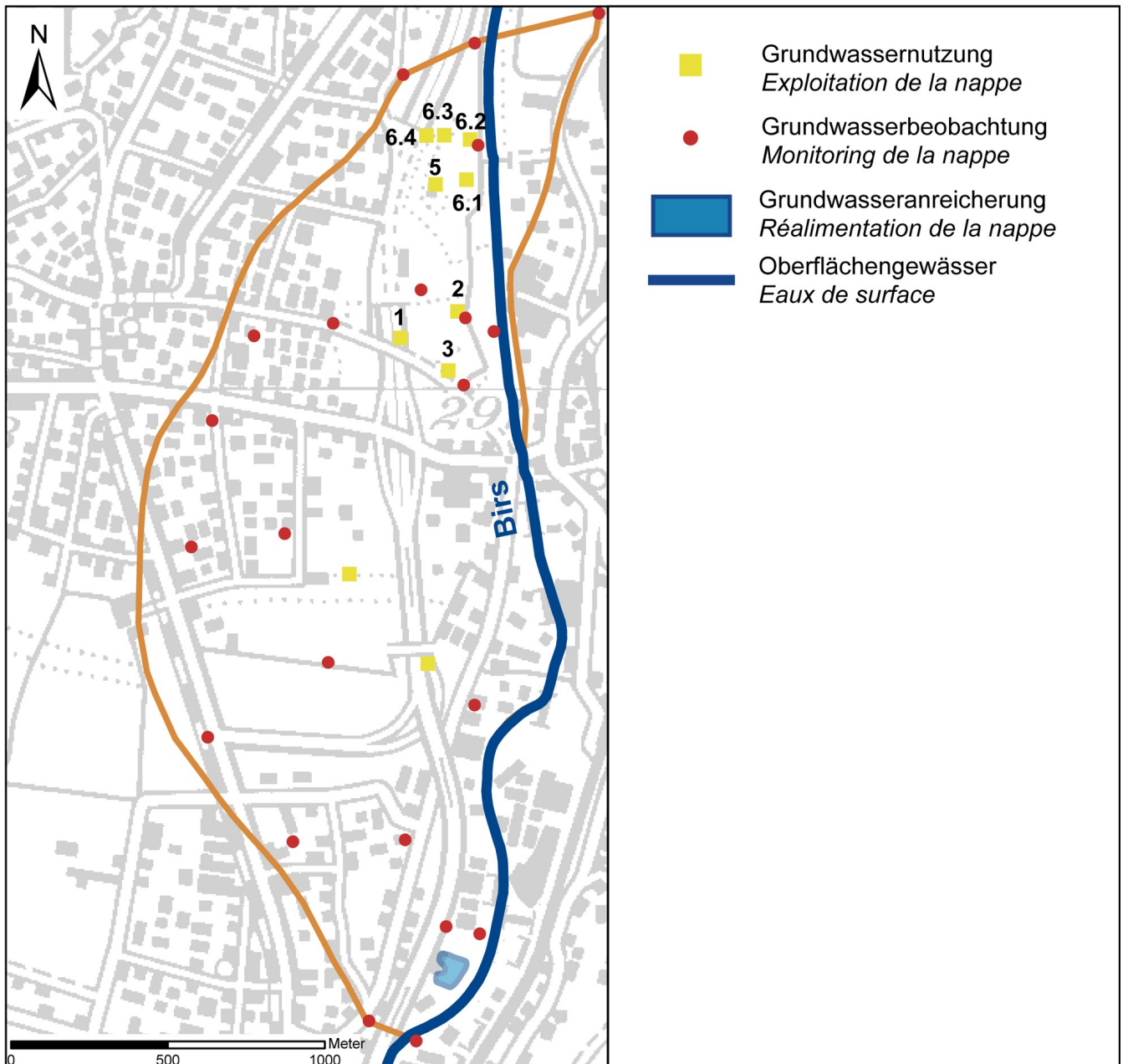


Abbildung 6.3.1: Grundwassernutzungen und –messstellen im Projektgebiet Birstal

Figure 6.3.1: Exploitation des eaux souterraines et stations de mesure piézométrique de la nappe dans le sous-secteur de projet de la vallée de la Birs

7 Grundwassermessdaten

Données relatives à la nappe

In den Teilgebieten **MuttENZ-Pratteln**, **Wieseebene** und **Birstal** ist im Hinblick auf die Erstellung von prognosefähigen Grundwassermodellen ein Netz von Grundwassermessstellen aufgebaut worden. Diese neuen Messnetze beruhen auf einer Überprüfung der bisherigen Grundwassermessstellen und dem Bau von zusätzlichen Grundwassermessstellen. Im Gebiet MuttENZ-Pratteln wurde insbesondere die Errichtung von neuen Messstellen bis an die Basis des Kluftaquifers erforderlich (Tiefen von bis zu 120 m). Ein Teil der instrumentierten Beobachtungsrohre dient zur Verbesserung des Prozessverständnisses der Fluss-Grundwasser-Interaktion, andere wiederum zur Beantwortung von Fragestellungen wie der Ausscheidung und Überprüfung von Grundwasserschutz-zonen, Gefährdungsabschätzungen von Betriebsstandorten und der Überwachung von Subrosionsvorgängen im Kluftaquifer.

Ein Überblick über die Verteilung der Messstellen findet sich in den Abbildungen 7.1.1, 7.2.1 und 7.3.1 sowie in der Tabelle 6.2. Die automatisch aufgezeichneten Messparameter umfassen Grundwasserspiegel, Temperatur und teilweise die elektrische Leitfähigkeit. Zur Modellvalidierung und zur Ermittlung der Zusammensetzung und Herkunft von verschiedenen Grundwässern sind gezielt Markierversuche mit gelösten konservativen Tracern und Partikeln geplant und durchgeführt worden. Diese Experimente wurden ergänzt durch Messungen von Isotopen, Partikeln und weiteren chemisch-physikalischen Parametern (siehe Tabelle 7.1). Einzelne für das Verständnis der Fluss-Grundwasser-Interaktion wichtige Zeitreihen werden in den jeweiligen Unterkapiteln der einzelnen Teilgebiete dargestellt und diskutiert. Diese Messreihen dokumentieren insbesondere die starke Instationarität der Fluss-Grundwasser-Interaktion.

Dans les sous-secteurs de **MuttENZ-Pratteln**, de la **plaine de la Wiese** et de la **vallée de la Birse**, un réseau de stations de mesures piézométriques a été mis en place pour la modélisation des eaux souterraines en vue d'établir des pronostics. Ce nouveau réseau comprend une évaluation des piézomètres existants et la mise en place de stations de mesures supplémentaires. Dans le secteur de MuttENZ-Pratteln notamment, il a fallu mettre en place de nouveaux points de mesure, à la base de l'aquifère fracturée (à des profondeurs atteignant 120 m). Une partie de ces points est destinée à l'amélioration de la compréhension des interactions nappe-rivière, tandis que d'autres doivent apporter une réponse à des questions variées, comme p. ex. délimitation et vérification des périmètres/zones de protection des eaux, évaluation des risques émanant de sites industriels et surveillance des phénomènes de dissolution souterraine (subrosion) dans l'aquifère fracturé.

La répartition des points de mesure ressort des figures 7.1.1, 7.2.1 et 7.3.1 ainsi que du tableau 6.2. L'enregistrement automatique des paramètres de mesure porte sur le niveau piézométrique de la nappe, la température et parfois la conductivité électrique. En vue de valider le modèle et de déterminer la composition et l'origine des différentes eaux souterraines, nous avons prévu et réalisé des essais de traçage ciblés à l'aide de traceurs conservateurs en solution et de particules. Ces expérimentations ont été complétées par la mesure d'isotopes, de particules et d'autres paramètres physico-chimiques (voir tableau 7.1). Différentes séries de durées mesurées intéressant les interactions nappe-rivière seront visualisées et discutées. Ces séries de mesures documentent notamment le caractère fortement transitif de l'interaction rivière-nappe.

Tabelle 7.1: Durchgeführte Untersuchungen in den Teilgebieten
 Tableau 7.1: Analyses réalisées dans les différents sous-secteurs d'étude

	Markier- versuche / <i>Essais de traçage</i>	Isotopen- messungen / <i>Mesure des isotopes</i>	Partikel- messungen / <i>Mesures de particules</i>	chem./phys. Wasseranalysen / <i>Analyses physico-chimiques de l'eau</i>
Muttenz-Pratteln	-	x	-	x
Wieseebene / Plaine de la Wiese	x	-	x	x
Birstal / Vallée de la Birse	x	-	-	-

7.1 MUTTENZ-PRATTELN

Für die Abschätzung der Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Flusswasser sind die infiltrierenden Flussabschnitte von Bedeutung. Im Untersuchungsgebiet Muttenz-Pratteln ist der Rhein Vorfluter. Durch die Stauhaltung der Flusskraftwerke Augst-Wyhlen oberhalb und Birsfelden unterhalb des Gebiets, ist der Rheinpegel heute stark reguliert. Zudem führen Grundwasseranreicherungen und die rheinnahe Grundwasserentnahme zu einer Änderung des natürlichen rheinnahen Grundwasserfliessfeldes. Im Gebiet Muttenz-Pratteln befinden sich deshalb infiltrierende Abschnitte im mittleren Teil dieses Flussabschnittes, gerade dort, wo beidseitig des Rheins die bedeutendsten Grundwasserentnahmen der Industriestandorte von Schweizerhalle und Grenzach liegen (Abb. 7.1.1).

7.1 MUTTENZ-PRATTELN

En vue d'estimer l'influence de l'eau de surface sur la qualité de la nappe, il est indispensable de bien connaître les tronçons de rivière à l'origine de l'infiltration. Dans le sous-secteur de Muttenz-Pratteln, le Rhin fait office de milieu récepteur. En raison des barrages des centrales hydroélectriques de Augst-Wyhlen en amont et de Birsfelden en aval du secteur considéré, le niveau du Rhin est fortement régulé. De plus, les activités de réalimentation de la nappe et de prélèvement d'eau à proximité des berges du Rhin perturbent l'aire d'écoulement naturelle dans le périmètre en question. Dans le secteur de Muttenz-Pratteln, on note une très forte infiltration au milieu de ce tronçon de rivière, à hauteur des points de prélèvement les plus importants des sites industriels de Schweizerhalle et de Grenzach (fig. 7.1.1).

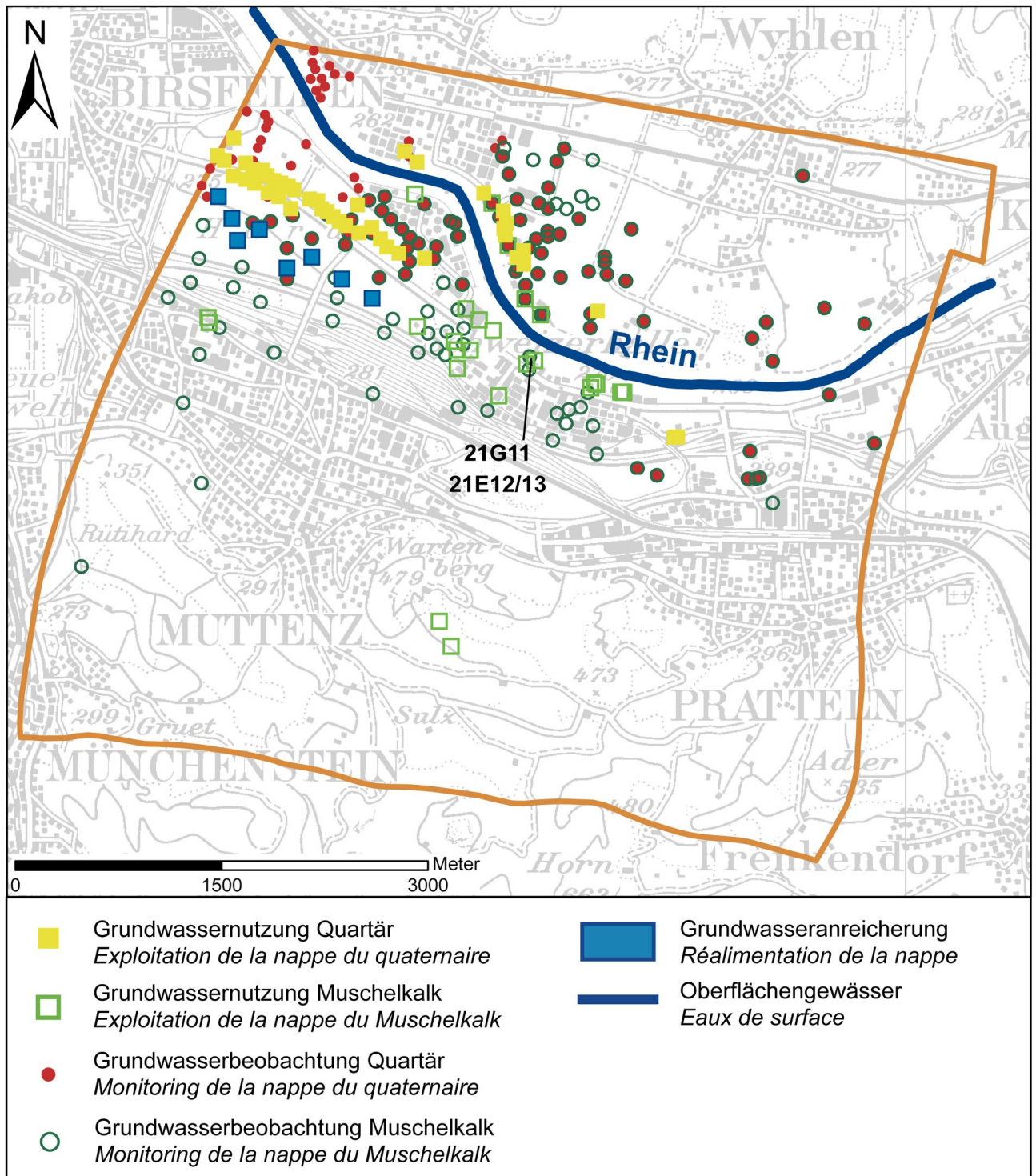


Abbildung 7.1.1: Messstellennetz des Teilgebietes Muttenz-Pratteln
 Figure 7.1.1: Réseau des points de mesure du secteur d'étude de Muttenz-Pratteln

Zur Beobachtung und Quantifizierung der Flussinfiltration in diesem Flussabschnitt wurden

- a) die Rheinpegel mit flussnahen Grundwassermessstellen und Entnahmemengen verglichen,
- b) gelöste Anionenkonzentrationen (Chlorid, Sulphat) und Isotopenzusammensetzungen

En vue d'observer et de quantifier l'infiltration dans ce tronçon, nous avons procédé :

- a) à une comparaison des niveaux du Rhin avec les niveaux piézométriques et les quantités de prélèvement à proximité des berges,
- b) à une comparaison des concentrations en anions

(Sauerstoff-18, Deuterium) von Grundwassermessstellen und Flusswasser gegenübergestellt sowie

c) mittels Grundwassermodellen (Prognosewerkzeuge) die infiltrierenden und exfiltrierenden Wassermengen quantifiziert.

Ein Vergleich zwischen dem gemessenen Rheinpegel im Unterwasser des Kraftwerks Augst-Wyhlen (3 km oberhalb Schweizerhalle), dem Grundwasserspiegel in der Messstelle 21G11 (20 m von Rheinufer entfernt) sowie der Summe der Entnahmemengen der unmittelbar neben der Messstelle liegenden Brunnen 21E12 und 21E13 zeigt, dass der Grundwasserspiegel die Änderungen der Entnahmemengen wiedergibt (Abb. 7.1.2).

(chlorures, sulfates) et des composés isotopiques (oxygène-18, deutérium) entre l'eau prélevée dans les piézomètres et l'eau de rivière

c) à une quantification de l'infiltration et de l'exfiltration à l'aide de différents modèles de la nappe (outils de pronostic).

La comparaison entre le niveau du Rhin mesuré en aval de la centrale hydroélectrique de Augst-Wyhlen (3 km en amont de Schweizerhalle), le niveau piézométrique de la nappe au point de mesure 21G11 (distant de 20 m de la berge du Rhin) et le total des quantités prélevées par les forages de production situés à proximité immédiate du point de mesure, soit 21E12 et 21E13, a démontré que le niveau piézométrique de la nappe reflète la quantité d'eau souterraine prélevée (fig. 7.1.2).

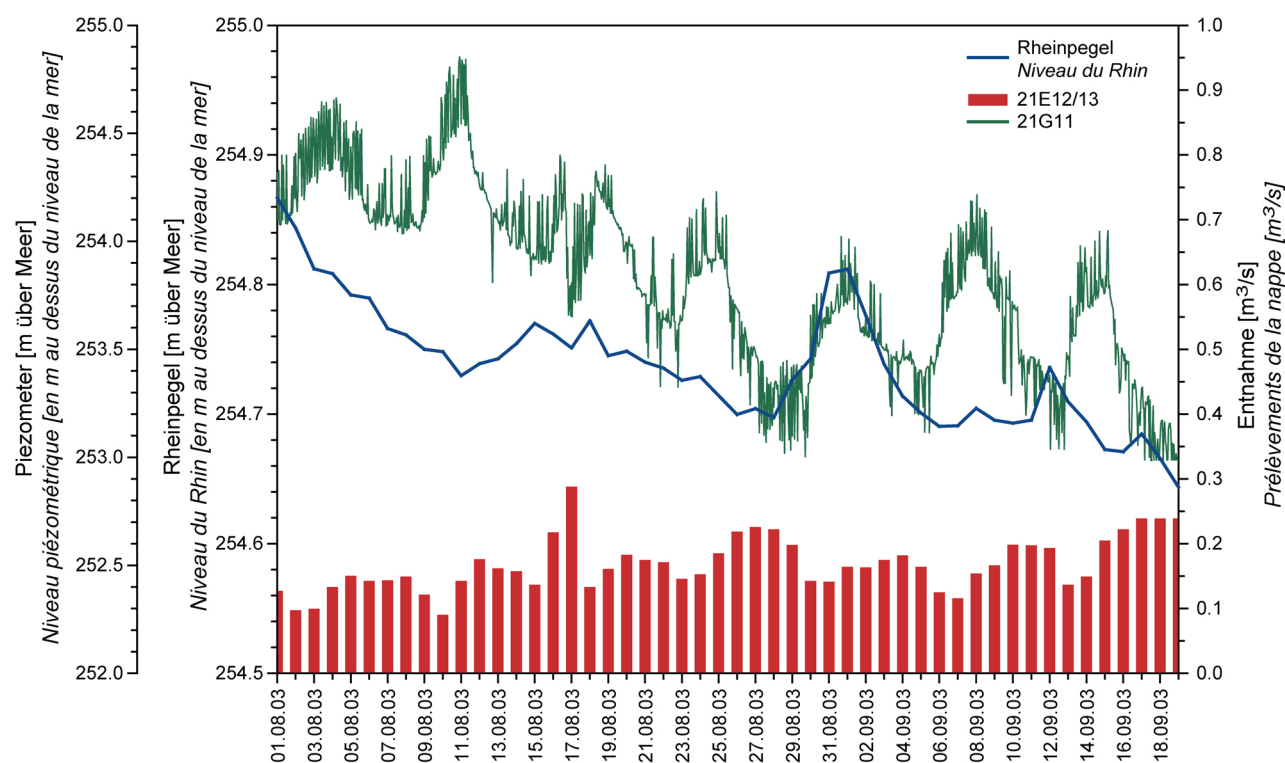


Abbildung 7.1.2: Vergleich zwischen Rheinpegel, Piezometer 21G11 und Brunnen 21E12/13
 Figure 7.1.2: Comparaison entre le niveau du Rhin et les niveaux piézométriques au niveau du piézomètre 21G11 et des forages 21E12/13

Erhöhungen der Entnahmen führen zu Absenkungen des Grundwasserspiegels, und umgekehrt. Im gleichen Zeitraum von sieben Wochen im August/September 2003 zeigt der Rheinpegel hingegen kaum Änderungen. Demzufolge steht die infiltrierende Wassermenge im mittleren Fluss-

L'augmentation du prélèvement fait baisser le niveau piézométrique de la nappe et vice-versa. Sur la période considérée entre août et septembre 2003, le niveau d'eau du Rhin ne varie presque pas. On peut en conclure que la quantité d'eau infiltrée au niveau du tronçon central de la rivière est directement fonc-

abschnitt im Wesentlichen in Beziehung zu den Entnahmemengen der Brunnen der Industriestandorte Schweizerhalle und Grenzach.

Das Grundwasser im Gebiet MuttENZ-Pratteln setzt sich demzufolge zusammen aus einer Mischung von lokal gebildetem Grundwasser aus dem Kluftaquifer, lokal gebildetem Rheinschottergrundwasser, dem Rheinwasser entsprechenden Anreicherungswasser sowie direkt infiltrierendem Rheinwasser. Um die Mischungsmuster des Grundwassers charakterisieren zu können, sind Anionenkonzentrationen (Chlorid und Sulfat) und Isotopenzusammensetzungen an zwei Stichtagen im November 2004, in Wasserproben aus insgesamt 46 Grundwassermessstellen von den beiden Aquiferstockwerken sowie in Rheinwasserproben gemessen worden.

7.2 WIESEEBENE

Relevante Steuerfaktoren, welche die Interaktionsprozesse zwischen Fluss- und Grundwasser und damit auch die lokalen und regionalen Wasserbilanzen sowie die Wasserqualität in den Förderbrunnen in der Wieseebene beeinflussen sind:

- (a) die Grundwasseranreicherung mit Rheinwasser (Anordnung und Betrieb der Felder, Qualität des Rheinwassers),
- (b) die Grundwasserentnahme (Anordnung und Betrieb der Brunnen),
- (c) der Abfluss der Wiese und die Qualität des Wiesewassers sowie
- (d) die seitlichen Zu- und Abflüsse (Wiesetal, Rheintal, Dinkelberg, Tüllinger Hügel) (siehe Abb. 7.2.1).

tion des quantités prélevées par les puits de forage des sites industriels de Schweizerhalle et de Grenzach.

Par conséquent, la nappe dans le secteur de MuttENZ-Pratteln est constituée d'un mélange d'eau souterraine rechargée localement de l'aquifère de roche fracturée et de l'aquifère des graviers du Rhin, d'eau de réalimentation dérivée du Rhin et d'eau du Rhin s'infiltrant directement. Afin de caractériser le schéma de mélange des différentes eaux souterraines, nous avons mesuré les anions (chlorures et sulfates) et les composés isotopiques à deux dates fixes au mois de novembre 2004, sur des échantillons prélevés sur un total de 46 points de mesure piézométriques répartis sur les deux aquifères ainsi que sur des échantillons d'eau du Rhin.

7.2 LA PLAINE DE LA WIESE

Parmi les facteurs déterminants qui influencent les interactions nappe-rivière et donc le bilan d'eau local et régional, ainsi que la qualité de l'eau des forages de production de la plaine de la Wiese, on a mesuré:

- (a) la réalimentation de la nappe à partir d'eau du Rhin (disposition et fonctionnement des bassins, qualité de l'eau du Rhin),
- (b) la quantité de prélèvement d'eau souterraine (disposition et fonctionnement des forages de production),
- (c) le débit de la Wiese et la qualité de l'eau de cette dernière,
- (d) les apports et débits de sortie latéraux (vallée de la Wiese, vallée du Rhin, Dinkelberg, colline Tüllinger Hügel) (voir fig. 7.2.1).

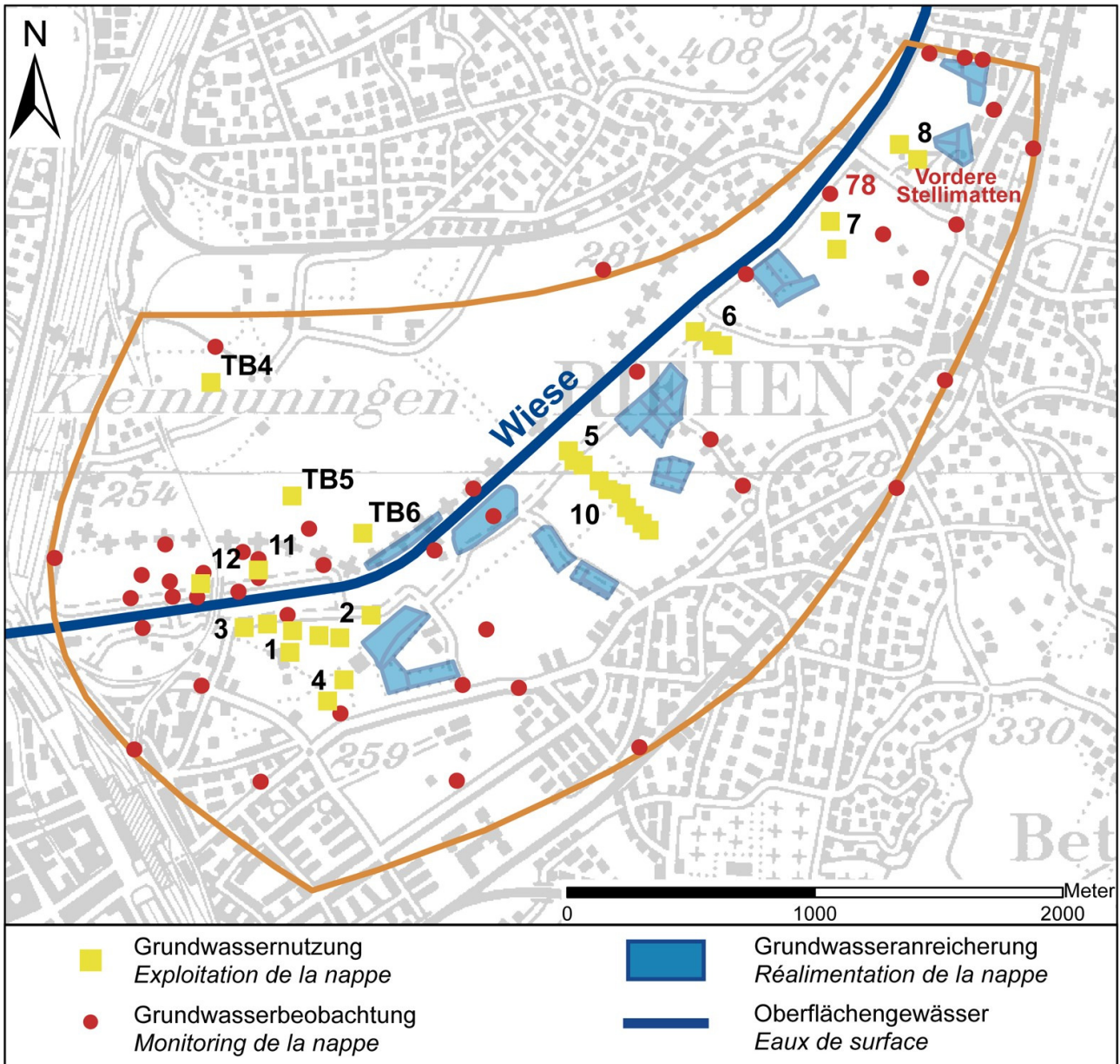


Abbildung 7.2.1: Messstellennetz des Teilgebietes Wieseebene
 Figure 7.2.1: Réseau des points de mesure du sous-secteur de la plaine de la Wiese

Abbildung 7.2.2 veranschaulicht die natürliche Dynamik von Niederschlag und Abfluss sowie die künstliche Grundwasseranreicherung und -entnahme in der Wieseebene vom 10. März bis 10. April 2002 während einem mittleren Hochwasser in der Wiese (Abflussmaxima $63.7 \text{ m}^3/\text{s}$ am 20. März 2002).

In Abbildung 7.2.3 ist der Grundwasserstand des wiesennahen Piezometers 78 dargestellt (Lokalität siehe Abb. 7.2.1). Dieser Pegel wird vor allem durch den Wasserstand der Wiese und mit etwas Verzögerung auch von der Grundwasseranreicherung in den Vorderen Stellmatten

La figure 7.2.2 illustre la dynamique naturelle des précipitations et du débit en plus de la réalimentation artificielle et des prélèvements d'eau en nappe au niveau de la plaine de la Wiese, entre le 10 mars et le 10 avril 2002, lors d'une crue moyenne de la Wiese (débit maximum de $63.7 \text{ m}^3/\text{s}$, atteint le 20 mars 2002).

La figure 7.2.3 illustre le niveau piézométrique de la nappe au niveau du piézomètre 78 proche de la Wiese (localisation : voir fig. 7.2.1). Ce niveau est essentiellement tributaire du niveau d'eau de la Wiese et, avec un léger décalage, également de l'alimentation de la nappe au niveau du lieu-dit Vordere Stellmatten (lo-

beeinflusst (Lokalität siehe Abb. 7.2.1). Zwischen den Hochwasserspitzen fällt der Grundwasserspiegel trotz Einfluss der Grundwasseranreicherung wieder auf ein tieferes Niveau ab.

calisation : voir fig. 7.2.1). Entre deux pics de la crue, le niveau piézométrique retombe, malgré l'impact de réalimentation de la nappe.

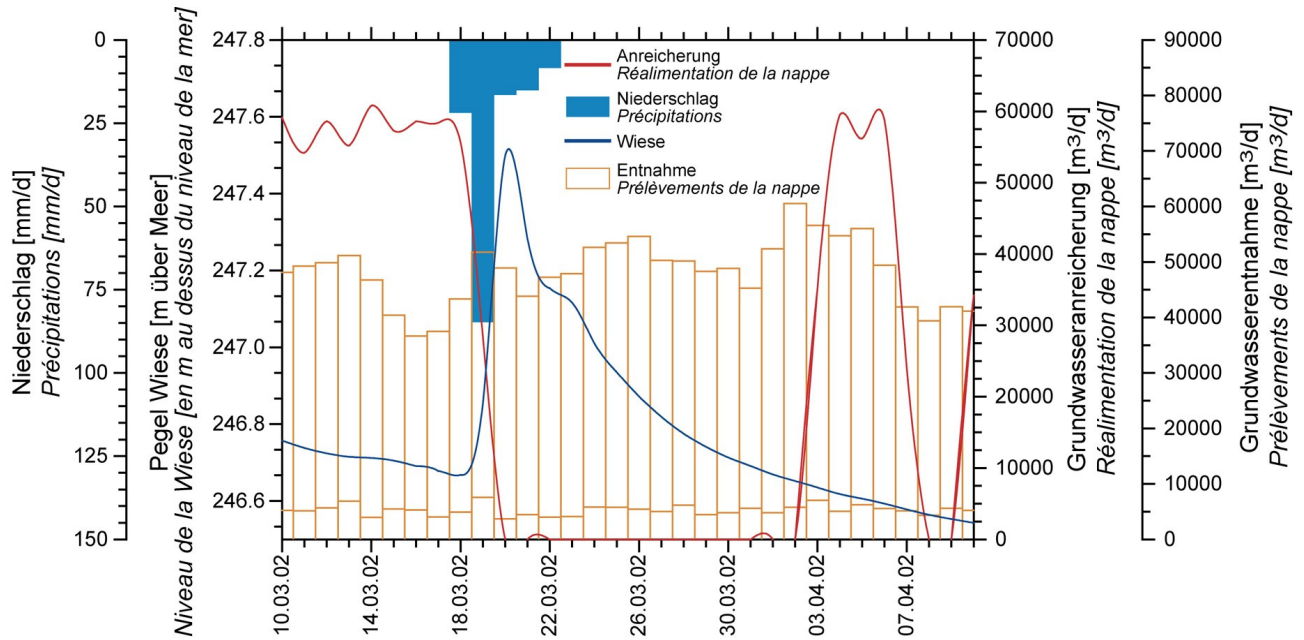


Abbildung 7.2.2: Hydrologie und Grundwassernutzung vom 10. März bis 10. April 2002 in der Wieseebene
 Figure 7.2.2: Hydrologie et exploitation de la nappe, du 10 mars au 10 avril 2002 dans la plaine de la Wiese

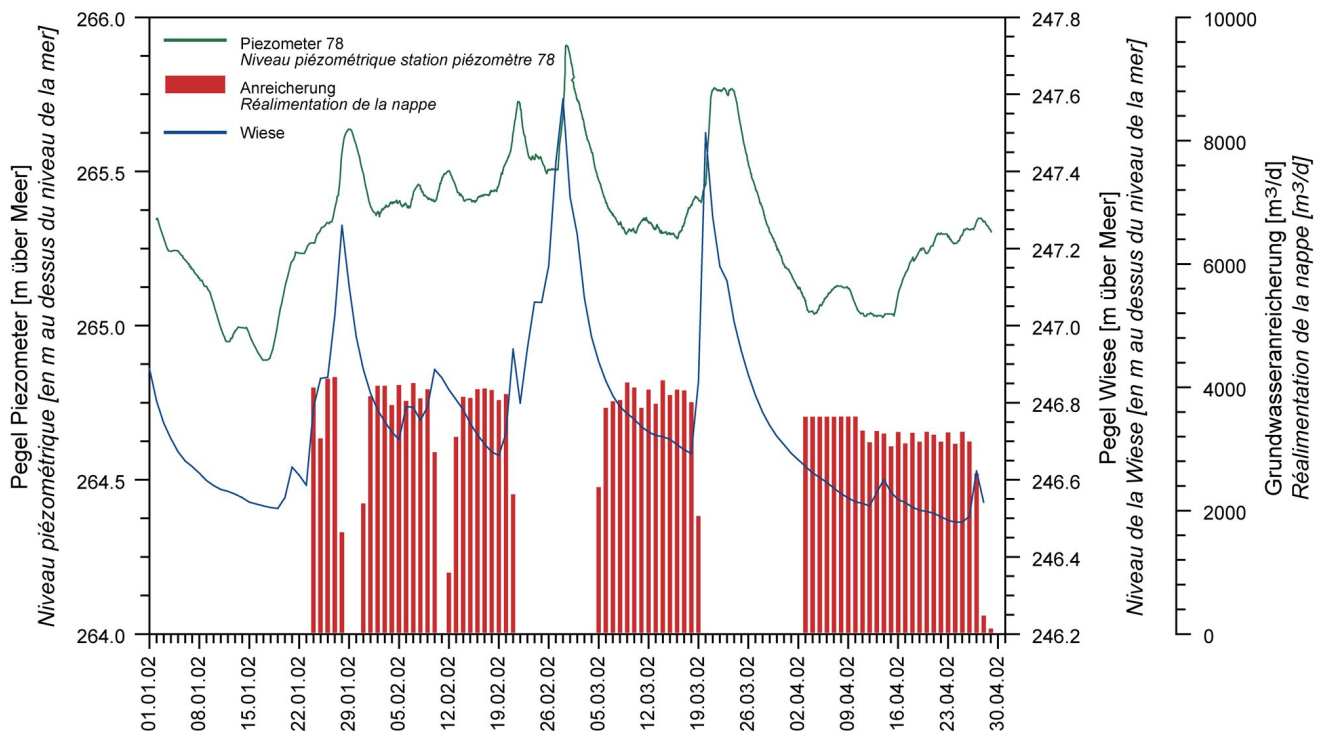


Abbildung 7.2.3: Wasserstand der Wiese und in Piezometer 78 sowie Grundwasseranreicherung in den Vorderen Stellmatten von Januar bis Mai 2002
 Figure 7.2.3: Niveau de la Wiese et niveau piézométrique mesuré au piézomètre 78 et la réalimentation de la nappe au niveau de la localité Vordere Stellmatten entre janvier et mai 2002

7.2.1 MARKIERVERSUCHE

Tabelle 7.2.1.1 zeigt Daten zweier Markierversuche (MV) in der Wiese [GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT 2003a und 2004]. Die berechneten Anteile Wieseinfiltrat basieren auf zahlreichen Annahmen und den hydraulischen Bedingungen der Hochwassersituation vom 20. März 2002 (Abfluss 63 m³/s) sowie den entsprechenden Pumpraten in den Brunnen. Sie sind deshalb als Minimalwerte zu betrachten. Gemäss Hochwasserstatistik wurde der Abfluss von 63 m³/s im Jahr 2002 während sechs Tagen erreicht oder überschritten; im Mittel der letzten 70 Jahre wurde dieser Abfluss zwischen vier und fünf Mal pro Jahr erreicht oder überschritten [BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE 2004]. Diesem Risiko begegnet die Wasserversorgung durch vorzeitige Ausserbetriebnahme der entsprechenden Brunnen (Grundwasser-management).

Tabelle 7.2.1.1: Resultate der Markierversuche vom März 2002 und Januar 2004 in der Wiese bei Basel. Im Anströmbereich von Brunnen 13 befindet sich ein im Rahmen eines Pilotprojekts realisierter revitalisierter Flussabschnitt. (n.b.: nicht berechnet; 60°: Anströmwinkel 60°)

Tableau 7.2.1.1: Résultats de l'essai de traçage de mars 2002 et de janvier 2004 sur la Wiese près de Bâle. Dans l'aire d'appel du forage 13 se trouve un tronçon de berge renaturé dans le cadre d'un projet pilote. (n.b. : non calculé ; 60°: angle d'alimentation 60°)

MV / Essais de traçage	Brunnen / Forage	Abstand zur Wiese 60° < [m] / Distance par rapport à la Wiese 60° < [m]	minimale Aufenthaltszeit [h] / Temps de séjour mini [h]	dominierende Aufenthaltszeit [h] / Temps de séjour dominant [h]	mittlere Aufenthaltszeit [h] / Temps de séjour moyen [h]	Anteil Wieseinfiltrat [%] / Fraction d'infiltrat de la Wiese [%]
2002	3	120	24	47	63	4.77
	11	150	35	61	72	0.95
	12	65	16	40	65	9.11
	TB6	200	42	77	-	1.44
2004	5	180	45	75	106	n.b.
	13	140	16	47	76	n.b.

7.2.2 PARTIKELANALYSEN

Ergebnisse von Untersuchungen deuten darauf hin, dass Mikroorganismen an Partikel gebunden mit der Grundwasserströmung transportiert werden [MC CARTY, ZACHARA 1989]. Die Partikelzahl ist somit ein weiterer relevanter Parameter für die Beurteilung der Wasserqualität. Zählungen von Partikeln mit dem Durchmesser zwischen 1-20 µm wurden in der Wieseebene in Brunnen 3 online durchgeführt (Abb. 7.2.2.1). Die Partikelzahl im

7.2.1 ESSAIS DE TRAÇAGE

Le tableau 7.2.1.1 récapitule les données des deux essais de traçage (MV) effectués au niveau de la Wiese [GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT 2003a und 2004]. Les quantités d'infiltration d'eau de la Wiese calculées se basent sur un certain nombre d'hypothèses et sur les conditions hydrauliques de la situation de crue du 20 mars 2002 (débit de 63 m³/s) ainsi que sur les débits de production des forages. Il y a lieu de les considérer comme des minimums. Selon la statistique des crues, le débit maximal de 63 m³/s a été atteint voire dépassé pendant six jours en 2002. En moyenne sur les 70 dernières années, ce débit est dépassé quatre à cinq jours par an [BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE 2004]. Face à ce risque, les producteurs d'eau arrêtent préventivement les forages en question (gestion des eaux souterraines).

7.2.2 ANALYSES DE PARTICULES

Les résultats d'analyse sembleraient indiquer que la nappe véhicule des microorganismes accrochés à des particules [MC CARTY, ZACHARA 1989]. Ainsi, le nombre de particules est un paramètre supplémentaire important au regard de l'évaluation de la qualité de l'eau. Nous avons procédé à un comptage en ligne des particules d'un diamètre compris entre 1 et 20 µm dans la plaine de la Wiese, au niveau du forage 3 (fig. 7.2.2.1). Le nombre de particules dans

geförderten Wasser ist deutlich vom Hochwasser beeinflusst, wobei das Maximum der Gesamtpartikelzahl mit geringer Verzögerung nach dem Hochwassermaximum gemessen wurde. Der Durchbruch der kleinen Partikel mit 1-5 µm Durchmesser erfolgt vor demjenigen der grösseren Partikel (5-20 µm). Die grösseren Partikel weisen eine Verzögerung des Durchbruchs um etwa einen Tag gegenüber dem maximalen Wieseabfluss auf.

Die Indikatorkeime *E. coli* und Enterokokken haben einen Durchmesser von 0.5-1.5 µm und eine Länge von 2-4 µm [AUCKENTHALER und HUGGENBERGER 2003]. Sie können also mit den kleinen Partikeln von 1-5 µm Durchmesser verglichen werden. Eine erhöhte mikrobiologische Belastung von *E. coli* und Enterokokken in der Wiese wirkt sich relativ schnell in einzelnen flussnahen Brunnen aus [REGLI et al. 2003]. Clostridien besitzen einen Durchmesser von 0.9-1.3 µm und eine Länge von 3-9 µm [AUCKENTHALER und HUGGENBERGER 2003]. Sie entsprechen dem Bereich der Partikel von 1-20 µm Durchmesser. Ausgehend von der Partikelanalyse ist anzunehmen, dass der Transport von Clostridien gegenüber *E. coli* und Enterokokken verzögert wird. Der Durchbruch von Partikeln in Brunnen 3 erfolgt je nach Partikelgrösse um 1-2 Tage schneller als derjenige von Uranin (Abb. 7.2.2.1). Diese Beobachtung dokumentiert, dass sich hydraulische, chemische und biologische Prozesse unterschiedlich auf gelöste und partikuläre Stoffe auswirken.

l'eau pompée est fortement influencé par la crue, le total de particules maximum ayant été mesuré avec un léger décalage après le débit de crue maximum. L'apparition de petites particules (1 à 5 µm de diamètre) précède celle des particules plus grandes (5 à 20 µm). L'apparition des plus grandes particules est décalée d'environ un jour par rapport à l'apparition du débit maximal de la Wiese.

Les germes indicateurs d'*E. coli* et d'entérocoques présentent un diamètre de 0.5 à 1.5 µm et une longueur de 2 à 4 µm [AUCKENTHALER und HUGGENBERGER 2003]. On ne saurait par conséquent les comparer aux petites particules (diam. 1 à 5 µm). Une charge microbologique accrue en germes d'*E. coli* et d'entérocoques se répercute rapidement sur certains forages proches de la rive [REGLI et al. 2003]. Les clostridium présentent un diamètre de 0.9 à 1.3 µm et une longueur de 3 à 9 µm [AUCKENTHALER und HUGGENBERGER 2003]. Elles tombent dans la plage des particules d'un diamètre compris entre 1 et 20 µm. Sur la base de l'analyse des particules, on peut penser que le transport des clostridium est retardé par rapport à celui des germes d'*E. coli* et des germes d'entérocoques. L'apparition des particules au niveau du forage 3 a été observée, en fonction de la taille des particules, 1 à 2 jours avant celle de l'uranine (fig. 7.2.2.1). Cette observation démontre que les processus hydrauliques, chimiques et biologiques agissent différemment sur les substances dissoutes et les substances particulaires.

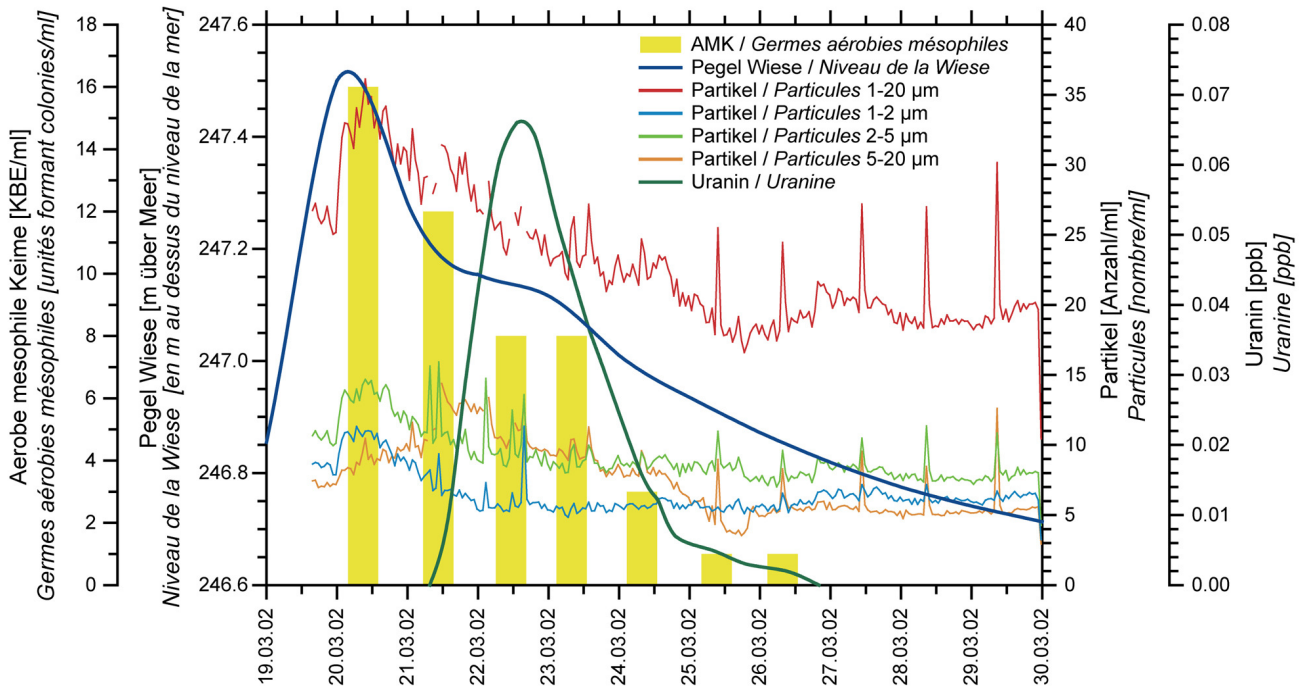


Abbildung 7.2.2.1: Partikelanalyse und Uranin-Durchbruchskurve zwischen Mitte und Ende März 2002 in Brunnen 3 in der Wieseebene
 Figure 7.2.2.1: Analyse des particules et courbe d'apparition de l'uranine pour la période comprise entre mi-mars et fin mars 2002 au niveau du forage 3 de la plaine de la Wiese

In heterogenen Systemen wird ein Zusammenhang zwischen Partikeltransport und der Varianz der hydraulischen Leitfähigkeit vermutet [REHMANN et al.1999]. Zudem weist Uranin in sandigem Schotter, wie er für die Wieseebene typisch ist, einen Retardationsfaktor von ~ 1.2 auf und die Nachweisgrenze liegt bei 0.002 ppb [SCHUDEL et al. 2002]. Bei den Partikeln muss jedoch angenommen werden, dass diejenigen, die den Durchbruch zum Brunnen schafften, bevorzugte Fließwege benutzt haben. Es bleibt aber zu überprüfen, ob sich die gegenüber Uranin ein vorzeitiges Konzentrationsmaximum verursachenden Partikel während eines Hochwassers im Fließgewässer oder bereits im Aquifer aufhalten und lediglich durch Druckübertragung von Hochwasserwellen weitertransportiert werden (piston-flow Effekt). Zudem ist die kontinuierliche Partikelmessung im untersten Konzentrationsbereich störungsanfällig und eine Interpretation entsprechend schwierig.

Dans les systèmes hétérogènes, on suppose qu'il existe une relation entre le transport de particules et la variation de la conductivité hydraulique [REHMANN et al.1999]. De plus, l'uranine présente, dans les graviers sablonneux typiques de la plaine de la Wiese, un facteur de retardement de l'ordre de ~ 1.2 , son seuil de détection étant de 0.002 ppb [SCHUDEL et al. 2002]. Concernant les particules, il y a cependant lieu de penser que celles qui parviennent jusqu'au forage, empruntent des voies d'écoulement privilégiées. Il reste par conséquent à vérifier si les particules dont le taux maximum précède l'apparition de l'uranine en situation de crue se trouvaient dans l'eau de surface, ou si, se trouvant d'ores et déjà dans l'aquifère, leur transport serait dû seulement à la pression de l'onde de crue (écoulement dû à l'effet piston). Par ailleurs, la mesure de particules en continu dans la plage des concentrations les plus faibles est très sensible aux perturbations et son interprétation s'avère problématique.

7.3 BIRSTAL

In den letzten drei Jahren erfolgte im Birstal der Aufbau eines Grundwassermessstellennetzes. Diese Arbeit beinhaltet den Ausbau bestehender Bohrungen zu Grundwassermessstellen und den Bau neuer Piezometer.

7.3 LA VALLEE DE LA BIRSE

Au cours des trois dernières années, un réseau de points de mesures piézométriques a été mis en place dans la vallée de la Birse. Ces travaux concernaient l'aménagement de forages existants en points de mesure, ainsi que la mise en place de nouveaux piézomètres.

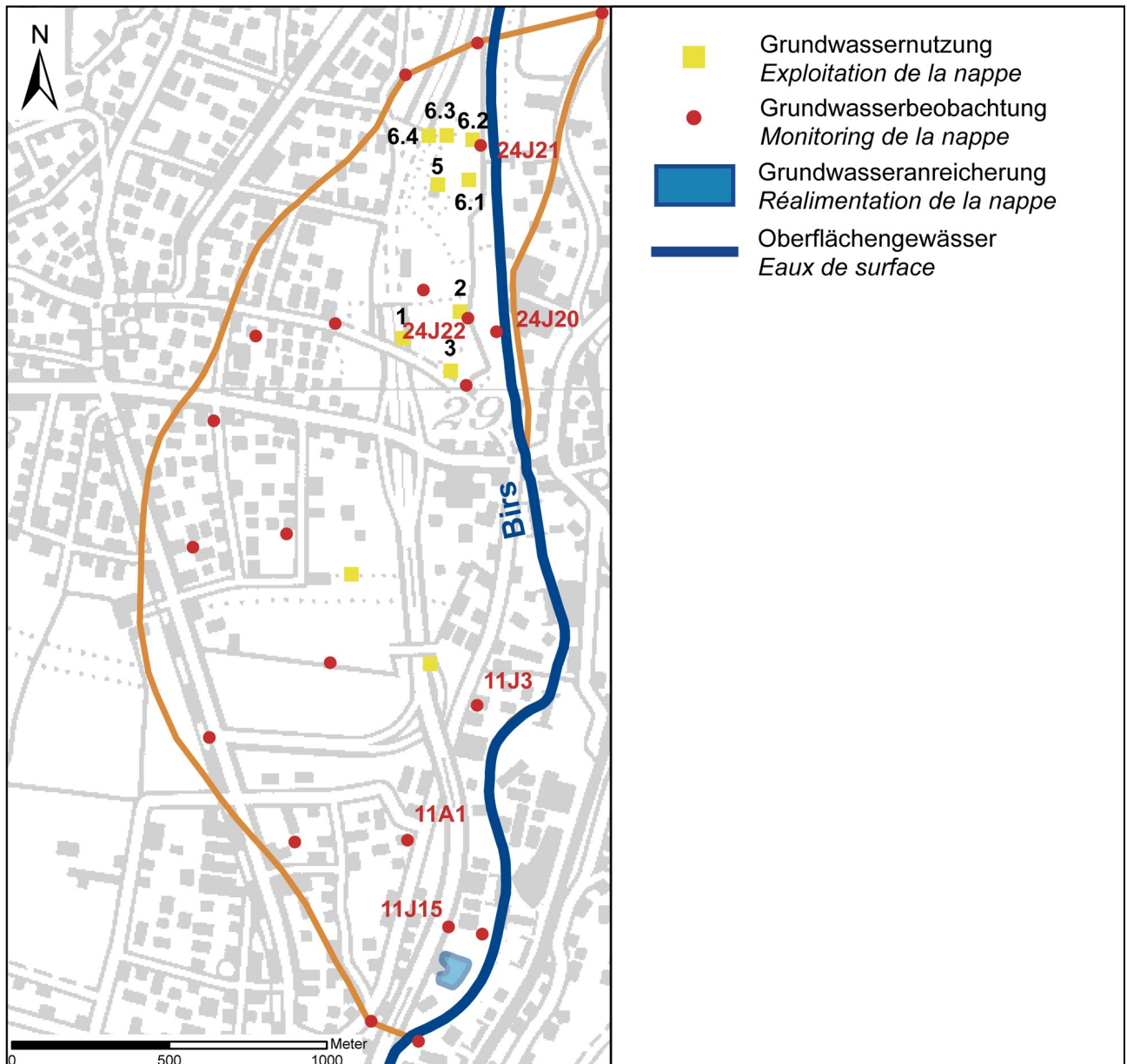


Abbildung 7.3.1: Messstellennetz des Teilgebietes Birstal
 Figure 7.3.1: Réseau des points de mesure du sous-secteur de la vallée de la Birse

Die Messstellen wurden mit 20 automatischen und 5 analogen Pegelschreibern ausgestattet. Die automatischen Pegelschreiber zeichnen zusätzlich zum Grundwasserspiegel die Temperatur auf, einige von ihnen sind ausserdem mit einer Leitfähigkeitssonde ausgerüstet. In den 25

Les points de mesure des niveaux piézométriques ont été équipés de 20 enregistreurs automatiques et de 5 enregistreurs analogiques. Les enregistreurs automatiques enregistrent, en plus du niveau piézométrique de la nappe, la température et certains disposent en plus, d'une sonde de mesure de conductivité.

Piezometern inbegriffen, sind die drei Cluster 24J20, 24J21 und 24J22, welche sich im Nahbereich der Birse befinden (Abb. 7.3.1, Abb. 7.3.2), und zum Studium der Fluss-Grundwasser-Interaktion dienen. Ein Cluster stellt je eine Gruppe bestehend aus drei Piezometern dar, deren Filterstrecken in unterschiedliche Grundwassertiefen reichen.

Parmi ces 25 piézomètres se trouvent les trois groupements 24J20, 24J21 et 24J22 situés à proximité de la Birse (fig. 7.3.1, fig. 7.3.2), dédiés à l'étude des interactions rivière-nappe. Chaque groupement se compose d'un groupe de trois piézomètres dont le segment filtrant est immergé à une profondeur variable dans la nappe.



Abbildung 7.3.2: Piezometer der Cluster 24J20 (links) und 24J21 (rechts)
 Figure 7.3.2: Piézomètres des clusters 24J20 (gauche) et 24J21 (droit)

Ein Vergleich der Daten der birsnahen Piezometer (24J20, 24J21, 24J22) mit dem Birspegel und den Grundwasserentnahmen in den birsnahen Fassungen (PW2, PW6.2) der Reinacher Heide zeigt, dass der Grundwasserspiegel in den Piezometern trotz Flussnähe dem Verlauf der Grundwasserentnahme folgt (Abb. 7.3.3). In einer Hochwassersituation (Abflussspitze 148 m³/s, 27.10.04) reagieren die Piezometer sofort. Es wird deutlich, dass lediglich ein Unterschied von acht bis zehn Stunden zwischen Abflussmaximum der Birse und dem Grundwassermaximum in den Piezometern liegt. Deshalb werden die flussnahen Brunnen abgestellt, um Verunreinigungen in den Fassungen zu vermeiden.

La comparaison des niveaux relevés dans les piézomètres proches de la Birse (24J20, 24J21, 24J22) avec le niveau d'eau de la Birse et les quantités d'eau souterraine prélevée sur les forages proches de la berge (PW2, PW6.2) dans le secteur de la Reinacher Heide, montre que le niveau piézométrique, mesuré au droit des piézomètres, s'aligne sur la courbe de prélèvement d'eau souterraine, malgré la proximité de la berge (fig. 7.3.3). En situation de crue (pointe de débit de 148 m³/s atteinte le 27.10.04), les piézomètres réagissent immédiatement. Il s'en suit un décalage de seulement huit à dix heures entre le moment où la Birse atteint son débit maximum et le moment où le niveau piézométrique culmine au niveau des piézomètres. Aussi, les forages de production proches de la berge sont mis à l'arrêt pour éviter la contamination des zones de captage.

In den drei birsnahen Grundwassermessstellen (24J20, 24J21, 24J22) wurden Pumpversuche durchgeführt sowie das Absenkverhalten während der Entnahmephasen der Wasserversorger studiert. Ausserdem kamen bei zwei Markerversuchen marine Bakteriophagen zum Einsatz. Bakteriophagen wurden eingesetzt, um einen möglichen Partikeltransport zwischen Fluss und Grundwasserfassung zu dokumentieren. Ihre Eignung als Tracer verdanken sie dem partikelähnlichen Verhalten im Grundwasser. Die beiden Markerversuche wurden am 15.02.2005 gestartet. Zum Zeitpunkt der Markierstoffeingabe wies die Birse einen Abfluss von annähernd 42 m³/s auf. Es wurden die flussnahen Messstellen und Fassungen beprobt.

Au niveau des trois points de mesures piézométriques (24J20, 24J21, 24J22), des essais de pompage ont été réalisés et l'abaissement de la nappe sous l'influence des prélèvements des producteurs d'eau a été étudiée. Par ailleurs, deux essais de traçage ont été réalisés au moyen de bactériophages marins. Ces bactériophages ont été mis en œuvre pour documenter un éventuel transport de particules entre l'eau de la rivière et le captage. Présentant un comportement proche de celui des particules dans la nappe, ces bactériophages conviennent comme produit de traçage. Les deux essais de traçage ont débuté le 15.02.2005. Au moment de l'injection du produit de traçage, la Birse présentait un débit de l'ordre de 42 m³/s. Les prélèvements ont été réalisés sur les stations de mesure et les forages proches de la rivière.

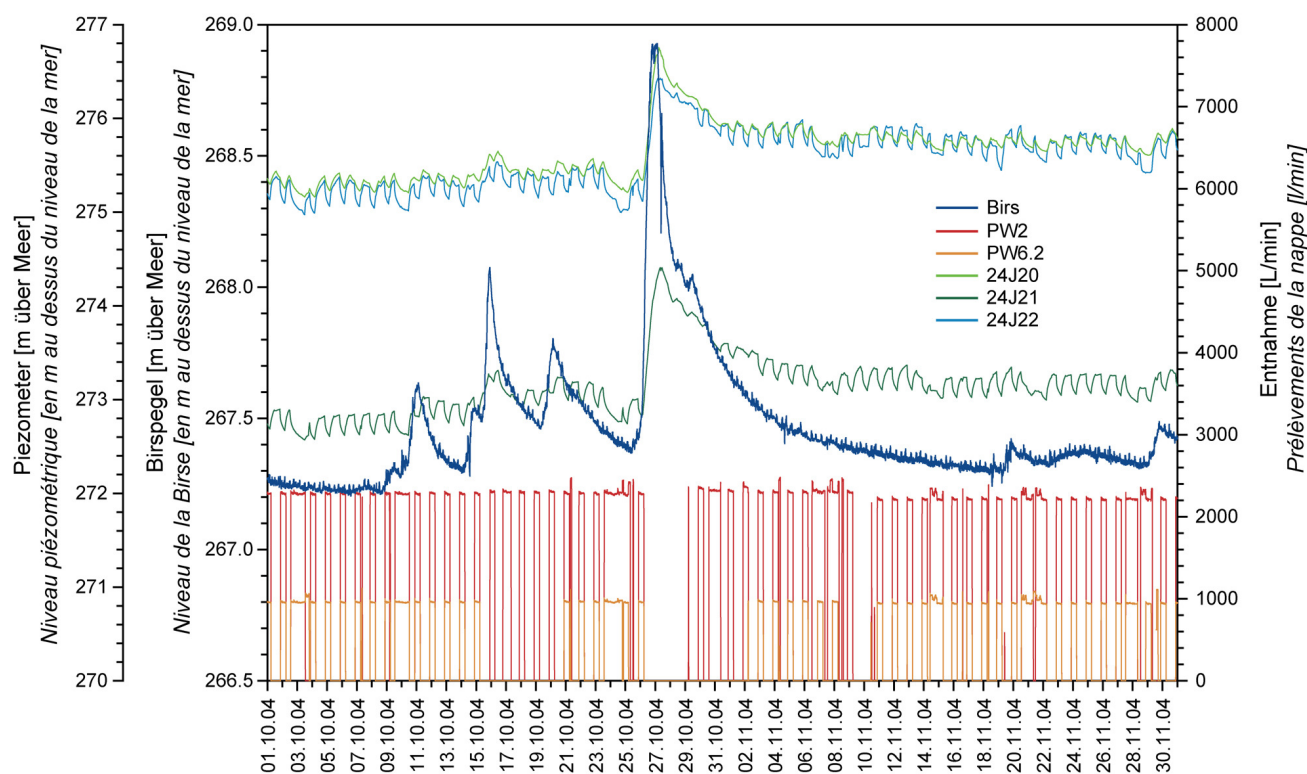


Abbildung 7.3.3: Vergleich zwischen Birspegel, birsnahen Piezometer 24J20, 24J21, 24J22 und Grundwasserentnahmen in den birsnahen Brunnen PW2, PW6.2 im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes

Figure 7.3.3: Comparaison entre le niveau d'eau de la Birse, le niveau des piézomètres 24J20, 24J21, 24J22 et des forages de production proches de la Birse PW2 et PW6.2 dans la partie nord du secteur d'étude

Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes lässt sich das Zusammenspiel von Grundwasseranreicherung, Grundwasserspiegel in birsnahen Piezometern (11J15, 11A1) und Birspegel illustrieren (Abb. 7.3.4). Ist die Anreicherungsanlage in Betrieb, liegt der Grund-

Dans la partie sud du secteur d'étude, on peut illustrer comme suit l'interaction entre la réalimentation de la nappe, le niveau piézométrique de la nappe au niveau des piézomètres proches de la Birse (11J15, 11A1) et le niveau de la rivière (fig. 7.3.4). Lorsque la réalimentation fonctionne, le niveau mesuré au ni-

wasserspiegel in den Piezometern 11J15 und 11A1 um etwa 2 m höher als in der nichtbetrieblichen Phase. Der Hochwasserstand der Birse spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle.

veau des piézomètres 11J15 et 11A1 dépasse le niveau habituel (en l'absence de réalimentation) d'environ 2 m. La crue de la Birse ne joue donc qu'un rôle secondaire.

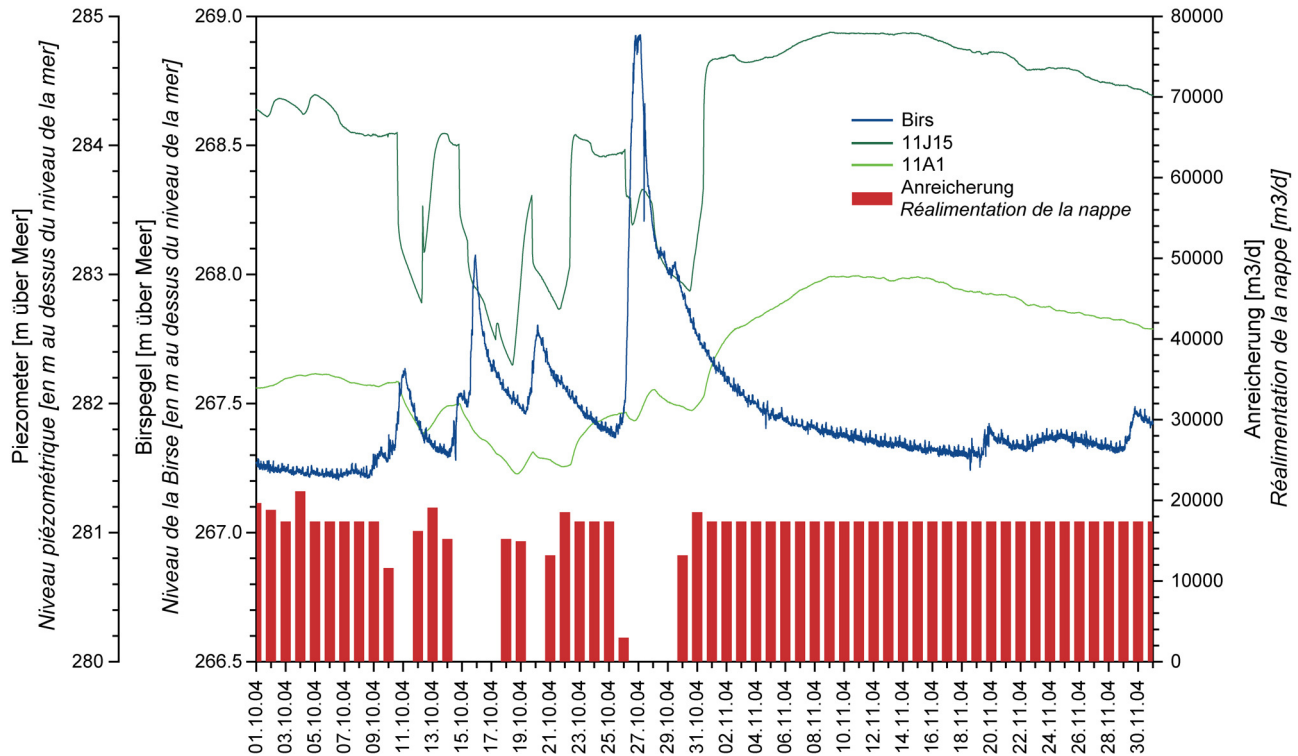


Abbildung 7.3.4: Vergleich zwischen Birsepegel, birsnahen Piezometer 11J15, 11A1 und der Grundwasseranreicherung im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes

Figure 7.3.4: Comparaison entre le niveau d'eau de la Birse, le niveau de la nappe mesuré au niveau des piézomètres 11J15 et 11A1 et l'activité de réalimentation de la nappe dans la partie sud du secteur d'étude

8 Aufbau von Prognoseinstrumenten *Création d'instruments de prévision*

Numerische Grundwassermodelle sind heute so weit entwickelt, dass sie sich durchaus für Prognosen einsetzen lassen. Voraussetzung sind gute Kenntnisse der natürlichen und anthropogen überprägten Prozesse, z.B. gestützt auf hydrogeologische Daten, hydrogeologische Zonen (Einzugsgebiete und Zuströmbereiche von Grundwasserfassungen), Kennwerte und Betriebsdaten von Wasserentnahmen oder -anreicherungen sowie Kenntnisse der komplexen Interaktionsprozesse zwischen Fluss- und Grundwasser [STAUFFER und KINZELBACH 2001]. Simulationsmodelle erlauben auch die Sensitivität des untersuchten Systems auf bestimmte Parameter und Bedingungen zu untersuchen und geplante Massnahmen, welche sich an den Zielen des Grundwasserschutzes und derjenigen naturnaher Gewässerökosysteme orientieren, zu evaluieren und optimieren sowie erwartete Konsequenzen aus Entscheiden zu bewerten [REICHERT und PAHL 1999]. In diesem Sinn erlauben Grundwassermodelle ebenfalls die Bildung von Modellszenarien für die Beurteilung von Eingriffen in die bestehenden Systeme oder die Beurteilung von Massnahmen zur Sicherstellung oder Verbesserung der Grundwasserqualität.

Für die Grundwassermodellierung in den drei Detailuntersuchungen wurde die Software GMS (groundwater modelling system) in der Version 4 und 5 verwendet. Diese Software erlaubt eine Berechnung der Grundwasserströmung auf der Basis Modflow [HARBAUGH et al. 2000].

Die drei GW-Modelle der Untersuchungsgebiete Muttentz-Pratteln, Wieseebene und Birstal erlauben eine Quantifizierung und Visualisierung der Auswirkungen verschiedener Nutzungen auf das Grundwasserregime im urbanen Raum bei unterschiedlichen hydrologischen-hydrogeologischen Randbedingungen. Die Qualität und Aussagekraft der Prognoseinstrumente hängt direkt

Les modèles numériques de nappe sont actuellement si performants qu'ils conviennent parfaitement pour l'établissement de prévisions. Une bonne connaissance préalable des processus naturels et anthropiques est indispensable, fondée p. ex. sur les relevés hydrogéologiques, les limites hydrogéologiques (bassins versants et aires d'alimentation des captages), des paramètres clés, des données d'exploitation et de réalimentation de la nappe ainsi que sur les processus d'interactions complexes nappe-rivière [STAUFFER und KINZELBACH 2001]. De plus, les modèles permettent d'analyser la sensibilité du système considéré à certains paramètres et conditions, d'évaluer et d'optimiser les mesures prévues, respectueuses des objectifs de protection de la nappe et des écosystèmes aquatiques naturels, et d'évaluer les conséquences probables des décisions à prendre [REICHERT und PAHL 1999]. Dans ce sens, les modélisations de la nappe permettent également de créer des scénarios modèles en vue de l'évaluation d'interventions sur les systèmes existants ou d'évaluer des mesures visant à garantir ou à améliorer la qualité des eaux souterraines.

Pour la modélisation de la nappe dans les trois études de détail, nous avons utilisé le logiciel GMS (groundwater modelling system), versions 4 et 5. Ce logiciel permet de calculer l'écoulement de la nappe sur la base Modflow [HARBAUGH et al. 2000].

Les modèles de nappe élaborés pour les trois secteurs d'étude de Muttentz-Pratteln, de la plaine de la Wiese et de la vallée de la Birse permettent de quantifier et de visualiser l'impact des différents modes d'exploitation sur le régime de la nappe en zone urbaine, en tenant compte de conditions aux limites hydrologiques et hydrogéologiques variables. La qualité et le caractère concluant des instruments de

mit der Auflösung und Verfügbarkeit der hydrologischen, hydrogeologischen Datensätze und der Information über die Nutzungen zusammen. Aufgrund der Modellgrösse existieren in den drei Untersuchungsgebieten Unterschiede in der Modellauflösung.

8.1 MUTTENZ-PRATTELN

Für den Aufbau des Grundwassermodells waren im Gebiet MuttENZ-Pratteln die Adaptation der hydrostratigraphischen Verhältnisse sowie der relevanten geologischen Horst- und Grabenstrukturen entscheidend. Grundlage dafür bildete die Konstruktion eines geologischen 3D Modells von hydrostratigraphischen Horizonten, welche Grenzen zwischen Aquiferen, Aquitarden und Bruchflächen bilden (Abb. 4.1.1 und 4.1.2) [SPOTTKE et al. 2005]. Das geologische Modell stellt eine Kompilation von digitalen Höhenmodellen und geologischen Karten, geologischen Profilen, Bohrdaten, und Aufschlussdaten dar (Abbildung 8.1.1). Die von den Modellbrüchen versetzten hydrostratigraphischen Modellhorizonte wurden in ein regelmässiges 3D Modellgitter mit 3 (Gitter)-Schichten („layers“) zur Berechnung der Grundwasserströmung mit finiten Differenzen übertragen (MODFLOW-2000). Die erste Schicht repräsentiert die quartären alluvialen Rheinschotter (Eigenschaft: Quartär), welche vor allem im Gebiet Birsfelder Hard bis Schweizerhalle, den rheinnahen Gebieten von Grenzach, und dem nördlichen Pratteln grundwassergesättigt sind. Die zweite (mittlere) Schicht setzt sich aus Mergeln und Tonen des Keupers zusammen. Sie wirkt, falls sie im geologischen Modell vorhanden ist, als Aquitard zwischen den zwei Hauptaquiferen. Sie ist vor allem im südöstlichen Teil gut ausgebildet. Fehlen Keupersedimente, wird der mittleren Schicht die Eigenschaft des Kluftaquifers der Karbonate des Muschelkalks zugeordnet (Muschelkalk). Die dritte Schicht erhält dort, wo der Kluftaquifer vorhanden ist (im gesamten Modellgebiet, ausser im nordwestlichsten Teil) die Eigenschaft Muschelkalk. Dort, wo Grabenstrukturen mit Keuper-, Lias-

prévision sont directement fonction de la résolution et de la disponibilité des enregistrements hydrologiques et hydrogéologiques et des données relatives aux différents modes d'exploitation. La différence de taille des modèles entraîne des différences de résolution de la modélisation dans les différents secteurs d'étude.

8.1 MUTTENZ-PRATTELN

Les aspects déterminants pour l'architecture du modèle dans le secteur de MuttENZ-Pratteln ont été l'adaptation à la situation hydrostratigraphique et aux structures dominantes, formées de fossés et de blocs surélevés. Il a fallu créer à la base un modèle géologique en trois dimensions des horizons hydrostratigraphiques délimitant les aquifères productifs, les aquifères semi-perméables et les failles (fig. 4.1.1 et 4.1.2) [SPOTTKE et al. 2005]. Le modèle géologique consiste en une compilation de modèles numériques de terrain et de cartes géologiques, de profils géologiques, de données de forages et d'affleurements (figure 8.1.1). Les horizons hydrostratigraphiques du modèle, décalés par rapport aux cassures modélisées, ont été reportés dans une grille 3D homogène à trois couches (maillées) intitulées « layers », permettant de calculer le régime d'écoulement de la nappe par la méthode des différences finies (MODFLOW-2000). A ce titre, la première couche représente les graviers quaternaires du Rhin (propriété : Quaternaire), saturés essentiellement dans le secteur Birsfelder Hard jusqu'à Schweizerhalle, dans le périmètre proche du Rhin de Grenzach et dans la partie nord de Pratteln. La deuxième couche (intermédiaire) se compose de marnes et d'argiles du Keuper. Cette couche agit, dans les secteurs où elle est présente dans le modèle géologique, comme un aquifère semi-perméable entre les deux principaux aquifères. Elle est bien développée essentiellement dans la partie sud-est du secteur d'étude. Lorsque les sédiments du Keuper font défaut, on attribue à la couche intermédiaire la propriété d'aquifère fracturé formé de carbonates du Muschelkalk. La troisième couche enfin, se voit attribuer la propriété Muschelkalk, dans toutes les parties où s'étend l'aquifère fracturé (soit dans la totali-

und Unterer-Doggersedimenten den Aufbau, und damit die Eigenschaften der erwähnten drei Schichten unterbrechen, wird für Modellschicht 2 die Eigenschaft Dogger-Keuper vergeben und, falls der Kluftaquifer vollständig durch die Grabenbrüche versetzt wird (Schritt d) in Abb. 8.1.1), auch für Modellschicht 3. Für die Eigenschaft Dogger-Keuper ist ein k_f -Wert von $1.0E-6$ m/s charakteristisch. Dieser Wert liegt beinahe 3 Größenordnungen tiefer als derjenige des Muschelkalkes (Tab. 8.1.1), weshalb im Fall eines Auftretens dieser Eigenschaft ein Grundwassertausch quer zum Graben stark eingeschränkt ist.

té du secteur modélisé, à l'exception de la partie nord-ouest). Dans les zones où les grabens constituées de sédiments du Keuper, du Lias et du Dogger inférieur viennent interrompre la succession, et donc les propriétés caractéristiques des trois couches définies ci-dessus, on attribue la propriété « Dogger-Keuper » à la deuxième couche. Lorsque l'aquifère fracturé est entièrement constellé de cassures sous forme de grabens (étape d, fig. 8.1.1), cette propriété s'applique également à la couche 3 du modèle. La propriété « Dogger-Keuper » possède un coefficient de perméabilité k_f de $1.0E-6$ m/s. Ce coefficient étant inférieur de presque trois ordres de grandeurs à celui du Muschelkalk (Tab. 8.1.1), la présence de cette propriété limite fortement les échanges d'eau souterraine perpendiculairement aux grabens.

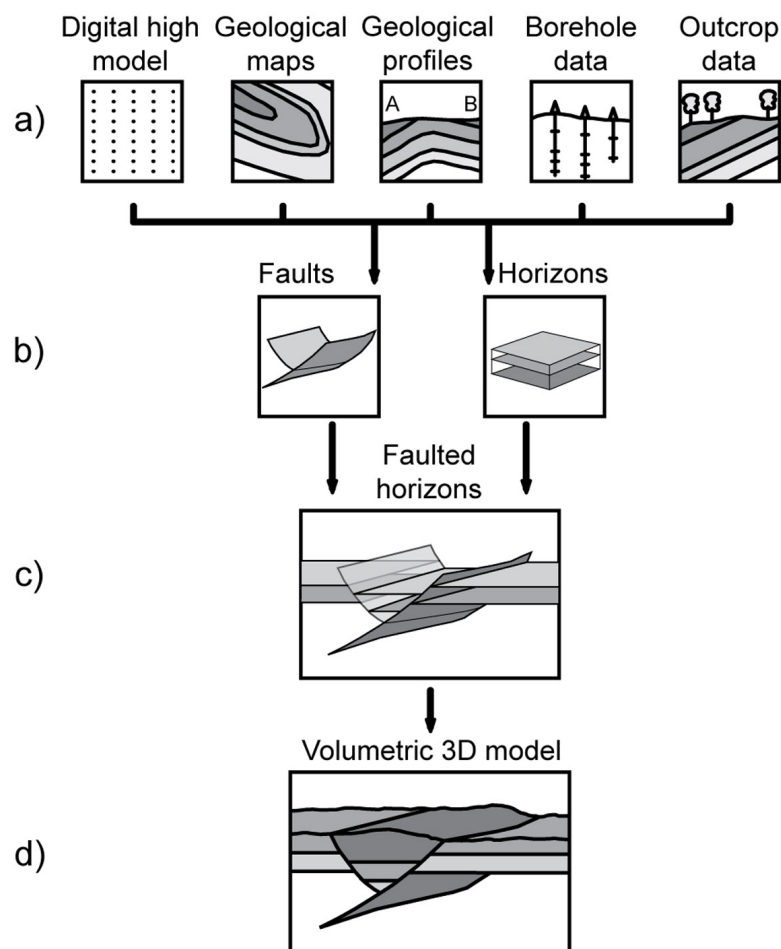


Abbildung 8.1.1: Vorgehen bei der geologischen 3D Modellierung mit GOCAD (aus SPOTTKE et al. 2005)
 Figure 8.1.1: Démarche de modélisation 3D avec GOCAD (in SPOTTKE et al. 2005)

Tabelle 8.1.1: Vergleich zwischen Modellstartwert und kalibriertem Wert der k_f -Werte im Quartär, Keuper und Muschelkalk, Verhältnis von horizontalen zu vertikalen k_f -Werten im Quartär (K_H/K_V Quartär) sowie der Leakage der Rheinsohle
 Tableau 8.1.1: Comparaison entre la valeur de départ du modèle et la valeur calibrée des coefficients de perméabilité k_f dans les couches quaternaires, du Keuper et du Muschelkalk, relation entre les coefficients k_f horizontaux et verticaux dans la couche quaternaire (K_H/K_V Quartär) et perte d'infiltration du lit du Rhin

Parameter / Paramètre	Quartär / Quaternaire	Keuper / Keuper	Muschelkalk / Muschelkalk	KH/KVQuartär / KH/KV Quaternaire	Leakage / Perte d'infiltration
Startwert / Valeur de départ	3.0E-3 m/s	1.0E-5 m/s	5.0E-4 m/s	1.0E+0	5.0E-4 m/s
Kalibrierwert / Valeur calibrée	4.7E-3 m/s	8.1E-6 m/s	7.4E-4 m/s	1.0E+1	1.6E-4 m/s

Modellrandbedingungen 1. Art („specified head“) wurden in der Schicht 1 am Ost- und Westrand definiert (Abbildung 8.1.2). Randbedingungen 2. Art („specified flow“) stellen die Anreicherung in der Schicht 1 sowie die Entnahmen in Schicht 1 und 3 dar. Randbedingungen 3. Art werden dem Rhein in der Schicht 1 zugeordnet. Das Modellgitter hat in horizontaler Richtung jeweils eine 50 m Auflösung, in der Vertikalen entspricht der Gitterabstand den Mächtigkeiten der Schichten im geologischen Modell. Das stationäre Modell wurde mittels nichtlinearer Regression automatisch an Messungen in über 200 Grundwassermessstellen kalibriert, welche anlässlich einer grenzüberschreitenden Stichtagsmessung am 8. August 2003 ermittelt wurden. Mit Hilfe der nichtlinearen Regression wurden die folgenden fünf Parameter bestimmt (Tabelle 8.1.1): k_f -Werte der Eigenschaften Quartär, Keuper und Muschelkalk, das Verhältnis horizontaler zu vertikaler k_f -Werte im Quartär (K_H/K_V Quartär) sowie der Leakage der Rheinsohle. Als Leakage wurde der Leakagefaktor der Rheinsohle (vertikaler k_f -Wert der Rheinsohle dividiert durch deren Mächtigkeit) multipliziert mit einer konstanten Breite des Rheins (250 m) definiert.

Les conditions aux limites de type 1 (« specified head ») ont été définies pour la couche 1 en bordure est et ouest (figure 8.1.2). Les conditions aux limites de type 2 (« specified flow ») représentent la réalimentation dans la couche 1 et les prélèvements des couches 1 et 3. Les conditions aux limites de type 3 sont attribuées au Rhin dans la couche 1. Dans le sens horizontal, la grille de modélisation possède une résolution de 50 m ; dans le sens vertical, l'écartement des mailles correspond à l'épaisseur des couches du modèle géologique. Le modèle permanent a été calibré automatiquement selon la méthode de la régression non linéaire sur les relevés de plus de 200 points de mesure piézométriques, relevés à l'occasion de la campagne de relevé transfrontalière à date fixe du 08 août 2003. La régression non linéaire a permis de déterminer les cinq paramètres suivants (tableau 8.1.1): coefficients de perméabilité k_f des propriétés Quaternaire, Keuper et Muschelkalk, rapport des perméabilités horizontale et verticale dans la couche quaternaire (K_H/K_V Quaternaire) et perte d'infiltration du lit du Rhin. La perte d'infiltration a été définie sur la base du coefficient de perte du lit du Rhin (perméabilité verticale du lit du Rhin divisé par l'épaisseur de ce dernier), multiplié par la largeur constante du Rhin (250 m).

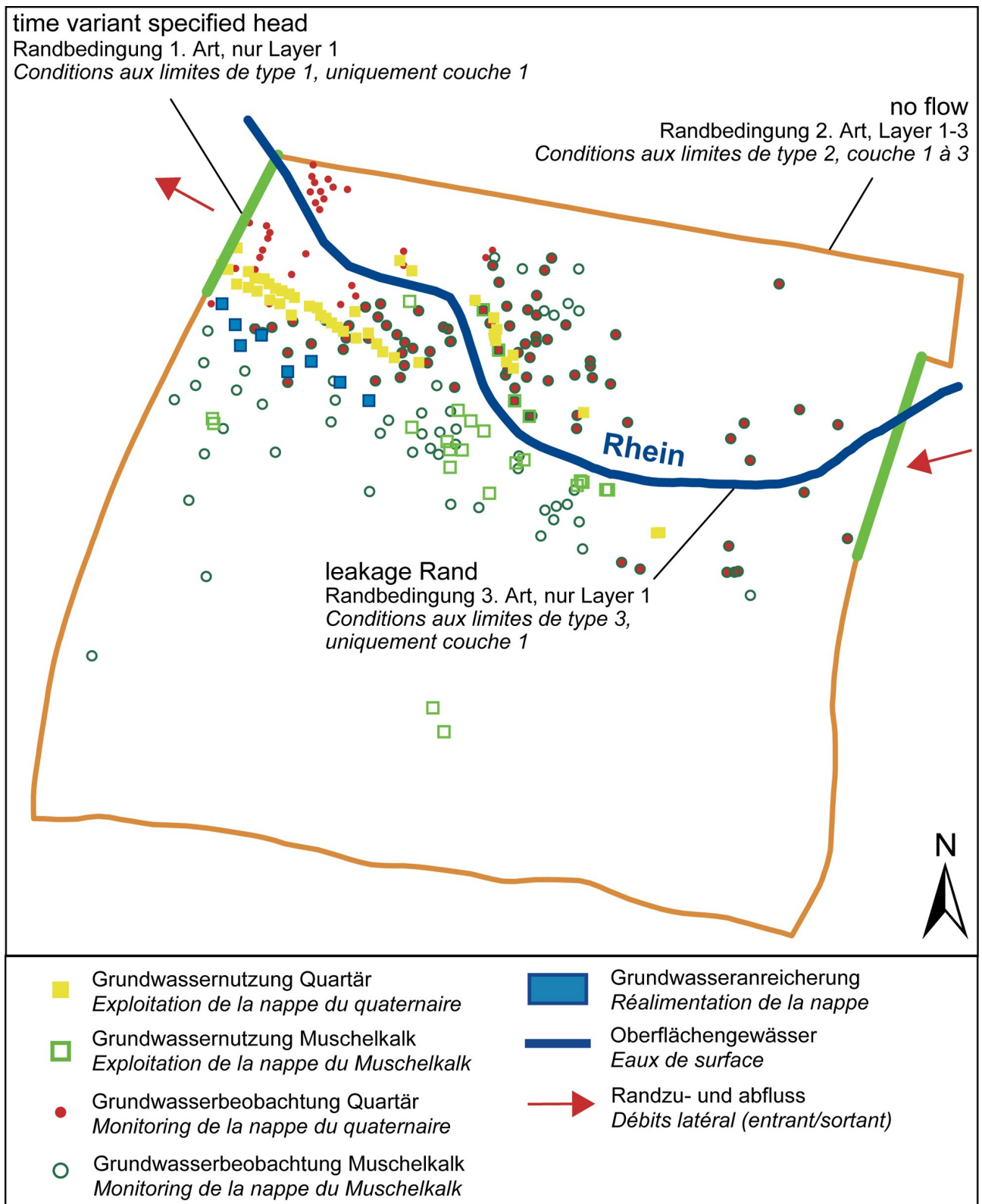


Abbildung 8.1.2: Modellaufbau Projektgebiet Muttenz-Pratteln
 Figure 8.1.2: Architecture du modèle du sous-secteur de projet de Muttenz-Pratteln

8.2 WIESEEBENE

Aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse sowie der bezeichneten Steuerfaktoren bzw. der Grundwasserhydraulik wurde für die Wiesebene ein instationäres Grundwassermodell erstellt

8.2 LA PLAINE DE LA WIESE

Sur la base de la situation hydrogéologique et des facteurs déterminants ou de l'hydraulique de la nappe, nous avons créé un modèle transitoire pour la nappe dans le secteur de la plaine de la Wiese

[GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES

INSTITUT 2003b]. Die Details des Modellaufbaus und der Randbedingungen können der Abbildung 8.2.1 entnommen werden. Das Modell wurde automatisch auf hydraulische Potenziale kalibriert, basierend auf 14 Zonen der hydraulischen Durchlässigkeit (Abb. 8.2.2). Die ermittelten horizontalen k_f -Werte liegen im Bereich von $2.2E-3$ bis $7.0E-3$ m/s. Generell sind die k_f -Werte entlang der Wiese höher als gegen die Ränder des Modells (Niederterrassenablagerungen). Die ermittelten nutzbaren Porositäten (n_{eff}) liegen zwischen 0.06 und 0.13. Die Durchlässigkeit der Wiesesohle wurde mit $4.2E-6$ m/s ermittelt. Daraus ergibt sich ein Leakage Faktor von $1.4E-5$ s⁻¹, bei Annahme einer Mächtigkeit der kolmatierten Wiesesohle von 0.3 m [GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT 2003b].

Die Grundwasserströmung und der Transport des Markierstoffs, der zum Studium der Infiltrationsverhältnisse direkt in die Wiese eingegeben wurde, sind mit dem Simulationsmodell für den Zeitraum vom 13. März bis 10. April 2002 berechnet worden [GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT 2003a]. Dieser Zeitraum erfasst das mittlere Hochwasser in der Wiese vom 20. März 2002. Die Wasserbilanz zeigt, dass über den betrachteten Zeitraum vom Wiesetal mit rund 0.055 m³/s weit weniger Grundwasser zufließt, als mit rund 0.785 m³/s gegen Basel abfließt. Dem Aquifer werden zudem mittels Brunnen rund 0.562 m³/s Grundwasser entnommen. Dieses Wasserdefizit wird durch die künstliche Anreicherung mit rund 0.28 m³/s und über die Infiltration der Wiese mit rund 0.7 m³/s sowie untergeordnet durch die Randzuflüsse des Dinkelberges mit rund 0.073 m³/s und des Tüllinger Hügels mit rund 0.002 m³/s kompensiert. Die Infiltration von 0.7 m³/s Wiesewasser ins Grundwasser über den betrachteten Zeitraum entspricht einem Wert von rund $1.6E-4$ m³/s und Laufmeter der Wiese.

[GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES

INSTITUT 2003b]. Les détails d'architecture du modèle et des conditions aux limites ressortent de la figure 8.2.1. Le modèle a été calibré automatiquement sur les potentiels hydrauliques, sur la base de 14 zones de perméabilité hydraulique (fig. 8.2.2). Les coefficients de perméabilité horizontaux se situent entre $2.2E-3$ et $7.0E-3$ m/s. En règle générale, les perméabilités mesurées le long de la Wiese sont plus élevées qu'en bordure du modèle (dépôts des terrasses inférieures). Les coefficients de porosité utiles mesurés (n_{eff}) se situent entre 0.06 et 0.13. La perméabilité calculée du lit de la Wiese est de $4.2E-6$ m/s. Il en résulte un coefficient de perte d'infiltration de $1.4E-5$ s⁻¹, dans l'hypothèse d'une épaisseur du lit colmaté de la Wiese de 0.3 m [GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT 2003b].

L'écoulement de la nappe et le transport du produit de traçage, ajouté directement à l'eau de la Wiese pour l'étude du taux d'infiltration, ont été calculés à l'aide du modèle de simulation pour la période du 13 mars au 10 avril 2002 [GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT 2003a]. Cette période couvre la crue moyenne de la Wiese du 20 Mars 2002. Le bilan d'eau montre un débit entrant d'env. 0.055 m³/s au niveau de la plaine de la Wiese sur la période considérée, qui est nettement inférieur à celui qui s'écoule en direction de Bâle, de l'ordre de 0.785 m³/s. Par ailleurs, 0.562 m³/s d'eau souterraine ont été prélevés dans l'aquifère pendant cette période. Ce déficit est compensé par une réalimentation artificielle de l'ordre de 0.28 m³/s et par l'infiltration de la Wiese de l'ordre de 0.7 m³/s, et, secondairement, par des apports latéraux en provenance du Dinkelberg de l'ordre de 0.073 m³/s et du Tüllinger Hügel de l'ordre de 0.002 m³/s. L'infiltration de 0.7 m³/s d'eau de la Wiese au cours de la période étudiée correspond à un coefficient de perte par infiltration d'env. $1.6E-4$ m³/s et par mètre linéaire de la Wiese.

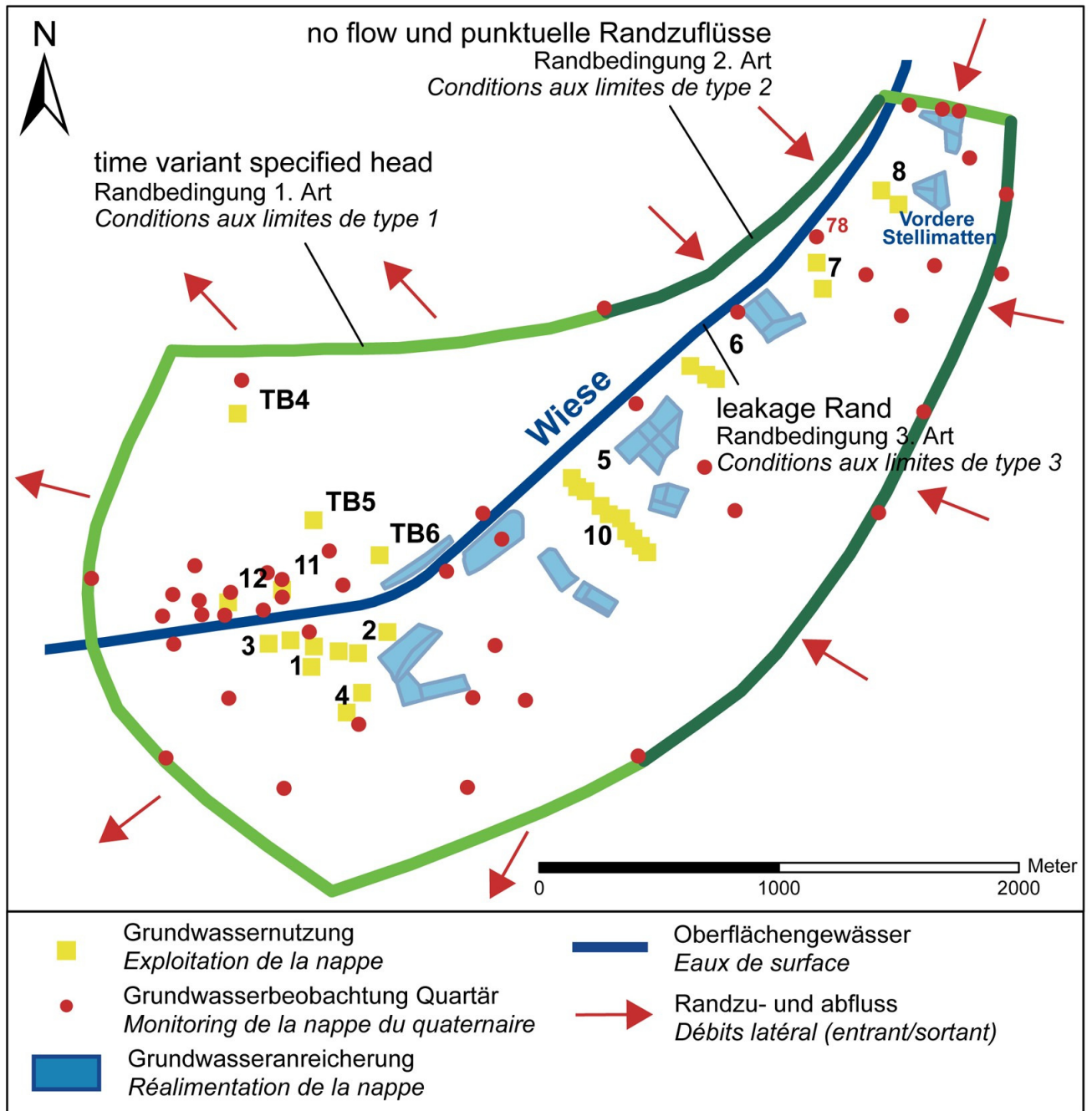


Abbildung 8.2.1: Modellaufbau Projektgebiet Wieseebene
 Figure 8.2.1: Architecture du modèle dans le secteur de projet de la plaine de la Wiese

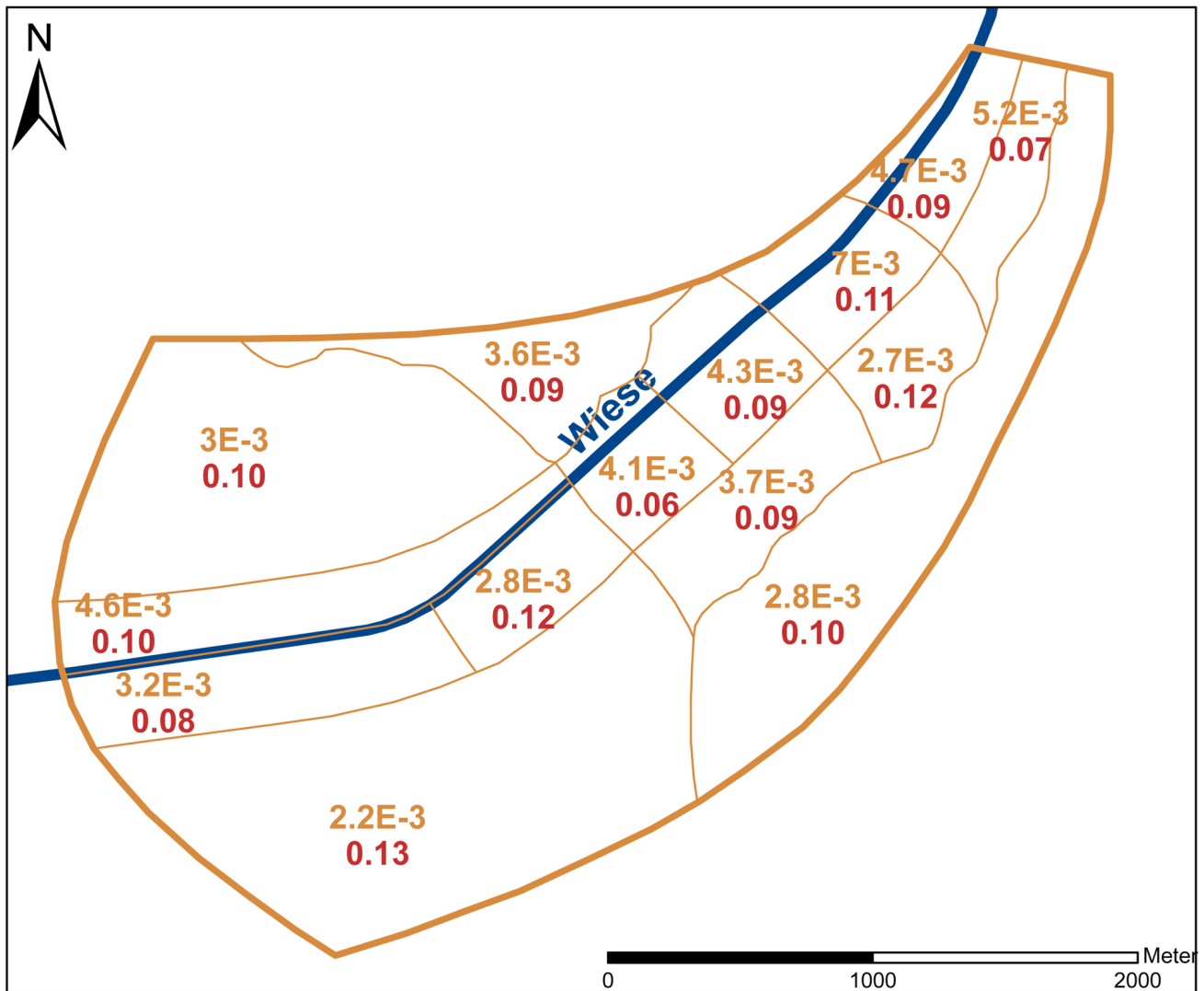


Abbildung 8.2.2: Zonierung der kf-Werte (orange) und Speicherkoeffizienten (rot) im Teilgebiet Wieseebene
 Figure 8.2.2: Zonage des perméabilités (orange) et des coefficients d'emmagasinement (rouge) dans le sous-secteur de la plaine de la Wiese

8.3 BIRSTAL

Für das Teilgebiet Birstal wurde ein Grundwassermodell aufgesetzt, um zwischen der momentanen Fluss-Grundwasser-Interaktion und zukünftigen Interaktionsszenarien, die sich aus der Revitalisierung der Birs ergeben könnten, Vergleiche ziehen zu können. Die Modellierung erfolgte unter Berücksichtigung des Einflusses der Grundwasseranreicherungsanlage und der Grundwasserfassungen der lokalen Wasserversorger.

8.3 LA VALLEE DE LA BIRSE

Pour le sous-secteur de la vallée de la Birse, nous avons utilisé un modèle permettant de comparer l'interaction momentanée rivière-nappe aux scénarios d'interaction futurs, susceptibles de résulter d'une renaturalisation de la Birse. La modélisation a été effectuée en tenant compte des influences de l'installation de réalimentation artificielle de la nappe et des captages des producteurs d'eau locaux.

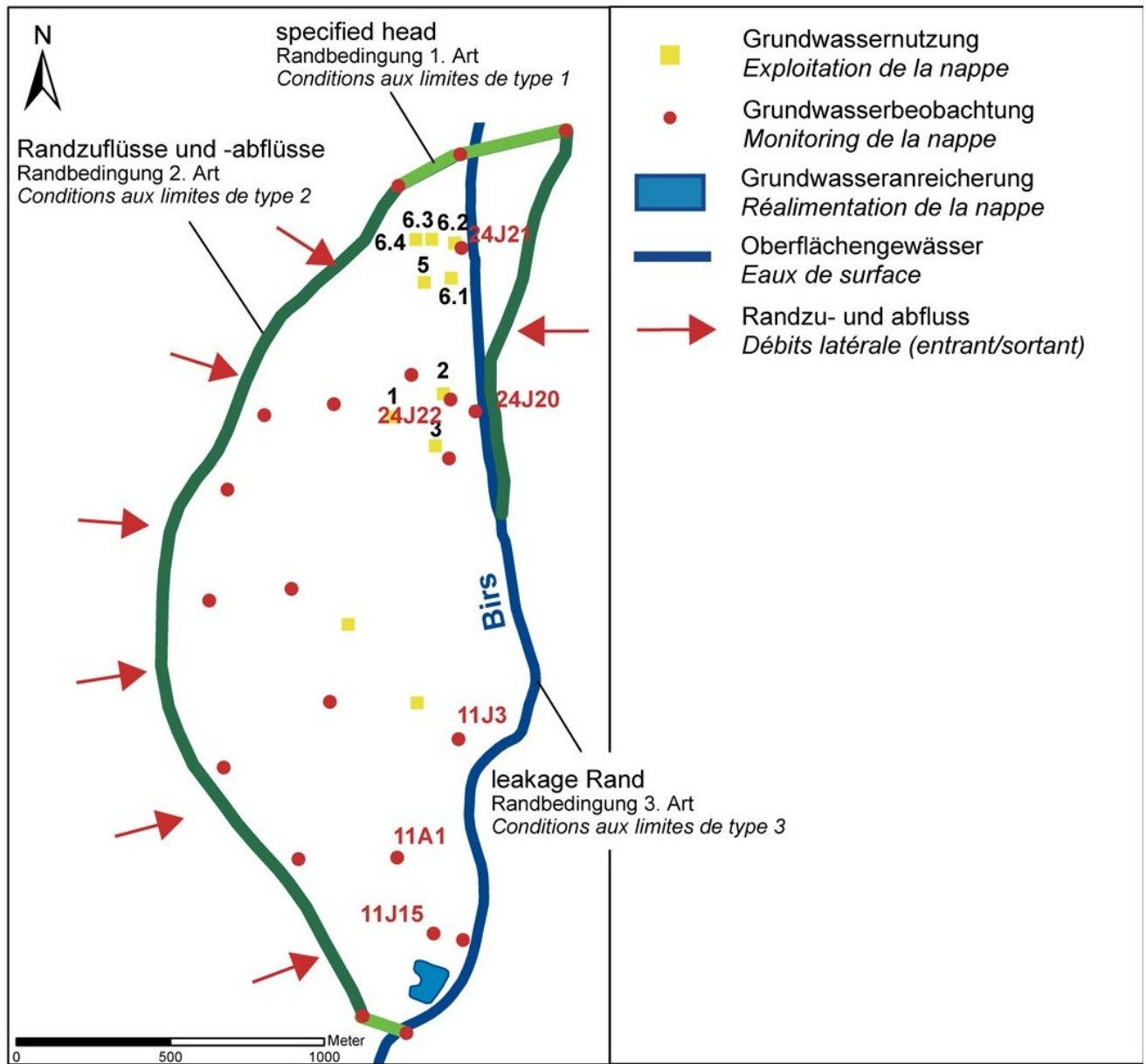


Abbildung 8.3.1: Modellaufbau Projektgebiet Birstal
 Figure 8.3.1: Architecture du modèle dans le sous-secteur de projet de la vallée de la Birse

Die Diskretisierung des Modells beträgt 10 x 10 m. Der Grundwasserleiter ist ungespannt und erschliesst eine Schicht variabler Mächtigkeit. Deshalb erfolgte die Modellierung in einer Modellschicht (ein Layer). Das Modellkonzept, dargestellt in Abbildung 8.3.1, ermöglicht Grundwasserflüsse ins Modellgebiet hinein (im Süden) und aus dem Modellgebiet heraus (im Norden). Sie werden als Randbedingung 1. Art (Festpotential, variabel über die Zeit) definiert. Ferner sind die Ränder gegen Osten und Westen als Randbedingung 2. Art (randlicher Zufluss/Abfluss, variabel über die Zeit) zu erkennen. Die Birs wird als Randbedingung 3. Art (halbdurchlässiger Rand,

La résolution du modèle est de 10 x 10 m. Il s'agit d'un aquifère libre d'épaisseur variable. Aussi, la modélisation a été réalisée en une seule couche de modélisation (layer). Le concept de modélisation illustré à la figure 8.3.1 permet de représenter l'affluence de masses d'eau souterraines en direction du secteur de modélisation (au sud) et l'écoulement de débits quittant ce dernier (au nord). Ces mouvements sont définis comme conditions aux limites de type 1 (potentiel imposé, variable dans le temps). Par ailleurs, les bordures du secteur à l'est et à l'ouest sont représentées comme conditions aux limites de type 2 (débits entrants et sortants en limite, variables dans le temps). La

variabel über die Zeit) berücksichtigt. Das Grundwassermodell ist instationär. Es deckt den Zeitraum 25.08.2004 bis 30.11.2004 ab. Die Eingabe der Entnahme- und Anreicherungsdaten erfolgte gemäss den Betriebsphasen der Pumpen mit Start- und Endwert, da die Leistung während einer Betriebsphase annähernd konstant ist. Der Birspiegel wurde in Stundenwerten berücksichtigt.

Die Berechnung des Leakage-Faktors der Birse von $4.0E-6$ 1/s erfolgte anhand der Annahme einer Flusssohlenmächtigkeit von 0.25 m und eines k_f -Werts der Birsohle von $1.0E-6$ m/s. Zwischen den Staustufen der Birse wurde die Durchlässigkeit der Birsohle in verschiedenen Flussabschnitten variiert (Abb.8.3.2). Die Verteilung der k_f -Werte in Modellgebiet erfolgte anhand von Pumpversuchsdaten und konzeptionellen Überlegungen (Verteilung der Sedimente, Terrassenkanten, usw.). Innerhalb der Zonen sind die Parameterwerte identisch, was eine Vereinfachung hinsichtlich der Heterogenität der Birsschotter darstellt. Die k_f -Werte variieren zwischen $1.0E-2$ und $3.0E-3$ m/s (Abb.8.3.2). Der Speicherkoeffizient wurde auf 0.095 festgesetzt.

Birse est définie comme condition aux limites de type 3 (limite semi-perméable, variable dans le temps). Il s'agit d'une modélisation de la nappe en transitoire. Elle couvre la période du 25 août 2004 jusqu'au 30 novembre 2004. L'intégration des données de prélèvement et de réalimentation a été effectuée sur la base des plages de fonctionnement des pompes, avec valeur de départ et valeur finale, car le débit en cours de fonctionnement est relativement constant. Pour le niveau d'eau de la Birse, il a été tenu compte de mesures horaires.

Le calcul du coefficient de perte de la Birse de $4.0E-6$ 1/s repose sur l'hypothèse d'une épaisseur du lit de 0.25 m et d'un coefficient k_f , pour le lit de la Birse, de $1.0E-6$ m/s. Entre les barrages de la Birse, la perméabilité du lit de la Birse a été modulée en fonction des différents tronçons (fig.8.3.2). La répartition des valeurs de k_f à l'intérieur du secteur de modélisation a été effectuée sur la base des données des pompages d'essai et d'approches conceptuelles (répartition des sédiments, bords des terrasses etc.). A l'intérieur des différentes zones, les valeurs des paramètres restent constantes, ce qui simplifie les choses au regard du caractère hétérogène des graviers de la Birse. Les coefficients k_f varient entre $1.0E-2$ et $3.0E-3$ m/s (fig.8.3.2). Le coefficient d'emmagasinement a été défini à 0.095.

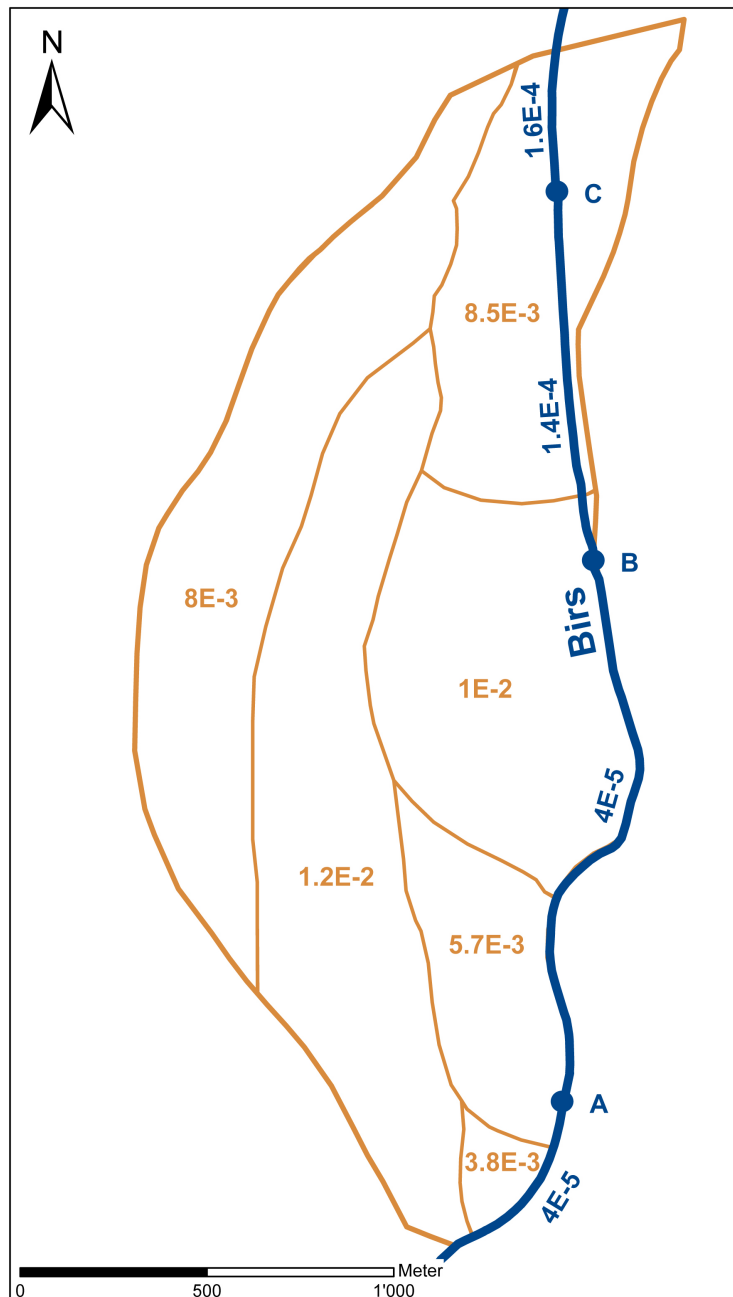


Abbildung 8.3.2: Zonierung der k_f -Werte (braun) im Teilgebiet Birstal mit der „Conductance“ der Birssohle in den einzelnen Flussabschnitten (blau); die blauen Punkte markieren die Position der Staustufen A – Anreicherungsanlage, B – Dornachbrugg, C – Heidebruggli

Figure 8.3.2: Zonage des conductivités hydraulique k_f (brun) dans le sous-secteur de la vallée de la Birse, avec indication des valeurs de „Conductance“ du lit de la Birse dans les différents tronçons de la rivière (bleu) ; les points bleus marquent la position des barrages : A – de l’installation de réalimentation, B – les sites de Dornachbrugg, C – Heidebruggli

Die Kalibrierung des stationären Grundwassermodells erfolgte anhand einer Stichtagsmessung vom 25.08.2004 sowie eines Markierversuches mit Uranin, bei welchem der Tracer am 22. November 2004 im Piezometer 11R3 eingegeben wurde. Die Kalibration des instationären Grundwassermodells erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Kalibration des Nitrattransportmodells (siehe Teilprojekt „Nitratherkunft“). Die Ergebnisse der Kalibration

Le calibrage du modèle en régime permanent a été réalisé à l’aide du relevé à date fixe du 25/08/2004 et d’un essai de traçage à l’uranine, pour lequel le traceur a été introduit le 22 novembre 2004 au niveau du piézomètre 11R3. Le calibrage du modèle en régime transitoire a été réalisé en relation étroite avec le calibrage du modèle de transport des nitrates (voir sous-projet « Origine des nitrates »). Les résultats du calibrage permettent de comparer les niveaux piézométriques de la nappe,

zeigen die folgenden Gegenüberstellungen von gemessenen und berechneten Grundwasserständen (Abb. 8.3.3, Abb. 8.3.4, Abb. 8.3.5).

Für das Piezometer 11J15, welches sich in unmittelbarer Nähe zur Anreicherungsanlage im südlichen Modellteil befindet, lässt sich eine sehr gute Übereinstimmung von Amplitude und Grundwasserniveau feststellen. Das Piezometer 11A1 befindet sich ebenfalls im südlichen Modellteil, allerdings liegt es etwas weiter nördlich als das Piezometer 11J15. Der Grundwasserspiegel wird hier um annähernd 50 cm überschätzt, die Amplitude stimmt gut überein, allerdings tritt sie mit einer leichten zeitlichen Verzögerung auf.

mesurés et calculés (fig. 8.3.3, fig. 8.3.4, fig. 8.3.5).

Pour le piézomètre 11J15, situé à proximité immédiate de l'installation de réalimentation au sud du modèle, on constate une bonne correspondance en terme d'amplitude et de niveau piézométrique. Le piézomètre 11A1 se situe également au sud du modèle, mais légèrement plus au nord que le piézomètre 11J15. Ici, le niveau piézométrique de la nappe a été surestimé d'env. 50 cm ; l'amplitude est correcte, mais elle apparaît avec un léger décalage dans le temps.

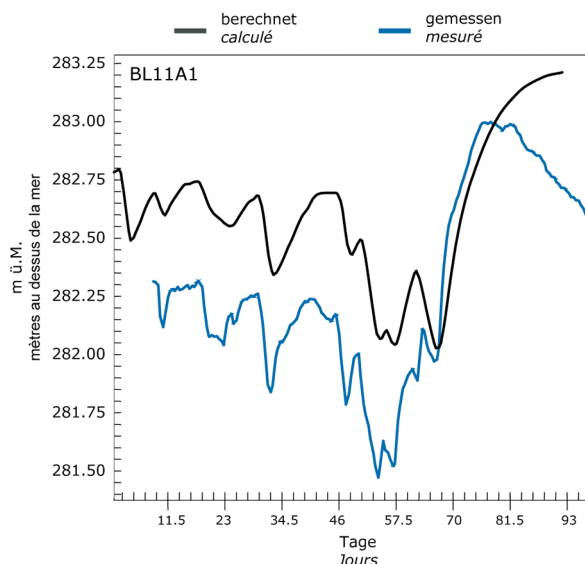
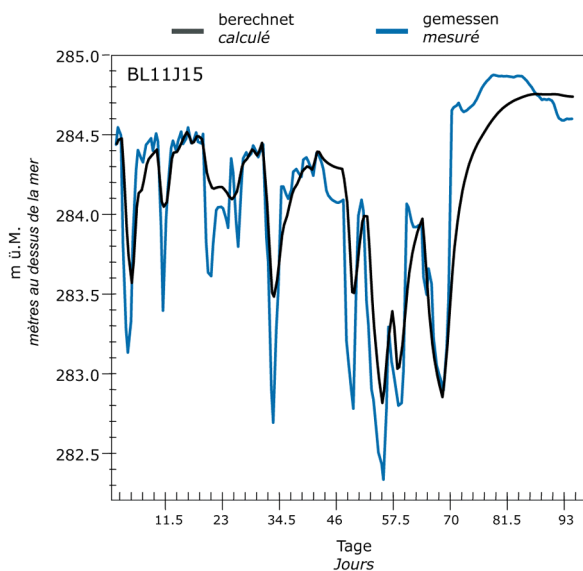


Abbildung 8.3.3: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserspiegeldaten in den flussnahen Piezometern 11J15 und 11A1

Figure 8.3.3: Comparaison entre la piézométrie mesurée et calculée de la nappe au niveau des piézomètres 11J15 et 11A1 proches de la rivière

Das flussnahe Piezometer 24J21 im nördlichen Modellabschnitt zeigt wiederum eine sehr gute Übereinstimmung von gemessenen und berechneten Daten. Lediglich die Amplitude zum Zeitpunkt des Hochwassers wird nicht ausreichend nachgebildet.

Die Piezometer 24J20 und 24J22 im südlichen Teil der Reinacher Heide zeigen eine ähnlich gute Übereinstimmung bis zum Zeitpunkt des Hochwassers (Abb. 8.3.5). Anschliessend sind die berechneten Grundwasserspiegel etwa 50 cm zu niedrig. Diese Diskrepanz kann darauf zurückgeführt werden, dass in einer Hochwasser-

Le piézomètre proche de la rivière 24J21 dans la partie nord du secteur de modélisation présente en revanche une bonne correspondance entre les données mesurées et calculées. Seule l'amplitude au moment de la crue n'est pas suffisamment bien reproduite.

De même, les piézomètres 24J20 et 24J22 dans la partie sud de la Reinacher Heide présentent une bonne correspondance jusqu'au moment d'apparition de la crue (fig. 8.3.5). Ensuite, les niveaux piézométriques calculés présentent un déficit d'env. 50 cm. Cette différence pourrait être due à une perméabilité accrue du lit de la rivière en si-

situation die Durchlässigkeit der Flusssohle stark zunimmt, und mit Sinken des Pegels wieder abnimmt. Im Modell kann diese Schwankung der Durchlässigkeit der Flusssohle nicht berücksichtigt werden. Es handelt sich deshalb um eine Illustration wie schnell, wie stark und wie lange die Kolmation wirkt. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass die ursprüngliche Durchlässigkeit der Birsohle nach etwa 45 Tagen wieder erreicht wurde.

tuation de crue, et à une réduction de cette perméabilité lors du reflux du niveau d'eau. Le modèle ne permet pas de tenir compte de ces variations de perméabilité du lit de la rivière. Ce phénomène permet ainsi d'illustrer la rapidité, l'ampleur et la durée du colmatage. Dans ce cas, on peut penser que la perméabilité initiale du lit de la Birse se rétablit au bout d'environ 45 jours.

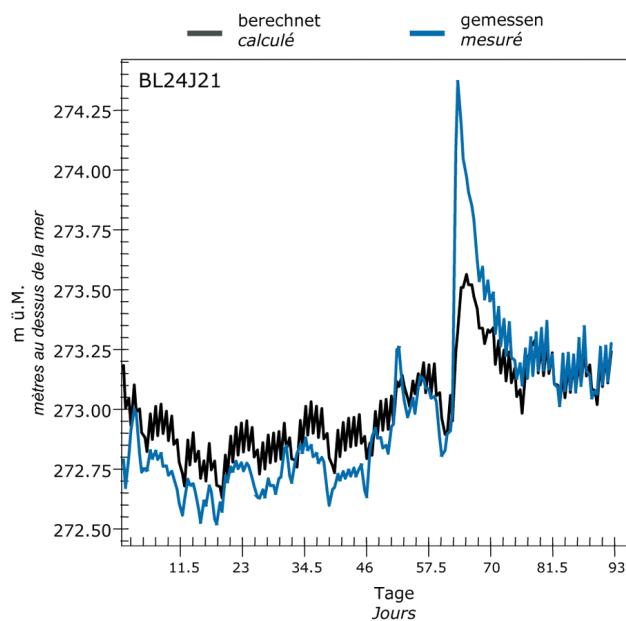


Abbildung 8.3.4: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserspiegeldaten im flussnahen Piezometer 24J21
 Figure 8.3.4: Comparaison entre la piézométrie mesurée et calculée de la nappe au niveau du piézomètre 24J21 proche de la rivière

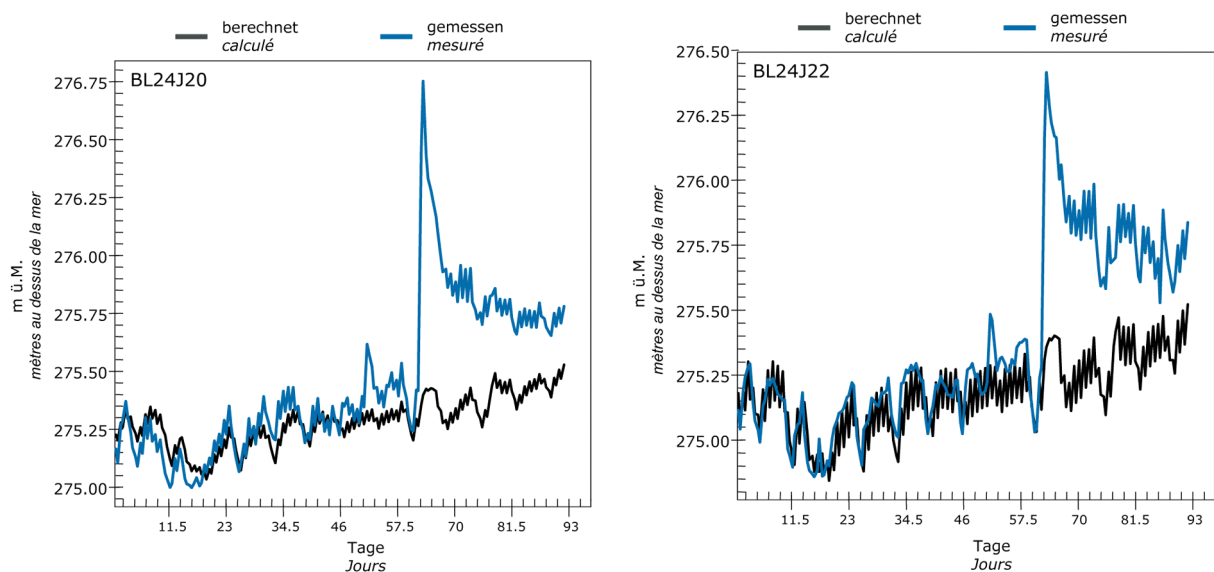


Abbildung 8.3.5: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserspiegeldaten in den flussnahen Piezometern 24J20 und 24J22.
 Figure 8.3.5: Comparaison entre la piézométrie relevée et calculée de la nappe au niveau des piézomètres 24J20 et 24J22 proches de la rivière.

Zur Veranschaulichung der Veränderung der Scherkräfte an der Flusssohle, die für eine Dekolmatation verantwortlich sind, zeigen die beiden Fotos in Abbildung 8.3.6 die Birse bei einem normalen Abfluss von $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (fotografiert vom Standort 24J20 in Richtung Dornachbrugg (nach Süden)) und bei einem Hochwasser mit dem Abfluss von $160 \text{ m}^3/\text{s}$ (fotografiert von Dornachbrugg in Richtung Piezometer 24J20 (nach Norden)).

Pour illustrer l'évolution des forces de cisaillement agissant sur le lit de la rivière et responsables du décolmatage, les deux photos de la figure 8.3.6, représentent la Birse en situation de débit normal de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (cliché pris depuis l'implantation du piézomètre 24J20 en direction de Dornachbrugg (vers le sud)) et en situation de crue avec un débit de $160 \text{ m}^3/\text{s}$ (cliché pris depuis Dornachbrugg en direction du piézomètre 24J20 (vers le nord)).



Abbildung 8.3.6: Birse bei normalem Abfluss ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) und bei Hochwasser ($160 \text{ m}^3/\text{s}$)
 Figure 8.3.6: La Birse en situation de débit normal ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) et en situation de crue ($160 \text{ m}^3/\text{s}$)

Im Hinblick auf die Festlegung von neuen Grundwasserschutzzonen wurden mit dem kalibrierten Grundwassermodell verschiedene Szenarien modelliert. Dabei wurde nach hydrogeologisch niedrigen und mittleren Verhältnissen, nach niedrigen und hohen Durchlässigkeiten der Birssohle sowie nach normalen und maximalen Entnahmemengen der lokalen Wasserversorger unterschieden.

Au regard de la définition de nouvelles zones de protection des eaux souterraines, nous avons modélisé différents scénarios à l'aide du modèle hydrogéologique calibré. A ce titre, nous avons distingué deux situations hydrogéologiques : basses et moyennes eaux, deux situations de perméabilité du lit de la Birse : basse et haute, ainsi que deux situations de prélèvement des producteurs d'eau locaux : normale et maximale.

9 Resultate

Résultats

Die wichtigsten Resultate der Modellrechnungen und ein Vergleich mit den Fluss-Grundwasser-Interaktionsmessdaten werden für die einzelnen Teilgebiete vorgestellt. Analysen von Grundwasserpegeldaten im Vergleich mit den Modellrechnungen zeigten zum Teil überraschende Ergebnisse und entsprechen nicht immer den Erwartungen. Mit den Resultaten kann gezeigt werden, dass Veränderungen bei Eingriffen in ein bestehendes System, nicht unmittelbar am Ort des Eingriffes erfolgen, sondern durchaus abseits auftreten können, wie zum Beispiel im Birstal der Zusammenhang zwischen Grundwasseranreicherung und Veränderung des Flussinfiltrationsmusters zeigt.

Demzufolge sind für das Erkennen von zeitlichen Veränderungen im Grundwasserregime gute Grundlagendaten und eine sorgfältige Datenanalyse erforderlich.

9.1 MUTTENZ-PRATTELN

Zur Beobachtung des zeitlichen Verlaufs und zur Quantifizierung der Flussinfiltration werden für verschiedene Grundwassermessstellen und das Rheinwasser die gelösten Chlorid- und Sulphatkonzentrationen und die Isotopenzusammensetzungen (Sauerstoff-18, Deuterium) dargestellt und mit den berechneten Wasserbilanzierungen aus den Grundwassermodellen verglichen.

9.1.1 CHLORID UND SULPHAT

Die Konzentration von Chlorid und Sulphat im Grundwasser wird durch die Mischung von zwei Grundwassertypen bestimmt. Zum einen von Tiefenwässern, welche durch unterirdische Laugung (Subrosion) von Steinsalz und Anhydrit des Mittleren Muschelkalks geprägt sind, und dadurch die Chlorid- und Sulphatkonzentration im Kluftaquifer des Oberen Muschelkalkes bis auf

Les principaux résultats des calculs de modélisation sont comparés ci-dessous avec les relevés de mesure de l'interaction nappe-rivière pour les différents sous-secteurs d'étude. Les analyses des relevés piézométriques ont conduit à des résultats en partie surprenants et ne correspondant pas toujours aux résultats attendus. Ceux-ci permettent de démontrer que les modifications provoquées par une intervention sur un système existant ne surviennent pas forcément sur le lieu même de l'intervention, mais parfois bien plus loin, comme le montre p. ex. dans la vallée de la Birse, la relation entre la réalimentation de la nappe et l'évolution du schéma d'infiltration de l'eau de la rivière.

Pour cette raison, l'identification de l'évolution temporelle du régime de la nappe, nécessite des données de base exhaustives et leurs analyse minutieuse.

9.1 MUTTENZ-PRATTELN

Au titre de l'observation de l'évolution dans le temps et de la quantification de l'infiltration d'eau de rivière, nous avons illustré, pour différentes stations de mesures piézométriques et pour l'eau du Rhin, les concentrations en chlorures et en sulfates dissous ainsi que les taux de composés d'isotopes (oxygène 18, deutérium), et nous les avons comparés aux bilans d'eau calculés à partir des modélisations de la nappe.

9.1.1 CHLORURES ET SULFATES

Les concentrations en chlorures et en sulfates dans la nappe résultent du mélange de deux types d'eaux souterraines. D'une part, de la nappe profonde, caractérisée par la dissolution (subrosion) de sel gemme et d'anhydrite du Muschelkalk moyen, dans laquelle les concentrations en chlorures et en sulfates de l'aquifère fracturé du Muschelkalk supérieur peuvent atteindre 200, respectivement 450 mg/l. Le

200, respektive 450 mg/l ansteigen lassen. Zum anderen von Grundwasser, welches von Rheinwasser geprägt wird und typischerweise Chlorid- und Sulphatkonzentrationen von etwa 10, respektive 20-30 mg/l enthält. Neben der Flussinfiltration kann das Rheinwasser auch über den Umweg der Anreicherung im Westen des Gebiets in das Grundwasser der quartären Rheinschotter und dann über direkt verbundene Abschnitte in den Kluftaquifer gelangen. In den Analysen zeigt sich der Einfluss der Anreicherung vor allem in den Messstellen im Westen des Gebiets: die Chlorid-, und zum Teil die Sulfatkonzentrationen sind dort deutlich erniedrigt (Abb. 9.1.1.1 und 9.1.1.2). Die grössten Anionenkonzentrationen wurden im Zentrum des Gebietes (Schweizerhalle) gemessen. In Richtung Grundwasseranreicherung und in Richtung Rhein nimmt die Konzentration wieder ab. Eine lineare Mischungsrechnung erlaubt die Abschätzung der Anteile von Rheinwasserinfiltrat $x_{Rheinwasser}$ unter Annahme von konstanten Konzentrationen C der Zuflüsse:

$$X_{Rheinwasser} = \frac{C_{Muschelkalk} - C_{Messstelle}}{C_{Muschelkalk} - C_{Rheinwasser}}$$

Im mittleren Rheinabschnitt zeigen vor allem die dem Rhein nächsten Messstellen Konzentrationen zwischen 10-20 mg/l Chlorid (21E20, 21E23), bzw. 20-40 mg/l Chlorid (41E5, 41E18), was darauf hindeutet, dass diese Brunnen über 90, bzw. 80 % Rheinwasser beziehen (Abb. 6.1.2). Während bei den erstgenannten Brunnen im Westen von Schweizerhalle ein Teil des Rheinwassers indirekt von der Anreicherung zuströmt, ist die zweite Gruppe von Brunnen durch einen tektonischen Graben von der Grundwasseranreicherung abgeschnitten: der Rheinwasseranteil in den Brunnen 41E5, 41E18 von bis 80 % stammt demnach ausschliesslich aus Flussinfiltration.

deuxième type d'eau souterraine est caractérisé par l'eau du Rhin, qui présente des concentrations en chlorures et en sulfates typiques de l'ordre de 10, respectivement de 20 à 30 mg/l. En dehors de l'infiltration par le lit de la rivière, l'eau du Rhin peut également atteindre l'aquifère des graviers quaternaires de manière indirecte, par l'installation de réalimentation artificielle située à l'ouest du secteur d'étude, avant d'accéder ensuite à l'aquifère fracturé, là où il présente un lien direct avec cette couche de graviers. Les analyses ont démontré l'impact de la réalimentation essentiellement au niveau des piézomètres situés à l'ouest du secteur d'étude : les concentrations en chlorures y sont nettement réduites, et en partie celles en sulfates (fig. 9.1.1.1 et 9.1.1.2). Au centre du périmètre du projet, les concentrations des deux anions augmentent à mesure que l'on progresse en direction des zones de réalimentation et à mesure que l'on s'éloigne du Rhin. Un calcul de mélange selon une loi linéaire permet d'estimer les fractions d'eau d'infiltration du Rhin x_{Rhin} en tenant compte de taux constants C pour les apports :

$$X_{Rheinwasser} = \frac{C_{Muschelkalk} - C_{Messstelle}}{C_{Muschelkalk} - C_{Rheinwasser}}$$

Dans le tronçon central du Rhin, on note essentiellement au niveau des piézomètres les plus proches du Rhin des concentrations de l'ordre de 10 à 20 mg/l pour les chlorures (21E20, 21E23), ou de 20 à 40 mg/l pour les chlorures (41E5, 41E18), ce qui indique que ces forages tirent plus de 90, ou 80 % d'eau du Rhin (figure 6.1.1). Tandis que le premier groupe de forages à l'ouest de Schweizerhalle est alimenté indirectement en eau du Rhin par le biais de la réalimentation de la nappe, le deuxième groupe de forages est isolé de cette réalimentation par un fossé tectonique : la fraction d'eau du Rhin dans les forages 41E5, 41E18, pouvant aller jusqu'à 80 %, provient ainsi directement de l'infiltration à partir du fleuve.

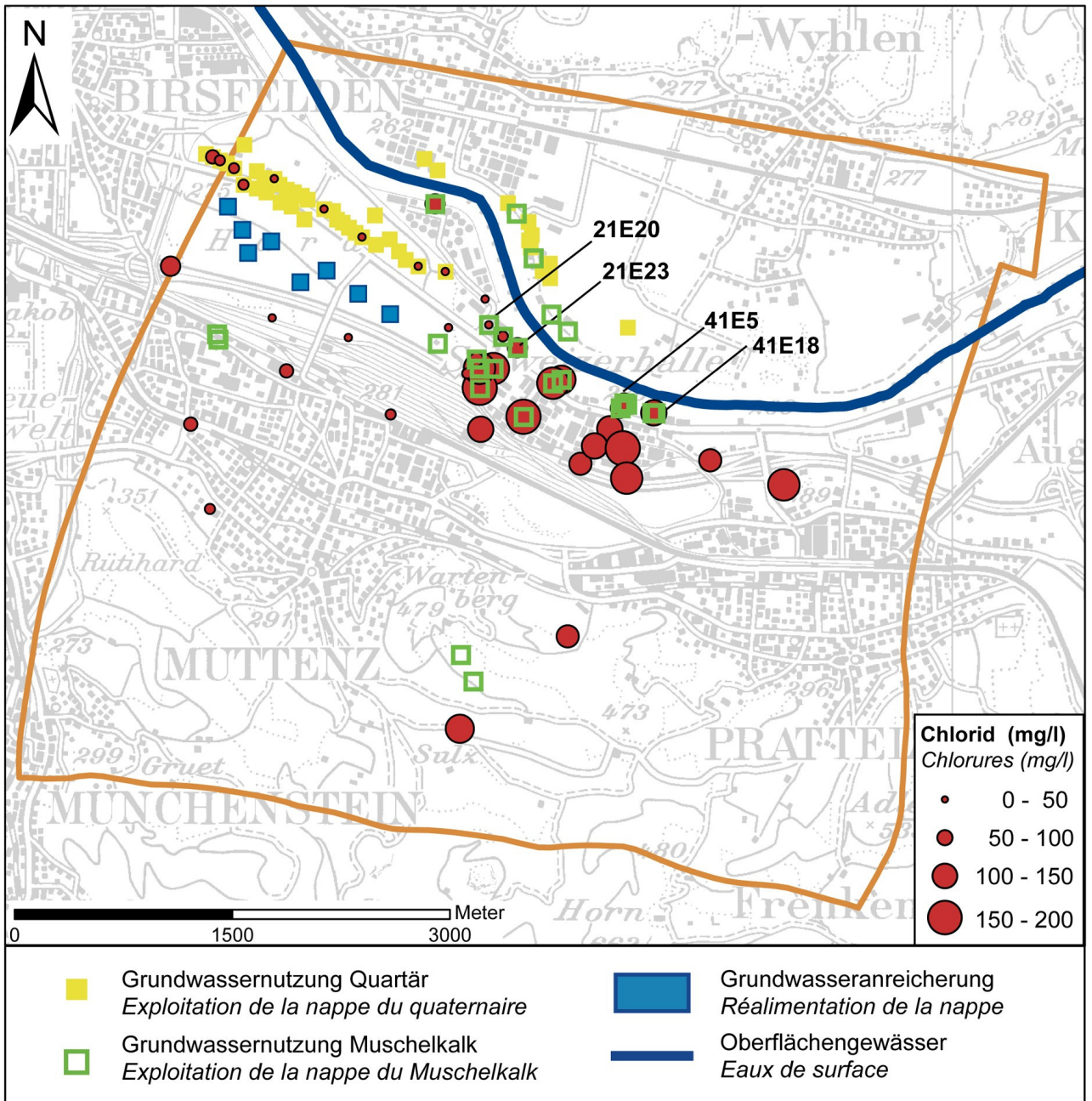


Abbildung 9.1.1.1: Gemessene Grundwasser-Chloridkonzentrationen im November 2004
 Figure 9.1.1.1: Concentrations en chlorures relevées dans la nappe en novembre 2004

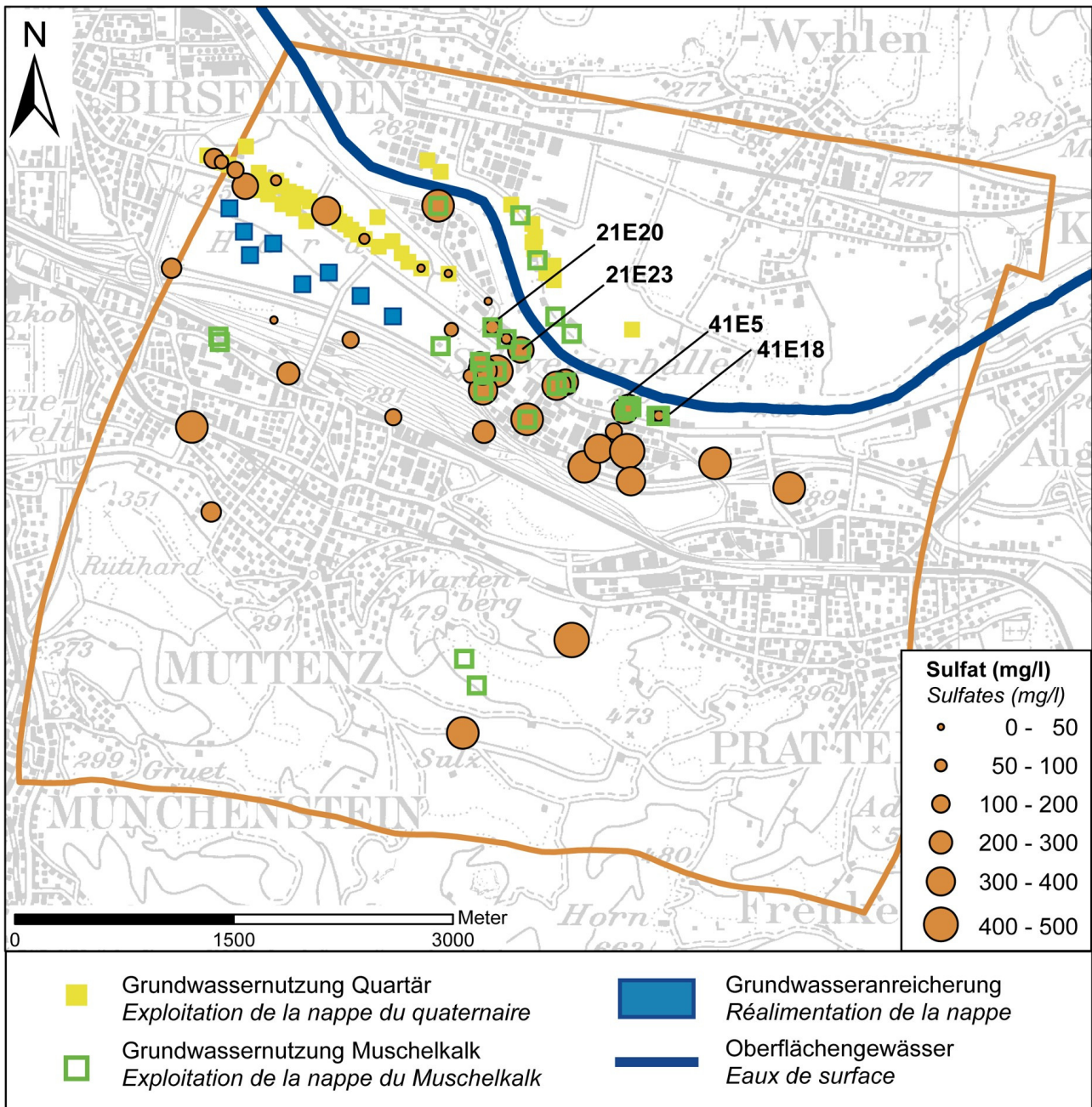


Abbildung 9.1.1.2: Gemessene Grundwasser-Sulfatkonzentrationen im November 2004
 Figure 9.1.1.2: Concentrations en sulfates relevées dans la nappe en novembre 2004

9.1.2 SAUERSTOFF-18 UND DEUTERIUM

Die gleichzeitig mit den Anionen gemessenen Anteile an Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) und Deuterium ($\delta^2\text{H}$) im Grundwasser lassen sich gut miteinander vergleichen. Die Zusammensetzung wird wieder von der Zumischung von zwei Grundwassertypen mit verschiedenen Einzugsgebieten bestimmt:

lokal gebildetes Grundwasser, das $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von -10 ‰ bis -9 ‰ ($\delta^2\text{H}$ -65 ‰ bis -55 ‰) aufweist, und durch Rheinwasserinfiltrat geprägtes Grundwasser, das aufgrund des alpinen Einzugsgebiets des Rheins auch deutlich leichtere Isotopenzusammensetzungen enthält ($\delta^{18}\text{O}$ -Werte von -12 ‰ bis -11 ‰, respektive $\delta^2\text{H}$ -Werte von -80 ‰ bis -70 ‰). Wie bei den Anionen zeigt sich der Einfluss der Anreicherung vor allem in den Messstellen im Westen des Gebiets durch leichtere Isotopenzusammensetzungen (Abb. 9.1.2.1 und 9.1.2.2). Auch in den anreicherungs- und rheinfernen Gebieten zwischen MuttENZ und Pratteln nehmen die schweren Isotopenanteile zu. Im mittleren Rheinabschnitt zeigen die dem Rhein nächsten Messstellen $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte, welche eher der Zusammensetzung von Rheinwasser entsprechen als der Grundwasseranreicherung durch lokalen Niederschlag. Mit der zu den Anionen analogen linearen Mischungsrechnung können für die rheinnahen Brunnen 21E20, 41E5, und 41E18 Rheinwasserinfiltratanteile von 70 bis 80 % abgeschätzt werden.

9.1.2 OXYGÈNE 18 ET DEUTÉRIUM

Les taux d'oxygène 18 ($\delta^{18}\text{O}$) et de deutérium ($\delta^2\text{H}$) mesurés dans la nappe en même temps que les anions permettent une comparaison aisée. Ici aussi, la composition est caractérisée par le mélange de deux types d'eau souterraine présentant des aires d'alimentation différentes:

une eau souterraine d'origine locale présentant des valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ de -10 ‰ jusqu'à -9 ‰ ($\delta^2\text{H}$ -65 ‰ jusqu'à -55 ‰), et une eau souterraine caractérisée par une infiltration massive d'eau du Rhin, dont l'aire d'alimentation alpine présente des compositions isotopiques nettement plus légères (valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ de -12 ‰ jusqu'à -11 ‰, valeurs de $\delta^2\text{H}$ de -80 ‰ jusqu'à -70 ‰). Comme pour les anions, l'impact de la réalimentation ressort essentiellement au niveau des stations de mesure de l'ouest du secteur d'étude, grâce aux composés d'isotopes plus légers (fig. 9.1.2.1 et 9.1.2.2). De manière analogue, la proportion d'isotopes lourds augmente entre MuttENZ et Pratteln, dans les zones distantes de la réalimentation et du Rhin. Dans le tronçon central du Rhin, les stations de mesure proches du fleuve présentent des valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ et de $\delta^2\text{H}$ qui correspondent davantage à la composition de l'eau du Rhin qu'à celle de la recharge par infiltration des précipitations locales. Le calcul de mélange linéaire, déjà appliqué aux anions, permet d'estimer la fraction d'eau infiltrée du Rhin à env. 70 % à 80 % pour les forages 21E20, 41E5 et 41E18 proches du Rhin.

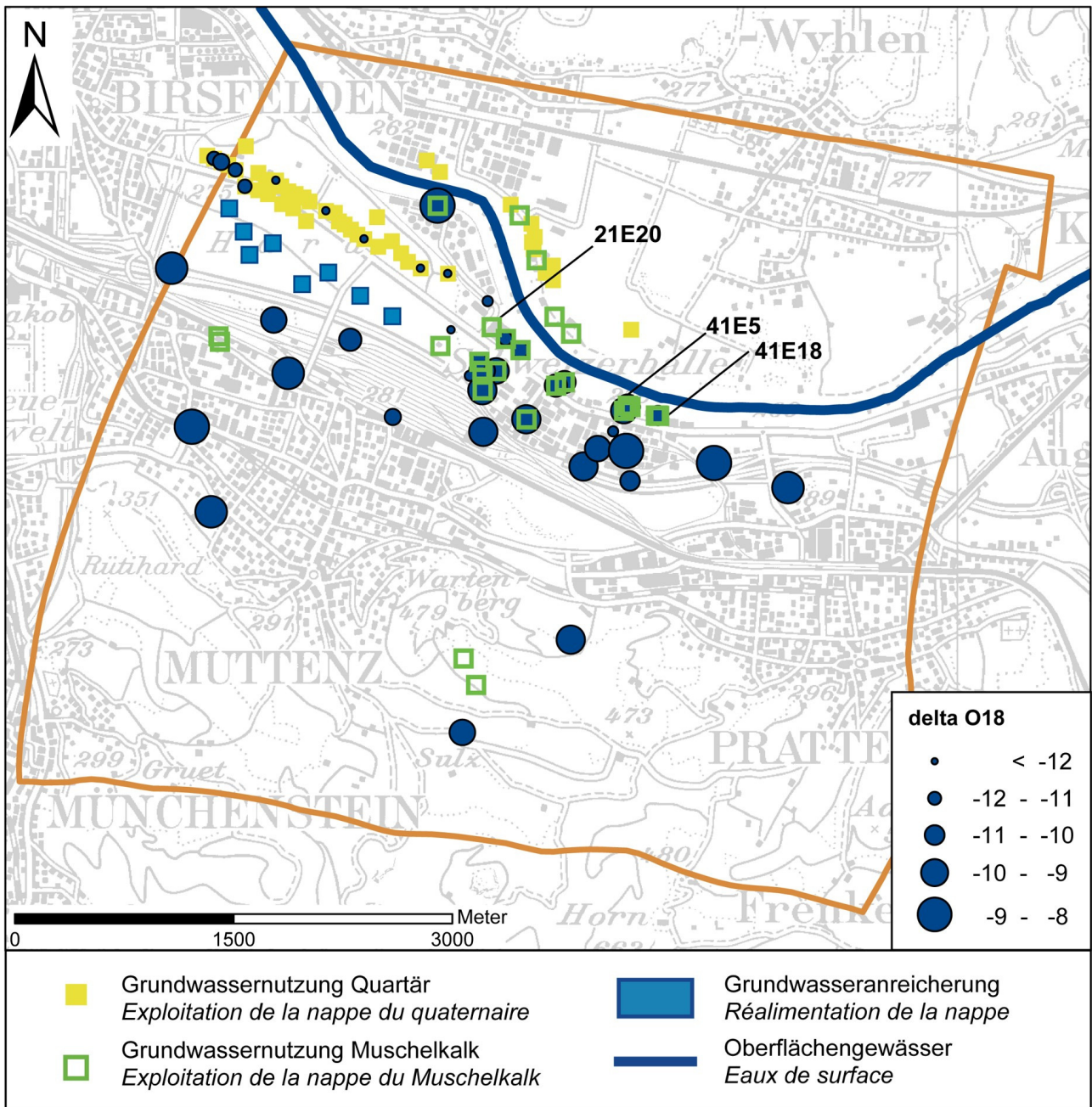


Abbildung 9.1.2.1: Gemessene Sauerstoff-18-Anteile im November 2004
 Figure 9.1.2.1: Valeurs d'oxygène 18 mesurées en novembre 2004

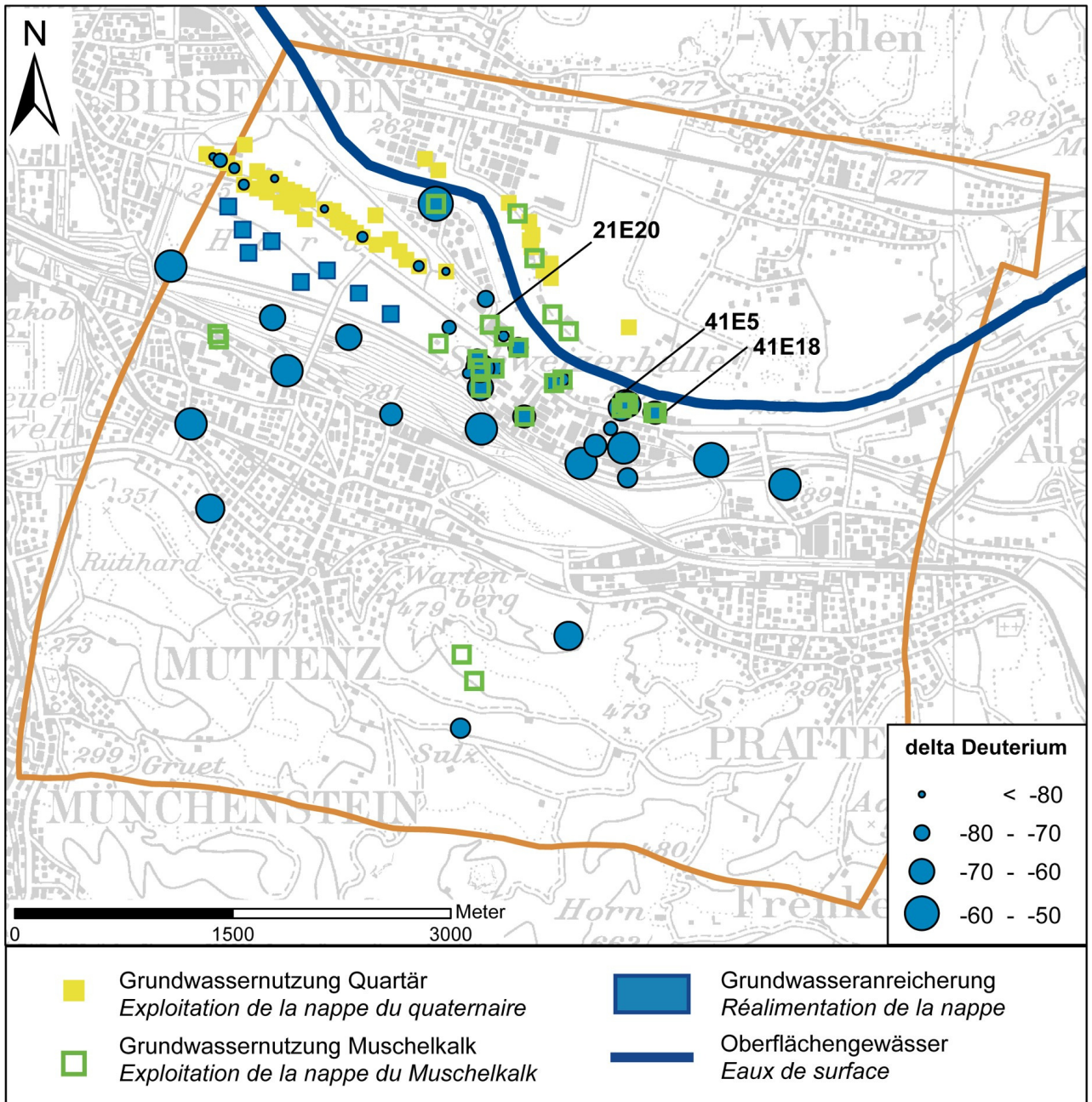


Abbildung 9.1.2.2: Gemessene Deuterium-Anteile im November 2004
 Figure 9.1.2.2: Valeurs de deutérium relevées en novembre 2004

9.1.3 GRUNDWASSERMODELL

Mit dem 3D Grundwassermodell lassen sich die Wechselwirkung der Einflüsse der strukturellen Anordnung der Aquifere und den Aquitarden/Aquicluden, der Interaktion zwischen Aquifer und Rhein sowie die anthropogene Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch Entnahme und Anreicherung gut illustrieren. Der mit dem kalibrierten Modell für den 8. August 2003 berechnete repräsentative Verlauf des Grundwasserspiegels lässt sich für die beiden Aquifer-

9.1.3 MODÉLISATION DE LA NAPPE

La modélisation 3D de la nappe permet de bien rendre compte : de l'influence de la géologie structurale qui fait alterner les aquifères productifs, semi-perméables et les couches non productives ; de l'interaction entre les aquifères et le Rhin ; de l'impact anthropique sur le niveau piézométrique résultant des prélèvements et de la réalimentation. L'allure de la cartepiezométrique, calculée à l'aide du modèle calibré à la date du 08 août 2003, offre une illustration parfaite pour les deux niveaux

stockwerke (quartäre Rheinschotter und Kluftaquifer des Muschelkalks) darstellen (Abb. 9.1.3.1 und 9.1.3.2).

aquifères superposés (graviers quaternaires du Rhin et aquifère fracturé du Muschelkalk) (fig. 9.1.3.1 et 9.1.3.2).

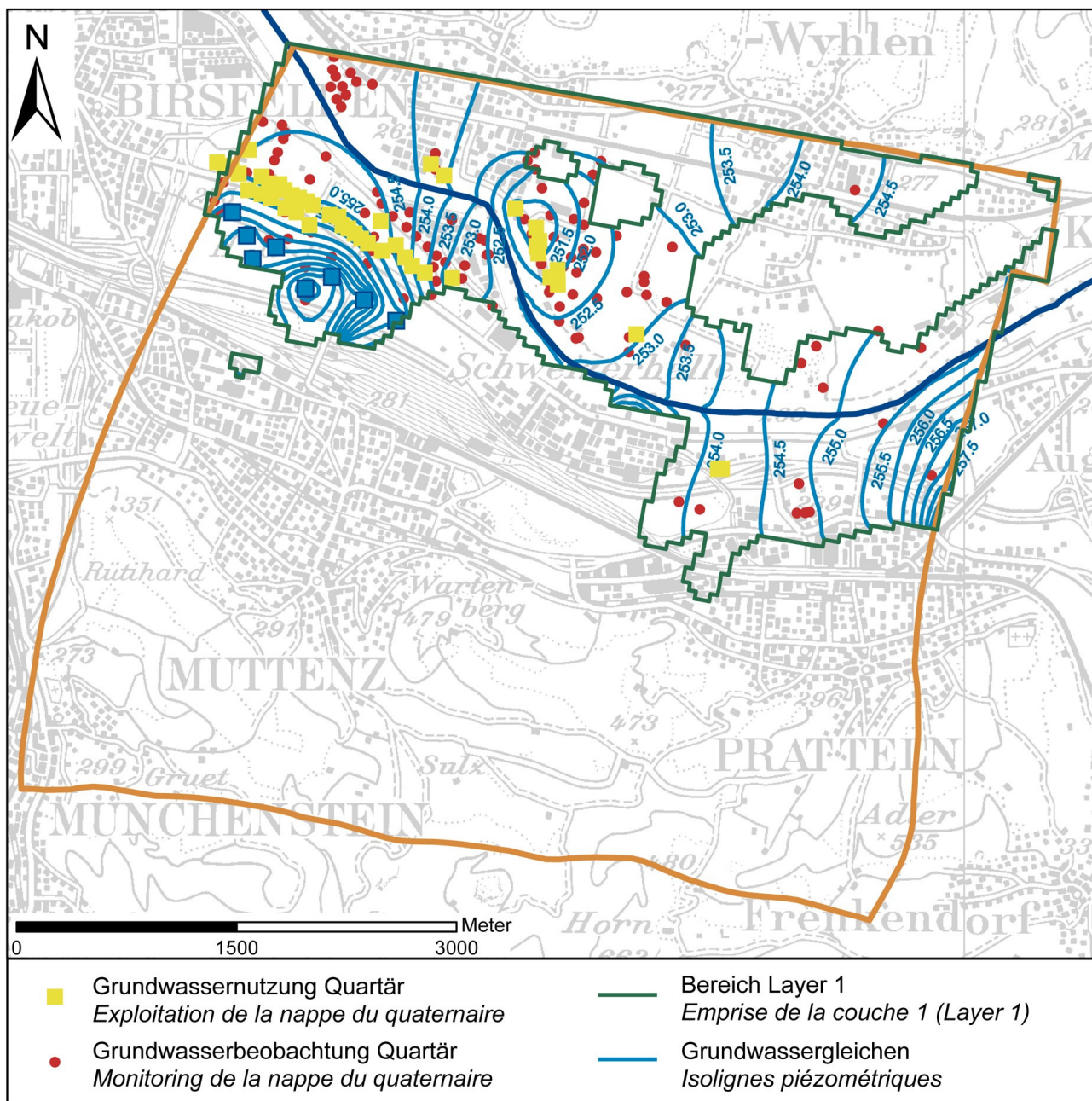


Abbildung 9.1.3.1: Berechneter Grundwasserspiegel im Schotteraquifer für den 8. August 2003
 Figure 9.1.3.1: Niveau piézométrique calculé pour l'aquifère des graviers à la date du 08 août 2003

Da im Gebiet die regional dominierenden Randbedingungen der Entnahmen und Anreicherungen zeitlich in etwa konstant bleiben, ergeben sich in der instationären Betrachtung keine signifikanten zeitlichen Änderungen des Grundwasserspiegels. In den quartären Rheinschottern sind vor allem das Gebiet Birsfelder Hard bis Schweizerhalle, die rheinnahen Gebiete von Grenzach und das

Dans la mesure où, à l'intérieur de la zone d'étude, les conditions aux limites dominantes en terme de prélèvement et de réalimentation de la nappe, restent à peu près constantes dans le temps, l'observation en régime transitoire ne révèle pas de variations significatives dans le temps du niveau piézométrique de la nappe. Les graviers quaternaires saturés se rencontrent essentiellement,

nördliche Pratteln grundwassergesättigt. Deutlich zu erkennen ist im Westen der durch die Grundwasseranreicherung bedingte Anstieg des Grundwasserspiegels auf über 260 m ü. M. Die deutliche Absenkung in den rheinnahen Bereichen in Grenzach auf 250 m ü. M. ist bedingt durch die Grundwasserentnahmen in den Rheinschottern, aber auch durch Entnahmen im darunter liegenden Kluftaquifer.

Der Kluftaquifer ist praktisch im gesamten Modellgebiet vorhanden mit Ausnahme des nordwestlichsten Teils. Die im Hangenden Schotteraquifer modellierte Anreicherung bewirkt auch im Kluftaquifer einen vergleichbaren Anstieg des Grundwasserspiegels auf über 260 m ü. M. Die Entnahmen führen im Gebiet Schweizerhalle und nördlich des Rheins in Grenzach zu Absenkungen um etwa 5 m unter das Niveau des Rheinpegels, das heisst auf circa 250 m ü. M. Gut zu erkennen ist der Einfluss der Grabenstrukturen im Verlauf des Grundwasserspiegels: da bei den lateralen Übergängen von Horst zu Graben meist eine deutliche Erniedrigung der hydraulischen Leitfähigkeit erfolgt (Kapitel 8.1), ändert sich die Fliessrichtung und der Gradient des Grundwassers an den begrenzenden Bruchflächen. Da die Grabenstrukturen nach Süden begrenzt sind, erfolgt im Süden des Gebiets eine Umströmung der Grabenstrukturen im Kluftaquifer.

Mit dem Grundwassermodell Muttentz-Pratteln lässt sich die Fluss-Grundwasser-Interaktion entlang des Rheins berechnen. Es sind dabei drei Rheinabschnitte zu charakterisieren (Abb. 9.1.3.3). Im ersten etwa 1.1 km-langen Abschnitt herrschen exfiltrierende Verhältnisse vor, der quartäre Aquifer verliert knapp $0.015 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$. Im Folgenden 4 km langen mittleren Rheinabschnitt herrschen infiltrierende Verhältnisse vor: der Rhein verliert, bedingt durch die rheinnahen Absenkungen der Industriebrunnen Schweizerhalle und Grenzach etwa $0.165 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$. Im letzten 2.5 km langen Abschnitt erfolgt wieder eine Umkehr zur Exfiltration: knapp $0.011 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$

dans le secteur Birsfelder Hard jusqu'à Schweizerhalle, en bordure du Rhin à Grenzach et dans la partie nord de Pratteln. A l'ouest, la remontée du niveau piézométrique de la nappe, liée à la réalimentation, est bien visible à un niveau de plus de 260 m s. mer. L'abaissement notable en bordure du Rhin à Grenzach, à un niveau de 250 m s. mer, est dû aux prélèvements dans les graviers du Rhin, mais également dans l'aquifère fracturé sous-jacent.

L'aquifère fracturé existe sur pratiquement tout le domaine modélisé, à l'exception de la partie nord-ouest. La réalimentation modélisée pour la couche sus-jacente de graviers entraîne une montée comparable du niveau piézométrique dans l'aquifère fracturé, à plus de 260 m s. mer. Les prélèvements dans le secteur de Schweizerhalle et au nord du Rhin, à Grenzach, entraînent un abaissement du niveau piézométrique de la nappe à env. 5 m au dessous du niveau du Rhin, soit à env. 250 m s. mer. L'impact des grabens dans la courbe des niveaux piézométriques se reconnaît bien dans la mesure où les transitions latérales entre les structures de horsts et de grabens s'accompagnent généralement d'une réduction notable de la conductivité hydraulique (Chapitre 8.1), avec une modification du sens d'écoulement et du gradient de la nappe au niveau des failles bordières. Comme les grabens se terminent vers le sud, Les écoulements dans l'aquifère fissuré contournent ces structures dans le sud de la zone d'étude.

La modélisation de la nappe pour le secteur Muttentz-Pratteln permet de calculer l'interaction nappe-rivière le long du Rhin. A ce titre, il convient de caractériser trois tronçons du Rhin (fig. 9.1.3.3). Le premier tronçon, d'une longueur de 1.1 km, se caractérise par une situation d'exfiltration, l'aquifère quaternaire perdant près de $0.015 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$. Le tronçon suivant ou tronçon central, long de 4 km, présente une situation d'infiltration : le Rhin perd, suite aux rabattements provoqués par les forages de production d'eau industrielle de Schweizerhalle et de Grenzach, environ $0.165 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$. Le dernier tronçon, d'une longueur de 2.5 km, présente un retour à

fließen vom quartären Aquifer in den Rhein, wobei ein Teil dieser Menge ihren Ursprung in weiter südlich angereicherten Rheinwasser hat.

l'exfiltration: près de 0.011 m³/d/m² d'eau souterraine s'exfiltrent de l'aquifère quaternaire dans le Rhin, une partie de cette quantité provenant de la réalimentation en eau du Rhin située plus au sud.

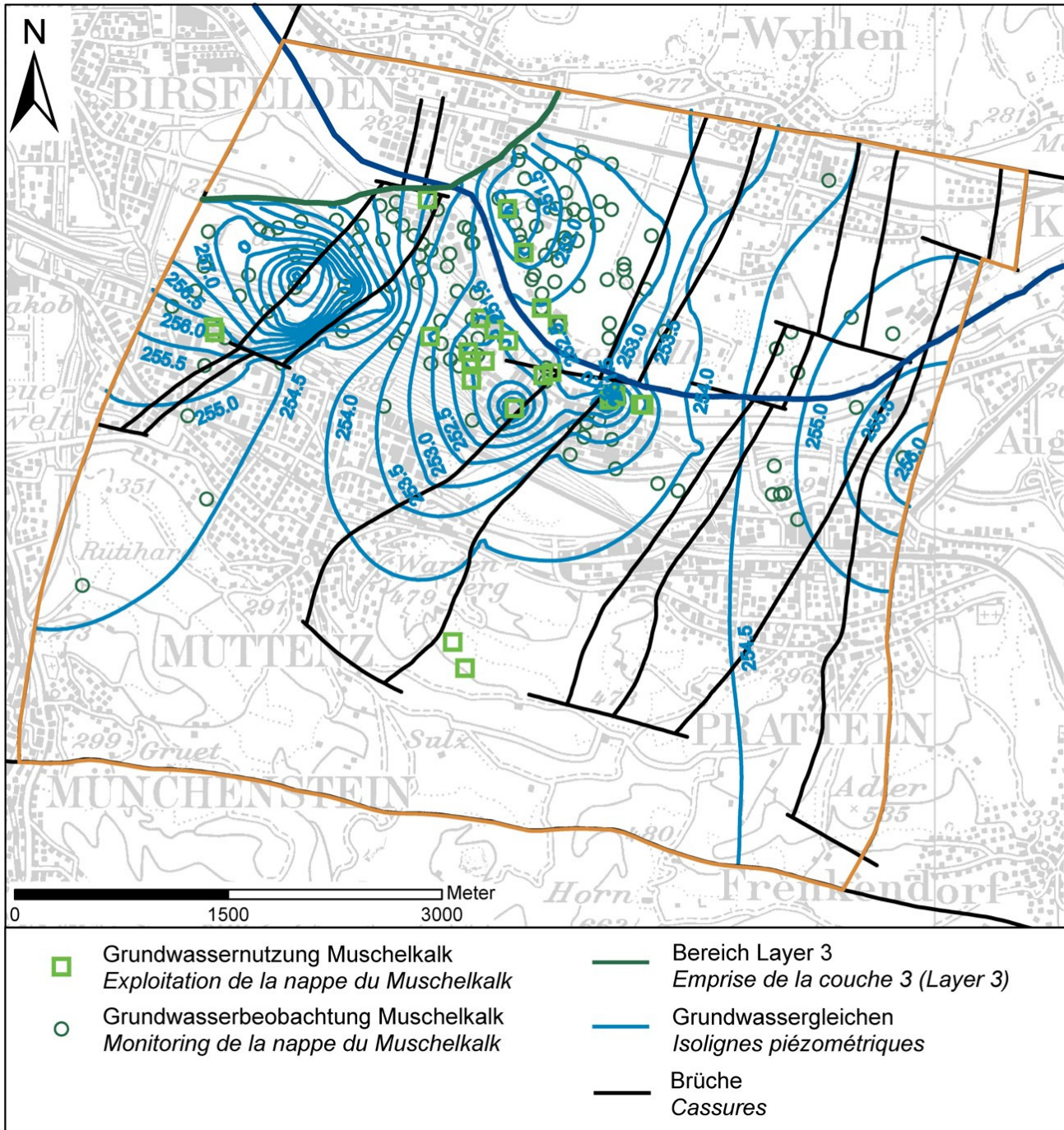


Abbildung 9.1.3.2: Berechneter Grundwasserspiegel im Kluftaquifer für den 8. August 2003
 Figure 9.1.3.2: Niveau piézométrique calculé dans l'aquifère fracturé à la date du 08 août 2003

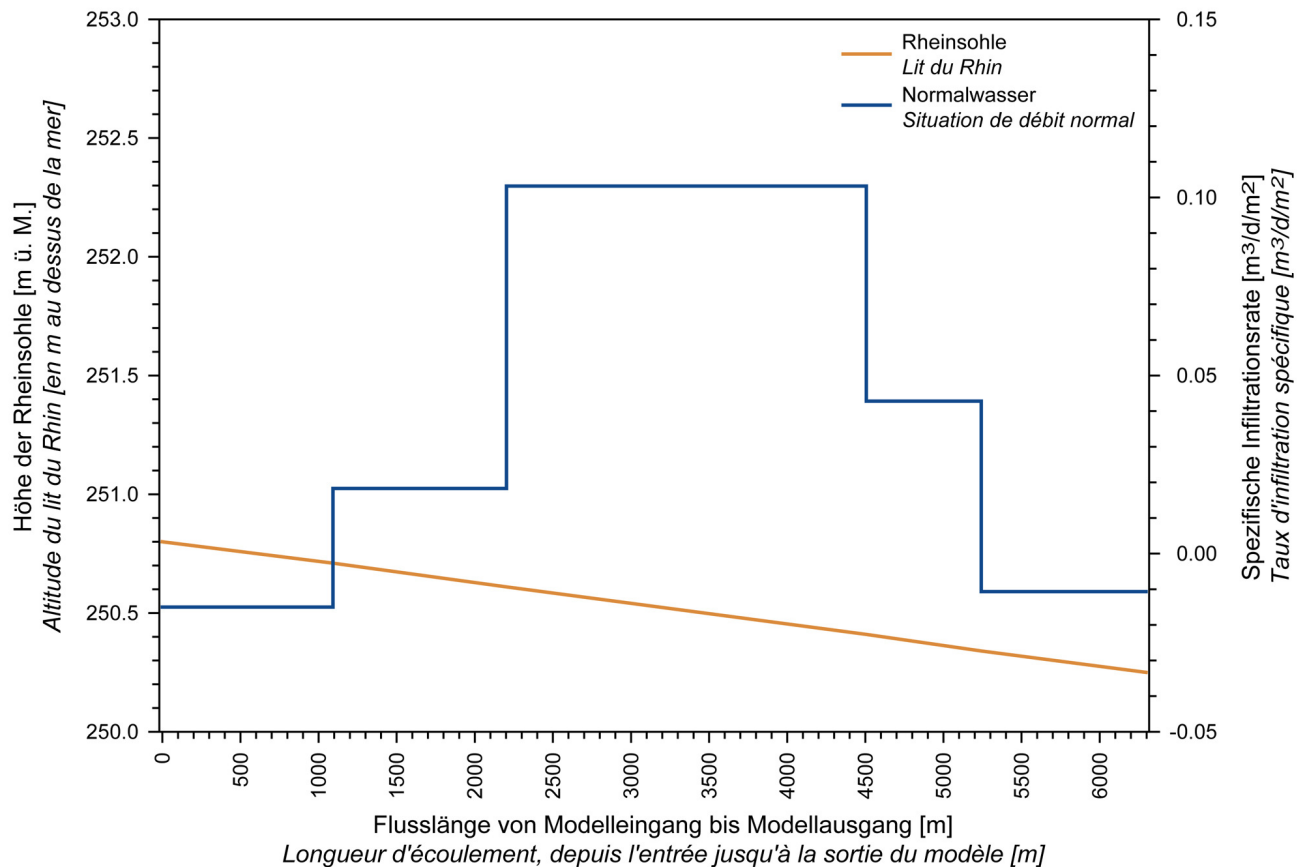


Abbildung 9.1.3.3: Längsprofil der Rheinsohle mit zugehörigen Infiltrations-/Exfiltrationsraten
 Figure 9.1.3.3: Profil longitudinal du lit du Rhin avec indication des taux d'infiltration/ d'exfiltration correspondants

9.2 WIESEEBENE

Die Ergebnisse der regionalen Strömungsmodellierung zeigen ein stark instationäres Grundwasserfließregime (Vergleich Hochwasser und Normalwasser der Wiese in Abb. 9.2.1 und Abb. 9.2.2). Dieses wird vor allem durch die Grundwasserentnahme und -anreicherung der Wasserversorgung als auch durch Infiltration während des Wiesehochwassers vom 20.03.2002 beeinflusst. Durch den Anstieg des Abflusses wird das Vorland überflutet und dadurch die Infiltration erhöht. Bei mittlerem Abfluss ist die Wiese vom Grundwasser teilweise entkoppelt, wobei der Abstand vom Grundwasser zur Wiesesohle von der Landesgrenze flussabwärts zunimmt (Abb. 3.1). Bei Hochwasser (Grundwasserhochstand und starke Flussinfiltration) kommt es jedoch zu einer Anbindung des Grundwassers an die Wiese, was bei gleichzeitigem Betrieb flussnaher Brunnen zu einer Vergrößerung des hydraulischen Gradienten

9.2 LA PLAINE DE LA WIESE

Les résultats de la modélisation régionale de l'écoulement de la nappe présentent un régime d'écoulement transitoire marqué de la nappe (comparaison crue – débit normal de la Wiese, figures 9.2.1 et 9.2.2). Ce régime est surtout influencé par les prélèvements d'eau souterraine et par la réalimentation liés à la production d'eau, mais également par l'infiltration observée au cours de la crue de la Wiese du 20 mars 2002. L'augmentation du débit inonde le lit majeur, ce qui accroît le taux d'infiltration. A débit moyen, la Wiese est partiellement déconnectée de la nappe, la distance entre le fond du lit de la Wiese et la nappe allant croissant plus on descend la rivière en partant de la frontière (fig. 3.1). En situation de crue (niveau piézométrique haut et forte infiltration depuis la rivière), la nappe monte et rejoint la Wiese; si les forages proches de la rive sont en service, on note un accroissement du gradient hy-

führt (Abb. 9.2.3) und bevorzugte Fließwege in den Anströmbereichen der Entnahmebrunnen verstärkt aktiviert.

draulique (fig. 9.2.3), ce qui active des voies d'écoulement privilégiées dans l'aire d'appel des forages.

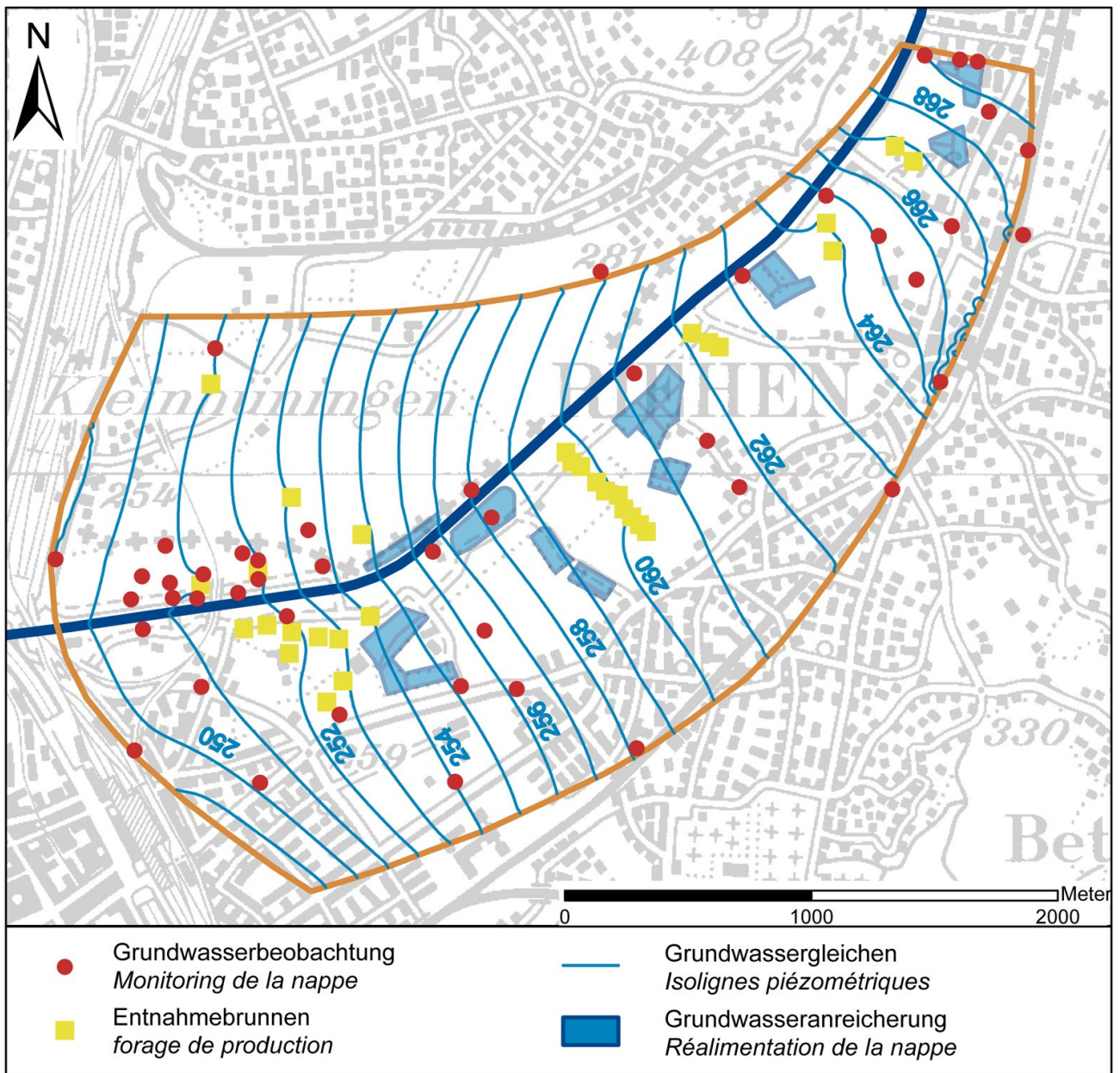


Abbildung 9.2.1: Berechneter Grundwasserspiegel im Schotteraquifer für den 3. April 2002, Normalwassersituation um 00:00 Uhr
 Figure 9.2.1: Niveau piézométrique calculé dans l'aquifère des graviers à la date du 03 avril 2002, situation de débit normal, à 00h00

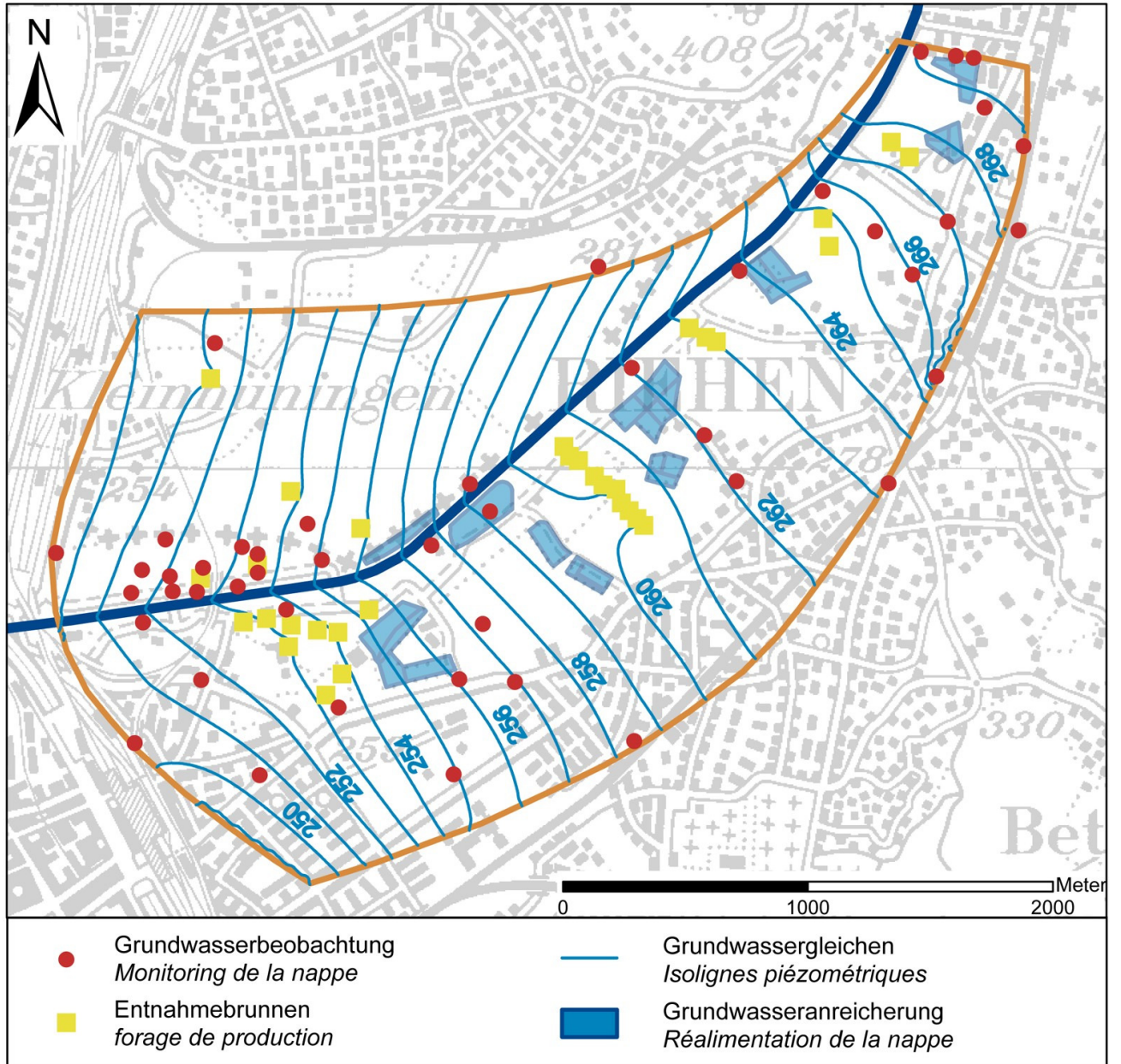


Abbildung 9.2.2: Berechneter Grundwasserspiegel im Schotteraquifer für den 21. März 2002, Hochwassersituation um 00:00 Uhr
 Figure 9.2.2: Niveau piézométrique calculé dans l'aquifère des graviers à la date du 21 mars 2002, situation de crue, à 00h00

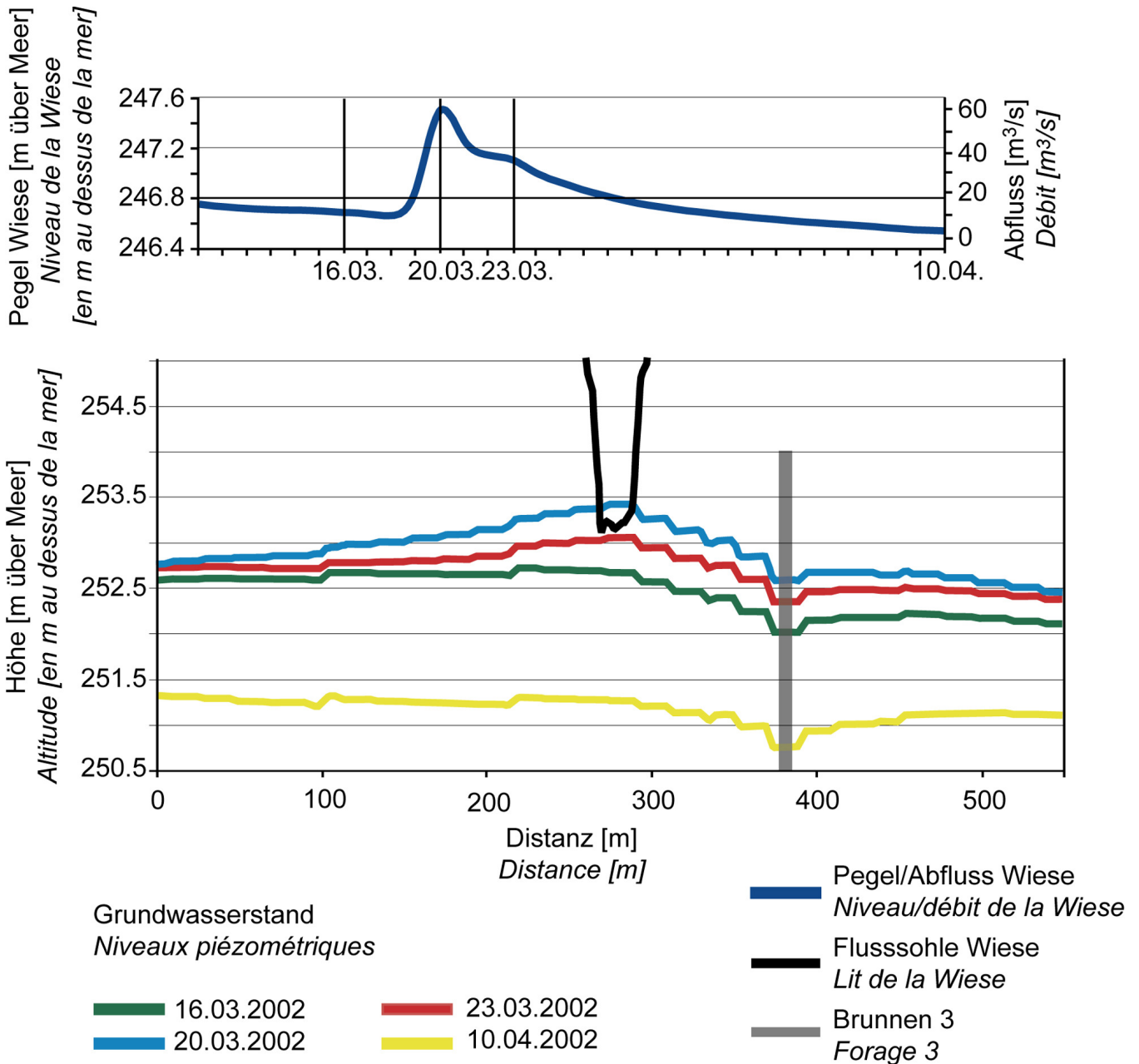


Abbildung 9.2.3: Änderung des hydraulischen Anschlusses zwischen dem Grundwasser und der Wiese während eines mittleren Hochwassers (Abflussmaximum 64 m³/s, Abfluss-Station liegt ca. 2.5 km flussabwärts von Brunnen 3, Entnahmemenge konstant 0.03 m³/s), Daten aus instationärer Grundwassermodellierung von Mitte März bis Mitte April 2002

Figure 9.2.3: Modification de la connexion hydraulique entre nappe et Wiese au cours d'une situation de crue moyenne (débit maximum : 64 m³/s, la station de mesure du débit se situe à env. 2.5 km en aval du forage 3, prélèvement constant de 0.03 m³/s), données issues de la modélisation transitoire de la nappe de la mi-mars jusqu'à la mi-avril 2002

In Abbildung 9.2.4 sind gerechnete und mittels Stromlinien dargestellte 10-Tages-Anströmbereiche für verschiedene Zeitperioden und relevante Abflussverhältnisse dargestellt (Hochwasser zunehmend, Hochwasser abnehmend, Niedrigwasser). Die 10-Tages-Anströmbereiche, die sich mit dem Lauf der Wiese überschneiden, verdeutlichen die potentielle Gefährdung einer Reihe von Brunnen durch Fremdstoffe und Mikroorganismen im Wieseinfiltrat. Markierversuche zeigen, dass

La figure 9.2.4 récapitule des zones d'appel calculées sur 10 jours pour différentes périodes et pour des situations de débit caractéristiques (débit de crue croissant, débit de crue décroissant, débit d'étiage). Les zones d'appel sur 10 jours qui intersectent le cours de la Wiese illustrent le risque potentiel encouru par un certain nombre de forages, de la part des substances étrangères et des microorganismes véhiculés par l'eau d'infiltration de la Wiese. Des essais de traçage ont montré qu'au

mindestens sechs Brunnen bei Hochwasser potentiell durch pathogene Mikroorganismen gefährdet sind (Tab. 7.2.1.1).

moins six forages étaient potentiellement menacés par des microorganismes pathogènes (tab. 7.2.1.1).

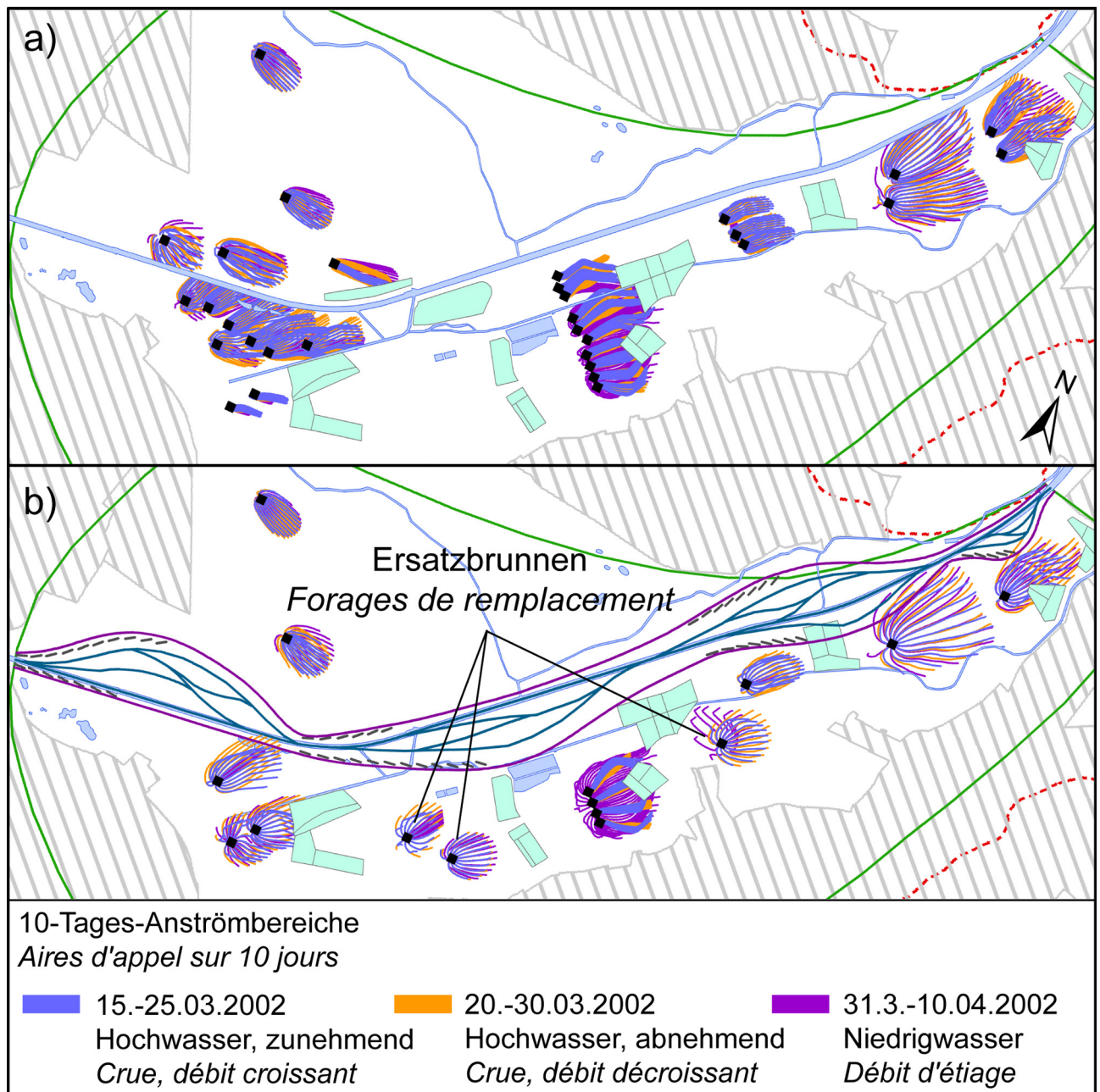


Abbildung 9.2.4: 10-Tages-Anströmbereiche von Grundwasserbrunnen in der Wieseebene zwischen Mitte März und Mitte April 2002: a) Ist-Zustand; b) Revitalisierungsszenario.

Figure 9.2.4: Zones d'appel sur 10 jours des forages d'eau potable situés dans la plaine de la Wiese, de la mi-mars à la mi-avril 2002: a) Situation réelle ; b) scénario de renaturation du cours d'eau.

Zur Abklärung von Möglichkeiten einer Verbesserung des Grundwasserschutzes wurde für das Gebiet der Wieseebene ein konzeptionell ausgerichtetes Revitalisierungsszenario entwickelt [REGLI et al. 2004]. Das Szenario orientiert sich an den Zielen des Grundwasserschutzes und denjenigen naturnaher Gewässerökosysteme gleichermaßen. Es wurden jedoch im vorliegenden

En vue de déterminer les possibilités d'amélioration de la protection de la nappe, nous avons mis au point un scénario de renaturation spécialement conçu pour le secteur de la plaine de la Wiese [REGLI et al. 2004]. Ce scénario souligne à la fois les objectifs de la protection de la nappe et ceux de la protection des écosystèmes aquatiques proches de la nature. Toutefois,

Beispiel keine detaillierten betrieblichen Bedingungen der Wasserversorgung berücksichtigt. Das Szenario entspricht somit keinem realen Planungsvorhaben, sondern hat lediglich konzeptionellen Charakter (keine Machbarkeitsstudie). Es dient der Illustration einiger Aspekte eines prozessbasierten und qualitätsorientierten Schutzkonzepts bzw. der Auswirkungen unterschiedlicher Grundwasserentnahmestrategien unter veränderten Bedingungen [REGLI und HUGGENBERGER 2006].

In diesem Modellszenario wurde die Wiese innerhalb eines Pendelbereichs bis auf maximal vier Flussarme aufgeweitet und deren Infiltrationskapazität entsprechend angepasst. Das Szenario erfasst wiederum das mittlere Hochwasser vom März 2002. Gefährdete Brunnen und Nebenbrunnen wurden aufgegeben und deren Entnahmemengen auf die verbleibenden sowie drei wiesefernere Ersatzbrunnen verteilt. Der zeitliche Betrieb der Entnahmebrunnen und Anreicherungsfelder (keine Grundwasseranreicherung während dem Hochwasser, Abb. 7.2.2), die Gesamtmenge an angereichertem und entnommenem Grundwasser sowie die Bedingungen am Modellrand wurden nicht verändert.

Hinsichtlich eines prozessbasierten und qualitätsorientierten Schutzkonzepts wird in diesem Szenario (Abb. 9.2.4b) die Filtrationsleistung zwischen der Wiese und den Entnahmebrunnen lediglich durch die Vergrößerung des Abstandes der Brunnen zur Wiese erhöht und nicht etwa durch Verminderung der Grundwasserentnahme bei erhöhtem Abfluss. Die Grundwasserentnahme in den verbleibenden Brunnen wurde sogar erhöht. Die Standorte der Anreicherungsfelder wurden nicht verändert. Eine solche Brunnenanordnung ermöglicht eine Vergrößerung der Aufenthaltszeiten des Grundwassers und eine Verringerung der Wahrscheinlichkeit des Anströmens von jungem Wieseinfiltrat.

l'exemple présenté ne tient pas compte des contraintes de fonctionnement détaillées de la production d'eau. Aussi, le scénario ne saurait constituer un projet réel, mais juste un exemple de concept (ce n'est pas une étude de faisabilité). Il est censé illustrer certains aspects d'un concept de protection basé sur les processus d'interaction et orienté vers la qualité de l'eau, ou plus précisément les impacts des différentes stratégies de prélèvement d'eau souterraine après modification des conditions de base [REGLI und HUGGENBERGER 2006].

Dans ce scénario de modélisation, la Wiese a été éclatée, à l'intérieur d'une zone d'étalement variable, en un système pouvant compter jusqu'à 4 bras, avec adaptation de leur capacité d'infiltration respective. Ce scénario reprend en compte la crue moyenne de mars 2002. Les forages principales et les forages satellites de production d'eau menacés ont été désaffectés, et leur prélèvement a été réparti sur les forages restants, ainsi que sur trois forages de remplacement distants de la Wiese. Le fonctionnement dans le temps des forages de production et des bassins de réalimentation (cessation de réalimentation pendant la crue, fig. 7.2.2), les quantités totales de réalimentation et de prélèvement et les conditions en bordure de l'espace modélisé n'ont pas été modifiées.

Du point de vue du concept de protection basé sur les processus d'interaction et orienté vers la qualité de la nappe, ce scénario (fig. 9.2.4b) ne prévoit une augmentation de la performance de filtration entre la Wiese et les forages de production, que grâce à l'accroissement de la distance entre les forages et la Wiese, et non grâce à une réduction des prélèvements lorsque le débit de la rivière croît. En effet, les prélèvements au niveau des forages restants ont même été augmentés. La situation des bassins de réalimentation reste inchangée. Une telle disposition des forages de production permettrait d'augmenter le temps de séjour des eaux d'infiltration dans la nappe, et de réduire ainsi la probabilité d'attirer des eaux d'infiltration récentes de la Wiese.

9.3 BIRSTAL

Die Grundwassermodellierung Birstal im untersuchten Abschnitt Reinach-Aesch zeigt eine starke Abhängigkeit der Grundwasserströmung von Anreicherung, Entnahme und Flusspegel. Das rasche und zeitlich variable Zusammenspiel der einzelnen Faktoren wird durch die hohe Durchlässigkeit der quartären Schotter zusätzlich begünstigt.

Die Ergebnisse der instationären Grundwassermodellierung zeigen grosse Unterschiede zwischen normalen Birsabflüssen und Hochwassersituationen (Abb. 9.3.1). Am 24. Oktober 2004 wies die Birs einen Abfluss von annähernd $10 \text{ m}^3/\text{s}$ auf, die Brunnen des Wasserwerkes Reinach und Umgebung, wie die Anreicherungsanlage, waren in Betrieb. Zu erkennen ist dies anhand des Verlaufs der Grundwasserganglinien 275 m und 273.5 m im Bereich der Pumpwerke PW2 und PW5 sowie der Grundwassergleichen 286 m im Bereich der Anreicherungsanlage.

Am 27. Oktober 2004 wies die Birs einen Abfluss von maximal $148 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Aufgrund des mit dem Anstieg des Abflusses verbundenen Anstieges der Trübung wurde die Anreicherungsanlage abgestellt und der Pumpbetrieb eingestellt. Als Konsequenz bildete sich der Grundwasserberg im südlichen Gebiet zurück. Gleichzeitig stieg der Grundwasserspiegel durch die hohe Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser stark an. Im nördlichen Gebiet stieg der Grundwasserspiegel ebenfalls an, begünstigt durch das Abschalten der Brunnen und das aus dem Infiltrationsabschnitt Aesch-Dornachbrugg nachfliessende Grundwasser. Dies führte dazu, dass im Abschnitt Dornachbrugg-Reinach der Grundwasserspiegel über dem Birspegel lag und Grundwasser exfiltrierte.

9.3 LA VALLEE DE LA BIRSE

La modélisation de la nappe pour la vallée de la Birse dans le tronçon analysé de Reinach-Aesch montre une forte relation entre les écoulements souterrains et la réalimentation, les prélèvements et le niveau du cours d'eau. L'interaction rapide et variable dans le temps des différents facteurs est favorisée par la perméabilité élevée des graviers quaternaires.

Les résultats de la modélisation de la nappe en transitoire démontrent de grosses différences entre le débit normal de la Birse et des situations de crue (fig. 9.3.1). Le 24 octobre 2004, la Birse présentait un débit de près de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, les forages de production de l'usine d'eau potable de Reinach et environs étaient en service, ainsi que l'installation de réalimentation artificielle. Cela apparaît au vu des isopièzes de 275 m et de 273.5 m au voisinage des stations de pompage PW2 et PW5 et des isolignes piézométriques à 286 m au voisinage de l'installation de réalimentation.

A la date du 27 octobre 2004, la Birse présentait une pointe de débit de $148 \text{ m}^3/\text{s}$. En raison de l'augmentation de la turbidité liée à cet accroissement du débit, l'installation de réalimentation et les pompes ont été mises à l'arrêt. En conséquence, le surplus d'eau souterraine existant au sud du secteur a commencé à se résorber. En même temps, le niveau piézométrique de la nappe monte fortement, en raison d'une forte infiltration d'eau de la Birse. Dans la partie nord du secteur, le niveau piézométrique de la nappe monte également, suite à la mise à l'arrêt des forages de production, et à l'affluence de masses d'eau souterraines en provenance du tronçon d'infiltration de Aesch-Dornachbrugg. Il en résulte une exfiltration d'eau souterraine dans le tronçon de Dornachbrugg-Reinach, le niveau de la nappe remontant au-delà du niveau de la Birse.

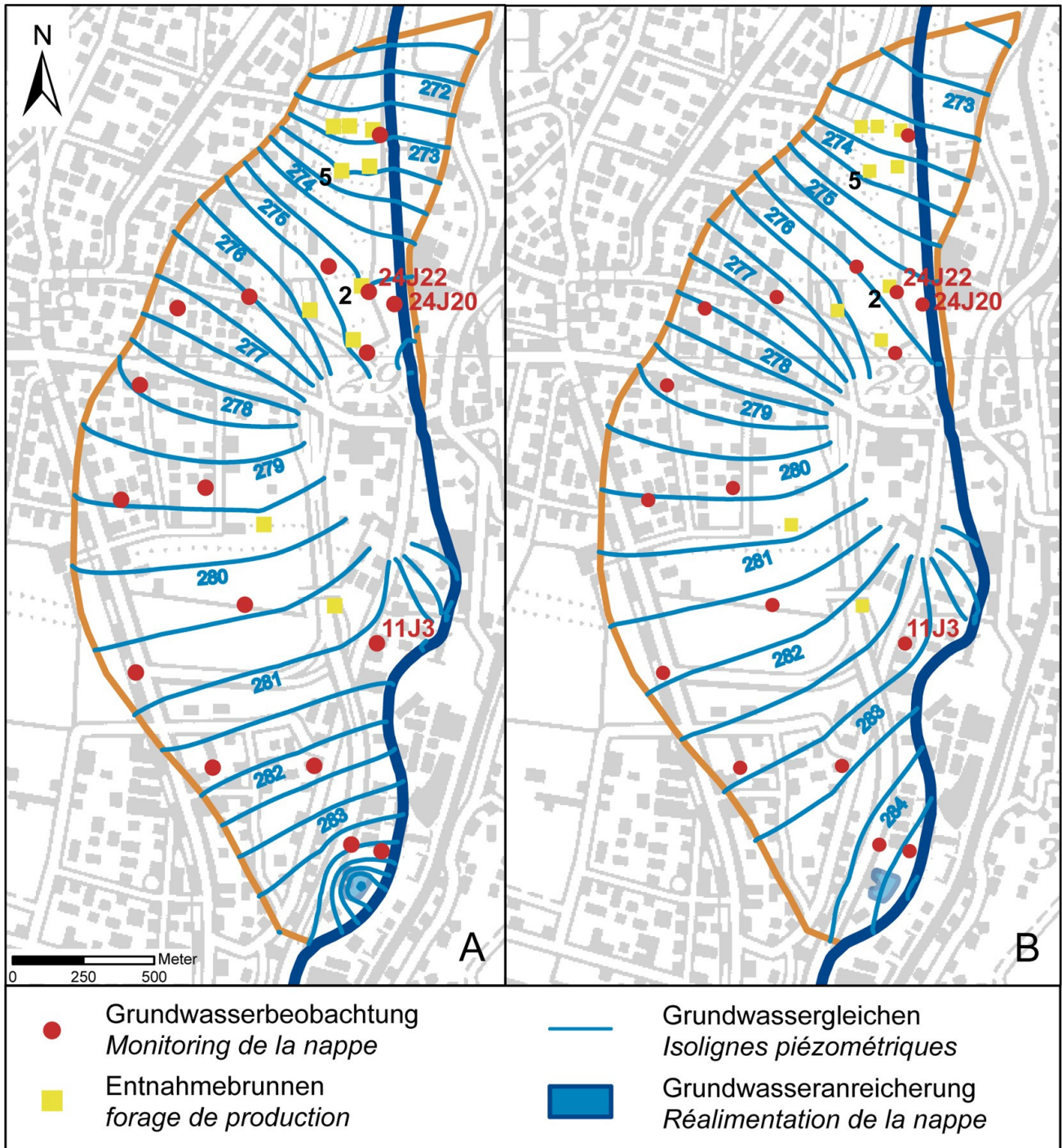


Abbildung 9.3.1: Vergleich zwischen einer Situation A mit normalem Birsabfluss (24. Oktober 2004, Abfluss: 10 m³/s) und einer Situation B mit Birshochwasser (27. Oktober 2004, Abfluss: 148 m³/s)
 Figure 9.3.1: Comparaison entre une situation A de débit normal de la Birse (24 octobre 2004, débit : 10 m³/s) et une situation B de crue de la Birse (27 octobre 2004, débit : 148 m³/s)

Abbildung 9.3.2 zeigt ein Längensprofil der Birsohle mit den dazugehörigen spezifischen Infiltrations-/Exfiltrationsraten in den einzelnen Birabschnitten während des Hochwassers und während der Normalsituation, als Auszug aus dem instationären Grundwassermodell. Es ist zu erkennen, dass die Birs im Abschnitt Aesch-

La figure 9.3.2 montre un profil longitudinal du lit de la Birse avec les taux d'infiltration et d'exfiltration correspondants pour les différents tronçons, au cours de la crue et en situation de débit normal ; ce profil est extrait de la modélisation en transitoire de la nappe. On note une infiltration d'eau de la Birse dans la nappe sur le tronçon de

Dornachbrugg in das Grundwasser infiltriert, bei Hochwasser erhöht sich die Infiltration um einen Faktor 3. Im Abschnitt Dornachbrugg-Reinach unterscheiden sich Hochwasser- und Normalwasserverhältnisse. Bei einem normalen Birsabfluss infiltriert die Birse, bei Hochwasser findet eine Exfiltration von Grundwasser in die Birse statt.

Diese Ergebnisse werden durch die Grundwassermessstellen 24J20, 24J22 und 11J3 (Lage siehe Abb. 9.3.1) bestätigt. Das Diagramm in Abbildung 9.3.3 zeigt Daten der Monate Oktober und November im Jahr 2004, inklusive dem Birshochwasser vom 27.10.2004. Der Grundwasserspiegel im Piezometer 11J3 südlich Dornachbrugg bleibt auch während des Hochwassers deutlich unterhalb des Birsepegels (um 5 m).

Aesch-Dornachbrugg ; en situation de crue, le taux d'infiltration est multiplié par 3. Dans le tronçon de Dornachbrugg-Reinach, on distingue bien la situation de débit normal de la situation de crue. En situation de débit normal, la Birse infiltre ; en situation de crue par contre, la Birse draine la nappe (exfiltration d'eau souterraine dans le cours d'eau).

Ces résultats sont étayés par les points de mesure piézométriques 24J20, 24J22 et 11J3 (implantation, voir fig. 9.3.1). Le diagramme de la figure 9.3.3 récapitule les données des mois d'octobre et de novembre 2004, avec l'événement de crue de la Birse du 27 octobre 2004. Le niveau relevé au piézomètre 11J3 au sud de Dornachbrugg reste très en dessous du niveau de la Birse (de 5 m), y compris pendant la crue.

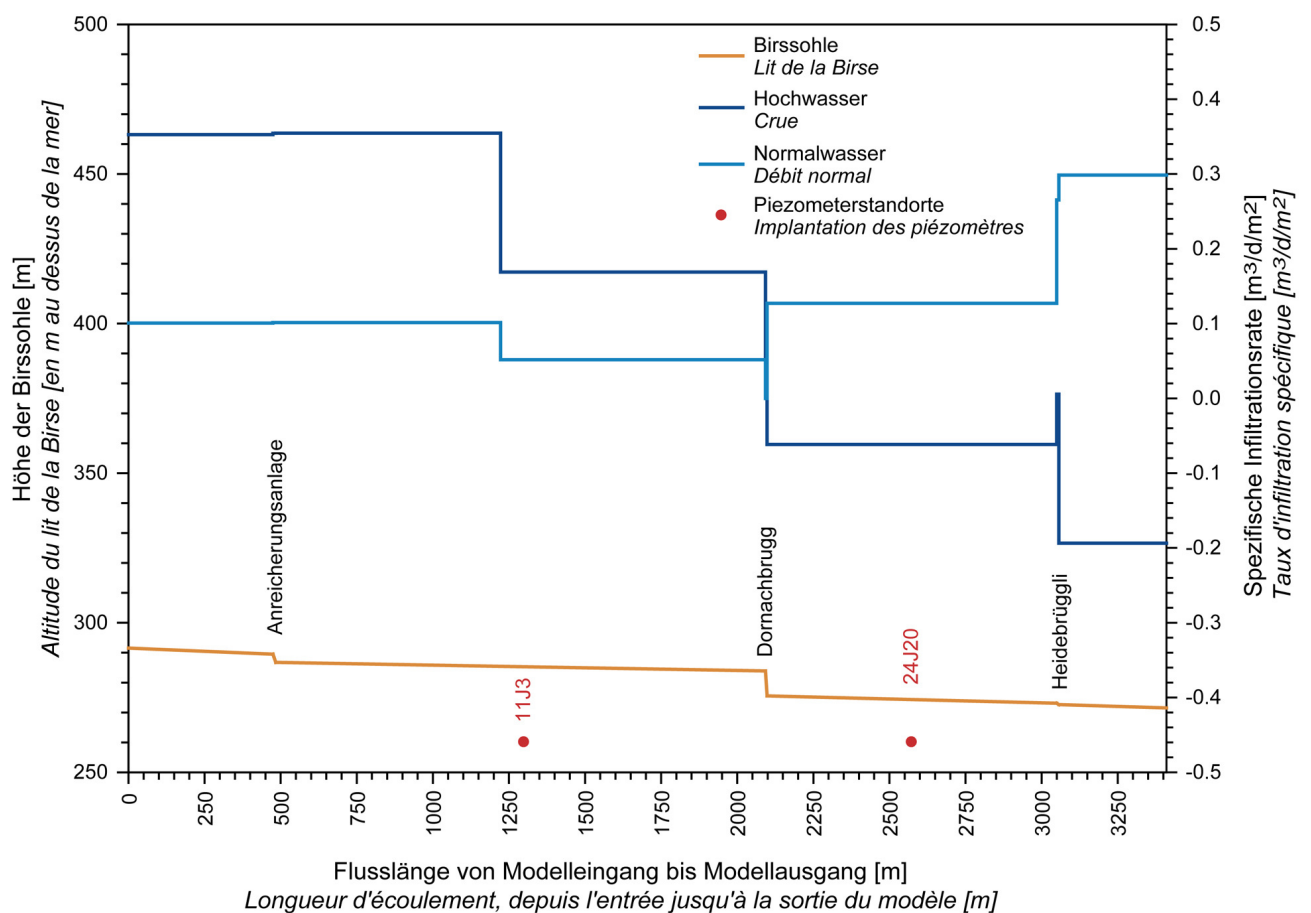


Abbildung 9.3.2: Längsprofil der Birssohle mit zugehörigen Infiltrations-/Exfiltrationsraten (Lage der Staustufen siehe Abb. 8.3.2)
 Figure 9.3.2: Coupe longitudinale du lit de la Birse avec indication des taux d'infiltration/ d'exfiltration correspondants (implantation des barrages : voir figure 8.3.2)

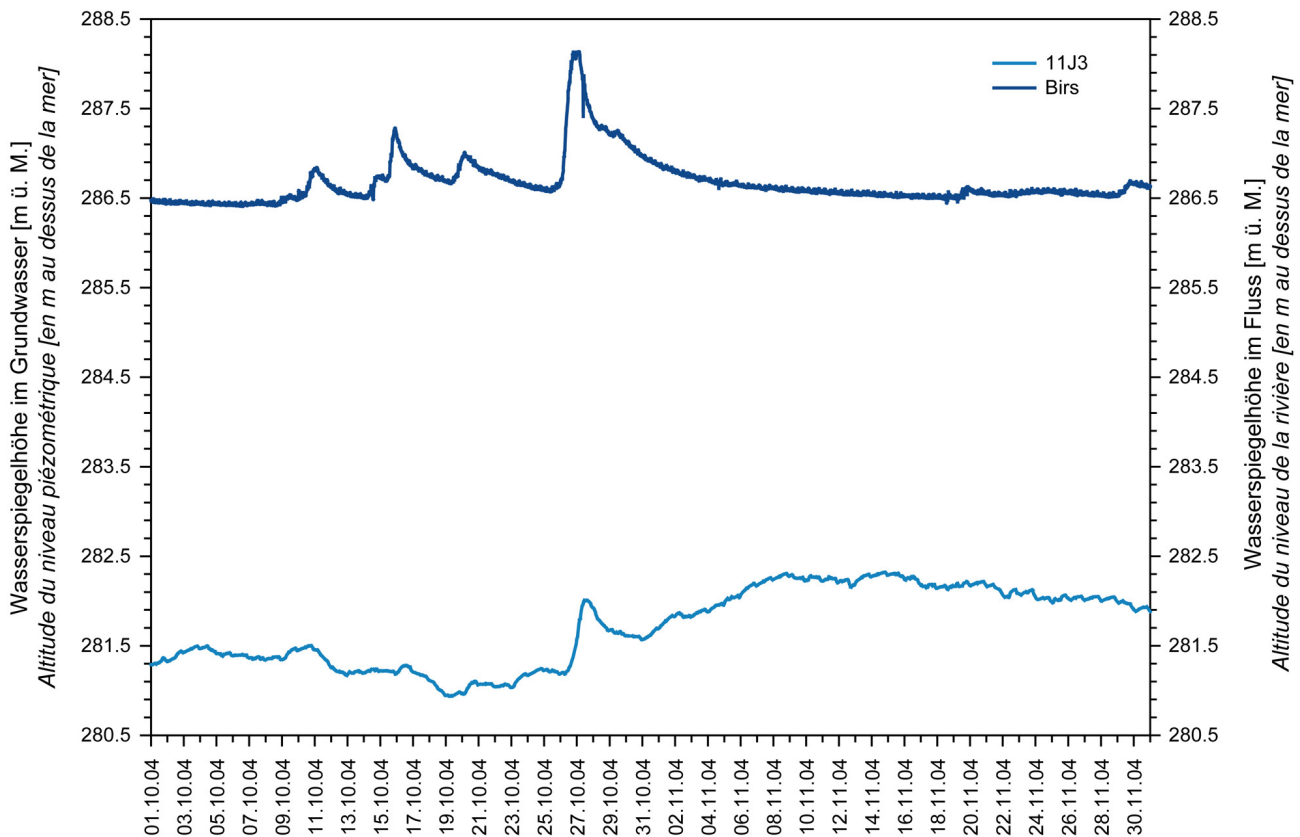


Abbildung 9.3.3: Grundwasserstand im Piezometer 11J3 im Vergleich mit dem Birsepegel
 Figure 9.3.3: Niveau relevé au piézomètre 11J3, comparé au niveau de la Birse

Im Gegensatz zum Piezometer 11J3 zeigt der Grundwasserspiegel in den Piezometern 24J20 und 24J22 nördlich Dornachbrugg mit der Hochwasserspitze einen deutlichen Wechsel (siehe Abb. 9.3.4). Vor dem Hochwasser liegt der Grundwasserspiegel unterhalb des Birsepegels (- 0.4 m), nach dem Hochwasser liegt der Grundwasserspiegel oberhalb des Birsepegels (+ 0.6 m).

In einer solchen Hochwassersituation erhöht sich die Durchlässigkeit der Birse-Sohle, wie die beiden Diagramme in Abbildung 9.3.5 verdeutlichen. Sie zeigen die Daten der gemessenen und der vom instationären Grundwassermodell berechneten Grundwasserspiegeldaten an den Standorten der Piezometer 24J20 und 24J22. Bis zum Einsetzen des Hochwassers stimmen die Daten gut überein. Dann liegen die berechneten Grundwasserspiegelwerte deutlich unter den gemessenen Grundwasserspiegelwerten.

Par opposition au piézomètre 11J3, le niveau piézométrique relevé au niveau de 24J20 et de 24J22 au nord de Dornachbrugg indique un renversement notable de la situation au moment de la crête de la situation de crue (voir figure 9.3.4). Avant la crue, le niveau piézométrique est inférieur au niveau de la Birse (- 0.4 m), tandis qu'après, il le dépasse (+ 0.6 m).

Dans une telle situation de crue, la perméabilité du lit de la Birse s'accroît, comme l'illustrent les diagrammes de la figure 9.3.5. Ils récapitulent les niveaux piézométriques relevés et ceux calculés à l'aide de la modélisation en transitoire de la nappe au niveau des piézomètres 24J20 et 24J22. Jusqu'au début de la crue cependant, on note une bonne correspondance des données. Ensuite, les niveaux piézométriques calculés sont nettement inférieurs aux niveaux relevés.

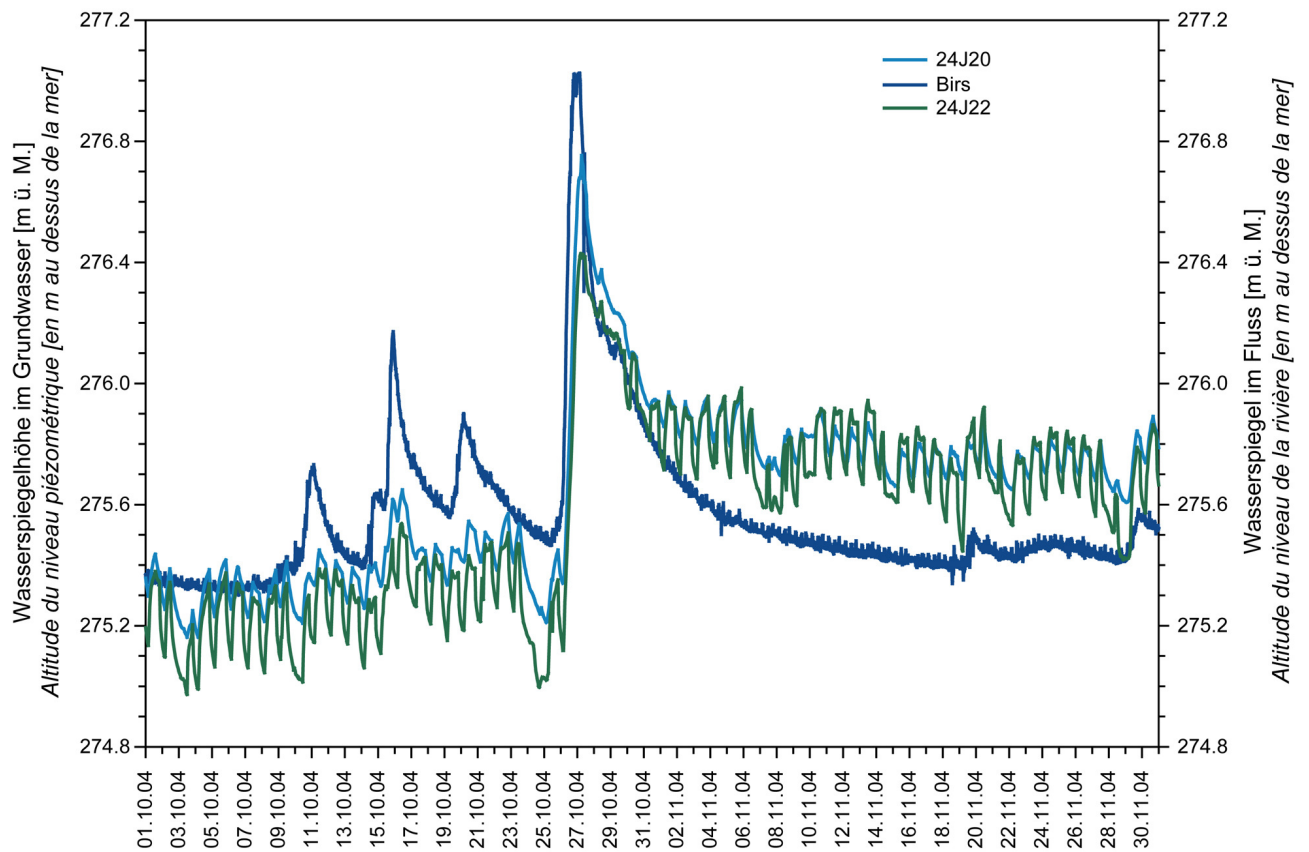


Abbildung 9.3.4: Grundwasserstand in den Piezometern 24J20 und 24J22 im Vergleich mit dem Birsepegel
 Figure 9.3.4: Niveaux relevés aux piézomètres 24J20 et 24J22, comparés au niveau de la Birse

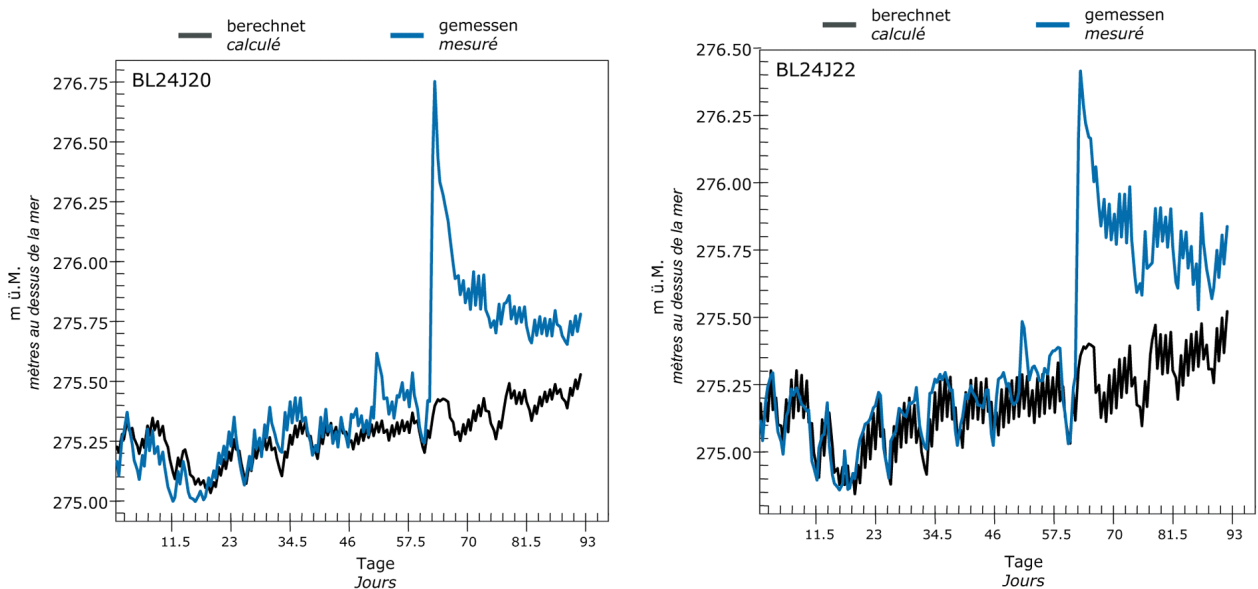


Abbildung 9.3.5: Vergleich der gemessenen mit den berechneten Grundwasserspiegeln in den Piezometern 24J20 und 24J22
 Figure 9.3.5: Comparaison entre la piézométrie relevée et calculée de la nappe au niveau des piézomètres 24J20 et 24J22.

Diese Resultate sind überraschend und wurden nicht erwartet. Die Beispiele machen deutlich, dass nur ein Verständnis der Dynamik des gesamten Systems erlaubt, die Fluss-Grundwasser-Interaktion zu verstehen und die richtigen Schlussfolgerungen aus lokalen Daten zu ziehen.

Ces résultats étaient surprenants et ne correspondaient pas aux attentes. Ces exemples démontrent que seule une bonne connaissance de tous les paramètres du dynamisme du système permet de comprendre l'interaction nappe-rivière et de tirer des conclusions fondées à partir des données locales.

Interessant ist auch das Zusammenspiel zwischen Birspiegel, Grundwasserspiegel und Grundwasserleitfähigkeit an den Standorten 24J20 und 24J22. Während im Piezometer 24J20 die Leitfähigkeit bis zum Abflussmaximum der Birs von 545 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf 505 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sinkt, steigt die Leitfähigkeit im Piezometer 24J22 von 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ an. Die Leitfähigkeitskurve des Piezometers 24J20 kann mit der Lage unmittelbar neben der Birs (siehe Abb. 7.3.2) erklärt werden. Dieses Piezometer ist eindeutig dominiert von Zuflüssen der Birs. Das Piezometer 24J22 befindet sich dagegen etwa 100 m entfernt in der Richtung WNW, unmittelbar neben dem PW2. Der Wasserzustrom erfolgt aus dem Hauptgrundwasserstrom. Ungeklärt ist bislang die Leitfähigkeitszunahme im Piezometer 24J22, denn bei Zufluss von Flusswasser aus der Birs müsste die Leitfähigkeit sinken. Diese Problematik ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Autre aspect intéressant : l'interaction entre le niveau de la Birse, le niveau piézométrique et la conductivité de la nappe au niveau des piézomètres 24J20 et 24J22. Alors que la conductivité baisse progressivement de 545 $\mu\text{S}/\text{cm}$ jusqu'à 505 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau du piézomètre 24J20 pendant l'accroissement du débit de la Birse et jusqu'à sa crête, la conductivité relevée au niveau du 24J22 s'accroît de 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la même période. La courbe de conductivité du piézomètre 24J20 peut s'expliquer par son voisinage immédiat de la Birse (voir fig. 7.3.2). En effet, ce piézomètre est ostensiblement dominé par les apports de la Birse. En revanche, le piézomètre 24J22 se situe env. 100 m plus loin en direction ONO, à proximité immédiate de la station de pompage PW2. Il se situe dans le courant souterrain principal. Ce qui reste obscur, c'est l'augmentation de la conductivité au niveau du piézomètre 24J22, car en présence d'apport d'eau de la Birse, la conductivité devrait logiquement diminuer. Cette problématique est l'objet d'études supplémentaires.

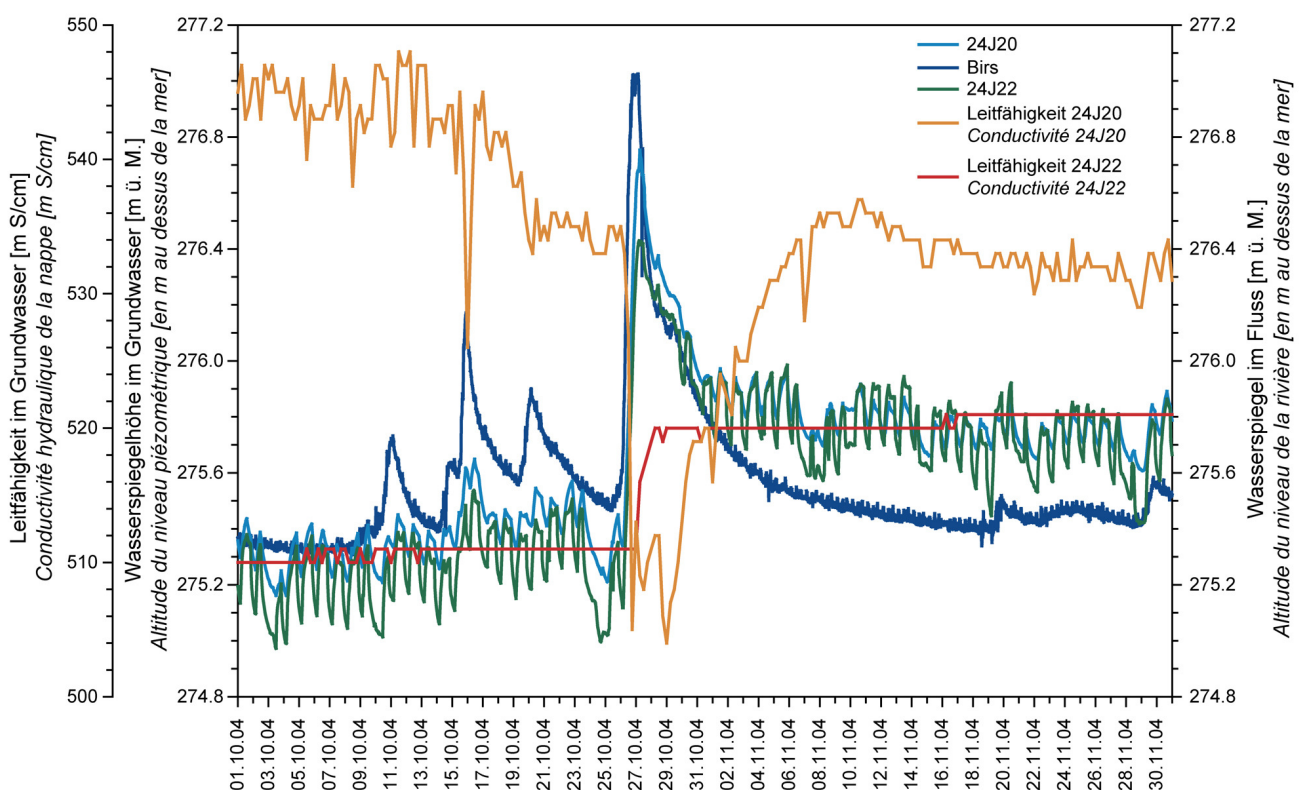


Abbildung 9.3.6: Verhalten der Leitfähigkeit im Grundwasser während eines Hochwassers an den Standorten 24J20 und 24J22
 Figure 9.3.6: Comportement de la conductivité de l'eau souterraine au cours de la situation de crue au niveau des piézomètres 24J20 et 24J22

10 Diskussion und Schlussfolgerungen

Discussion et conclusions

Prozesse der Fluss-Grundwasser-Interaktion zeichnen sich durch dynamische Strömungsverhältnisse und eine grosse Variabilität der hydraulischen und biologischen Parameter aus. Stofffrachten und biogeochemische Prozesse weisen neben saisonalen Trends auch starke Abhängigkeiten vom Abflussregime auf. Die intensive Nutzung von Flussebenen für die Trinkwasserproduktion in allen drei Teilgebieten, forciert diese Prozesse zusätzlich. Die Qualität des in den Brunnen geförderten Wassers ist insbesondere abhängig von: (a) der Konzentration der Wasserinhalstoffe und dessen Eintrag über die Flusssohle bzw. das Vorland, (b) den strukturellen Eigenschaften des Aquifers, (c) der Grundwasserströmung, (d) den Eigenschaften der Wasserinhalstoffe, (e) den Eigenschaften des Grundwassers und (f) den Grundwasserentnahmen in den Förderbrunnen.

Zur konkreten Ermittlung der potentiellen Gefährdung von flussnahen Brunnen bei Hochwasser werden oft Markerversuche durchgeführt. Die Auswertung der Durchgangskurven liefert neben Aufenthaltszeiten auch Angaben über Mengenanteile an Flussinfiltrat. Aus diesen Daten können Interventionszeiten und Gefährdungspotentiale abgeleitet werden. Die Beurteilung des damit verbundenen Risikos für die Wasserversorgung ergibt sich aus der Beachtung der Häufigkeit entsprechender Hochwasserereignisse und des damit verbundenen Schadenausmasses. Ein Maximum an Information kann aus Markerversuchen, infolge der Instationarität vieler hydrologischer Vorgänge, nur in Kombination mit Grundwassermodellen gewonnen werden.

Die Feldexperimente und Modellierungen in den drei Teilgebieten dokumentieren die Bedeutung der Fluss-Grundwasser-Interaktion hinsichtlich der Qualität des flussnahen Grundwassers. Daraus ergibt sich insbesondere die Herausforderung,

Les processus d'interactions nappe-rivière se caractérisent par une situation d'écoulement dynamique et par une grande variabilité des paramètres hydrauliques et biologiques. La charge solide et les processus bio-géochimiques présentent non seulement des tendances saisonnières, mais également une forte dépendance par rapport au régime hydrographique des cours d'eau. L'exploitation intensive des plaines alluviales pour la production d'eau potable dans les trois sous-secteurs étudiés renforce encore ces processus d'interaction. La qualité de l'eau produite par les forages dépend notamment : (a) des concentrations en substances présentes dans l'eau et de leur infiltration via le lit mineur du cours d'eau ou le lit majeur, (b) des propriétés structurelles de l'aquifère, (c) du sens d'écoulement de la nappe, (d) des propriétés des substances présentes dans l'eau, (e) des propriétés de l'eau souterraine et (f) du prélèvement d'eau souterraine au niveau des forages de production.

En vue de déterminer concrètement les risques potentiels encourus par les forages de production proches de la rivière en situation de crue, on se sert volontiers d'essais de traçage. L'interprétation des courbes de restitution fournit, en plus des temps de séjour, également des informations sur les fractions d'eau de rivière infiltrée dans l'eau souterraine. Ces données permettent de déduire les délais d'intervention et le dangers potentiel. L'évaluation du risque y afférent pour l'approvisionnement en eau potable doit tenir compte de la fréquence des événements de crue et de l'ampleur des dégâts induits par ce genre d'événement. Pour recueillir un maximum d'informations à partir des essais de traçage, le caractère transitoire des processus hydrologiques en jeu nécessite le recours combiné à la modélisation hydrogéologique.

Les expérimentations de terrain et la modélisation effectuée pour les trois sous-secteurs d'étude documentent l'importance des interactions nappe-rivière en termes de qualité des eaux souterraines à proximité des rivières. Il s'ensuit notamment le défi de ne pas

Fliessgewässer und Grundwasser nicht getrennt, sondern als gekoppelte Systeme zu betrachten. Eine solche Betrachtungsweise erfordert jedoch eine umfassende Koordination von Planung, Naturschutz, Hochwasser- und Gewässerschutz bei der Bewirtschaftung der Flussebenen.

DIE RESULTATE DER DREI SUBPROJEKTE LASSEN FOLGENDE SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU:

(1) 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 Grundwassersystem nur mit einem Modell verstanden werden kann, welches die räumliche und zeitliche Dynamik der Nutzungen im regionalen Massstab mit genügend hoher Auflösung verknüpft. Jede grössere Nutzungsänderung kann das Grundwasserfliessregime verändern. Entsprechend unterstreicht dieses Teilprojekt die Notwendigkeit eines koordinierten Grundwassermanagements in urbanen Gebieten, wo ein Nebeneinander von Trinkwasserversorgung und industriellen Wassernutzungen existiert.

(2) Im System der Wieseebene verhält sich auch die Durchlässigkeit der Flusssohle instationär. Die Austauschprozesse zwischen Fluss- und Grundwasser sind abhängig von: (i) der Durchlässigkeit der Fliessgewässersohle, (ii) der den hydraulischen Randbedingungen sowie (iii) der Durchlässigkeit und Heterogenität des Grundwasserleiters. Kolmations-/Dekolmationsprozesse spielen dabei eine wichtige Rolle. Um die Filtrationsleistung im Bereich zwischen der Wiese und den Entnahmehäusern zu erhöhen, wären aber auch hydraulisch oder flussbaulich ausgerichtete Massnahmen denkbar wie z.B. die Verminderung der Grundwasserentnahme bei erhöhtem Abfluss, die Optimierung der Anordnung und des Betriebs von Anreicherungsfeldern oder das Verlegen von Geotextilien, die eine Verzögerung der Grundwasseraufenthaltszeit bewirken und insbesondere die verstärkte Aktivierung bevorzugter

considerer le cours d'eau et la nappe comme des systèmes séparés, mais comme des systèmes connexes. Une telle considération nécessite toutefois une coordination étendue en termes d'étude, de protection de la nature, de protection contre les crues et de protection des eaux dans le cadre de l'exploitation des nappes alluviales.

LES RESULTATS DES TROIS SOUS-PROJETS PERMETTENT DE TIRER LES CONCLUSIONS SUIVANTES :

(1) Les résultats du sous-projet de MuttENZ-Pratteln documentent notamment l'impact des différents modes d'exploitation sur l'aire d'écoulement de la nappe. La complexité des impacts liés aux différents modes d'exploitation sur le plan transfrontalier fait que le système de la nappe ne peut être appréhendé que par le biais d'une modélisation tenant compte des dynamismes spatiaux et temporels des modes d'exploitation à l'échelle régionale, et ce moyennant une résolution suffisamment élevée. Toute modification conséquente de l'exploitation est susceptible d'influencer le régime d'écoulement de la nappe. En conséquence, le présent sous-projet souligne la nécessité d'une gestion coordonnée des ressources d'eau souterraines dans les zones urbaines où coexistent les exploitations d'eau potable et d'eau industrielle.

(2) Dans le système de la plaine de la Wiese, même la perméabilité du lit de la Wiese présente un caractère transitoire. Les processus d'échange entre rivière et nappe dépendent : (i) de la perméabilité du lit du cours d'eau, (ii) des conditions aux limites hydrauliques ainsi que (iii) de la perméabilité et de l'hétérogénéité de l'aquifère. A ce titre, les processus de colmatage/décolmatage jouent un rôle important. Afin d'augmenter l'efficacité de la filtration dans la zone située entre la Wiese et les forages de production, on pourrait également envisager des mesures hydrauliques ou d'aménagement, comme p. ex. une baisse des prélèvements d'eau souterraine lors des crues, l'optimisation de l'agencement et du fonctionnement des bassins de réalimentation ou la pose de géotextiles afin d'augmenter le temps de séjour de l'eau souterraine, et surtout, de réduire la stimulation de voies d'écoulement privilégiées. Des mesures simples, comme p. ex. une alimentation renforcée à partir

Fließwege verringern. Mit konzeptionellen Massnahmen wie z.B. Mehrbezug aus Verbundsystemen, lassen sich irreversible Eingriffe an Gewässern minimieren.

(3) Die instationäre Modellierung der Grundwasserströmung im Birstal, geeicht auf der Grundlage von Stundenwerten des hydraulischen Potentials in Piezometern sowie der Grundwasserentnahmen und der Anreicherung zeigt teilweise erstaunliche und im ersten Moment nicht erwartete Veränderungen der Ex- und Infiltrationsverhältnisse der Birs bei Hochwasser. Während man bisher von einer Erhöhung der Infiltration bei Hochwasser ausgegangen war, zeigen die Auswertungen der Grundwasserpegel, dass bei Hochwasser die Grundwasserpegel im Aquifer sprunghaft ansteigen können und damit innerhalb Stunden in spezifischen Abschnitten zu Exfiltrationsverhältnissen führen. Die vorliegenden Daten machen deutlich, dass in dynamischen Systemen erst eine sorgfältige Analyse der Grundwasserdaten, Schlussfolgerungen über die Herkunft von mikrobiologischen Belastungen im Grundwasser erlaubt. Mit dem vorliegenden Datensatz konnte der zeitliche Verlauf von Kolmations-/Dekolmationsprozessen im Bereich Flusssohle-Flussufer der Birs dokumentiert werden. Zusätzlich illustrieren die Resultate der Nitrattransportberechnungen die Einmischung und den Transport von Nitrat aus landwirtschaftlich intensiv genutzten Randgebieten zu einzelnen Grundwasserbrunnen in einem regional bedeutsamen Grundwasserleiter (siehe Teilprojekt „Nitrat-herkunft“).

INFILTRATIONS RATEN IM VERGLEICH ZU ANDEREN FLIESSGEWÄSSERN

Abschätzungen der spezifischen Infiltrationsrate (q) für die Wiese und die Birs zeigen Werte, welche mit anderen kiesführenden Flüssen vergleichbar sind (Tab. 10.1).

d' une nouvelle répartition de prélèvements sur le réseau régional, permettraient de minimiser les aménagements irréversibles sur les cours d'eau.

(3) La modélisation transitoire de l'écoulement de la nappe dans la vallée de la Birse, calibrée sur les potentiels hydrauliques horaires relevés au niveau des piézomètres, ainsi que sur les prélèvements d'eau souterraine et sur les données de réalimentation, fait apparaître des modifications surprenantes et a priori inattendues en terme d'exfiltration et d'infiltration de la Birse en situation de crue. Tandis qu'on supposait jusqu'ici une augmentation de l'infiltration en situation de crue, l'évaluation des niveaux piézométriques relevés indique que le niveau de la nappe dans l'aquifère peut monter avec une rapidité extrême, aboutissant en quelques heures à peine et sur des tronçons spécifiques à une situation d'exfiltration. Les données disponibles démontrent clairement que les systèmes dynamiques nécessitent une analyse minutieuse des informations relatives à la nappe avant de pouvoir tirer des conclusions sur l'origine d'éventuelles contaminations microbiologiques dans la nappe. Les données disponibles attestent de l'évolution du processus de colmatage/ décolmatage à l'interface lit-berges de la Birse. De plus, les calculs de transport des nitrates illustrent l'importation de nitrates à partir des zones de bordure à agriculture intensive jusqu'à certains forages de production situés dans un aquifère d'importance régionale (voir sous-projet « Origine des nitrates »).

TAUX D'INFILTRATION COMPARES A CEUX D'AUTRES COURS D'EAU

Les estimations du taux d'infiltration spécifique (q) pour la Wiese et la Birse ont abouti à des valeurs comparables à celles d'autres cours d'eau charriant du gravier (tab. 10.1).

Tabelle 10.1: Spezifische Infiltrationsraten (q) verschiedener alpiner und voralpiner Fließgewässer. Daten mit Ausnahme für die Wiese, die Birs und den Rhein bei Muttenz-Pratteln; aus Höhn 2002. (HW: Hochwasser; NW: Niedrigwasser)

Tableau 10.1: Taux d'infiltration spécifiques (q) de différents cours d'eau alpins et préalpins. Origine des données, à l'exception de la Wiese, de la Birs et du Rhin près de Muttenz-Pratteln : Höhn 2002. (HW : crue ; NW : étiage)

Fließgewässer / Cours d'eau	Breite / Largeur b [m]	q [m ³ d ⁻¹ m ⁻²]	Datum / Date
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	0.0704	2004
Thur / Grüneck-Feldi	50	0.3	-
Wiese / Lange Erlen (HW)	25	0.55	2003
Wiese / Lange Erlen (NW)	25	0.2	1996
Birs / Reinach	30	0.12	2006

NACHHALTIGER GRUNDWASSERSCHUTZ

Massnahmen im Sinn einer nachhaltigen regionalen oder überregionalen Grundwasserbewirtschaftung erfordern ein Verständnis der Auswirkungen von verschiedenen Nutzungen und Veränderungen auf ein Gesamtsystem. Zur Sicherung der regionalen Grundwasserressourcen werden deshalb Management- und Prognoseinstrumente immer bedeutsamer. Diese müssen bezüglich ihrer räumlichen Auflösung und Aussagekraft auf die Fragestellungen im urbanen Raum ausgerichtet sein. Gestützt auf hydrogeologische Daten, Kennwerte und Betriebsdaten lassen sich mit Hilfe entsprechender numerischer Modelle die Interaktionsprozesse Fluss-Grundwasser quantifizieren und hydrogeologische Zonen, (wie z.B. Zuströmbereiche von Grundwasserfassungen) bestimmen. Numerische Modelle erlauben auch Aussagen über die Sensitivität von verschiedenen Parametern auf die Modellresultate und ermöglichen eine Prüfung von Auswirkungen geplanter Massnahmen, bezüglich der Ziele des Grundwasserschutzes, bzw. der Anforderungen an naturnahe Gewässerökosysteme. Zusätzlich können Entscheide evaluiert, optimiert und erwartete Konsequenzen bewertet werden [REICHERT und PAHL 1999].

Verbesserte Systemkenntnisse (Feld- und Laboruntersuchungen, Modellierungen) und die Analyse möglicher Auswirkungen von Eingriffen unter bestimmten Randbedingungen (Szenariotechnik)

PROTECTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES

La mise au point de mesures au sens d'une gestion durable des eaux souterraines sur le plan régional ou interrégional présuppose la connaissance des interactions entre les différents modes d'exploitation et de leur impact sur le système global. Aussi, en vue de pérenniser les ressources d'eau souterraines régionales, l'utilisation d'outils de pronostic et de gestion gagne en importance. Du point de vue de la résolution et du caractère concluant des réponses, ces outils doivent être conçus pour répondre aux problématiques spécifiques des espaces urbains. A l'aide des relevés hydrogéologiques, des paramètres clés et des données d'exploitation, les modélisations numériques ainsi conçues permettent de quantifier les processus d'interactions nappe-rivière et de déterminer des zones hydrogéologiques (comme p. ex. les aires d'alimentation des captages). De plus, les modèles numériques permettent d'estimer la sensibilité des différents paramètres au regard des résultats de la modélisation, et de tester l'impact des mesures prévues au regard des objectifs de protection des eaux souterraines ou des exigences relatives à la protection des écosystèmes aquatiques naturels. Par ailleurs, les modélisations permettent d'évaluer les décisions à prendre, de les optimiser et d'en évaluer les conséquences prévisibles [REICHERT und PAHL 1999].

Une meilleure connaissance des systèmes (études de terrain et en laboratoire, modélisations) et l'analyse des impacts possibles d'interventions tenant compte de conditions aux limites spécifiques

ermöglichen auch eine differenzierte Beurteilung der Sicherheit flussnaher Brunnen und stellen wertvolle Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung dar. Sie dienen dazu, denkbare Möglichkeiten systematisch zu konkretisieren sowie den Handlungsbedarf und bestehende Unsicherheiten oder Schwachstellen aufzuzeigen.

Eine Erweiterung der bestehenden Grundwasserschutzkonzepte durch ein prozessbasiertes und qualitätsorientiertes Schutzkonzept, welches die Fliessgewässerqualität und die Filtrationsleistung der Bereiche zwischen Fliessgewässern und Entnahmehäusern berücksichtigt, könnte das Vorsorge- und Verursacherprinzip im Umweltbereich weiter verstärken und sich auch positiv auf den gesamten Gewässerschutz auswirken. Solche Schutzkonzepte setzen jedoch detaillierte Kenntnisse der lokalen Grundwasserhältnisse voraus und erfordern die Bereitschaft von den Beteiligten, unterschiedliche Szenarien bis zu einer gewissen Tiefe zu entwickeln, um sie anderen oder schon bestehenden Zuständen gegenüberzustellen.

Die Umsetzung entsprechender Schutzmassnahmen in einem regionalen System, wie z.B. die Verbesserung der Fliessgewässerqualität in einem Einzugsgebiet, gewinnt damit wieder an Bedeutung. Generell orientieren sich solche Konzepte vermehrt an den verschiedenen Zielen wasserwirtschaftlicher Tätigkeiten.

Eine solche Vorgehensweise liefert somit Grundlagen für die Beurteilung von Veränderungen bestehender Systeme, ganz im Gegensatz zu einer Regelung bestehender Zustände. Darüber hinaus legt sie die Basis für einen 4-dimensionalen Grundwasserschutz in den drei Raumrichtungen und der Zeit.

(technique des scénarios) permettent de plus une évaluation plus différenciée de la sécurité des forages de production proches de la rivière et apportent une aide précieuse pour la prise de décision. Elles permettent de concrétiser systématiquement toutes sortes de possibilités imaginables, et de mettre en relief les actions prioritaires ainsi que les incertitudes ou les faiblesses existantes.

Une extension des concepts de protection des eaux souterraines existants sur la base d'un concept basé sur la considération des processus et orienté vers la qualité des eaux souterraines, qui tienne compte de la qualité de l'eau des rivières et de la performance de filtration des zones situées entre lesdits cours d'eau et les forages de production, permettrait même de renforcer les principes de précaution et de pollueur-payeur en cours dans la protection de l'environnement, et d'améliorer considérablement toute la démarche de protection des eaux souterraines. Toutefois, de tels concepts de protection pré-supposent des connaissances détaillées de l'hydrogéologie locale et exigent de tous les intervenants, la volonté d'approfondir suffisamment les différents scénarios, afin de les comparer à des états nouveaux ou déjà existants.

La mise en œuvre des mesures de protection correspondantes au sein d'un système régional, comme p. ex. l'amélioration de la qualité des cours d'eau à l'intérieur d'un bassin versant donné, gagnerait alors en importance. En règle générale, ce type de concepts s'orientent/s'adaptent de plus en plus aux divers objectifs des activités relevant de l'économie de l'eau.

Une telle démarche fournit ainsi les bases requises pour évaluer les modifications à apporter au système existant, démarche complètement opposée à la régulation d'une situation existante. Par ailleurs, elle jette les bases d'une protection des eaux souterraines à quatre dimensions, les trois dimensions spatiales et le temps.

Namen und Anschriften der Autoren

Nom et directions des auteurs

PROJEKTLEITUNG / RESPONSABLES DE PROJET

Huggenberger, Peter, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel

REVIEW

Gudera, Thomas, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 42-Grundwasser, Baggerseen, Postfach 210752, D-76157 Karlsruhe

PROJEKTBEARBEITUNG / CHARGÉS DE PROJET

Epting, Jannis, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel (Hydrologie, Abbildungen)

Regli, Christian, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel (Teilprojekt Wieseebene)

Spottke, Ina, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel (Teilprojekt Birstal, Abbildungen, Redaktion Bericht)

Zechner, Eric, Departement Geowissenschaften, Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel, Bernoullistr. 32, CH-4056 Basel (Teilprojekt Muttenz-Pratteln)

VERDANKUNGEN / REMERCIEMENTS

Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt (AUE BS)

Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Landschaft (AUE BL)

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

MeteoSchweiz

SwissTopo

Literaturverzeichnis

Bibliographie

- AMT FÜR UMWELT UND ENERGIE (1998): Qualität der Oberflächengewässer im Kanton Basel-Stadt. Baudepartement des Kantons Basel-Stadt, Basel, 1-37.
- AUCKENTHALTER, A., HUGGENBERGER, P., (2003): Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser. Transport – Nachweismethoden – Wassermanagement. Birkhäuser Verlag, Basel, 184 Seiten.
- BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (2004): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz, Bern.
- BUWAL und BWG (2003): Leitbild Fliessgewässer Schweiz. Für eine nachhaltige Gewässerpolitik. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft & Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern, 1-12.
- GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT BASEL (2003)a: Austauschprozesse Fluss-Grundwasser – Markerversuch und begleitende Feldexperimente. Bericht und Auswertung. Baudepartement Basel-Stadt, 72 Seiten.
- GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT BASEL (2003)b: Lange Erlen – Grundwassermodell 2002. Technischer Bericht. Baudepartement Basel-Stadt, 42 Seiten.
- GEOLOGISCH-PALÄONTOLOGISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT BASEL (2004): Markerversuch Wiese Januar 2004, Bericht und Auswertung. Regierungspräsidium Freiburg im Breisgau (D), 37 Seiten.
- GMS (2004): Groundwater modeling system v4.0. Environmental Modeling Systems, Inc., South Jordan (Utah), USA.
- HARBAUGH, A.W., BANTA, E.R., HILL, M.C., MC DONALD, M.G. (2000): Modflow-2000. The U.S. geological survey modular ground-water model-user guide to modularization concepts and the ground-water flow process. US Geological Survey Open-File Report 00-92.
- LACHENAL, C., SANCHEZ-PEREZ J.M., TRÉMOLIERES M., ACKERER, P. (2003): Modélisation et quantification des nitrates dans les zones alluviales, Journée de la zone atelier, Nappe du fossé rhénan, 21. Jan. 2003, unpublished data.
- MC CARTY, J.F., ZACHARA, J.M., (1989): Subsurface transport of contaminants. Environmental Science & Technology 23/5, 496-502.
- REGLI, C., RAUBER, M., HUGGENBERGER, P. (2003): Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: A case study from the river Wiese, Switzerland. Aquatic Sciences 65, 111-128.
- REGLI, C., GULDENFELS, L., HUGGENBERGER, P. (2004): Revitalisierung von Fliessgewässern im Konflikt mit der Grundwassernutzung. Gas, Wasser, Abwasser 4, 261-272.
- REGLI, C., HUGGENBERGER, P. (2006): Entwicklung nachhaltiger Strategien für den Grundwasserschutz. In: Wüthrich, C., Huggenberger, P., Freiberger, H. Geissbühler, U., Regli, C. und Stucki, O. (Hrsg.) Revitalisierung urbaner Flusslandschaften, 44-59. Schlussbericht zum MGU-Forschungsprojekt F1.03, Universität Basel.
- REHMANN L., WELTY, C., HARVEY, R. (1999): Stochastic analysis of virus

- transport in aquifers. *Water Resources Research* 35/7, 1987-2006.
- REICHERT, P., PAHL, C., (1999): Wie können Modelle zu Umweltentscheidungen beitragen? *EAWAG news*, 47d, 3-5.
- RÜETSCHI, D. (2004): Basler Trinkwassergewinnung in den Langen Erlen – Biologische Reinigungsleistung in den bewaldeten Wässerstellen. Dissertation Universität Basel, 348 Seiten.
- SALADIN, M. (2004): Hydrogeologischer Zusammenhang von Tektonik und Grundwasserzirkulation im Gebiet Muttenz-Pratteln. Diplomarbeit, Universität Basel.
- SCHUDEL, B., BIAGGI, D., DERVEY, T., KOZEL, R., MÜLLER, I., ROSS, J.H., SCHINDLER, U. (2002): Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie – Praxishilfe. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern, Serie Geologie Nr. 3, 75 Seiten.
- SPOTTKE, I., ZECHNER, E., HUGGENBERGER, P. (2005): The southeast border of the Upper Rhine graben: A 3D structural model of geology and its importance for groundwater flow, *International Journal of Earth Sciences*, 94, 580–593.
- STAUFFER, F., KINZELBACH, W. (2001): Zuströmbereiche für Grundwasserfassungen – Bestimmung in Lockergesteinsgrundwasserleitern. *Gas Wasser Abwasser* 1, 15-20.
- WÜTHRICH, C., HUGGENBERGER, P., GURTNER-ZIMMERMANN, A. (2003): Machbarkeit, Kosten und Nutzen von Revitalisierungen in intensiv genutzten, ehemaligen Auenlandschaften. Schlussbericht MGU-Forschungsprojekt F2.00, Universität Basel, 156 Seiten.
- ZECHNER, E. (1996): Hydrogeologische Untersuchungen und Tracertransport – Simulation zur Validierung eines Grundwassermodells der Langen Erlen (Basel-Stadt). Dissertation Universität Basel, 156 Seiten.



Kanton Basel-Landschaft

