

# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept  
für den Grundwasserleiter des Seelands  
Synthesebericht



**WEA**

Leitung:

**Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern**

Bearbeitung:

Geotechnisches Institut AG, Bern

---

**Bericht:**  
Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept für den  
Grundwasserleiter des Seelands  
Synthesebericht

**Ausgabe:** 1999

**Herausgeber/Leitung:**  
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)  
Geologie:  
Dr. R. V. Blau  
Dipl. Ing. HTL F. Muchenberger

**Bearbeitung:**  
Geotechnisches Institut AG, Bern

**Plot, Einband:**  
Peter Gaffuri AG, Bern

**Der vorliegende Bericht ist ein Beitrag zur Entscheidungsfindung  
und enthält keine politischen Beschlüsse.**

**Die Reproduktion und Weiterverwendung der Ergebnisse  
ist unter Quellenangabe gestattet.**

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>FIGURENVERZEICHNIS</b>	4
<b>VORWORT</b>	6
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	7
<b>RESUME</b>	8
<b>ÜBERSICHTSKARTE 1 : 100'000 (FIG. 1)</b>	10
<b>1. EINLEITUNG</b>	11
1.1 Ziele	11
1.1.1 Lagebeurteilung	11
1.1.2 Grundwasser - unser Trinkwasser	11
1.1.3 Schutz des Grundwassers	12
1.1.4 Überwachung des Grundwassers	14
1.2 Umsetzung des Konzeptes	14
<b>2. GRUNDWASSERLEITER SEELAND</b>	14
2.1 Charakteristik	14
2.2 Durchlässigkeiten k	14
2.3 Speicherkoeffizienten S	14
<b>3. GRUNDWASSER SEELAND</b>	14
3.1 Nötige Kenntnisse	20
3.2 Speisung des Grundwasservorkommens	14
3.2.1 Niederschläge	14
3.2.2 Infiltration, Exfiltration, Grundwasserabflüsse	14
3.3 Grundwasser-Mächtigkeiten	14
3.4 Schwankungen des Grundwasserspiegels	14
3.5 Chemie	14
3.5.1 Messkampagne 1994	14
3.5.2 Bedeutende Verschmutzungen	14
<b>4. NUTZUNG DES GRUNDWASSERS</b>	14
4.1 Hydrogeologische Kriterien	14
4.2 Chemische Kriterien	14
4.3 Wichtige Zuströmbereiche	14
4.4 Gefährdungspotential (Unfall Strassenzisterne; Dicksaft-Havarie ZRA)	14
<b>5. KÜNFTIGE AUFGABEN</b>	50
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	53

## FIGURENVERZEICHNIS

Fig. 1	Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit den Grundwasserfassungen der öffentlichen Trink- und Brauchwasserversorgungen (1 : 100'000)	10
Fig. 2	Wasserbedarf im Berner Seeland 1995	12
Fig. 3	Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasservorkommen Seeland	15
Fig. 4	Schematische räumliche Darstellung des geologischen Aufbaus im Seeland	17
Fig. 5	Durchlässigkeiten, Element-k-Werte des Grundwasserleiters im Seeland	18
Fig. 6	Speicherkoeffizienten, Element-S-Werte des Grundwasserleiters im Seeland	19
Fig. 7	Direkte Grundwasserneubildung des nördlichen Teilgebietes für die Jahre 1991, 1992 und 1993	22
Fig. 8	Prozentuale Anteile an der Grundwasserneubildung im Mittel der drei Untersuchungsjahre 1991-1993	23
Fig. 9	Durchschnittliche Absenkung des Grundwassers nach der Ausbaggerung des Aare-Hagneck-Kanals (1967-1968)	24
Fig. 10	Zu- und Wegflüsse in l/s, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991. Seeland-Nordteil	26
Fig. 11	Zu- und Wegflüsse in l/s, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991. Seeland-Südteil	27
Fig. 12	Grundwassermächtigkeiten im Seeland, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991	28
Fig. 13	Oberfläche des Grundwasserstauers im Seeland	29
Fig. 14	Berechnete und interpolierte Isohypsen des Grundwasserspiegels im Grundwasserleiter Seeland. Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991	30
Fig. 15	Schwankungsbereiche des Grundwasserspiegels im Grundwasserleiter Seeland während der Beobachtungsperiode 1991 bis 1993	31
Fig. 16	Linien gleicher Sauerstoffsättigung [%] für die Messkampagne Juni 1994 (Grundwasserhochstand)	33
Fig. 17	Linien gleicher Nitratkonzentrationen [mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l] für die Messkampagne Juni 1994 (Grundwasserhochstand)	35
Fig. 18	Linien gleicher Konzentrationen gelösten Eisens [mg Fe <sup>2+</sup> /l] für die Messkampagne Oktober 1994 (Grundwassermittelstand)	36
Fig. 19	Linien gleicher Sulfatkonzentrationen [mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l] für die Messkampagne Oktober 1994 (Grundwassermittelstand)	37
Fig. 20	Linien gleicher DOC-Konzentrationen [mg C/l] für die Messkampagne Dezember 1994 (Grundwassermittelstand)	38
Fig. 21	Entwicklung der Nitratkonzentrationen [mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l] im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes seit 1955	40
Fig. 22	Nitratkonzentrations-Ganglinien, Fassung Kappelen Werdthof. Szenarien berechnet mit dem Mischzellenmodell	41
Fig. 23	Redoxverhältnisse halbquantitativ, die Bereiche der redoxsensiblen Parameter sind aus allen 6 Messkampagnen zusammengestellt worden	43
Fig. 24	Eignung zur Grundwassernutzung aufgrund hydrogeologischer Kriterien	45
Fig. 25	Strömungspfeile, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991	47

Fig. 26	Zuströmbereiche einzelner Fassungen im Grundwasserleiter Seeland. Berechnung der Fliesspfade mit Hilfe des numerischen Strömungsmodells	48
Fig. 27	Unfall mit einer Strassenzisterne: 3'500 l Tetrachlorethen $C_2Cl_4$ (PER) fliessen mit dem Grundwasser ab	49
Fig. 28	Ausbreitungsfahnen bei einer Dicksaft-Havarie: 3'500 m <sup>3</sup> fliessen aus einer Tankanlage der ZRA ins Grundwasser	51

## VORWORT

Aus dem Grundwasservorkommen, das in den Schottern des Berner Seelandes fliesst, wird das Trink- und Brauchwasser der Region gewonnen. Da die optimale Nutzung des für die nachhaltige Entwicklung des Gebietes wichtigen Grundwasserstromes durch verschiedene, im allgemeinen vom Menschen kaum beeinflussbare hydrogeologische und hydraulische Randbedingungen eingeschränkt wird, die wirtschaftliche Entwicklung des Gebietes - denken wir an Landwirtschaft, Gewerbe, Industrie und Verkehr - aber möglichst wenig gehemmt werden sollte, sind Zielkonflikte nicht zu vermeiden. **Es war daher im Sinne der langjährigen Bestrebungen des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern (WEA) auch hier ein Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept zu entwickeln.**

Um die Grundlagen für diese anspruchsvolle Aufgabe zu erarbeiten, hat der Grosse Rat Ende 1990 einen Kredit von Fr. 1'222'000.- bewilligt. Der Bund hat die Arbeiten mit Fr. 91'125.- subventioniert.

Die aus früheren kantonalen, kommunalen und privaten Untersuchungen zusammengetragenen Ergebnisse von Bohrungen, Pumpversuchen, Grundwasser - Markierungen, Abfluss- und Pegelmessungen an Oberflächengewässern und im Grundwasser usw., ergänzt durch die neu ermittelten Erkenntnisse, sind niedergelegt im **Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Seeland, Technischer Bericht 1998** (Herausgeber: WEA; Bearbeitung: Geotechnisches Institut AG, Bern). Der Umfang dieses Berichtes und die Komplexität der Materie, sowohl aus der Sicht der Grundwasserbewirtschaftung wie auch im Hinblick auf die wirtschaftliche Entwicklung der Region, haben das WEA bewogen, einen **Synthesebericht** zu verfassen. **Er gibt die wichtigsten Ergebnisse wieder und zeigt auf, welche Massnahmen nötig sind, um das wertvolle Gut Grundwasser optimal zu nutzen, güte- und mengenmässig zu schützen sowie zu überwachen. Er zeigt auch auf, was bei Zielkonflikten vorzukehren ist und wie diese frühzeitig zu erkennen sind.** Er erlaubt allen, die sich mit diesem Fragenkomplex auseinandersetzen möchten, rasch einen Überblick zu gewinnen, zeigt den Fachleuten, in welchen Bereichen vertieftes Wissen im Technischen Bericht zu finden ist.

**Der Technische Bericht 1998 kann beim WEA eingesehen werden.**

## ZUSAMMENFASSUNG

### Ziele

Das Grundwasservorkommen ist für die Trink- und Brauchwasserversorgung der Region sehr wichtig. 1995 sind dem Vorkommen 10.5 Millionen Kubikmeter Wasser entnommen worden. **Mehrere schwerwiegende Verschmutzungen** beeinträchtigen bestehende und künftig mögliche Grundwasserfassungen. Das **Gefährdungspotential**, entstanden durch die intensivere landwirtschaftliche, gewerbliche und industrielle Nutzung des Gebietes, sowie die vermehrte Belastung durch den Verkehr, ist in den letzten Jahren **stark angestiegen**. Die **fortschreitenden Kolmationen** (Verdichtungen) der Flusssohlen von Alter Aare und Aare-Hagneck-Kanal, wie auch die fortschreitende Versiegelung des Bodens durch Bauwerke, verbunden mit der Ableitung von Meteorwasser, zeigen, dass die Grundwasserspeisung weiter zurückgehen wird. Diese zunehmenden Bedrohungen aber auch die neuen Erkenntnisse über die regionalen hydrogeologischen Verhältnisse und über das Verhalten chemischer Schadstoffe im Untergrund forderten, dass **auch für das Grundwasservorkommen Seeland ein Nutzungs-, Schutz und Überwachungskonzept erarbeitet wird**.

### Datenerhebung

1991 bis 1994; Chemie 1994.

### Wassermengen

An der Grundwasserneubildung sind beteiligt:

- **Niederschläge** (direkte Grundwasserneubildung 56%, indirekte 17%) **73%**  
Es muss angestrebt werden, künftig möglichst wenig Meteorwasser in Vorfluter abzuleiten.
- **Infiltrationen** (Aare-Hagneck-Kanal 8%, Alte Aare 9%, andere 10%) **27%**  
Die Infiltrationsabläufe sind sorgfältig zu überwachen. Sollten die Infiltrationsmengen weiter zurückgehen, müssen die skizzierten Sanierungsmassnahmen geprüft, die am besten geeigneten ergriffen werden.

### Wassergüte

Schwierigkeiten bereiten vor allem folgende Verschmutzungen:

- **Nitrat (NO<sub>3</sub>):**  
Im zentralen, für die Nutzung am besten geeigneten Bereich des Grundwasserleiters liegen die Gehalte über dem Qualitätsziel für Trinkwasser (25 mg/l), in kleineren Bereichen sogar über dem Toleranzwert (40 mg/l). Dies obwohl die Landwirte im allgemeinen schon heute die Anforderungen an eine Integrierte Produktion (schonender Ackerbau) erfüllen. Verschiedene mathematisch simulierte landwirtschaftliche Bebauungsszenarien zeigen: **Nur mit einer extensiveren landwirtschaftlichen Nutzung gelingt es, die Nitratgehalte unter das Qualitätsziel zu senken. Landwirtschaft und Wasserversorgungen müssen gemeinsam Wege suchen, wie die Lage in einem für alle tragbaren Rahmen gemeistert werden kann.**
- **Abwasserfahne der Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg AG:**  
Der Chemismus im nordöstlichen Teil des Grundwasserleiters wird auch heute noch geprägt von den Abwasserversickerungen aus den Auflandebecken der ZRA, die bis Mitte der siebziger Jahre betrieben worden sind. **Die Verschmutzungen sind aus technischen und finanziellen Gründen nicht sanierbar.** Die noch Jahrzehnte dauernden Abbauprozesse werden vom kantonalen Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft überwacht.

## Wassernutzung

Sowohl die hydrogeologischen wie auch die chemischen Kriterien zeigen: **Beim Aare-Hagneck-Kanal und im zentralen Teil des Grundwasserleiters bis nach Worben finden sich Gebiete, die geeignet sind für weitere Grundwasserfassungen oder in einer Unfallsituation für Ersatzfassungen.**

## Wasserschutz

Es genügt nicht, einen zielgerichteten Schutz der Fassungen nur in den Schutzzonen (Zonen S) anzustreben. **Schutzvorkehrungen sind auch in den Zuströmbereichen anzuordnen, wie dies die eidgenössische Gewässerschutzverordnung von 1998 vorsieht.** Einzelne dieser Bereiche sind mit dem numerischen Strömungsmodell berechnet worden.

## Künftige Aufgaben

Es gelingt nur, eine einwandfreie, kostengünstige Versorgung sicherzustellen, wenn alle an der Nutzung des Gebietes Interessierten sich bewusst sind: **Ein wertvolles unersetzliches Gut ist zu schützen.** Ohne ein enges Zusammenarbeiten von Wasserversorgungen, Behörden, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft ist das Ziel nicht erreichbar. **Die Wasserversorgungen müssen bei Planungen und Realisierungen auf allen Ebenen ein Mitspracherecht erhalten. Ihren Forderungen ist, wegen den beschränkten Freiheitsgraden bei der Grundwassernutzung, in jedem Falle ein hoher Stellenwert einzuräumen.**

## RESUME

### Buts

**Le gisement d'eau souterraine est extrêmement important pour l'alimentation de la région en eau potable et en eau d'usage.** En 1995, on exploitait, dans cette région, 10.5 millions de mètres cubes d'eau souterraine. **Plusieurs pollutions graves** portent atteinte à des captages d'eau souterraine existants ou projetés. **Le potentiel de pollution est en continue progression:** il est provoqué d'un côté par l'exploitation toujours plus intensive du territoire, aussi bien par l'agriculture que par l'industrie et l'artisanat, de l'autre par la circulation routière, qui elle aussi augmente régulièrement. La réalimentation naturelle des nappes diminue: le lit de l'ancienne Aar et celui du canal de Hagneck se **colmatent toujours plus**, les sols sont étanchés par les constructions, les eaux météoriques ne s'infiltrent plus, elles sont le plus souvent déversées dans les canalisations. La progression de ces atteintes, les nouvelles connaissances concernant les conditions hydrogéologiques régionales et le comportement des substances nuisibles dans le sous-sol font **qu' un concept pour la gestion, la protection et la surveillance du gisement d'eau souterraine du Seeland a dû être établi.**

### Levé des données

1991 à 1994; chimie: 1994.

### Données hydrologiques

Contributeur à la réalimentation de la nappe :

- **les précipitations** (réalimentation directe de la nappe 56%, indirecte 17%) **73%**  
A l'avenir, il faudra veiller à déverser aussi peu d'eau météorique que possible dans les cours d'eau.
- **les infiltrations** (Canal de Hagneck 8%, Ancienne Aar 9%, autres 10%) **27%**

Les processus d'infiltration doivent être surveillés. Si les débits d'infiltration continuent à diminuer, les mesures d'assainissement décrites doivent être évaluées et les plus adéquates appliquées.

### Qualité de l'eau

Les pollutions suivantes posent problèmes:

- **Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :**

Dans la partie centrale de l'aquifère - celle qui se prête le mieux à l'exploitation - les teneurs en nitrates dépassent les limites de qualité (25 mg/l), parfois même les limites tolérées (40 mg/l), ceci malgré le fait que les agriculteurs remplissent généralement les conditions fixées par le mode d'exploitation dit de „Production intégrée“. **Un certain nombre de scénarios d'exploitation agricole simulés mathématiquement montrent bien que seule une exploitation agricole plus extensive permettra de maintenir les teneurs en nitrates en dessous du seuil de qualité. L'agriculture et les services d'alimentation en eau potable doivent rechercher de concert des solutions pour atteindre le but visé par des mesures supportables.**

- **Ecoulement des polluants de la sucrerie d'Aarberg :**

La chimie des eaux de la partie nord-est de l'aquifère porte aujourd'hui encore les traces des infiltrations d'eaux usées provenant des bassins de décantation de la sucrerie. Ces bassins furent utilisés jusqu'au milieu des années septante. **Ces pollutions ne peuvent pas être assainies, pour des raisons techniques et financières.** La biodégradation de ces matières polluantes dureront encore des décennies. L'Office cantonal de la protection des eaux et de la gestion des déchets surveille de près ces processus.

### Utilisation de l'eau

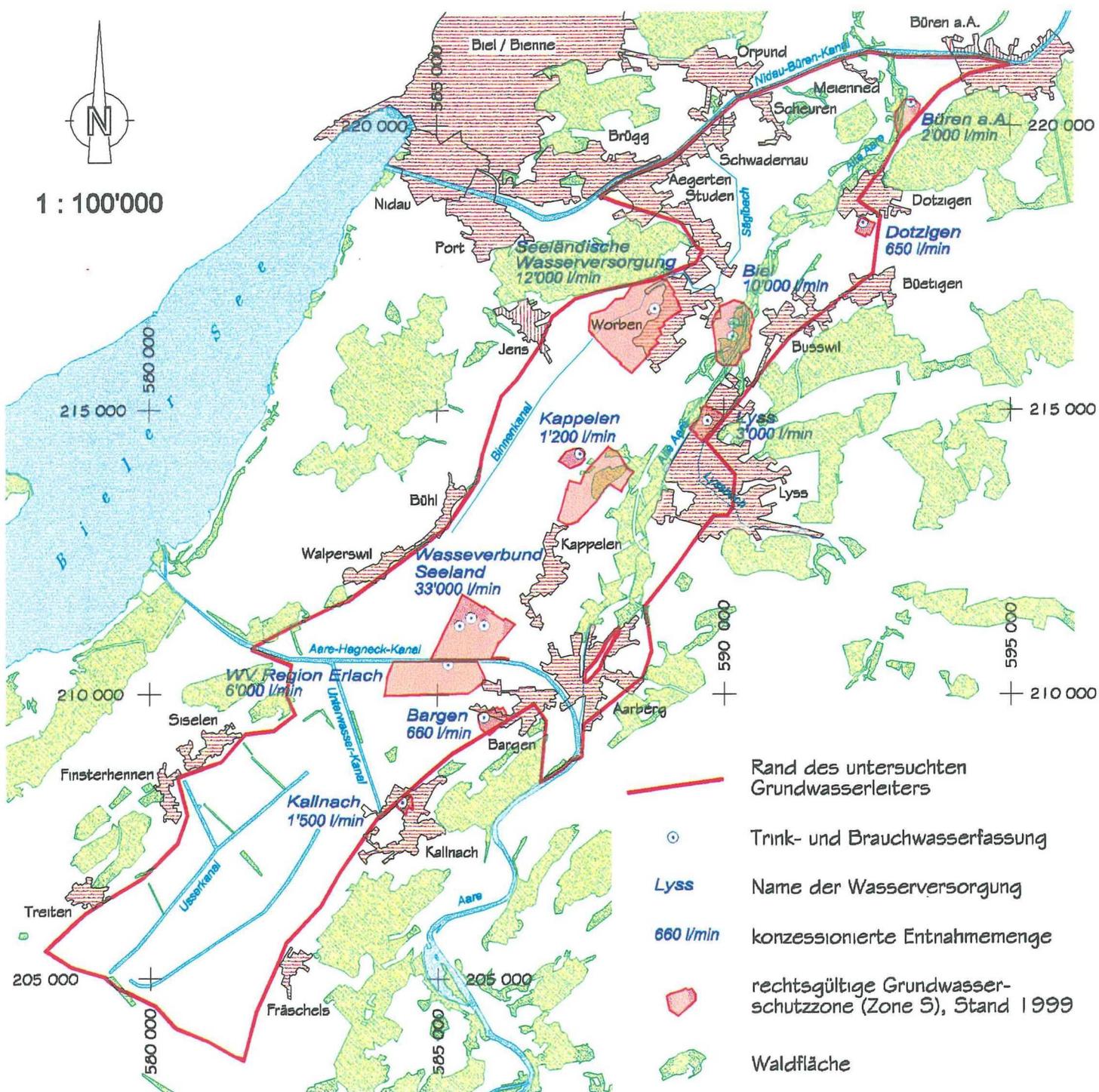
**Les critères hydrogéologiques et chimiques montrent qu'à proximité du canal de Hagneck ainsi que dans la partie centrale de l'aquifère jusqu'à Worben se trouvent des régions qui se prêtent fort bien à l'établissement de nouveaux captages ou, en cas d'accident, de captages de remplacement.**

### Protection des eaux

Il ne suffit pas de protéger uniquement les captages par l'établissement de zones de protection (Zones S). **Les mesures de protection doivent s'étendre aux aires d'alimentation, ainsi que le prévoit l'ordonnance fédérale sur la protection des eaux de 1998.** Quelques une des aires d'alimentation ont été calculées à l'aide du modèle d'écoulement.

### Tâches futures

Il sera possible d'assurer une alimentation hygiéniquement irréprochable et économique seulement si tous les utilisateurs se rendent compte qu'il importe de protéger l'eau souterraine, **un bien précieux et irremplaçable.** Il faut une étroite collaboration entre les responsables des réseaux de distribution d'eau, les autorités, l'artisanat, l'industrie et les agriculteurs. **Lors de décisions concernant l'aménagement du territoire il importe que les responsables des réseaux aient leur mot à dire. Dans le cadre de l'utilisation des eaux souterraines, les marges sont assez réduites, raison pour laquelle les exigences de ces utilisateurs doivent avoir la priorité.**



**Fig.1** Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit den Grundwasserfassungen der öffentlichen Trink- und Brauchwasserversorgungen

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Ziele

### 1.1.1 Lagebeurteilung

Das WEA hat im Rahmen seiner Grundlagenbeschaffung für den Schutz und die Bewirtschaftung des Grundwasservorkommen des Seelandes bereits früher untersuchen lassen [18, 19]. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse über das Verhalten im Untergrund des Grundwassers und chemischer Schadstoffe, die es gefährden können, verschiedene Ergebnisse lokaler Untersuchungen, vor allem aber das rasch wachsende Bewusstsein des Wertes dieses kostbaren, gefährdeten Gutes für unsere Wasserversorgung und für die Nutzung alternativer Energien verlangen, das umfassende, verfügbare Wissen zu sammeln und kritisch neu zu werten. Ein Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept ist zu erarbeiten.

### 1.1.2 Grundwasser - unser Trinkwasser

**Über 95% des Trink- und Brauchwassers werden heute im Kanton Bern aus Grundwasservorkommen gewonnen; gesamtschweizerisch gesehen sind es 82% [8]. Grundwasser ist der wichtigste Pfeiler unserer Trinkwasserversorgung.**

Das Grundwasservorkommen des Berner Seelandes (Fig. 1) ist für die Trink- und Brauchwasserversorgung des Raumes Biel - Lyss sehr wichtig. 1995 sind insgesamt rund

10.5 Millionen Kubikmeter Grundwasser entnommen worden. Figur 2 zeigt, wie sich der Bedarf aufteilt. Ergänzend ist festzuhalten:

- 74 % des Bedarfs werden von den Trinkwasserversorgungen verwendet. Ein Teil dieses Wassers wird als Brauchwasser verwendet (Toilettenspülung, Rasensprengen, Autowäsche usw.). Die Gewässerschutzstatistik zeigt: Ungefähr 40% des Wassers, das von den Trinkwasserversorgungen bezogen wird, müsste nicht Trinkwasserqualität aufweisen [4].
- 15% des Wassers verwendet die Landwirtschaft zum Bewässern ihrer Kulturen. Abhängig von der Witterung verdunstet ein Teil bereits beim Bewässern oder über die Pflanzendecke (Transpiration), ein Teil sickert durch den durchwurzelt Boden und kann unter Umständen (vgl. 3.2.1) auch wieder das Grundwasser speisen.
- 6% werden von der Industrie und dem Gewerbe genutzt. Im Allgemeinen wäre es nicht nötig, dass das verwendete Wasser Trinkwasserqualität aufweist. Allerdings sind oft die Trinkwasserversorgungen der Betriebe mit an das Brauchwassernetz angeschlossen.
- 5% werden zur Kühlung (Maschinen, Rechenanlagen usw.) und zur Energiegewinnung mit Grundwasser-Wärmepumpen verwendet. Im Allgemeinen wird bei Wärmepumpen gefordert, das abgekühlte Wasser wieder zu versickern, so dass es dem Boden- und Grundwasserhaushalt nicht ganz verloren geht (vgl. 3.2.1).

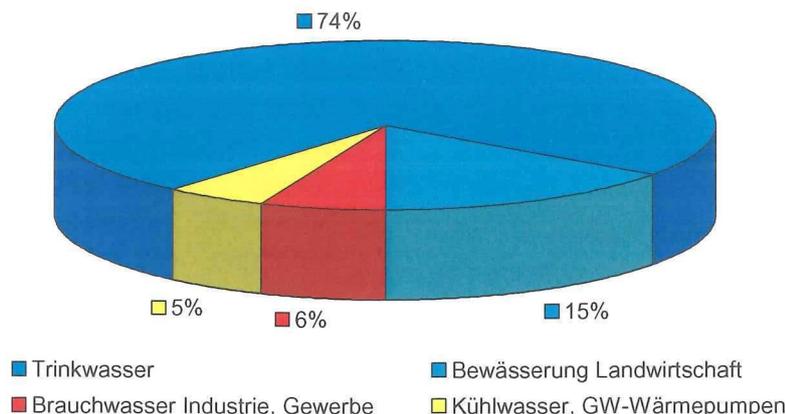


Fig. 2 Wasserbedarf im Berner Seeland 1995

**Der Nutzungsgrad des Grundwasservorkommens ist hoch.** Ein Drittel des zufließenden Wassers (versickernde Niederschläge, infiltrierendes Oberflächenwasser aus dem Hagneck-Kanal, der Alten Aare usw.) wird heute bereits dem Grundwasserleiter des Seelandes entnommen. Das heisst:

**Wir müssen mit dem wertvollen Gut Grundwasser haushälterisch umgehen, müssen die verschiedenen Nutzungsinteressen gegeneinander abwägen, ausgehend von einem sorgfältig erarbeiteten Nutzungskonzept.**

### 1.1.3 Schutz des Grundwassers

Der Bund und der Kanton Bern verfügen über moderne Gewässerschutzgesetze [15, 30] mit einer Reihe von interpretierenden und ergänzenden Verordnungen.

Trotzdem haben unsere Wasserversorgungen zunehmend Schwierigkeiten, eine hygienisch einwandfreie, preisgünstige Trinkwasserversorgung langfristig sicherzustellen, weil immer mehr unerwünschte Stoffe, vor allem Nitrate, leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe und vereinzelt Pflanzenbehandlungsmittel, unser Grundwasser qualitativ beeinträchtigen. Es ist dies eine Folge unseres in erster Linie auf wirtschaftlichen Erfolg ausgerichteten, kurzsichtigen Denkens

und Handelns sowie des oft ungenügenden Einsatzes von Behörden und der Bevölkerung für das kostbare Gut Trinkwasser.

**Ein Überdenken der Lage ist dringend notwendig, eine wirksame, nachhaltige Schutzstrategie muss entwickelt werden. Unser wertvolles Gut Grundwasser, unser preisgünstiges Trinkwasser ist gefährdet!**

Seit einigen Jahren zeichnet sich immer deutlicher ab: Das unter anderem in der Wegleitung zur Ausscheidung von Schutz-zonen [3] festgelegte Konzept zum Schutze von bestehenden und geplanten Grund- und Quellwasserfassungen für die Trinkwasserversorgung kann nicht verhindern, dass unerwünschte Stoffe das zu fördernde Grundwasser beeinträchtigen. Das Gebiet, das mit strengeren Schutzbestimmungen belegt wird, ist zu klein, um die meisten chemischen Verunreinigungen im Grundwasserleiter auf ein unbedenkliches Mass zu reduzieren oder erlaubt nicht, rechtzeitig Sanierungsmassnahmen einzuleiten. 1998 hat daher der Bundesrat in der revidierten Gewässerschutzverordnung (GschV) festgehalten [28]:

**Es sind nicht nur die Schutzzonenbereiche (Zonen S: Fassungs-bereich, engere und weitere Schutzzone; vgl. Fig. 1) sondern auch die Zuströmbereiche (Z<sub>u</sub>) zu schützen.**

Der Zuströmbereich umfasst das Gebiet, aus dem bei niedrigem Wasserstand etwa 90% des Grundwassers stammen, das bei einer Grundwasserfassung höchstens entnommen werden darf [17], d.h. einen wesentlich größeren Teil des Grundwasserleiters als die Schutzzone.

Als wichtigste Schutzmassnahmen im Zuströmbereich sind beispielsweise zu nennen [5, 6, 28, 30]:

- Verwendungseinschränkungen für Pflanzenbehandlungsmittel sowie von Düngern und diesen gleichgestellten Erzeugnissen.
- Einschränkung der acker- und gemüsebaulichen Produktionsflächen.
- Verpflichtung zur Verwendung besonders geeigneter Hilfsmittel, Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsmethoden.
- Anlagen, die wassergefährdende Stoffe herstellen, lagern, umschlagen oder verwenden, müssen besser gesichert und vor allem besser überwacht werden.
- Die Inhaber dieser Anlagen wie auch die Betreiber von Verkehrswegen haben geeignete Überwachungs-, Alarm- und Bereitschaftsdispositive zu erstellen im Sinne der eidgenössischen Störfallverordnung.
- Altlasten sind zu überwachen und, wenn nötig, zu sanieren.

Dies wird von den verantwortlichen kantonalen Amtsstellen, vor allem aber von Gemeinden und Wasserversorgungen ein Umdenken und gewaltige Anstrengungen erfordern. Weitsichtig hat die Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern folgende Grundsätze in ihrem Leitbild festgehalten [10]:

„Die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser ist in normalen Zeiten und in Notlagen sicherzustellen indem

- die nutzbaren Grundwasservorkommen in Menge und Qualität erhalten werden,
- in Zusammenarbeit mit den Trägern der Wasserversorgung regionale Nutzungs-

konzepte und Wasserversorgungspläne erstellt und umgesetzt werden,

- die Planung der Wasserversorgung in Notlagen vorangetrieben wird.“

Dass dieses Konzept für die BVE politisch brisant ist, liegt auf der Hand. Die zahlreichen Interessenkollisionen, die sich ergeben zwischen einem wirksamen Grundwasserschutz und der Nutzung des Landes durch Landwirtschaft, Siedlungen, Gewerbe, Industrie und Verkehr sind offensichtlich.

**Das Wasser- und Energiewirtschaftsamt (WEA) ist deshalb von der Direktion BVE beauftragt worden, gemeinsam mit dem Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (GSA), mit Regionalplanungsverbänden, Gemeinden und Wasserversorgungen nachhaltige Nutzungs- und Schutzkonzepte zu entwickeln. Dabei darf Nachhaltigkeit nicht gekennzeichnet sein durch das seit Jahren erlernte Verhalten; sie muss stets neu angepasst werden an die sich wandelnden Bedingungen.**

Die Nutzungs- und Schutzkonzepte müssen sich nach dem künftigen regionalen, allenfalls dem überregionalen Wasserbedarf richten. Dabei sind auch die Notwasserversorgungen sowie der Ersatz von gefährdeten Grund- und Quellwasserfassungen mit zu berücksichtigen. Wichtiger Grundsatz: Die übrigen Nutzungen des Gebietes sind so wenig als möglich einzuschränken.

### 1.1.4 Überwachung des Grundwassers

Die mengenmässige Entwicklung des Grundwassers im Seeland und die Wechselwirkung Oberflächenwasser - Grundwasser wird mit einem hydrometrischen Messstellennetz beobachtet [WEA, seit 1976 jährlich]. Dies genügt nicht, wenn wir daran denken, wie bedeutend das Grundwasser für unsere Ernährung ist. Die Güteentwicklung ist sorgfältig weiterzuverfolgen.

Dies wird im Rahmen der Lebensmittelkontrolle in den Trinkwasserversorgungen seit Jahrzehnten getan. Im Hinblick auf mögliche Gefahren für die Grundwassergüte, herrührend von Altlasten (z.B. Kehrichtdeponien, ehemalige Industriestandorte), Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft, ist das Beobachtungsnetz in den letzten Jahren verdichtet und die zu bestimmenden Parameter sind neu festgelegt worden.

Die für die Trinkwasserversorgung massgebenden Zuströmbereiche werden heute ausreichend überwacht. Die Güteentwicklung und mögliche Gefahrenherde werden aber weiterhin sorgfältig beobachtet, wenn nötig werden die Standorte für Probeentnahmen und die Parameterauswahl angepasst.

## 1.2 Umsetzung des Konzeptes

Die einzuhaltenden Randbedingungen und die wichtigsten nötigen Massnahmen, um das Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept umzusetzen, sind in Fig. 3 aufgeführt.

Im Technischen Bericht [14] sind alle Daten verzeichnet, die nötig sind, um das Konzept aus der Sicht der Betreuer des Grundwassers zu verwirklichen. Es versteht sich in unserem eng besiedelten Raum: Die Interessen der Gemeinden, der Raumplanung, der Industrie und des Gewerbes, des Verkehrs, des Flussbaues, der Landwirtschaft, des

Naturschutzes usw. sind bei allen Entscheidungen mit zu berücksichtigen.

Der nachhaltige Schutz des Grundwasservorkommens erfordert den Dialog mit allen andern Interessenten an der Nutzung des Gebietes, erfordert aktive Toleranz und gegenseitigen Respekt. Der Nutzung des Grundwassers sind enge Grenzen gesetzt, wegen dem Aufbau und den Eigenschaften des Grundwasserleiters, wegen den Zuströmverhältnissen und dem bereits bestehenden oder geplanten Gefahrenpotential im Zuströmbereich. Die für das Grundwasser verantwortlichen Stellen müssen daher immer initiativ sein und sich ins Bild setzen, über die geplanten künftigen Nutzungen des Raumes, damit sie ihre Forderungen rechtzeitig anbringen können.

## 2. GRUNDWASSERLEITER SEELAND

### 2.1 Charakteristik

In den Poren von Schottern, zusammengesetzt vorwiegend aus Kiesen und Sanden, fliesst das Grundwasser im Seeland. Die Schotter sind teilweise während der letzten Eiszeit von Schmelzwasserflüssen abgelagert worden. Vorwiegend sind sie aber nach dem Rückzug des Rhonegletschers von der Aare geschüttet worden, die, bei Aarberg in die Seeland - Senke mündend, ein mächtiges Delta aufbaute.

Als stauende, d.h. sehr schlecht durchlässige Sedimente wirken an der Basis und seitlich des Leiters

- zwischeneiszeitliche Seetone, es sind vorwiegend Feinsande, die auch Silt und Ton enthalten,
- Moränen der letzten Eiszeit, nur an einigen wenigen Stellen vorhanden,
- sowie Gesteine der Molasse, es sind Mergel, Sandsteine und Nagelfluhen.

**Grundwasservorkommen Seeland**  
 Es muss langfristig mengen- und gütemässig erhalten bleiben

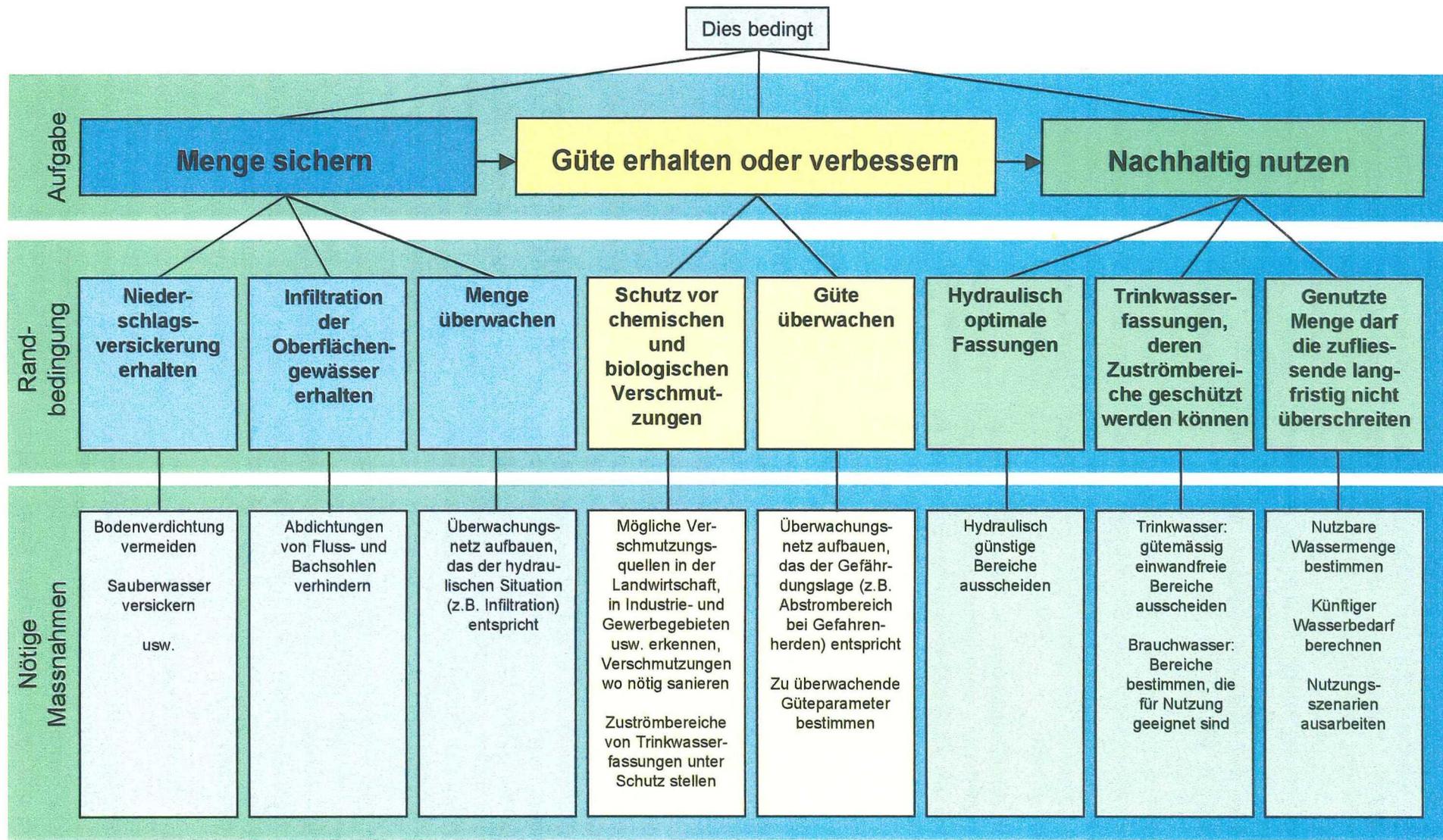


Fig. 3 Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasservorkommen Seeland

Das Blockbild (Fig. 4) vermittelt einen Eindruck, wie der Untergrund aufgebaut ist. Wie zahlreiche Bohrungen, Durchlässigkeitsbestimmungen und Pumpversuche gezeigt haben, ändern die Eigenschaften der Sedimente häufig sowohl seitlich wie auch über die Höhe. Ausführlichere Angaben über den Aufbau des Gebietes vermitteln frühere Arbeiten [18, 19].

Damit beurteilt werden kann, wie tauglich ein Grundwasserleiter ist, um Wasser für die Trink- und Brauchwasserversorgung zu nutzen, müssen vor allem folgende Grössen bekannt sein:

- **Durchlässigkeiten  $k$  des Grundwasserleiters;** vereinfacht ausgedrückt geben sie an, wieviele Kubikmeter Wasser in der Sekunde bei einem bestimmten Gefälle durch einen Grundwasserleiter-Querschnitt von einem Quadratmeter fliessen.  $k$  wird im Allgemeinen in mm/s angegeben.
- **Speicherkoefizienten  $S$  des Grundwasserleiters;** sie beschreiben das Speichervermögen des Grundwasserleiters. Da das gespeicherte Wasservolumen mit dem Volumen des Grundwasserleiters verglichen wird, ist  $S$  eine dimensionslose Grösse. Der Speicherkoefizient darf im Grundwasserleiter des Seelandes mit seinem freien Grundwasserspiegel der nutzbaren Porosität  $n_n$  gleichgesetzt werden, das heisst, vereinfacht ausgedrückt, dem Anteil des Porenraumes in welchem Wasser fliessen kann.

Die zwei Parameter sind im Grundwasserleiter Seeland möglichst zuverlässig bestimmt worden. Sie erlauben abzuschätzen, wo es möglich ist, künftig Grundwasser zu fassen und mit welchen Mengen gerechnet werden darf.

## 2.2 Durchlässigkeiten $k$

Zuverlässige Kenntnisse der Durchlässigkeitsverhältnisse in einem Grundwasserleiter erlauben erst zu beurteilen, wie dieser genutzt und geschützt werden kann. Neben

verschiedenen Feldversuchen, auf die in diesem Rahmen nicht eingegangen werden kann (eine Übersicht findet sich in [2]), sind auch Simulationen mit einem numerischen Grundwasser-Strömungsmodell nötig, um einen grösseren Grundwasserleiter zu überblicken (vgl. 3.4).

Ausgehend von Feldversuchsergebnissen früherer Arbeiten [18, 21] und eigenen Bestimmungen ist mit einem numerischen Grundwasser - Strömungsmodell [33, 34] eine  $k$ -Wert-Verteilung ermittelt worden, die mit den gemessenen Daten möglichst gut übereinstimmt.

Figur 5 zeigt die  $k$ -Werte der einzelnen Elemente des Grundwasser - Strömungsmodells. Obwohl, wie erwähnt, auch die  $k$ -Werte über die Höhe des Leiters und seitlich stark variieren, zeigt die Erfahrung, dass diese Element- $k$ -Werte als Mittelwerte zuverlässige Aussagen erlauben. Es lässt sich daher festhalten:

**Die  $k$ -Wert-Verteilung zeigt: In den Gebieten mit Werten  $k$  grösser als 5.0 mm/s sind ergiebige Grundwassernutzungen möglich, sofern die andern massgebenden Faktoren dies erlauben.**

## 2.3 Speicherkoefizienten $S$

Mit der verwendeten numerischen Simulation von Grundwasserströmungen im Grundwassermodell Seeland können die Speicherkoefizienten  $S$  am zuverlässigsten für den ganzen Leiter bestimmt werden. Geleitet werden sie anhand der Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserstands- und Abfluss-Ganglinien. Figur 6 zeigt die  $S$ -Werte der einzelnen Elemente. Das Bild zeigt eine gute Übereinstimmung mit der  $k$ -Wert-Verteilung, was nicht erstaunt, sind doch beide Werte abhängig vom Gehalt an feinkörnigen Komponenten (vor allem Silte und Sande) der grundwasserführenden Schotter.

**Die  $S$ -Werte zeigen: Gebiete mit Werten über 0.15 eignen sich sehr gut für eine intensivere Grundwassernutzung.**

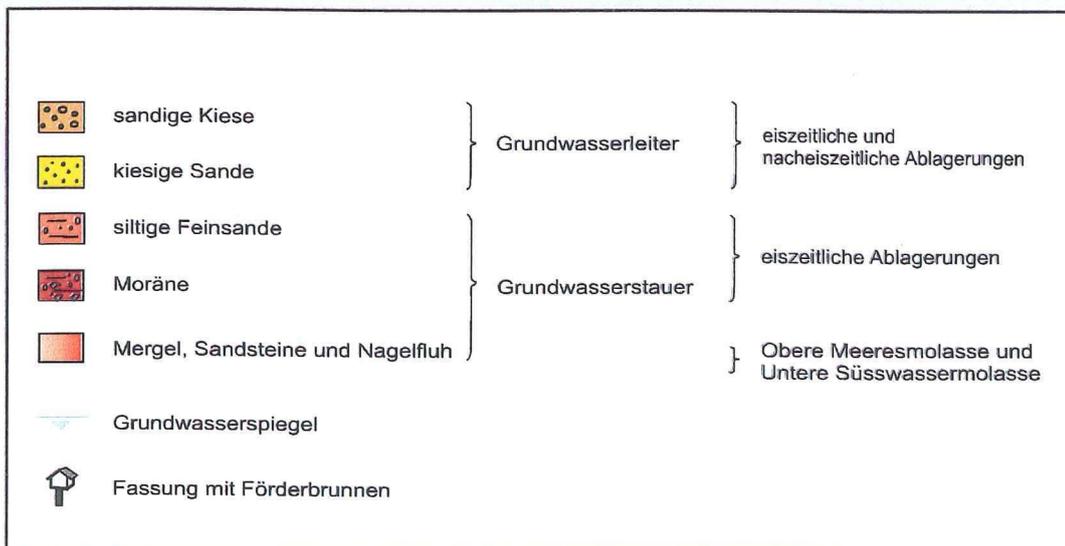
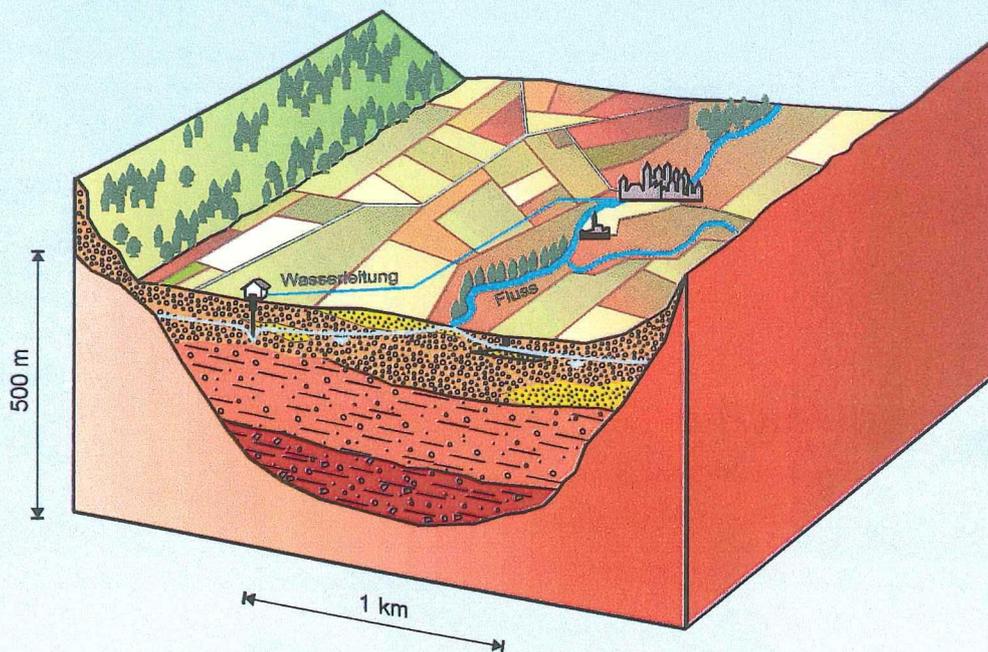


Fig. 4 Schematische räumliche Darstellung des geologischen Aufbaus im Seeland

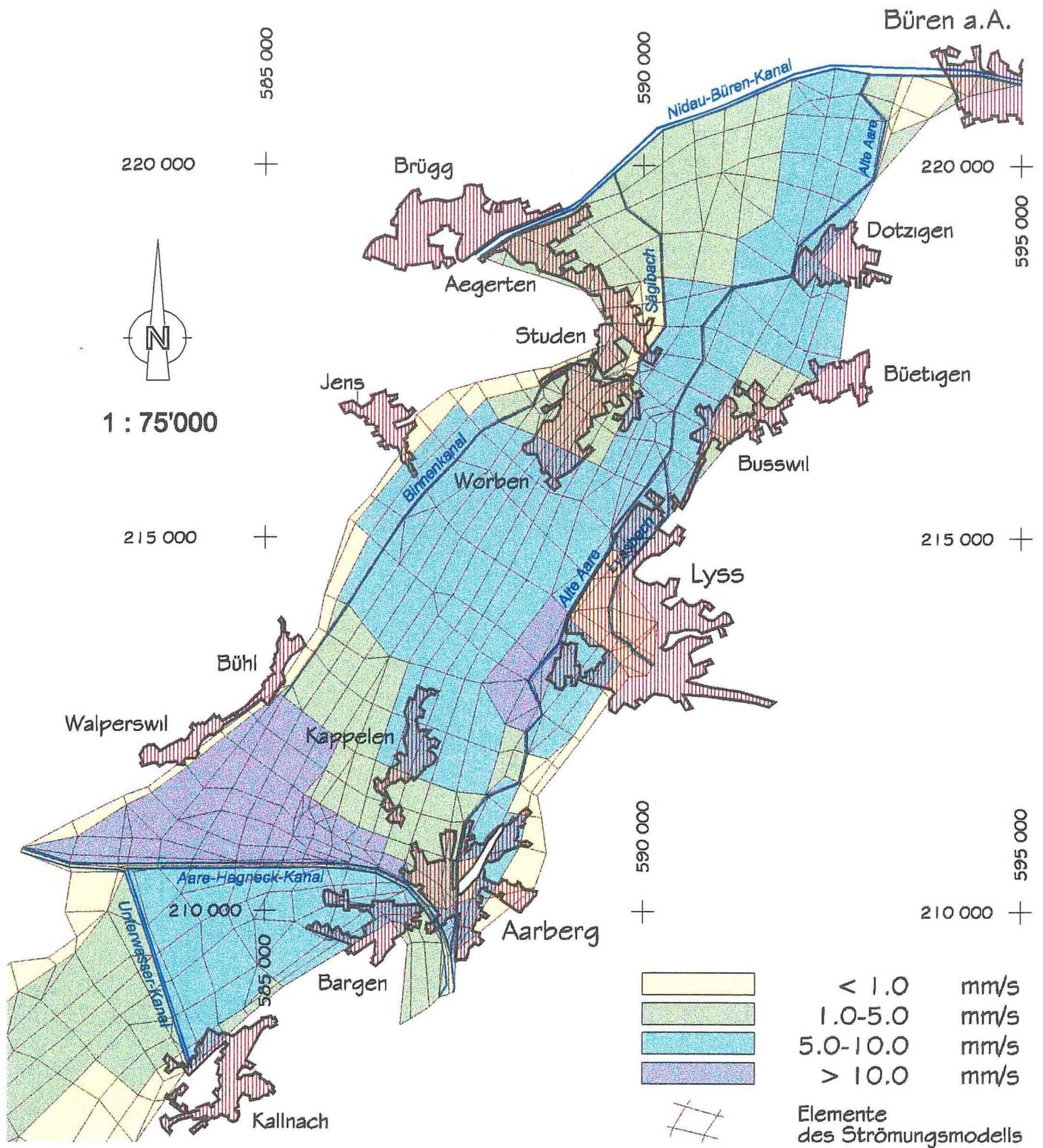


Fig. 5 Durchlässigkeiten, Element-k-Werte des Grundwasserleiters im Seeland

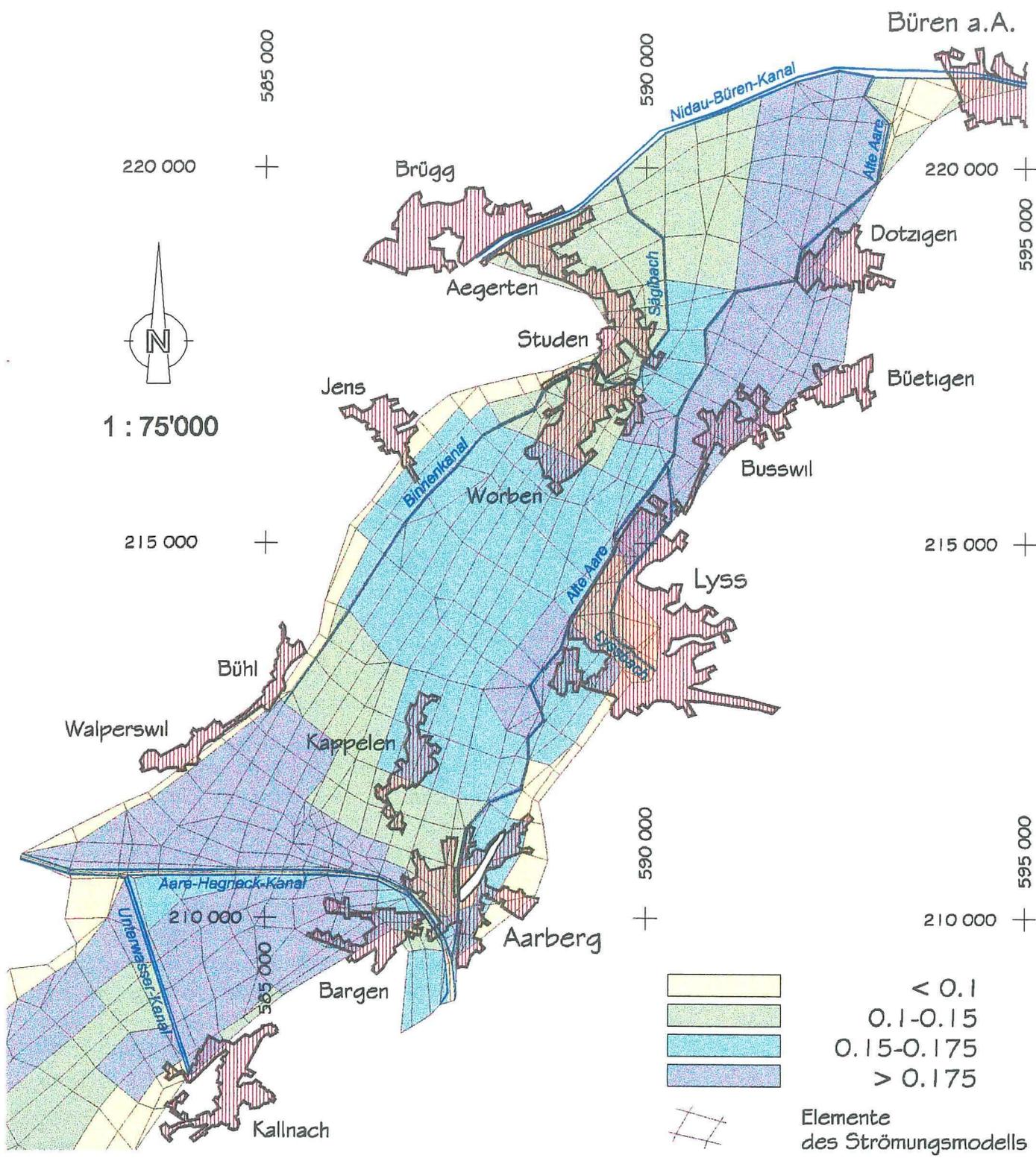


Fig. 6 Speicherkoeffizienten, Element-S-Werte des Grundwasserleiters im Seeland

### 3. GRUNDWASSER SEELAND

#### 3.1 Nötige Kenntnisse

Einleitend ist festgehalten worden: Das Grundwasservorkommen des Berner Seelandes ist für die Trink- und Brauchwasserversorgung des Raumes Biel - Lyss sehr wichtig. Der Nutzungsgrad ist schon heute hoch.

Um beurteilen zu können,

- wie dieses Grundwasservorkommen mengen- und gütemässig geschützt und unter Umständen künftig intensiver genutzt werden kann,
- welche Schutzmassnahmen in den Zuströmbereichen nötig sind, um eine einwandfreie, hygienisch unbedenkliche Trinkwasserversorgung sicherzustellen,

muss eine Reihe von Daten möglichst zuverlässig erhoben und im Vergleich mit den bereits früher ermittelten Werten und Modellvorstellungen auf ihre Plausibilität geprüft werden. Die wichtigsten, nötigen Kenntnisse werden nachfolgend aufgeführt: -

- **Speisung des Grundwasservorkommens**, das heisst:
  - der Anteil der Niederschläge, die über dem Grundwasserleiter versickern (direkte Grundwasserneubildung);
  - der Anteil der Niederschläge, die aus den angrenzenden Einzugsgebieten ihm, allerdings zeitlich verzögert, unterirdisch zufließen (indirekte Grundwasserneubildung);
  - die aus den Oberflächengewässern ins Grundwasser infiltrierenden Wassermengen (aus folgenden Gewässern sickert zeitweilig oder dauernd Wasser ins Grundwasser: Hagneck-Kanal, Alte Aare, Lyssbach, Sägibach; Unterwasserkanal und diverse kleinere Kanäle im südlichen Teil);
  - Grundwasserzuflüsse bei Aarberg und bei Lyss.

- **Entwässerung des Grundwasservorkommens**, das heisst:

- Entnahmen in Grundwasserfassungen für die Trink- und Brauchwasserversorgung;
- die aus dem Grundwasser in die Oberflächengewässer austretenden Wassermengen (Exfiltration); in folgende Gewässer tritt zeitweilig oder dauernd Grundwasser aus: Nidau-Büren-Kanal, Hagneck-Kanal (westlicher Teil), Binnenkanal, Sägibach und Alte Aare, Drainage Mühlebach, Unterwasserkanal und Usserkanäle;
- der Anteil des Grundwassers, der im Norden beim Nidau-Büren-Kanal, im Westen beim Hagneck-Kanal und im Südwesten im Grundwasserleiter aus dem Modellgebiet hinausfliesst.

- **Mächtigkeit des mit Wasser gefüllten Teils des Grundwasserleiters**, das heisst der Abstand in m zwischen der Oberfläche des Grundwasserstauers (Grundwasserleiter - Sohle) und dem Grundwasserspiegel muss bekannt sein.
- **Schwankungen des Grundwasserspiegels**. Die Höhenlage des Grundwasserspiegels und damit natürlich auch die Mächtigkeit des Grundwasserleiters sind abhängig von der im Grundwasserleiter fließenden Wassermenge. Bestimmend sind die Niederschlagsmengen und die Wasserführung der Oberflächengewässer, die Entwässerung des Grundwasserleiters, die vor allem abhängig ist vom Höhenunterschied zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasserspiegel, aber auch von den Entnahmen für die Trink- und Brauchwasserversorgung,
- **Chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers**. 74% des geförderten Grundwassers werden im Seeland von der Trinkwasserversorgung genutzt (vgl. Figur 2). Die Güte des Lebensmittels Trinkwasser ist daher sorgfältig zu überwachen, die Gütevorschriften müssen eingehalten werden. Diese werden festgehalten in [11, 12].

## 3.2 Speisung des Grundwasservorkommens

### 3.2.1 Niederschläge

Die dem Grundwasser zufließenden Mengen an Niederschlagswasser sind abhängig von den klimatischen Verhältnissen, wie auch der Art des Bewuchses (Wald, Grünland, Äcker mit verschiedenen Feldfrüchten) im Einzugsgebiet, dem Entwässerungsverhalten der einzelnen Teilflächen und anderen Faktoren. Um die Grundwasserneubildung zu berechnen, ist ein Computerprogramm verwendet worden, das auch die Bodenwasserbilanz und das Boden-Speicherverhalten berücksichtigt [24]. Dies ist ausserordentlich wichtig: Die Grundwasserneubildung, das heisst der Wasserfluss vom Boden in den Grundwasserleiter, kann aus dem versickernden Anteil der Niederschläge nur berechnet werden, wenn der Bodenwasserhaushalt berücksichtigt wird. Für die Berechnung der Gebietsniederschläge sind die Daten der Schweiz. Meteorologischen Anstalt [31] verwendet worden.

Figur 7 zeigt für die Jahre 1991 bis 1993 die berechneten Werte der direkten Grundwasserneubildung für das nördliche Teilgebiet.

Figur 8 vermittelt die prozentuale Verteilung der Niederschläge an der Grundwasserneubildung für die Jahre 1991 bis 1993. Direkte Neubildung 56%, indirekte 17%, das heisst 73% des Grundwassers stammen von den versickernden Niederschlägen.

Der immer noch wachsende Anteil an überbautem Gebiet, die Entwässerung von Verkehrs- und Siedlungsflächen in Abwasserkanäle, die zunehmende Verdichtung der landwirtschaftlich genutzten Böden, die mit schweren Maschinen bearbeitet werden, und anderes mehr, zeigen uns deutlich: **Die ins Grundwasser versickernde**

Niederschlagsmenge wird weiter zurückgehen.

Um das Grundwasser mengenmässig zu schützen, ist es nötig, die Sickerverluste möglichst klein zu halten. Nicht verschmutzte Abwässer müssen versickert werden, Entwässerungen von Gebieten, welche die Grundwasserspeisung beeinträchtigen, sind nur zulässig, wenn die landwirtschaftliche Nutzung nicht anders gesichert werden kann [30]. Die langzeitige Entwicklung des Grundwasservorkommens ist mit einem hydrometrischen Messstellennetz zu überwachen.

### 3.2.2 Infiltration, Exfiltration, Grundwasserabflüsse

Mit Abflussmessungen in Oberflächengewässern und mit Grundwasserspiegelmessungen im Einflussbereich der Oberflächengewässer sind die In- und Exfiltrationsverhältnisse, das heisst die Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser, soweit als möglich ermittelt worden. Computersimulationen mit dem mathematischen Strömungsmodell ergänzen das Bild (vgl. 3.4).

**Der Hagneck-Kanal bildet die Grundwasserscheide zwischen dem nördlichen und südlichen Grundwasserstrom.** Die Bedeutung der Kanalinfiltration für die Grundwasserspeisung ist bereits früher eingehend untersucht worden [19]. Die Infiltrationsleistung ist stark abhängig vom Wasserstand des Kanals.

In den Jahren 1967/1968 ist die Sohle des Hagneck-Kanals abgesenkt worden, um die Leistung des Kraftwerkes Hagneck zu erhöhen. Die maximale Absenkung bei Aarberg beträgt 3.7 m, die Vertiefung der Sohle nimmt gegen Westen kontinuierlich ab und läuft beim Zulauf zum Unterwasserkanal beim Kraftwerk Hagneck aus.

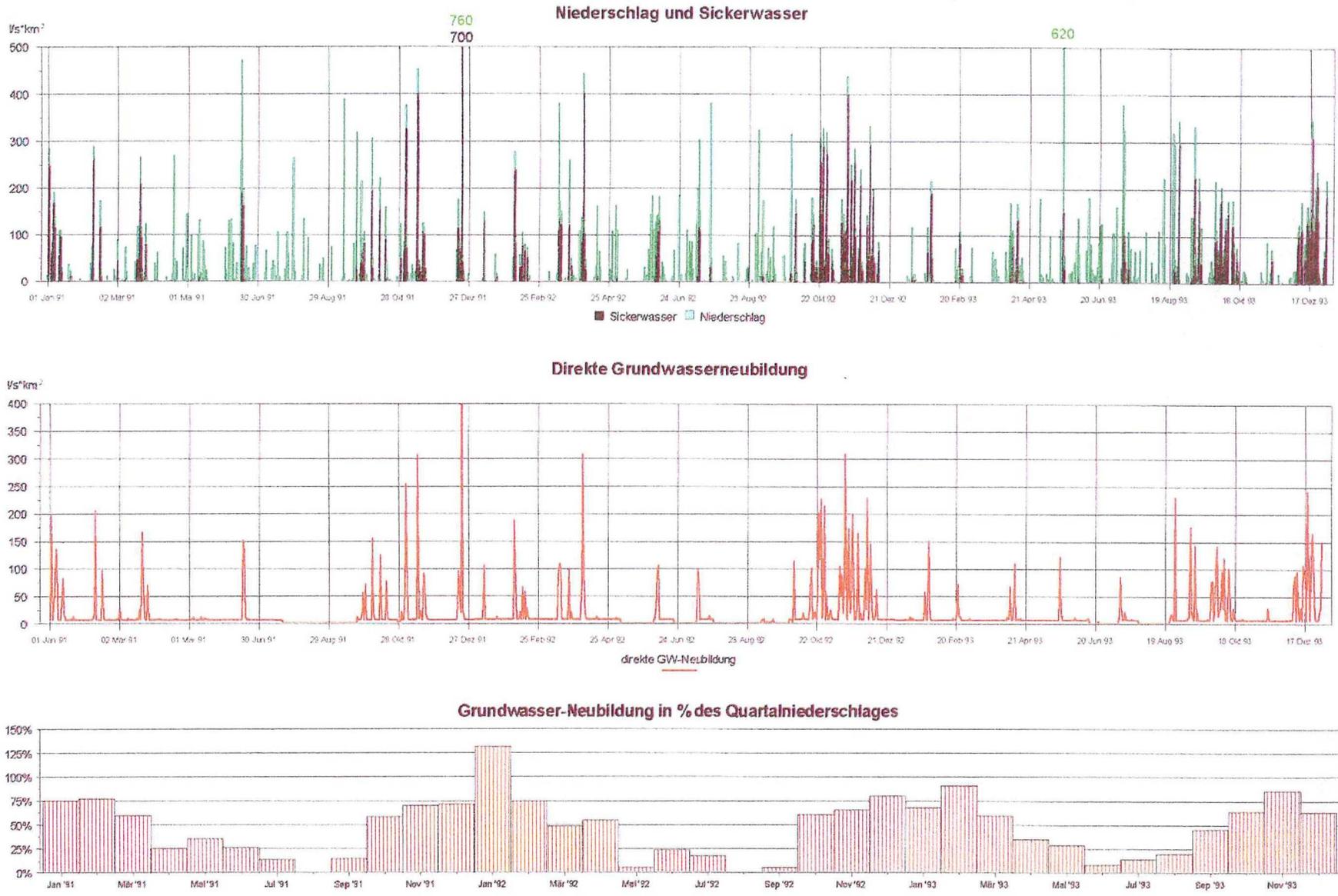


Fig. 7 Direkte Grundwasserneubildung des nördlichen Teilgebietes für die Jahre 1991, 1992 und 1993.

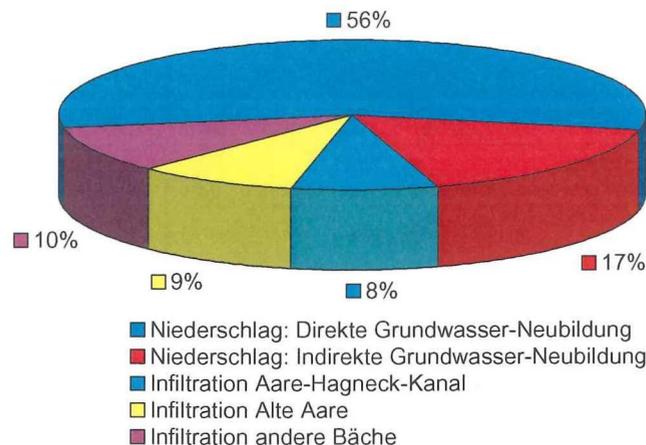


Fig. 8 Prozentuale Anteile an der Grundwasserneubildung im Mittel der drei Untersuchungsjahre 1991-93

**Die für die Grundwasserspeisung wichtige Infiltration verringerte sich durchschnittlich um 40%.** Bei einem Niederwasserstand (3. Okt. 1992) zeigt die Berechnung: Die Infiltrationsleistung ging von 200 l/s auf 95 l/s zurück, die Differenz beträgt 105 l/s bei einer Unsicherheit von  $\pm 27\%$ .

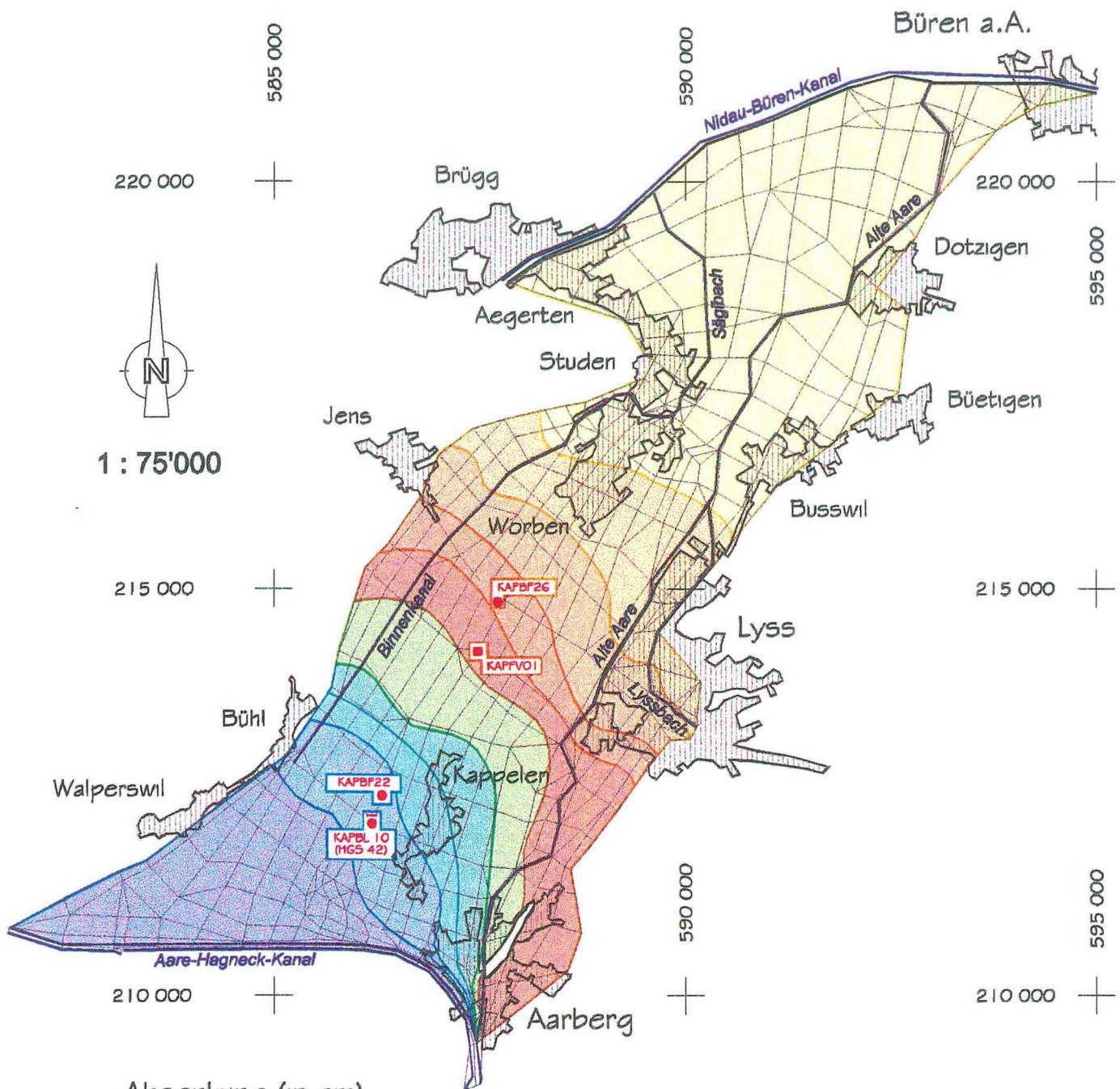
Mit dem numerischen Strömungsmodell ist simuliert worden, wie sich nach der Ausbaggerung des Hagneck-Kanals die Höhenlage des Grundwasserspiegels im nördlichen Teil des Grundwasserleiters geändert hat. Figur 9 zeigt die Bereiche gleicher durchschnittlicher Absenkungen. Für die Grundwasserfassung Kappelen-Werdthof (KAPFV01) beträgt die Differenz 20 bis 25 cm. Dazu ist zu bemerken: Es ist nicht nur die Kanalvertiefung für das Absinken des Grundwasserspiegels verantwortlich; Drainagen, Bacheindolungen, sinkende Raten der Niederschlagsversickerung usw. wirken sich ebenfalls aus.

**Die Infiltrationsleistung der Alten Aare ist in den letzten Jahren beträchtlich zurückgegangen.** Verantwortlich dafür ist die Sohlenverfestigung, hervorgerufen durch den fehlenden Geschiebetrieb. Der

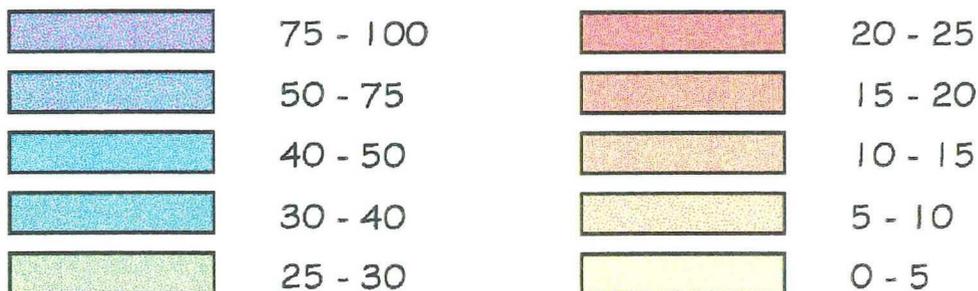
Stau der Aare bei Aarberg erlaubt dem Geschiebe nicht mehr, ins Bett der Alten Aare zu gelangen. Die 1973 festgelegte Dotierwassermenge von ungefähr 3.5 m<sup>3</sup>/s, die stetig abfließt, vermag zudem die Gerölle im Aarebett nicht mehr zu bewegen. Die Sohle des Aarebettes hat sich deshalb teilweise verdichtet. Es ist zu befürchten, dass immer mehr Feinanteile (Ton - Silt - Sand) sich in den Porenräumen zwischen den abgelagerten Geröllen (vorwiegend Kies und Steine) ablagern. Sie setzen die Durchlässigkeit der Sohle und damit auch die Infiltrationsleistung weiter herab [26].

**Die Infiltration von Oberflächengewässern ins Grundwasser ist neben dem Versickern von Niederschlägen die zweite wichtige Quelle, die das Grundwasservorkommen speist: Sie liefert 27% des Grundwassers (vgl. Figur 8).**

Sollten die Infiltrationsleistungen künftig weiter zurückgehen, was zu befürchten ist, müssten Sanierungsmassnahmen ergriffen werden. Um die ins Grundwasser einsickernde Menge an Oberflächenwasser wieder zu erhöhen, wären die folgenden Sanierungsvorschläge zu prüfen:



Absenkung (in cm)



- KAPBF26 Bohrung
- KAPBL 10 (MG5 42) Bohrung mit GW-Schreibpegel
- KAPFVO1 Grundwasserfassung
- Elemente des Strömungsmodells

Fig. 9 Durchschnittliche Absenkung des Grundwassers nach der Ausbaggerung des Aare-Hagneck-Kanals (1967-1968)

- weitere Grundwasserfassungen werden nahe der Oberflächengewässer erstellt; 2 Fassungen werden heute bereits beim Hagneck-Kanal abgeteuft;
- Grundwasser wird mit Sickerbecken oder -brunnen künstlich angereichert;
- die Flussbettsohlen von alter Aare und Hagneck-Kanal werden periodisch mit Baggern aufgelockert.

Die Dotationsbedingungen in der alten Aare zu ändern, wäre, nach Ansicht der Fachleute der Bernischen Kraftwerke, mit einem sehr grossen, aus ihrer Sicht nicht vertretbaren finanziellen Aufwand verbunden.

Die Figuren 10 und 11 vermitteln das Bild der Zu- und Wegfluss - Verhältnisse im Nord- und Südteil des Grundwasservorkommens für den Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991. Sorgfältig ist zu verfolgen, wie sich die Niederschlagsversickerung, die In- und Exfiltrationsverhältnisse, die unterirdischen Zu- und Wegflüsse sowie die Nutzung des Grundwassers weiter entwickeln, damit frühzeitig Massnahmen ergriffen werden können, welche die Nutzbarkeit des Grundwasservorkommens langfristig sicherstellen.

### 3.3 Grundwasser-Mächtigkeiten

Ein Bild der Grundwasser-Mächtigkeiten beim Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991 vermittelt Figur 12. Ein Vergleich mit Figur 13, sie stellt die Höhenlinien der Oberfläche des Grundwasserstauers dar, zeigt, wie die Mächtigkeiten des Grundwassers ungefähr das Relief des Untergrundes widerspiegeln.

Es versteht sich: Eine grosse Mächtigkeit erlaubt, mehr Grundwasser zu nutzen, vorausgesetzt, die andern massgebenden Faktoren, z.B. Durchlässigkeit  $k$ , Grundwasserspeisung und -güte, lassen dies zu. Da die Schwankungen des Grundwassers in den Bereichen grosser Grundwasser-

Mächtigkeiten nur 0.9 bis 1.3 m betragen (vgl. Fig. 15), trotz den beträchtlichen Entnahmen (vgl. 1.1.2), lässt sich festhalten:

**Von der Mächtigkeit her gesehen, gibt es im Seeland grosse Bereiche, in denen weitere ergiebige Grundwasserfassungen möglich sind.**

### 3.4 Schwankungen des Grundwasserspiegels

In Figur 14 werden die berechneten und interpolierten Höhenlinien (Isohypsen) des Grundwasserspiegels für den Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991 dargestellt. Warum berechnete Isohypsen? Die in Beobachtungsrohren, Bohrungen und Grundwasserfassungen gemessenen Höhen des Grundwasserspiegels und die an einzelnen Punkten gemessenen Höhen der Oberflächenwasserspiegel erlauben uns, ein erstes Bild der momentanen Oberfläche des Grundwasservorkommens und damit des Fliessverhaltens des Grundwassers zu gewinnen. Vergleichen wir die Bilder verschiedener Zeitpunkte, damit natürlich auch verschiedener Höhenlagen der Spiegel, erkennen wir bald, dass wir das Verhalten des Grundwasservorkommens in Raum und Zeit nur mangelhaft verstehen. Dies genügt nicht, bei der heutigen intensiven Nutzung der Vorkommen und angesichts der zahlreichen Gefahrenherde, die unser Grundwasser beeinträchtigen könnten, um verantwortungsbewusst und sicher zu entscheiden.

**Über diese Klippe hinweg hilft uns die mathematische Simulation eines Grundwasser-Strömungsmodelles [22, 33, 34].** Der Vergleich von Messdaten mit den berechneten Modelldaten (wobei alle Parameter zu berücksichtigen sind: Grundwasser-Spiegelhöhen, Mächtigkeiten,  $k$ - und  $S$ -Werte) erlaubt schrittweise das mathematische Modell zu eichen und damit auch die Lücken in den Datenreihen zu schliessen, die begrifflicherweise bei den komplexen

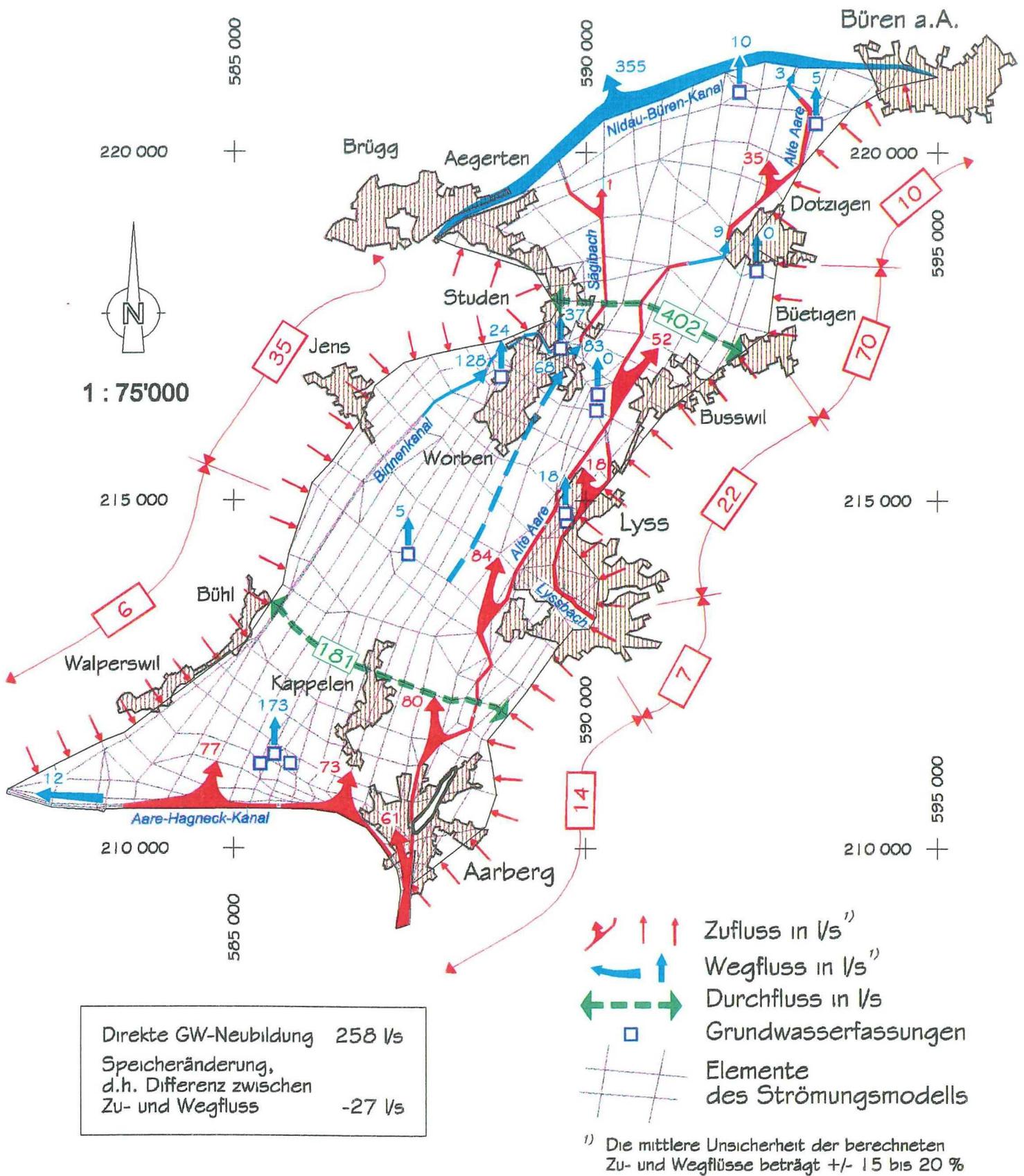


Fig. 10 Zu- und Wegflüsse in l/s, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991. Seeland - Nordteil.

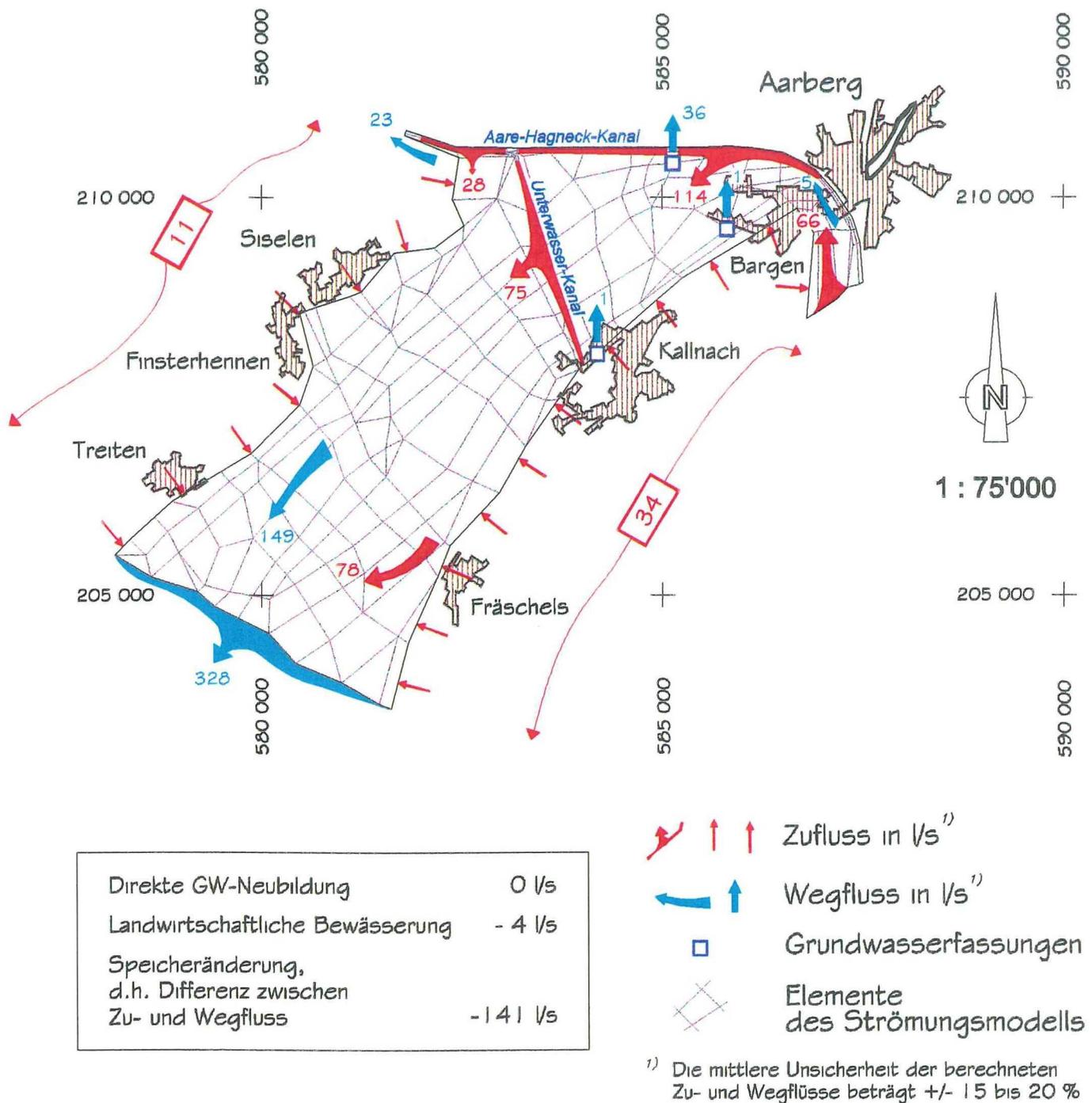


Fig. 11 Zu- und Wegflüsse in l/s, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991. Seeland - Südteil.

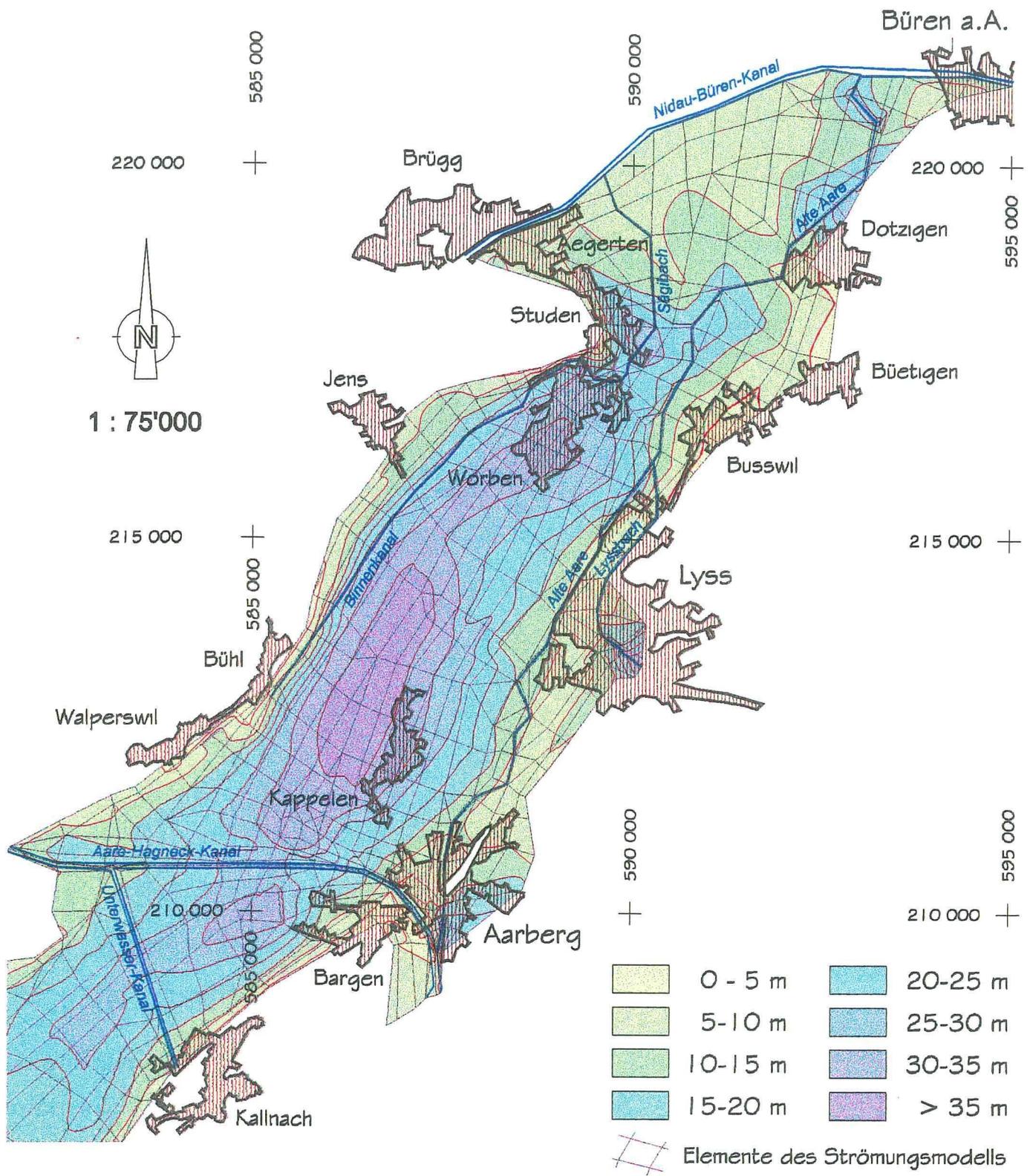


Fig.12 Grundwasser-Mächtigkeiten im Seeland, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991

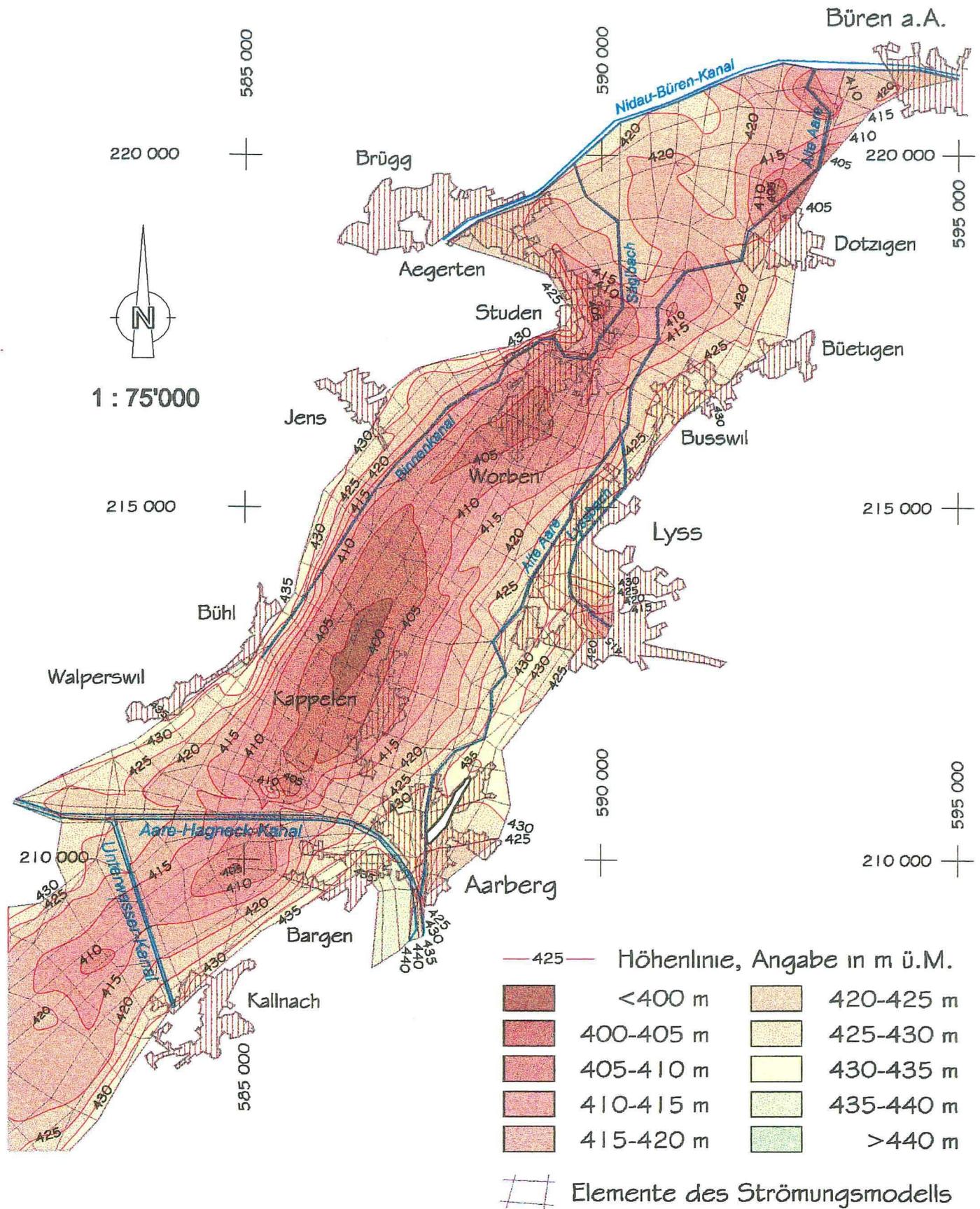


Fig. 13 Oberfläche des Grundwasserstauers im Seeland



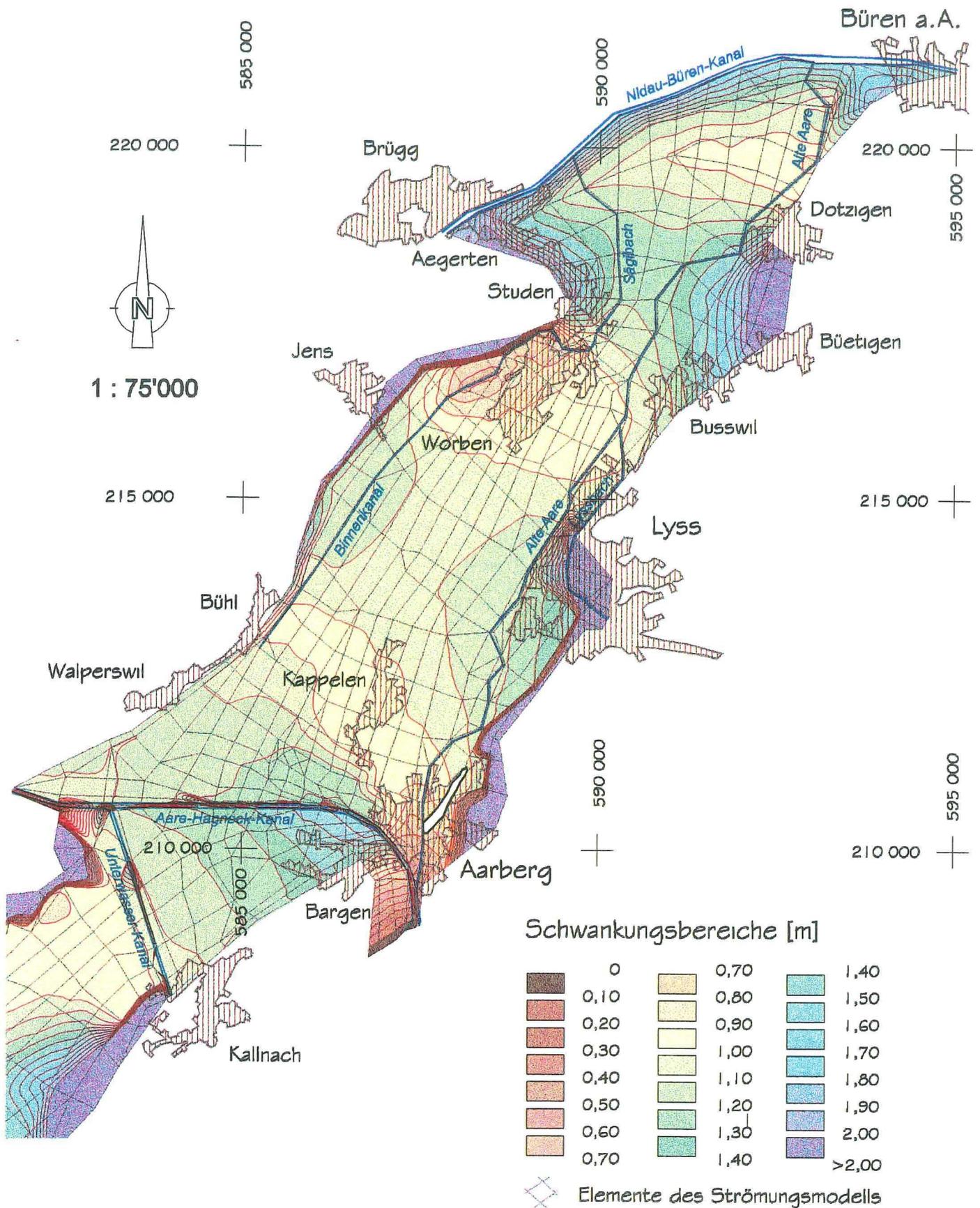


Fig. 15 Schwankungsbereiche des Grundwasserspiegels im Grundwasserleiter Seeland während der Beobachtungsperiode 1991 bis 1993

Verhältnissen nicht zu vermeiden sind. Die sehr aufwendigen Qualitätskontrollen erfordern immer wieder Änderungen des gedanklich aufgebauten hydrogeologischen Modells, das heisst, unsere Vorstellungen über den Aufbau des Untergrundes sind immer wieder zu korrigieren und das mathematische Modell ist anzupassen.

Figur 15 zeigt die Schwankungsbereiche des Grundwasserspiegels während der Beobachtungsperiode 1991 bis 1993.

Sofort zu erkennen ist: Im Bereich der grössten Grundwasser-Mächtigkeiten (vgl. Figur 12) finden sich kleine Grundwasserschwankungen. Dies stützt die oben geäusserten Meinungen:

**Das Grundwasservorkommen bietet, rein mengenmässig gesehen, noch weitere ergiebige Fassungsmöglichkeiten. Die Grundwasserneubildung vermag die Verluste durch die Entnahmen rasch zu decken.**

## 3.5 Chemie

### 3.5.1 Messkampagne 1994

In 6 Messkampagnen sind im nördlichen Teil des Grundwasserleiters Seeland 1994 in 42 Messstellen Proben erhoben und in den Laboratorien der Stadt Biel und des Kantons analysiert worden. Dies erlaubte, eine flächendeckende Vorstellung der Grundwassergüte zu gewinnen. Bei der Auswahl der zu bestimmenden Güteparameter ist darauf geachtet worden, dass die für die Reduktions- und Oxidationsprozesse (sogenannte Redox-Prozesse) wichtigen mit einbezogen und exakt ermittelt worden sind. Da die direkte Bestimmung von Redox-Potentialen und damit von Redoxbereichen aus verschiedenen Gründen, auf die hier nicht eingegangen werden kann, sehr schwierig ist, sind indirekt aus den Gehalten des Wassers an gelösten reduzierbaren und oxidierbaren anorganischen

Stoffen Redoxbereiche ermittelt worden (vgl. Figur 23).

Die Figuren 16 bis 20 zeigen die wichtigsten Ergebnisse einzelner Messkampagnen; dargestellt sind die berechneten und interpolierten Isolinien (Linien gleicher Konzentrationen und Sättigungen).

Angegeben werden die Qualitätsziele für Trinkwasser sowie, soweit festgelegt, die Toleranzwerte, das heisst die Höchstkonzentrationen von Stoffen, bei deren Überschreitung das Lebensmittel von der Vollzugsbehörde beanstandet wird [11, 12].

### Sauerstoffsättigung (Figur 16)

Die Linien gleicher Sauerstoffsättigung (in %) weisen (dies gilt für alle Messkampagnen) beim Hagneck-Kanal westlich Aarberg eine sauerstoffreiche Zone (40 bis 60%) nach, erzeugt durch das infiltrierende sauerstoffreiche Aarewasser. Stromabwärts, zwischen Kappelen und Worben, nimmt die Sauerstoffsättigung rasch ab. Die Dispersion im Grundwasserleiter mischt das sauerstoffreiche Wasser mit den sauerstoffarmen Wässern im Nordwesten und Südosten. Eine Rolle spielt sicher auch die auf dem Fliessweg fortschreitende Oxidation organischer Stoffe im Grundwasser.

Auf die sauerstoffarme Zone nördlich Aarberg, sie erstreckt sich bis hinunter nach Worben, wird im Abschnitt 3.5.2 eingegangen.

**Das Qualitätsziel verlangt mehr als 60 % Sättigung. Dies wird nur in einem engen Bereich nördlich des Hagneck-Kanals und zwischen Aarberg und Kappelen erreicht. Die Nutzung des Grundwassers für die Trinkwasserversorgung wird dadurch nur unwesentlich eingeschränkt, da mit einer einfachen Belüftung der Sauerstoff im Wasser angereichert werden kann.**

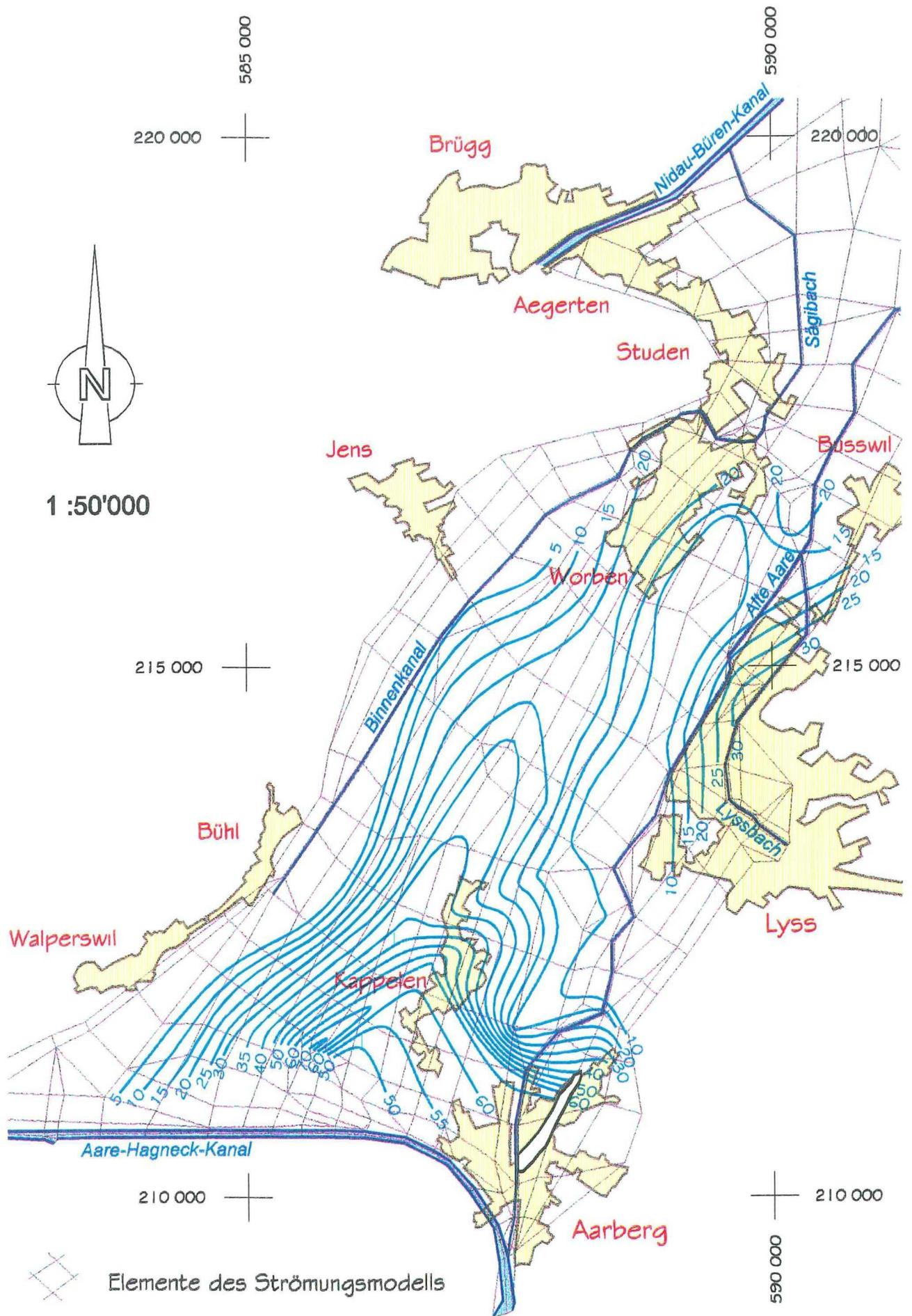


Fig. 16 Linien gleicher Sauerstoffsättigung [%] für die Messkampagne Juni 1994 (Grundwasserhochstand)

### **Nitratkonzentration** (Figur 17)

Die Linien gleicher Nitratkonzentrationen (in mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ ) zeigen deutlich den Einfluss des infiltrierenden Aarewassers, das kaum mit Nitrat belastet ist (im Mittel ung. 10 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ ). Im zentralen Teil des Grundwasserleiters wie auch im randlichen Zuflussbereich nördlich von Lyss finden sich erhöhte Konzentrationen:

**Das Qualitätsziel von 25 mg/l wird überschritten. Stellenweise liegen die Gehalte auch über dem Toleranzwert von 40 mg/l, das heisst, das Grundwasser weist hier nicht mehr Trinkwasserqualität auf (vgl. 3.5.2).**

### **Eisenkonzentration** (Figur 18)

Die Linien gleicher Konzentrationen des gelösten, zweiwertigen Eisens (mg  $\text{Fe}^{2+}/\text{l}$ ) weisen im westlichen Teil des Grundwasserleiters bei Walperswil (maximale gemessene Eisenkonzentration 3 mg/l), Bühl und Jens auf die niedrigen Sauerstoffgehalte (vgl. Fig. 16) und die speziellen Bodenverhältnisse hin (vgl. Sulfatkonzentrationen). Das Qualitätsziel von 0.05 mg/l wird hier massiv überschritten.

Das gilt auch für das Gebiet zwischen Aarberg und Lyss. Im Abschnitt 3.5.2 wird darauf eingegangen.

### **Sulfatkonzentration** (Figur 19)

Die Linien gleicher Sulfatkonzentrationen (mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ ) zeigen deutlich die sulfatreiche Zone bei Walperswil - Bühl. Wir finden hier staunasse, mittel bis schwach durchlässige Böden. Dieser im nördlichen Seeland nur hier vorkommende Bodentyp beeinflusst die Zusammensetzung der versickernden Niederschlagswasser. Das Sulfat stammt, nach den heutigen Kenntnissen, hauptsächlich aus den Abbauprodukten organischer Substanzen und aus der Verwitterung der Gesteine; diese hohen Sulfatwerte überzeugend zu erklären, ist aber beim heutigen Stand der Kenntnisse nicht möglich.

**Das Qualitätsziel (bis 50 mg/l) wird in dieser Zone deutlich überschritten, der Toleranzwert von 200 mg/l aber nicht erreicht.**

### **DOC - Konzentration** (Figur 20)

Der gelöste organische Kohlenstoff DOC (Dissolved Organic Carbon), das heisst der Gehalt an organischen Verunreinigungen wird in mg C/l gemessen. Er ist nur in der Messkampagne vom Dezember 1994 bestimmt worden.

**Das Qualitätsziel liegt bei 1.0 mg/l. Die Linien gleicher DOC-Konzentrationen zeigen hohe Werte im Gebiet Walperswil - Bühl, wo niedrige Sauerstoffkonzentrationen (vgl. Fig. 16) einen mikrobiellen Abbau von organischen Verunreinigungen nicht erlauben. Nördlich Aarberg findet sich ein weiteres Gebiet mit erhöhten Konzentrationen (vgl. 3.5.2).**

## **3.5.2 Bedeutende Verschmutzungen**

### **Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )**

Die Wasserversorgung der Stadt Biel analysierte seit 1950 monatlich bis vierteljährlich in 17 verfilterten Bohrungen und 9 Trinkwasserfassungen einige chemische Parameter des Grundwassers. Dank diesen sorgfältigen Unterlagen kann die wachsende Belastung des Grundwassers mit Nitrat, wie sie auf Figur 21 dargestellt ist, nachvollzogen werden.

Aus einer ackerbaulich genutzten Region der Schweiz gelangen durchschnittlich im Jahr aus jedem  $\text{km}^2$  4 t Stickstoff (N) ins Grund- und Oberflächenwasser. 61% stammen aus der Landwirtschaft [7]. Für den Grundwasserleiter des Seelandes lässt sich daher festhalten:

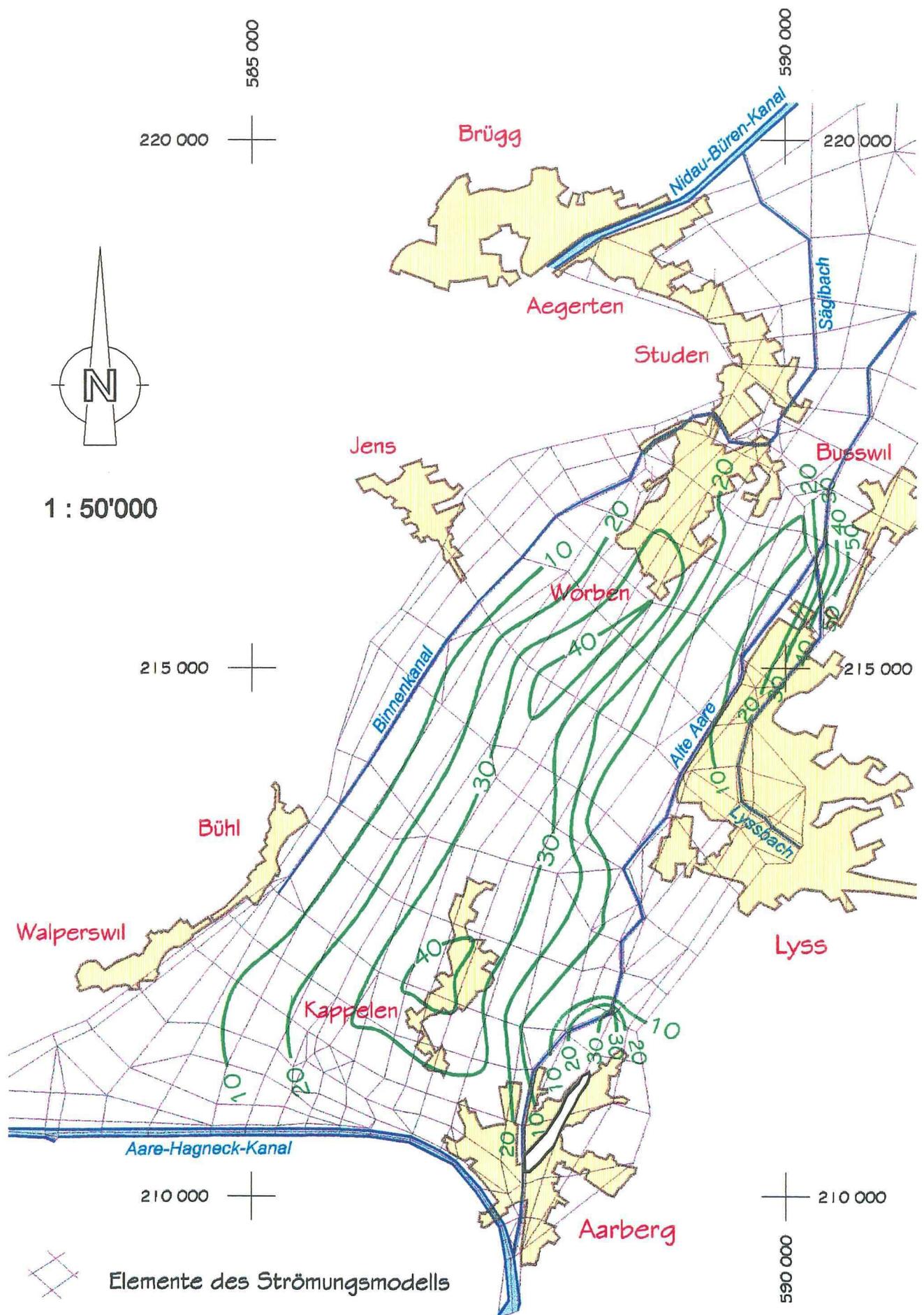


Fig. 17 Linien gleicher Nitratkonzentrationen [mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / l] für die Messkampagne Juni 1994 (Grundwasserhochstand)

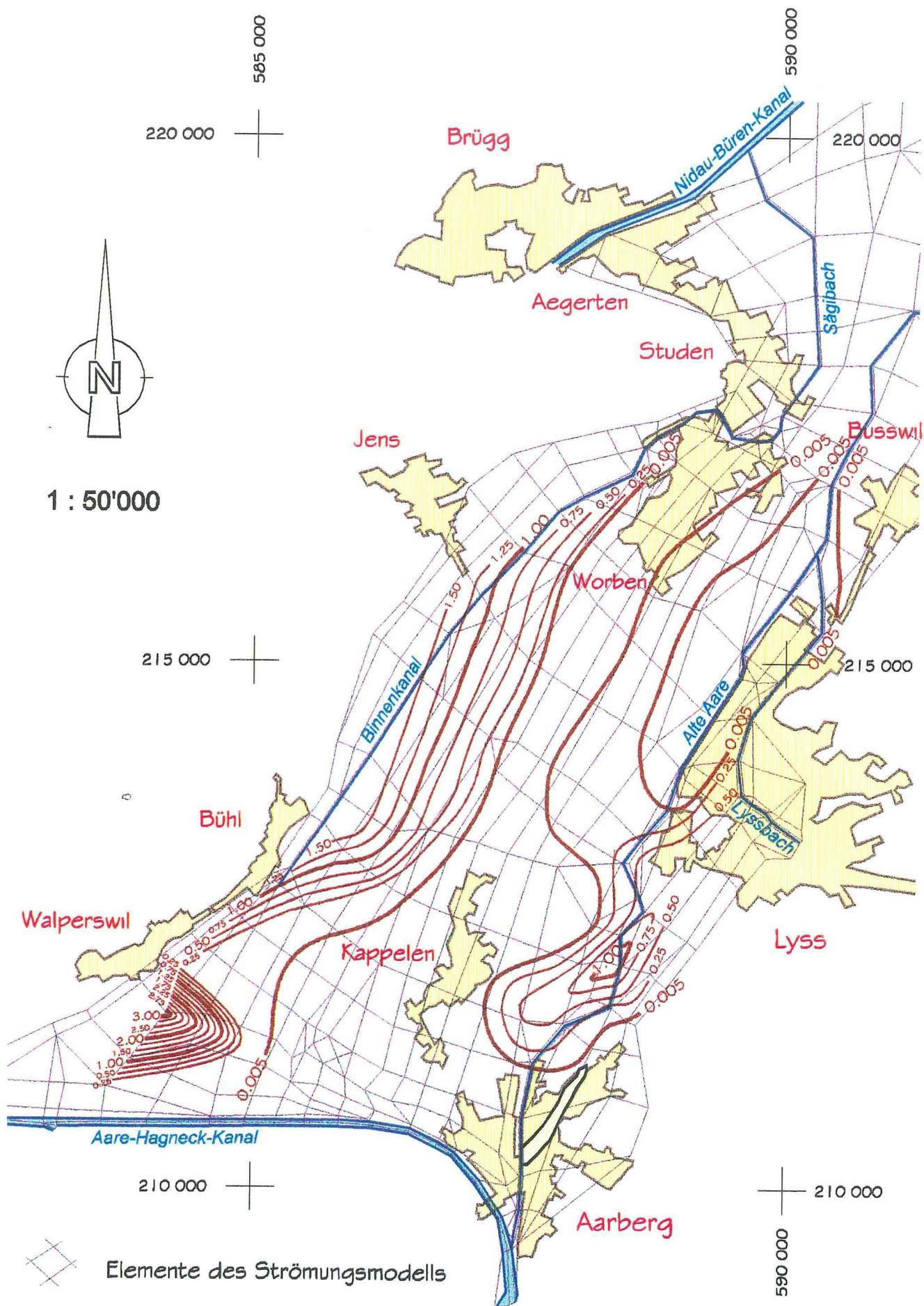


Fig. 18 Linien gleicher Konzentration gelösten Eisens [ mg Fe<sup>2+</sup>/l ] für die Messkampagne Oktober 1994 (Grundwassermittelstand)

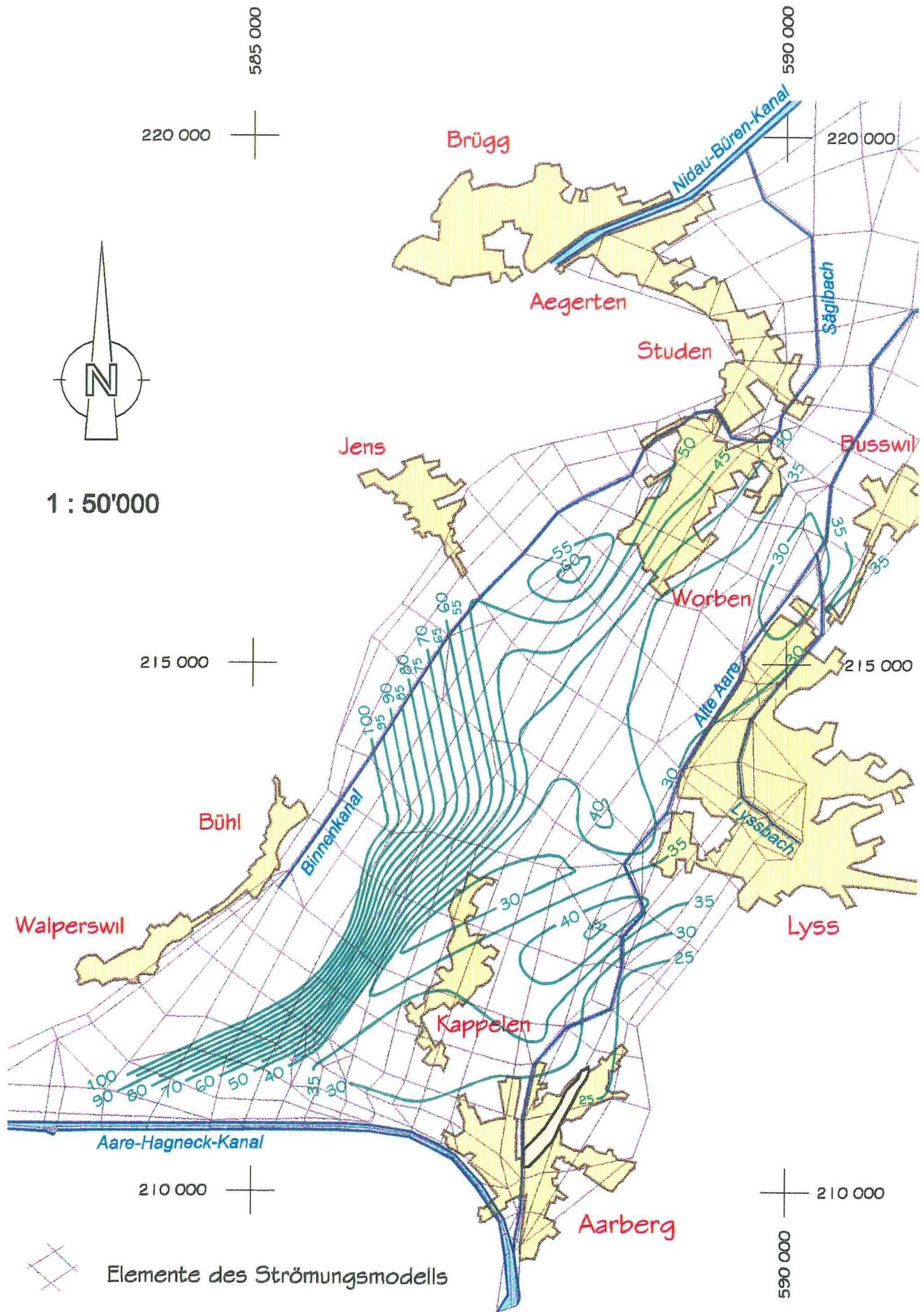


Fig. 19 Linien gleicher Sulfatkonzentrationen [ mg  $\text{SO}_4^{2-}$  / l ] für die Messkampagne Oktober 1994 (Grundwassermittelstand)

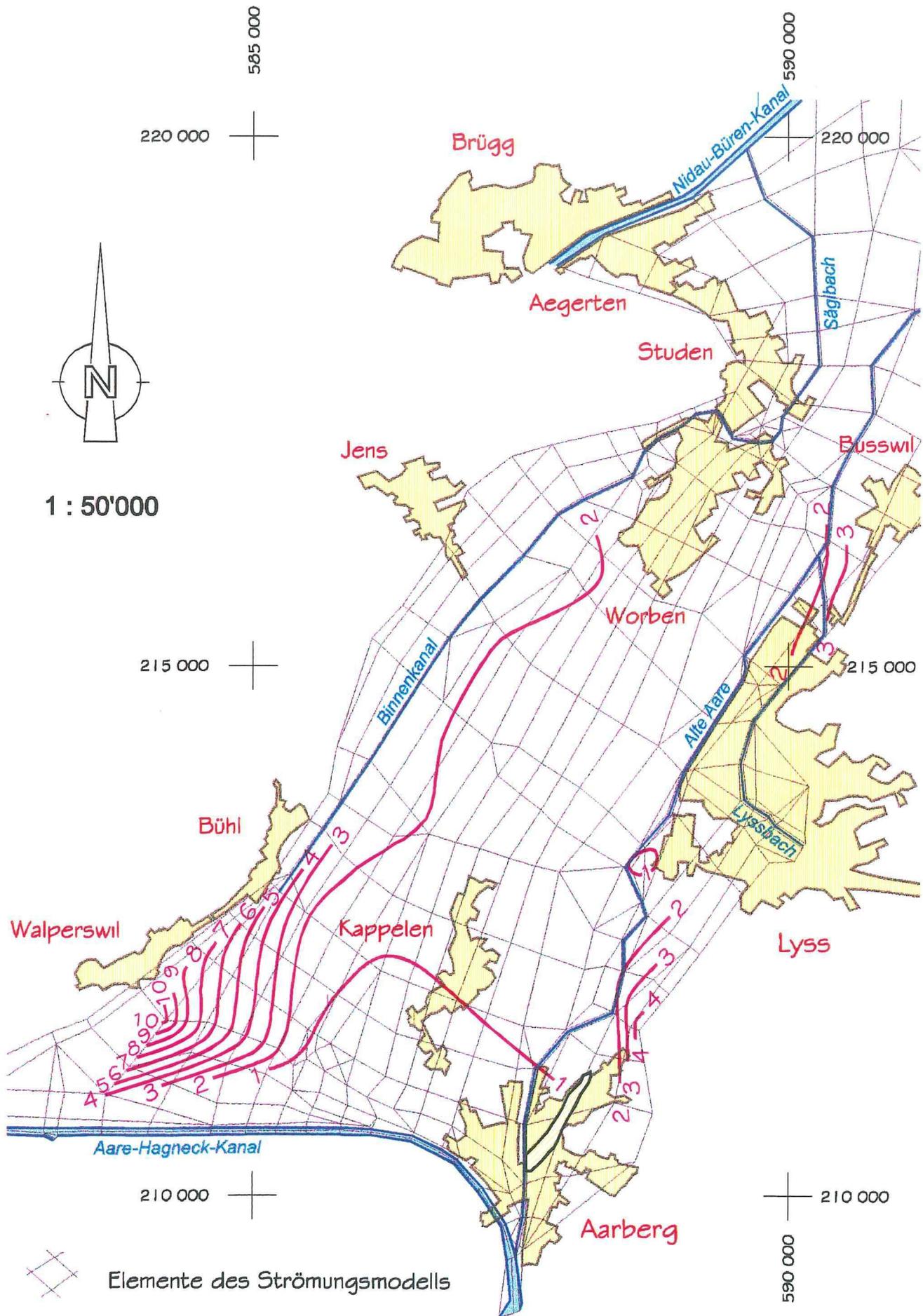


Fig. 20 Linien gleicher DOC-Konzentrationen [mg C/l] für die Messkampagne Dezember 1994 (Grundwassermittelstand)

Durch die intensivere landwirtschaftliche Nutzung gelangt mehr Stickstoff als früher auf die Böden, wenn auch die Belastung in den letzten Jahren leicht zurückgegangen ist [9]. Unbewachsene Ackerflächen oder Böden mit schlechten Struktureigenschaften halten wenig Nitrat zurück, dieses wird ins Grundwasser ausgewaschen [13].

Schon 1955 treten im Raum Kappelen Gehalte auf, die teilweise höher sind als das Qualitätsziel von 25 mg/l für Trinkwasser, wie dies das erste Bild von Figur 21 zeigt. Die weiteren Bilder zeigen eindrücklich die allmählich steigende Belastung. Im Juni 1994 tritt bei Kappelen eine Zone auf, in der die Gehalte den Toleranzwert von 40 mg/l übersteigen.

Dieses letzte Bild entspricht sehr gut der Darstellung auf Figur 17, wo im Rahmen unserer Untersuchungen 16 weitere Beobachtungsstellen mit einbezogen werden konnten.

**Die Nitratgehalte in einem grossen Teil des Grundwasservorkommens im nördlichen Seeland überschreiten das Qualitätsziel für Trinkwasser, einzelne kleine Bereiche weisen sogar Gehalte auf, die über dem Toleranzwert liegen. Die im Raum Kappelen im Rahmen der Ursachenbekämpfung der Nitratauswaschung im Kanton Bern 1989 bis 1995 aufgenommenen Anstrengungen, die Belastung des Grundwassers zu verringern, sollten unbedingt weitergeführt werden, auch wenn rasche Erfolge nicht erwartet werden dürfen. Es wird Jahre oder sogar Jahrzehnte dauern, bis der im Boden vorhandene Nitratvorrat ausgeschwemmt sein wird [1, 13].**

Zusammen mit dem **Landwirtschaftlichen Bildungs- und Beratungszentrum Seeland (LBBZ)** in Ins ist mit dem mathematischen Strömungs- und Transportmodell für verschiedene Bewirtschaftungsszenarien geprüft worden, wie sie sich langfristig auf die Nitratbelastung des Grundwassers im

Raume Kappelen-Werdthof auswirken würden. Figur 22 zeigt die Ergebnisse für folgende Szenarien:

- **Extensive Wiese:** Die landwirtschaftlich genutzte Fläche besteht zu 100% aus extensiv genutztem Wiesland; es wird nicht gedüngt. Das extreme Szenarium zeigt, wie schwierig es ist, die Nitratbelastung unseres Grundwassers unter das Qualitätsziel des Trinkwassers von 25 mg/l zu senken. Es zeigt uns aber auch, wie die Interessenkollision landwirtschaftliche Nutzung - Trinkwassernutzung etwas entschärft werden kann.
- **Schonender Ackerbau:** - es wird bedarfsgerecht gedüngt, - die grüne Pflanzenbedeckung wird möglichst ganzjährig geschlossen gehalten, indem Untersaaten und Zwischenkulturen angebaut werden, - der Boden wird möglichst schonend bearbeitet, - nach einem Grünlandumbruch wird sofort neu angesät [7].
- **Hackfruchtbetonter Ackerbau:** Dieses Szenarium belastet das Grundwasser am stärksten. Auf einem grossen Teil der landwirtschaftlich genutzten Fläche wird Körnermais angebaut, ohne dass Untersaaten den Brachlandanteil verringern. Es steht klar fest: Eine derart intensive landwirtschaftliche Nutzung würde die Trinkwassernutzung sehr erschweren, kostspielige Aufbereitungen des Grundwassers wären nötig.

**Das berechnete Szenarium „SCHONENDER ACKERBAU“ entspricht ungefähr der INTEGRIERTEN PRODUKTION (IP), welche die Agrarstrategie 2000 des Kantons Bern anstrebt. Leider haben auch andere Untersuchungen gezeigt: Wenn alle in der IP vorgesehenen ökologischen Massnahmen durchgeführt werden, kann der mittlere Nitratgehalt im Grundwasser nur um 10 bis 20% gesenkt werden. Nur weitergehende Massnahmen können die Nitratbelastung stabilisieren oder verkleinern. Dies kann uns nicht von der Pflicht entbinden,**

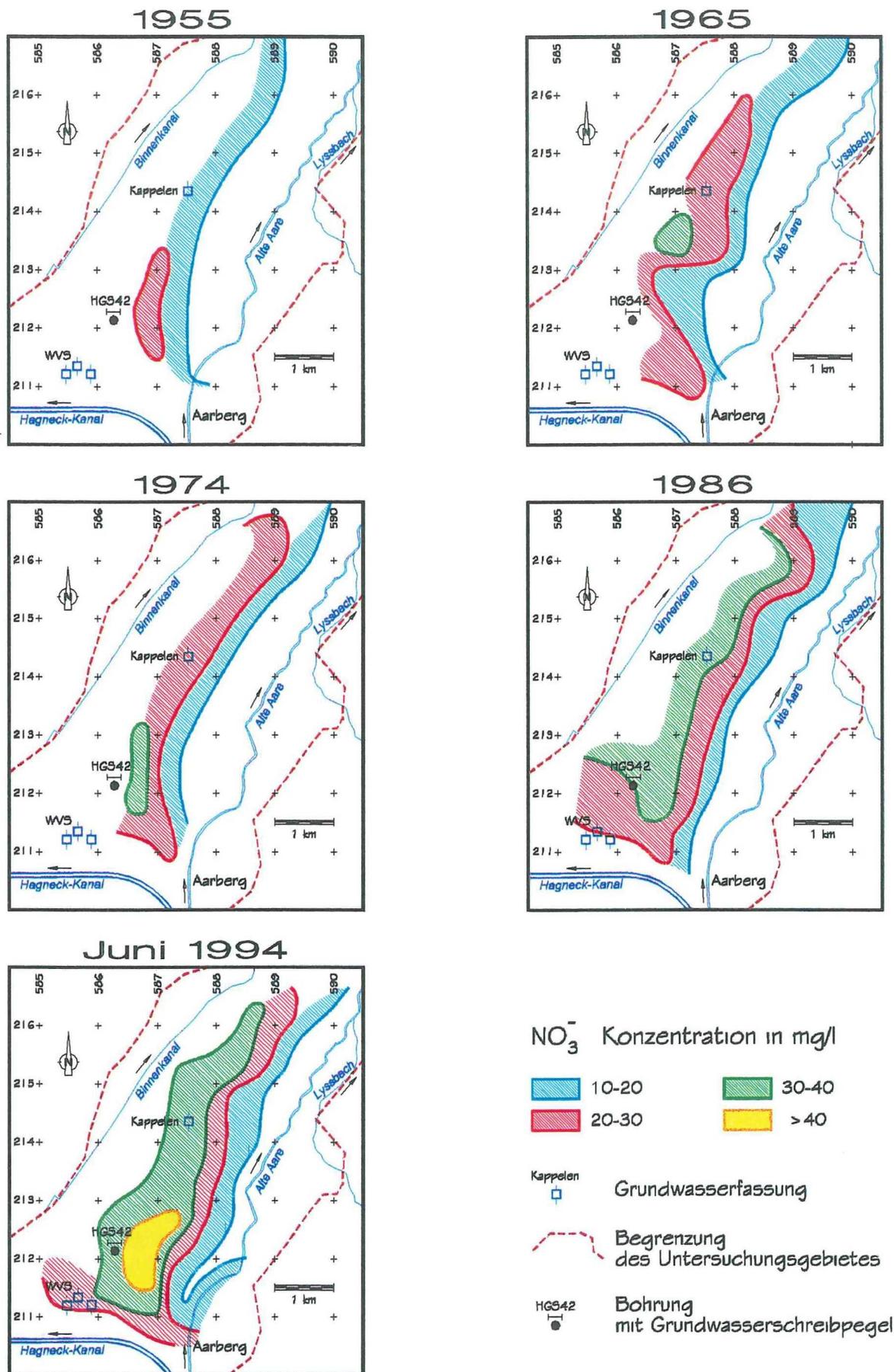


Fig. 21 Entwicklung der Nitratkonzentrationen [ mg  $\text{NO}_3^-$  / l ] im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes seit 1955



alles zu versuchen, die Nitratbelastung des Grundwassers möglichst klein zu halten. Dies fordert die Gesundheit unserer Bevölkerung. Landwirte und Wasserversorgungen müssen gemeinsam nach vertretbaren Lösungen suchen [1, 25].

### Abwasserfahne der ZRA

Die Auflandebecken der Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg AG (ZRA) sind bis Mitte der siebziger Jahre betrieben worden. Sie liegen zwischen Aarberg und Lyss im linken und rechten Uferbereich der Alten Aare (vgl. Figur 23). Hier finden sich heute auch eine firmeneigene Kläranlage mit Stapelbecken.

Die aus diesen Auflandebecken versickernden Abwässer waren reich beladen mit biologisch gut abbaubaren und in der Wasserphase mobilen organischen Inhaltsstoffen. Sie verschmutzten das Grundwassers beträchtlich und lösten verschiedene biologische und chemische Abbauprozesse aus. Chemisch gesehen handelte es sich um Reduktionen (verursacht z.B. durch den Sauerstoffbedarf von Bakterien, die organische Verschmutzungen abbauen) und Oxidationen. Da Reduktionen immer gekoppelt mit Oxidationen auftreten [23] werden die ablaufenden chemischen Reaktionen gesamthaft als **Redox-Prozesse** bezeichnet.

Figur 23 zeigt die chemischen Verhältnisse im nördlichen Teil des Grundwasservorkommens:

- Beeinflusst durch die Infiltrationen aus dem Hagneck-Kanal, der Alten Aare und dem Lyssbach zeichnen sich deutlich die Bereiche ab, in denen die Sauerstoffsättigung mehr als 25% beträgt.
- Unterhalb der Auflandebecken der ZRA zeigen sich die Folgen der organischen Belastungen des Grundwassers auch heute noch. Die biologischen und chemischen Abbauprozesse unterstützt durch die Zuflüsse chemisch kaum belasteter Wässer aus dem Infiltrationsbe-

reich der Alten Aare und vom Grundwasserzuström aus Südosten (vgl. Figur 14) konnten die Verschmutzung wohl etwas abschwächen aber nicht beseitigen [16, 19].

Es lassen sich drei Bereiche mit unterschiedlichen Auswirkungen der organischen Belastung unterscheiden (**Redox-Bereiche** [32]):

- **Die Sauerstoffsättigung ist deutlich reduziert, sie liegt zwischen 10 und 25%;**
- **Gelöstes Eisen ( $\text{Fe}^{2+}$ ) und Mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ ) treten auf, Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) wird reduziert;**
- **Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) wird reduziert, Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) tritt auf.**

Die weitere Entwicklung der Verschmutzung, welche die weitere Nutzung des südöstlichen Teils des Grundwasservorkommens beschränken kann, wird heute überwacht vom kantonalen Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (GSA), allfällig unbedingt nötige Sanierungen werden erwogen.

## 4. Nutzung des Grundwassers

### 4.1 Hydrogeologische Kriterien

Die mittleren Grundwasser-Mächtigkeiten  $H$  und die mittleren Durchlässigkeiten  $k$  zwingen, drei Bereiche zu unterscheiden, die für die Grundwassernutzung unterschiedlich gut geeignet sind (vgl. Fig. 24):

- **gut geeignet:**  $H > 20 \text{ m}$   
 $k > 5 \text{ mm/s}$
- **geeignet:**  $H 10 \text{ m bis } 20 \text{ m}$   
 $k 1 \text{ bis } 5 \text{ mm/s}$
- **nur lokal geeignet:**  $H < 10 \text{ m}$   
 $k < 1 \text{ mm/s}$ .

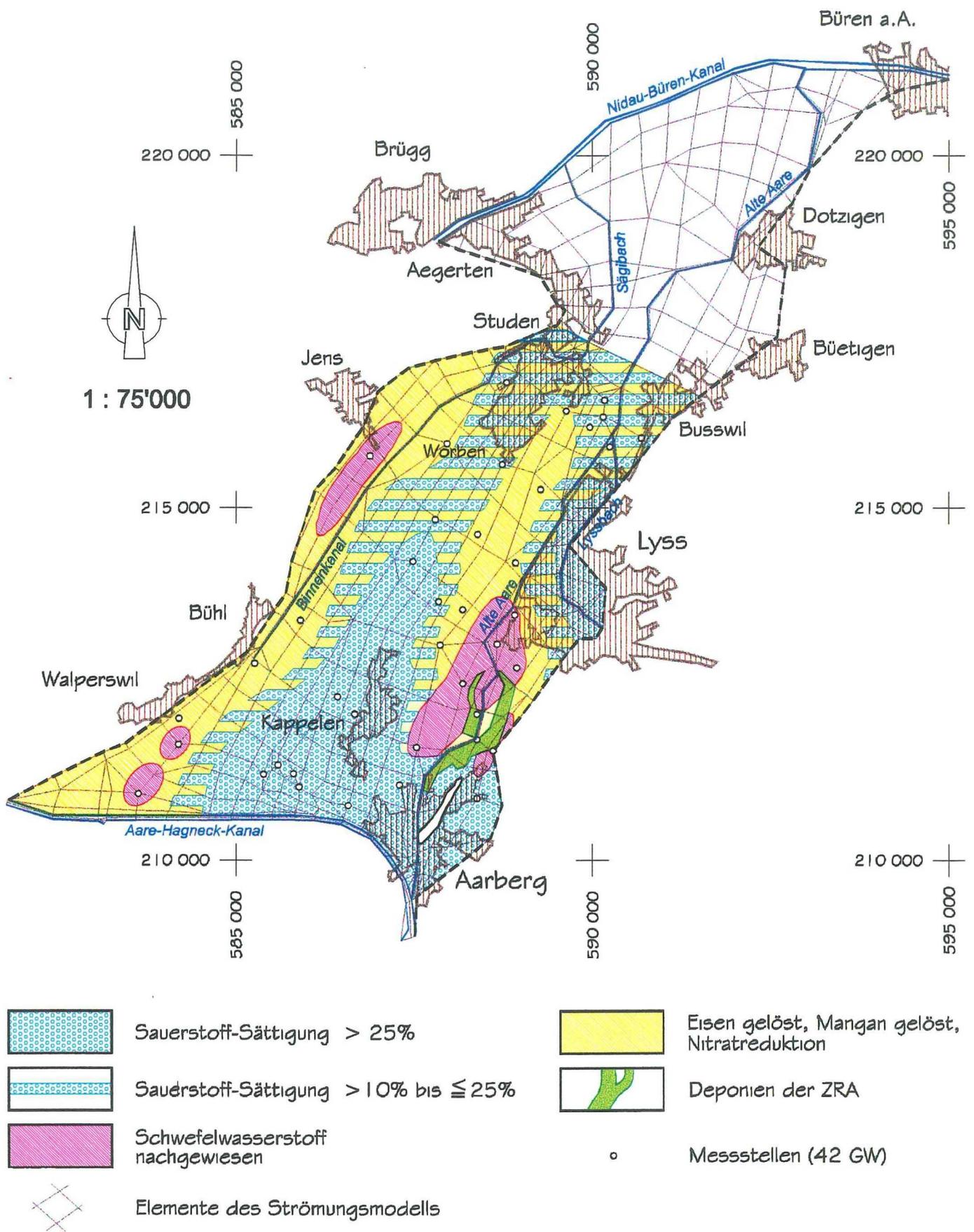


Fig. 23 Redoxverhältnisse halbquantitativ, die Bereiche der redoxsensiblen Parameter sind aus allen 6 Messkampagnen zusammengestellt worden

**Zentrale Bereiche des nördlichen Teils des Grundwasserleiters sind für eine intensive Nutzung gut geeignet.**

Im Süden liegen hier die Fassungen des Wasserverbundes Seeland WVS in Gimmez. Zwei neue Fassungen werden gegenwärtig beim Aare-Hagneck-Kanal gebaut, ohne dass die Konzessionsmenge für den Wasserverbund erhöht wird. Im nördlichen Teil liegt die Fassung Werdthof der Wasserversorgung Kappelen.

Im **geeigneten Bereich** liegen die Fassungen der Seeländischen Wasserversorgung (SWG), der WV Biel in Worben, einzelne Brunnen der WV Lyss. Ganz am Rande liegt die Fassung der WV Büren a.A.

Im **lokal geeigneten Bereich** zeigt eine Fassung in Lyss, dass auch hier bei guten Bedingungen (H knapp 5 m, k 0.7 mm/s), leistungsfähige Anlagen möglich sind. Hier liegt auch die Fassung der WV Dotzigen.

Im **südlichen Teil des Leiters** findet sich im **gut geeigneten Bereich** einzig die Fassung der Wasserversorgung der Region Erlach (WARE) im **geeigneten Bereich** die Fassung der WV Bargaen.

Die Fassung der WV Kallnach liegt im **lokal geeigneten Teil** am Rande des Grundwasserleiters.

## 4.2 Chemische Kriterien

Der Chemismus des Grundwassers, möglichst flächendeckend erfasst 1994, und die bedeutendsten Verschmutzungen sind in den Abschnitten 3.5.1 und 3.5.2 behandelt worden. Auf einige wichtige Kriterien, welche die Trinkwassernutzung einschränken, sei deshalb hier nur noch kurz hingewiesen:

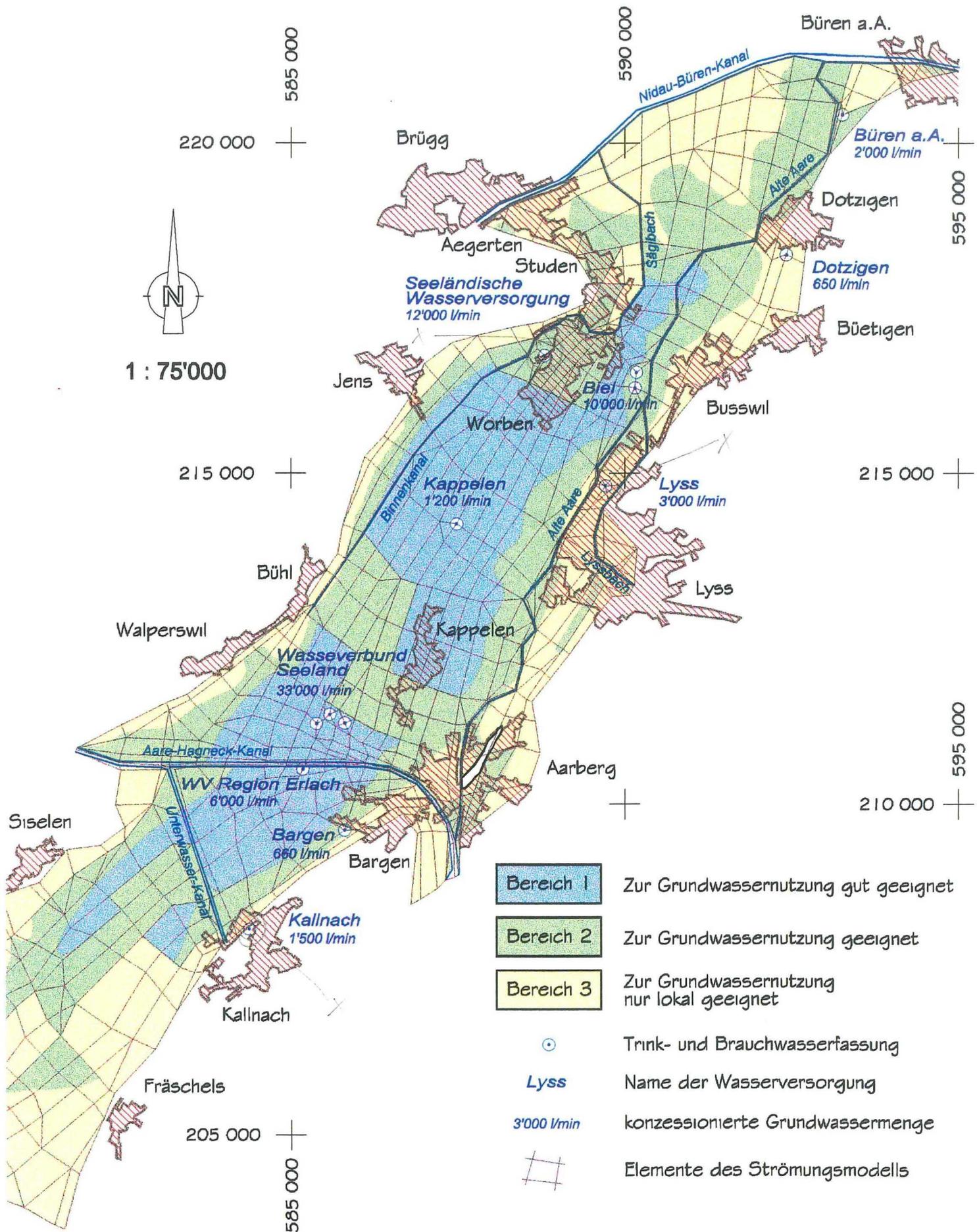
- Der nordwestliche Rand des Grundwasserleiters (Walperswil - Bühl bis hinauf gegen Jens) eignet sich für eine Nut-

zung nicht: Die Sauerstoffsättigungen sind klein, hohe Gehalte an gelöstem Eisen treten auf, die Sulfat- und DOC-Konzentrationen sind hoch.

- Die chemischen Analysen (vgl. Fig. 16 „Sauerstoffsättigung“, Fig. 18 „gelöstes Eisen“, Fig. 19 „Sulfatkonzentrationen“ und Fig. 20 „DOC-Konzentrationen“) zeigen klar:

**Geeignete Gebiete für weitere Nutzungen des Grundwassers oder für allfällig notwendige Ersatzfassungen finden sich nahe dem Aare-Hagneck-Kanal, zwischen den bestehenden Fassungen Gimmez des Wasserverbundes Seeland (WVS) und dem Siedlungsgebiet von Aarberg, sowie im nordöstlich davon gelegenen zentralen Teil des Grundwasserleiters bis in den Bereich von Worben.**

- **Einschränkend festgehalten werden muss: Die heutigen Nitratkonzentrationen (vgl. Fig. 17) liegen im Bereich Kappelen bis Worben über dem Qualitätsziel für Trinkwasser von 25 mg/l, teilweise aber sogar über dem Toleranzwert von 40 mg/l. Eine weitergehende Nutzung des Grundwasserleiters für die Trinkwasserversorgung ist daher in diesem Bereich nur zu verantworten, wenn es gelingt, die Nitratbelastung des Grundwassers entscheidend zu senken. Auf die dazu nötigen, für die Landwirte sehr einschneidenden Massnahmen, ist bereits hingewiesen worden (vgl. Abschnitt 3.5.2).**
- Am östlichen Rand des Grundwasserleiters müssen insbesondere die Auswirkungen der Abwasserfahne der Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg AG (ZRA) mit berücksichtigt werden, wenn Grundwassernutzungen vorgesehen sind (vgl. 3.5.2).



**Fig. 24** Eignung zur Grundwassernutzung aufgrund hydrogeologischer Kriterien (vgl. Fig.1)

### 4.3 Wichtige Zuströmbereiche

Wie einleitend erwähnt (vgl. 1.1.3), ist es heute rechtlich gesehen möglich, auch die Zuströmbereiche zu den einzelnen Grundwasserfassungen besser zu schützen. Im Rahmen der Untersuchungen sind deshalb mit dem numerischen Strömungsmodell die Fliessrichtungen und -geschwindigkeiten des Grundwassers berechnet worden. Figur 25 stellt als Beispiel die Strömungsverhältnisse für den Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991 dar. Ausgehend vom Mittelwert der in den Jahren 1991 bis 1993 geförderten Wassermengen sind anschliessend die Zuströmbereiche ermittelt worden für die verschiedenen Wasserstände in diesen Jahren. Sie werden bestimmt durch die Fliesspfade der einzelnen Wasserteilchen im Grundwasserleiter bis zur Grundwasserfassung. Figur 26 zeigt diese für die Fassungen Gimmiz (WVS), Kappelen - Werdthof (WV Kappelen), Worben (SWG und WV Biel PW1 / PW2).

**Die Figur zeigt eindrücklich, was es heisst, unser aus dem Grundwasser gefördertes Trinkwasser zu schützen:**

- **in allen Tätigkeitsbereichen im Grundwassereinzugsgebiet (Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie, Verkehr, Siedlung, Flussbau, usw.) muss das Bewusstsein, dass ein wertvolles Gut zu schützen ist, vorhanden sein;**
- **bei Planungen auf allen Ebenen sind die Forderungen einer hygienisch einwandfreien Trinkwasserversorgung mit zu berücksichtigen;**
- **die Wasserversorgungen haben sorgfältig darüber zu wachen, dass bei allen Tätigkeiten in den Zuströmbereichen ihre Interessen gewahrt werden;**
- **die Wasserversorgungen haben gemeinsam mit den Gewerbe- und Industriebetrieben sowie mit den Verkehrsträgern dafür zu sorgen, dass bei einer Unfallsituation, die zu einer**

**Grundwasserverschmutzung führt, rasch und wirksam eingegriffen werden kann.**

**Einwandfreies, preisgünstiges Trinkwasser nachhaltig sicherzustellen gelingt nur, wenn sich alle dafür einsetzen.**

### 4.4 Gefährdungspotential

Ausgedehnte Verschmutzungen (vgl. 3.5.2) erlauben im Seeland nicht mehr, das Grundwasser uneingeschränkt für die Trinkwasserversorgung zu nutzen. Zahlreiche Berichte über schwerwiegende Verschmutzungen des Untergrundes aus dem In- und Ausland zeigen, wie rasch eine Trinkwasserversorgung ernsthaft gefährdet werden kann. Im Rahmen der Untersuchungen sind daher mit den verwendeten numerischen Stofftransportmodellen [20, 34] zwei Schadensfälle simuliert worden, nicht um Schreckensszenarien zu malen, sondern um den Wert des Gutes Grundwasser zu unterstreichen. „**Meistens belehrt erst der Verlust uns über den Wert der Dinge**“ sagt Schopenhauer.

#### **Unfall: Strassenzisterne**

Bei einem Unfall auf der Autobahn bei der Überführung der Strasse von Lyss nach Kappelen kommt ein Zisternenwagen (Inhalt 7000 l Tetrachlorethen  $C_2Cl_4$ , Umgangsbezeichnung „PER“) von der Fahrbahn ab. Aus dem leckgeschlagenen Tank fliessen 3500 l PER mit dem Grundwasser ab (Löslichkeit 150 mg/l). Der Rest wird aufgefangen oder bleibt, da PER ein spezifisches Gewicht von 1.430 kg/l hat, in Senken des Grundwasserstauers liegen.

Figur 27 zeigt die Verschmutzungsfahne. Da PER sich sehr langsam ausbreitet und sehr schlecht abbaubar ist, bleibt es über viele Jahrzehnte im Grundwasser. Der Toleranzwert für Trinkwasser liegt bei 10 Mikrogramm [10 µg/l; 11]. Das heisst:

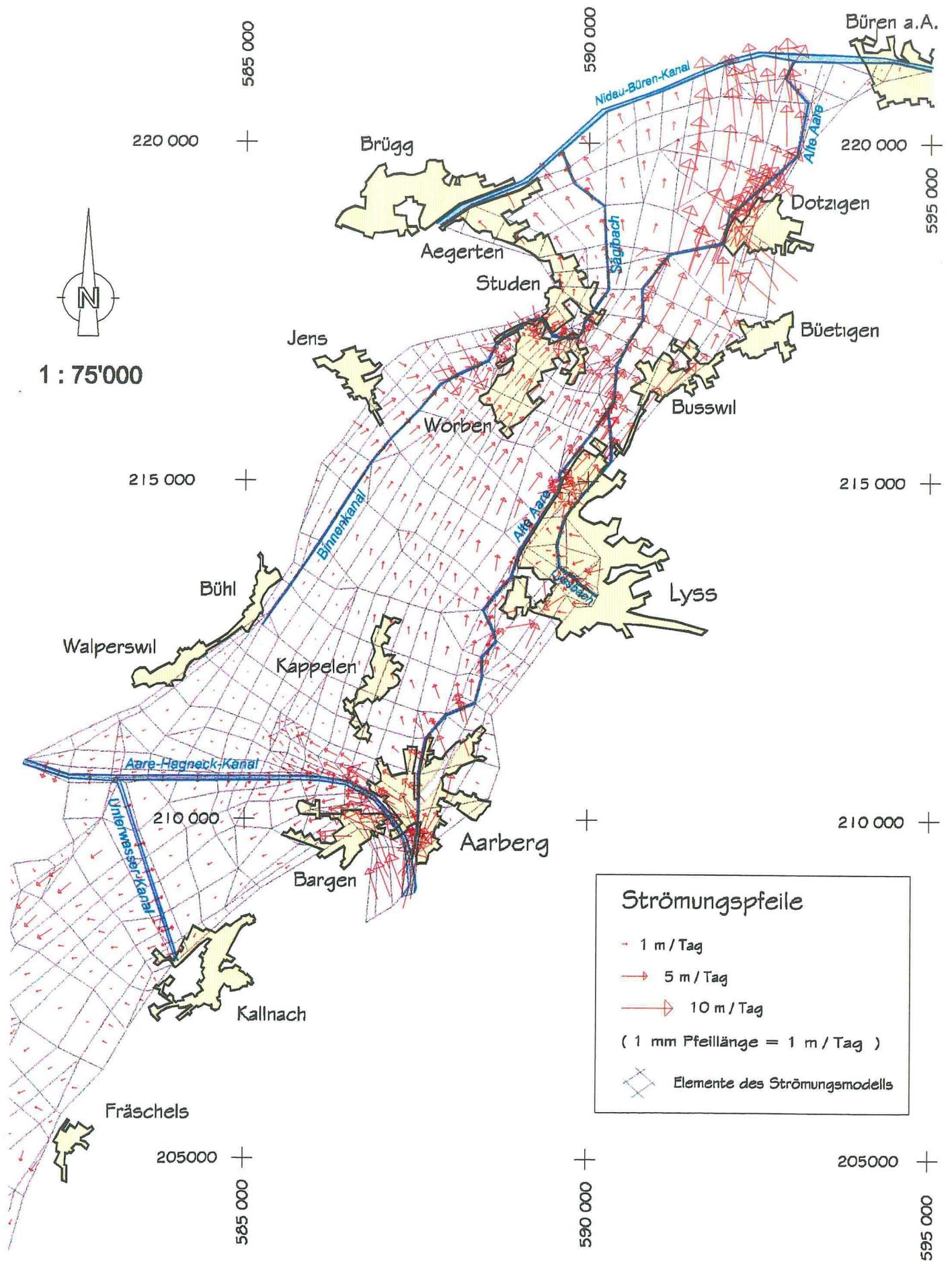


Fig. 25 Strömungspfeile, Mittelwasserstand vom 2. Mai 1991

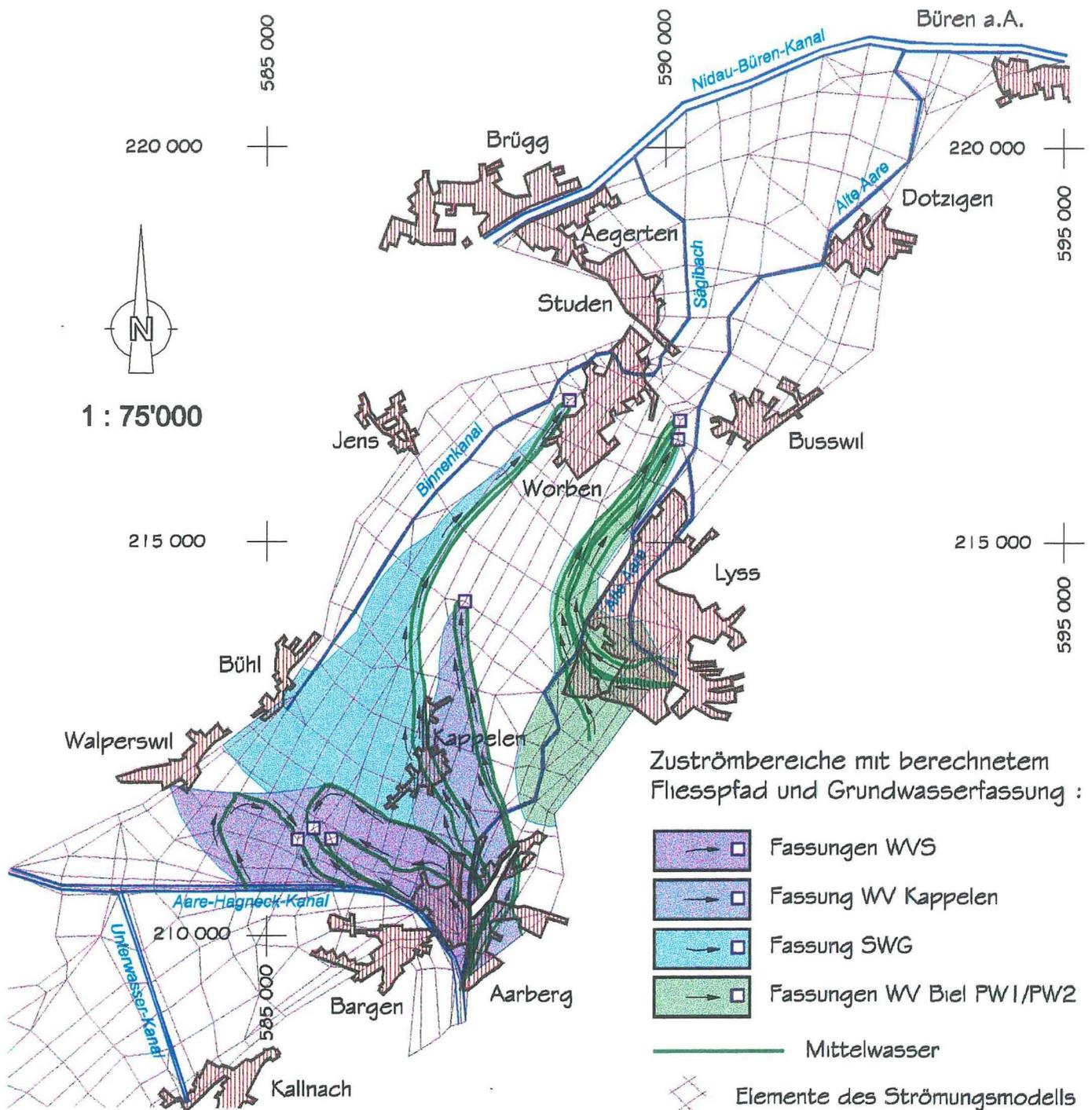


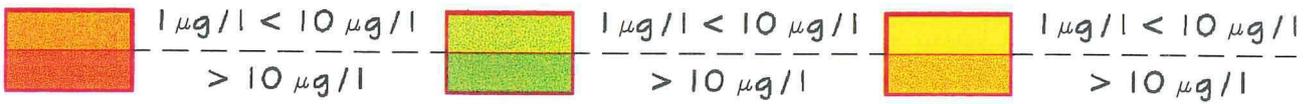
Fig. 26 Zuströmbereiche einzelner Fassungen im Grundwasserleiter Seeland. Berechnung der Fließpfade mit Hilfe des numerischen Strömungsmodells. Eingezeichnet sind nur die Fließpfade für die Mittelwasserstände 1991-93. Die Ausdehnung der Zuströmbereiche berücksichtigt aber auch die Hoch- und Niederwasserstände. Entnahmemengen: Mittelwert der Entnahmen 1991-1993.

# Ausbreitung der Verschmutzung des Grundwassers durch PER

nach 1 Jahr

nach 5 Jahren

nach 20 Jahren



Toleranzwert für Trinkwasser :  $10 \mu\text{g/l}$ ; [ 11 ]

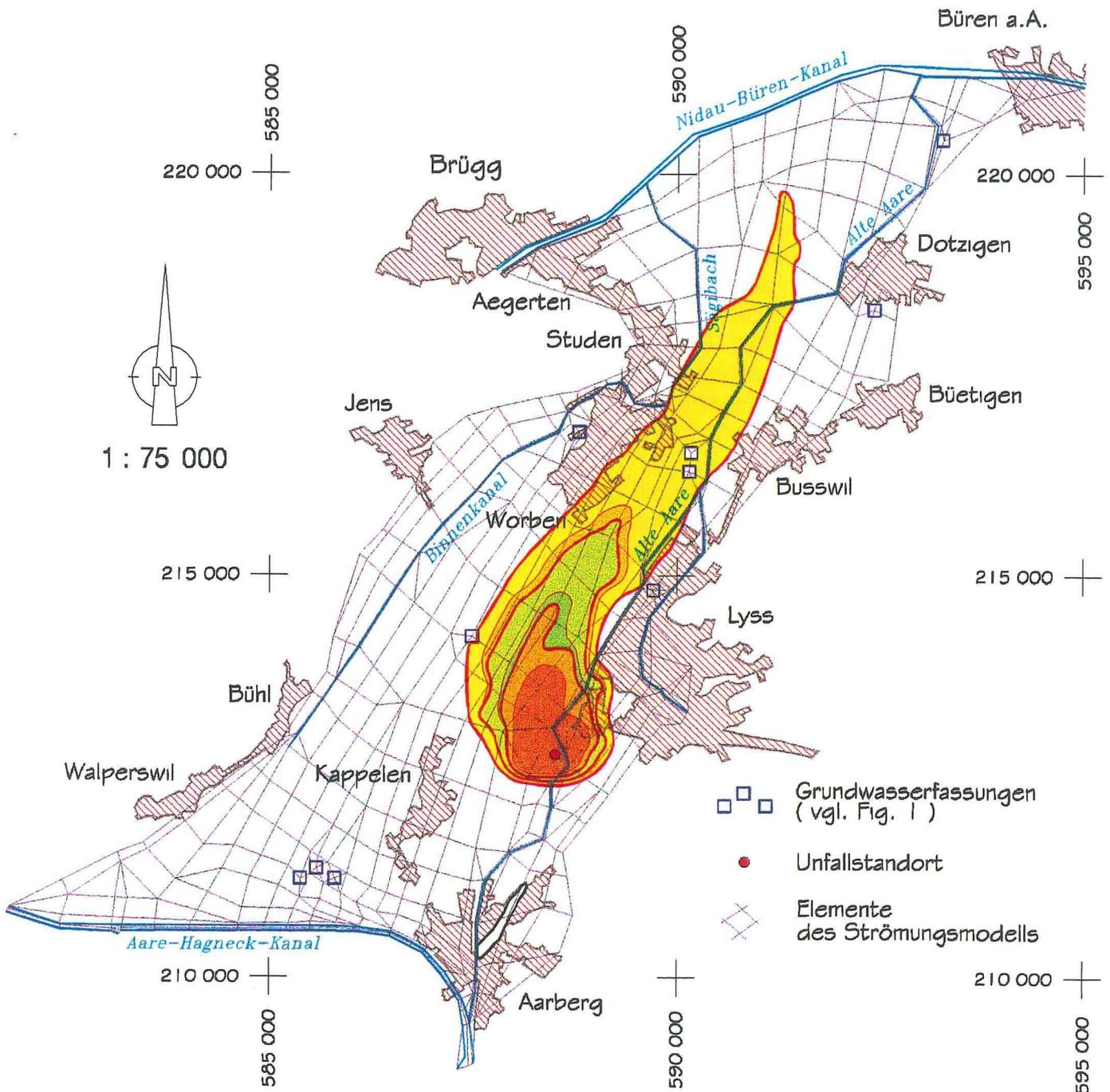


Fig. 27 Unfall mit einer Strassenzisterne : 3'500 l Tetrachlorethen  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  (PER) fließen mit dem Grundwasser ab

**In grösseren Bereichen des Vorkommens weist das Grundwasser über Jahrzehnte nicht mehr Trinkwasserqualität auf. Äusserst kostspielige Sanierungen wären nötig.**

### **Dicksaft-Havarie ZRA**

Auf dem Gelände der Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg AG (ZRA) werden bei der Herstellung von Zucker entstehende Zwischenprodukte in Tankanlagen gelagert. Die von der Störfallverordnung [5] geforderte Risikoermittlung [Protekta Risiko-Beratungs AG 1993] hat gezeigt, dass z.B. bei einem Sabotageakt mit Sprengladungen eine beträchtliche Gefährdung der Umwelt durch ausfliessenden Dicksaft (56 bis 65% Zucker in Wasser) besteht. Die grösste Gefahr geht von den zwei je 20'000 m<sup>3</sup> fassenden Dicksaft-Tanks aus. Der Dicksaft könnte im Bereich der Anlagen versickern oder über bestehende Meteorwasserleitungen in die Alte Aare fliessen und von hier ins Grundwasser infiltrieren.

Der Dicksaft wird sich vollständig mit dem Grundwasser mischen. Er ist für Mikroorganismen, die im Untergrund an Oberflächen adsorbiert in einem Biofilm auftreten, ein ausgezeichnete Nährstoff. Sie übernehmen bei Redoxreaktionen die Rolle eines Katalysators [32]. Der Dicksaft wird oxidiert. Sauerstoff, dann Nitrat und weitere im Boden vorhandene Oxidationsmittel werden reduziert.

Wir nehmen an, von den 40'000 m<sup>3</sup> Dicksaft könnten 36'500 m<sup>3</sup> zurückgehalten werden und nur 3'500 m<sup>3</sup> würden auf den genannten Wegen ins Grundwasser gelangen. Aus Figur 28 ersehen wir:

**Die Folgen einer Dicksaft-Havarie würden über viele Jahre das Grundwasser gütemässig beeinträchtigen.**

Durch die im Boden stattfindenden reduzierenden und oxydierenden Reaktionen (Redoxreaktionen) wird in einem grossen Teil des Leiters der Sauerstoff aufgebraucht

und das Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) abgebaut. Viele Fassungen würden stark beeinträchtigt.

## **5. Künftige Aufgaben**

Wie bedeutend das Grundwasservorkommen für die heutige und künftige regionale Trink- und Brauchwasserversorgung ist, wird im Abschnitt 1.1.2 dargelegt, die Charakteristik des Grundwasserleiters, die Speisung und der Chemismus des Grundwassers sowie die Nutzungsmöglichkeiten werden beschrieben (vgl. 2, 3 und 4), auf bestehende und mögliche Gefährdungen wird hingewiesen (vgl. 3.5.1 und 2, 4.4). **Abschliessend sollen die wichtigsten Aufgaben noch einmal kurz erwähnt werden, die wahrgenommen werden müssen, damit das kostbare Gut erhalten und auch künftig möglichst effizient genutzt werden kann (vgl. 1.2).**

### **Grundwassermenge**

- Das heutige **hydrometrische Messstellennetz** genügt den Anforderungen (vgl. 3.2 bis 4). Es muss aber bei neuen Erkenntnissen (z.B. Änderungen bei der Speisung des Vorkommens wegen zurückgehender Infiltration aus Oberflächengewässern) immer wieder geprüft werden, ob es seine Aufgabe noch erfüllt. Wenn nötig ist es anzupassen.
- Es ist darauf zu achten: Ein möglichst grosser Anteil der **Niederschläge** (vgl. 3.2.1) des Gebietes sollte versickern können. Das heisst: ⇒ unverschmutzte Abwässer sind wenn möglich wieder in den Grundwasserleiter zu versickern; ⇒ die ackerbaulich genutzten Flächen sollten möglichst wenig verdichtet werden; ⇒ Gebiete dürfen nur entwässert werden, wenn dies die Nutzung unbedingt erfordert; ⇒ das gefasste Wasser sollte, wenn dies von der Güte her zu verantworten ist, wieder versickert werden.

Verschmutzungen des Grundwassers durch Dicksaft, die Sauerstoffzehrung und Redoxreaktionen zur Folge haben



□ □ Grundwasserfassungen (vgl. Fig. 1)

■ ZRA - Unfallstandort

⊠ Elemente des Strömungsmodells

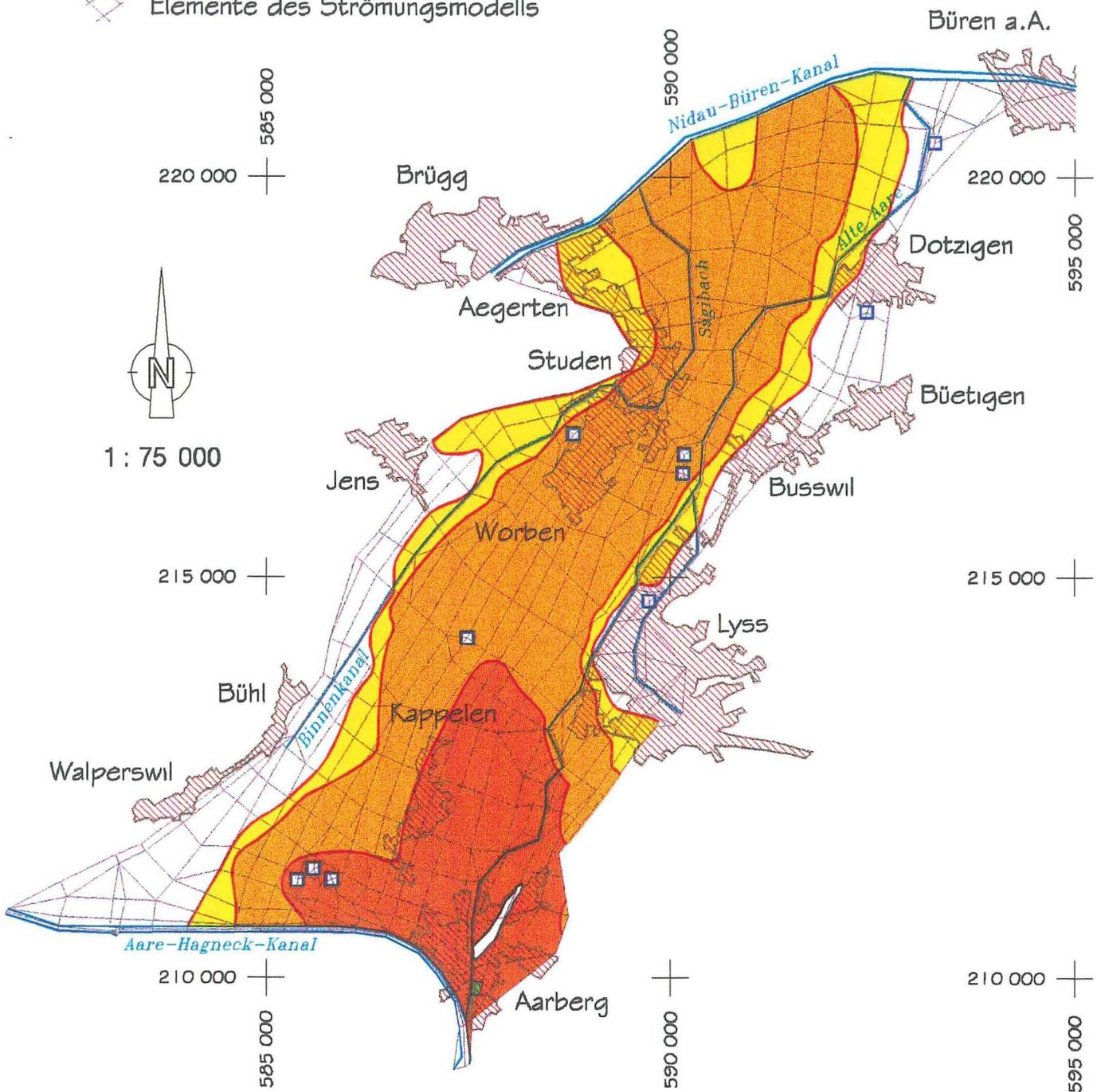


Fig. 28      Ausbreitungsfahnen bei einer Dicksaft-Havarie:  $3'500 \text{ m}^3$  fließen aus einer Tankanlage der ZRA ins Grundwasser

Die **Infiltration der Oberflächenwässer** ist sorgfältig zu beobachten (vgl. 3.2.2). Da befürchtet werden muss, dass die Infiltrationsraten weiter zurückgehen, sind rechtzeitig Massnahmen zu planen, die eine ausreichende Grundwasserspeisung sicherstellen.

### Grundwassergüte

- **Die für die Trinkwasserversorgung massgebenden Zuströmbereiche werden heute ausreichend überwacht.** Die Güteentwicklung ist sorgfältig zu verfolgen im Bereich der Trinkwasserfassungen aber auch in der Umgebung von Verschmutzungen und Verdachtsflächen. Wenn nötig sind die Beobachtungsstandorte und die zu bestimmenden Güte- oder Verschmutzungsparameter anzupassen (vgl. 1.1.4).
- Die Wasserversorgungen sind zusammen mit den Gemeinden dafür verantwortlich, dass die in rechtsgültigen **Schutzzonen (Fassungsbereich, engere und weitere Zone S) und Zuströmbereichen** verfügbaren Massnahmen eingehalten werden (vgl. 1.1.3 und 4.3).
- **Verschmutzungen des Grundwasserleiters:** ⇒ **Die durch die Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg AG (ZRA) verursachten Verschmutzungen** (vgl. 3.2.5) sind aus technischen und finanziellen Gründen nicht sanierbar. Die noch Jahrzehnte dauernden Abbauvorgänge im Untergrund müssen aber beobachtet werden, Wissenslücken sind zu schliessen. Diese Untersuchungen sind vom Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (GSA) aufgenommen worden. ⇒ **Weitere Verdachtsflächen** wie ehemalige Kehrdeponien, das Industriegebiet von Lyss, die ARA Lyss usw. sind zu untersuchen. Es ist abzuklären, wie weit sie das genutzte oder nutzbare Grundwasservorkommen beeinträchtigen können. Notfalls sind Beobach-

tungs- oder Sanierungskonzepte mit allen Betroffenen zu diskutieren und zu realisieren. ⇒ Die **Nitratgehalte des Grundwassers** (vgl. 3.5.2) sind weiterhin sorgfältig zu überwachen, die aufgenommenen Anstrengungen, die Belastung des Grundwassers zu verringern, sollten weitergeführt werden, auch wenn rasche Erfolge nicht erwartet werden dürfen.

### Pflichten der Wasserversorgungen

- Die zu lösenden Aufgaben (vgl. Fig. 3, sowie 4.3) erfordern: **Die Wasserversorgungen des Seelandes müssen eng zusammenarbeiten.** Sie sitzen alle im gleichen Boot, müssen gemeinsam die zu erreichenden Ziele, die zu treffenden Massnahmen für eine optimale Nutzung des Vorkommens und einen effizienten Schutz gegen bekannte und mögliche Gefahren (vgl. 3.5.2 und 4.4) festlegen.
- **Die Wasserversorgungen müssen aber auch eng mit den zuständigen kantonalen Behörden, den Gemeinden, sowie mit Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft zusammenarbeiten** (vgl. Fig. 3, sowie 4.3). Die Freiheitsgrade der Wasserversorgungen sind beschränkt: Die Eigenschaften des Grundwasserleiters, die Speisung und die chemischen Eigenschaften des Grundwassers, bestehende Verschmutzungen und mögliche Gefahrenherde schränken die Nutzungsmöglichkeiten des Grundwasservorkommens stark ein. Es ist deshalb wichtig, dass die Wasserversorgungen bei Planungen und Realisierungen in allen Bereichen ein Mitspracherecht erhalten. Ihren Forderungen ist, wegen den beschränkten Freiheitsgraden, in jedem Falle ein hoher Stellenwert einzuräumen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BALMER, W. [1995]: Nitratbelastung des Grundwassers im Urtenental 1987 bis 1993. Ist die integrierte Produktion eine Sanierungsmöglichkeit? - *Eclogae geol. Helv.* 88/2, 435 - 449
- [2] BLAU, R.V., MUCHENBERGER, F., TRÜEB, E., WERNER, A. & WÜRSTEN, M. [1984]: Quantitative Erkundung von Lockergesteins - Grundwasserleitern am Beispiel Emmental: Handbuch; erarbeitet im Rahmen des NFP 2 „Grundlegende Probleme des Schweiz. Wasserhaushaltes“. - *Gas-Wasser-Abwasser*, 84/5.
- [3] BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (BUS) [1977/82]: Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutz zonen und Grundwasserschutzarealen. - Bern (BUS).
- [4] id. [1985]: Gewässerschutzstatistik. - Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 46. - Bern (BUS; Dokumentationsdienst).
- [5] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) [1991]: Handbuch I zur Störfallverordnung (StFV); Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen. - Bern (EDMZ).
- [6] id. [1992]: Handbuch III zur Störfallverordnung (StFV); Richtlinien für Verkehrswege. - Bern (EDMZ).
- [7] id. [1993]: Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz - Konsequenzen für Gewässerschutz und Umweltentwicklung. - Schriftenreihe Umwelt Nr. 209. - Bern (BUWAL; Dokumentationsdienst).
- [8] id. [1995]: Daten zum Gewässerschutz in der Schweiz. - Umweltmaterialien Nr. 22; Gewässerschutz. - Bern (BUWAL; Dokumentationsdienst).
- [9] id. [1996]: Strategie zur Reduktion von Stickstoffemissionen. - Schriftenreihe Umwelt Nr. 273. - Bern (BUWAL; Dokumentationsdienst).
- [10] BAU-, VERKEHRS- UND ENERGIEDIREKTION DES KANTONS BERN (BVE) [1994]: Leitbild der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern. - Bern (BVE).
- [11] EIDG. DEPARTEMENT DES INNERN [1995]: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln. - Bern (EDMZ).
- [12] EIDG. LEBENSMITTELBUCH - KOMMISSION [1985, Nachtrag 1988]: Schweizerisches Lebensmittelbuch, Kapitel 27: Trinkwasser und Mineralwasser. - Bern (EDMZ).
- [13] FACHKOMMISSION NITRATBEKÄMPFUNG, PROJEKT NITRAT [1996]: Programm zur Ursachenbekämpfung der Nitratauswaschung im Kanton Bern 1989 - 1995. Schlussbericht. - Bern (Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, Koordinationsstelle für Umweltschutz).

- [14] GEOTECHNISCHES INSTITUT AG [1998]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern - Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Seeland. - Technischer Bericht. - Bern (WEA) - nicht veröffentlicht.
- [15] GROSSER RAT DES KANTONS BERN [1996]: Kantonales Gewässerschutzgesetz vom 11. November 1996. - Bern (Staatskanzlei).
- [16] HALMES, C. [1993]: Redoxprozesse im Grundwasser am Fallbeispiel Aarberg. - Neuchâtel (Université de Neuchâtel, Centre d'hydrogéologie) - nicht veröffentlichte Diplomarbeit.
- [17] HOEHN, E., BLAU, R.V., HARTMANN, D., KANZ, W., LEUENBERGER, H., MATOUSEK, F. & ZUMSTEIN, J. [1994]: Der Zuströmbereich als Element eines zeitgemässen Grundwasserschutzes. - Gas-Wasser-Abwasser 3/94, 187 - 193.
- [18] KELLERHALS, P. & TRÖHLER, B. [1976]: Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern. Hydrogeologie Seeland - Bern (WEA) - vergriffen.
- [19] KELLERHALS, P. & HÄFELI, CH. [1988]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Seeland: Infiltration aus Hagneckkanal und Alter Aare. - Bern (WEA).
- [20] KINZELBACH, W. [1993]: Numerische Methoden zur Modellierung des Transportes von Schadstoffen im Grundwasser, 2. Auflage. - Schriftenreihe gwf - Wasser, Abwasser, Band 21. - München (Oldenbourg).
- [21] KOZEL, R. & ZWAHLEN, J.F. [1994]: Methodical approach for the detection of pesticides in groundwater: a Swiss example. - Eclogae geol. Helv. 87/2, 439 - 444.
- [22] KUHLMANN, U. [1992]: Inverse Modellierung in geklüfteten Grundwasserträgern. - Dissertation. - Mitteilung Nr. 120, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.
- [23] KUMMERT, R. & STUMM, W. [1992]: Gewässer als Ökosysteme. - Zürich (vdf, 3. Aufl.)
- [24] OMLIN, M. & BOSSART, P. [1993]: GW-Neu-Handbuch. Ein Programm zur Bestimmung von Bodenwasserbilanz und Grundwasserneubildung. - Geotechnisches Institut AG, Bern, erarbeitet im Auftrage des WEA; nicht veröffentlicht.
- [25] REGIERUNGSRAT DES KANTONS BERN [1994]: Bernische Agrarstrategie 2000. - Bericht des Regierungsrates vom 12. Januar 1994.
- [26] SCHÄLCHLI, U. [1993]: Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen. - Mitteilung Nr. 124, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.
- [27] SCHWEIZ. BUNDESRAT [1991]: Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung StfV). - Bern (EDMZ).

- [28] id. [1998]: Gewässerschutzverordnung (GSchV). - Bern (EDMZ).
- [29] SCHWEIZ. BUNDESVERSAMMLUNG [1983, mit Revisionen]: Bundesgesetz über den Umweltschutz. - Bern (EDMZ).
- [30] id. [1998]: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz GSchG). - Bern (EDMZ).
- [31] SCHWEIZ. METEOROLOGISCHE ANSTALT (SMA) [monatlich]: Monatstabellen der meteorologischen Stationen der Schweiz. - Zürich (SMA).
- [32] SIGG, L. & STUMM, W. [1994]: Aquatische Chemie. - Zürich (vdf).
- [33] TRÖSCH, J. [1975]: Numerische Simulation Dupuit'scher Grundwasserströmungen. - Mitteilungen Nrn. 14 und 15, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (sowie nicht veröffentlichte Überarbeitungen 1990, 1993, 1995).
- [34] id. [1993]: 2-D-Grundwasser- und Stoffausbreitungsmodell. - Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich; nicht veröffentlicht.
- [35] WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (WEA) [seit 1976, jährlich]: Hydrographisches Jahrbuch des Kantons Bern. - Bern (WEA).