

Modellmäßige Ermittlung von Einflüssen auf die Grundwassergüte in der Westbank

Vom Fachbereich
Bauingenieur- und Vermessungswesen
der Universität Hannover

Zur Erlangung des akademischen Grades
DOKTOR – INGENIEUR
(Dr.- Ing.)
genehmigte Dissertation

von
M. Sc.- Ing. Daoud Qawasmeh
geboren am 21.11.1963

Hannover 2002

Diese Arbeit erscheint auch im Heft 89 der Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover

Referent Prof. Dr.-Ing. Rolf Mull,
 Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen
 Wasserbau der Universität Hannover

Korreferent Prof. Dr. -Ing. Martin Achmus
 Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau
 der Universität Hannover

Tag der Promotion : 25. November 2002

Die vorliegende Arbeit entstand im Zuge meiner langjährigen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf Mull meinen größten Dank für die Betreuung meiner Arbeit aussprechen.

Außerdem möchte ich insbesondere Herrn Dr.-Ing. Peter-W. Boochs für seine Anregungen, Herrn Prof. Dr.-Ing. Max Billib für seine Herzlichkeit und den Mitarbeitern des Instituts für die freundliche Unterstützung danken.

Ich danke ganz besonders meiner Familie, die meine lange Abwesenheit zur Fertigstellung der vorliegenden Arbeit geduldet und mich in vielfältiger Weise stets unterstützt hat.

*Diese Arbeit widme ich meinem Vater
Fayez Qawasmeh, der mir diesen Werdegang ermöglicht hat, und
den gefallenen Opfern meines Heimatlandes Palästina*

Daoud Qawasmeh

Modellmäßige Ermittlung von Einflüssen auf die Grundwassergüte in der Westbank

Daoud Qawasmeh

Zusammenfassung

Die wichtigste Grundwasserressource, aus der Israelis und Palästinenser Wasser für die Bewässerung und für die Trinkwasserversorgung beziehen, ist der sogenannte Berggrundwasserleiter (Mountain Aquifer). Beide Seiten haben ein Abkommen über die Aufteilung der Wassermenge auf beide Parteien unterzeichnet. In zunehmendem Maße bereitet aber auch die Wassergüte ein Problem. Als Indikatoren für die Grundwassergüte wurden Nitrat, Sulfat und Chlorid gewählt. Im Wasser vieler Beobachtungsbrunnen liegen die Konzentrationen dieser Chemikalien über Grenzwerten für Trinkwasser, die in der EU gelten.

Auf einer Fläche von ca. 900 km² wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Ermittlung der Konzentrationen dieser Stoffe im Sickerwasser, welches das Grundwasser Neubildet.
- Identifikation der wichtigsten Stoffquellen, aus denen die Stoffe stammen.
- Berechnung der Konzentrationen in der Zukunft unter verschiedenen Annahmen.

Es wurde ermittelt, dass die Konzentrationen der genannten Stoffe im Sickerwasser im Jahre 1993 um das Fünffache über den Werten im Grundwasser lagen. Insbesondere stieg der Nitratgehalt im Sickerwasser und auch im Grundwasser exponentiell an.

Dieser Anstieg der Nitratkonzentration ist im wesentlichen auf die Versickerung von Abwasser aus Haushalten, dem Gewerbe und der Industrie zurückzuführen, das ungeklärt im Boden versickert. Bei Sulfat und Chlorid tragen auch die vielen Müllhalden einen wesentlichen Anteil bei. Etwas von diesen Stoffen im Sicker- und Grundwasser ist auch der Landwirtschaft zuzuordnen. Die Fortsetzung der zunehmenden Grundwasserverschmutzung ist auf folgende Faktoren zurück zu führen:

1. Die Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone beträgt unter landwirtschaftlich genutzten Flächen mehrere Jahrzehnte, unter Deponien und Abwasserteichen ca. 10 Jahre.
2. Die Menge an Sickerwasser und der Stoffeinträge ist abhängig von der Einwohnerdichte; diese steigt exponentiell an.
3. Es besteht wenig Hoffnung, dass in absehbarer Zeit wirksame Maßnahmen für den Bau sicherer Deponien und einer geordneten Abwassersammlung und –behandlung ergriffen werden.

Eine spektakuläre Zunahme der Grundwasserverschmutzung in den nächsten Jahrzehnten ist durch die genannten aber auch durch andere Stoffe zu erwarten. Neben einer Beschränkung der Wassernutzung aus quantitativen Gründen kommt bald eine Restriktion der Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser aus qualitativen Erwägungen hinzu.

Schlagwörter: Grundwassergüte; Indikatorstoffe; Westbank.

Evaluation of effects on groundwater quality in aquifers under the West Bank,

Daoud Qawasmeh

Summary

The most important groundwater resource shared by Israelis and Palestinians is the so called Mountain Aquifer. Part of this is located in the West Bank. Both sides have signed an agreement about the distribution of the water quantity between both parties. Little is known about the groundwater quality. Some data exist concerning the content of quality indicators like nitrate, sulphate, and chloride. The concentration of these compounds are increasing dramatically. At many locations of observation wells, the content is beyond limits which are given for the use as drinking water in the European Union

Within an area of about 900 km² on the West Bank the following investigations were carried out:

- Quantification of the content of the given compounds within the seepage water recharging groundwater
- Identification of the most important sources contribution to the intrusion of contaminants
- Prognosis of the further increase of the contaminants within the groundwater under several assumptions

It was found that the content of the given compounds in the seepage water approaching groundwater is by far higher than in the groundwater. Especially the nitrate content increases exponentially between 1970 and 2000. The rise of the concentration in groundwater will continue.

Mostly sewage water from households and industry contributes to the phenomenon of high nitrate contents. Seepage water from all kinds of waste disposals should be the most important source for sulphate and chloride. A certain quantity of the given chemicals originates from agricultural activities.

The continuation of groundwater contamination is due to the following facts:

1. The travel time of seepage water within the unsaturated zone is several decades from arable land and about a decade from the other sources.
2. The quantity of sewage water and waste is dependent on the number of people living in that area. This number is increasing.
3. No hope exists at the moment that activities will be started to construct safe deposits for waste and safe systems to collect and to treat sewage water.

Even if the intrusion of contaminants into the underground remains on the level of 1993 a further spectacular rise of their content has to be envisaged in the decades coming. But it was already mentioned that the population increases. It has to be expected that other chemicals like pesticides, hydrocarbons and chlorinated hydrocarbons also contribute to groundwater contamination. Besides a limitation of water use concerning the quantity more and more problematic is the use of groundwater for drinking purposes in that area.

Keywords: Groundwater quality; indicators; West Bank.

Modellmäßige Ermittlung von Einflüssen auf die Grundwassergüte in der Westbank

Inhaltsverzeichnis

1	<u>Einleitung</u>	4
2	<u>Ansätze zur Problemlösung und Methodik der Untersuchungen.....</u>	6
2.1	Ansatz zur Berechnung der Stoffeinträge ins Grundwasser aus der Kenntnis der Stoffkonzentrationen im Grundwasser	6
2.2	Ansatz zur Berechnung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser aus der Kenntnis der Applikation.	9
3	<u>Das Untersuchungsgebiet</u>	11
3.1	Lage des Untersuchungsgebietes	11
3.2	Das Grundwassersystem	13
3.2.1	Geometrische und geologische Gegebenheiten	13
3.2.2	Grundwasserstände	14
3.2.3	Flurabstände	14
3.2.4	Durchlässigkeit und Transmissivität	17
3.2.5	Porosität (Hohlraumanteil).....	17
4	<u>Wasserhaushalt</u>	18
4.1	Meteorologische Situation	18
4.2	Grundwasserneubildung	20
4.3	Wasserdargebot.....	22
4.4	Wasserversorgung	23
4.5	Grundwasserentnahme	28
5	<u>Qualitativer Zustand der Grundwässer.....</u>	30
5.1	Stoffgehalt im Grundwasser	30
5.1.1	Nitratgehalt im Grundwasser	30
5.1.2	Sulfatgehalt im Grundwasser	34
5.1.3	Chloridgehalt im Grundwasser	37
5.2	Flächennutzung.....	40
5.3	Stoffeinträge in das Grundwasser	42
5.4	Pflanzenschutzmittel im Grundwasser	48

6	<u>Bewertung der Befunde</u>	<u>50</u>
7	<u>Grundwassermodellierung</u>	<u>54</u>
7.1	Aufbau des Grundwassermodells.....	54
7.1.1	Ränder und Randbedingungen	54
7.1.2	Hydraulische und hydrologische Parameter.....	54
7.2	Modelleichung	56
7.2.1	Transmissivität	56
7.2.2	Grundwasserneubildung	56
7.2.3	Grundwasserbilanz.....	56
8	<u>Stoffbilanzen und Simulation der Stoffspeicherung.....</u>	<u>61</u>
8.1	Validierung des Stoffspeichermodells	61
8.2	Prognoserechnungen	67
8.3	Diskussion der Ergebnisse.....	73
9	<u>Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserqualität.....</u>	<u>75</u>
10	<u>Weitere Annahmen über die Entwicklung der Stoffeinträge in der Zukunft..</u>	<u>81</u>
11	<u>Konsequenzen</u>	<u>83</u>
11.1	Messnetz und Datenverwaltung	83
11.2	Einsatz eines Informationssystems	83
12	<u>Zusammenfassung</u>	<u>85</u>
13	<u>Literaturverzeichnis.....</u>	<u>88</u>
14	<u>Verzeichnis der Abbildungen</u>	<u>92</u>
15	<u>Tabellenverzeichniss.....</u>	<u>95</u>
16	<u>Formelzeichen und Abkürzungen</u>	<u>96</u>

1 Einleitung

Im Nahen Osten sind Konflikte um die Verteilung der bestehenden Wasserressourcen vorgezeichnet. Die Aufteilung des Wassers auf der Westbank zwischen den Israelis und den Palästinensern war eines der schwierigsten Probleme auf dem Weg zu einem palästinensischen Staat. Auf der Westbank erfolgt die Wasserversorgung vornehmlich aus dem Grundwasser. Einem Dargebot von ca. 1 Milliarde m³/a stand im Jahre 1990 ein Bedarf von 600 Mio. m³/a gegenüber, davon auf israelischer Seite 475 Mio. m³/a, auf palästinensischer Seite 125 Mio. m³/a. Als Folge der Entwicklung der Bevölkerungszahl wird für das Jahr 2020 ein Bedarf auf der palästinensischen Seite für die Trinkwasserversorgung und insbesondere für die Nahrungsmittelproduktion (Bewässerung) von ca. 700 Mio. m³/a geschätzt (Abu Mayleh 1994). In wenigen Jahren wird also der Bedarf auf Seiten der Palästinenser das gesamte Dargebot übersteigen.

Während die Quantität des Wassers etwa bekannt ist, wurde die qualitative Seite bisher wenig betrachtet (Applied Research Institute of Jerusalem, ARIJ-1995). Messungen von Inhaltsstoffen im Grundwasser liegen nur in geringem Umfang und beschränkt auf wenige Stoffe vor. Nahezu das gesamte Abwasser von gegenwärtig 2,7 Mio. Menschen versickert jedoch im Boden. Eine geordnete Abwasserentsorgung ist nicht vorhanden. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen werden u.a. neben Düngemitteln auch große Mengen von Pflanzenschutzmitteln ausgebracht. Darunter befinden sich Produkte, deren Verwendung in Deutschland verboten sind. Abfälle werden ungeordnet entsorgt. Es ist zu erwarten, dass in Gewerbe- und Industriebetrieben zahlreiche Stoffe in größeren Mengen in den Untergrund eindringen und eine Bedrohung für die Grundwassergüte darstellen.

Neben der aufgezeigten Knappheit der Wassermenge besteht die Gefahr einer Verschlechterung der Grundwasserqualität und damit eine Gefährdung der Gesundheit der Wasserkonsumenten.

Ziele der vorgelegten Arbeit waren:

- Exemplarische Ermittlung des Eintrags von Stoffen in das Grundwasser.
- Prognostizierung der Entwicklung der Konzentration von Inhaltsstoffen im Grundwasser.
- Untersuchung der Wirkung von Maßnahmen zur Begrenzung des Stoffeintrages.

Damit sollten Grundlagen für die Sicherstellung der Wasserversorgung hinsichtlich der Qualität geliefert werden. Die Untersuchung erfolgte exemplarisch in einem Teilgebiet der Westbank.

Zur Verfügung standen Daten über Konzentrationen von Nitrat, Chlorid und Sulfat im Grundwasser über einen Zeitraum von 20 Jahren in einigen Beobachtungsbrunnen. Von den vorhandenen Daten ausgehend wurde auf die Konzentration der genannten Stoffe im Sickerwasser geschlossen, das dem Grundwasser zufließt. Die Ergebnisse wurden mit Erfahrungswerten überprüft, die den Eintrag von Stoffen als Folge der Landnutzung betreffen. Unter verschiedenen Annahmen über die Veränderung dieser Konzentrationen im Sickerwasser sind Prognosen über die Entwicklung der Konzentrationen im Grundwasser in den kommenden 50 Jahren gemacht worden.

Keine Daten lagen z.B. über die Konzentration von Pflanzenschutzmitteln im Grundwasser vor. Aus der Kenntnis der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wurde darüber hinaus versucht, deren zu erwartende Konzentrationen im Grundwasser zu berechnen.

Aus den Ergebnissen wurden Folgerungen für Maßnahmen zur Verminderung von Stoffeinträgen in das Grundwasser gezogen und deren Wirkungen ermittelt. Für eine exemplarische Fallstudie wurde ein Teilgebiet der Westbank von ca. 900 km² gewählt.

2 Ansätze zur Problemlösung und Methodik der Untersuchungen

2.1 Ansatz zur Berechnung der Stoffeinträge ins Grundwasser aus der Kenntnis der Stoffkonzentrationen im Grundwasser

Es waren zunächst die Stoffeinträge in das Grundwasser mit dem Sickerwasser zu ermitteln. Als Daten lagen Messungen der Konzentration von NO_3 , SO_4 und Cl , in den Jahren 1973, 1983 und 1993 im Grundwasser aus einigen Brunnen im ausgewählten Modellgebiet vor. Aus der Veränderung dieser Konzentrationen sollte zunächst auf den Eintrag geschlossen werden. Unter Berücksichtigung der Datenlage basieren die Ermittlungen der Stoffeinträge in das Grundwasser auf Betrachtungen von Stoffbilanzen. Es galt zunächst, die Wasserflüsse und die darin enthaltenen Konzentrationen zu ermitteln. Der Massenfluss J ergibt sich zu:

$$J = c Q \quad 2.1.1$$

c : Konzentration eines Stoffs im jeweiligen Volumen des betrachteten Volumenflusses.

Q : Volumenfluss (Durchfluss).

Es werden Stoffe mit dem Sickerwasser ins Grundwasser eingetragen. Es verlassen Stoffe den Grundwasserleiter mit dem Abfluss zu Oberflächengewässern und Entnahmebrunnen. Im Grundwasser selbst werden Stoffe gespeichert. In Abb. 2.1 sind die zu betrachtenden Stoffflüsse skizziert.

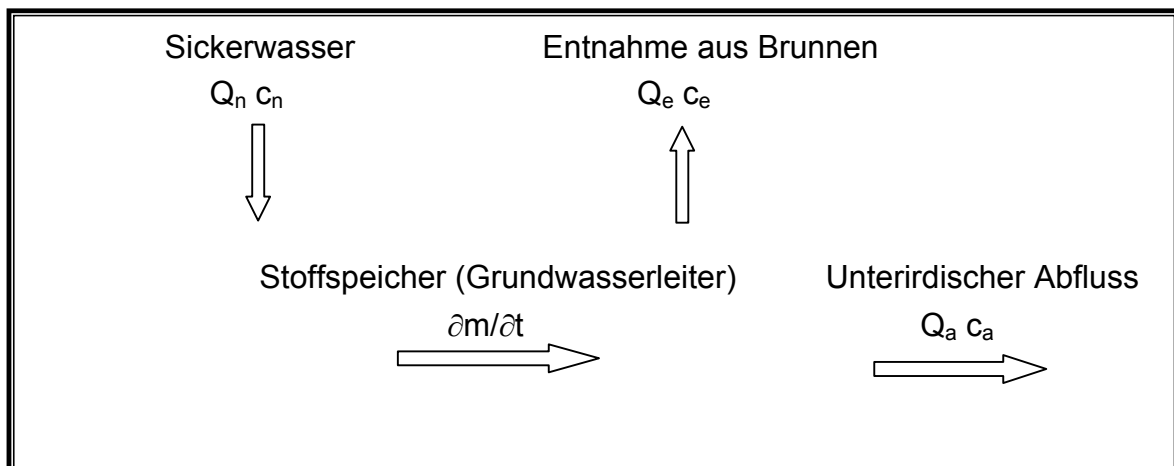


Abb. 2.1 Zu betrachtende Massenflüsse

Es wird

$$c_e = c_a \quad 2.1.2$$

gesetzt

$$Q_a + Q_e = Q_n \quad 2.1.3$$

ist bei langfristigen Betrachtungen ein Ausdruck für die Kontinuität des Wasserflusses.

Q_n : Zufluss zum Grundwasser (Grundwasserneubildung)

Q_e : Entnahme aus dem Grundwasser aus Brunnen

Q_a : Unterirdischer Abstrom aus dem Grundwasserleiter

c_e : Konzentration im Rohwasser der Entnahmebrunnen

c_n : Konzentration im Zufluss zum Grundwasser

c_a : Konzentration im unterirdisch abströmenden Wasser

m : Masse der Stoffe im Speicher

t : Zeit

Die dem Grundwasser mit dem Sickerwasser zugeführten Stoffe werden in das Grundwasser eingemischt. Es wird zunächst angenommen, dass es sich um konservative Stoffe handelt. Die Konzentration c_n im Sickerwasser ergibt sich zu aus der Kontinuitätsgleichung

$$J_n - J_a = \partial m / \partial t \quad 2.1.4$$

oder

$$c_n Q_n - c_a Q_a = \partial m / \partial t \quad 2.1.5$$

Daraus folgt:

$$c_n = (\partial m / \partial t + c_a Q_a) / Q_n \quad 2.1.6$$

Es ist festgestellt worden, dass die Konzentration der gewählten Zeigerstoffe NO_3 , SO_4 und Cl seit den 70er Jahren im Grundwasser angestiegen ist. Folglich muss die Stoffzufuhr zum Grundwasser größer gewesen sein als die Stoffabfuhr.

Die Volumenströme im Grundwasserleiter sind mit einem Grundwassermodell ermittelt worden. Für die Konzentrationen der ausgewählten Zeigerstoffe im Grundwasser lagen Messergebnisse vor.

Zur Ermittlung des im Grundwasserleiter gespeicherten Wasservolumens V_{sp} sind zwei Betrachtungen angestellt worden. Aus dem Gesamtvolumen V_g des betrachteten Grundwasserleiters ergibt sich das Wasservolumen V_{sp} , wenn der Hohlraumanteil n vorgegeben wird.

$$V_{sp} = n \cdot V_g \quad 2.1.7$$

Darüber hinaus ergibt sich das Volumen aus dem Zufluss Q_n und der mittleren Verweilzeit t_v

$$V_{sp} = Q_n \cdot t_v \quad 2.1.8$$

Die mittlere Verweilzeit t_v ergibt sich zu

$$t_v = x_m / v_a \quad 2.1.9$$

$$v_a = v_f / n \quad 2.1.10$$

x_m : Mittlerer Weg, den das Grundwasser zurückzulegen hat

v_a : Abstandsgeschwindigkeit

v_f : Filtergeschwindigkeit

n : Hohlraumanteil

Zur Ermittlung von c_n ist wie folgt vorgegangen worden. Von 1973 bis 1993 lagen Werte der Konzentrationen im Grundwasser (c_g) vor. Bezogen auf ein Jahr ist die mit der Neubildung Q_n ankommende Masse in das vorhandenen Wasservolumen im Grundwasserleiter eingemischt und c_n nach Gl. 2.1.6 berechnet worden.

In dieser ersten Näherung handelt es sich um Mittelwerte der Konzentrationen über das gesamte Wasservolumen im Grundwasserleiter. Im Grundwasser sind aber Konzentrationsunterschiede festgestellt worden. Diese Unterschiede haben folgende Ursachen:

1. Räumlich verteilte Stoffquellen mit unterschiedlicher Quellstärke
2. Unterschiedliche Laufzeiten der Stoffe in der ungesättigten Bodenzone
3. Transport der Stoffe im Grundwasser

Bei den nachfolgenden Betrachtungen sind keine punktförmigen Stoffquellen betrachtet worden. Die Stoffeinträge wurden Flächen unterschiedlicher Nutzung zugeordnet. Damit handelt es sich um diffuse Stoffeinträge.

In zweiter Näherung erfolgte eine Zuordnung der gemessenen Stoffkonzentrationen im Grundwasser zu den darüber liegenden Flächennutzungen. Bei dieser Zuordnung wurde von gleichförmigen Transportgeschwindigkeiten in der ungesättigten Zone ausgegangen.

In Grundwasserleiter selbst wurden Stoffkonzentrationen über einen Zeitraum von 20 Jahren gemessen. Es wurde in dieser zweiten Näherung angenommen, dass die im Grundwasser befindlichen Stoffe in dieser Zeit nicht aus den Bereichen verdriftet sind in denen sie ins Grundwasser eingetragen wurden.

In dritter Näherung ist der Transport der Stoffe im Grundwasserleiter durch Advektion berücksichtigt worden. Bei dieser Näherung wird der Stofftransport in der Zukunft über einen längeren Zeitraum von ca. 70 Jahren betrachtet. In dieser Zeit muss mit einer Verdriftung der Stoffe im Grundwasser aus den Bereichen gerechnet werden, in denen sie eingetragen wurden. Dazu ist ein Grundwassermodell erstellt, geeicht und für die Berechnungen verwendet worden. Die Validierung eines Stoffspeichermodells mit Berücksichtigung des advektiven Stofftransports diente dazu.

- die bei der Eichung des Grundwassermodells ermittelten Werte für die Transmissivität und die Grundwasserneubildung zu überprüfen.
- das Volumen des Wassers im Grundwasserleiter zu ermitteln,
- die räumliche Verteilung der Stoffe im Grundwasser im Jahre 1993 zu ermitteln unter Verwendung von Anfangswerten im Jahre 1973,

Die Verwendung zeitlich und räumlich höher auflösender Modelle würde eine größere Datendichte u.a. über die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters erfordern. Diese liegen nicht vor.

2.2 Ansatz zur Berechnung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser aus der Kenntnis der Applikation.

Die Konzentration c_{pn} von Pflanzenschutzmittel (PSM) im Sickerwasser, welches das Grundwasser erreicht, ergibt sich zu (Mull, Nordmeyer 1992)

$$c_{pn} = j_p \cdot \beta(t, \lambda) \cdot 10^2 / v_s \quad 2.2.1$$

c_{pn}	Konzentration des PSM im Sickerwasser	[$\mu\text{g/l}$]
j_p	Applizierte Menge pro Fläche und Zeit (Massenstromrate)	[kg/ha a]
β	Abminderungsfaktor	[-]
v_s	Mittlere Sickerwassergeschwindigkeit	[m/a]

Für eine Abschätzung wird die Sickerwassergeschwindigkeit aus den Jahreswerten der Neubildungshöhe berechnet.

$$v_s = h_n / t \quad 2.2.2$$

Für den Abminderungsfaktor wird ein Abbau 1. Ordnung vorausgesetzt

$$\beta(\lambda, t) = e^{-\lambda t} \quad 2.2.3$$

λ	Abbaukonstante	[$1/\text{a}$]
t	Verweilzeit	[a]

Die Abbaukonstante kann durch die Halbwertszeit t_{50} ersetzt werden:

$$t_{50} = \ln 2 / \lambda \quad 2.2.4$$

Die Verweilzeit t ergibt sich zu

$$t = a_f \cdot n \cdot S \cdot R_d / v_s \quad 2.2.5$$

a_f	Flurabstand	[m]
n	Hohlraumanteil	[-]
S	Sättigungsgrad	[-]
R_d	Retardationsfaktor	[-]

Der Retardationsfaktor R wird bei dieser Abschätzung gleich 1 gesetzt

3 Das Untersuchungsgebiet

3.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Palästina liegt im Nahen Osten; es wird im Westen vom Mittelmeer begrenzt und hat gemeinsame Grenzen mit Ägypten, Jordanien, Syrien und dem Libanon. Es liegt am Schnittpunkt dreier Kontinente – Europa, Asien und Afrika (Abb. 3.1).

Die gesamte Fläche des Untersuchungsgebietes beträgt 892 km^2 . Die größte Stadt in diesem Gebiet ist Hebron auf 900 m über dem Meeresspiegel und ca. 400.000 Einwohnern.

Im Osten bildet eine Grundwasserscheide im Gebiet der Hebronsberge die Grenze auf ca. 800 m über dem Meeresspiegel. An den nördlichen Grenze des Untersuchungsgebietes liegt die Stadt Betlehem auf 700 m über dem Meeresspiegel. Die südliche Grenze bildet die Negev Wüste, die sich bis zum Roten Meer ausdehnt. Im Westen liegt die Grenze zu Israel ca. 50 km vom Mittelmeer entfernt (Applied Research Institute of Jerusalem, ARIJ-1995).

Die Abbildung (3.2) zeigt eine Karte des Untersuchungsgebietes mit dem Verlauf eines geologischen Schnittes vom Ost nach West und der Lage von Förderbrunnen.

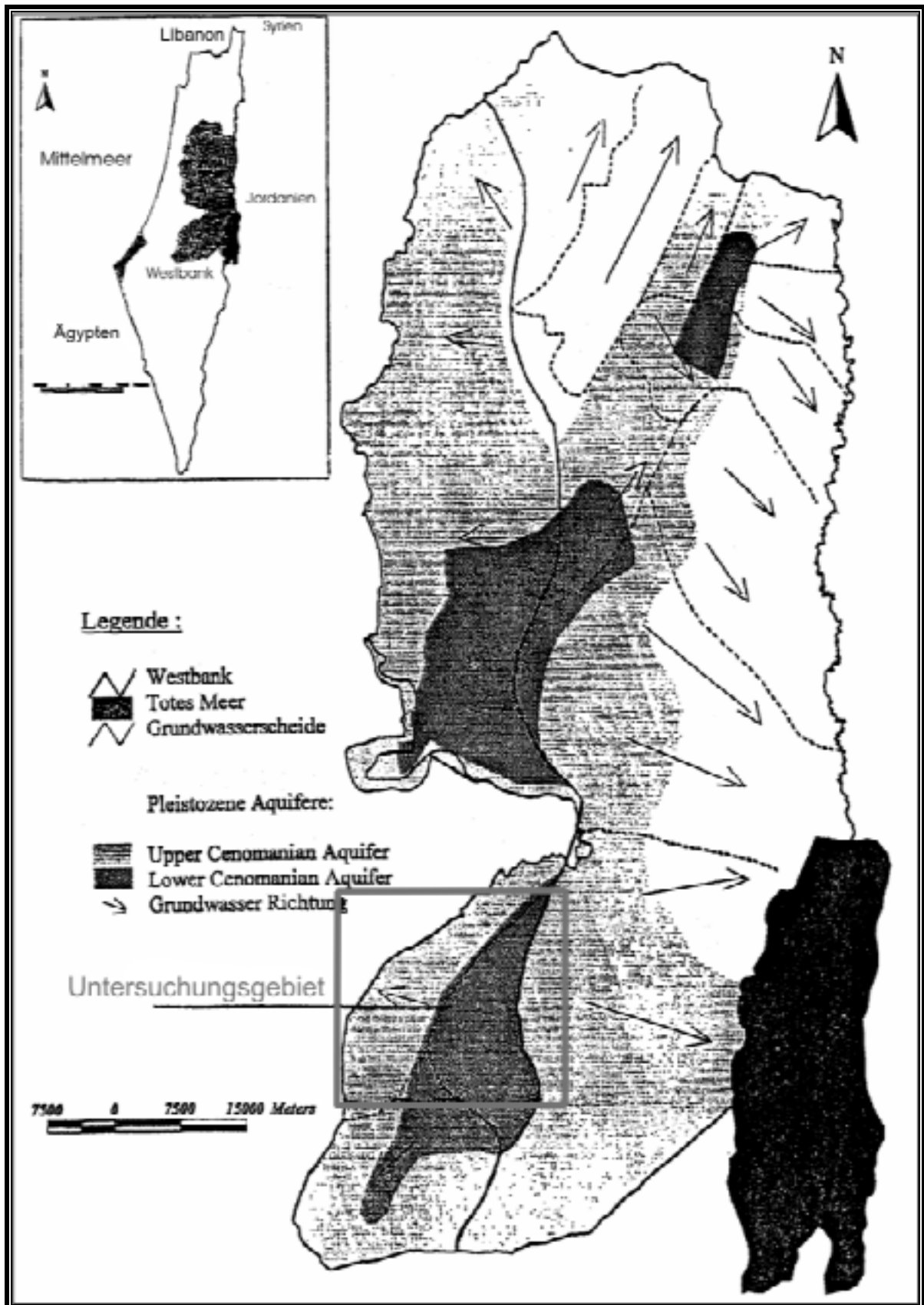


Abb. 3.1 Darstellung der Region, Aufteilung der Grundwasserleiter und die Lage des Untersuchungsgebietes in der Westbank.

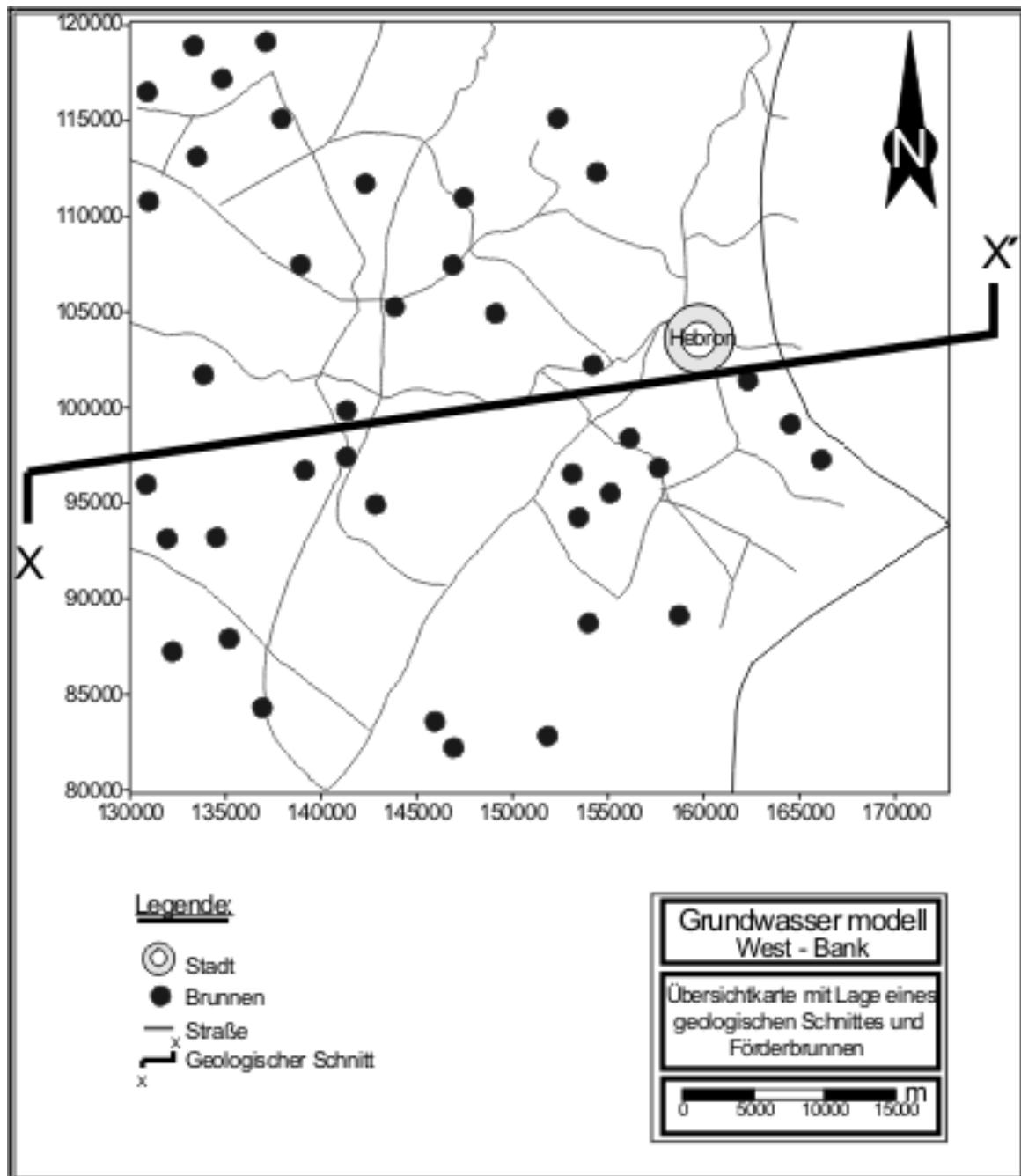


Abb. 3.2 Übersichtskarte mit der Lage eines geologischen Schnittes und von Förderbrunnen

3.2 Das Grundwassersystem

3.2.1 Geometrische und geologische Gegebenheiten

Im gesamten Modellgebiet ist der Aquifer einstöckig mit einer Mächtigkeit von ca. 30 m. Überwiegend handelt es sich um einen Grundwasserleiter mit freier Oberfläche.

Nahe der Geländeoberfläche liegen quartäre Sande, darunter bilden tertiären Sande den Grundwasserleiter. Tone und Tonmergelgestein liegen als Grundwasser-nichtleiter an der Basis des Aquifers. Die Abbildung (3.3) zeigt den geologische Schnitt vom Ost X mit 800 m über dem Meeresspiegel nach West X mit 300 m über dem Meeresspiegel mit dem angegebenen Schichtenaufbau (Abu-Mayleh, Y. 1994).

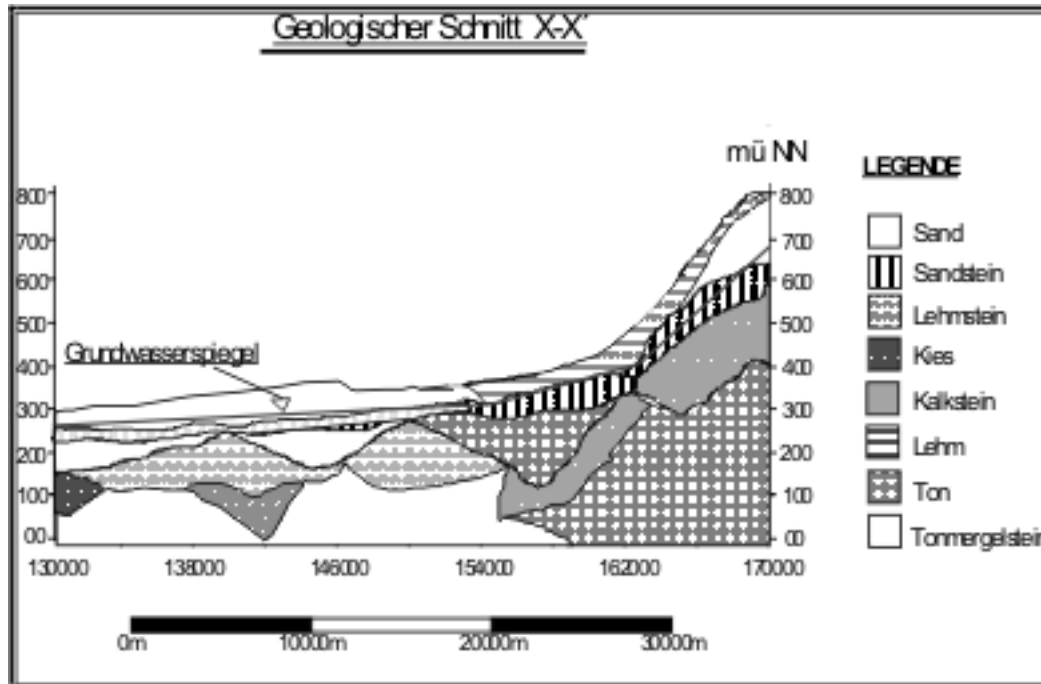


Abb. 3.3 Geologischer Schnitt von Ost nach West im Untersuchungsgebiet.

3.2.2 Grundwasserstände

In Abb. (3.4) sind Grundwassergleichen im Untersuchungsgebiet und in dem gesamten Gebiet der Westbank angegeben (Stand 1995). An der Grundwasserscheide beträgt die Höhe der Grundwassergleiche rd. 500 m ü NN. In den Hebronsbergen im Süden bis zum Norden liegt dieser Wert bei ca. 700 m ü NN. Am östlichen Rand ergeben sich Werte um 300 m ü NN.

3.2.3 Flurabstände

Vom Osten nach Westen verändern sich die Flurabstände von 120m auf 30m. Die Grundwasseroberfläche (freies Grundwasser) liegt relativ tief unter der Geländeoberfläche auf der gesamten Westbank (Abb. 3.5).

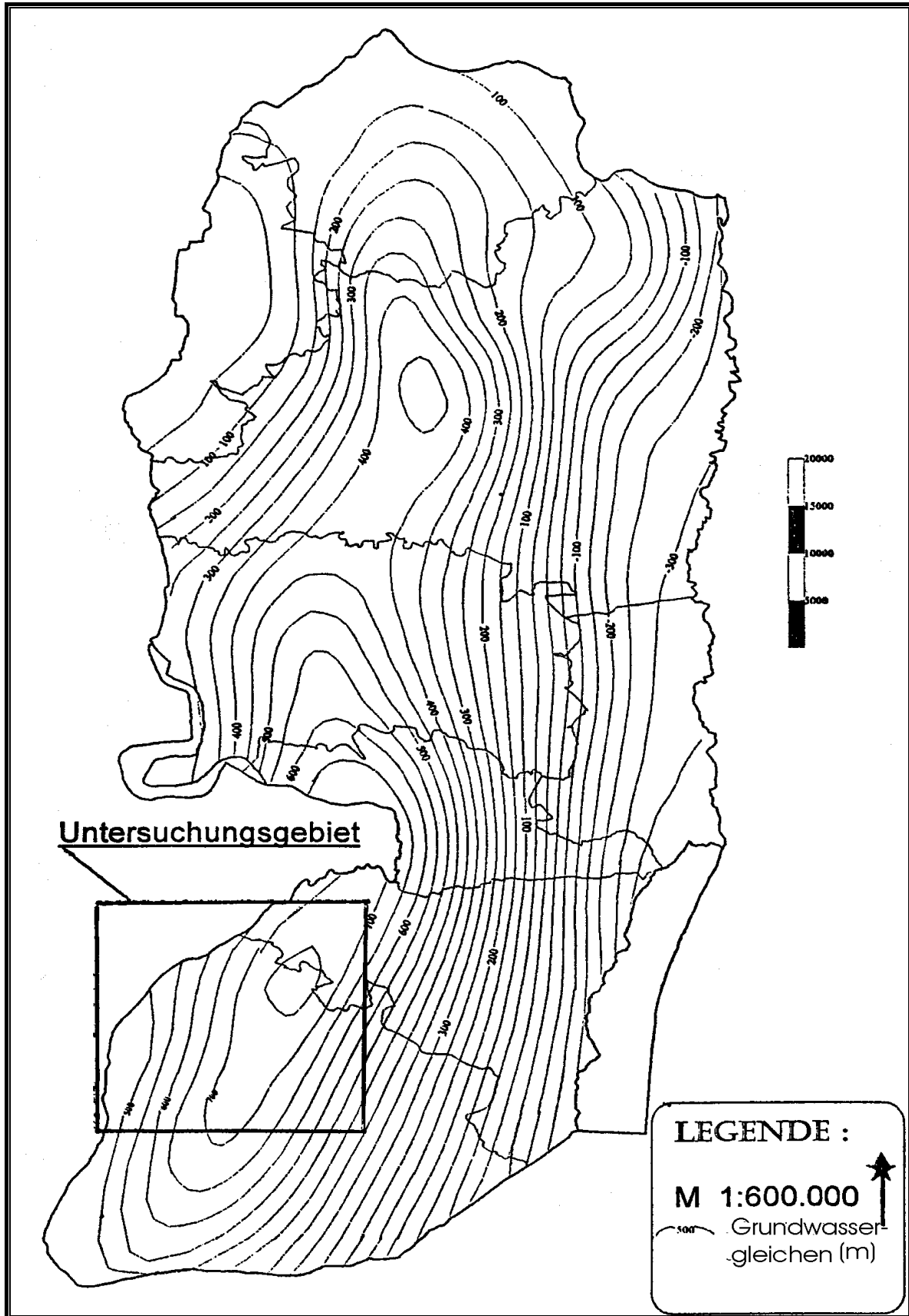


Abb. 3.4 Grundwassergleichen (mNN) im Untersuchungsgebiet und in der gesamten Westbank

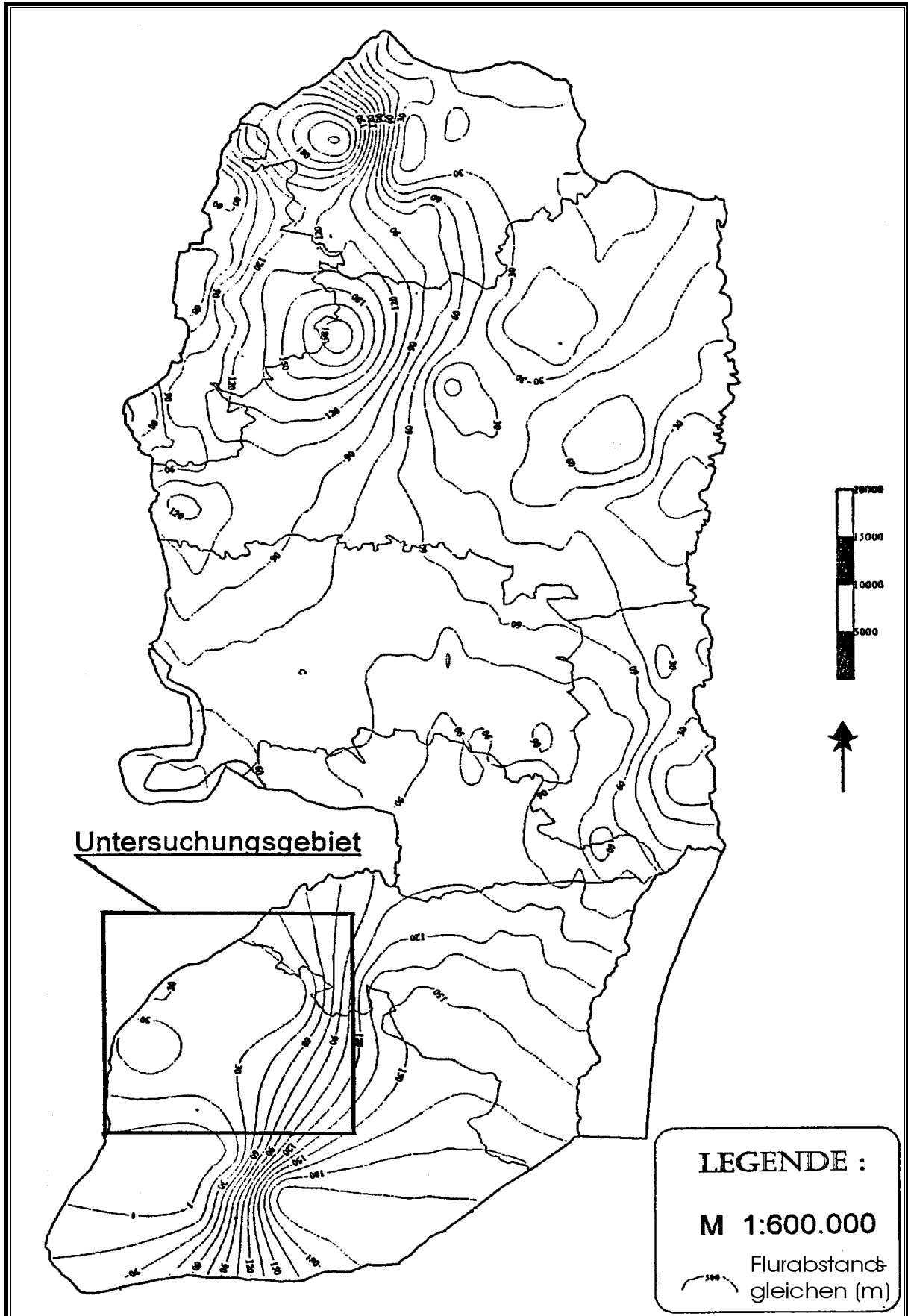


Abb. 3.5 Flurabstandsgleichen im Untersuchungsgebiet der Westbank

3.2.4 Durchlässigkeit und Transmissivität

Eine erste Abschätzung der mittleren Transmissivität im Untersuchungsgebiet liefert folgende Betrachtung :

Der Durchfluss durch den gesamten Aquifer beträgt ca. 4.0 (m³/s). Auf einer Breite von b = 30 km bei einem mittleren Gefälle von grad h = 5‰, ergibt sich ein T-Wert, wenn für den T-bestimmenden Abfluss 2 m³/s gesetzt wird, von

$$\begin{aligned} T &= Q / b * \text{grad } h && 3.2.1 \\ &= 1 \cdot 10^{-2} \text{ (m}^2\text{/s)} \end{aligned}$$

zunächst als Orientierungswert. Bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit des Grundwasserleiters von 30 m ergibt sich ein Orientierungswert für die Durchlässigkeit von $3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

3.2.5 Porosität (Hohlraumanteil)

Bei der Porosität (Hohlraumanteil) des Bodens muss zwischen gesamtem Hohlraumanteil (n) und durchflusswirksamem Hohlraumanteil (effektive Porosität n_{eff.}) unterschieden werden, da ein Teil des Wassers sich in Hohlräumen befindet, die nicht durchflossen werden.

Das durchflusswirksamen Hohlraumvolumen kann näherungsweise nach der Bodenklassifizierung bestimmt werden.

Es wird gesetzt [DVWK 1982]:

$$\begin{aligned} n &= 0,30 \\ n_{\text{eff.}} &= 0.15 \end{aligned}$$

4 Wasserhaushalt

4.1 Meteorologische Situation

Werte der meteorologischen Parameter Niederschlag und Verdunstung sind für die Ermittlung der Grundwasserneubildung wichtig. Aus der Differenz der Niederschlagshöhe [h_N] und der potentiellen Verdunstungshöhe [h_{vp}] errechnet sich die klimatische Wasserbilanz. Die Abbildung (4.2) zeigt die Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet der Westbank. Längere Niederschlagsaufzeichnungen liegen in Hebron vor (Husary, Samar -1995).

Die mittlere Niederschlagshöhe in Hebron wurde über das arithmetische Mittel in Abbildung (4.1) der vom Hebron-Wetteramt veröffentlichten Messergebnisse mit $h_N = 550$ mm/a für die Jahre (1846–1993) berechnet (Bir-Zeit University Electronic Weather Station 1995).

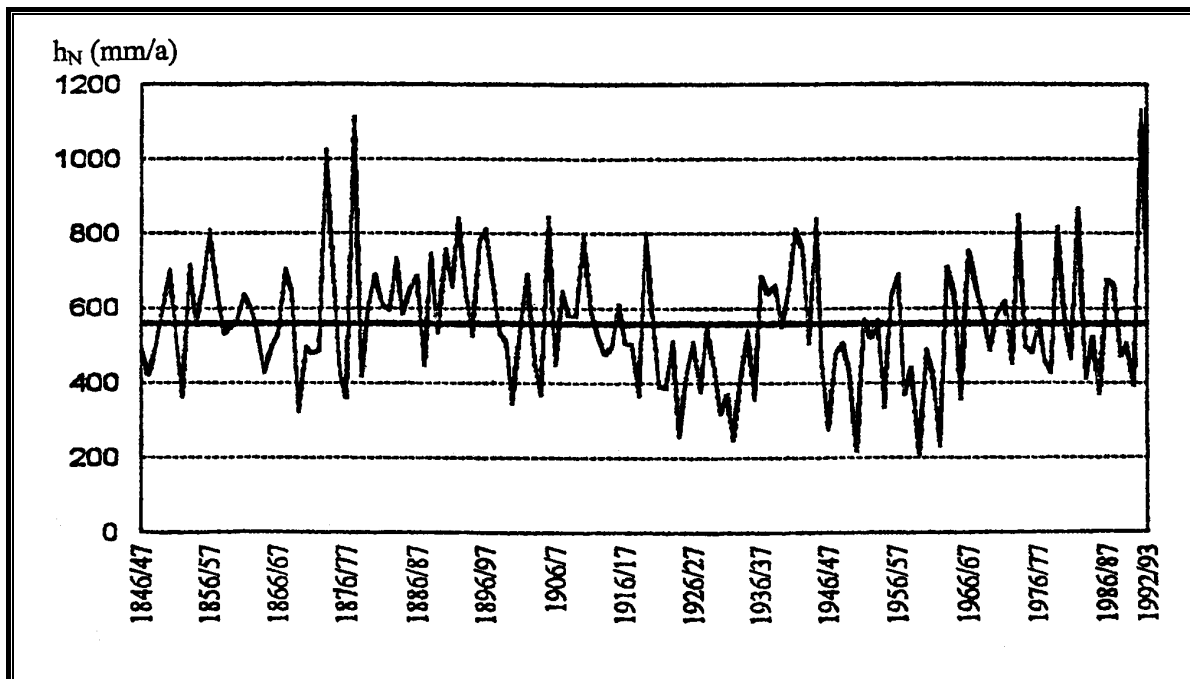


Abb. 4.1 Niederschlag in Hebron zwischen 1846 – 1993 in (mm/a).

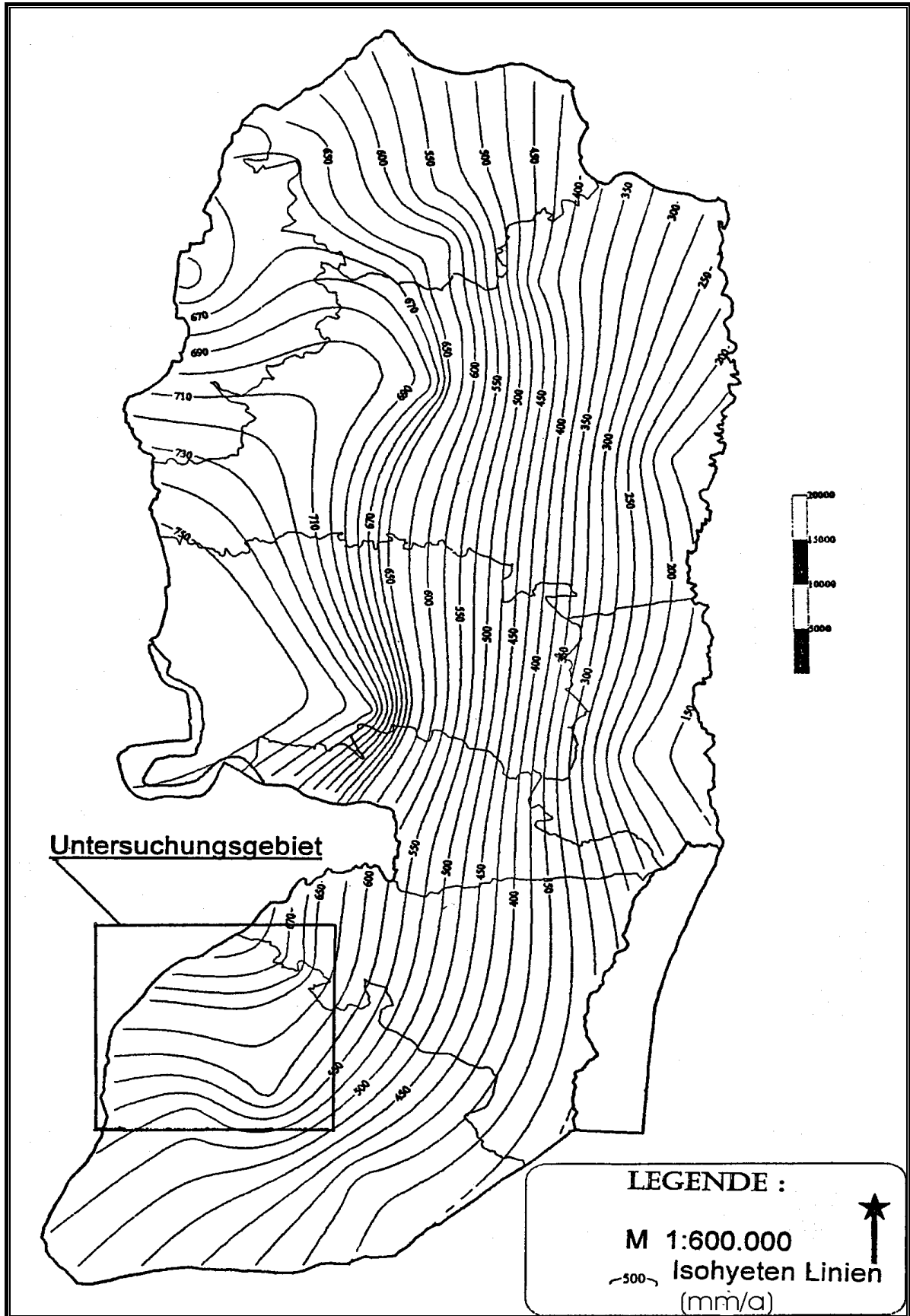


Abb. 4.2 Isohyeten auf der Westbank in (mm/a) und die Lage der meteorologischen Stationen (Jahresmittel 1846 – 1993).

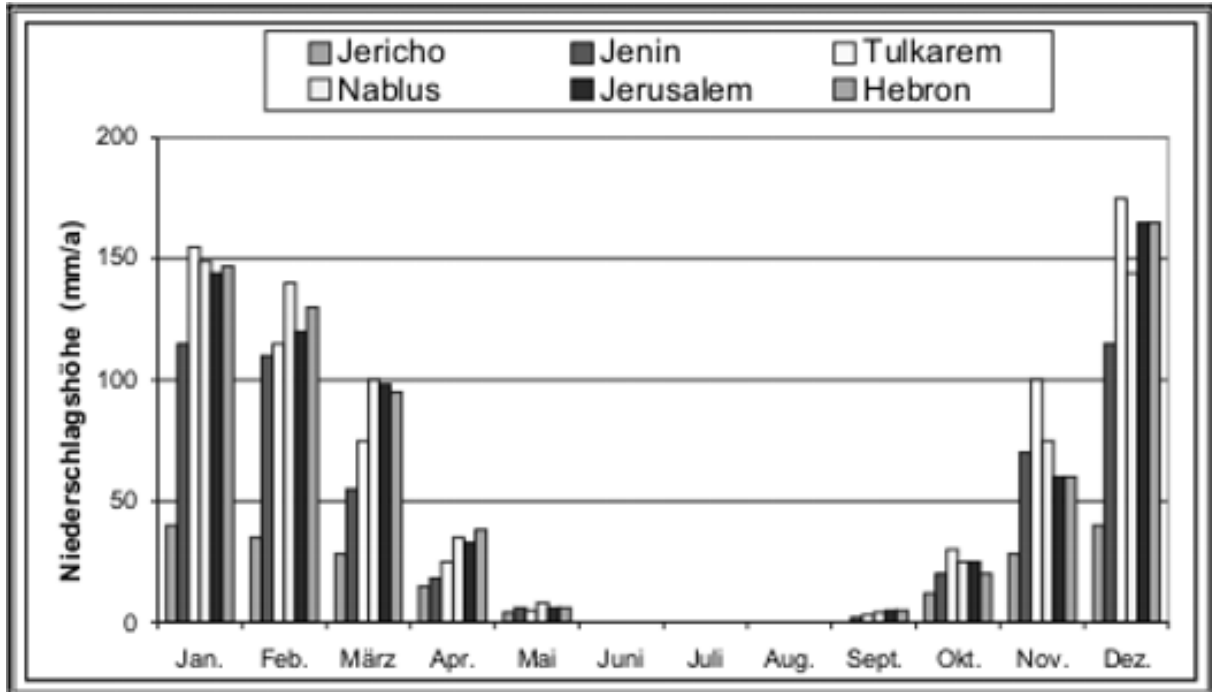


Abb. 4.3 Monatliche Niederschlagshöhe für verschiedene Messstationen im Untersuchungsgebiet und Umgebung

4.2 Grundwasserneubildung

Unter Grundwasserneubildung wird das Wasservolumen verstanden, das pro Zeiteinheit auf eine vorgegebene Oberfläche des Grundwassers trifft. Das Wasser kann aus Niederschlägen sowie aus Flüssen und Seen stammen.

Die Grundwasserneubildung aus den Niederschlägen ist in erster Linie eine Funktion der räumlichen und zeitlichen Verteilung des Niederschlags und der Verdunstung.

$$h_G = (h_N - h_{va}) - h_{Ao}, \quad (4.2.1)$$

mit :

h_G	Grundwasserneubildungshöhe	[mm/a]
h_N	Niederschlagshöhe	[mm/a]
h_{va}	aktuelle Verdunstungshöhe	[mm/a]
h_{Ao}	oberirdische Abflusshöhe	[mm/a]

Unter tatsächlicher (aktueller) Verdunstung wird die Summe aus Boden-, Pflanzen- und Interzeptionsverdunstung verstanden. In ersten Näherung ergibt sich bei Vernachlässigung des oberirdischen Abflusses (die Aufnahmekapazität des Oberbodens ist sehr hoch) und eine 73% aktuelle (tatsächliche) Verdunstung

(Applied Research Institute; Jerusalem(ARI)-1995) bezogen auf die Niederschlagshöhe eine räumliche und zeitliche gemittelte Grundwasserneubildungsrate von: $h_{\text{GWN}} = 150 \text{ mm/a}$, als Anfangswert für den Eichprozess mit dem Grundwassermodell.

Für die genauere Aussagen über die Grundwasserneubildung ist zu beachten, dass nicht nur die Höhe des Niederschlags von Bedeutung ist, sondern auch die Intensität und die Verteilung über das Jahr.

Weitere auf die Grundwasserneubildung einflussnehmende Parameter sind:

- Bodenart
- Vegetation
- Versiegelungsgrad
- Relief

Die Tabelle 4.1 gibt eine erste Spezifizierung der Neubildungsrate unter Berücksichtigung der Landnutzung nach [DVWK,1982] bezogen auf deutsche Verhältnisse. Die prozentualen Anteile können in erster Näherung übertragen werden.

Tabelle 4.1 Grundwasserneubildung für verschiedene Landnutzungen [DVWK] (bei 550 mm Jahresniederschlagshöhe)

Landnutzung	Niederschlags- höhe	Grundwasserneubildungs- rate	
		[mm/a]	[l / (s*km ²)]
	[%]		
Nackter Boden	44	240	7,6
Spärliche Vegetation	35	190	6,0
Ackerland	33	180	5,7
Lockere Bebauung	27	150	4,8
Grünland	22	120	3,8
Strauch – Vegetation	16	90	2,9
Wald	15	80	2,5
Wasserflächen	*	*	*
Mittelwert	--	150	4.8

* = Verdunstung größer als Niederschlag

h_N = % Anteil an der Höhe des Niederschlages

4.3 Wasserdargebot

Die internationalen Wasservorkommen in der Region des Jordan umfassen das Flusssystem Jordan und Jarmuk sowie verschiedene grenzüberschreitende Grundwasserleiter.

Der gesamte Wasserdurchfluss des Jordan-Yarmuk-Flußsystems ist relativ gering. Unter natürlichen Bedingungen sind es etwa 1200 Mio m³/a, vergleichbar mit dem Durchfluss der Spree vor ihrer Mündung in die Havel.

Nach den Entnahmen durch die Anrainer allerdings gleicht der Jordan mit max. 200 Mio m³/a eher einem "Bächlein". Das erneuerbare Dargebot der Grundwasserleiter ist mit etwa 1600 Mio m³/a größer als die Oberflächenwassermenge (Al-Khatib 1989).

Der faktische Zugriff auf die internationalen Gewässer, der mit offenen und verdeckten Formen von Gewalt einhergingen, bestimmte die Wasserentnahmen der Anrainer: Jordanien, Palästina, Israel, Syrien und Libanon. Durch den Friedensprozess im Nahen Osten ist eine kooperative Lösung des Wasserkonflikts zum erstenmal seit 50 Jahren in den Bereich des Möglichen gerückt.

Zu den Oberflächengewässern kommen etwa 22 Grundwasserleiter hinzu, durch die unterirdisches Wasser in Israel, Palästina und Jordanien fließt.

Einige diese Grundwasserleiter sind grenzüberschreitend, insbesondere die Berg-Aquifere, mit einem erneuerbare Dargebot von ca. 680 Mio m³/a. Bei den östlich liegenden Berg-Aquiferen, die zum Einzugsgebiet des Jordans gehören, ist bislang noch umstritten, ob es sich um eine nationale palästinensische Ressource oder um ein internationales Gewässer handelt. Die beiden anderen Berg-Aquifere gehen vom Westjordanland durch Israel in den sogenannten Küsten-Aquifer über. Das Grundwasseranreicherungsgebiet für beide Aquifere liegt vorwiegend im Westjordanland, der Grundwasserleiter hingegen auch in Israel. Der Küsten-Aquifer hat eine erneuerbares Grundwasserdargebot von 55 Mio m³/a im Gazastreifen und von 240 Mio m³/a in Israel (Eran Feitelson and Marwan Haddad (2001).

4.4 Wasserversorgung

Für die Wasserversorgung der Haushalte sind Tanks auf den Häusern in allen Dörfern und Städten für die Wasserspeicherung installiert. Wann und wie oft diese Tanks aus dem Israelischen Wasserleitungsnetz gefüllt werden ist zwar offiziell geregelt, wird jedoch häufig auch als Folge israelischer Strafaktionen nicht eingehalten. Dadurch ist die palästinensische Bevölkerung ständig in Sorge, ob das Wasser, das in der Hitze aus den unzulänglichen Tanks zudem oft faulig wird, für den täglichen Bedarf reicht. Die 2,7 Mio Menschen auf der Westbank müssen dabei erleben, dass die israelischen Siedler ständig gut mit Wasser versorgt werden. Es besteht ein gigantisches Wasserleitungsnetz mit einer Länge von 6500 km, welches vom Norden bis Süden und von Gaza bis Jericho alle israelischen Städte und Dörfer im Land versorgt. Auf der Westbank und in Gaza-Streifen jedoch sind Hunderte von Ortschaften nicht an Wassersysteme angeschlossen.

Dort aber, wo Rohre hinführen, verlangen die Israelis von den Anwohnern im besetzten Land die Instandhaltung, die aus finanziellen Gründen nicht durchgeführt wird. Also verrosteten die Leitungen und werden undicht. Dadurch entstehen hohe Verluste, was schließlich zu Sperrungen der Wasserleitung führt. Das ist ein Teufelskreis, den die Palästinenser nicht durchbrechen können. Außerdem gelten für diese auch noch andere Beschränkungen. Nach 16 Uhr dürfen sie weder mit Tankwagen noch Sprengvorrichtungen die Felder bewässern. Einer zu dieser Zeit umfassenden und sinnvollen Bewässerung verdanken die Israelis ihre blühende Wüste und ihre reichen Erträge in der Landwirtschaft. Davon nehmen sie allerdings 4/5 der gesamten Grundwasservorräte in Anspruch, die unter der Oberfläche der Westbank vorhanden sind. Die Palästinenser müssen ihrerseits Wasser von israelischen Gesellschaften kaufen, da sie ihre eigenen Vorräte nicht nutzen dürfen. Der so entstandene Gewinn der Israelis wird jedoch nicht für die Palästinenser investiert (Isaac, J. and Hosh, L. -1992).

Neben der Quantität lässt auch die Qualität des Wassers zu wünschen übrig. Die Wasserbehörde überprüft die Wasserqualität fast nicht trotz der großen Gesundheitsgefahren, welche die Verschmutzung durch Abwasser aus den umliegenden Städten und Dörfern sowie aus den israelischen Siedlungen und Industriegebieten mit sich bringen. Auch das Wasservorkommen, das die Quellen speist, ist hochgradig gefährdet, denn z.B. Pestizide und Düngemittel, die in der Landwirtschaft angewendet werden, gelangen ins Grundwasser.

Ober- und unterirdische Wasserressourcen sind sehr rar. Den Palästinensern ist nicht erlaubt, Brunnen zu bohren, um an das Grundwasser zu gelangen, von dem alle abhängig sind. Seit 1967 sind in Palästina keine neuen Brunnen mehr gebaut worden, weshalb die vorhandenen Brunnen übermäßig stark genutzt werden. Ferner ist das Grundwasser mit Schadstoffen belastet.

Ein anderes großes Problem der Region ist die Abwasserbeseitigung. Auch hier sind wieder - anders als in Israel - die meisten Dörfer und sogar Städte nicht oder nur unvollständig an ein Abwasserkanalnetz angeschlossen. Es gibt häusliche Sammelbecken für Abwasser, jedoch keine Möglichkeit zur Reinigung des Abwassers (Kläranlage). So fließen ungefähr 4.000 m³ Abwasser täglich aus den Kloaken von Hebron über die Straßen, infiltrieren in den Untergrund und verschmutzen so das Grundwasser.

Ungeklärt, ungenutzt und ungesund bahnt sich der graue Strom aus ca. 50.000 Haushalten sein stinkendes Bett durch eine Landschaft, die lieblich sein könnte und in ein Tal führt, das die gesamte Region Jericho mit Trinkwasser versorgt. Bis die Friedenspolitik in den palästinensischen Gebieten wirklich Früchte trägt, müssen die meisten Menschen in vielen Ortschaften wie vor 1.000 Jahren das Wasser aus der Quelle schöpfen.

Die Tabelle (4.2) gibt die Grundwasserentnahme für die Region und die Aufteilung in israelische und palästinensische Anteile. Die Aufteilung der Grundwasserleiter auf der Westbank (nördlich, westlich, östlich) ist in Abbildung (4.4) eingezeichnet (Applied research Institute –Jerusalem -1995).

Tabelle 4.2 Wasserentnahme 1990 aus dem Grundwasserleiter der Westbank

Grundwasserleiter der Westbank	Grundwasser -entnahme	Palästin.- Anteil	Israel.- Anteil
	(Mio m ³ /a)	(Mio m ³ /a)	(Mio m ³ /a)
Nördlich	140	30	110
Westlich	335	35	300
Östlich	125	60	65
Total	600	125	475

Die Tabelle 4.3 gibt den Wassergebrauch für Haushalt, Industrie und Landwirtschaft auf der Westbank und Gaza.

Tabelle 4.3 Wassergebrauch auf der Westbank und Gaza

	Wassergebrauch (Mio m ³ /a)	
	Westbank	Gaza
Haushalt und Industrie	50 - 60	20 – 25
Landwirtschaft	65 - 75	55 – 80
Total	115 - 135	75 – 115

Die Tabelle 4.4 zeigt die zeitliche Entwicklung des Wasserbedarfs für Haushalt, Industrie und Bewässerung von 1990 bis 2000 und eine Schätzung der Entwicklung bis zum Jahre 2020 für verschiedene Städte der Westbank (Assaf, K.1991), Israel Meteorological Services, (1994), Jenin Agricultural Department, (1996).

Tabelle 4.4 Wasserbedarf der Westbank für Haushalte, Industrie und Bewässerung

Haushalte:

	1990 (Mio.m ³ /a)	2000 (Mio.m ³ /a)	2010 (Mio.m ³ /a)	2020 (Mio.m ³ /a)
Nablus	10.4	20.5	36.86	49.0
Hebron	5.0	22.53	41.43	56.09
Ramalah	7.4	19.93	36.65	49.62
Jenin	5.2	17.12	31.47	42.6
Tulkarm	8.0	17.57	32.31	43.74
Betlehem	3.0	12.06	22.17	30.01
O.Jerusalem	6.8	14.35	26.38	35.71
Jericho	2.2	2.25	4.13	5.6
Total	48.1	125.86	231.4	313.75

Industrie:

	1990 Mio.m ³ /a	2000 Mio.m ³ /a	2010 Mio.m ³ /a	2020 Mio.m ³ /a
Nablus	0.8	2.2	4.5	7.3
Hebron	1.6	4.3	8.8	14.3
Ramalah	0.6	1.5	3.0	5.0
Jenin	0.2	0.6	1.2	1.9
Tulkarm	0.7	1.9	3.9	6.4
Betlehem	0.7	1.7	3.6	5.8
O.Jerusalem	0.2	0.6	1.2	1.9
Jericho	0.1	0.3	0.6	1.0
Total	5.0	13.0	27.0	43.5

Bewässerung:

	1990 (Mio.m ³ /a)	2000 (Mio.m ³ /a)	2010 (Mio.m ³ /a)	2020 (Mio.m ³ /a)
Nablus	3.4	9.7	23.6	37.6
Hebron	0.5	1.8	23.6	45.5
Ramalah	0.5	2.2	9.6	17.0
Jenin	9.0	74.7	101.4	128.1
Tulkarm	21.4	21.4	21.8	34.0
Betlehem	0.6	2.0	9.0	15.9
O.Jerusalem	0.0	0.0	0.0	0.0
Jericho	34.6	34.6	45.3	67.0
Total	69.9	146.3	234.3	345.0

Es wird eingeschätzt, dass die Entwicklung des Wasserbedarfs auf der Westbank wie in Abbildung 4.4 gezeigt für Haushalt, Industrie und Bewässerung in den nächsten 20 Jahren sich verdreifachen wird.

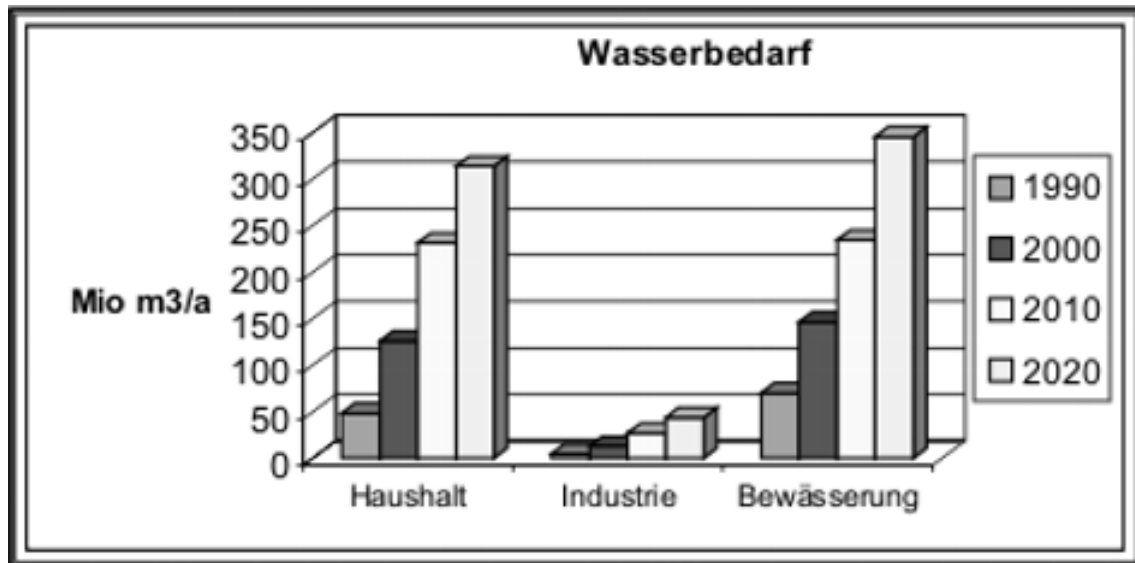


Abb. 4.4 Entwicklung des Wasserbedarfs der Westbank für Haushalt, Industrie und Bewässerung

Die Tabelle 4.5 zeigt den gesamten Wasserbedarf für Haushalt Industrie und Bewässerung bis 2020 auf der Westbank (United Nation 1992).

Tab. 4.5 Entwicklung des Wasserbedarfs auf der Westbank

	1990 Mio.m³/a	2000 Mio.m³/a	2010 Mio.m³/a	2020 Mio.m³/a
Haushalt	48.1	125.86	231.4	313.75
Industrie	5.0	13.0	27.0	43.5
Bewässerung	69.0	146.3	234.3	345.0
Total	122.1	285.16	492.7	702.25

4.5 Grundwasserentnahme

Die zeitliche Entwicklung der Entnahme auf den gesamten Westbank zwischen 1970 und 1994 zeigt die Abbildung (4.5), die Entnahme pro Jahr hat sich von 1970 zu 1994 um 80 Mio. m³/a erhöht. Die Abbildung (4.6) zeigt die Tiefe der Brunnen, die zwischen 40m und 600m liegen (Tahal,1990).

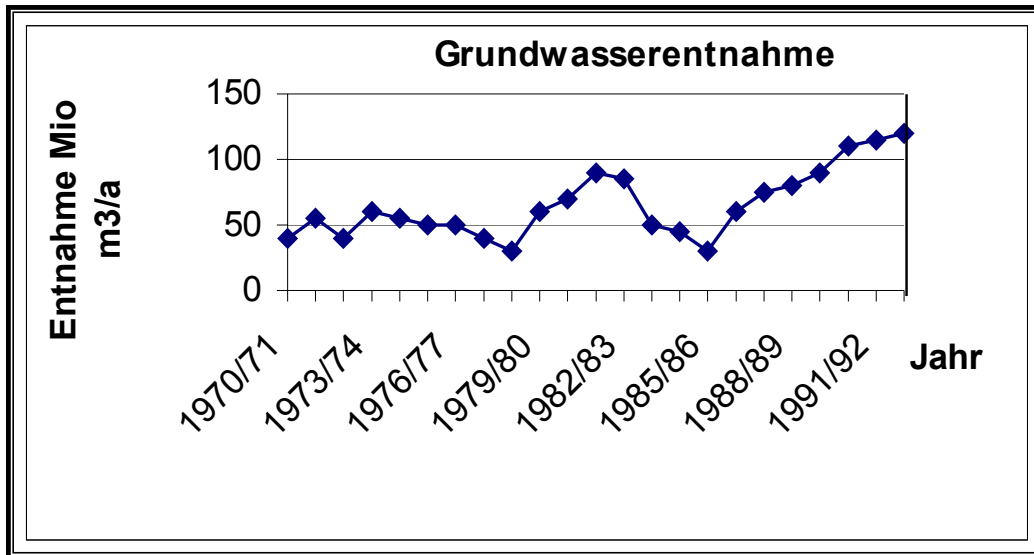


Abb. 4.5 Grundwasserentnahme auf der Westbank zwischen 1970 und 1994 in (Mio. m³/a)

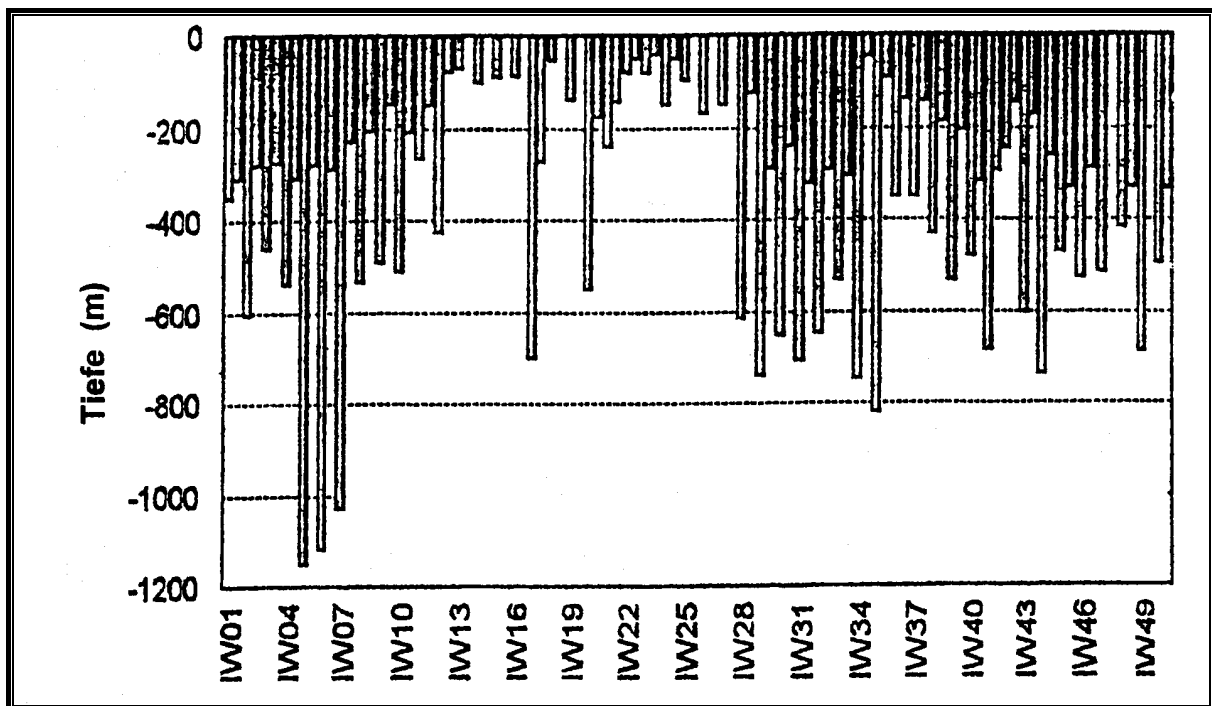


Abb. 4.6 Brunnentiefe im Untersuchungsgebiet und auf der Westbank

Die Entnahmen aus den Gewässern in der Region insgesamt betragen im Jahr 2000 somit 3130 Mio m³/a und liegen leicht über dem erneuerbaren Wasservorkommen von 2800 Mio m³/a. Palästina entnimmt z.B. aus dem Küsten-Aquifer ca. 100 Mio m³/a und Israel 280 Mio m³/a. Damit ist er stark übernutzt. Bei anderen Quellen besteht noch die Möglichkeit, die Entnahme zu steigern, so etwa in dem östlichen Berg-Aquifer (Awartani, 1992).

Die Summe aller Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet aus 40 Brunnen beträgt ca. 40 Mio. m³/a.

Die Abbildung (4.7) zeigt die Lage der Entnahmebrunnen und der Entnahmemenge im Untersuchungsgebiet.

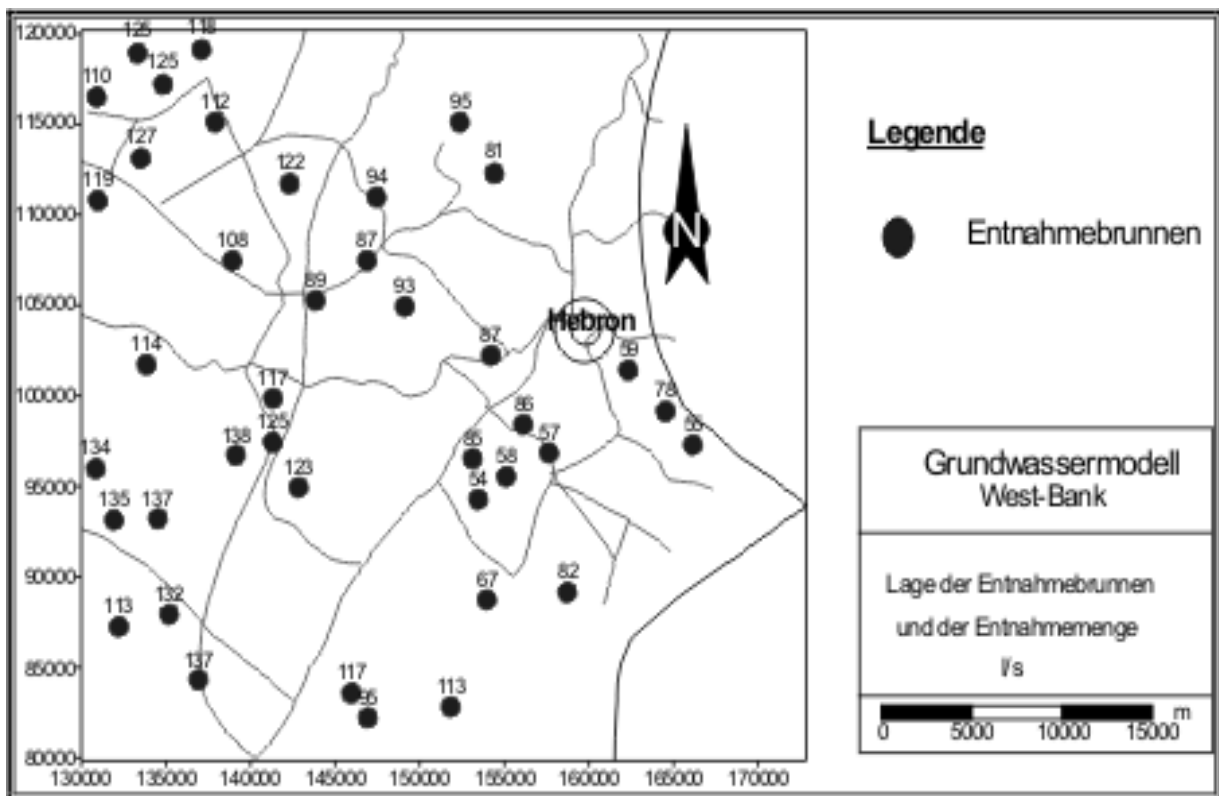


Abb. 4.7 Lage der Entnahmebrunnen und der Entnahmemenge (l/s) im Untersuchungsgebiet

5 Qualitativer Zustand der Grundwässer

Aufgrund zahlreicher Einleitungen von Schadstoffen in den Untergrund ist die Wasserqualität insgesamt gefährdet. z.B. stellt die schlechte Wasserqualität im Gazastreifen aufgrund von Versalzung und Pestiziden aus der intensiven Landwirtschaft eine akute Gesundheitsgefährdung dar (JMCC, 1994). Die durchschnittlichen Chlorid- und Nitratkonzentrationen im Grundwasser betragen nach Messungen (JMCC ;1994) das Zweieinhalbfache der WHO-Grenzwerte für Trinkwasser.

Die landwirtschaftliche Nutzungsintensivierung mit ständig steigendem Einsatz von Agrochemikalien führt zu einer zunehmenden Belastung der Böden und entsprechend der regional unterschiedlichen Standortbedingungen zu einer diffusen, großflächigen Auswaschung und Eintragung landwirtschaftsbürtiger Substanzen in den Grundwasserleiter (Koll, H.; Mull, R. 1989).

5.1 Stoffgehalt im Grundwasser

5.1.1 Nitratgehalt im Grundwasser

Seit 30 Jahren wurde in vielen Brunnen ein kontinuierlicher Anstieg der Nitratgehalte im Grundwasser beobachtet. Der Anstieg liegt seit 1973 jährlich zwischen 3 und 5 mg/l Nitrat.

Diese Entwicklung zeigt Abbildung 5.1 in ausgewählten Brunnen im Untersuchungsgebiet. Zwischen den Werten die 1973, 1983 und 1993 ermittelt wurden, ist linear interpoliert worden.

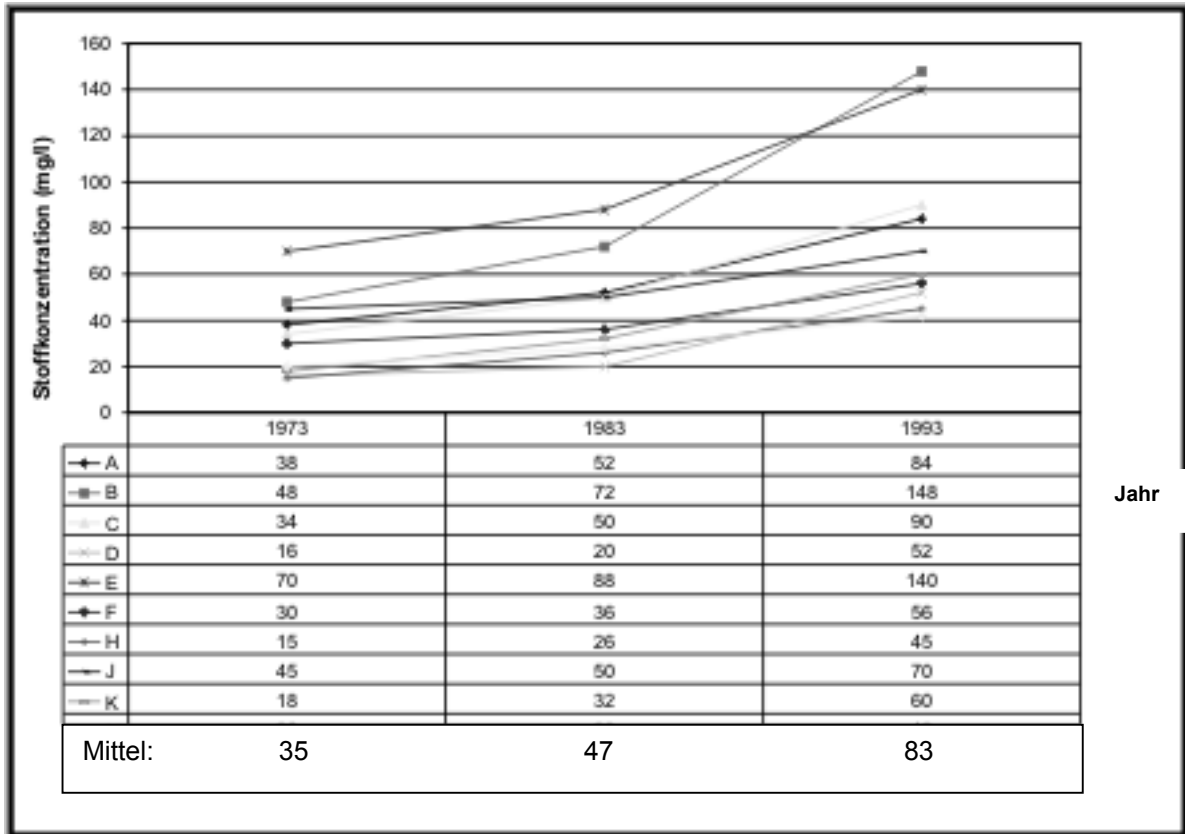


Abb. 5.1 Zeitliche Entwicklung des Nitratgehaltes im Grundwasser in ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebiets

In Abb. 5.2 sind die Orte der ausgewählten Brunnen im Untersuchungsgebiet angegeben. Es wird deutlich, dass die Zunahme der Konzentration sich zum Ende des Untersuchungsraumes verstärkt.

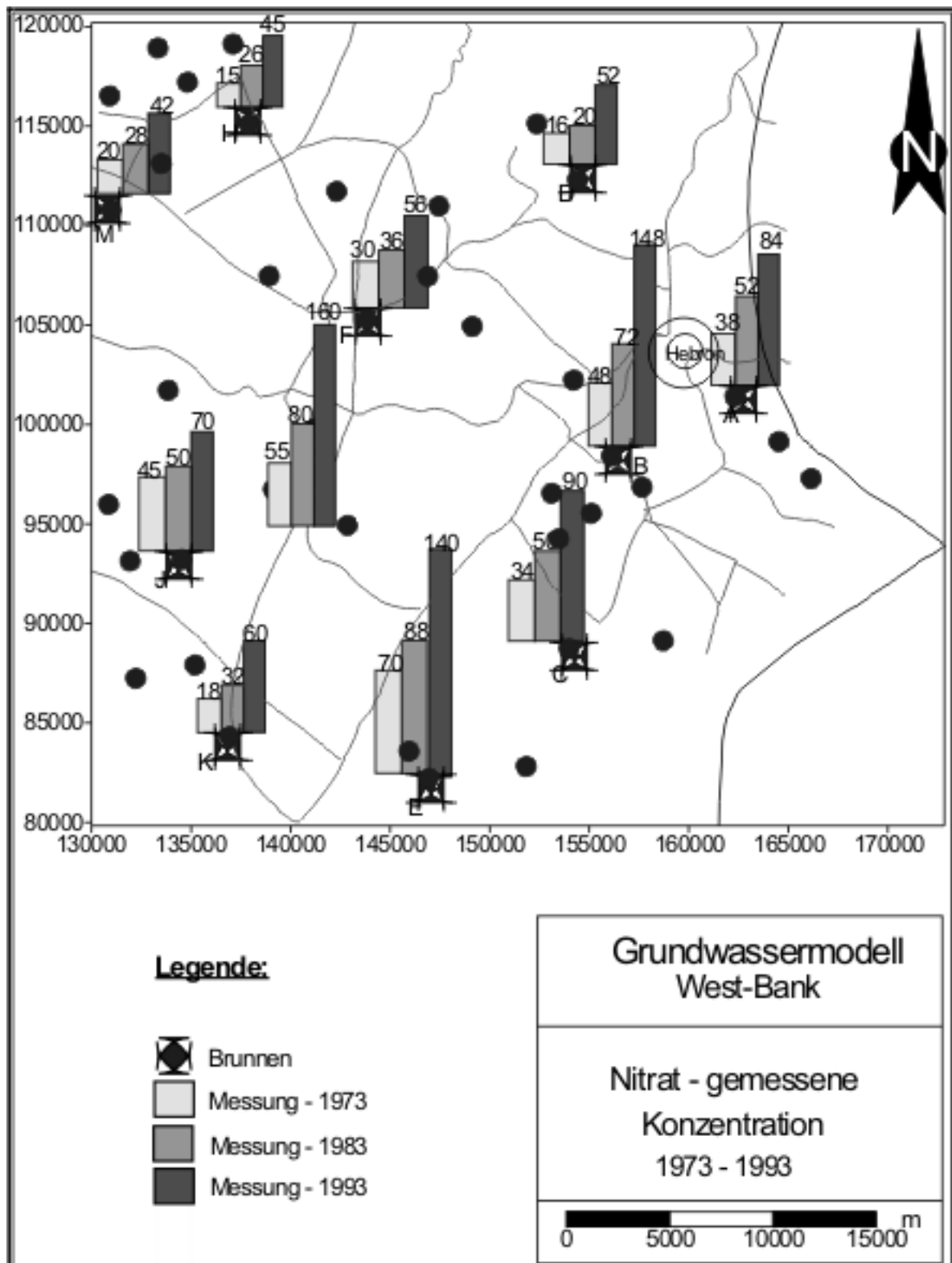


Abb. 5.2 Gemessene Nitrat-Konzentration zwischen 1973-1993 in verschiedenen Brunnen des Untersuchungsgebietes

Die Abbildung (5.3) zeigt die Linien gleicher Konzentration im Untersuchungsgebiet für Nitrat im Jahre 1973. Die Werte liegen zwischen 35 mg/l und 55 mg/l.

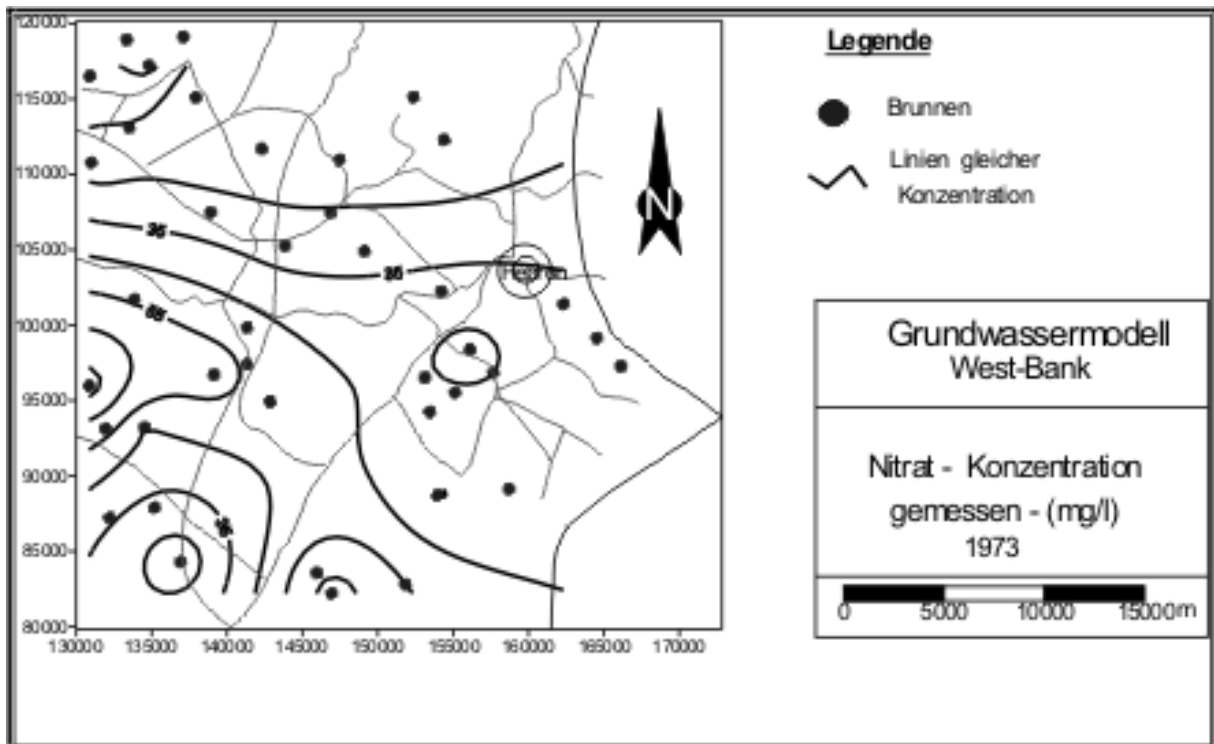


Abb. 5.3 Linien gleicher Nitratkonzentration im Jahr 1973

Die räumliche Verteilung der Nitrat Konzentrationen in 1983 wird in Abbildung (5.4) gezeigt.

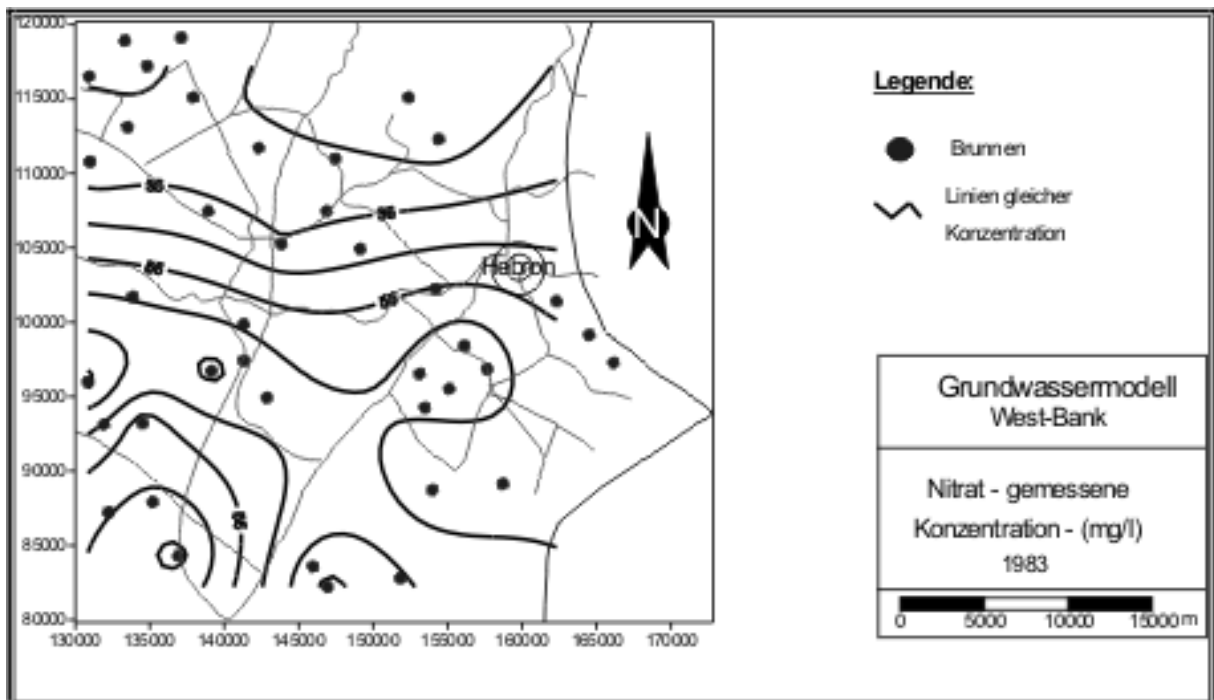


Abb. 5.4 Linien gleicher Nitratkonzentration im Jahr 1983

5.1.2 Sulfatgehalt im Grundwasser

Die Abbildung 5.5 zeigt die zeitliche Entwicklung des Sulfatgehaltes in den ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebietes zwischen 1973 und 1993.

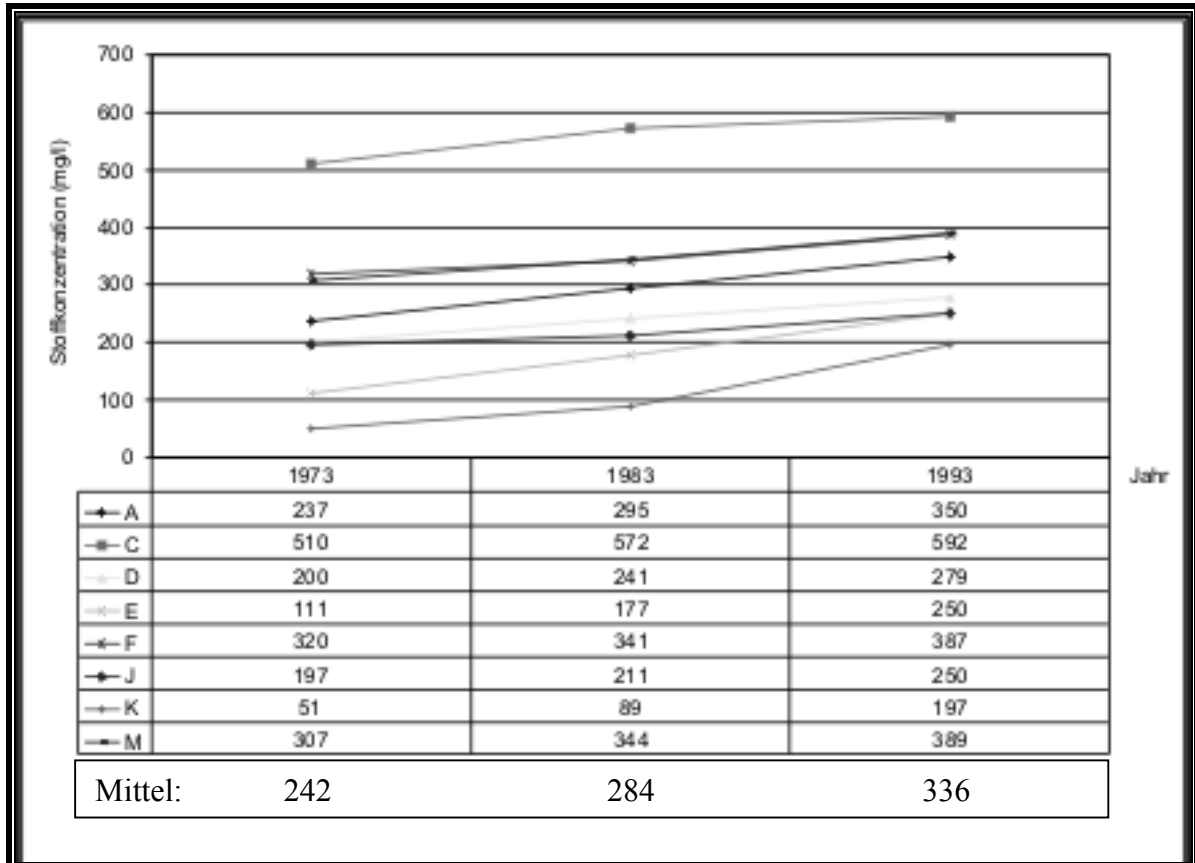


Abb. 5.5 Zeitliche Entwicklung des Sulfatgehaltes im Grundwasser in ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebietes

Die absoluten Werte liegen höher als bei Nitrat. Der relative Anstieg im gewählten Zeitraum ist jedoch geringer. Die höchste Werte liegen im Grundwasser des Brunnen C bei 600 mg/l im Jahre 1993, im Brunnen E sind die niedrigste Werte bei 250 mg/l im Untersuchungsgebiet.

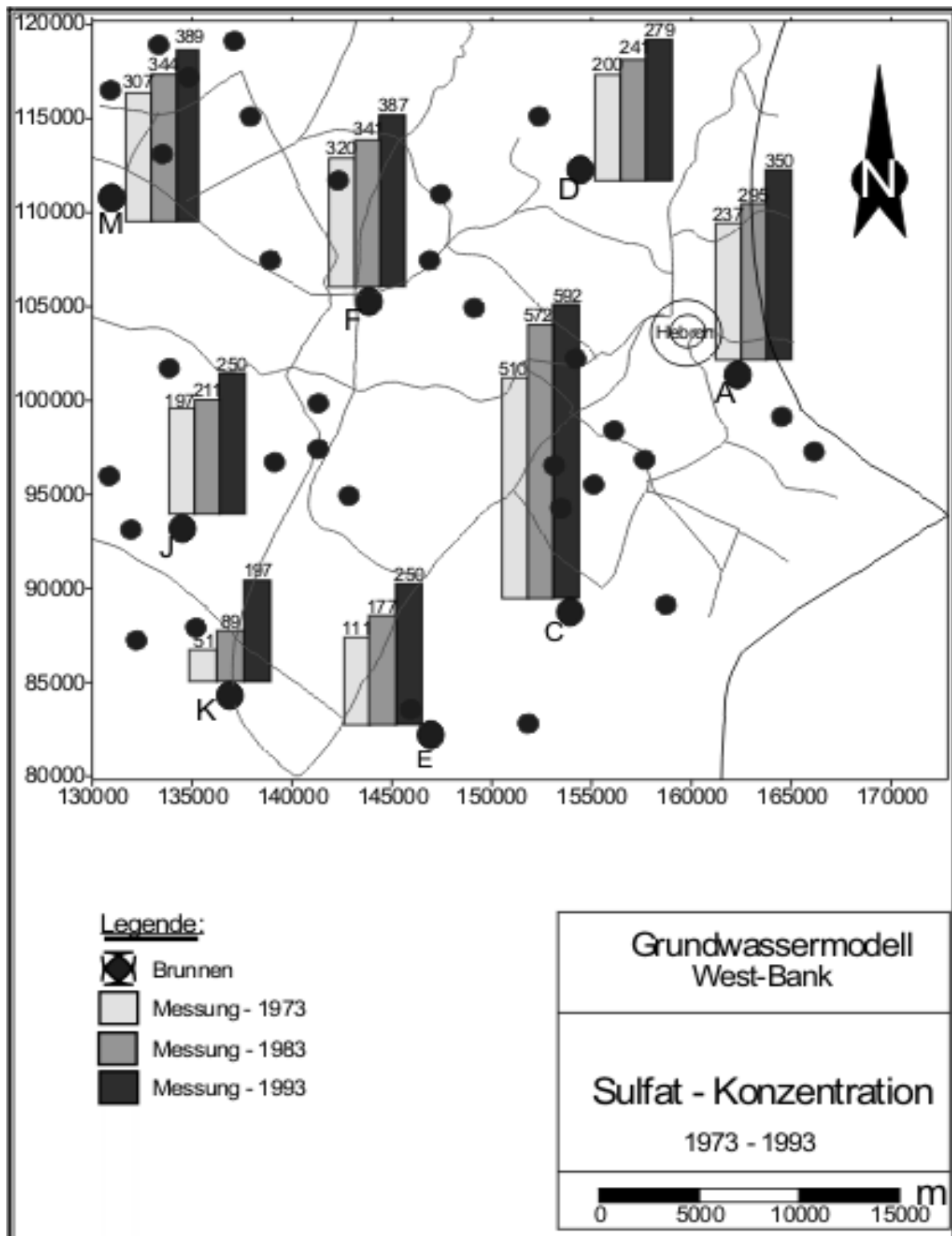


Abb. 5.6 Gemessene Sulfat-Konzentration zwischen 1973-1993 im Untersuchungsgebiet

Im Jahre 1973 liegen die Werte der Sulfat-Konzentrationen zwischen 140 und 340 mg/l.

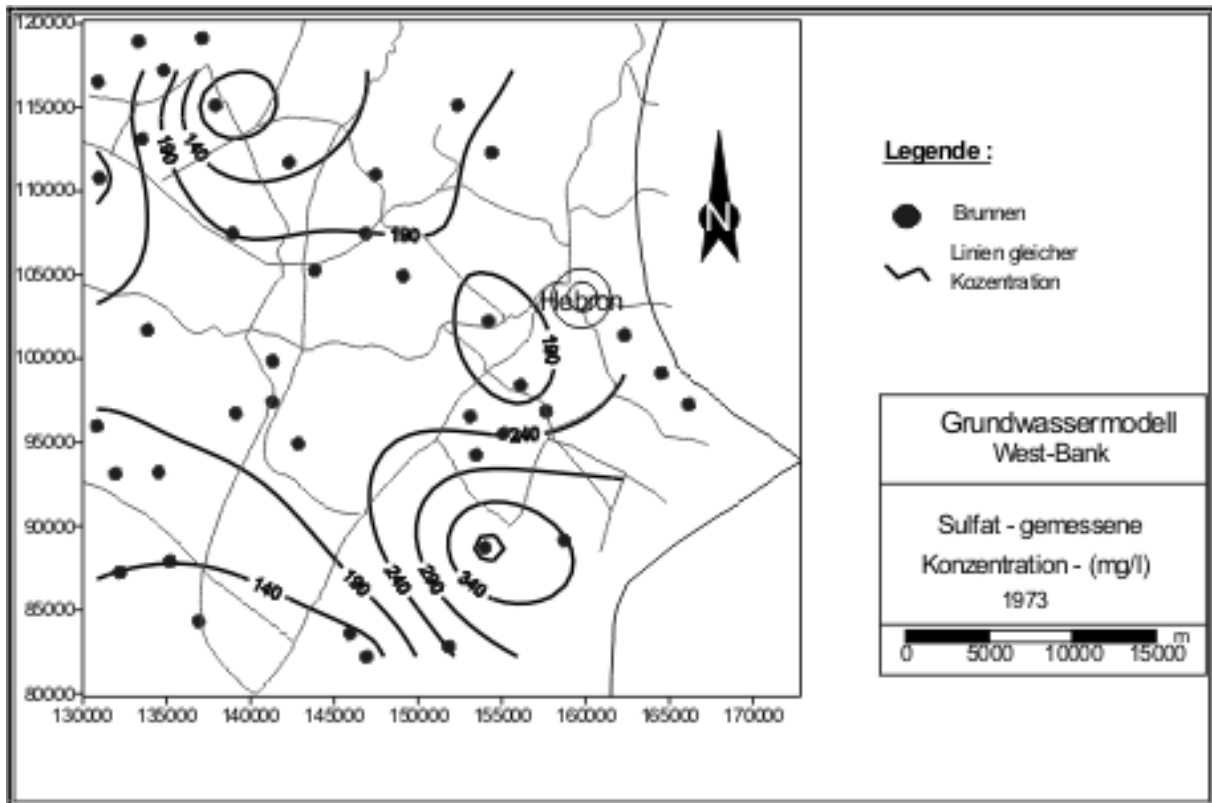


Abb. 5.7 Linien gleicher Sulfatkonzentration im Jahre 1973

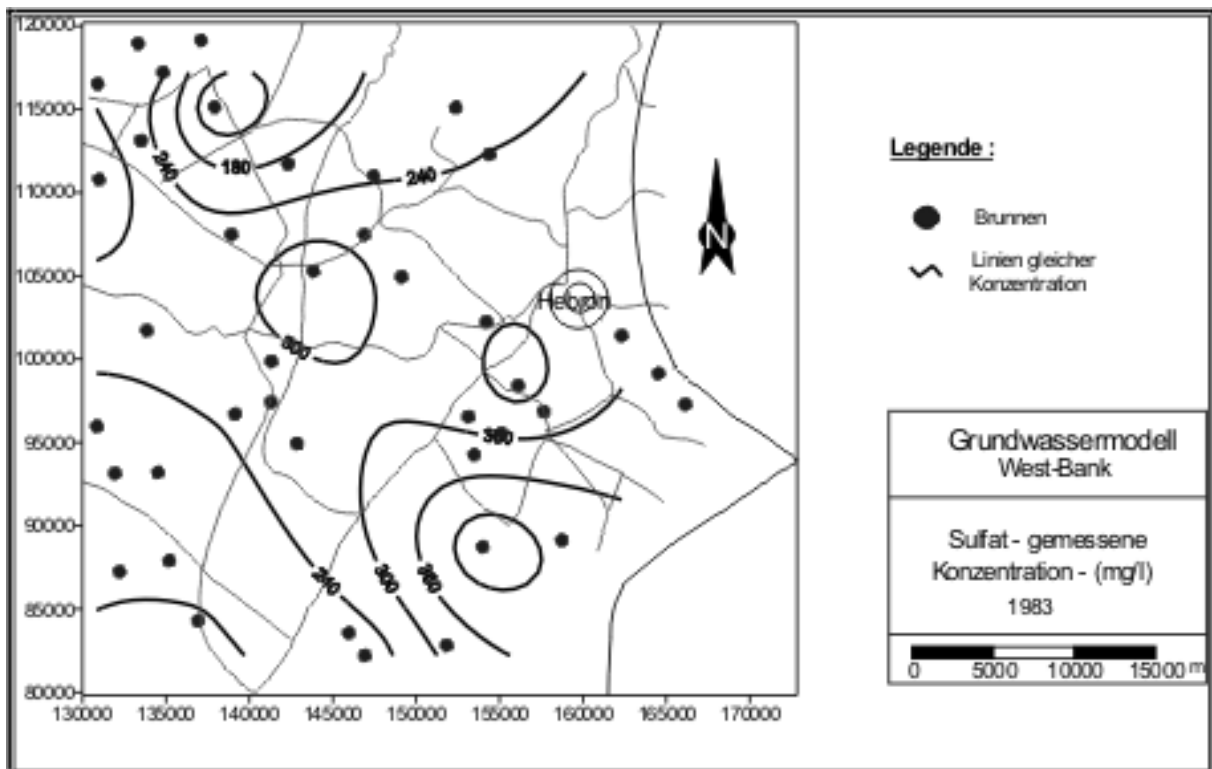


Abb. 5.8 Linien gleicher Sulfatkonzentration im Jahre 1983

5.1.3 Chloridgehalt im Grundwasser

In Abb. 5.9 ist die zeitliche Entwicklung des Chloridgehaltes in ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebietes zwischen 1973 und 1993 dargestellt.

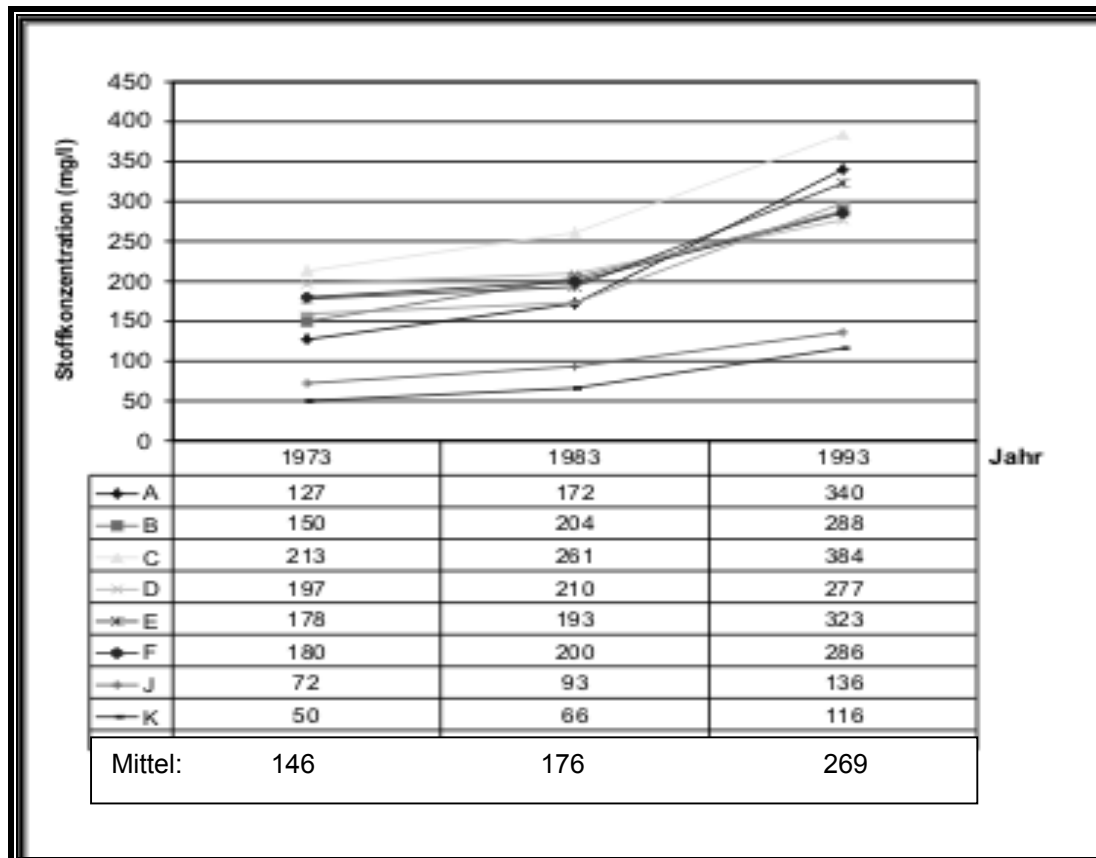


Abb. 5.9 Zeitliche Entwicklung des Chloridgehaltes im Grundwasser in ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebietes

Die Konzentrationsanstiege liegen zwischen 1973 und 1983 bei 2 bis 5 mg/l a. In der folgenden Dekade erhöht sich dieser Anstieg auf ca. 4 bis 10 mg/l a.

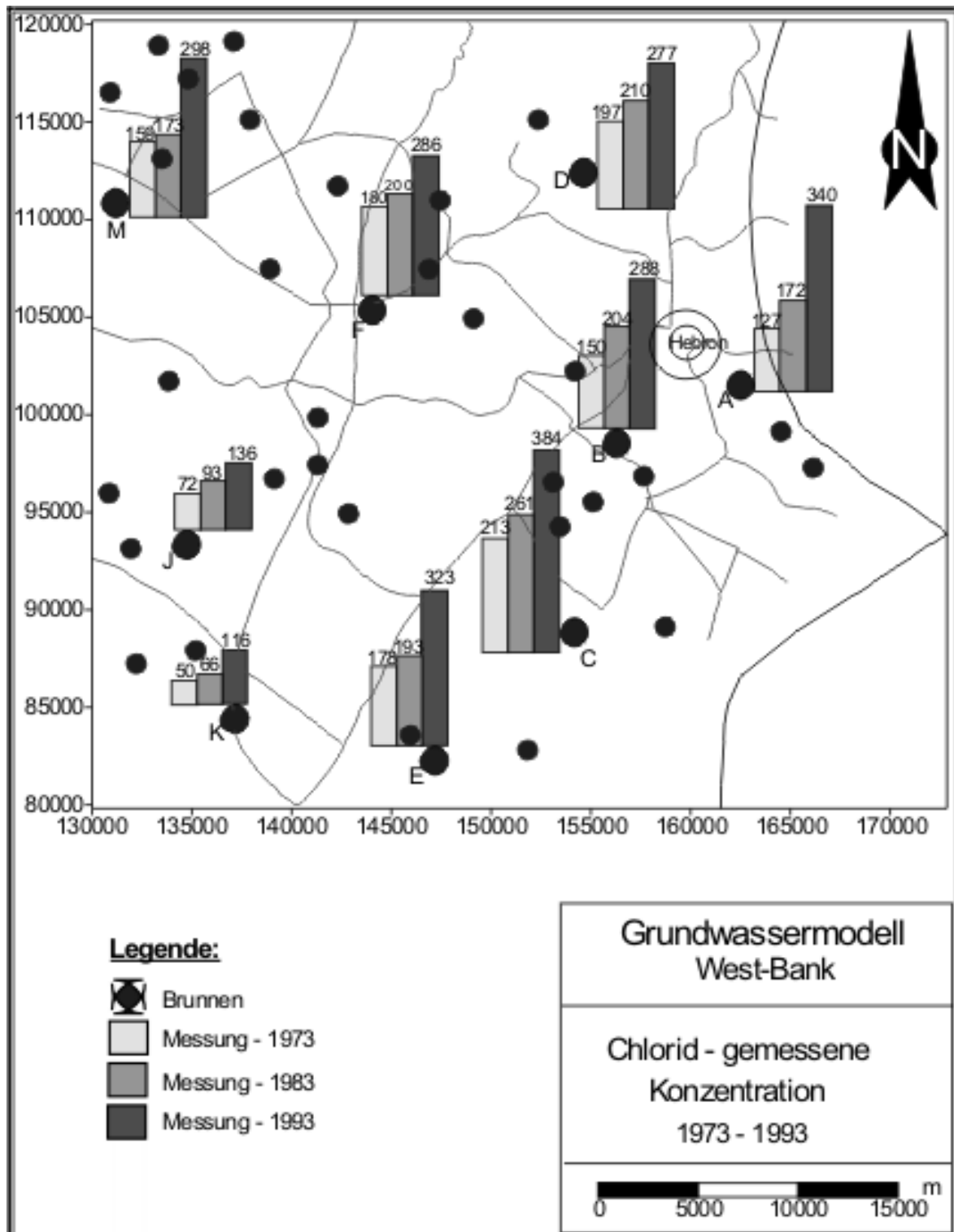


Abb. 5.10 Gemessene Chlorid - Konzentrationen zwischen 1973 und 1993 im Untersuchungsgebiet

Die Abbildung (5.11) zeigt die räumliche Verteilung des Chloridgehaltes in Form von Linien gleicher Chlorid-Konzentrationen im Jahre 1973. Die Werte liegen 100 und 200 mg/l.

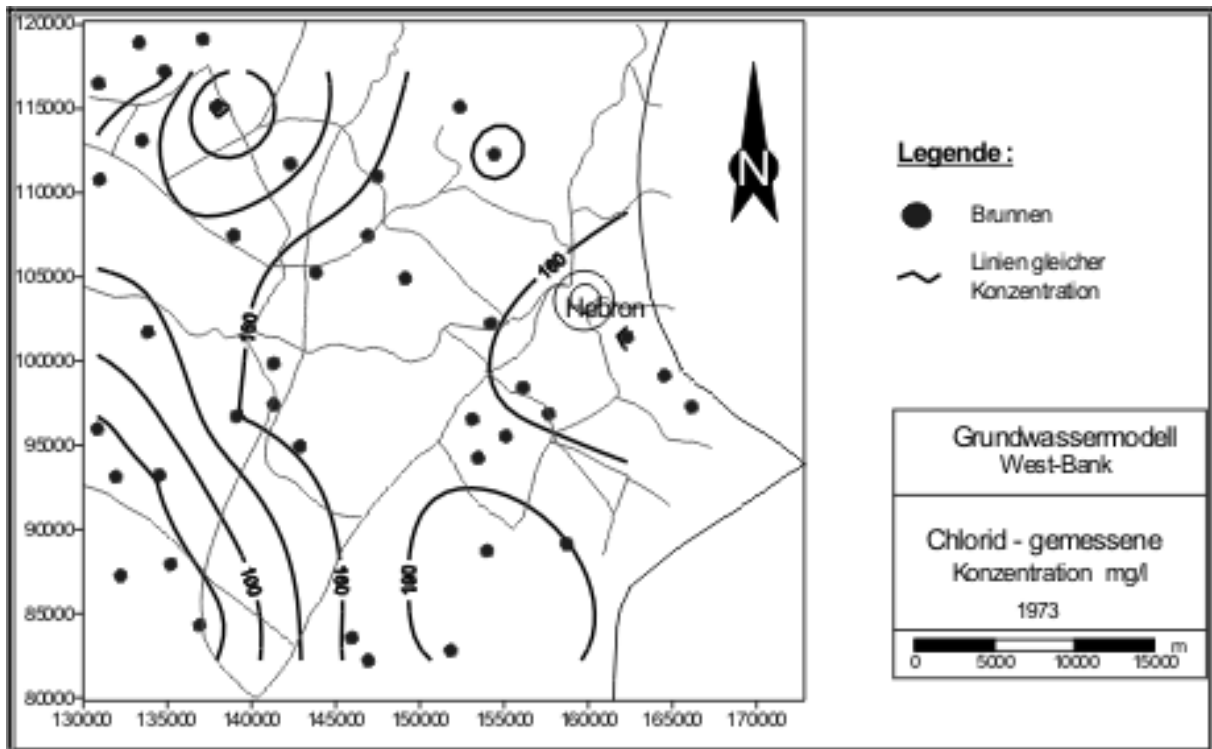


Abb. 5.11 Linien gleicher Chloridkonzentration im Jahre (1973)

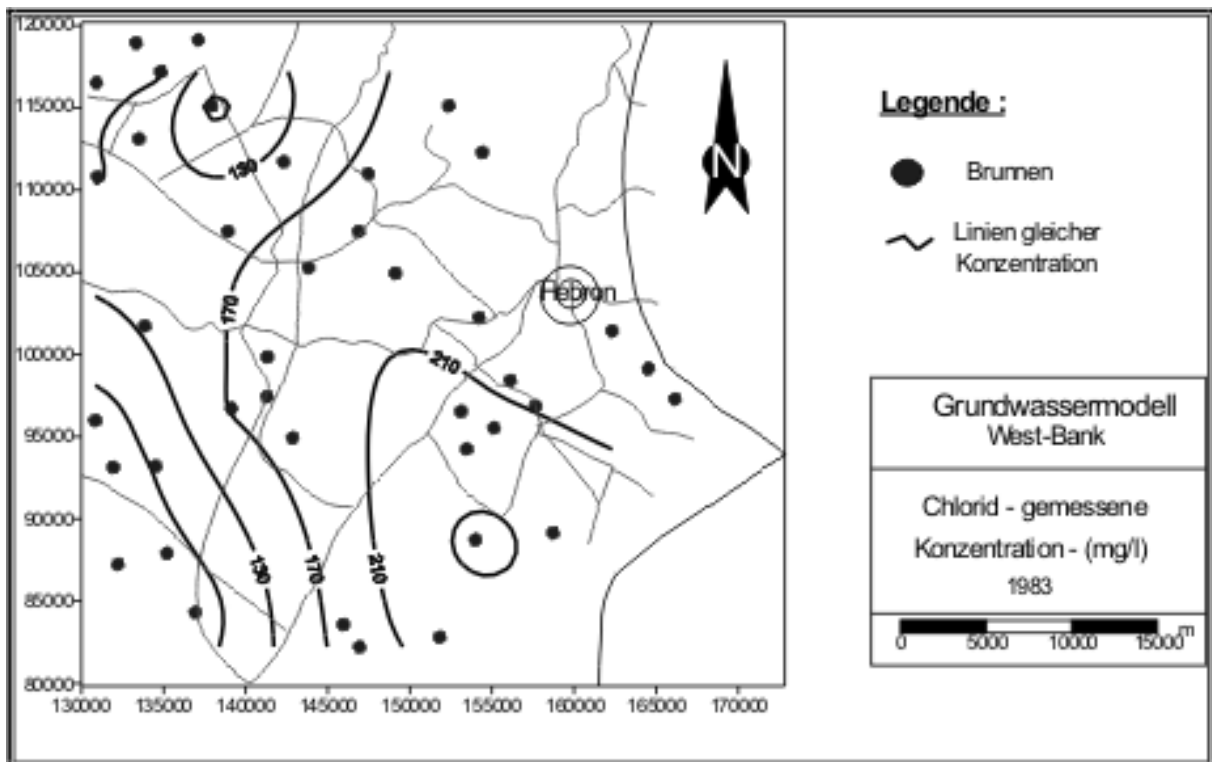


Abb. 5.12 Linien gleicher Chloridkonzentration im Jahre 1983

5.2 Flächennutzung

Die ermittelten Stoffkonzentrationen sind eine Folge von Stoffeinträgen, die im Wesentlichen aus menschlichen Aktivitäten an der Oberfläche resultieren. Diese Aktivitäten werden durch die Flächennutzung charakterisiert (H. Wilken; K. Knödel 1999). Maßnahmen zur Verminderung von Stoffeinträgen werden später in der Zusammenschau mit der Flächennutzung betrachtet.

Die Abbildung (5.1) zeigt den Flächennutzungsplan des Untersuchungsgebietes. Der größte Teil des Untersuchungsgebiet (337,7 km² entsprechend 37,9 %) besteht aus landwirtschaftlich genutzter Fläche. Die Brachfläche hat den zweitgrößten Anteil mit 197,2 km² entsprechend 22 % der gesamten Fläche. Die Wohnbaufläche ist mit 163 km² oder 18 % an der ganzen Fläche vertreten. Die Wald- und Grünfläche beträgt 113 km² (12,7%), die gewerblich und industriell genutzte Fläche beträgt 39,3 km² oder 4,4% und die Straßen- und Wasserflächen zusammen fast 6,5 km² (0,75%). Stand ist das Jahr 2000. Die genannten Werte sind in Tab. 5.1 zusammengestellt.

Tabelle 5.1 Flächennutzung und Flächengröße im Untersuchungsgebiet

Art der Nutzung	Fläche (km²)	%
Wohnbaufläche	163,3	18,3
Industrie	34,80	3,9
Gemischte u. gewerbliche Baufläche	39,30	4,4
Wald und Grünfläche	113,30	12,7
Brachfläche	197,20	22,1
Landwirtschaft	337,70	37,9
Wasserfläche	0,90	0,11
Straßenfläche	5,50	0,63
Gesamtfläche	892	100

Die Abbildung (5.13) zeigt die Verteilung der Flächen nach Nutzungsart im Untersuchungsgebiet der Westbank.

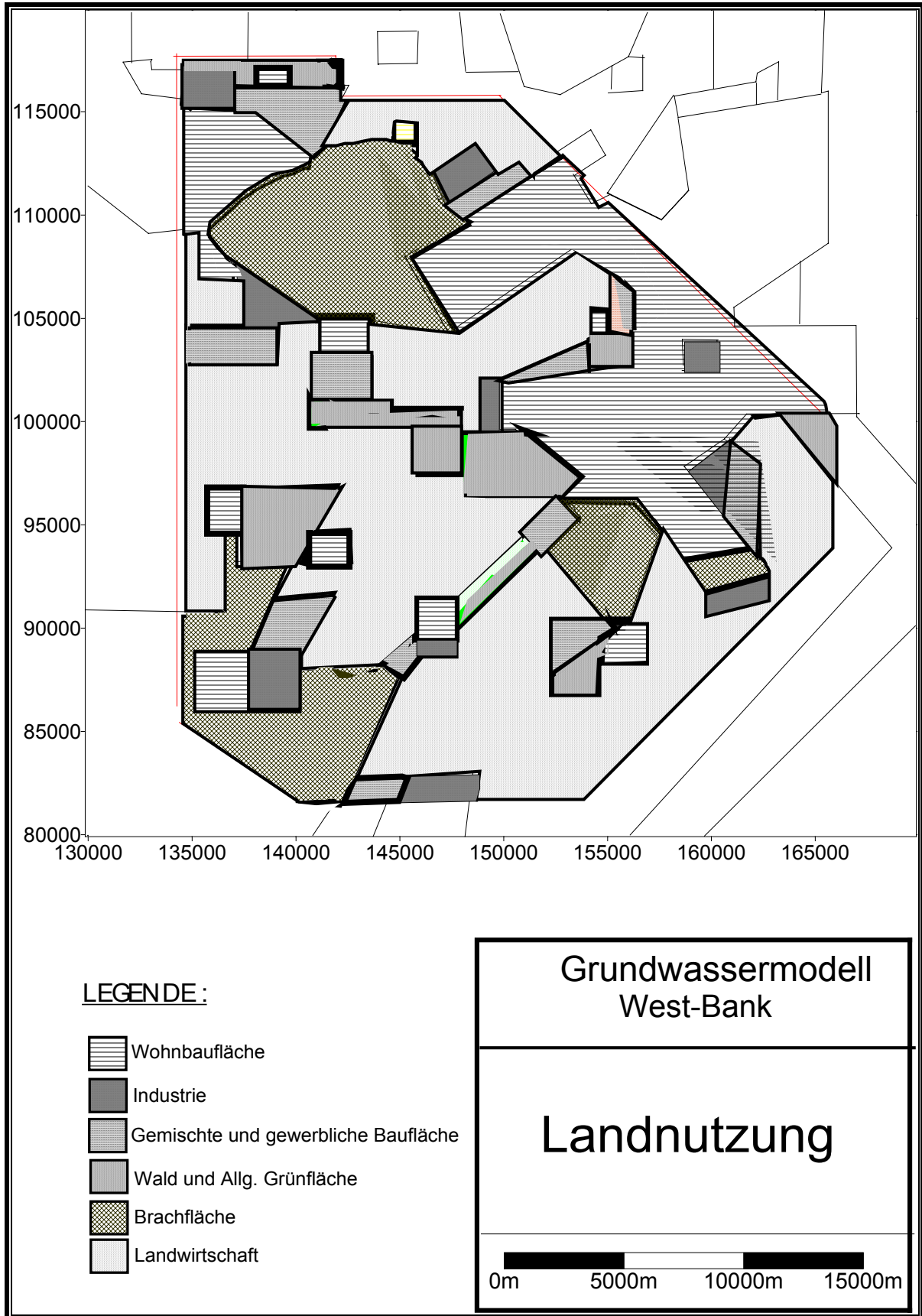


Abb. 5.13 Landnutzung im Untersuchungsgebiet

5.3 Stoffeinträge in das Grundwasser

Im Allgemeinen wird zwischen punktförmigen und diffusen Einleitungen unterschieden. Punktförmige Stoffeinträge in das Grundwasser erfolgen z.B. aus Abwasserteichen und Abfalldeponien. Der Begriff punktförmig ist in Relation zur Größe des betrachteten Gebietes zu sehen, in dem die Auswirkung der Einleitung betrachtet wird.

Diffusen Stoffeinträge sind keinem Ort sonder einer Fläche zuzuordnen. Sie stammen z.B. aus ackerbaulich genutzten oder urbanen Flächen. Aus Mangel an Daten über Stoffausträge aus punktförmigen Stoffquellen werden in dieser Arbeit allen Stoffeinträgen Fläche zugeordnet. Sie sind daher als diffuse Einträge zu werten.

Die exemplarisch betrachteten Stoffe Cl, NO₃ und SO₄ stammen z.B. aus Wohn- und Gewerbegebieten. Das Abwasser läuft in manchen Siedlungen auf den Straßen. Aus anderen Siedlungen wird es über eine Kanalisation zu Abwasserteichen und –gruben geleitet. Aus diesen Kanälen, Teichen und Gruben versickert das Wasser. Erfahrungswerte aus Europa sind jedoch nicht übertragbar auf diese Gebiete.

Die Berechnungen der Konzentration der Stoffe Chlorid, Nitrat und Sulfat in der Sickerwasserkonzentration bezogen auf das gesamte Untersuchungsgebiet beruhen auf folgenden Vorgaben:

Mächtigkeit des Grundwasserleiters:	30 m
Hohlraumanteil	0,3
Konzentration im entnommenen Wasser: Wie durch Messergebnisse angegeben	
Grundwasserneubildung:	145 mm/a, 1,45 · 10 ⁸ m ³ /a, 4,8 m ³ /s
Im Grundwasserleiter befindl. Volumen:	9 · 10 ⁹ m ³
Fläche des Untersuchungsgebietes	982 km ²

Werte über jährliche Zunahmen der Konzentration in mg/l a für Chlorid, Nitrat und Sulfat sind in Tab. 5.2 zusammengestellt.

Tab. 5.2 Zunahme der Konzentration

Stoffe	1973 bis 1983 mg/l a	1983 bis 1993 mg/l a
Chlorid	3,0	9,3
Nitrat	1,2	3,6
Sulfat	4,2	5,2

Die Berechnung der Konzentration der Stoffe im Sickerwasser erfolgt nach Gl. 2.1.6. So ergeben sich z.B. für Sulfat mit $\Delta c_a = 5 \text{ mg/la}$ entsprechend $45 \cdot 10^9$ Gramm pro Wasservolumen im Grundwasserleiter und Jahr eine Konzentration im Sickerwasser von $c_n = 664 \text{ mg/l}$. Diese Überschlagsrechnung zeigt eine deutlich höhere Konzentration im Sickerwasser gegenüber der im Grundwasser. Es ist daher in der Zukunft ein weiterer deutlicher Anstieg der Konzentrationen im Grundwasser zu erwarten. Die nachfolgende Tabelle (5.3) gibt zur Groborientierung Mittelwerte der Konzentrationen der jeweiligen Stoffe im Grundwasser c_a bezogen auf das Jahr 1993 und die zugehörigen Sickerwasserkonzentrationen c_n . Als Δc_a wurde hier der mittlere jährliche Zuwachs in den Jahren von 1983 bis 1993 genommen. Bei der Berechnung wird die Konzentration im Grundwasser c_g gleich der am Auslauf c_a gesetzt und damit ein vollkommen durchmischtes System angenommen.

Tab. 5.3 Mittelwert der Konzentrationen im Grundwasser im Jahr 1993 und die zugehörigen Sickerwasserkonzentrationen in mg/l.

Stoffe	c_g mg/l	c_n mg/l
Cl	269	685
NO₃	83	285
SO₄	336	933

Nachfolgend sind Konzentrationen im Sickerwasser bezogen auf die jeweiligen Landnutzungen angegeben.

Die Tab. 5.4 sind die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen von Volumen -und Massenflüssen zusammengefasst. Insbesondere gibt die Tab. 5.4 Stoffeinträge (Frachten) in Abhängigkeit von der Art der Landnutzung und der Sickerwasserrate für Chlorid, Nitrat und Sulfat in den Jahren 1973, 1983 und 1993 in t/a und die spezifische Fracht in Kilogramm pro Hektar und Jahr.

Die Abbildung (5.14) zeigt die in Tabelle 5.4 berechneten Stoffeinträge (Frachten) in den Grundwasserleiter des Untersuchungsgebietes in analoger Form für Nitrat, Chlorid und Sulfat in t/a.

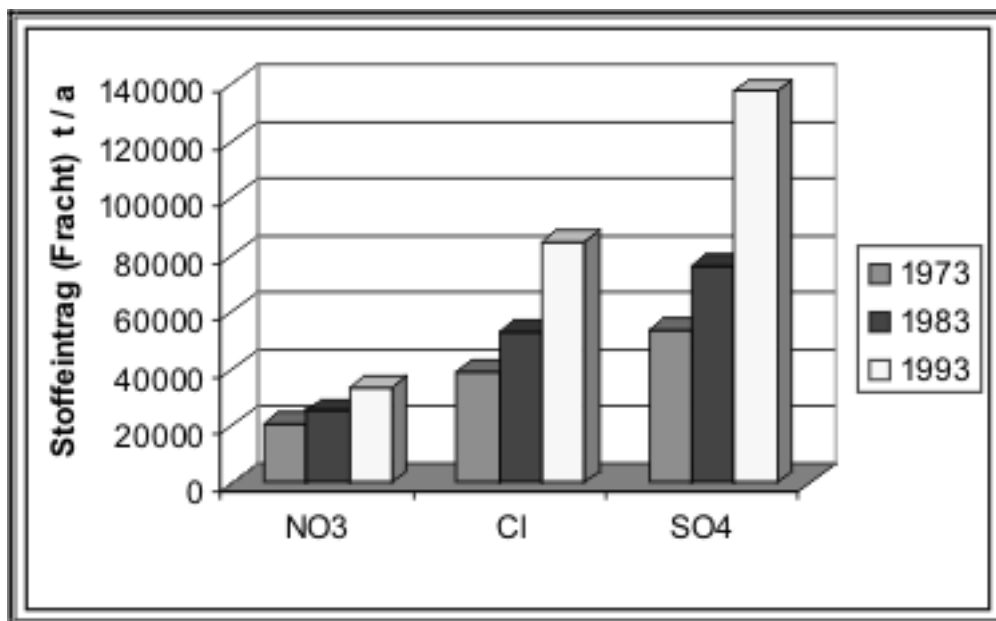


Abb. 5.14 Stoffeintrag (Fracht) im Jahr 1973, 1983 und 1993 für Nitrat, Chlorid und Sulfat im Sickerwasser

In den Abbildungen (5.15), (5.16) und (5.17) werden die Stoffeinträge (Frachten) für Nitrat, Chlorid und Sulfat für verschiedene Art der Landnutzung (Wohnbaufläche, Industriegebiet, gemischte und gewerbliche Fläche, Wald und Grünfläche, Brachfläche und Landwirtschaft) im Sickerwasser im Untersuchungsgebiet der Westbank in (kg / ha * a) dargestellt.

Art der Landnutzung	Fläche (A) (km ²)	GW-Neubildung (q) (l / s*km ²)	Mittlere Sickerwasserfluß (Q) (l / s)	Jahr	Stoffkonzentration im Sickerwasser (mg / l)				Stoffeintrag (Fracht) (t / a)				Spez.Stoffeintrag (Fracht) (kg / ha * a)			
					NO ₃	CI	SO ₄	NO ₃	CI	SO ₄	NO ₃	CI	SO ₄	NO ₃	CI	SO ₄
Wohnbaufläche	163.3	4.0	653	1973	150	250	400	3106	5177	8283	190	317	507			
				1983	180	400	700	3727	8283	14495	228	507	888			
				1993	230	800	1300	4763	16565	26919	292	1014	1648			
Industrie	34.8	4.5	157	1973	70	400	600	349	1991	2987	100	572	858			
				1983	100	700	1000	498	3485	4979	143	1001	1431			
				1993	140	1100	1500	697	5476	7468	200	1574	2140			
Gemischte und gewerbliche Fläche	39.3	4.5	177	1973	80	400	500	449	2245	2806	114	571	714			
				1983	100	500	800	561	2806	4490	143	714	1143			
				1993	130	800	1200	730	4490	6735	186	1143	1714			
Wald und Grünfläche	113.3	3.5	397	1973	100	250	400	1252	3131	5010	111	276	442			
				1983	120	300	600	1503	3575	7514	133	332	663			
				1993	150	400	900	1879	5010	11271	166	442	995			
Brachfläche	197.2	6.5	1282	1973	90	200	250	3640	8088	10110	185	410	513			
				1983	100	250	350	4044	10110	14155	205	513	718			
				1993	120	400	600	4853	16177	24265	246	820	1230			
Landwirtschaft	337.7	5.5	1857	1973	200	300	400	11777	17666	23554	349	523	698			
				1983	250	400	500	14721	23554	29443	436	698	872			
				1993	340	600	1000	20021	35331	58886	593	1046	1744			

Art der Landnutzung	Fläche (A) (km ²)	GW- Neubild- ung (q) (l / s*km ²)	Mittlere Sicker- wasserfluß (Q) (l / s)	Jahr	Stoffkonzentration im Sickerwasser				Stoffeintrag (Fracht)				Spez.Stoffeintrag (Fracht)						
					NO ₃	Cl	SO ₄		NO ₃	Cl	NO ₃	Cl	NO ₃	Cl	NO ₃	Cl	SO ₄	SO ₄	
Wasserfläche	0.90																		
Straßenfläche	5.50																		
Summe:	892		4523	1973 1983 1993						20573 24803 32943	38298 51813 83049	52750 75076 135544							
Mittel:		4.75																	

Tabelle 5.4 Volumenflüsse und Massenflüsse bezogen auf Nitrat, Chlorid und Sulfat im Sickerwasser des Untersuchungsgebietes zwischen 1973 und 1993

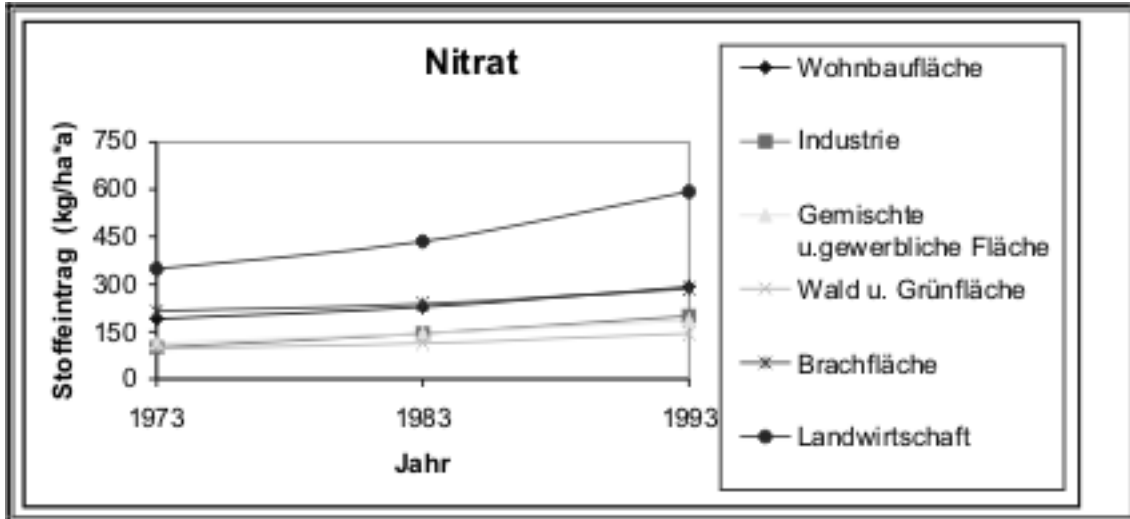


Abb. 5.15 Stoffeintrag für **Nitrat** in den Jahren 1973, 1983 und 1993 für verschiedene Arten der Landnutzung

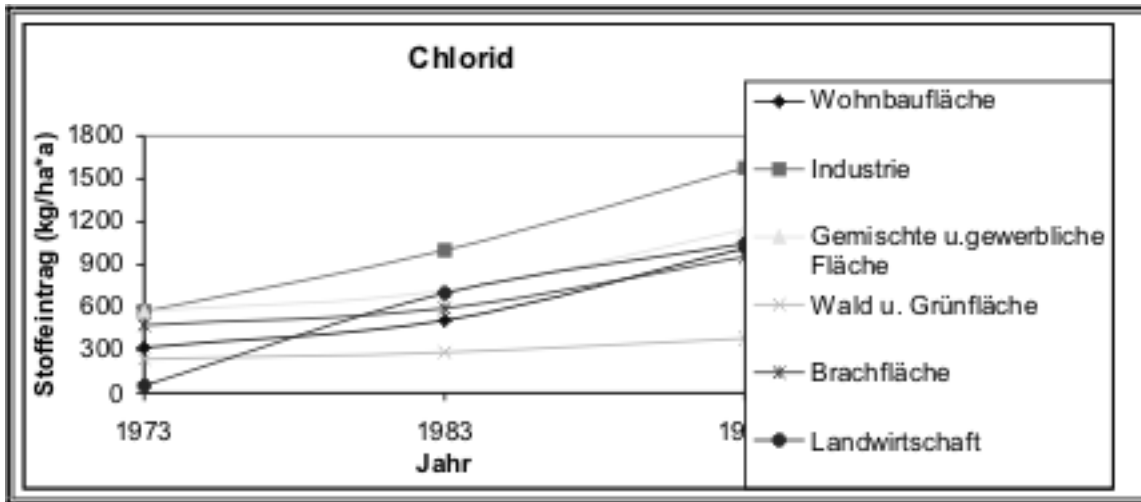


Abb. 5.16 Stoffeintrag für **Chlorid** in den Jahren 1973, 1983 und 1993 für verschiedene Arten der Landnutzung

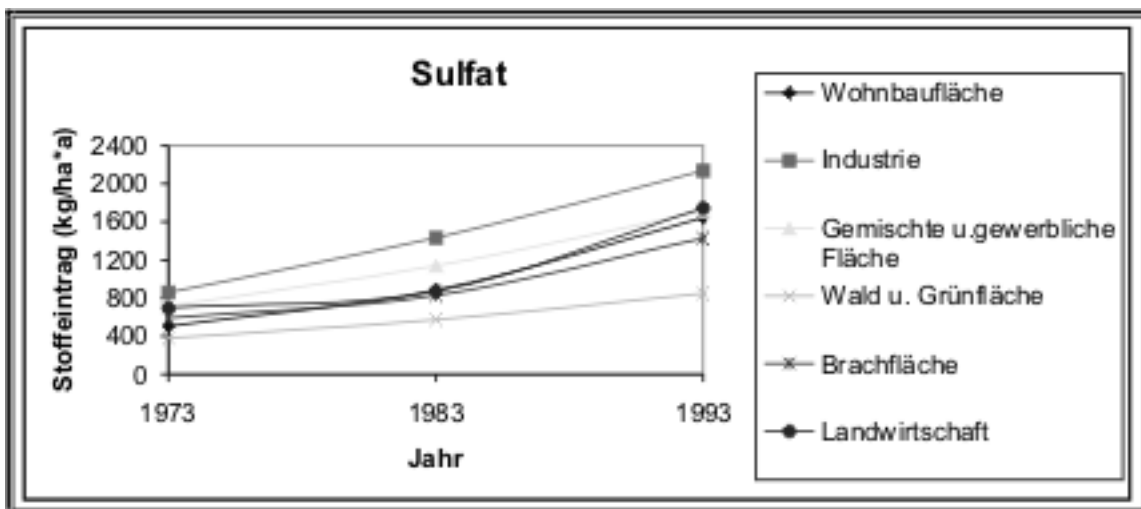


Abb. 5.17 Stoffeintrag für **Sulfat** in den Jahren 1973, 1983 und 1993 für verschiedene Arten der Landnutzung

5.4 Pflanzenschutzmittel im Grundwasser

Die Modelluntersuchung hat eine mittlere Grundwasserneubildungsrate von ca. 150 mm/a ergeben, die aus dem Niederschlag resultiert. In diese Größenordnung kommt nach Gl. 2.2.2 die mittlere Geschwindigkeit, mit der dieses Wasser in der Bodenzone in Richtung Grundwasser absickert, wenn eine räumlich gleichförmige Absickerung angenommen wird. Die durch Messung ermittelten Veränderungen der Konzentrationen der Indikatorstoffe Chlorid, Nitrat und Sulfat deuten auf Stoffverlagerungen in der ungesättigten Zone hin, die im Bereich von 30 Meter in 10 Jahren liegen müssen. Bei solchen Geschwindigkeiten kann das Wasser nicht gleichförmig auf der Fläche zum Grundwasser absickern. Ungleichförmigkeiten bei diesem Prozess können auf folgende Ursachen zurückzuführen sein:

- Versickerung von viel Wasser auf kleinen Flächen (z.B. Abwasserteiche)
- Bevorzugter Fluss auf Wegsamkeiten im Gestein

Zur Abschätzung, ob Pflanzenschutzmittel die Grundwasserqualität beeinträchtigen können, wird zunächst ein einfacher Ansatz entsprechend Gl. 2.2.1 gemacht. Es wird ein Abbau erster Ordnung angesetzt. t ist die mittlere Verweilzeit des Wassers in der ungesättigten Zone, λ die Zerfallskonstante. c_{s0} wird als Ausgangskonzentration im Sickerwasser nahe der Erdoberfläche angesehen, c_s als Konzentration im Sickerwasser, welches die Grundwasseroberfläche erreicht.

$$c_s = c_{s0} e^{-\lambda t} \quad (5.4.1)$$

Zur Ermittlung der Ausgangskonzentration im Sickerwasser nahe der Erdoberfläche wird ein sog. Worst-Case-Szenarium vorgegeben. Die Anwendungsmenge betrage 10 kg/ha a. Diese Menge wird in das Sickerwasser eingemischt, die von der Fläche eines Hektars absickert. Bei einer Grundwasserneubildungsrate von 0,115 m/a ergibt das eine Konzentration von maximal 10 mg/l. Bei dieser Berechnung ist eine Verdunstung des Pflanzenschutzmittels und eine Aufnahme durch Pflanzen zunächst unberücksichtigt geblieben. Darüber hinaus dürfte auf bewässerten Feldern die Sickerrate größer als angenommen sein und damit die Ausgangskonzentration kleiner. Mull u. Nordmeyer 1992 haben z.B. Zerfallskonstanten für Atrazin im Oberboden von ca. 4,2 1/a und im Grundwasser von minimal 0,258 1/a angegeben. Bei einer mittleren Verweilzeit von 2 Jahren im Oberboden ergäbe sich eine Konzentration von 2,2 µg/l nach der Durchsickerung dieser Schicht. Bei einer weiteren Verweilzeit von 100 Jahren im interen Unterboden würde sich rein rechne-

risch Konzentrationen im Sickerwasser, welches das Grundwasser erreicht, einstellen, die unterhalb jeglicher Nachweisgrenze liegen würden.

Pflanzenschutzmittel, die eine Zerfallskonstante in der angegebenen Größenordnung besitzen, sind für das Grundwasser als unbedenklich anzusehen, wenn sie aus Ackerflächen ausgewaschen werden. Sollten jedoch größere Mengen auf ungesicherten Mülldeponien landen oder solche mit einer weit kleineren Abbaukonstanten verwendet werden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass messbare Konzentrationen im Grundwasser auftreten.

In der nachfolgenden Tabelle 5.5 sind die im Jahr 1998 angewendeten Mengen an Pflanzenschutzmitteln für einige Bereiche im Nahen Osten angegeben. Wenn die gesamte Pestizidmenge für die bewässerte Fläche auf die Fläche in der Westbank bezogen wird, ergibt sich eine Flächenbelastung von ca. 37 kg/ha a. Bezogen auf deutsche Verhältnisse ist von 4 bis 8 kg/ha a auszugehen. Diese Angaben zeigen, dass in beachtlichem Umfang Pflanzenschutzmittel angewendet werden. Für genauere Berechnungen fehlen Angaben über die verwendeten Wirkstoffe, deren Menge und deren Verhalten im Untergrund.

Die Abbildung 5.18 zeigt die Pestizidverbrauch für die bewässerte Fläche mit 44% - und unbewässerte Fläche mit 56% der gesamten Verbrauch in den verschiedenen Städten der Westbank in t/a

Tabelle 5.5 Verbrauch an Pestizide und Düngemittel auf der Westbank, Gaza, Israel und Jordanien (Applied Research Institute-Jerusalem -1995).

	Westbank	Gaza	Israel	Jordan
Bewässerte Fläche (ha)	10 160	13 950	240 000	76 950
Gesamte Pestizidmenge für die bewässerte Fläche (t/a)	371	201	9 600	--
Gesamte Pestizidmenge für die unbewässerte Fläche (t/a)	503	282	2 800	1 084
Düngemittel - Verbrauch (t/a)	30 000	20 500	90 000	470 000
Anzahl der Wirkstoffe	123	--	350	334

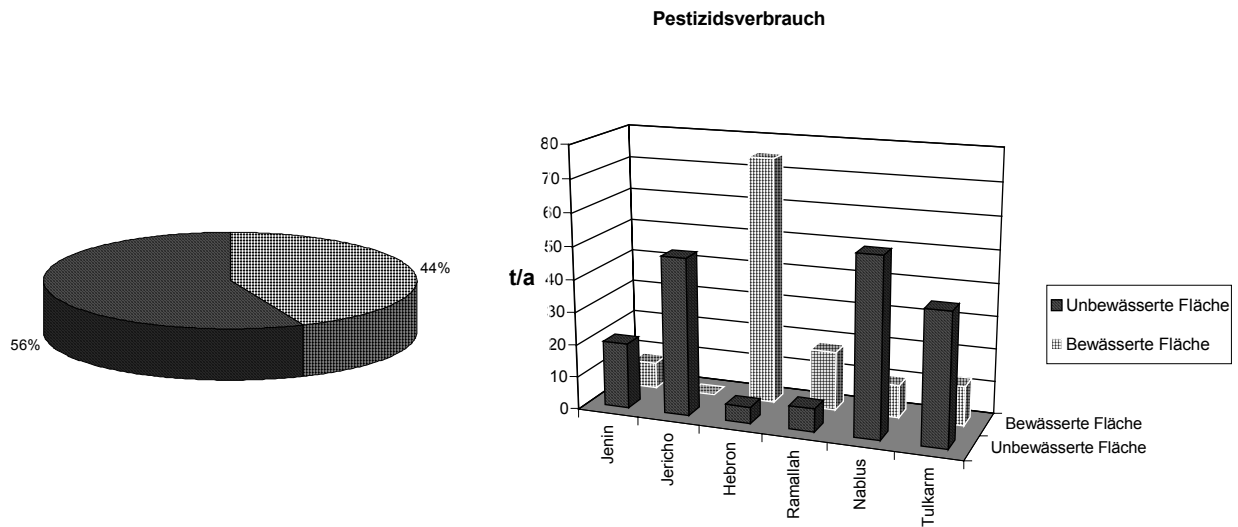


Abb. 5.18 Pestizidsverbrauch für bewässerte und unbewässerte Fläche auf der Westbank in t/a.

6 Bewertung der Befunde

Durch Messungen wurde nachgewiesen, dass das Grundwasser im Untersuchungsgebiet erheblich mit den Stoffen Chlorid, Nitrat und Sulfat belastet ist. Abschätzungen haben zu der Annahme geführt, dass auch Pflanzenschutzmittel eine Verunreinigung des Grundwassers bewirken können. Es ist nicht auszuschließen, dass auch noch weitere Stoffe zur Belastung des Grundwassers beitragen. Dazu gehören z.B. Kohlenwasserstoffe aus Mineralölen z.B. von Tankstellen und chlorierte Kohlenwasserstoffe.

Anthropogene Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit werden nach den Definitionen von Buchan & Key (1956), Milde & Mollweide (1970) und Bachmat & Collins (1987) zu Grundwasserverunreinigungen, wenn sie die Nutzungsmöglichkeit eines Grundwassers, das in seinem natürlichen Zustand für diese Nutzung geeignet ist, völlig oder teilweise ausschließen. Die Beeinträchtigung der Nutzung darf dabei nicht nur im hygienischen Sinne gesehen werden.

Wird die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser in den Vordergrund gestellt, haben die Mittelwerte der gemessenen Konzentrationen die Grenzwerte der EU-

Richtlinie schon 1993 wesentlich überschritten. Die Überschreitungsfaktoren sind in Tab. 6.1 angegeben

Tab. 6.1 Vergleich gemessener Konzentrationen im Grundwasser 1993 mit EU-Grenzwerten für die Nutzung als Trinkwasser und daraus resultierende Überschreitungsfaktoren

Stoffe	C _{gemessen} [mg/l]	C _{grenzEU} [mg/l]	Überschreitungsfaktor
			$\frac{C_{\text{gemessen}(1993)}}{C_{\text{grenzEU}(1993)}}$ [-]
Cl	269	250	1,08
NO ₃	83	50	1,66
SO ₄	336	240	1,40

Es ist gezeigt worden, dass im Sickerwasser, welches das Grundwasser erreicht, weit höhere Konzentrationen vorhanden sein müssen, als das im Grundwasser der Fall ist.

Die Ergebnisse der exemplarischen Untersuchungen bezogen auf Nitrat, Sulfat und Chlorid schließen nicht aus, dass die Konzentration anderer Stoffe im Grundwasser zulässige Werte für Trinkwasser bereits überschritten haben oder in Kürze überschreiten werden.

Für die Nutzung des Grundwassers zur Bewässerung sind die Chlorid- und Sulfatgehalte noch relativ gering. Hier werden noch keine Einschränkungen in der Verwendbarkeit gesehen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen deutlich (Abb. 6.1), dass vornehmlich die urbanen Gebiete sich durch hohe Stickstoffeinträge auszeichnen. Die unkontrollierte Abwasserein- in den Untergrund in Siedlungen führt vorwiegend organisch gebundenen Stickstoff in den Boden ein. Durch die Mineralisierung und nachfolgende Nitrifizierung ergeben sich dann im Grundwasser auch hohe Nitratkonzentrationen. Die Nitratkonzentration im Grundwasser lag 1993 im Mittel um etwa den Faktor 1,7 über dem Grenzwert der deutschen Trinkwasserverordnung. 65% aller gemessenen Werte von 1993 überschreiten diesen Grenzwert.

Ferner zeigen die Messungen von Stoffkonzentrationen im Grundwasser südlich der Stadt Hebron (Zone B) hohe Sulfat- und Chloridwerte.

Das erklärt sich durch:

1. Hohe Versickerungsraten aus einem Abwassersammelbecken im Süden der Stadt mit der Größe von ca. 1 Mio. Einwohnergleichwerten (EGW).
2. Schlecht gesicherte konventionelle Abfalldeponie, von denen die meistens im Süden des Untersuchungsgebietes gelegen sind.
3. Düngung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Zu den Punkten 1. und 2. ist anzumerken, dass aus Sickerteichen (-) und Mülldeponien kein Nitrat in das Grundwasser eingetragen wird, da zur Bildung von Nitrat Sauerstoff zur Verfügung stehen muss. Im Abwasser von Deponien sind hohe Konzentrationen organischer Stoffe vorhanden, deren Abbau durch Bakterien viel Sauerstoff verbraucht. Für die Oxidation von Ammonium zu Nitrit und dann zu Nitrat ist jedoch nur wenig Sauerstoff vorhanden (Rohman, U.; Sontheimer, H. -1985).

Der Sulfatgehalt im Grundwasser im Süden des Untersuchungsgebietes in der Nähe des Abwassersammelbeckens und der Mülldeponie (Brunnen B und C) liegt im Mittel bei 600 mg/l. und damit um den Faktor 3 höher als die Sulfatkonzentration im wenig beeinflussten Grundwassers im Bereich der Brunnen E, K und J in Abb. 5.6. Entsprechend wird die erhöhte Konzentration von Chlorid in diesem Gebiet als Beitrag aus dem Klärbecken und den Abfalldeponien gedeutet.

Die Abbildung 6.1 zeigt die flächige Verteilung der Grundwasserneubildung auf der gesamten Fläche in ($l/s \cdot km^2$) und Stoffkonzentrationen im Sickerwasser für die Zonen A und B in (mg/l) für Nitrat, Chlorid und Sulfat im Untersuchungsgebiet. Die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser sind für das Jahr 1993 in Abb. 6.1 mit der Landnutzung in Verbindung gebracht.

Im Gegensatz zur detaillierten Landnutzung sind in Abb. 6.1 nur zwei Bereiche unterschieden. Im Bereich A ist der mehr urbane Teil des Einzugsgebietes mit der Stadt Hebron enthalten. Im Bereich B steht der ländliche Teil im Vordergrund. In diesem ländlichen Teil liegen Abwasserteiche und Mülldeponien als wesentliche Quellen von Sulfat und Chlorid

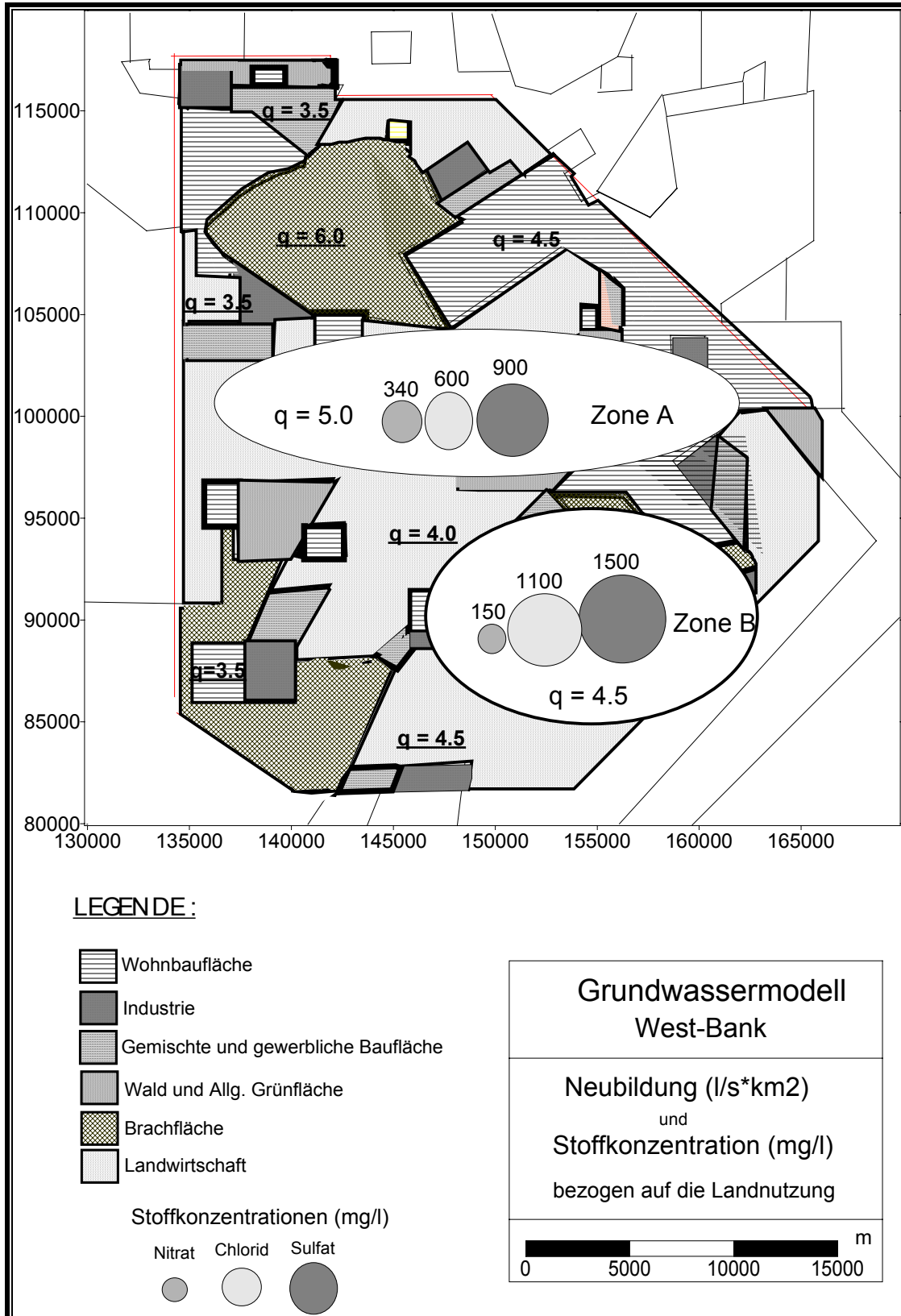


Abb. 6.1 Grundwasserneubildung in (l/s*km²) und Stoffkonzentrationen im Sickerwasser in (mg/l) für Nitrat, Chlorid und Sulfat im Untersuchungsgebiet des Grundwasserleiters mit der Landnutzung bezogen auf 1993.

7 Grundwassermodellierung

Stoffe werden im Grundwasserleiter transportiert. Dieser Transport ist zu berücksichtigen, wenn es um die Stoffverlagerung in langen Zeiträumen geht. Entsprechend der Datenlage ist nur der advective Teil des Transportes berücksichtigt worden. Dazu war die Fließgeschwindigkeit nach Größe und Richtung zu ermitteln. Das ist mit einem Grundwassermodell geschehen. Die Eichung des Modells liefert die Transmissivität und die Grundwasserneubildung. (Kinzelbach, W. 1986,1987)

7.1 Aufbau des Grundwassermodells

Zur Modellierung der Strömungsvorgänge wird die Methode der finiten Differenzen angewendet. Das verwendete Raster ist in Abb. (7.1) dargestellt. Verwendet wurden die 3D-Modellprogramme GWMOD und MIXCELL (Boochs u. Mull 1990).

7.1.1 Ränder und Randbedingungen

Die natürliche Berandung des Gebietes wird durch die Hebronberge im Osten mit vorgegebenen Wasserständen festgelegt (Potentialrand). Im Norden verläuft die Berandung südlich der Betlehemshöhen. Hier findet ein Grundwasserabstrom nach Nordwest statt. Dieser Abstrom wurde als Randbedingung gewählt. Im Süden endet das Gebiet auf der Höhe von der Stadt Bierscheva. Hier wurde der Rand entlang einer Stromlinie gelegt mit der Randbedingung $Q = 0$. Der Westrand ist als Potentialrand durch die 370 m Grundwassergleiche gegeben.

7.1.2 Hydraulische und hydrologische Parameter

Für die Transmissivität wurde zunächst ein einheitlicher Wert von $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ und für die Neubildung $4.0 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ angesetzt.

Die Abbildung (7.1) zeigt den Grundwassergleichenplan im Untersuchungsgebiet. Die Werte liegen im Ostrand bei Hebron mit 540 m über dem Meeresspiegel und im Westrand mit 370 m über dem Meeresspiegel.

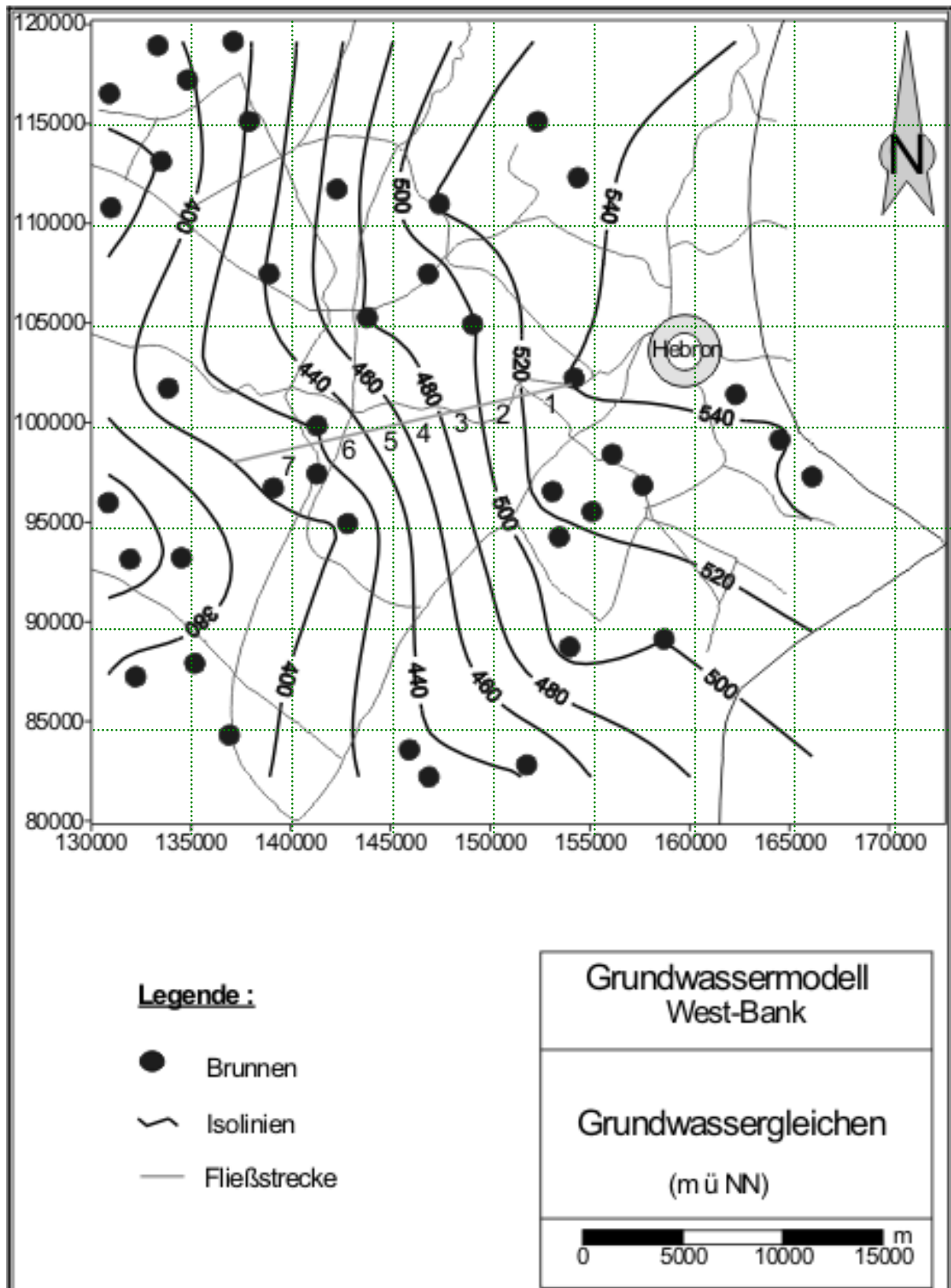


Abb. 7.1 Grundwassergleichen im Untersuchungsgebiet

7.2 Modelleichung

7.2.1 Transmissivität

Im Verlauf der Eichung erfolgten im wesentlichen Veränderungen der Werte der Transmissivität bis eine ausreichend genaue Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen erreicht war. Die Transmissivitäten liegen zwischen $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Werte nehmen in westlicher Richtung ab. Eine solche Abnahme ist im Wesentlichen auf die Abnahme der Durchlässigkeiten zurückzuführen. In der Nähe der Berge ist im Laufe der Zeit (geologische Zeit) grobkörniges Material sedimentiert, weiter nach Westen hin mehr feinkörnige Fraktionen. Bei einer mittleren Mächtigkeit des Aquifers von ca. 30m ergeben sich mittlere Durchlässigkeiten k_f von $1,2 \cdot 10^{-4}$ bis $3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

7.2.2 Grundwasserneubildung

Die Verteilung der Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag und aus der Versickerung von Abwasser, die mit dem Modell ermittelt ist, zeigt, dass die durchschnittliche Neubildungsrate zwischen $2,5 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ und $3,5 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ bei dichter Bebauung, zwischen $3,5 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ und $5,0 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ bei Gebieten mit lockerer Bebauung und zwischen $5,0 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ und $6,5 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ bei unbebauten Flächen liegt. Die Versickerung von Niederschlagswasser dominiert die Grundwasserneubildung. Insgesamt ergibt sich eine mittlere Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag von ca. 150 mm/a gegenüber einer solchen aus dem Abwasser von ca. 30 mm/a.

7.2.3 Grundwasserbilanz

Den Grundwasserumsatz im Modellgebiet für den Eichzustand ist in Tabelle (7.1) dargestellt. Der Gesamtumsatz, das heißt die Summe der zu- bzw. abfließenden Wassermengen im Grundwasser im Untersuchungsgebiet beträgt bezogen auf den Eichzustand ca. 145 Mio. m^3 im Jahr. Die Neubildung beträgt $3,80 \text{ m}^3/\text{s}$, das sind 120 Mio m^3/a . Die Grundwasserentnahmen liegen bei $1,30 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 40,5 Mio. m^3 im Jahr. Die unterirdische Abstrom im Modellgebiet beläuft sich auf $3,30 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 104,5 Mio m^3 im Jahr.

Tabelle 7.1 Grundwasserbilanz

Zugang			Abgang		
	m ³ /s	Mio m ³ /a		m ³ /s	Mio m ³ /a
- Neubildung	3.80	120.00	- Grundwasserentnahme	1.30	40.50
- Abwasser	0.50	16.00	- Unterirdischer Abstrom	3.30	104.50
- Bewässerung	0.30	9.00			
Summe	4.60	145.00		4.60	145.00

Bei dem Vergleich zwischen berechneten und durch Interpolation von Messergebnissen der Standrohrspiegelhöhen gewonnenen Grundwassergleichen ist zu berücksichtigen, dass die Messergebnisse nicht aus sog. Stichstagsmessungen resultieren, sondern aus Ergebnissen, die zu unterschiedlichen Jahreszeiten gewonnen wurden. Demgegenüber sind die berechneten Wasserstände Ergebnisse von Berechnungen stationärer Zustände, die Mittelwerte von jahreszeitlich schwankenden Grundwasserständen sind. Die Schwankungsbreiten betragen im Bereich des bergigen Teils des Gebietes ca. 2m, im flachen teil ca. 1 m.

Die folgende Abbildung 7.2 zeigt den Vergleich zwischen gemessenen und gerechneten Grundwassergleichen in m ü NN.

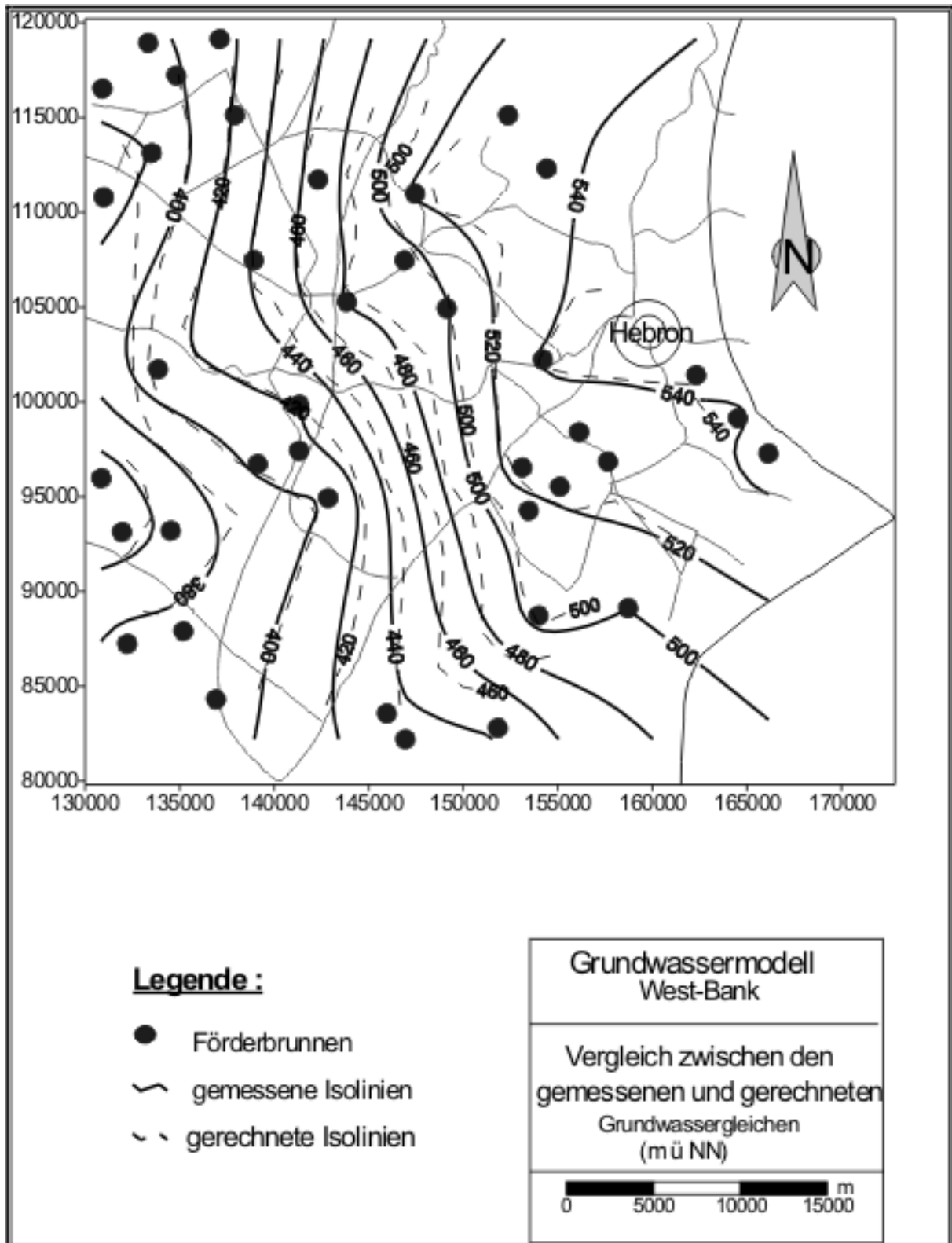


Abb. 7.2 Vergleich zwischen den gemessenen und gerechneten Grundwassergleichen

Bezüglich des gespeicherten Wasservolumens werden zunächst 2 Rechnungen durchgeführt:

Im ersten Fall ergibt sich das Wasservolumen nach Gl. 2.1.7 mit folgenden Daten:

Fläche (A_e):	892 km ²
Mittlere Mächtigkeit (m):	30 m
Hohlraumanteil (n):	0.3
Das gespeicherte Wasservolumen beträgt	8.10 ⁹ m ³

Im zweiten Fall folgt bei einer mittleren Grundwasserneubildungshöhe von 162 mm/a (einschließlich Abwasser und Bewässerungswasser) pro Jahr ein Neubildungsvolumen von $145 \cdot 10^6$ m³/a. Mit einer mittleren Durchlässigkeit von $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, einem mittleren Gefälle von $5 \cdot 10^{-3}$ und einem durchflusswirksamen Hohlraumanteil von 0,15 ergibt sich nach Gl. 2.1.10 eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 210 m/a. Bei einer halben Lauflänge von 15 km folgt eine mittlere Verweildauer des Wassers im Grundwasserleiter nach Gl. 2.1.9 von 71 Jahren. Bei dem o.g. jährlichen Grundwasserneubildungsvolumen errechnet sich ein Wasservolumen nach Gl. 2.1.8 von ca. $1 \cdot 10^{10}$ m³ im Grundwasserleiter.

Angesichts der Datenlage zeigen die Ergebnisse beider Berechnungen eine befriedigende Übereinstimmung

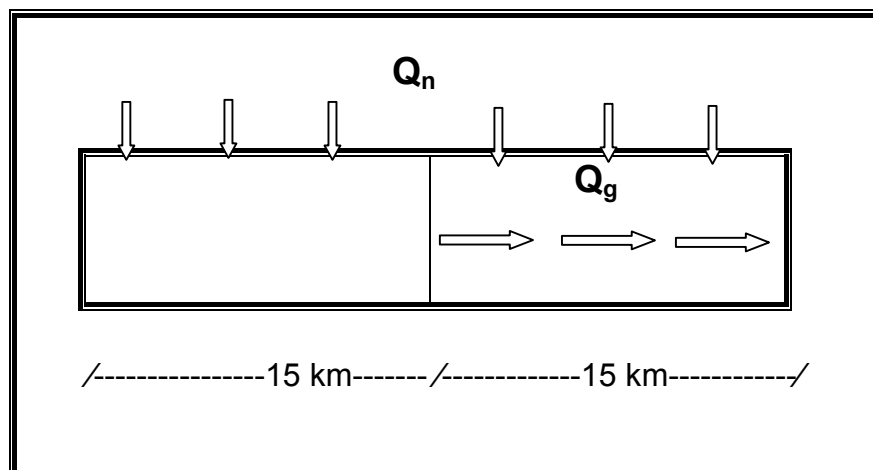


Abb. 7.3 Zur Veranschaulichung der mittleren Laufstrecke des Grundwassers

Darüber hinaus wird bei der Validierung des Stoffspeichermodells das gespeicherte Wasservolumen ermittelt.

Die Tabelle 7.2 zeigt die Wasserbilanz für die Westbank und das Modellgebiet

Tab. 7.2 Wasserbilanz für die Westbank und das Modellgebiet.

Die Westbank (m ³ / a)			
Zufluß		Abfluß	
- Niederschlag	900.10 ⁶	- Entnahme	600.10 ⁶
- Abwasser	120.10 ⁶	- Unterirdischer Abfluss	420.10 ⁶
Summe	1020.10 ⁶		1020.10 ⁶
Das Modellgebiet (m ³ / a)			
Zufluss		Abfluss	
- Niederschlag	120.10 ⁶	- Entnahme	40.10 ⁶
- Abwasser	16.10 ⁶	- Unterirdische Abfluss	105.10 ⁶
- Bewässerung	9.10 ⁶		
Summe	145.10 ⁶		145.10 ⁶

8 Stoffbilanzen und Simulation der Stoffspeicherung

8.1 Validierung des Stoffspeichermodells

Im Speichermodell wird der Grundwasserleiter als Speicher abgebildet. In einer ersten Näherung wurden die ankommenden Stoffe in das gesamte Grundwasser eingemischt. Es ergab sich eine mittlere Konzentration im gesamten Grundwasserleiter als eine erste Orientierung. In einer zweiten Näherung wurden die im Grundwasser gemessenen Konzentrationen Flächen zugeordnet ohne Berücksichtigung der Stoffverlagerung im Grundwasser. In dritter Näherung ist dieses Speichermodell mit einem Grundwassermodell gekoppelt, so dass flächenbezogene Einträge auf ihrem Weg durch den Grundwasserleiter verfolgt werden können. Damit war es möglich, die räumliche Variabilität der gemessenen Konzentrationen im Grundwasserleiter in einer Validierung des Modells im Untersuchungszeitraum 1973 bis 1993 zu erfassen und das Modell prognosefähig zu machen.

Die Validierung des Speichermodells bestand darin, die Fracht der eingetragenen Stoffe in der Zeit zwischen 1973 und 1993 so zu verändern, dass unter der Berücksichtigung hydraulischer Parameter und des Grundwasserhaushalts eine Übereinstimmung zwischen den gemessenen und gerechneten Konzentrationen im Grundwasser in dieser Zeit (1973, 1983 und 1993) erreicht wurde. Dabei blieb die Grundwasserneubildung (Sickerwasserrate) konstant. Nur die Konzentration der Stoffe im Sickerwasser war die Veränderliche. Bezüglich Nitrat wurde auch ein Abbau 1. Ordnung im Grundwasser angenommen mit einer Halbwertszeit von 5 Jahren und diese Annahme auf Plausibilität untersucht.

Für jeden Stoff ergaben sich die zeitlichen Veränderungen der Mittelwerte der Konzentrationen in der Zeit zwischen 1973 und 1993. Für das Ende des Zeitraums der Validierung (1993) sind die räumlichen Verteilungen der Konzentrationen des jeweiligen Stoffes angegeben. Die räumlichen Konzentrationsverteilungen im Jahre 1973 galten als Anfangsbedingungen. Die Annahmen über die Konzentration der Stoffe im Sickerwasser über die Jahre 1973 bis 1993 wurden so lange verändert, bis sich eine ausreichende Übereinstimmung zwischen Mess- und Rechenergebnissen ergab bezüglich der Konzentrationen im Grundwasser.

Die Abbildung 8.1 zeigt die Einträge in $\text{kg/ha}\cdot\text{a}$ von Nitrat mit Berücksichtigung des Abbaus im Jahr 1973, 1983 und 1993 bezogen auf die Flächennutzung des Untersuchungsgebietes. (Vergleich Abb. 7.3)

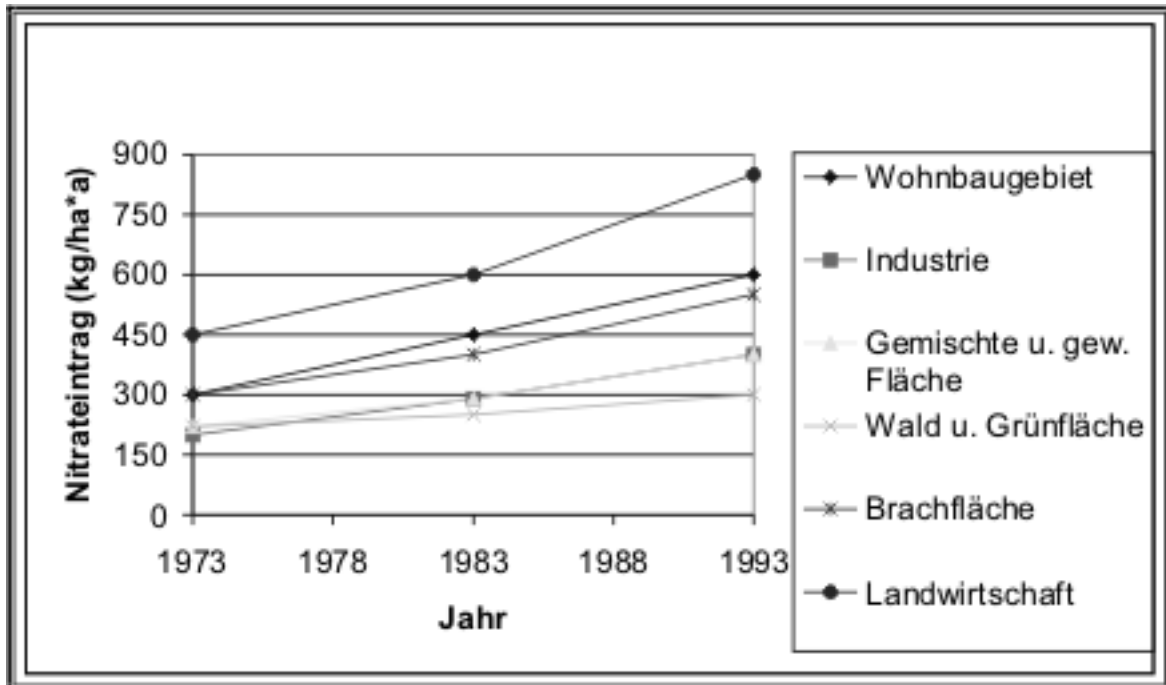


Abb. 8.1 Nitrateinträge in $\text{kg/ha}\cdot\text{a}$ mit Abbau bezogen auf die Flächennutzung

Im Zusammenhang mit den in Tab 5.4 angegebenen Frachten erheben sich zwei Fragen:

1. Ist zur Berechnung der Nitratfracht ein Abbau zu berücksichtigen?
2. Sind die Zuordnung zwischen Stoffeinträgen und Landnutzung in Tab. 7.4 plausibel?

Zu 1.

Es werden folgende Annahmen für die Abschätzung der Nitratfracht getroffen, die insgesamt in das Grundwasser eingetragen wird.

- Es wird eine spezifische Gesamtstickstofffracht von $10\text{g/E}\cdot\text{d}$ vorausgesetzt.
- Der Austrag aus ackerbaulich genutzten Flächen betrage maximal $50\text{ kg/ha}\cdot\text{a}$.
- Der diffuse Eintrag aus der nassen und trockenen Deposition betrage $20\text{ kg/ha}\cdot\text{a}$.

Bei einer Einwohnerzahl von ca. 1 Million ergibt sich eine Fracht von N_{ges} zu 3650 t/a . Bezogen auf eine ackerbaulich genutzte Fläche folgt eine Fracht von 1688 t/a . Wird

der diffuse Eintrag aus der trockenen und der nassen Deposition auf die Fläche bezogen, die außerhalb urban und ackerbaulich genutzter Flächen liegt (237km^2), resultiert ein Eintrag von 635 t/a . Das ergibt einen Gesamteintrag von etwa $6000\text{ t N}_{\text{ges}}/\text{a}$. 1983 wurden nach den Berechnungen 5610 t an $\text{NO}_3\text{-N}$, 1993 ca. 7740 t/a eingetragen. Die abgeschätzte Größenordnung stimmt mit den berechneten Werten unter der Voraussetzung überein, dass der gesamte Stickstoff, der ins Grundwasser eingetragen wird, im Nitrat enthalten ist. Würde Nitrat im Grundwasser abgebaut, ergäben sich höhere Einträge. Da höhere Einträge nicht plausibel sind, muss gefolgert werden, dass kein Abbau erfolgt.

Zu 2.

Eine Frucht von 20021 t/a aus ackerbaulich genutzten Flächen entspricht bei $337,7\text{ km}^2$ Fläche einer spezifischen Frucht von 133 kg/ha . Bezogen auf die Brachfläche von $197,2\text{ km}^2$ und einer Frucht von 4853 t/a ergäbe sich eine spezifische Frucht von $55,7\text{ kg/ha}\cdot\text{a}$. Beide spezifischen Frachten sind nicht plausibel. Hier ist jedoch zu beachten, dass aus den besiedelten Gebieten Abwasser in die ländlichen Gebiete abfließt, dort versickert und zum Grundwasser gelangt. Aus diesem Grunde sind die Zuordnungen zwischen Landnutzungen und Stoffeinträgen im Untersuchungsgebiet nicht scharf und mit denen zu vergleichen, die in Deutschland üblich sind.

Eine Erklärung für den geringen Nitratabbau im Grundwasser folgt aus dem hohen Flurabstand. Die Abbauprodukte N_2O und N_2 gehen als Gase in die Bodenluft über. Hier erfolgt eine schnelle Übersättigung, da nur durch Diffusion die Gase an die Oberfläche gelangen können. Als Folge der langen Diffusionswege ergibt sich ein geringes Konzentrationsfälle und damit eine geringe Transportgeschwindigkeit. Die Übersättigung in der Gasphase beschränkt die Aufnahmefähigkeit der Bodenluft für die genannten Gase und wirkt damit hemmend auf eine Denitrifikation.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen jeweils die Linien gleicher Konzentration, die sich aus der Interpolation von Messwerten ergeben haben und diejenigen, die das Ergebnis der Berechnungen im Zuge der Validierung sind. Bezüglich Nitrat ist ohne Abbau gerechnet worden.

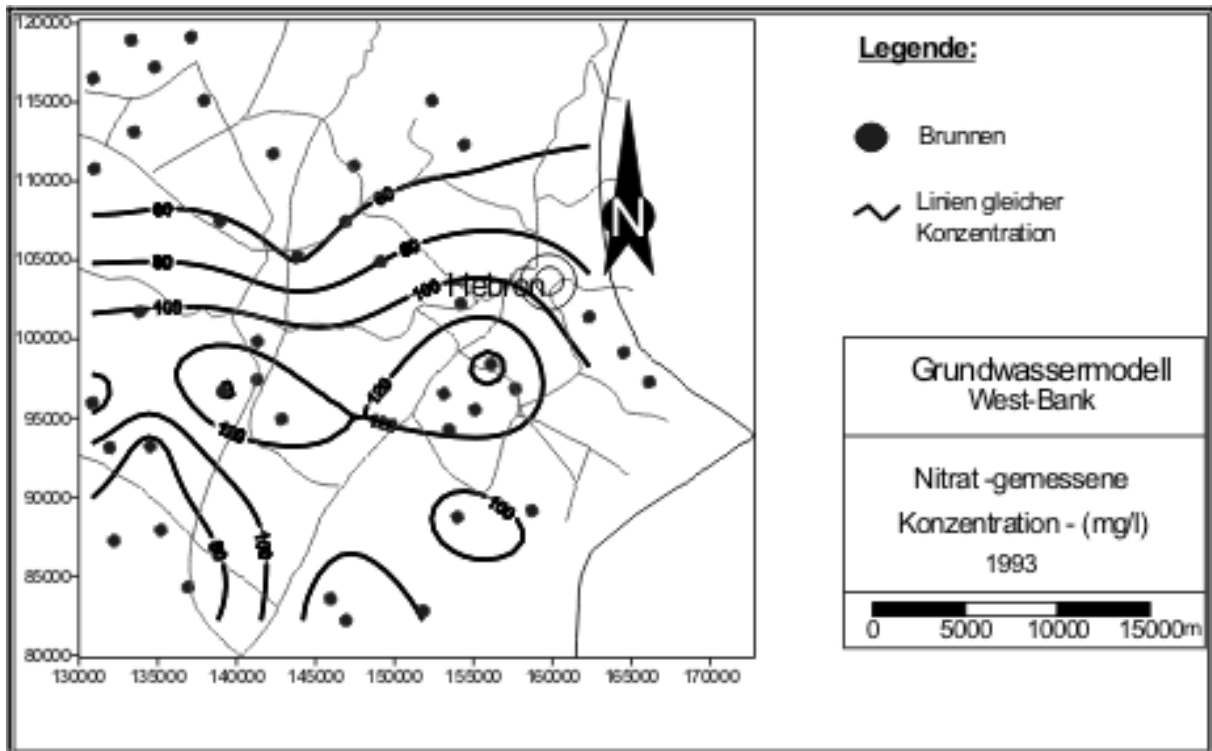


Abb. 8.2 Verteilung der gemessenen Nitratkonzentration (1993) im Untersuchungsgebiet

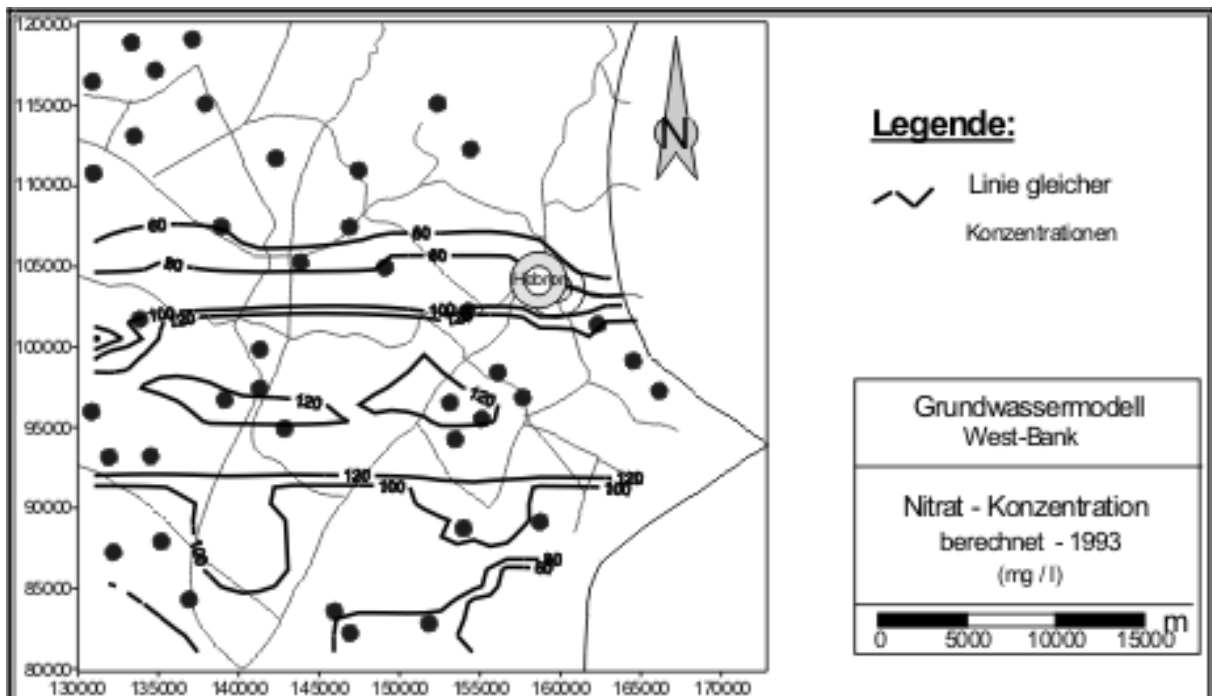


Abb. 8.3 Räumliche Verteilung der berechneten Nitratkonzentration im Jahre 1993

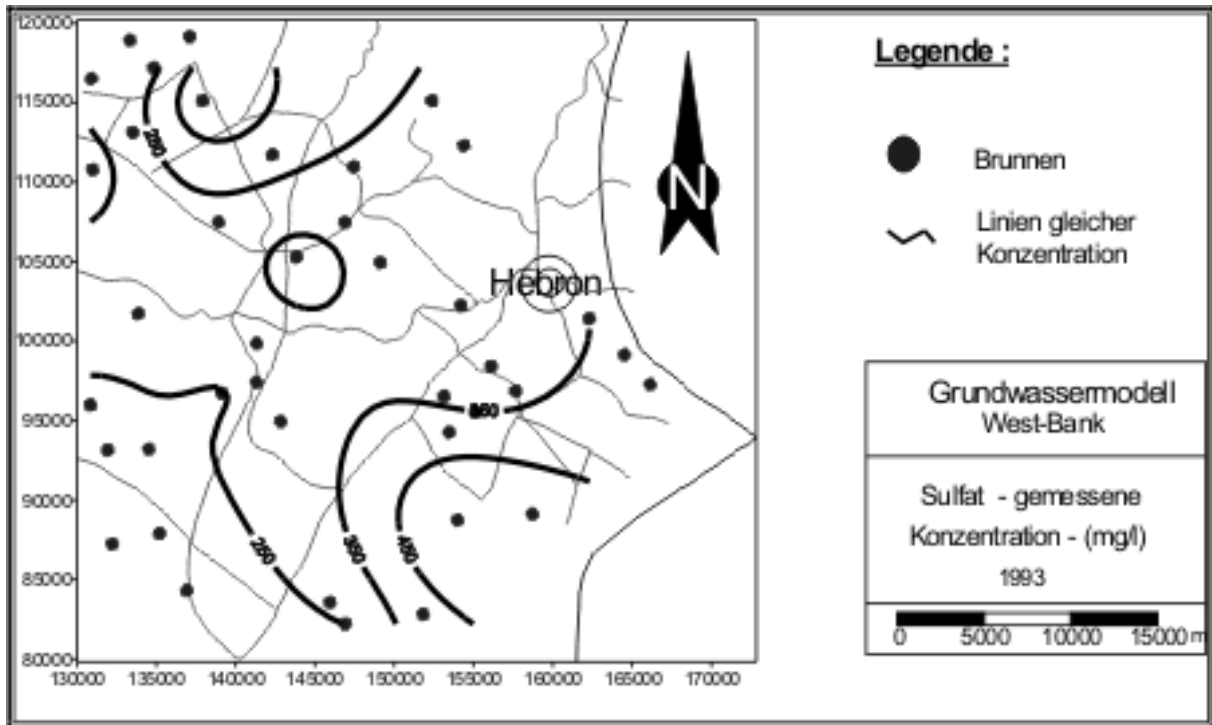


Abb. 8.4 Räumliche Verteilung der gemessenen Sulfatkonzentration im Jahre 1993

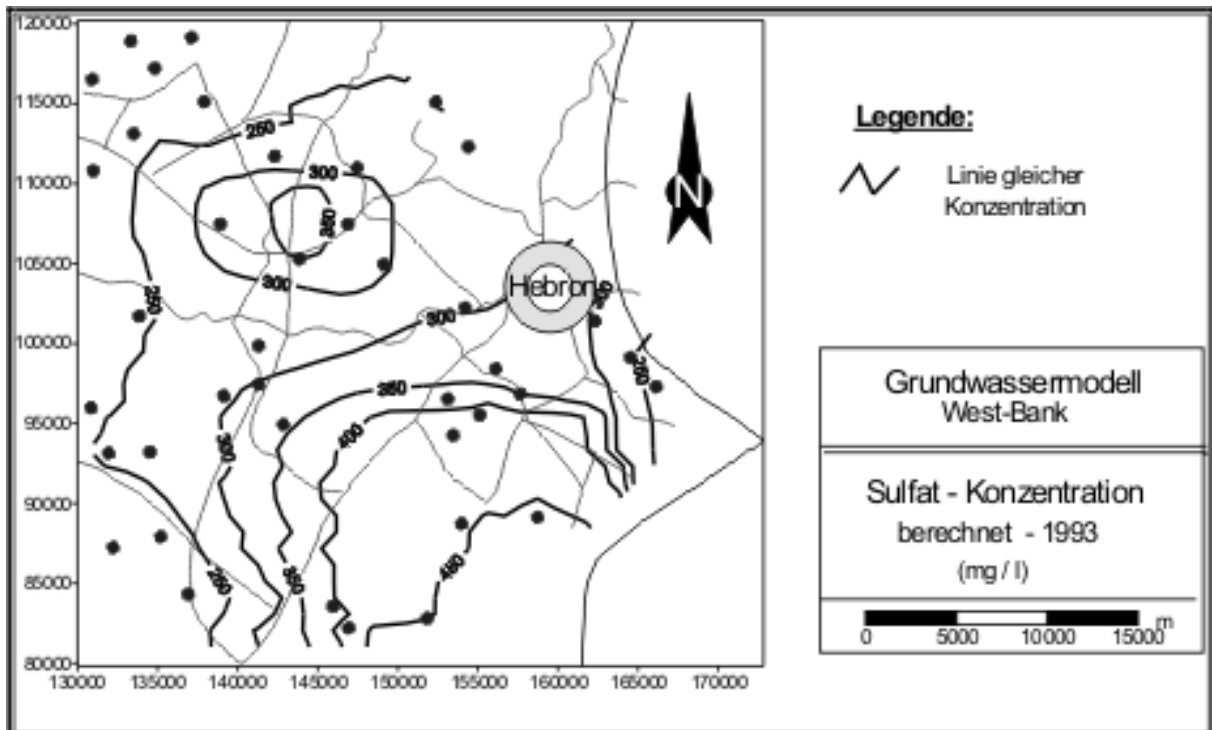


Abb. 8.5 Verteilung der berechneten Sulfatkonzentration im Jahre 1993

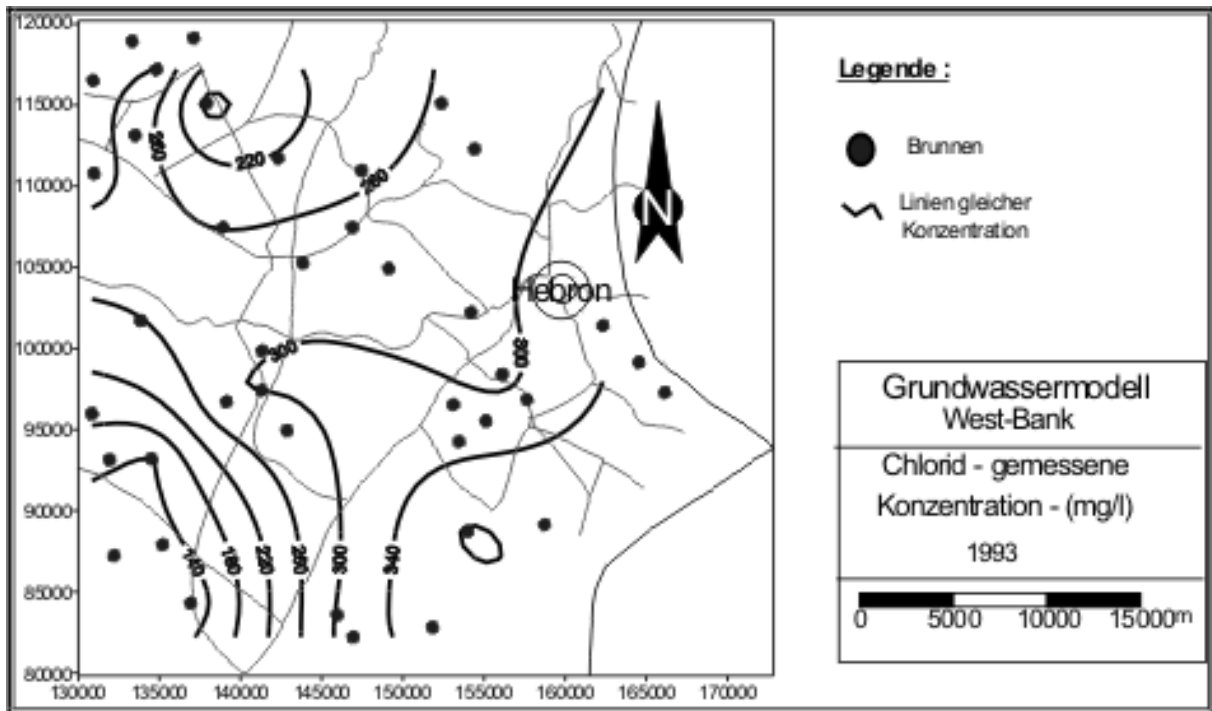


Abb. 8.6 Räumliche Verteilung der gemessenen Chloridkonzentration im Jahre 1993

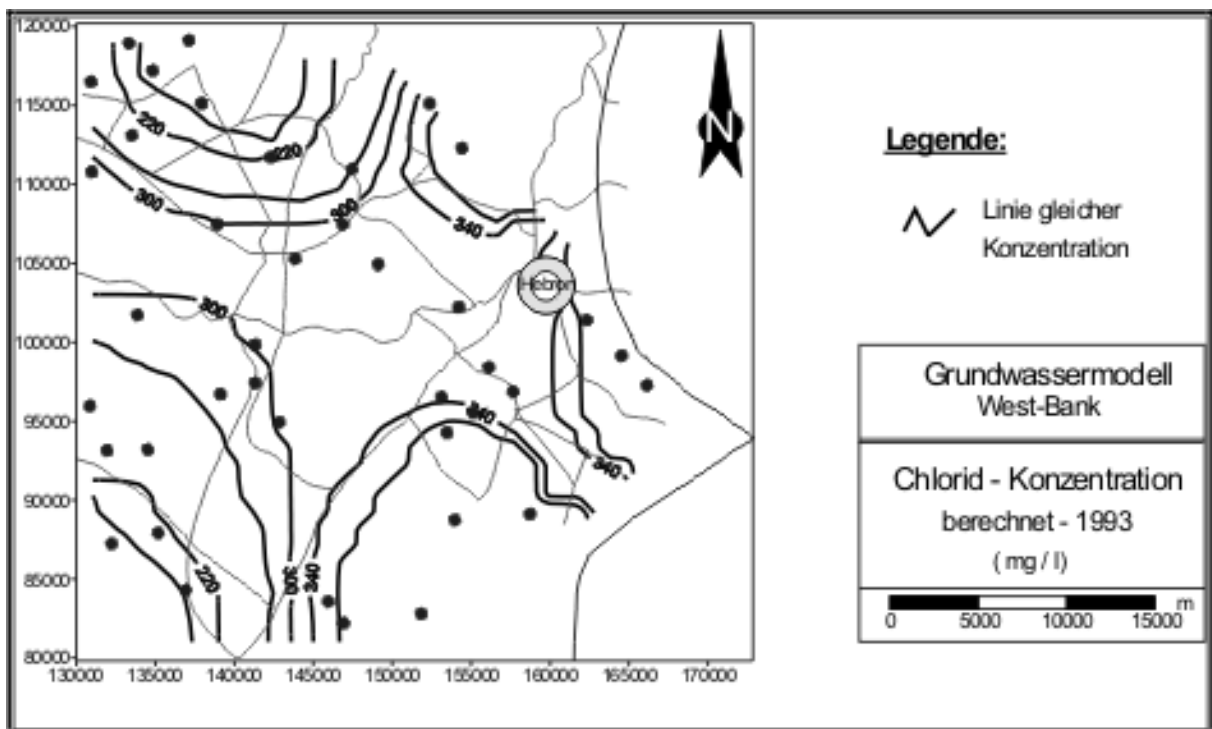


Abb. 8.7 Räumliche Verteilung der berechneten Chloridkonzentration im Jahre 1993

Die Berechnungen der Linien gleicher Konzentration können nur angenähert den Zustand wiedergeben, der durch Messungen gefunden wurde. Räumliche Veränderungen der Konzentration können z.B. durch Anlage neuer Stoffquellen verursacht werden und durch den Transport der Stoffe im Untergrund. Es ist bereits gesagt worden, dass nur diffuse Stoffeinträge angenommen werden, die der Flächennutzung zugeordnet werden. Auch biochemische Prozesse sind vernachlässigt worden, die Einfluss auf die Konzentration nehmen können. Darüber hinaus kann die Grundwasserströmung durch die Veränderung der Grundwasserentnahme bezüglich Intensität und durch Anlage neuer Pumpbrunnen verändert werden. Die Grundwasserneubildung und auch die Grundwasserentnahmen sind über den Validierungszeitraum konstant gelassen worden. Unter diesen Gesichtspunkten werden auch nur Mittelwerte für die hydraulischen Parameter und das Wasservolumen im Grundwasserleiter als Ergebnis der Validierung nachfolgend genannt. Darüber hinaus werden die berechneten Frachten der Indikatorstoffe angegeben, die in der Validierungsphase zum Grundwasser gelangen.

8.2 Prognoserechnungen

In Kap. 5.3 ist deutlich geworden, dass die Konzentrationen der betrachteten Stoffe im Sickerwasser, welches das Grundwasser erreicht, wesentlich höher sein müssen als die Konzentrationen, die im Grundwasser nachgewiesen wurden. Nachfolgend wird von der Annahme ausgegangen, dass die Konzentrationen im Sickerwasser auf dem Niveau von 1993 bleiben. Der Grundwasserkörper wird sich mit der Zeit mit diesen Stoffen aufladen. Wenn der Stoffeintrag die gleiche Größe hat wie der Stoffaustrag, wird sich schließlich ein stationärer Zustand bezüglich der Konzentration einstellen. Das ist dann der Fall, wenn die Konzentration im Sickerwasser denselben Wert aufweist wie im Grundwasser. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die berechneten Konzentrationen im Grundwasser nach 50 Jahren und im stationären Zustand, der nach etwa 70 Jahren zu erwarten ist. Eine verwertbare Prognose der zukünftigen Stoffgehalte im Grundwasser und die sachgerechte Beurteilung verschiedener Sanierungsmaßnahmen kann für ein derart ausgedehntes Einzugsgebiet nur auf der Grundlage von Modellen erfolgen.

Nachfolgend sind die berechneten räumlichen Verteilungen im Jahr 2043 und im stationären Zustand angegeben.

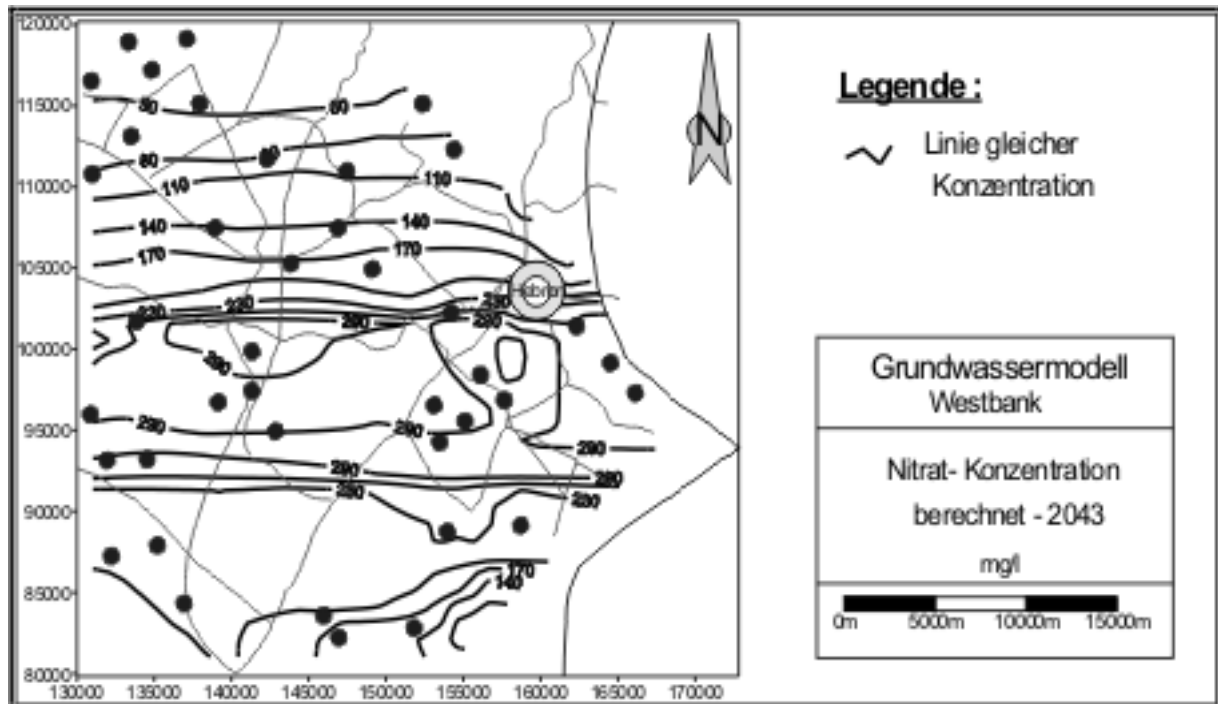


Abb. 8.8 Räumliche Verteilung der berechneten Nitratkonzentration im Jahre 2043

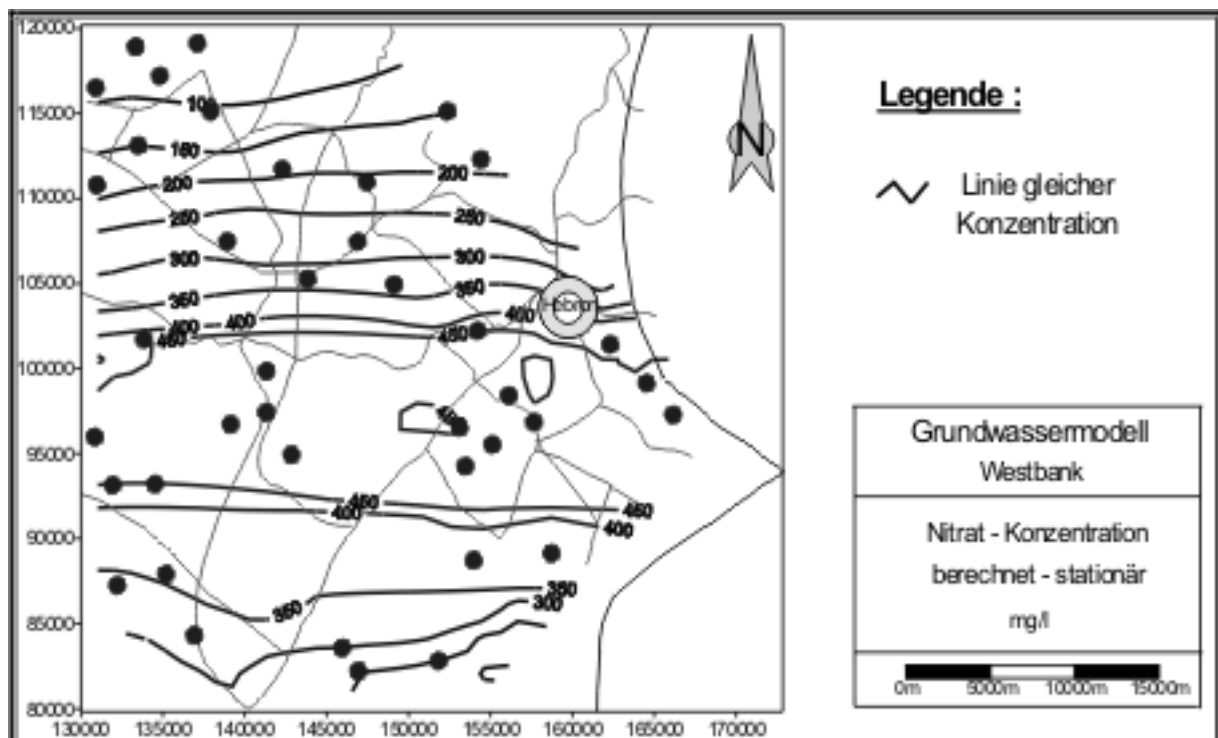


Abb. 8.9 Verteilung der Nitratkonzentration im stationären Zustand

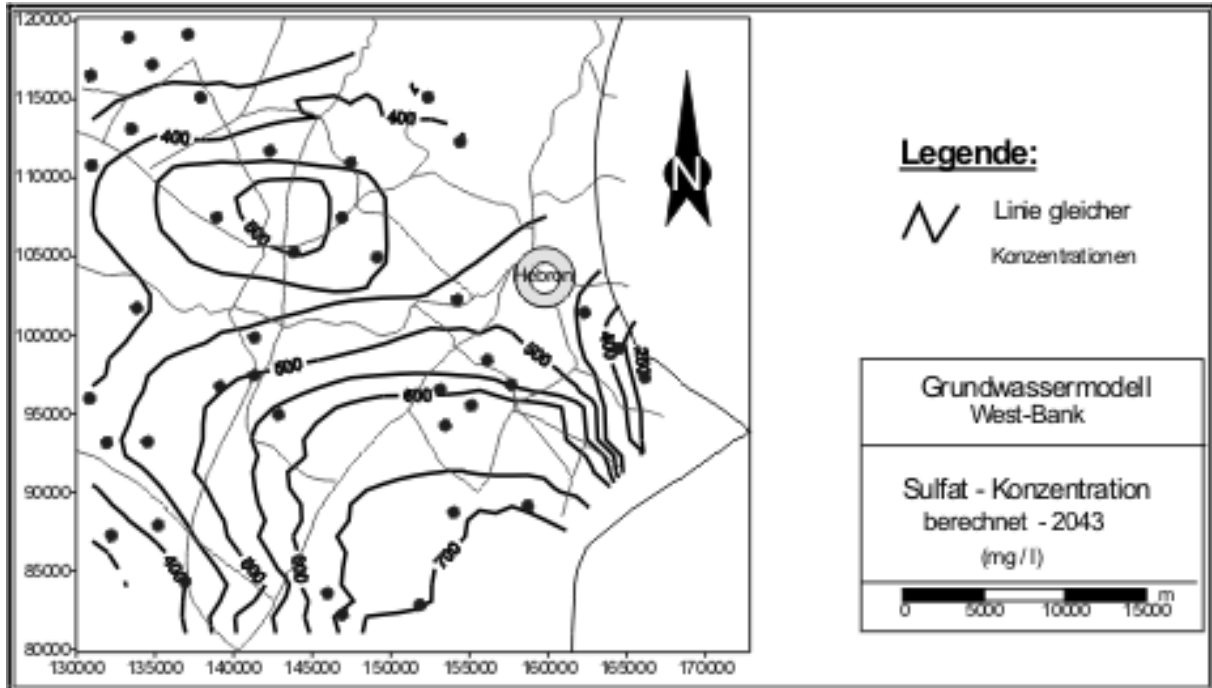


Abb. 8.10 Räumliche Verteilung der berechneten Sulfatkonzentration im Jahre 2043

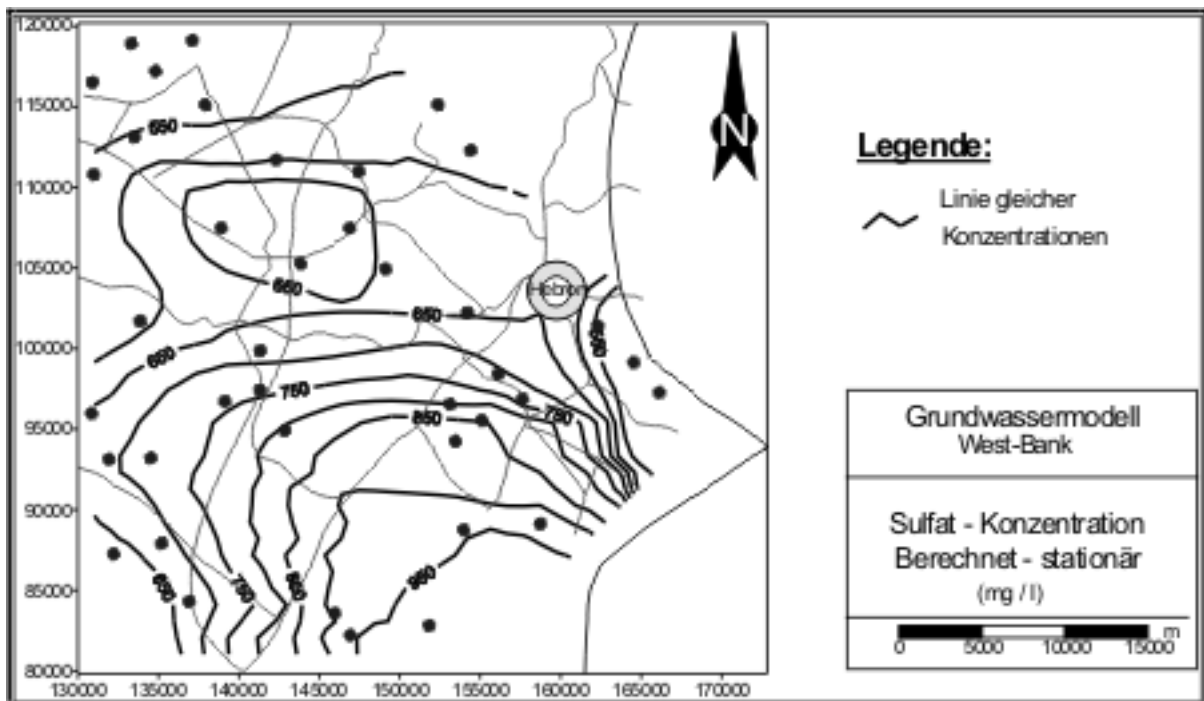


Abb. 8.11 Räumliche Verteilung der berechneten Sulfatkonzentration im stationären Zustand

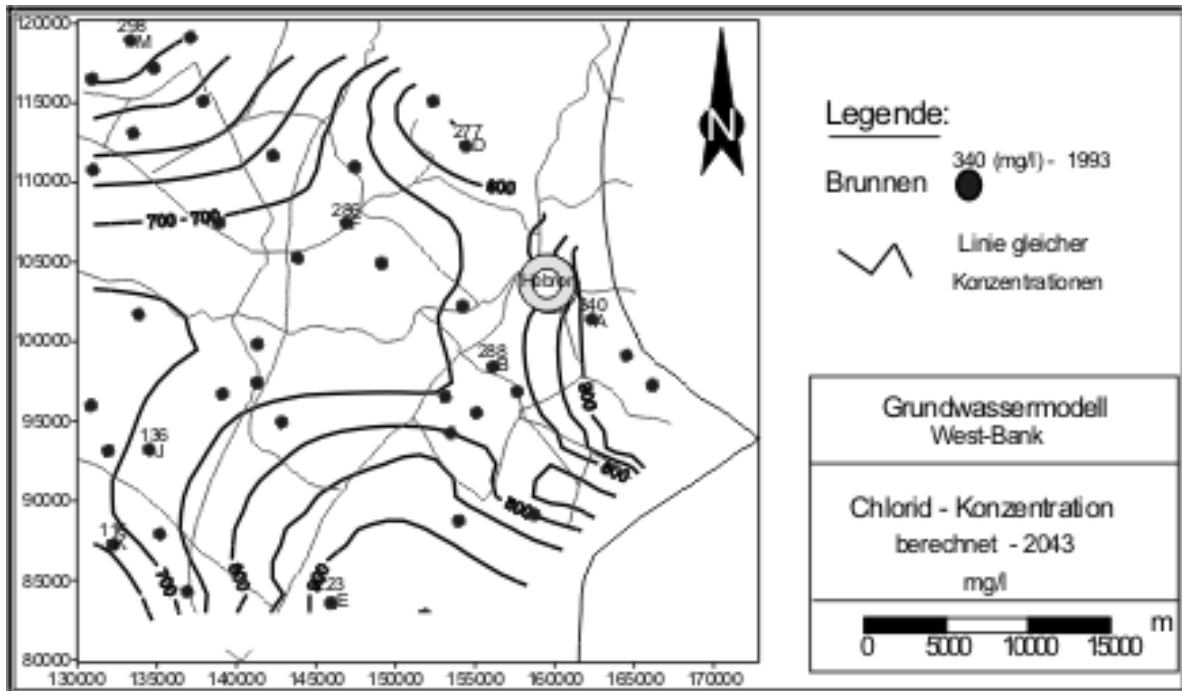


Abb. 8.12 Räumliche Verteilung der berechneten Chloridkonzentration im Jahre 2043

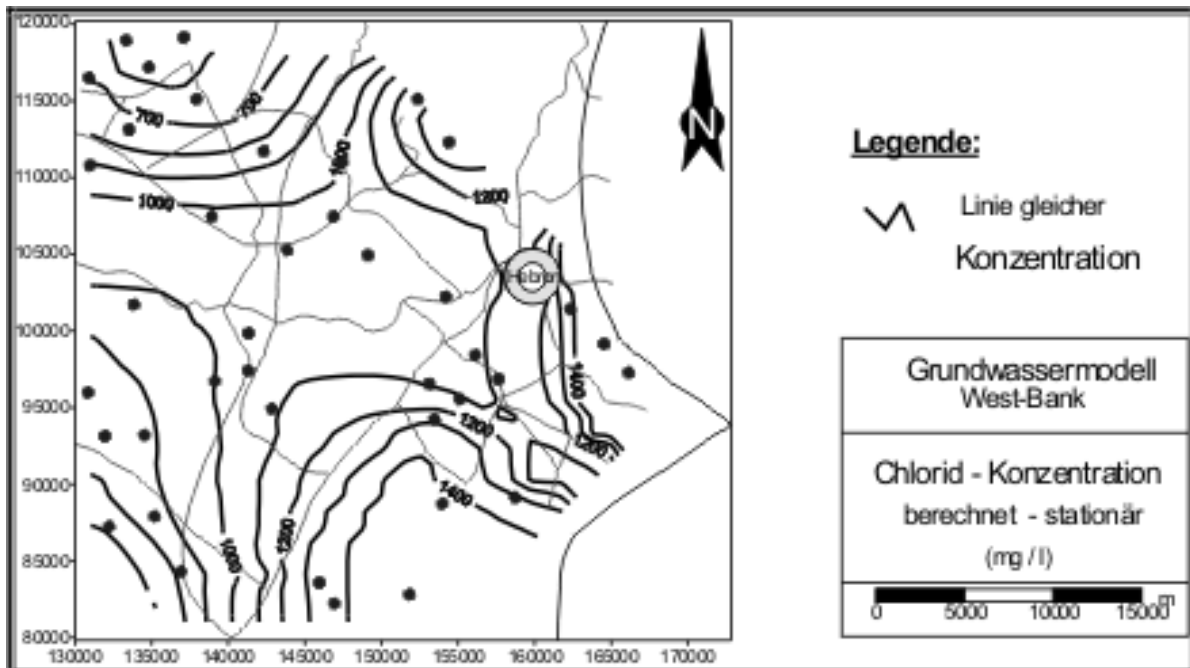


Abb. 8.13 Räumliche Verteilung der berechneten Chloridkonzentration im stationären Zustand

Die Nachfolgenden Abbildungen zeigen die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen für Nitrat, Chlorid und Sulfat in der Zukunft bezogen auf die Flächennutzung des Untersuchungsgebietes in mg/l.

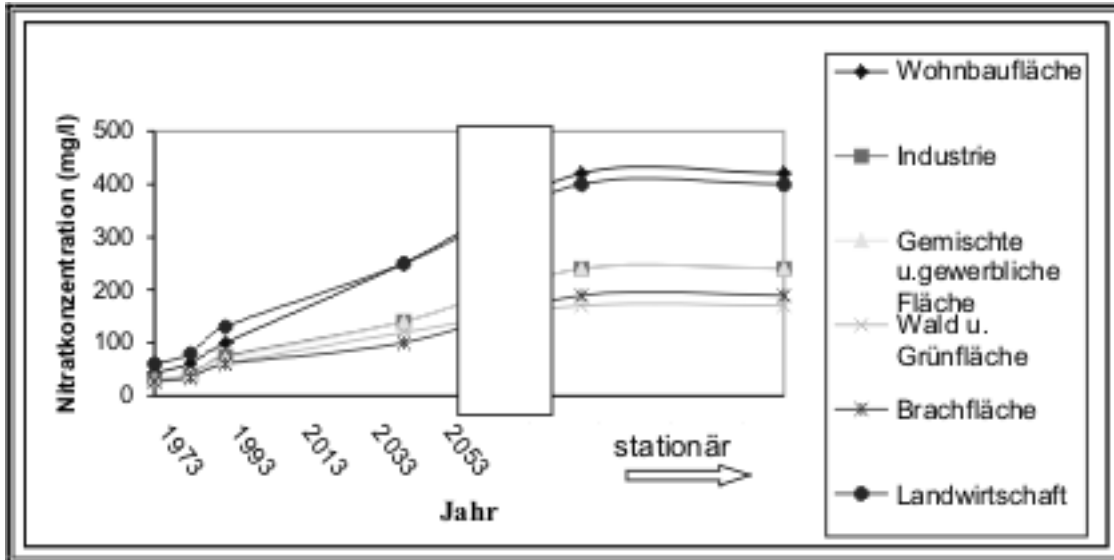


Abb. 8.14 Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser

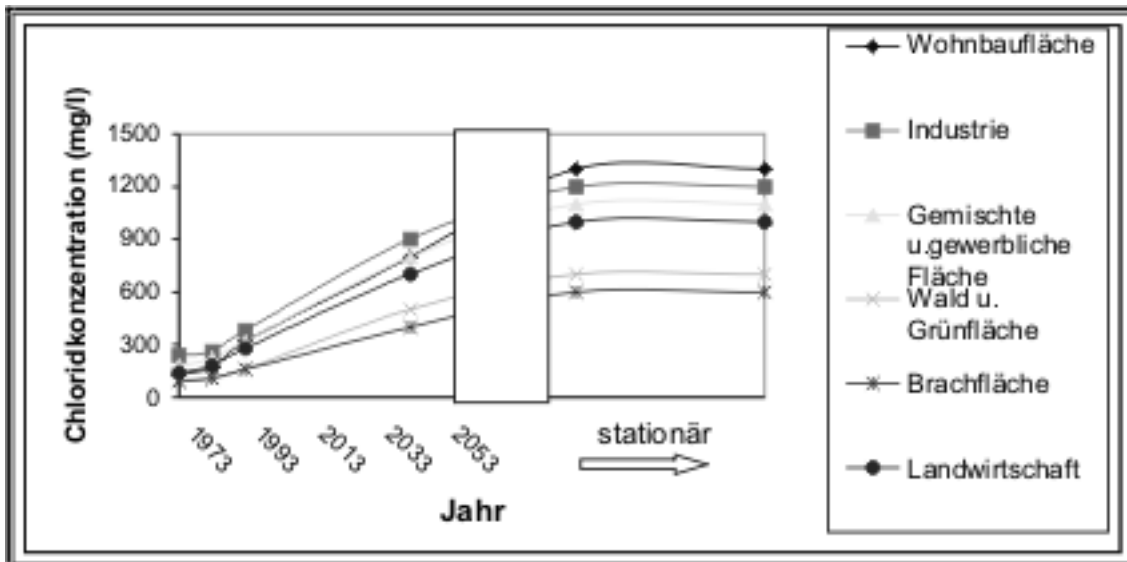


Abb. 8.15 Entwicklung der Chloridkonzentrationen im Grundwasser

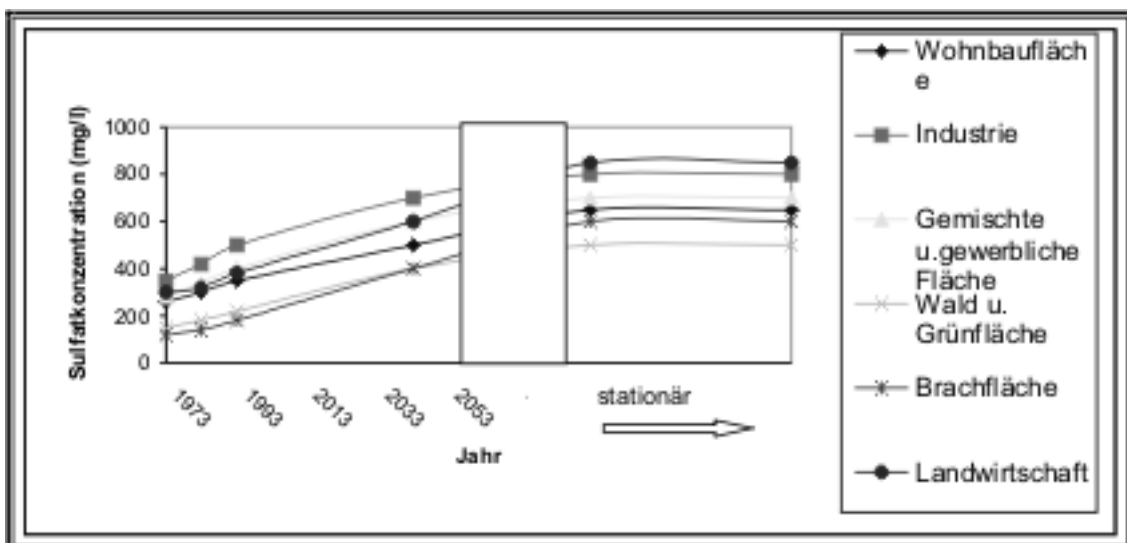


Abb. 8.16 Entwicklung der Sulfatkonzentrationen im Grundwasser

Die Abb. 9.17 stellt die Konzentrationen der Mittelwerte für Nitrat, Sulfat und Chlorid als Funktion der Zeit dar

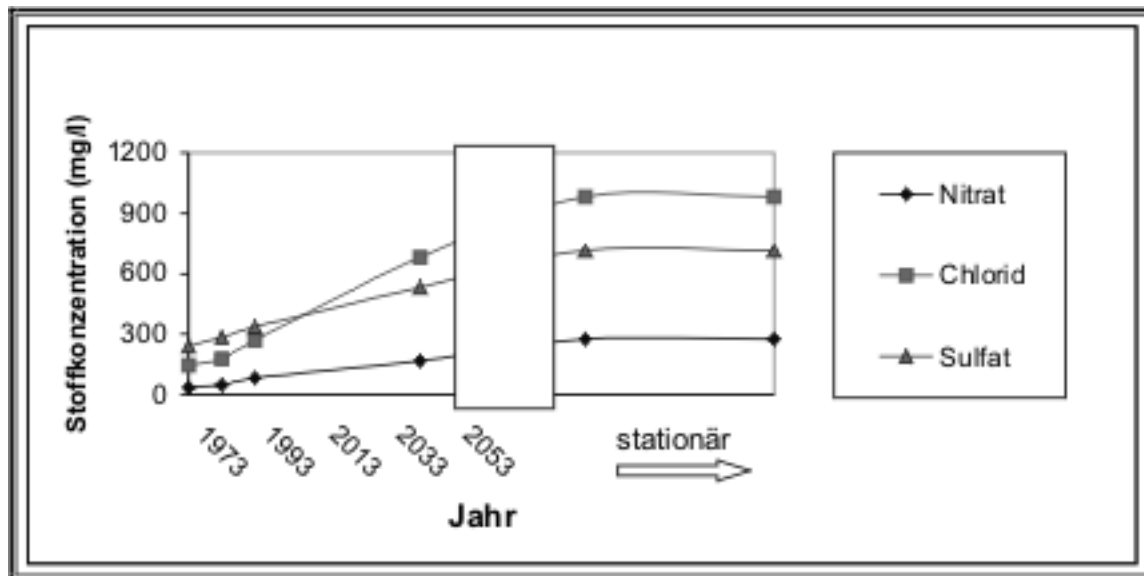


Abb. 8.17 Mittelwerte der Konzentrationen für Nitrat, Chlorid und Sulfat als Funktion der Zeit

Die aufgezeigten Ergebnisse sind unter der Voraussetzung ermittelt worden, dass die Stoffeinträge in den Untergrund in der Zukunft denen entsprechen, die für das Jahr 1993 in einem Evaluierungsprozess ermittelt wurden. Sie lassen erkenne:

1. Die Erhöhung der Stoffkonzentrationen im Grundwasser setzen sich fort, da der Eintrag noch etwa 70 Jahre über dem Stoffaustrag liegen wird.
2. Der Beitrag der urbanen Flächen (Wohnsiedlungen und Industriensiedlungen) an dem Gesamteintrag ist erheblich.

8.3 Diskussion der Ergebnisse

Messungen der Nitrat-, Sulfat-, und Chloridkonzentrationen im Grundwasser des Untersuchungsgebietes in den Jahren 1973, 1983 und 1993 zeigen folgende Anstiege der Mittelwerte bezogen auf den Ausgangswert in 1973.

Tab. 8.1 Prozentualer Anstieg der Mittelwerte bezogen auf den Anfangswert in 1973

Stoff	1983	1993
Nitrat:	34%	137%
Sulfat:	17%	39%
Chlorid:	21%	84%

Im Zusammenhang mit der Landnutzung ist zu erkennen, dass die Stoffe mit großer Wahrscheinlichkeit im Wesentlichen aus dem Abwasser und dem Abfall stammen, die unkontrolliert in der Fläche entsorgt werden. Nachrangig erscheinen die Austräge aus der Nutzung von Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen.

Als Folge der geringen Grundwasserneubildung im Verhältnis zum Volumen des Grundwassers, dem das Sickerwasser zufließt, ist zu erwarten, dass im Sickerwasser weit höhere Konzentrationen der genannten Stoffe enthalten sind. Bezogen auf die gemessenen Werte im Jahre 1993 überschreiten die berechneten Konzentrationen im Sickerwasser diejenigen im Grundwasser um folgende Faktoren:

Tab. 8.2 Verhältnis der Konzentrationen im Sickerwasser bezogen auf die Konzentrationen im Grundwasser im Jahre 1993

Stoff	Überschreitungs faktor	Überschreitung in %
Nitrat	2.2	120
Sulfat	3.2	220
Chlorid	2.5	150

Bei dieser Berechnung ist durch Plausibilitätsbetrachtungen gefunden worden, dass im Grundwasser nur ein vernachlässigbar kleiner Nitratabbau stattfinden kann.

Wenn angenommen wird, dass die Stoffeinträge in den Untergrund auf dem Niveau von 1993 konstant bleiben, ist eine Erhöhung der Stoffkonzentrationen im Grundwasser bei gleicher Neubildung und gleicher Grundwasserentnahme wie 1993 noch in den kommenden 70 Jahren zu rechnen. Erst dann werden die Stoffkonzentrationen im Grundwasser denen im Sickerwasser entsprechen. Die Überschreitungsfaktoren (Konzentration im Grundwasser bezogen auf Grenzwerte für Trinkwasser nach deutscher Trinkwasserverordnung) in Tab. 8.3 werden im stationären Zustand folgende Werte annehmen.

Tab. 8.3 Verhältnis der Konzentration im stationären Zustand im Grundwasser bezogen auf Grenzwerte der Trinkwasserverordnung in Deutschland

Stoff	Überschreitungsfaktoren
Nitrat	6.0
Sulfat	3.2
Chlorid	4.4

Da Nitrat, Sulfat und Chlorid nur ausgewählte Indikatorstoffe für die Grundwasserqualität sind, ist in naher Zukunft mit einer dramatischen Verschlechterung der Grundwassergüte zu rechnen. Andere Stoffe wie Mineralöle, chlorierte Kohlenwasserstoffe, Pflanzenschutzmittel werden dazu ihren Beitrag leisten, wenn nicht schnell Maßnahmen für eine Verringerung der Stoffeinträge ergriffen werden.

9 Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserqualität

Es wird angenommen, dass folgende Maßnahmen zur Verminderung des Stoffeintrags in den Untergrund ergriffen werden. Mit dem Modell werden die Auswirkungen auf die Konzentration im Grundwasser ermittelt. Bis diese Maßnahmen greifen, wird ein Zeitraum von 10 Jahren vorausgesetzt. In der nachfolgende Tab. 9.1 sind die Annahmen über die Stoffreduktionen zusammengefasst.

1. Häusliche Sickergruben im ländlichen Raum schließen und Abwasser zentral abführen
2. Sanierung der entstehenden Abwasserleitungen
3. Abwasser in urbanen Gebieten sammeln, behandeln und vollständig ableiten
4. Abwasser sammeln, behandeln und für die Bewässerung nutzen.
5. Mülltrennung zwischen häuslichem und Industriellem Abfall
6. Abfall zukünftig auf gedichteten Deponien lagern, alte Deponien bleiben erhalten
7. Alter und neuer Abfall auf gedichtet Deponien bringen
8. Stickstoffaustrag aus landwirtschaftlichen Flächen auf 50 kg/ha a begrenzen

Die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen werden in den Tabellen 9.1 und 9.2 für Nitrat, Chlorid und Sulfat bezogen auf die Fracht von 1993 bzw. und die Flächennutzung des Untersuchungsgebietes gezeigt.

Die an der Oberfläche durchgeführte Maßnahmen wirken sich zunächst auf die Konzentration der Schadstoffe im Sickerwasser aus, womit sich auch die in das Grundwasser eingetragene Stoffmenge verringert. Es werden folgende Annahmen getroffen. In einem Zeitraum von 10 Jahren werden die Maßnahmen abgeschlossen sein. In einer Zeit von weiteren 10 Jahren haben sich die angegebenen Stoffreduktionen im Sickerwasser eingestellt. Zur letztgenannten Annahme werden weiter unter weitere Anmerkungen gemacht.

Nachfolgend werden die Annahmen über die Verminderung der Stofffrachten der Indikatorstoffe im Sickerwasser auf die einzelnen Landnutzungen bezogen.

Tab. 9.1 Reduktion der Stoffeinträge in das Grundwasser als Folge dieser Maßnahmen (t/a)

Maßnahmen 2003-2013	Auswirkungen der Maßnahmen [t/a]		
	Nitratfracht-1993 = 32943 t/a	Chloridfracht-1993 = 83049 t/a	Sulfatfracht-1993 = 135544 t/a
1	3.000	5.000	6.000
2	2.000	3.000	4.000
3	6.000	6.000	15.000
4	1.000	1.500	2.000
5	0	0	0
6	500	10.000	15.000
7	500	15.000	25.000
8	3.000	0	0
Summe	16.000	40.500	67.000

Tab. 9.2 Auswirkungen der Maßnahmen bezogen auf die Flächennutzung

Art der Landnutzung	Fläche [km ²]	Stoffeintrag Fracht (1993) [kg/ha.a] / [t/a]			Auswirkungen der Maßnahmen (2003-2013) [kg/ha.a] / [t/a]		
		NO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Cl	SO ₄
Wohnbaufläche	163.3	292	1014	1648	150	550	800
		4763	16565	26919	2450	8980	13064
Industrie	34.8	200	1574	2140	100	750	1000
		697	5476	7468	349	2610	3480
Gemischte Fläche	39.3	186	1143	1714	100	600	900
		730	4490	6735	393	2358	3537
Wald u. Grünfläche	113.3	166	442	995	100	250	500
		1879	5010	11271	1133	2833	5665
Brachfläche	197.2	246	820	1230	100	400	600
		4853	16177	24265	1972	7882	11832
Landwirtschaft	337.7	593	1046	1744	300	500	900
		20021	35331	58886	10131	16885	30393
Summe	892	32943	83048	135544	16428	41548	67971

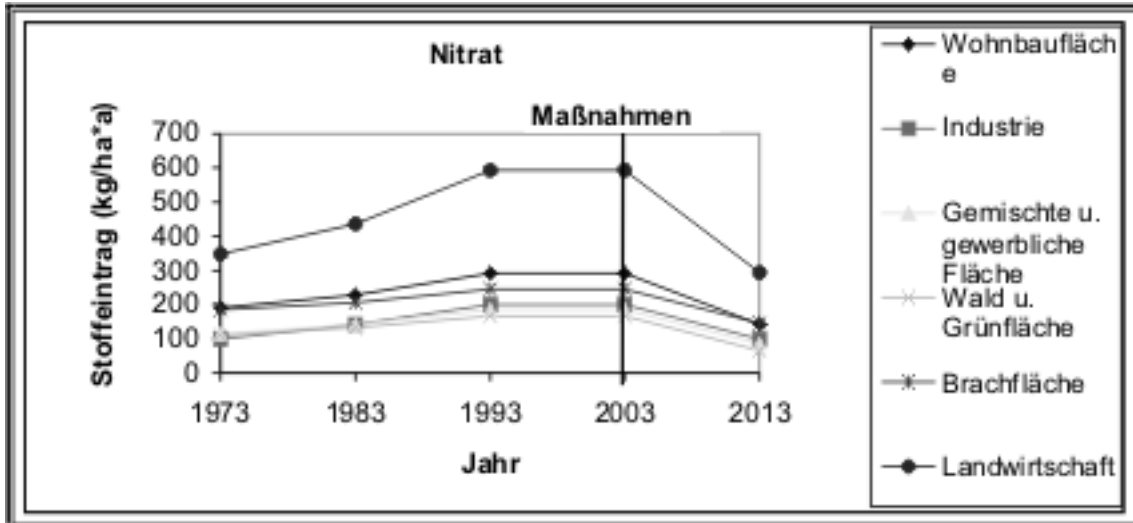


Abb. 9.1 Reduzierung der Nitratreinträge durch Maßnahmen.

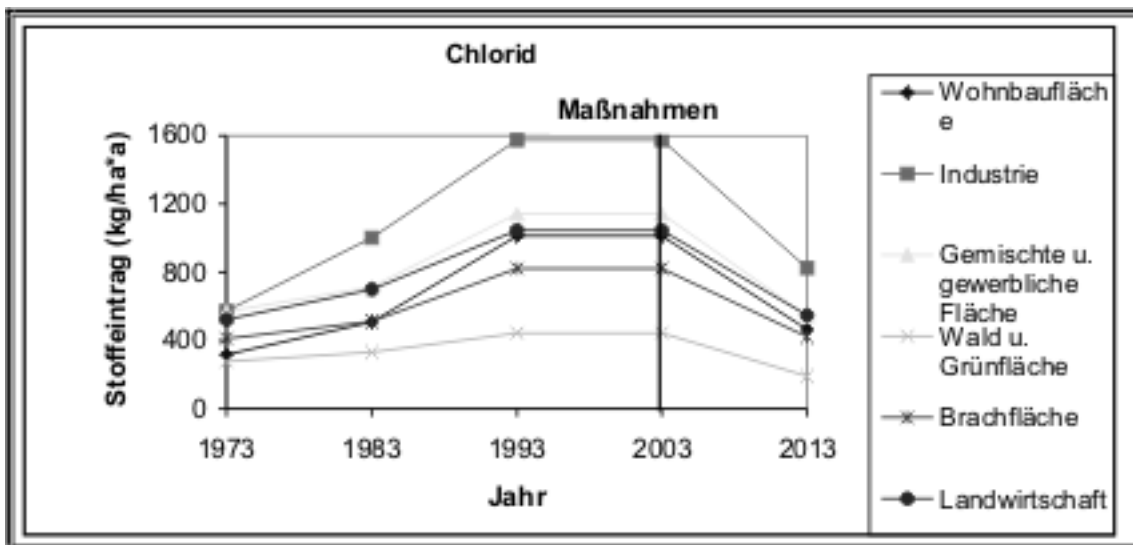


Abb. 9.2 Reduzierung der Chlorideinträge durch Maßnahmen.

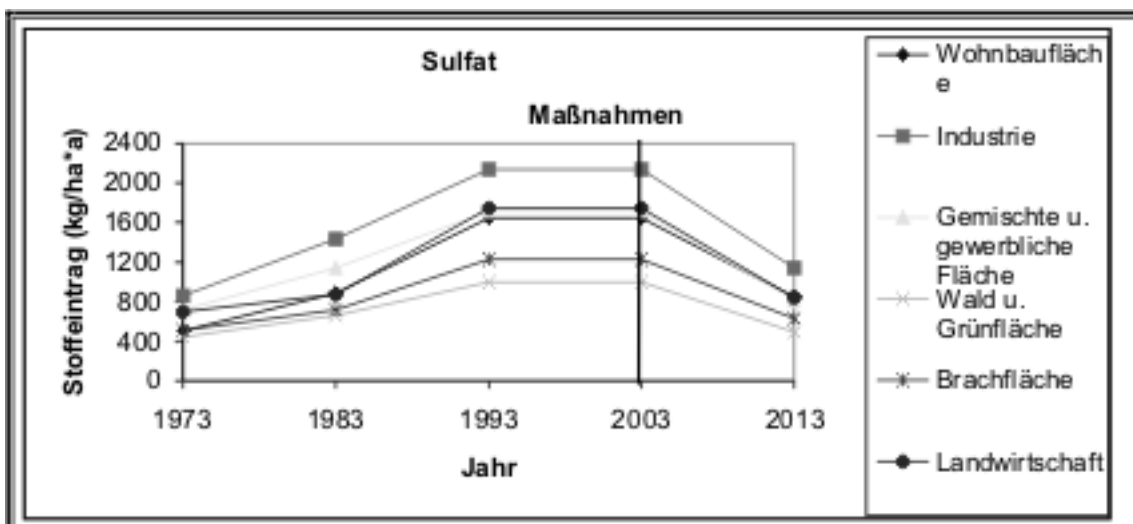


Abb. 9.3 Reduzierung der Sulfateinträge durch Maßnahmen

Zur Verminderung des Stoffeintrags in das Grundwasser werden Maßnahmen im Wesentlichen an der Erdoberfläche durchgeführt. Bezüglich der Veränderung der Stoffkonzentrationen im Grundwasser sind zwei Vorgänge zu unterscheiden:

1. Der Transport der Stoffe von der Erdoberfläche bis zur Grundwasseroberfläche
2. Die Veränderung des Zu- und Abtransports von Stoffen zum und vom Grundwasserleiter

Bezüglich der Veränderung des Stoffgehalts im Speicher (Grundwasserleiter) ist bisher nur der zweite Vorgang betrachtet. Die Berechnung der Zeiten für den Transport von Stoffen von der Erdoberfläche bis zur Grundwasseroberfläche ist wesentlich komplexer. Wird konservatives Verhalten der Stoffe vorausgesetzt, ist die Transportgeschwindigkeit vom Sättigungsgrad des Sickerwassers in der ungesättigten Zone und damit von der relativen Durchlässigkeit abhängig (Mull, Holländer 2002). Die Versickerung von Wasser aus Klärteichen ist z.B. ein nahezu stationärer Prozess. Auf dem Weg zum Grundwasser wird das Sickerwasser aus den Teichen die Hohlräume im Untergrund weitgehend füllen und hohe Sättigungsgrade erzeugen. Die Versickerung aus ackerbaulich genutzten Flächen ist ein instationärer Vorgang. Sickerwasser aus Niederschlägen und Bewässerungsgaben dringt diskontinuierlich in den Untergrund ein. Erst in Tiefen von ca. 10 m gleichen sich räumliche Unterschiede in der Sättigung des Hohlraums aus. Von dort kann in erster Näherung mit einem stationären Fließvorgang gerechnet werden. Aber es sickert auch wesentlich weniger Wasser unter Ackerflächen zum Grundwasser im Vergleich zu dem Wasser, das unter Klärteichen in die Tiefe vordringt. Bezüglich des Wasservolumens, das pro Zeit- und Flächeneinheit in die Tiefe vordringt, liegen Flächen, auf denen Abwasser diffus versickert, zwischen den Acker- und Klärteichflächen.

Die Sickergeschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit) v_a berechnet sich zu

$$v_a = (k_f k_r / S_a n) \quad 9.1$$

Zur Abschätzung der Sickergeschwindigkeit wird für zwei extreme Fälle durchgeführt

- a) aus Klärteichen,
- b) aus ackerbaulich genutzten Flächen.

k_f	10^{-7} m/s	Durchlässigkeit bei Vollsättigung
k_r	a) 0,5	relative Durchlässigkeit
	b) 0,01	

S_a	a)	0,8	Sättigungsgrad des Hohlraums
	b)	0,25	
$n =$		0,35	Hohlraumanteil

Die resultierenden Abstandsgeschwindigkeiten betragen rein rechnerisch;

- a) $v_a = 5,60 \text{ m/a}$
- b) $v_a = 0,35 \text{ m/a}$

Bei einem Flurabstand von 30 m hat das Sickerzeiten zur Folge von

- a) 5,4 Jahren
- b) 86 Jahren

Bei dieser Abschätzung soll lediglich darauf hingewiesen werden, dass die Sickerzeiten unter Klärteichen und ackerbaulich genutzten Flächen sich um eine Größenordnung unterscheiden. Mit Blick auf die zeitliche Veränderung des Stoffeintrags in das Grundwasser als Folge von Maßnahmen zur Verminderung des Stoffeintrags in den Boden ist weiter zu berücksichtigen, dass der Flurabstand im Untersuchungsgebiet zwischen 25 m und 60 m variiert. Dieser Unterschied trägt weiter zu einer unterschiedlichen Sickerzeit bei.

Da bei den bisherigen Betrachtungen der Veränderung der Stoffkonzentrationen im Grundwasser nur von den Einträgen in das Grundwasser ausgegangen wurde, wird nachfolgend bei der Wirkung von Maßnahmen auf die Konzentrationen der Indikatorstoffe im Grundwasser weiterhin das Hauptaugenmerk auf die Stoffzu- und -abflüsse zum und vom Grundwasserleiter gerichtet. Die Verweildauer in der ungesättigten Zone wird mit 10 Jahren vorgegeben.

In den Abbildungen 9.4 und 9.5 werden die Reduzierung der Stoffeinträge in das Grundwasser in den Zonen A für Nitrat und B für Chlorid und Sulfat (Abb. 6.1) durch die Maßnahmen in $\text{kg/ha} \cdot \text{a}$ und die Auswirkung der Maßnahmen auf die Stoffkonzentration im Grundwasser in den behandelten Zonen in mg/l gezeigt. Als Referenzwerte werden die Frachten und Konzentrationen, die 1993 erreicht wurden, mit aufgezeigt.

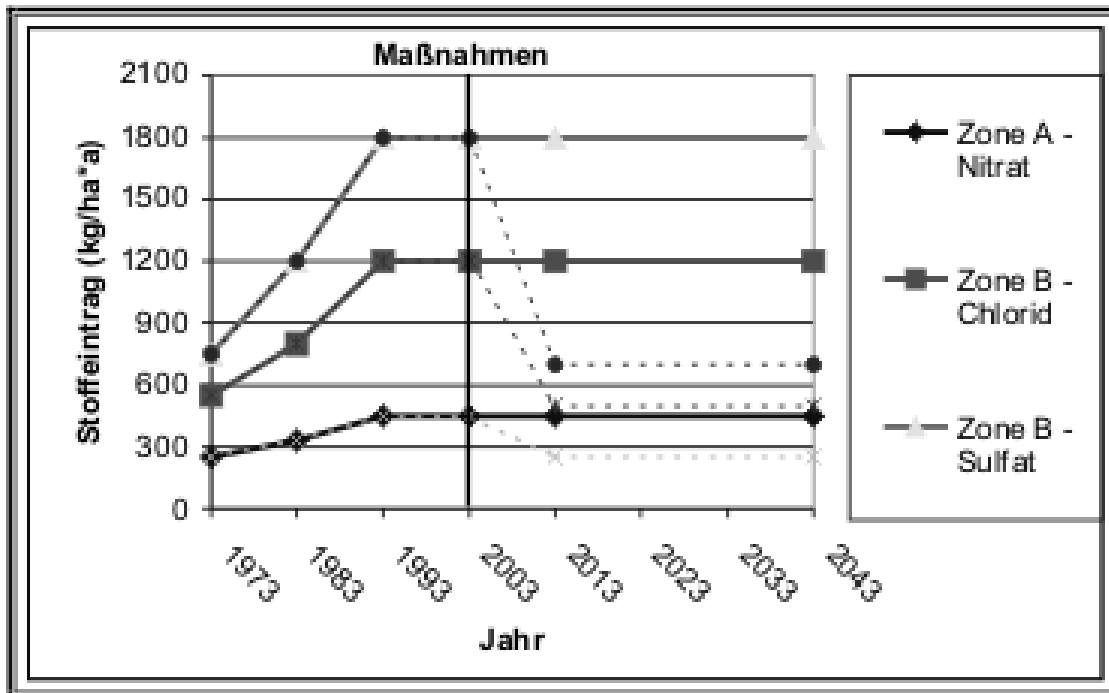


Abb. 9.4 Reduzierung der Stoffeinträge in das Grundwasser durch die Maßnahmen

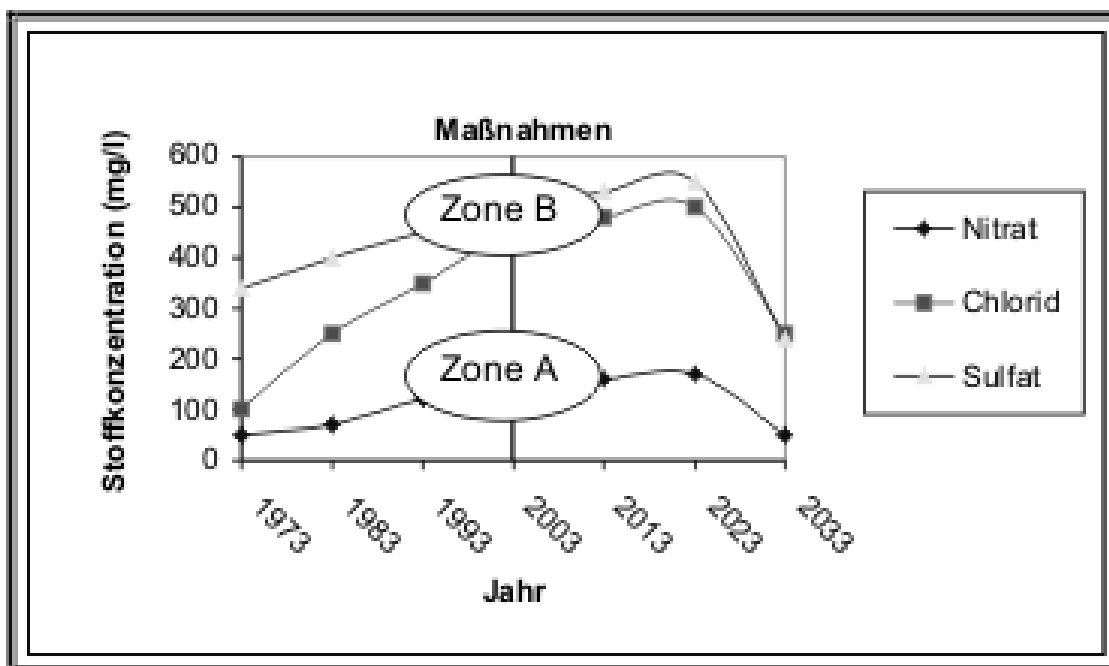


Abb. 9.5 Auswirkung der Maßnahmen auf die Stoffkonzentration im Grundwasser in mg/l.

10 Weitere Annahmen über die Entwicklung der Stoffeinträge in der Zukunft

Es ist festgestellt worden, dass die Stoffeinträge in den Untergrund in den urbanen Gebieten einen erheblichen Anteil am Gesamteintrag besitzen. Der Anfall von Abwasser und von Abfall wird direkt proportional dem Bevölkerungswachstum angenommen. In einer Worst-Case-Betrachtung wird vorausgesetzt, dass die Einträge aus den ackerbaulich genutzten Flächen ebenfalls proportional der Bevölkerungszahl steigen. In den anderen Flächen wird der Eintrag konstant gelassen. Die urbanen und ackerbaulich genutzten Flächen sind 56 % der Gesamtfläche. In Abb. 10.1 ist die zu erwartende Zahl der Bewohner in Palästina bis zum Jahre 2020 dargestellt.

Es wird angenommen, dass die Entwicklung im Untersuchungsgebiet entsprechend verläuft. Zwischen dem Jahre 1993 und dem Jahre 2020 wird sich die Bevölkerungszahl etwa vervierfachen mit einer exponentiell ansteigenden Tendenz. Die Abbildung 10.1 zeigt die zu erwartende Entwicklung der Bevölkerungszahl in Palästina.

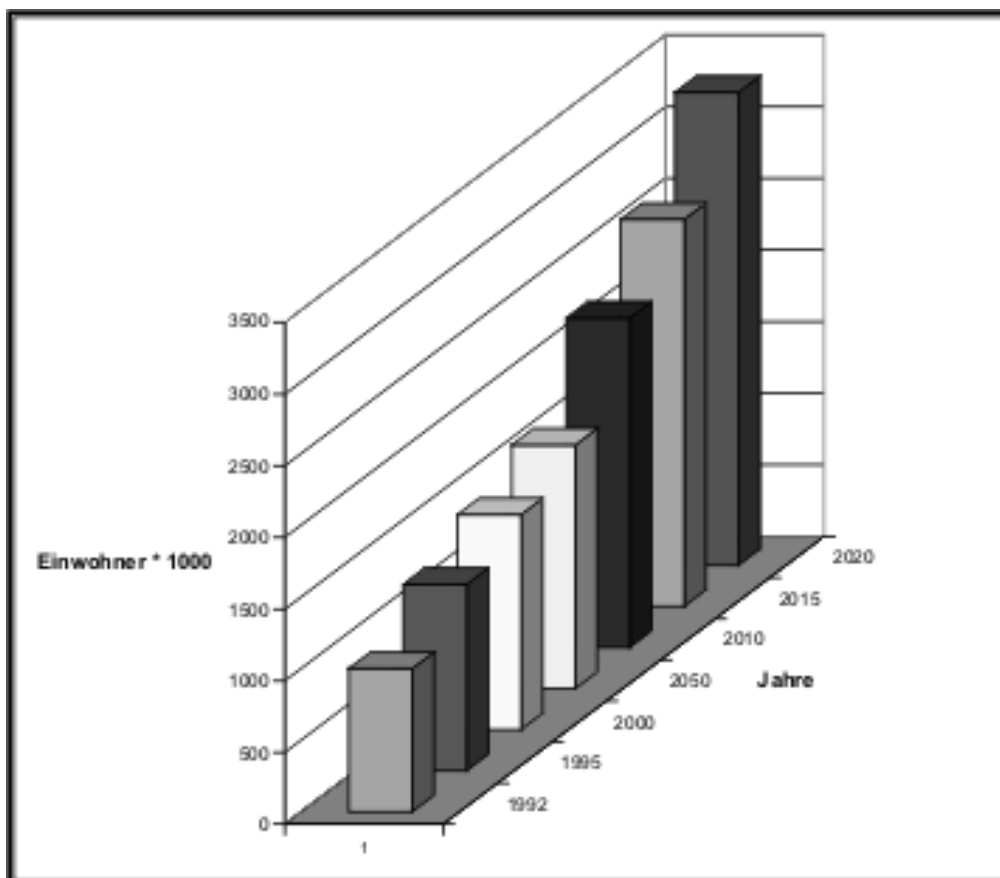


Abb. 10.1 Entwicklung der Bevölkerungszahl in Palästina

In den betrachteten Gebieten gibt es Duzende von Müllhalden, die über das ganze Land verteilt sind. Die meisten sind nur spärlich gesichert und schlecht verwaltet, viele haben ihre volle Kapazität nahezu erreicht, ohne dass Alternativen in Sicht sind. Kontinuierliche Verzögerungen im Genehmigungsprozess neuer Müllhalden - keine kommunale Verwaltung ist an einer Mülllagerung auf ihrem Territorium interessiert - haben dazu geführt, dass nahezu die Hälfte der Bevölkerung ohne eine umfassende Lösung des Problems der Lagerung und Beseitigung von Festmüll lebt.

Es gibt eine Vielzahl von Industrieanlagen, die zirka eine Million Tonnen risikoreicher Substanzen einschließlich Brennstoffe produzieren, verbrauchen, lagern oder transportieren. Ein Unfall oder eine Panne könnten zu katastrophalen Folgen für das Leben der Menschen und zu einem irreparablen Schaden des Grundwasser führen.

Es ist nicht anzunehmen, dass in absehbarer Zeit funktionierende Systeme für die schadlose Entfernung des Abwassers gebaut werden und eine geordnete Entsorgung des Abfalls erfolgt. Aus beiden Quellen stammen die wesentlichen Stoffeinträge.

Zur Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktion und damit zur Lösung des Ernährungsproblems wird der Einsatz von mehr Düngemittel vorausgesetzt. Entsprechend ist der Stoffeintrag in diesem Szenarium zu erhöhen. Da die Wirkung dieses erhöhten Eintrags auf die Stoffkonzentration im Grundwasser stark verzögert ist, werden sich die Auswirkungen erst wesentlich später zeigen.

11 Konsequenzen

11.1 Messnetz und Datenverwaltung

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen haben beispielhaft für Nitrat, Sulfat und Chlorid gezeigt, dass mit einer massiven Verunreinigung des Grundwassers auf der Westbank in der Zukunft zu rechnen ist. Um dem entgegen zu wirken ist zunächst das Netz von Beobachtungsbrunnen so zu gestalten, dass Grundwasserproben im Abstrom der wesentlichen Stoffquellen entnommen werden können. Darüber hinaus sind die Analysen dieser Proben auf die Erfassung relevanter Stoffe wie Bor, CSB, aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe und Pflanzenschutzmittel auszudehnen. Die ermittelten Daten sind in einer Datenbank zu speichern. Grundwassermodelle im Zusammenhang mit Informationen über die Landnutzung und punktförmige Stoffquellen in einem geografischen Informationssystem (GIS) können dazu dienen, die räumliche und zeitliche Ausbreitung der Stoffe im Untergrund zu kontrollieren. Diese Maßnahmen setzen voraus, dass auch Grundwasserstände, die Strömung des Grundwassers und der Grundwasserhaushalt erfasst und in einem Grundwassermodell mit ausreichender Genauigkeit Berücksichtigung finden.

Die Bedienung des Informationssystems sollte über benutzerfreundliche und leistungsfähige Standardprogramme wie Excel, Access und das geografische Informationssystem Arcview erfolgen. Diese Programme laufen auf normalen PCs und können menügesteuert auf die Datenbank zugreifen.

11.2 Einsatz eines Informationssystems

Die Primäraufgabe des Informationssystems besteht zunächst in der Archivierung und Verwaltung der notwendigen Daten. Neben den bereits erwähnten Grundwasserstands- und -beschaffenheitsdaten gehören dazu die Stammdaten der Messstellen, die Bohrprofile, Ausbauzeichnungen, Lagepläne, usw..

Im Rahmen von Routineauswertungen wird die zeitliche Entwicklung der Werte unterschiedlicher Parameter verfolgt und dargestellt. Die kontinuierliche Fortführung und darauf aufbauend die Prognose der weiteren Entwicklung der Kenndaten für die Grundwassergüte stellt dabei eine wesentliche Voraussetzung für die Bewertung der Prozesse im Untergrund dar.

Eine weitere wesentliche Aufgabe des Informationssystems ist, Grundlagen für die Bewertung neuer Befunde zu liefern. Diese Bewertung schließt u.a. ein:

- Tauglichkeit des Grundwassers für verschiedene Nutzungen,
- Auswahl von Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwassergüte,
- Auswahl von Maßnahmen zur Aufbereitung von Grundwasser für bestimmte Nutzungen.

Mit dem Grundwassermodell als Baustein des Informationssystems besteht die Möglichkeit, die von einer Stoffquelle ausgehende Gefährdung zu quantifizieren. Ausgehend von den gemessenen Belastungen und Stoffeigenschaften werden die zeitliche Ausbreitung der Stoffe im Raum und die zu erwartenden Belastungen an den Brunnen prognostiziert. Für den Versorger ist letztendlich von Interesse, ob und wann eine unzulässige Belastung der Brunnenwasser für eine bestimmte Nutzung erreicht wird. Auf dieser Grundlage kann dann entschieden werden, welche Maßnahmen eingeleitet werden müssen. Es ist in der vorgelegten Arbeit deutlich gemacht worden, dass Maßnahmen Jahrzehnte vor ihrer Wirksamkeit im Grundwasser eingeleitet werden müssen.

Das "Informationssystem Grundwasser" bestehend aus den Modulen "Monitoring-Datenbank" und "Modellgestützte Auswertung" ist ein wesentliches Werkzeug für die sachgerechte Erfassung und Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit im Einzugsgebiet von Brunnen. Dies gilt selbstverständlich nicht nur in urbanen Regionen mit einem hohen Schadstoffeintragspotential sondern auch im Einzugsgebiet anderweitiger Wassergewinnungen. Durch die kontinuierliche Erfassung und Auswertung von Daten – wobei die Daten zur Grundwasserbeschaffenheit im Vordergrund stehen – wird die Basis zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen geschaffen. Nur das frühzeitige Erkennen von zeitlichen Trends in der Entwicklung der Rohwasserqualität ermöglicht überhaupt das rechtzeitige Einleiten von Gegenmaßnahmen.

12 Zusammenfassung

Grundwasservorkommen im Nahen Osten werden intensiv genutzt. Als Folge der Bevölkerungsentwicklung ist absehbar, dass vielerorts die Grundwasserentnahme die Grundwasserneubildung übersteigen wird, die Grundwasserleiter also übernutzt werden.

Neben der Verringerung der Wassermenge gibt aber auch die Verschlechterung der Grundwassergüte Anlass zur Sorge. Die unkontrollierte Versickerung von Abwasser, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, das Austreten wassergefährdender Flüssigkeiten aus Tanks und Leitungen, die unkontrollierte Ablagerung von Abfällen aller Art sind einige Ursachen von Grundwasserverunreinigungen.

Das ständige Absinken von Wasserständen in Brunnen ist ein Zeichen einer Übernutzung. Im Bereich der Grundwasserqualität sind Messungen von gefährlichen Inhaltsstoffen im Grundwasser jedoch noch nicht im ausreichenden Maße vorhanden, um die Gefährdung der Qualität des Grundwassers insgesamt einschätzen zu können. Die Auswertung von vorliegenden Befunde über Konzentrationen von Nitrat, Sulfat und Chlorid in einem Grundwasserleiter auf der Westbank zeigt jedoch, dass für die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser Gefahr im Verzuge ist.

Im Hinblick auf die Grundwasserqualität kommt hinzu, dass als Folge großer Flurabstände Stoffeinträge in den Untergrund erst Einfluss auf die Grundwasserqualität nehmen, wenn sie die Grundwasseroberfläche erreichen. Vom Eintrag in den Untergrund bis zum Erreichen der Grundwasseroberfläche können Jahrzehnte vergehen.

Es waren folgende Aufgaben zu lösen:

- Exemplarische Ermittlungen von Stoffeinträgen in das Grundwasser
- Zuordnungen von Stoffeinträgen zur Flächennutzung
- Prüfung der Wirkungen von Maßnahmen zur Verminderung des Stoffeintrags auf die Konzentrationen im Grundwasser

Zur Lösung dieser Aufgaben wurde wie folgt vorgegangen:

1. Auswahl eines Projektgebietes in Palästina
2. Auswahl von Indikatorstoffen für die Einschätzung der Grundwassergüte, von denen Messwerte bezüglich der Konzentration im Grundwasser vorlagen

3. Ermittlung von Einträgen der Indikatorstoffe in das Grundwasser aus der zeitlichen Konzentrationsänderung im Grundwasser
4. Abschätzung der Laufzeit von Stoffen in der ungesättigten Zone
5. Exemplarische Ermittlung von Stoffeinträgen als Folge der Landnutzung ohne Kenntnis der Konzentrationen im Grundwasser bezüglich Pflanzenschutzmittel
6. Prognose der Stoffeinträge in der nahen Zukunft
7. Ermittlung der Konzentrationen als Funktion der Zeit im Grundwasser mit einem Grundwassermodell
8. Aufstellung eines Maßnahmenkataloges zur Verminderung von Stoffeinträgen als Baustein einer zukunftsorientierten Wasserhaushaltspolitik mit Berechnungen der Auswirkungen auf den Gehalt der Indikatorstoffe im Grundwasser in der Zukunft.

Das Projektgebiet umfasst eine Fläche von ca. 900 km². Darin sind urbane und ländliche Flächen enthalten. Als Indikatorstoffe wurden Nitrat, Sulfat und Chlorid gewählt. Für diese Stoffe lagen seit etwa 30 Jahren Messwerte im Grundwasser vor. In wesentlichen Teilen des Grundwasserleiters im Untersuchungsgebiet übersteigen die Konzentrationen Mitte der neunziger Jahre Grenzwerte, die in Europa für die Eignung als Trinkwasser festgelegt sind.

Die Erhöhung der Konzentrationen in diesem Zeitraum zeigen an, dass die infiltrierte Stoffmenge größer ist als die mit dem Grundwasser abfließende Menge. Unter Berücksichtigung der Grundwasserneubildung und des im Grundwasserleiter befindlichen Wasservolumens ist die Veränderung des Stoffeintrages in der Zeit berechnet worden. Die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser übersteigen die gemessenen Werte im Grundwasser bei weitem.

Um Angaben über Maßnahmen zur Verminderung der Stoffeinträge in das Grundwasser machen zu können, sind die Einträge in einen Zusammenhang mit der Landnutzung gebracht worden. Als wesentliche Stoffquellen für die genannten Indikatorstoffe sind unkontrollierte Versickerungen von Abwasser und Sickerwässer aus wilden Ablagerungen von Abfall identifiziert worden.

Für Pflanzenschutzmittel im Grundwasser lagen keine Messergebnisse im Grundwasser vor. Es ist daher der Versuch gemacht worden, unter Berücksichtigung von Abbauraten, die in Deutschland ermittelt wurden, das Gefährdungspotential abzuschätzen. Als Folge der langen Verweilzeit des Sickerwassers, das aus der Bewässerung stammt, in der ungesättigten Bodenzone ist die Gefährdung der Grundwassergüte durch diese Produkte jedoch als nicht sehr hoch einzuschätzen.

Die Bevölkerungszahl in dem Untersuchungsgebiet wird zunehmen, damit die Mengen an Abwasser und an Abfall. Aus diesen Quellen ist eine Zunahme von Stoffeinträgen in den Untergrund und damit in das Grundwasser zu erwarten. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche ist nicht im nennenswerten Rahmen erweiterbar. Da in zunehmendem Maße wassersparende Bewässerungsverfahren eingesetzt werden, ist aus diesem Bereich mit einer wesentlichen Zunahme der Stoffeinträge nicht zu rechnen. Es ist weiter zu berücksichtigen, dass der Anteil des Bewässerungswassers an der Grundwasserneubildung weit unter 10% liegt.

Wenn eine gleichmäßige Verteilung des Sickerwassers über die Fläche angenommen wird, dürfte bei Flurabständen zwischen 30 und 80 m die Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone zwischen 30 und 80 Jahren liegen. Die Zunahme der Stoffkonzentrationen zwischen 1973 und 1993 lassen aber den Schluss zu, dass geringere Verweilzeiten der Stoffe in der ungesättigten Zone anzusetzen sind. Das wiederum deutet an, dass nicht von einer gleichmäßigen Verteilung des Sickerwassers ausgegangen werden kann. Die Einleitung von Abwasser in Klärteiche und die unkontrollierte Versickerung von Abwasser in den Siedlungen führt zu hohen Sättigungsgraden des Bodens mit Wasser in diesen Bereichen und damit zu kürzeren Sickerzeiten.

Als wesentliche Maßnahmen zur Verminderung der Einträge der Indikatorstoffe sind vornehmlich zu empfehlen:

- Sammlung, Aufbereitung und schadlose Ableitung des Abwassers,
- Lagerung von Abfall auf gedichteten Deponien

Darüber hinaus wird vermutet, dass Mineralöle und grundwassergefährdende Stoffe aus der Industrie das Grundwasser belasten. Auch hier sind Maßnahmen zur Verminderung von Stoffeinträgen zu ergreifen.

Wesentlich jedoch ist auch die Erkenntnis, dass Maßnahmen, die heute ergriffen werden, erst in ca. 20 Jahren eine Trendwende in dem Stoffeintrag ins Grundwasser bringen werden.

Die gegenwärtige und die in den nächsten 20 Jahren zu erwartende Grundwasser-güte führt zu der Empfehlung, mit Maßnahmen sofort zu beginnen, um eine gesunde Grundlage für die Bevölkerung bezüglich der Wasserversorgung zu gewährleisten.

13 Literaturverzeichnis

Abu-Mayleh, Y. (1994) :

Water Budget in Palestine-Geographic Study, Al-Azhar University, Gaza

Al-Khatib, N. (1989) :

Water Resources in the West Bank, Loughborough of Technology, United Kingdom.

Applied Research Institute of Jerusalem (ARIJ-1995) :

Water Research Unit, 1995. Unpublished Data.

Arendes, W.; Braber, K.; Halder I.V. and others (1989) :

Pesticides Compounds, Use and Hazards, Agromisa, Netherlands.

Assaf, K. (1991) :

Artificial Groundwater Recharge as an Alternative in Water Resource Management in the West Bank and Gaza Strip, in "Water in the Occupied Territories – Problems and Solutions, Jerusalem.

Jad Isaac and Walid Sabbah (1995)

Water Resources and Irrigated Agriculture in the West bank. Applied Research Institut-Jerusalem (ARIJ).

Awartani, H. (1992) :

Artesien Wells in Palestine / Present Status and Future Aspiration, Palestinian Hydrology Group, Jerusalem.

Bir - Zeit University Electronic Weather Station (1995) :

Climate data collected from The Bir - Zeit Electronic Weather Station, Ramallah.

EG (1980) :

Rechtlinie des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (15. Juli 1980). Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften Nr. L 229/11.

Boochs, P.; Mull, R. (1990) :

Analyse und Prognose von Schadstoffausbreitungen im Grundwasser im Umfeld von Altablagerungen. Mitteilungen des Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover, H. 71 S. 132-228 Hannover.

Baden, Kunze, Nieman, Schwedtfeger, Vollmer : (1969)
Bodenkunde; Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

DVWK (1989 / 1):

Stofftransport im Grundwasser. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., H. 83. Hamburg, Berlin : Verlag Paul Parey.

DVWK (1990 / 1):

Stoffeintrag und Stoffaustrag in bewaldeten Einzugsgebieten. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., H. 91. Hamburg, Berlin : Verlag Paul Parey.

DVWK (1982):

Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargabotes.

Husary, Samar (1995) :

Analysis of secondary source rainfall data from the West Bank, Palestinian Hydrology Group, Jerusalem Palestine.

IPCRI, (1993) :

Aproposol for the Development of a Regional Water Master Plan, Israel / Palestine Center for Research Information, Jerusalem. (1990) : Water in Palestine, pp. 106-306, Tunis.

Israel Meteorological Services, (1994) :

Climatic records collected from the Israeli meteorological services.

Jenin Agricultural Department, (1996) :

Records of the rainfall for (1983-1996).

Isaac, J. and Hosh, L. (1992) :

Roots of the Water Conflict in the Middle East Submitted to the Middle East Water Crisis – Creative Perspectives and Solutions, University of Waterloo, Canada.

Koll, H.; Mull, R. (1989) :

Schadstoffausbreitung im Grundwasserleiter. Wasser und Boden 41, 12, S. 733-739.

Boochs und Mull (1990)

GWMOD u. MIXCELL

Golden Software (1995) :

Surfer for Windows, Golden Software Inc. P.O. Box 281,
Golden, Colorado 80402 USA.

Kahan (1987) :

Agriculture and Water Resources in the West Bank and Gaza (1967-1987),
Jerusalem.

Mull, R.; Nordmeyer, H. (1995) :

Pflanzenschutzmittel im Grundwasser, Springer Verlag, Berlin 1995.

Kinzelbach, W. (1986) :

Groundwater Modelling. Elsevier

Kinzelbach, W. (1987) :

Numerische Methoden zur Modellierung des Transports von Schadstoffen im
Grundwasser. Gwf Wasser / Abwasser, Band 21.
München, Wien : R. Oldenburg Verlag.

Mull, R.; Battermann, G.; Boochs, P. (1979) :

Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser. 13. Seminar Deutscher Verband für
Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK).

United Nation,(1992) :

Water resources of the Occupied Palestinian Territory, New York.

Nordmeyer, H.; Rose, H.; Dibbern, H.; Pestemer, W. (1991) :

Pflanzenschutzmittel im Grundwasser – Säulenversuche unter anaeroben
Bedingungen. Wasser und Boden, S. 85-98.

Rofe and Raffety Consulting Engineers (1963) :

Jerusalem and District Water Supply, geological and hydrogeological report,
Westminster, London (for the Central Water Authority of Jordan).

Rohman, U.; Sontheimer, H. (1985) :

Nitrat im Grundwasser – Ursachen, Bedeutung, Lösungswege. DVGW –
Forschungsstelle Universität Karlsruhe,.

Saleh, A.; Neiroukh, F.; Ayyash, O.; Gasleyer, S. (1995) :
Pesticides Usage in the West Bank, Applied Research Institute-Jerusalem.

Tahal, (1990) :
Israel Water Sector-Past Achievements, Current Problems and Future Options,
Report on World Bank, Tahal Water Planning for Israel, Tel Aviv.

Mul, Rolf -1987
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft
Anthropogene Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt, , Band 1

Eran Feitelson and Marwan Haddad (2001)
Managment of Shared Groundwater Resources:
The Israeli-Palestinian Case with an International Perspective
kluwer Academic Publishers; Poston/Dordrecht/London;

H. Wilken; K. Knödel (1999)
Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten; Band 7
Springer Verlag;.

14 Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 2.1	Zubetrachtende Massenflüsse	3
Abb. 3.1	Darstellung der Region, Aufteilung der Grundwasserleiter und die Lage des Untersuchungsgebietes in der Westbank	9
Abb. 3.2	Übersichtskarte mit Lage des Geologischen Schnittes und den Förderbrunnen	10
Abb. 3.3	Geologischer Schnitt	11
Abb. 3.4	Grundwassergleichen im Untersuchungsgebiet und in der gesamten Westbank (m).	12
Abb. 3.5	Flurabstandsplan im Untersuchungsgebiet der Westbank (m).	13
Abb. 4.1	Niederschlag in Hebron zwischen 1846 und 1993 in mm/a.	15
Abb. 4.2	Isohyeten auf der Westbank in mm/a und die Lage der meteorologischen Stationen (Jahresmittel 1846-1993).	16
Abb. 4.3	Monatliche Niederschlagshöhe für verschiedene Meßstationen im Untersuchungsgebiet und Umgebung in mm.	17
Abb. 4.4	Entwicklung des Wasserbedarfs der Westbank für Haushalt, Industrie und Bewässerung	25
Abb. 4.5	Grundwasserentnahme auf der Westbank zwischen 1970 und 1994 in (Mio.m ³ /a)	26
Abb. 4.6	Brunnentiefe im Untersuchungsgebiet und auf der Westbank in (m)	26
Abb. 4.7	Lage der Entnahmebrunnen und der Entnahmemenge im Untersuchungsgebiet (l/s).	27
Abb. 5.1	Zeitliche Entwicklung des Nitratgehaltes im Grundwasser in den ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebietes in mg/l.	29
Abb. 5.2	Gemessene Nitratkonzentration zwischen 1973 und 1993 mg/l.	30
Abb. 5.3	Verteilung der Nitratkonzentrationen 1973 im Grundwasser mg/l.	31
Abb. 5.4	Verteilung der Nitratkonzentrationen 1983 im Grundwasser (mg/l).	31
Abb. 5.5	Zeitliche Entwicklung des Sulfatgehaltes im Grundwasser in den ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebietes in mg/l	32
Abb. 5.6	Gemessene Sulfatkonzentration zwischen 1973 und 1993.[mg/l]	33
Abb. 5.7	Verteilung der Sulfatkonzentrationen 1973 im Grundwasser (mg/l).	34
Abb. 5.8	Verteilung der Sulfatkonzentrationen 1983 im Grundwasser (mg/l).	34

Abb. 5.9	Zeitliche Entwicklung des Chloridgehaltes im Grundwasser in den ausgewählten Brunnen des Untersuchungsgebietes in (mg/l).	35
Abb. 5.10	Gemessene Chloridkonzentration zwischen 1973 und 1993.[mg/].	36
Abb. 5.11	Verteilung der Chloridkonzentrationen 1973 im Grundwasser (mg/l)	37
Abb. 5.12	Verteilung der Chloridkonzentrationen 1983 im Grundwasser (mg/l)	37
Abb. 5.13	Landnutzung des Untersuchungsgebietes	39
Abb. 5.14	Stoffeintrag (Fracht) im 1973, 1983 und 1993 für Nitrat, Chlorid und Sulfat im Sickerwasser des Untersuchungsgebietes in t/a.	42
Abb. 5.15	Stoffeintrag (Fracht) für Nitrat im 1973, 1983 und 1993 für verschiedene Art der Landnutzung im Sickerwasser des Untersuchungsgebietes in (kg/ha*a).	45
Abb. 5.16	Stoffeintrag (Fracht) für Chlorid im 1973, 1983 und 1993 für verschiedene Art der Landnutzung im Sickerwasser des Untersuchungsgebietes in (kg/ha*a).	45
Abb. 5.17	Stoffeintrag (Fracht) für Sulfat im 1973, 1983 und 1993 für verschiedene Art der Landnutzung im Sickerwasser des Untersuchungsgebietes in (kg/ha*a).	45
Abb. 5.18	Pestizidverbrauch für bewässerte und unbewässerte Fläche auf der Westbank in t/a	48
Abb. 6.1	Grundwasserneubildung in (l/s*km ²) und Stoffeintäge (mg/l) für Nitrat, Chlorid und Sulfat im Untersuchungsgebiet des Grundwasserleiter bezogen auf die Landnutzung.	52
Abb. 7.1	Grundwassergleichenplan des Untersuchungsgebietes in (m).	54
Abb. 7.2	Vergleich zwischen den gemessenen und gerechneten Grundwassergleichen in (m ü NN).	57
Abb. 7.3	Zur Veranschaulichung der mittleren Laufstrecke des Grundwassers	58
Abb. 8.1	Nitrateintrag in kg/ha a mit Abbau bezogen auf die Landnutzung	61
Abb. 8.2	Verteilung der gemessene Nitratkonzentrationen 1993 im Grundwasser (mg/l).	63
Abb. 8.3	Modellberechnete Nitrat – Konzentration – 1993 in mg/l.	63
Abb. 8.4	Verteilung der gemessene Sulfatkonzentrationen 1993 im Grundwasser (mg/l).	64
Abb. 8.5	Modellberechnete Sulfatkonzentration – 1993 in mg/l.	64

Abb. 8.6	Verteilung der gemessene Chloridkonzentrationen 1993 im Grundwasser (mg/l).	65
Abb. 8.7	Modellberechnete Chloridkonzentration – 1993 in mg/l.	65
Abb. 8.8	Modellberechnete Nitratkonzentration – 2043 in mg/l.	67
Abb. 8.9	Stationär berechnete Nitratkonzentration in mg/l.	67
Abb. 8.10	Modellberechnete Sulfatkonzentration – 2043 in mg/l	68
Abb. 8.11	Stationär Berechnete Sulfatkonzentration in mg/l.	68
Abb. 8.12	Modellberechnete Chloridkonzentration – 2043 in mg/l.	69
Abb. 8.13	Stationär berechnete Chloridkonzentration in mg/l.	69
Abb. 8.14	Entwicklung des Stoffeintrags für Nitrat in Zukunft in kg/ha*a.	70
Abb. 8.15	Entwicklung des Stoffeintrags für Chlorid in Zukunft in kg/ha*a.	70
Abb. 8.16	Entwicklung des Stoffeintrags für Sulfat in Zukunft in kg/ha*a.	70
Abb. 8.17	zeitliche Anstiege der Konzentrationen für Nitrat, Chlorid und Sulfat im stationären Fall in mg/l.	71
Abb 9.1	Reduzierung der Nitrateinträge durch Maßnahmen in kg/ha a.	76
Abb. 9.2	Reduzierung der Chlorideinträge durch Maßnahmen in kg/ha a.	76
Abb. 9.3	Reduzierung der Sulfateinträge durch Maßnahmen in kg/ha a.	76
Abb. 9.4	Reduzierung der Stoffeinträge in das Grundwasser in Zonen A und B in kg/ha a durch Maßnahmen.	79
Abb. 9.5	Auswirkung der Maßnahmen auf die Stoffkonzentrationen im Grundwasser in mg/l	79
Abb. 10.1	Bevölkerungswachstum in Palästina in Zahlen und Prozenten.	80

15 Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1	Grundwasserneubildung für verschiedenen Landnutzungen nach [DVWK].	19
Tab. 4.2	Wasserentnahme 1990 aus dem Grundwasserleiter der Westbank.	22
Tab. 4.3	Wassergebrauch auf der Westbank und Gaza.	23
Tab. 4.4	Wasserbedarf der Westbank für Haushalt, Industrie und Bewässerung.	23
Tab. 4.5	Entwicklung des Wasserbedarfs auf der Westbank in Mio.m ³ /a.	25
Tab. 5.1	Flächennutzung und Flächengröße im Untersuchungsgebiet	38
Tab. 5.2	Zunahme der Konzentration in mg/l a.	41
Tab. 5.3	Mittelwert der Konzentrationen im Grundwasser im Jahr 1993 und die zugehörigen Sickerwasserkonzentrationen in mg/l.	41
Tab. 5.4	Anfangskonzentrationen und Stoffeintrag (Fracht) für Nitrat, Chlorid und Sulfat im Sickerwasser (C ₀) des Untersuchungsgebietes 1973, 1983 und 1993 in (kg/ha*a).	43
Tab. 5.5	Verbrauch an Pestizide und Düngemittel auf der Westbank, Gaza, Israel und Jordanien.	48
Tab. 6.1	Vergleich gemessener Konzentrationen im Grundwasser mit Grenzwerten für die Nutzung als Trinkwasser	49
Tab. 7.1	Grundwasserbilanz.	56
Tab. 7.2	Wasserbilanz für die Westbank und das Modellgebiet	59
Tab. 8.1	Prozentualer Anstieg der Mittelwerte bezogen auf den Anfangswert im Jahr 1973	72
Tab. 8.2	Verhältnis der Konzentrationen im Sickerwasser bezogen auf die Konzentrationen im Grundwasser im Jahre 1993	72
Tab. 8.3	Verhältnis der Konzentration im stationären Zustand im Grundwasser bezogen auf Grenzwerte der Trinkwasserverordnung in Deutschland	73
Tab. 9.1	Reduktion der Stoffeinträge in das Grundwasser als Folge dieser Maßnahmen (t/a)	75
Tab. 9.2	Auswirkungen der Maßnahmen bezogen auf die Flächennutzung	75

16 Formelzeichen und Abkürzungen

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
A	Fläche	[km ²]
a _f	Flurabstand	[m]
b	Breite des Untersuchungsgebietes	[km]
c	Konzentration eines Stoffes	[mg/l]
c _e	Konzentration im Rohwasser der Entnahmebrunnen	[mg/l]
c _n	Konzentration im Zufluss zum Grundwasser	[mg/l]
c _a	Konzentration im unterirdisch abströmenden Wasser	[mg/l]
c _g	Konzentration im Grundwasser	[mg/l]
c _s	Konzentration im Sickerwasser	[mg/l]
c _o	Anfangskonzentration	[mg/l]
c _{grenz EU}	Grenzwerte der Europäische Union	[mg/l]
grad h	hydraulische Gradient (Gefälle)	[%]
h _{GWN}	Grundwasserneubildung	[l/s]
h _N	Niederschlagshöhe	[mm]
h _{va}	aktuelle Verdunstung	[mm]
h _{Ao}	oberirdischer Abfluss.	[l/s]
J _p	Applizierte Menge pro Fläche und Zeit (Massenstromrate)	[kg/ha a]
k _f	Durchlässigkeit bei Vollsättigung	[m/s]
k _r	relative Durchlässigkeit	[m/s]
m	Masse der Stoffe im Speicher	[mg]
n	Hohlraumanteil	[-]
n _{eff}	durchwirksame (effektive) Hohlraumanteil	[-]
Q	Volumenfluss (Durchfluss).	[l/s]
Q _n	Zufluss zum Grundwasser (Grundwasserneubildung)	[l/s]
Q _e	Entnahme aus dem Grundwasser aus Brunnen	[l/s]
Q _a	Unterirdischer Abstrom aus dem Grundwasserleiter	[l/s]
R _d	Retardationsfaktor	[-]
S	Sättigungsgrad	[%]
S _ä	Sättigungsgrad des Hohlraums	[%]
Δs	jährlicher Anstieg der Konzentration	[mg/l]
t	Zeit	[s,d,a]
t ₅₀	Halbwertszeit	[a]
t _v	Verweilzeit	[a]

T	Transmissivität	[m ² /s]
v _a	Abstandsgeschwindigkeit	[m/s]
v _f	Filtergeschwindigkeit	[m/s]
V _g	Wasservolumen im Grundwasserleiter	[m ³]
V _n	Neubildungsvolumen	[m ³]
v _f	Mittlere Sickerwassergeschwindigkeit	[m/a]
x _m	Mittlerer Weg, den das Wasser zurückzulegen hat	[m]
β	Abminderungsfaktor	[-]
λ	Abbaukonstante	[1/a]

Chemische Symbole und Formeln

NO ₃ ⁻	Nitrat
Cl ⁻	Chlorid
SO ₄ ²⁻	Sulfat
PSM	Pflanzenschutzmittel

sonstige Abkürzungen

DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.
EU	Europäische Union
TrinkwV.	Trinkwasserverordnung
WHO	Weltgesundheitsorganisation

Lebenslauf

Name: Daoud Qawasmeh
Geburtsdatum: 21.11.1963
Geburtsort: Bengahzi
Wohnort: Deutschland Lodyweg 1,
30167 Hannover
Palästina West-Bank / Hebron,
P. O. Pox 1000
Familienstand: Verheiratet, 3 Kinder

Schulbildung

1969 – 1975 Grundschohle in Hebron (Palästina)
1975 – 1981 Gymnasium in Hebron
Juli 1981 Erlangung der allgemeinen Hochschulreife (Abitur)

Berufliche Werdegang

Sept. 1981 – Juli 1987 Studium in der Fachrichtung Bauingenieurwesen in Zaporoje Industrial Institute in Ukraina.
Abschluss: Master of Science in Engineering (M. Sc.)
Okt. 1987 – März 1991 Arbeit bei der Stadt-Hebron und bei dem Aufbau des Alahli Krankenhauses.
April 1991 – Okt. 1993 Post - graduate Studium an der Universität Hannover.
Abschluss: Master of Civil Engineering for Geotechnique and Infrastructure (M. Civ. Eng.).
Juli 1994 – Dez. 1997 Arbeit bei der Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH in Hannover.
seit Januar. 1998 Doktorant und wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und lanwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover.