Ber. Naturhist. Ges. Hannover	137	125–152	Hannover 1995

Beitrag zur Grundwasserbewirtschaftung in einem urbanen Raum am Beispiel Hannover

von

ROLF MULL

mit 13 Abbildungen und 6 Tabellen

Zusammenfassung. Im Rahmen des Ökologischen Forschungsprogramms Hannover, das in der Zeit zwischen November 1988 und Juni 1992 vom Bundesministerium für Forschung und Technologie finanziert wurde, ist die nachfolgend skizzierte Grundwasserstudie erarbeitet worden. Die Untersuchungen liefen auf vier Ebenen ab, der Datenebene, der Zustandsebene, der Ziel- und Bewertungsebene sowie auf der Wirkungsebene.

Auf der Datenebene galt es, Werte für alle einflußnehmenden Parameter zu erheben oder auch selbst zu ermitteln. Auf der Zustandsebene ergaben sich u. a. Übersichten über den Grundwasserhaushalt und die Qualität des Grundwassers. In der Ziel- und Bewertungsebene wurde geprüft, ob die Zustände, u. a. Grundwasserstand, Grundwasserqualität, den Zielvorstellungen entsprechen. Abweichungen waren Anlaß, Vorschläge für die Verbesserung der Situation zu erarbeiten. Diese Aktivitäten liefen auf der Erhebungsebene ab. In der nachfolgenden Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse werden Arbeiten herausgegriffen, die auf den verschiedenen Ebenen zur Ausführung kamen und für die Bewirtschaftung des Grundwassers in urbanen Gebieten von Bedeutung sind.

Summary: Groundwater Managementin an Urban Area in Hannover. The following study concerned with groundwater management was carried out in the course of the ecological research program Hannover, which took place during November 1988 and June 1992. The program was financed with the help of the Federal Ministry of Research and Technology.

The research itself consisted of four different elements, including the collection of data, examining the actual conditions, establishing the intention and finally the effects. The first stage of the research involved the ascertainment of data to rate parameters, which influence the conditions of the ground water. During the second stage, the author tried to get an overall view in particular of the groundwater balance and the quality of the groundwater. The third stage of the research compared the actual conditions of the groundwater level and quality with the expected results. Possible divergence was used as an opportunity to further recommendation and investigation. The following summary lists besides the research results a number of other studies, which are also of importance to the management of groundwater in urban areas.

1 Geologische Formationen

Der Untergrund des Stadtgebietes von Hannover mit einer Fläche von 204 km² gehört fast vollständig zur norddeutschen Tiefebene, die das größte zusammenhängende Gebiet mit pleistozänen Lockersedimenten in der Bundesrepublik Deutschland ist. Die wesentlichen Fließgewässer sind im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes die Leine und Ihme, im Norden die Wietze (Abb. 1).

Im Norden und Osten der Leine bilden Tone der Unteren und Oberen Kreide die Basis des Aquifers. Die Transmissivität wird durch eine darüber liegende Schicht aus Kiesen der Mittelterrasse (Saale-Eiszeit) bestimmt. Die oberflächennahen Schichten im Stadtzentrum und im Wietzegebiet bestehen aus Talsanden der Niederterrasse (DIETZ, 1959).

Die Leine bildet eine geologische Trennlinie zwischen Erhebungen der Kreideformationen und solchen des Jura an die Oberfläche (Kronsberg, Tönjesberg, Lindener Berg) und den quartären Ablagerungen der Norddeutschen Tiefebene. Im Bereich Kirchrode-Kleefeld besteht die obere Schicht aus Geschiebemergeln mit Sandeinlagerungen der Saale-Eiszeit. An mehreren Stellen des Stadtgebietes tritt Gestein aus dem Jura und der Kreide zu Tage (Kronsberg, Lindener Berg, Mühlenberg). Hierbei handelt es sich um feste Kalk-, Kalkmergel-, Mergelkalk- und Tongesteine.

Die Abb. 2 zeigt zwei geologische Schnitte durch das Stadtgebiet von Hannover und die Abb. 1 die Lage dieser Schnitte im Stadtgebiet sowie Linien gleicher Aquiferbasis.

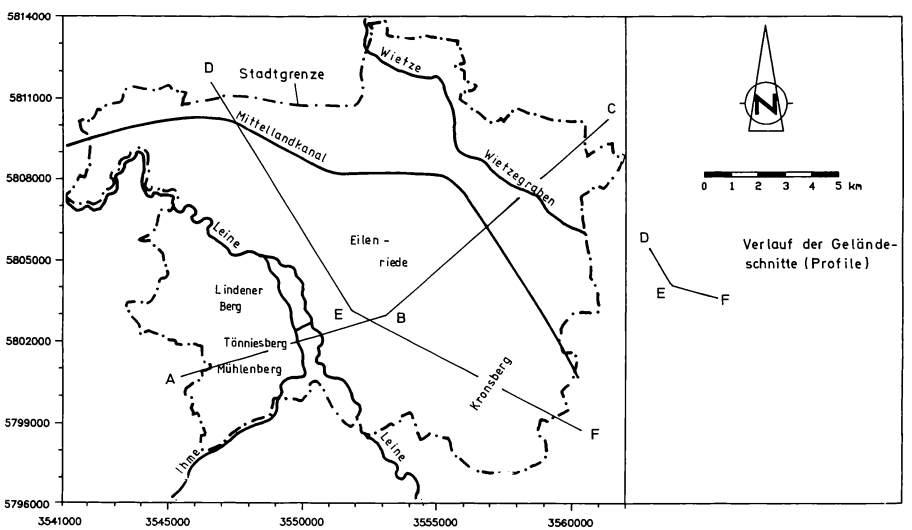


Abb. 1: Wesentliche Fließgewässer im Stadtgebiet von Hannover und Lage zweier geologischer Schnitte (dargestellt in Abb. 2)

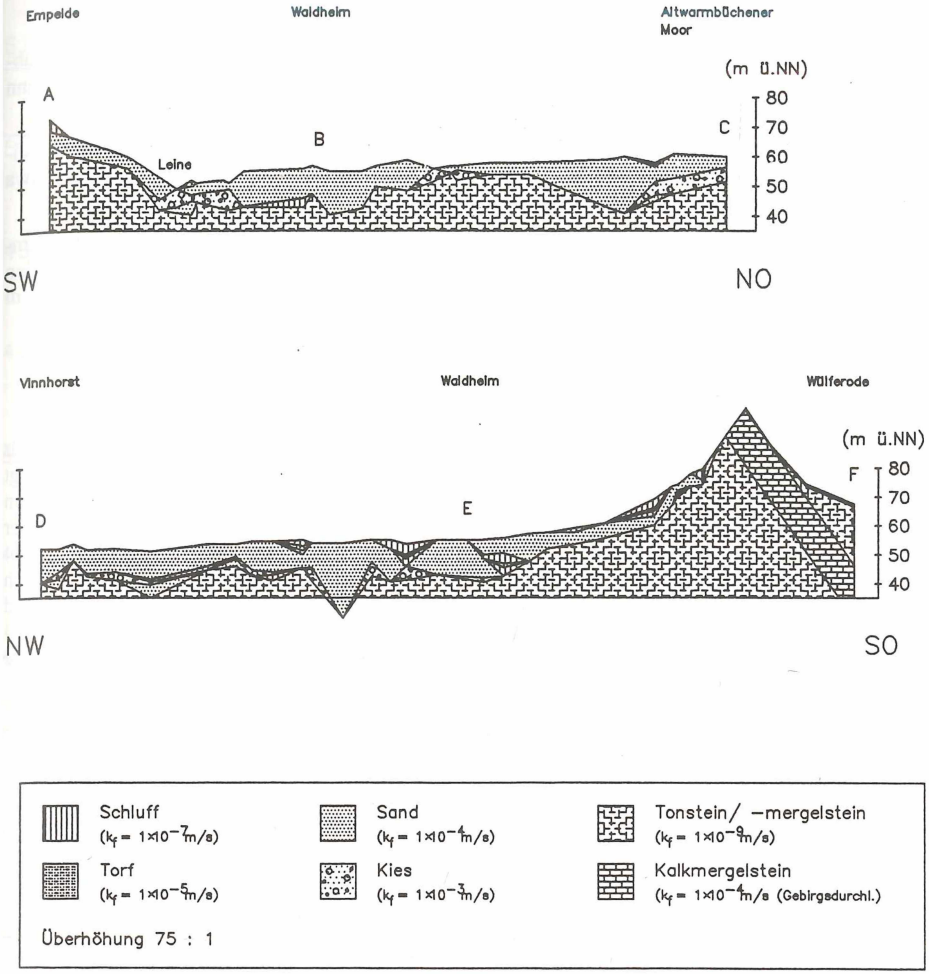


Abb. 2: Zwei Geologische Schnitte durch das Stadtgebiet von Hannover (vgl. Abb. 1)

2 Hydraulische Parameter

2.1 Durchlässigkeit und Transmissivität

Die Ermittlung der Transmissivität stützt sich auf die Auswertung von ca. 2500 Sondierungsbohrungen aus den Bohrarchiven des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung und des Stadtvermessungsamtes Hannover. Zusätzlich sind eine Reihe von Pumpversuchen berücksichtigt. Die Auswertungen sind vornehmlich in Modelluntersuchungen beim Eichprozeß erfolgt.

2.2 Porosität und Speicherkoeffizient

Zur Berechnung von Abstandsgeschwindigkeiten ist die Kenntnis des effektiven oder abflußwirksamen Porenvolumens notwendig. Der durchflußwirksame Hohlraumanteil kann näherungsweise nach der Bodenklassifizierung bestimmt werden.

Modelluntersuchungen haben gezeigt, daß in weiten Gebieten der Stadt Hannover der Speicherkoeffizient gleich dem speichernutzbaren Hohlraumanteil ist und dieser wiederum etwa dem durchflußwirksamen Hohlraumanteil entspricht.

Lediglich in der Leineaue, wo der Grundwasserleiter infolge der obenliegenden Auelehmschicht gespannt ist, hat der Speicherkoeffizient einen wesentlich kleineren Betrag als in den übrigen Gebieten. Er beträgt dort bei einer Mächtigkeit des Grundwasserleiters von 10 m $1{,}5 \times 10^{-5}$.

2.3 Grundwasserstände

Für das Untersuchungsgebiet liegen langfristige Messungen von Wasserständen vor, die für einzelne Brunnen bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs zurückgehen. Die Abb. 3 zeigt Grundwassergleichen, die auf der Ablesung der Standrohrspiegelhöhe in 324 ausgewählten Beobachtungsbrunnen vom Mai 1988 basieren. In der gleichen Abbildung sind die auf der Basis dieser Grundwasserstände und den bekannten Transmissivitäten berechneten Abstandsgeschwindigkeiten nach Richtung und Betrag dargestellt. Darüberhinaus sind zeitlich gemittelte Grundwasserstände von Beobachtungsbrunnen in der Zeit zwischen 1979 und 1988 vorhanden. Diese Ergebnisse dienten zur Interpretation der nachfolgend in den Abb. 4 dargestellten Ganglinien. Es ist erkenntlich, ob natürliche oder von Menschen verursachte Eingriffe in das Regime Ursache der Schwankungen sind.

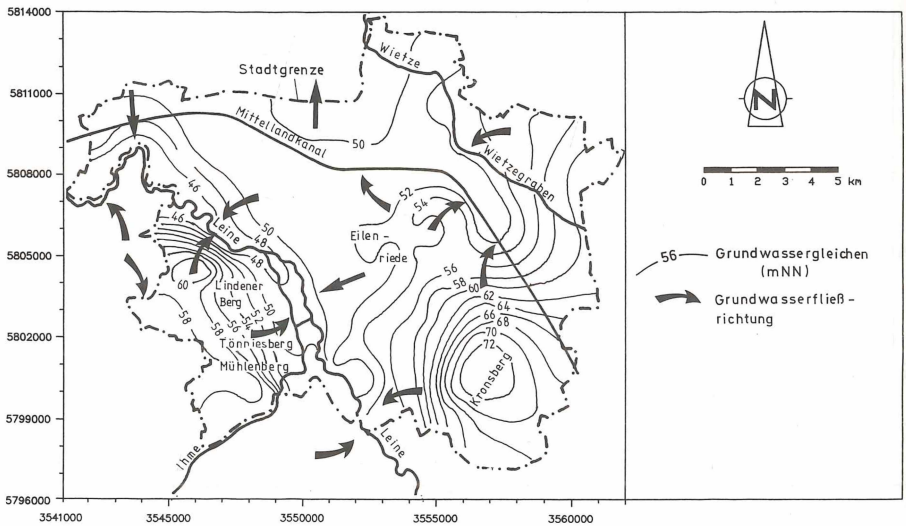
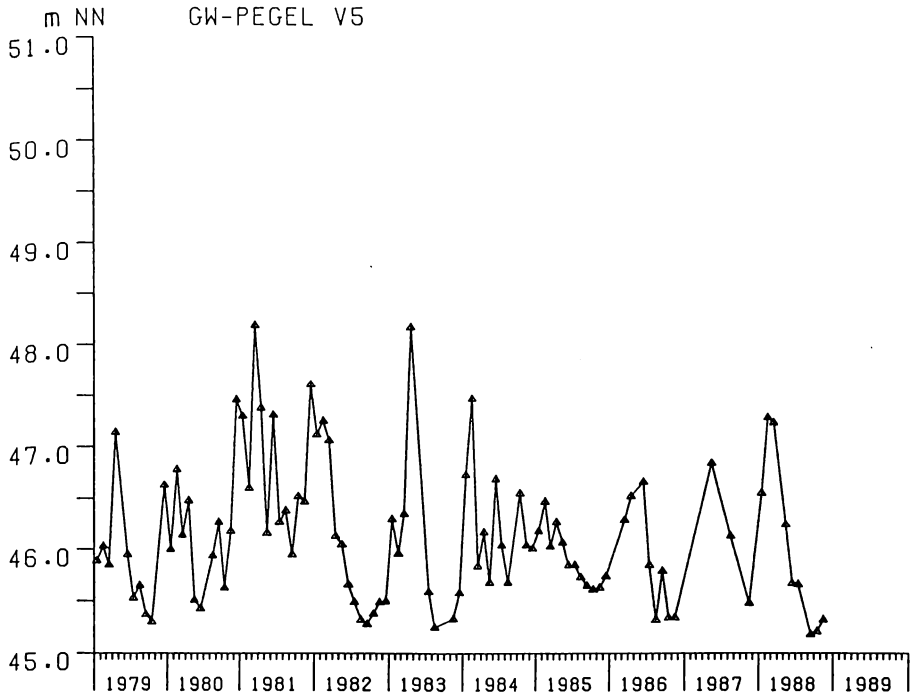
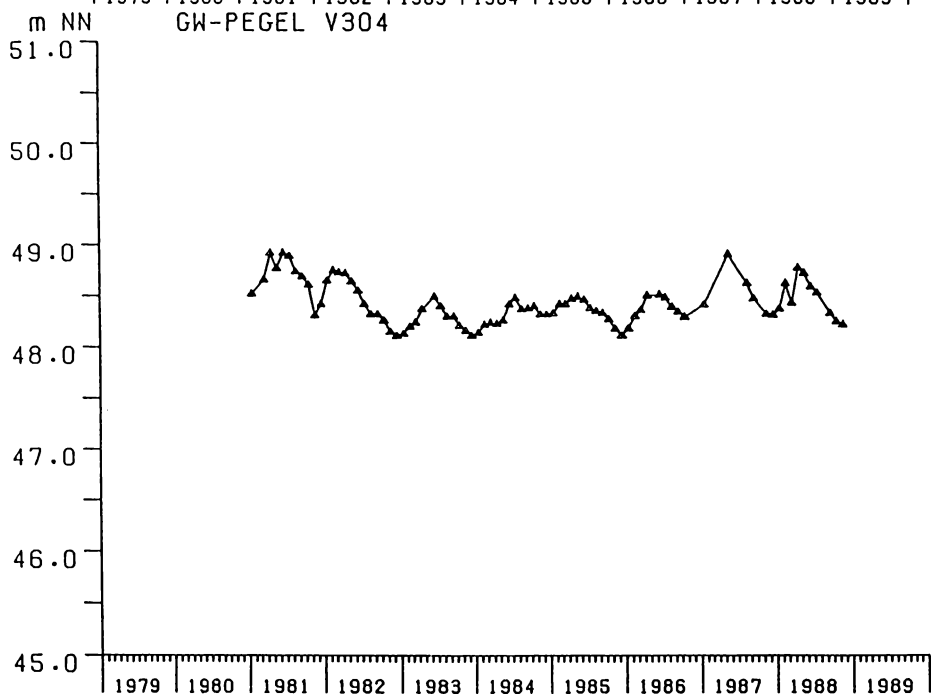
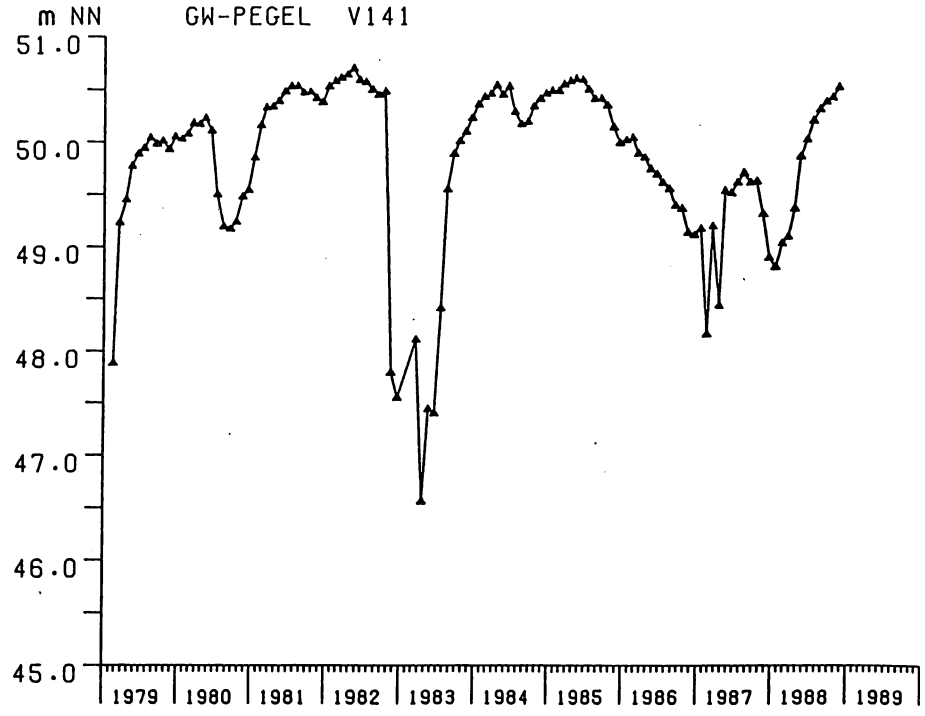


Abb. 3: Grundwassergleichen und Grundwasserfließrichtung, basierend auf Messungen aus dem Jahr 1988


m NN
GW-PEGEL V5
51.0
50.0
49.0
48.0
47.0
46.0
45.0
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989


m NN
GW-PEGEL V304
51.0
50.0
49.0
48.0
47.0
46.0
45.0
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989



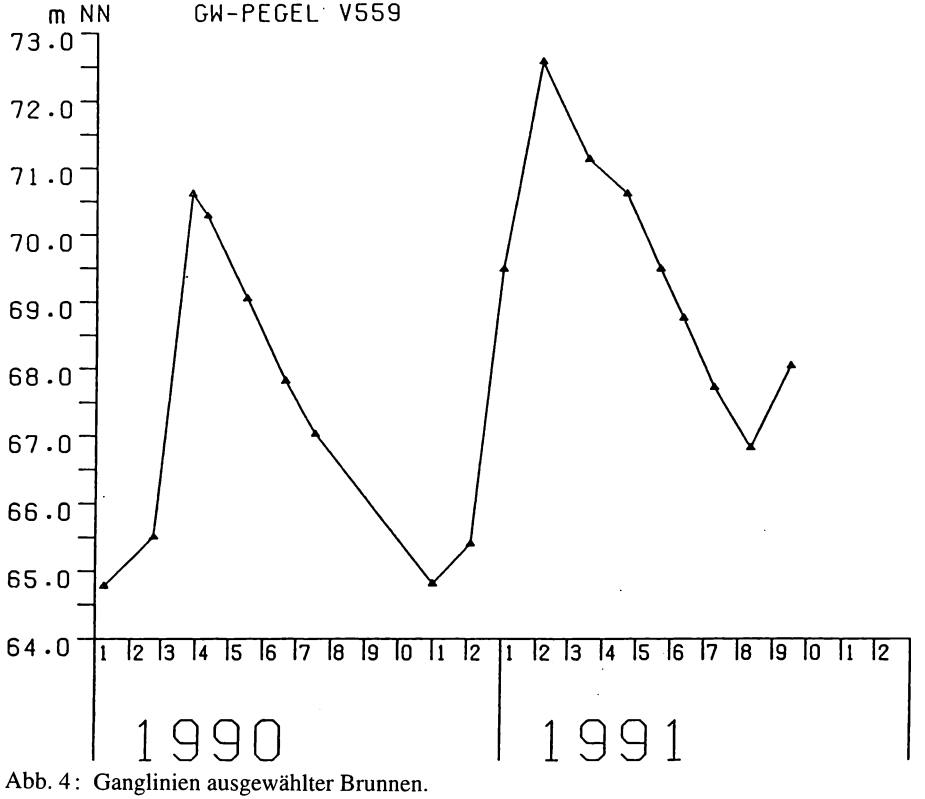


Abb. 4: Ganglinien ausgewählter Brunnen.

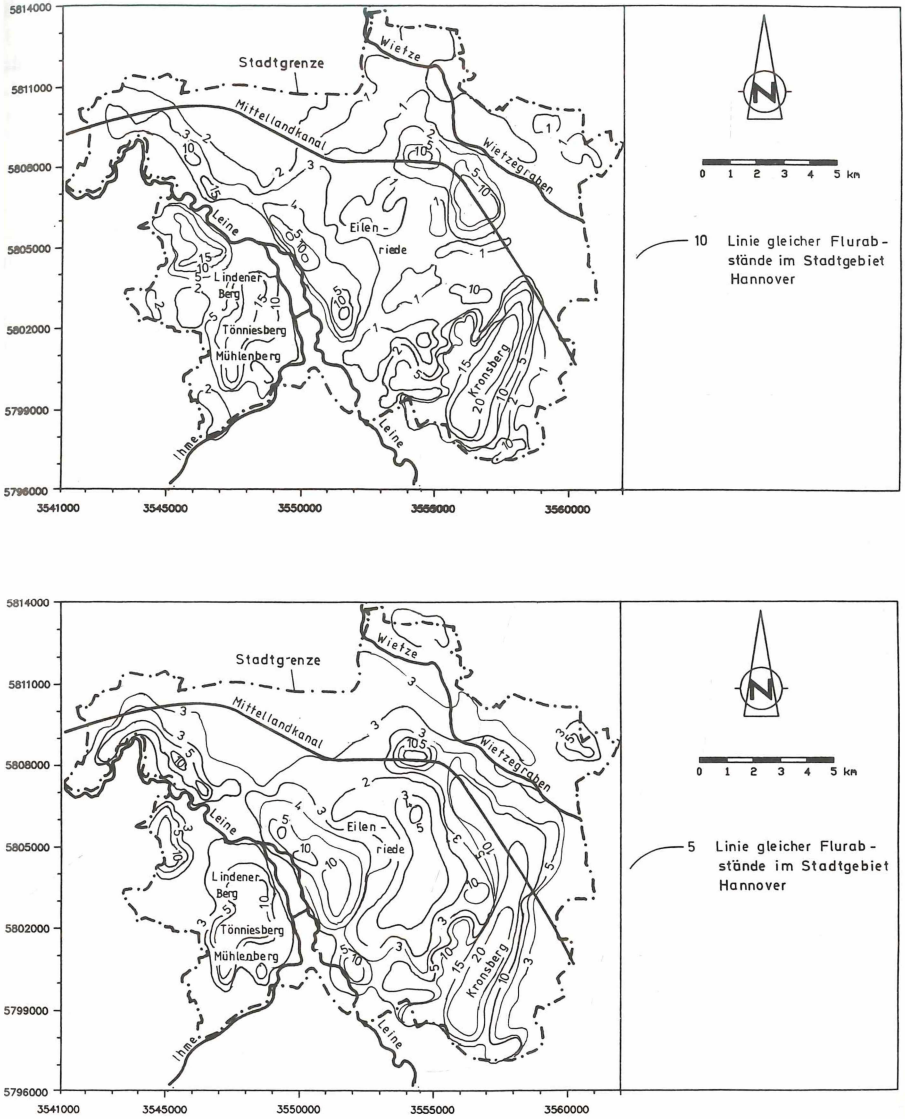


Abb. 5: Grundwasserflurabstandsgleichen, oben: Mai 1988, unten: Herbst 1988

Pegel V5 liegt in der Nähe eines Vorfluters und ist damit von dessen Wasserstandsschwankungen beeinflußt, Pegel V304 liegt in der Nähe einer Grundwasserscheide. Die Standrohrspiegelhöhe ist bis auf wenige Zentimeter identisch mit der Höhe der Grundwasseroberfläche. Sie ist in diesem Fall im wesentlichen von der Höhe und der zeitlichen Verteilung der Grundwasserneubildung und der Transmissivität des Aquifers abhängig.
An vielen Orten sind die Pegelstände durch Grundwasserabsenkungen im Zuge von Baumaßnahmen beeinflußt. So zeigt die Ganglinie des Pegels V141, der sich in unmittelbarer Nähe

des Hauptbahnhofs Hannover befindet, drei Phasen mit anthropogener Beeinflussung durch den Bau der U-Bahn in den Jahren 79, 82/83 und 87/88.

Pegel V559 befindet sich auf dem Kalkmergelrücken des Kronsberggebietes, welcher als Kluftgrundwasserleiter zu betrachten ist. Diese Ganglinie ist durch starke und sehr kurzzeitige Schwankungen geprägt, die als Folge des geringen Hohlraumanteils (~ 1%) auftreten.

2.4 Flurabstände

Als Flurabstand wird der Abstand zwischen der Geländeoberfläche und der Grundwasseroberfläche des oberen Grundwasserstockwerkes bezeichnet. Abb. 5 (oben) zeigt die zu den Grundwasserständen Mai 1988 zugehörigen Flurabstandsgleichen, Abb. 5 (unten) den Zustand, der sich im Herbst 1988 eingestellt hat. Im Herbst sind die Flurabstände bis zu 1 m höher als im Frühjahr.

Geländeerhöhungen wie der Kronsberg, der Lindener Berg, der Töniesberg sowie kleinere Erhebungen in Ahlem zeichnen sich mit großen Flurabständen deutlich ab. Feuchtgebiete mit Flurabständen unter einem Meter liegen im Bereich der Wietze, der Seelhorst, der Eilenriede mit dem Bereich Anna-Teich und im Tiergarten sowie im Sahlkamp und in Vinnhorst im Norden von Hannover. Im zentralen Bereich des Stadtgebietes treten im Sommer größere Flurabstände auf. Geringere Flurabstände und damit Grundlage für die Entstehung von Feuchtgebieten sind nur noch nordwestlich des Kronsberges ausgeprägt. Für die Erhaltung von Feuchtgebieten sind Flurabstände kleiner als 1 m wichtig.

3 Wasserhaushalt

3.1 Grundwassserentnahmen

Bei den künstlichen Entnahmen von Grundwasser ist zu unterscheiden zwischen den ständigen und den kurzfristigen Entnahmen. Die Lage der größeren ständigen Entnehmer zeigt die Abb. 6 (Zeitpunkt 1988). Betrachtet man die zeitliche Entwicklung der Entnahmen der letzten Jahre, so ergibt sich eine fallende Tendenz. 1988 betrug die Summe der ständigen Entnahmen 2,5 Mio. m^3, während BATTERMANN (1973) diese Menge noch mit 10 Mio. m^3/a angibt.

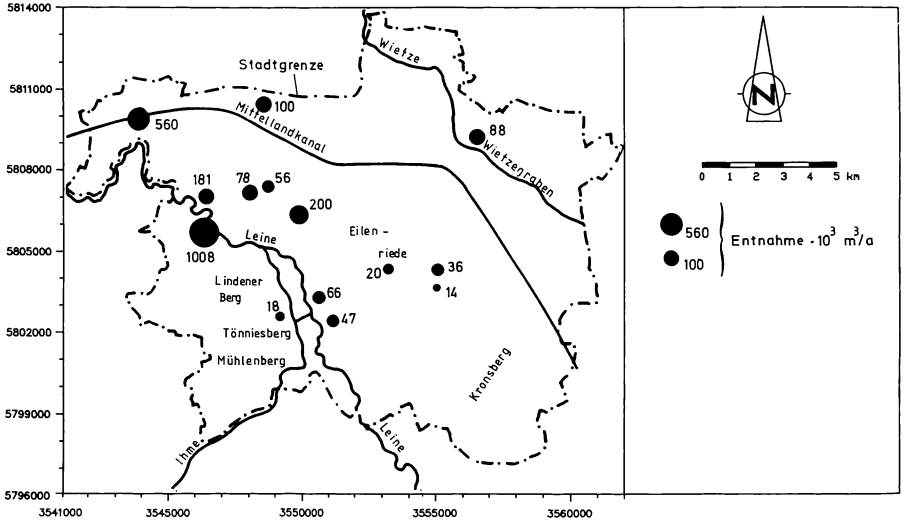


Abb. 6: Lage größerer Grundwasserentnehmer (Zeitpunkt 1988)

Die kurzfristigen Entnahmen, die im wesentlichen durch Grundwasserhaltungen in Folge von Baumaßnahmen verursacht werden, machten in dem Zeitraum zwischen 1985 und 1988 eine jährliche Entnahmemenge von nochmals ca. 2 Mio. m^3 aus. Diese Menge unterliegt entsprechend der jeweiligen Bautätigkeit Schwankungen. Daneben gibt es pro Jahr ca. 6–8 Mio. m^3 Entnahmen als Folge von Grundwasserabsenkungen bei mehrjährigen Bauvorhaben. Die Summe aller Grundwasserentnahmen schwankt somit zwischen 8 und 13 Mio. m^3 pro Jahr (HASSE, 1992).

3.2 Grundwasserneubildung

Die Größe der Grundwasserneubildungsrate, die aus dem Niederschlag resultiert, ist im wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig:

- Niederschlag — klimatische
- Verdunstung — Wasserbilanz
- Bodenart
- Vegetation
- Versiegelungsgrad
- Flurabstand, freie Wasserflächen
- Relief

Sie kann im Fall einer großräumigen Betrachtung näherungsweise nach folgender Tabelle bestimmt werden, da sich für Hannover eine mittlere Niederschlagshöhe von 689 mm (Zeitraum 1980 bis 1988) errechnen läßt.

Tab. 1: Grundwasserneubildung (DVWK 58/1, 1982) bezogen auf eine mittlere Jahresniederschlagshöhe von 663 mm

Landoberfläche	Grundwasserneubildungsrate		hN %
	mm/a	l/(s km²)	
Nackter Boden	400	12,7	60
Spärliche Vegetation	320	10,1	48
Ackerland	230	7,3	35
lockere Bebauung	200	6,3	30
Grünland	170	5,4	26
Strauch-Vegetation	100	3,2	15
Wald	70	2,2	11
dichte Bebauung	0	0	0
Wasserflächen	*)	*)	*)

hN = Anteil an der Höhe des Niederschlages
*) = Verdunstung größer als der Niederschlag

In Anlehnung an Böcker (1985) kann die Zuordnung der Bebauungsart zu dem Versiegelungsgrad folgendermaßen vorgenommen werden:

mäßige Versiegelung (10–50%): Einfamilienhäuser, Kleingartenbetriebe, Zeilenbausiedlungen

mittlere Versiegelung (45–75%): Blockrandbebauung, Nachkriegsneubaugebiete

starke Versiegelung (70–90%): städtische Baugebiete mit Blockrandbebauung, ältere Industrieanlagen

sehr starke Versiegelung (85–100%): unzerstörte Blockbebauung der Innenstadtbezirke und Industrieflächen, die in jüngerer Zeit entstanden oder verändert worden sind.

Durch die Versiegelung großer Flächen in urbanen Gebieten wird die Neubildung von Grundwasser durch Niederschlag vermindert.

Tab. 2: Grundwasserneubildungsraten in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad

Landoberfläche	Grundwasserneubildungsrate hq		h_N %
	mm/a	l/(s km²)	
mäßige Versiegelung	200	6,3	30
mittlere Versiegelung	140	4,4	21
starke Versiegelung	40	1,3	6
sehr starke Versiegelung	< 10	< 1.0	< 1,5

hN = Anteil an der Höhe des Niederschlags

Wie die Untersuchung in einem Trinkwasserschutzgebiet Frankfurts zeigt (DVWK 1982), läßt sich die Grundwasserneubildungsrate auf der Basis der Flächennutzung mit einem Fehler von 10 % ermitteln. Zu diesem Fehler kommen noch Ungenauigkeiten bei der Diskretisierung der Flächennutzung. Die Abb. 7 zeigt die so ermittelten Grundwasserneubildungsraten für das Untersuchungsgebiet, die aus dem Niederschlag stammen.

3.3 Wasseraustausch mit Oberflächenwasser und Kanalisation

Bei dem Wasseraustausch mit Oberflächengewässern muß unterschieden werden zwischen effluenten (Gewässer ist Vorfluter) und influenten Verhältnissen (Wasser aus dem Oberflächengewässer dringt in den Grundwasserleiter ein). In dem Untersuchungsgebiet sind die Leine, die Ihme und im Norden die Wietze die wesentlichen natürlichen Vorfluter. Im Gebiet Buchholz ist zudem der Mittellandkanal nicht gedichtet und übernimmt dort die Vorflut. Diese vier Gewässer bestimmen die Grundwasserhauptfließrichtungen, so wie sie in der Abb. 3 gezeigt sind.

Die Stauhaltungen der Leine (Wehr Herrenhausen, Wasserkunst, Wollspinnerei Döhren) beeinflussen die Grundwasserstände dahingehend, daß in der Nähe der Wehre das Spiegelgefälle zum Grundwasser hin stark zunimmt. Der Maschsee ist künstlich gedichtet und hat daher keinen Einfluß auf die Grundwasserstände.

Bei den kleineren Oberflächengewässern wechseln räumlich und zeitlich effluente oder influente Verhältnisse ab. Die wichtigsten dieser kleineren Oberflächengewässer im Raum Hannover sind der Landwehrgraben, der Schiffgraben, der Wietzegraben, der Stöckener Bach und die Fösse. Der Einfluß dieser Oberflächengewässer auf den Grundwasserstand ist teilweise gering, da sie zudem im Stadtgebiet oftmals verrohrt und dadurch gedichtet sind.

Wie eine Untersuchung von HÄRIG und MULL (1992) zeigt, ist der Wasseraustausch zwischen Grundwasserleiter und undichten Kanalisationssystemen bei der Berechnung der Grundwasserstände zu berücksichtigen. Liegt der Wasserstand im Abwasserkanal oberhalb der Grundwasseroberfläche, kann Abwasser in den Grundwasserleiter gelangen (Exfiltration).

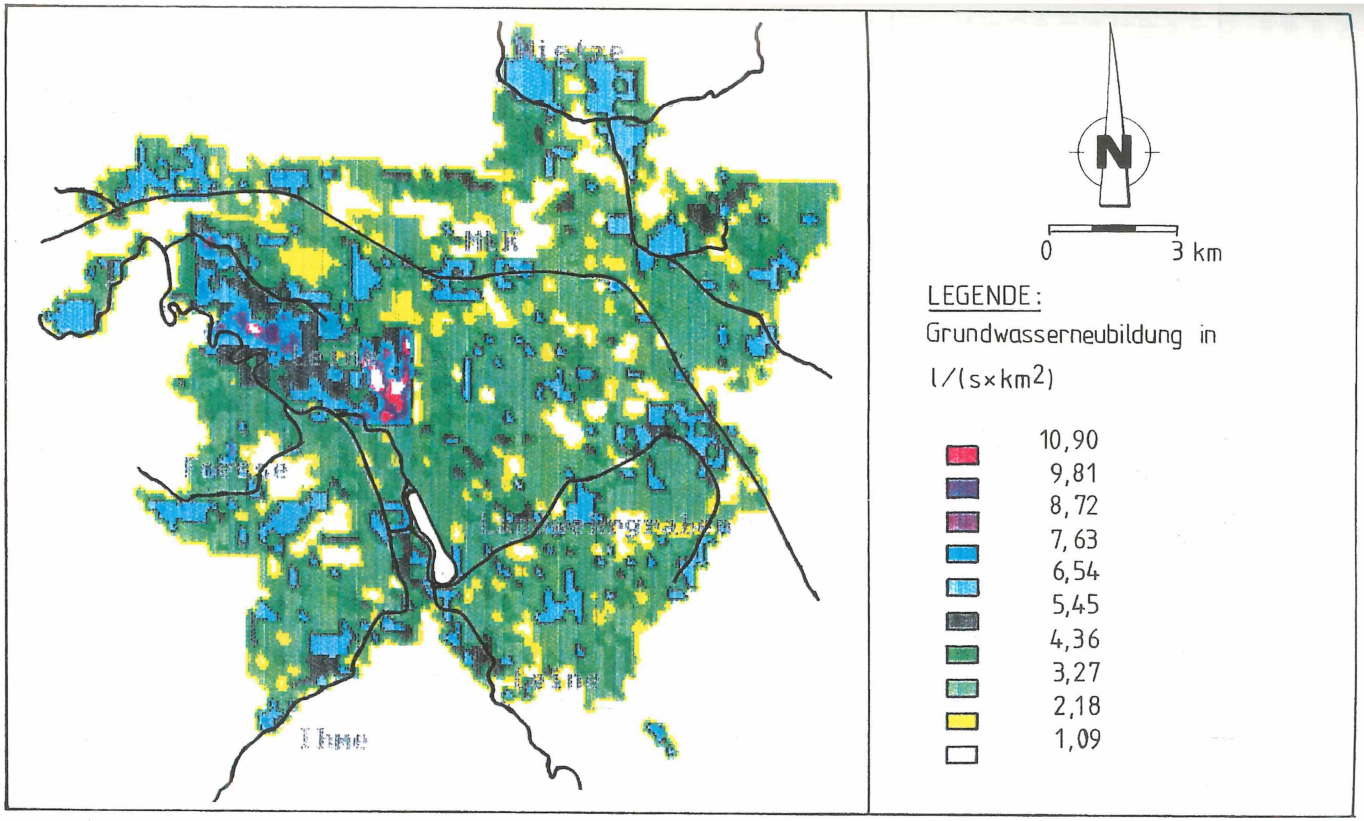


Abb. 7: Grundwasserneubildungsraten für das Stadtgebiet von Hannover

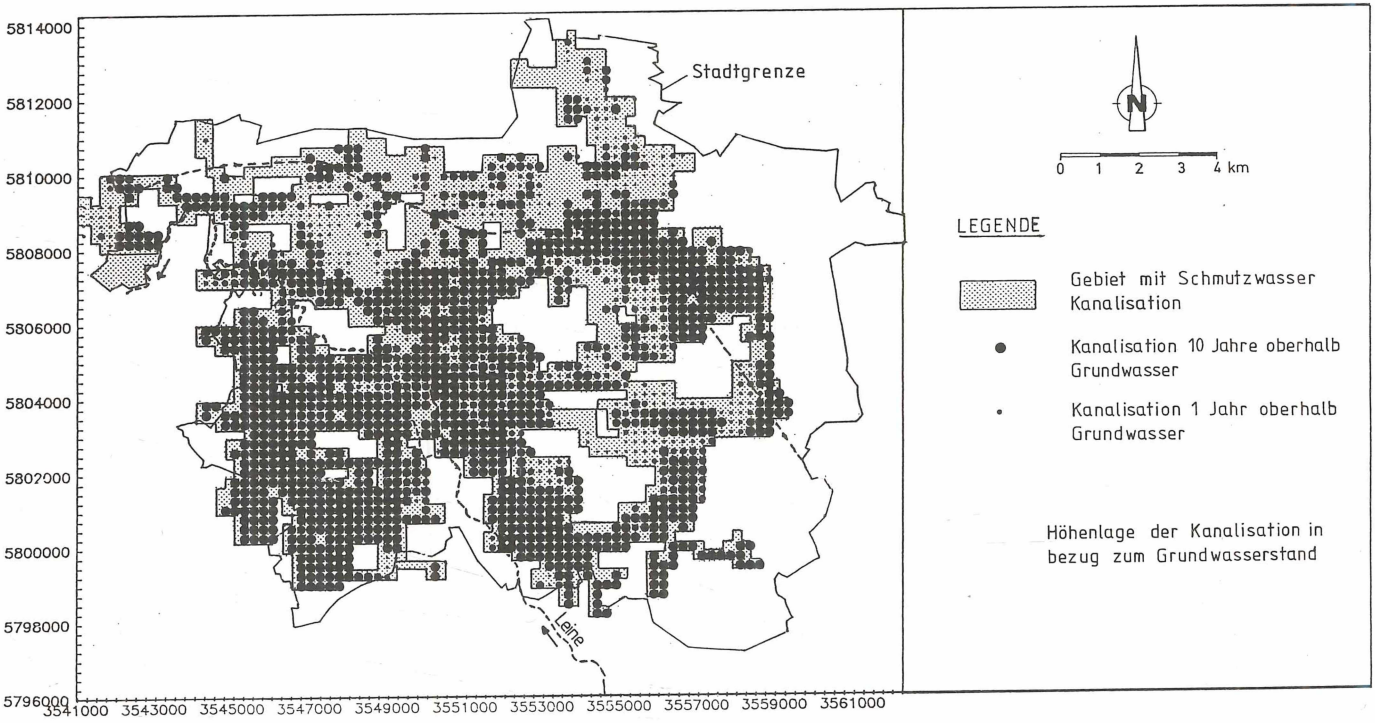


Abb. 8: Höhenlage der Kanalisation in bezug zum Grundwasserstand

Andernfalls tritt Grundwasser in die defekten Kanäle ein (Infiltration) und gelangt zur Kläranlage. Beides zusammen führt einerseits zu Veränderungen der Grundwasserstände, Fließgeschwindigkeiten und -richtungen, andererseits wird die Stoffbelastung des Grundwassers insbesondere in urbanen Gebieten beeinflußt.

Die Abb. 8 veranschaulicht die regionale Verteilung der Planquadrate mit Kanälen oberhalb des Grundwasserspiegels. Im Untersuchungsgebiet liegen die Kanalstrecken auf einer Fläche von 84 km^2 oberhalb des Grundwasserspiegels. Dort wird die natürliche Grundwasserneubildungsrate durch die Versickerung von Abwässern um durchschnittlich einen Wert zwischen 2 und 3 $l/(s \times km^2)$ erhöht. Das Gebiet, in dem die Leitungen unterhalb des Grundwasserspiegels liegen, ist insgesamt 46 km^2 groß. Hier sickert Grundwasser in einer Größenordnung von 11 bis 16 $l/(s \times km^2)$ in die undichten Kanalisationsrohre. Abb. 9 zeigt die zwischen Kanalnetz und Grundwasserleiter ausgetauschten Mengen pro Planquadrat. Im Vergleich mit der Grundwasserneubildung aus Niederschlägen, die im Durchschnitt in Stadtgebieten ca. 3,5 $l/(s \times km^2)$ beträgt, liegt hier demzufolge eine starke Veränderung der natürlichen Verhältnisse vor.

Wird dieser Wasseraustausch bei der Grundwasserneubildung derart berücksichtigt, daß aus der Kanalisation zusickerndes Abwasser die Neubildung des Grundwassers erhöht, in die Kanäle eintretendes Grundwasser von der Neubildung aus Niederschlägen abgezogen wird, ergibt sich ein anderes Bild für die Grundwasserneubildung, als es in Abb. 7 dargestellt ist. Werte für die Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung des Wasseraustauschs mit der Kanalisation gibt die Abb. 10.

Insgesamt gelangen im gesamten Stadtgebiet von 204 km^2 in jeder Sekunde zwischen 170 und 250 l Abwasser in den Aquifer und gleichzeitig gehen in jeder Sekunde 540 bis 790 l Grundwasser durch Infiltration in die Kanalisation verloren. Die einzelnen Anteile an der Grundwasserneubildung enthält Tab. 3.

Tab. 3: Bilanzierung der Grundwasserneubildung

Ursache	Zuflüsse Mio m^3/a	Abflüsse Mio m^3/a
Versickerung von Niederschlägen	+ 25,1	
Exfiltration von Abwasser aus Abwasserkanälen	+ 6,5	
Verluste aus Trinkwasserleitungen	+ 0,9	
Infiltration von Grundwasser in SW-Kanäle		– 17,0
Infiltration von Grundwasser in RW-Kanäle		– 2,5
Summe	32,5	19,5

SW: Schmutzwasser RW: Regenwasser

3.4 Grundwasserbilanz

Zur Ermittlung von Werten für einzelne Komponenten der Grundwasserhaushaltsgleichung diente ein Grundwassermodell. Die Berechnungen mit dem geeichten Grundwassermodell lieferten folgende Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet als Mittel der Jahre 1985–1990.

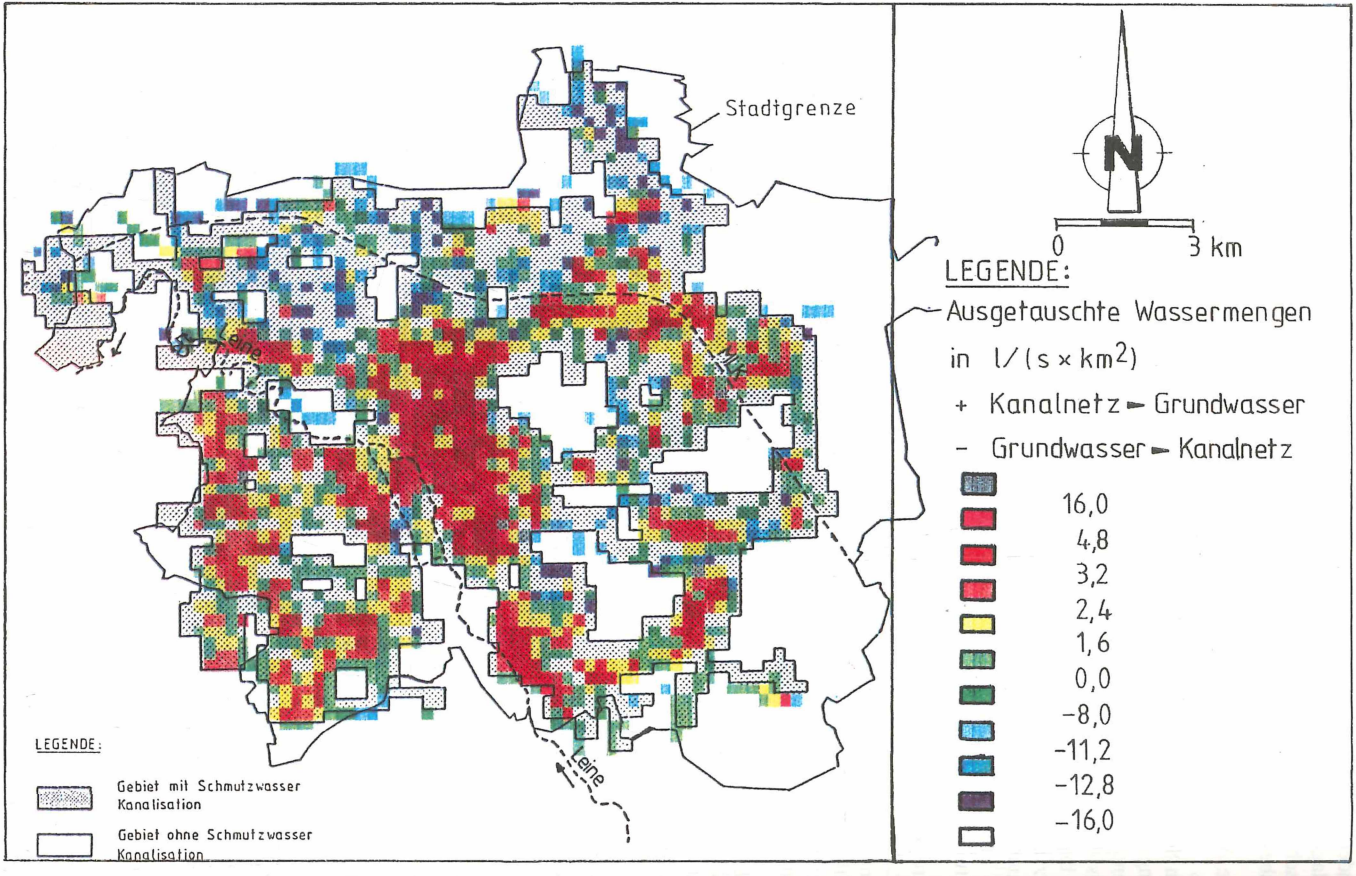


Abb. 9: Zwischen Kanalnetz und Grundwasserleiter ausgetauschte Wassermengen je Planquadrat

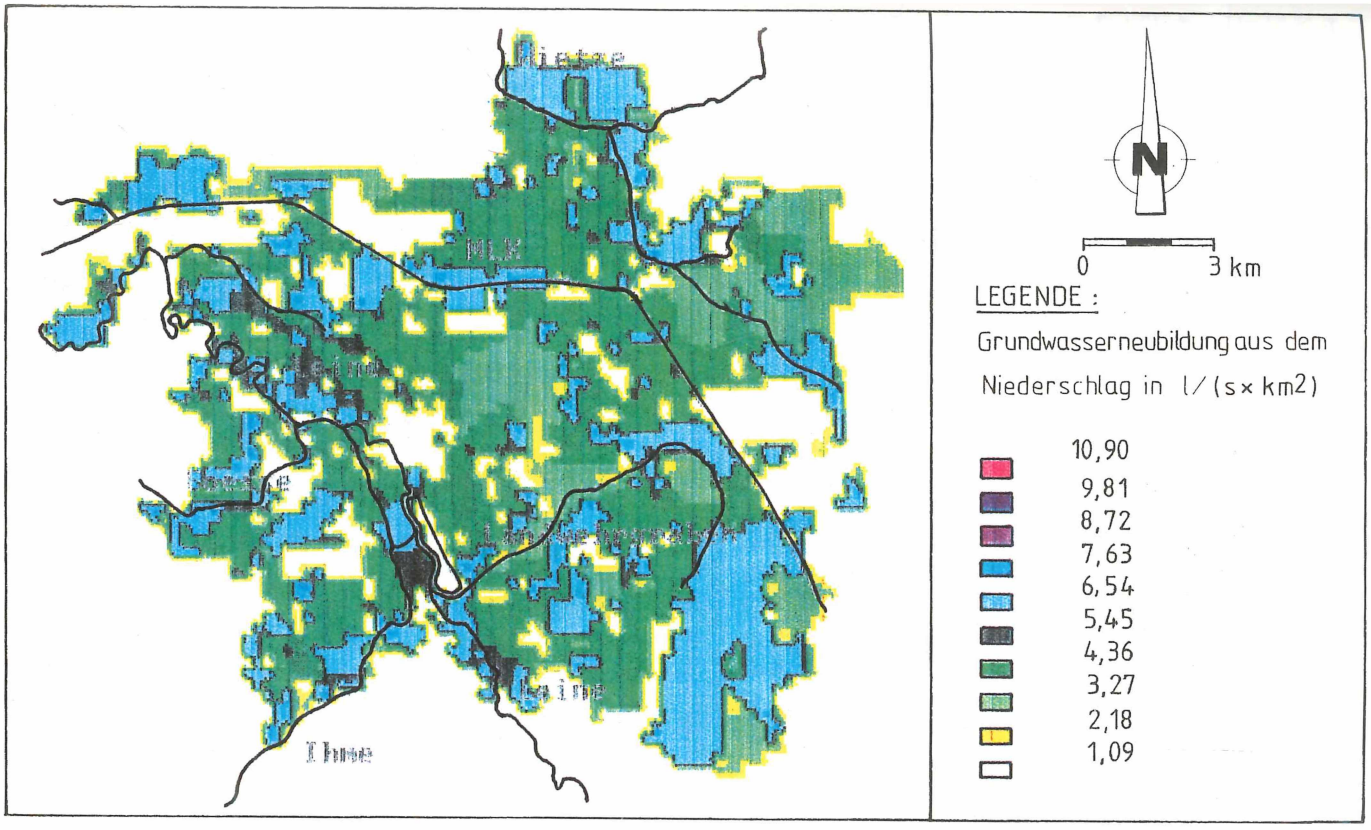


Abb. 10: Grundwasserneubildungsraten für das Stadtgebiet von Hannover unter Berück sichtigung des Wasseraustausches mit dem Kanalnetz

Tab. 4: Grundwasserbilanz des Untersuchungsgebietes

	Zuflüsse Mio m^3/a	Abflüsse Mio m^3/a
Randflüsse	+ 4,4	- 5,7
Neubildung	+ 13,0	
Große Oberflächengewässer	+ 9,6	- 14,
Kleine Oberflächengewässer	+ 2,2	- 1,4
Entnahmen		- 4,5
Summe	+ 29,2	- 29,2

4 Grundwasserqualität

4.1 Belastung des Grundwassers

4.1.1 Temperatur

Die Temperatur des oberflächennahen Grundwassers schwankt in ländlichen Gebieten wenige Grad um die mittlere Jahrestemperatur der Luft. In 10 m Tiefe ist diese Schwankung auf wenige zehntel Grad abgeklungen.

In urbanen Gebieten ist die Temperaturganglinie des Grundwassers durch anthropogene Einflüsse verändert. Hauptursache sind Wärmeeinträge durch Abwasserkanalisationen, Hauskeller, Kühlwassereinleitungen und Fernwärmeleitungen. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt im Umland von Hannover ca. 9 °C.

Bei einer Untersuchung in der Innenstadt von Karlsruhe wurden folgende Anteile an der anthropogenen Beeinflussung der Grundwassertemperatur ermittelt (HÖTZL & MAKURAT 1981):

Abwasserkanalisation	52,5%
Hauskeller	23,2%
Kühlwassereinleitungen	13,4%
Fernwärmeleitungen	10,9%

Der Wärmeeintrag aus der Kanalisation ist dort als die bedeutenste Ursache der Grundwassertemperaturerhöhung in urbanen Gebieten identifiziert worden. Im genannten Beispiel ist eine Temperaturerhöhung des unterirdischen Wassers im Innenstadtbereich um 3 bis 6 Grad festgestellt worden. Dieser Einfluß kann direkt durch Wärmeleitung und durch aussickerndes Abwasser ausgeübt werden. Die Temperatur des Grundwassers beträgt im Zentrum Hannovers ca. 12 °C, in den Außenbezirken mit Bebauung ca. 10,5 °C als Mittelwerte.

Die Temperaturerhöhung des Grundwassers bewirkt eine verstärkte mikrobielle Tätigkeit. Positive Auswirkungen bestehen in dem schnelleren Abbau von Schadstoffen. Als Beispiel sei hier der Zusammenhang zwischen erhöhter Grundwassertemperatur und abnehmenden Nitratgehalten genannt, der bei einer Untersuchung im Stadtgebiet von Duisburg festgestellt wurde (HEITFELD et al., 1981). Als negative Folge muß eine erhöhte Persistenz pathogener Mikroorganismen erwartet werden.

4.1.2 Istzustand der Grundwasserqualität in bezug auf chemische Inhaltsstoffe

Die Datenbasis für die folgenden Betrachtungen stammt aus Erhebungen und eigenen Messungen. Die Qualitätsdaten werden in verschiedener Weise dargestellt und diskutiert:

- als Punktdaten;
- als auf die Fläche interpolierte Isolinienpläne;
- als vertikale Verteilung von Stoffen über den Aquifer

Linien gleicher Konzentration lassen sich aus den vorhandenen Punktdaten für folgende Inhaltsstoffe darstellen: pH-Wert, Leitfähigkeit, Säurekonstante, freie Kohlensäure, Calcium-, Magnesiumionen, Gesamthärte, Karbonathärte, Gesamteisen, Mangan, Ammonium, Nitrat, Nitrit, Sulfat, Chlorid, organischer Kohlenstoff, Arsen, Cadmium, Summe CKW (PIELKE, 1992). Bei den Qualitätsparametern handelt es sich sowohl um geogen vorhandene Stoffe als auch um solche, die anthropogen punktförmig, flächig oder diffus eingetragen werden.

4.1.3 Soll-Ist-Vergleich

Sollzustand

Für die Bewertung der Grundwasserqualität werden verschiedene Bewertungsmaßstäbe herangezogen.

- für Trinkwasser,
- für Wasser zur Notversorgung der Bevölkerung,
- bzgl. Betonaggressivität.

Es existieren Grenzwerte für Konzentrationen, die im Wasser nicht überschritten werden dürfen. Die nachfolgende Tabelle 5 gibt die Zahl der 1988 beprobten Brunnen an, in denen die Konzentrationen der relevanten Schadstoffe die vorgegebenen Grenzwerte überschritten haben.

Tab. 5: Überschreitungen der Grenzwerte in % der beprobten Brunnen (1988)

	Trink-wasser	Mittelwert über alle Jahre	Notwasser		Betonaggressivität	
			1d	7d	schwach	stark
CKW+	59	34	11	4	–	–
SM:						
Pb	3	1	0	0	–	–
Cd	10	< 1	0	0	–	–
Cr	10	4	3++	3	–	–
As	13	10	0	0	–	–
Fe	49	57	–	–	–	–
Mn	77	77	–	–	–	–
Chlorid	21	13	–	–	–	–
Sulfat	38	46	6	6	51	6
Nitrat	13	11	0	0	–	–
Nitrit	8	8	0	0	–	–
Ammonium	32	35	–	–	3	1
pH-Wert	25	21	< 1	< 1	24	2
aggr. K.*	–	–	–	–	7	83
Magnesium	4	5	–	–	1	0
Kalium**	72	–	–	–	–	–
Leitfähigkeit	3	6	–	–	–	–

\+ nur die Notbrunnen
++ aber nicht bei den Notbrunnen
* aggressive Kohlensäure, Werte von 1989
** Auf Kalium ist 1988 nur im Zusammenhang mit Schadensfällen untersucht worden. Zum Vergleich: Von den Werten der Beprobung der Basismeßstellen sind 23 % über dem Grenzwert

Die gesammelten Analyseergebnisse für Wasserinhaltsstoffe wurden nach Stoffen und innerhalb dieser nach Brunnengruppen und Jahren geordnet. Es ist der Prozentsatz der beprobten Brunnen ermittelt worden, in deren Wasser die Konzentrationen der relevanten Stoffe über dem entsprechenden Grenzwert der Trinkwasserverordnung bzw. über dem von Notwasserrichtwerten liegt. Es ist ferner eine Einstufung bzgl. Betonaggressivität mit den Meßwerten der Jahre 1987 bis 1989 durchgeführt worden.

Tabelle 6 gibt den Anteil an der Fläche des Untersuchungsgebietes an, in der die Grenzwerte überschritten werden (Zeitraum 1987–1990): a) der Trinkwasserverordnung, b) von Notwasserrichtwerten, c) bzgl. Betonaggressivität.

Tab. 6: Flächenanteile an Schadstoffen oberhalb der Grenz- und Richtwerte in % (Zeitraum 1987–1990)

Stoff		Trink-wasser	Notversorgung		Betonaggressivität	
			7d	1d	schwach	stark
CKW		33	16	10	–	–
SM:						
	Cd	9	1	<1	–	–
	Pb	0,3	0	0	–	–
	As	10	0	0	–	–
	Fe	73	–	–	–	–
	Mn	88	–	–	–	–
Chlorid		10	–	–	–	–
Chlorid*		85				
Sulfat		42,5	4	4	54	4
Nitrat		15	0	0	–	–
Nitrat*		32				
Nitrit		13,5	0	0	–	–
Ammonium		35	–	–	0,5	0,5
Leitfähigkeit		4,2	–	–	–	–
pH-Wert	< 5,5	4,3				
	< 6,5	20	0	0	22	2
	> 9,5	0				
Na		6,3	–	–	–	–
K		26	–	–	–	–
MgO		3	–	–	0,5	0
aggr. K.**		93	–	–	19	32

* EG-Richtwert
** aggressive Kohlensäure; Wasser sollte nicht aggressiv sein
– nicht relevant

Es zeichnen sich Industriegebiete und die Region Altwarmbüchen durch hohe Konzentrationen ab (Abb. 11). In der Eilenriede, dem Tierpark, den Landschaftsschutzgebieten und dem Moor zeigen sich hingegen wenig Überschreitungen. Die Grenzwerte nach TVO für Eisen, Mangan und aggressive Kohlensäure werden nach Tabelle 3.6 fast flächendeckend überschritten. Ferner zeigen sich auch unter hoch versiegelten Gebieten wie der Innenstadt hohe Werte.

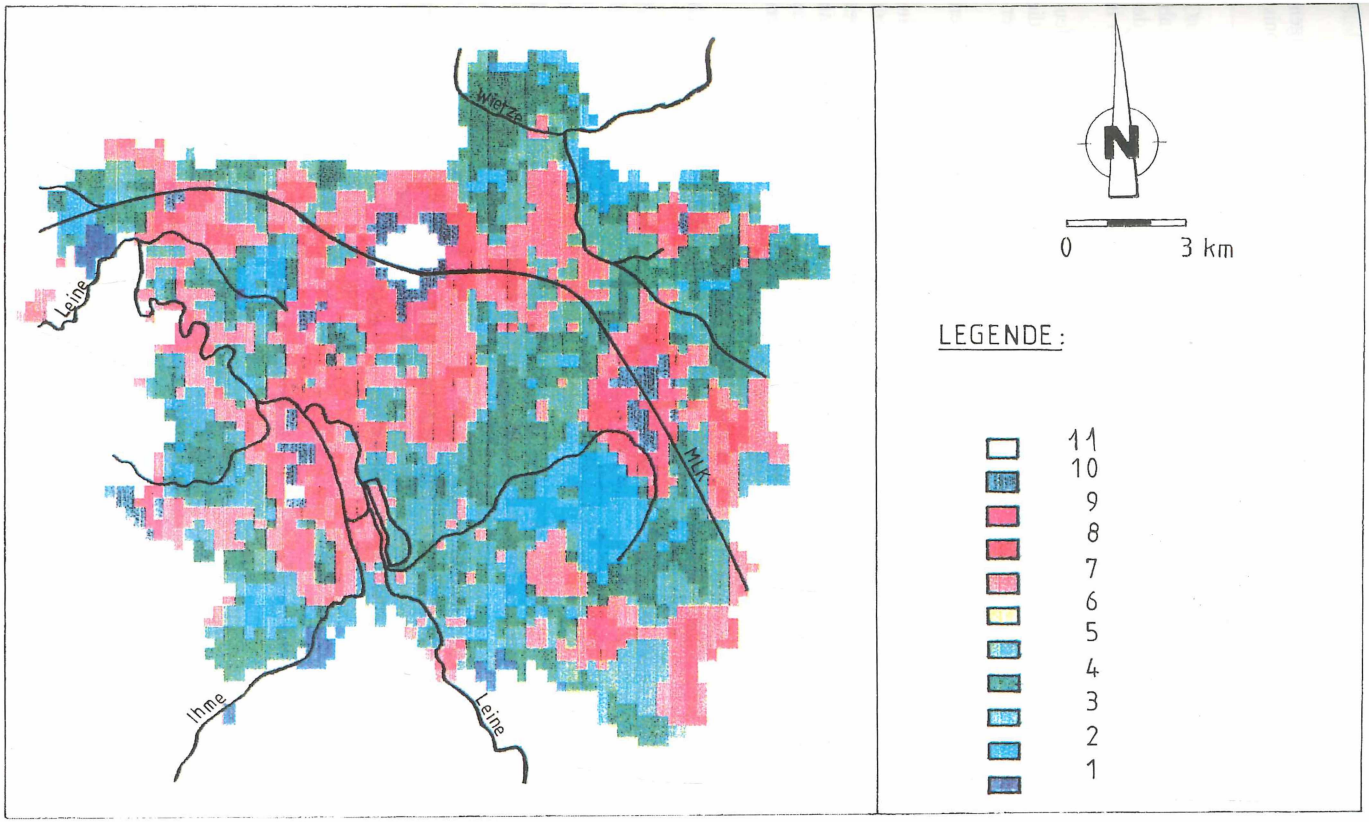


Abb. 11: Anzahl der Konzentrationen von Inhaltsstoffen im Grundwasser, die den Grenzwert der TVO überschreiten.

4.1.4 Vertikale Verteilung von Stoffen im Aquifer

Nahezu alle Wasserinhaltsstoffe sind über die Tiefe eines Aquifers, auch eines einstöckigen, ungleichförmig verteilt. Es sollen hier ein paar Charakteristiken anhand der Analyseergebnisse aus dem Wasser der Multilevelbrunnen in der Südstadt aufgezeigt werden.

- CKW-Gehalte (Trichlorethen und Abbauprodukte) nehmen von oben nach unten zu.
- Die Nitratkonzentrationen und die Sauerstoffgehalte nehmen von oben nach unten ab. Über die Zeit erfolgte ein Anstieg der Nitratkonzentration. Die Konzentrationswerte der beiden anderen N-Parameter Nitrit und Ammonium zeigen kein einheitliches Verhalten in den Brunnen und schwanken stark.
- Der Chloridgehalt verändert sich uneinheitlich über die Tiefe. – Hier liegt ein Steusalzeinfluß vor, der auch durch die Natriummeßwerte bestätigt wird. Besonders die Konzentrationen im flachsten Brunnen zeigen im Sommer kleine Werte und am Winterende große.
- Beim pH-Wert zeigen sich nur kleine Unterschiede über die Tiefe, aber der pH-Wert nimmt nach unten ab.
- Der Temperaturverlauf zeigt in den flachen Brunnen einen Jahresgang. Das Wasser ist im Winter kälter als in den tieferen Brunnen und im Sommer wärmer. Die Temperatur schwankt um 1–2 °C. In den tieferen Rohren liegt eine gleichmäßigere Verteilung bei 10 °C vor mit einer Schwankung des Meßwertes um ca. 0,5 °C. Das Temperaturprofil in den Brunnen kehrt sich im Jahr mehrfach um.
- Die Meßwerte der Leitfähigkeit liegen eng beisammen und zeigen kein einheitliches Verhalten.
- Die Sulfatkonzentrationen nehmen von oben nach unten zu.
- Die Mangankonzentrationen schwanken stark, nehmen aber in der Tendenz von oben nach unten zu und sind in der Regel sehr hoch.
- Der Hydrogencarbonatgehalt ist in den tieferen Brunnen höher als in den flachen.

Für die Interpretation dieser Befunde sind u. a. folgende Sachverhalte heranzuziehen:

- Die größeren Durchlässigkeiten und damit Geschwindigkeiten des Wassers liegen in der Nähe der Sohle des Grundwasserleiters. Hier breiten sich die CKW aus und auch das beständige Sulfat.
- Nitrat wird im anaeroben Bereich – also im tieferen Bereich des Grundwassers – abgebaut.
- Als Folge des starken Wechsels der Temperatur an der Oberfläche und der großen Trägheit und Dämpfung der Temperaturleitung in den Boden herein, ergeben sich die gemachten Aussagen über die Schwankung der Temperatur über das Jahr.

5 Bewertung der Schadstoffe und der Schadstoffquellen

Für die Bewertung hat PIELKE (1992) ein Schema erarbeitet, das stoffspezifische Größen mit standortspezifischen Größen verknüpft und damit die Grundlage für eine Bewertung der Stoffe und der Stoffquellen nach relativen Gefährlichkeiten geschaffen. Die einzelnen Kriterien sind:

Standortspezifische Parameter

- Überschreitung des Grenzwertes der Konzentrationen nach der EG-Richtlinie für Trinkwasser,
- Verbreitung von Stoffen im Grundwasserleiter des Stadtgebietes,

Stoffspezifische Größen

- Abbaubarkeit der Stoffe im Untergrund,
- Phasenbeständigkeit
- Höhe des Grenzwertes nach der Trinkwasserverordnung,
- Wassergefährdungsklasse.

Daraus ergibt sich die folgende Liste der relativen Gefährlichkeit der Stoffe im Stadtgebiet Hannover:

Stoff	Relative Gefährlichkeit der einzelnen Stoffe:
CKW	100%
Sulfat	70%
Cadmium	63%
Pflanzenschutzmittel	60%
Arsen	60%
Nitrat	57%
Chlorid	37%

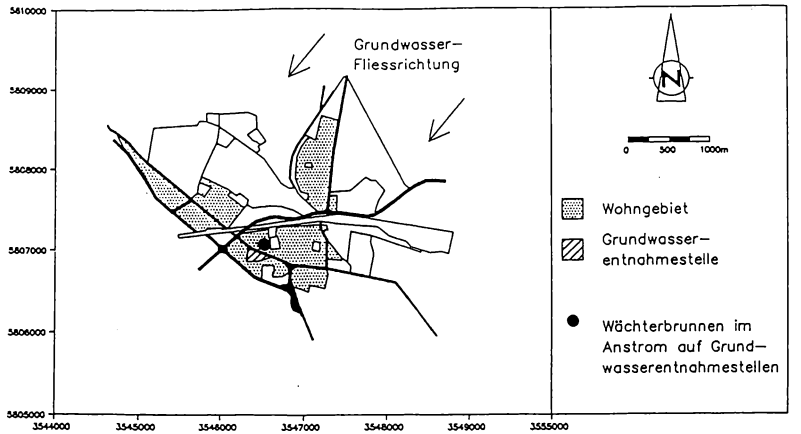
Der Anteil der einzelnen Quellen an dem Gesamteintrag der Stoffe in das Grundwasser multipliziert mit der relativen Gefährlichkeit der Stoffe zeigt auf, wo als erstes Sanierungsmaßnahmen angesetzt werden müssen. In bezug auf die Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen ergibt sich die folgende Reihenfolge: Deponien und Altlasten, Kanalisation, Landwirtschaft und Kleingärten (MULL et al., 1992).

6 Grundwassermeßstellennetz und Überwachungsstrategie

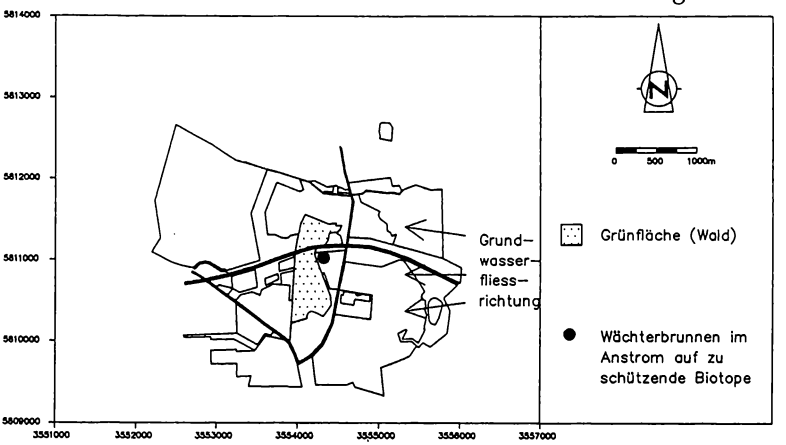
In urbanen Räumen ergeben sich zahlreiche Einflüsse auf den Untergrund als Folge von Baumaßnahmen, Grundwasserabsenkungen, Verfüllungen und Aufschüttungen und durch einen hohen Versiegelungsgrad der Oberfläche. Anthropogene Stoffeinträge in Boden und Grundwasser beeinflussen die Grundwasserqualität. Auf der anderen Seite besteht ein großer Bedarf an der Nutzung von Grundwasser als Trink-, Kesselspeise-, Brauch- oder Kühlwasser. Wichtig sind ferner die Erhaltung grundwassernaher Naturräume und für die Wohnqualität in einer Stadt die Möglichkeit der Erholung in Freizeiteinrichtungen in und an Oberflächengewässern (Baden, Surfen, Fischen etc.), die vom Grundwasser gespeist sein können. Im folgenden werden die Kriterien angeführt, die Grundwasserbeobachtungsstellten für eine wirksame Grundwasserqualitätsüberwachung zum Erkennen von Veränderungen und zum vorbeugenden Grundwasserschutz erfüllen sollten. Dann wird ein Meßnetz für einen urbanen Beispielraum mit dem Ziel konzipiert, daß es kostengünstig (geringe Anzahl von Probenahmen und Analysen) zu betreiben, sinnvoll angelegt und nützlich ist.

6.1 Konzept zur Festlegung der Meßstellen

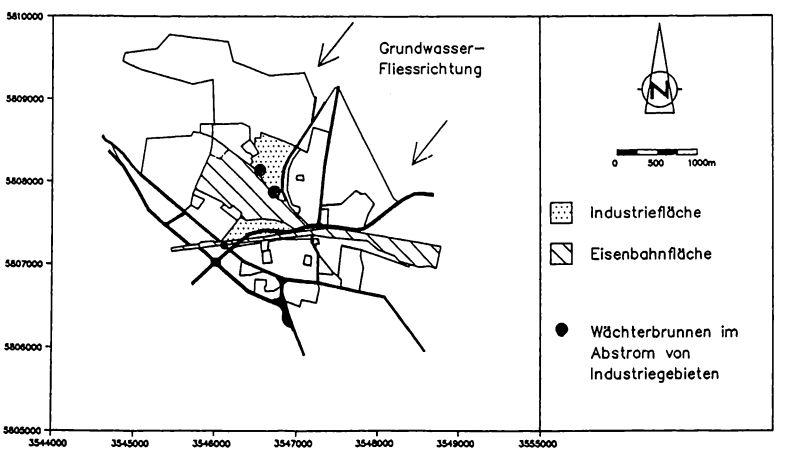
Die Grundwasserqualitätsüberwachung muß sehr verschiedene Aspekte berücksichtigen. Jeder Aspekt wird durch ein Teilnetz berücksichtigt. Die Summe dieser Teilnetze ergibt das eigentliche Grundwassermeßstellennetz. Es sind für einzelne Bundesländer bereits Konzepte entwickelt worden, die immer eine ähnliche Einteilung der Teilnetze vorsehen (GRIMM-STRELE 1983, LAWA 1983, Nieders. Umweltminister, 1987). Diese Meßnetze sind für größere Räume konzipiert. Die Meßstellendichte schwankt zwischen 0,3 und 0,5 Meßstellen pro km^2 für Sondermeßprogramme (OBERMANN, 1981). Für einen rein urbanen Raum ist noch kein Grundwassermeßnetz entwickelt worden. Folgende Teilnetze sind hier zu berücksichtigen:



Teilkarte A: Wächterbrunnen im Grundwasseranstrom auf Eigenförderanlagen



Teilkarte B: Wächterbrunnen im Grundwasseranstrom auf schützenswerte Biotope



Teilkarte C: Wächterbrunnen im Abstrom von Industrieanlagen

Abb. 12: Beispiele für die Anlage von Überwachungsbrunnen

a) Ein Grundmeßnetz ist zur Feststellung des geogenen Istzustandes der Grundwasserqualität des betrachteten Raumes aufzubauen. Das Wasser in den Brunnen sollte möglichst unbelastet von anthropogenen Verunreinigungen sein, d. h. es sind „Grundwassertypen" zu ermitteln. Damit sind Aussagen über anthropogene Einflüsse an beliebigen Meßstellen im Vergleich zu diesen Grundzuständen möglich. Diese Informationen erhält man nicht mit einer einzelnen Analyse, sondern dazu sind Langzeituntersuchungen mit ständiger Verbesserung des ausgewählten Brunnennetzes für jeden Grundwassertyp nötig. Nach Abgrenzen der einzelnen Regionen gleichen Grundwassertyps ist eine Einschränkung der Anzahl der Meßstellen auf wenige wirklich repräsentative für diesen Typ möglich.

b) Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 1983) fordert auch ein Trendmeßstellennetz zum Aufdecken diffuser anthropogener Einträge (z. B. Einflüsse aus defekter Kanalisation, CKW oder Streusalz) und langsamen Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit.

c) Für die Einhaltung der Qualitätsziele für Grundwasser bzgl. seiner Nutzung kann durch die Errichtung von Wächterbrunnen beigetragen werden. Dies ist sinnvoll:

- im An- und Abstrom von Objekten, die Wasser bestimmter Qualität fördern und nutzen;
- im An- und Abstrom von Lebensräumen (Biotopen), deren Lebensfähigkeit von der Qualität und von der Quantität des Wassers abhängt;
- im Anstrom auf Wasserschutzgebiete (öffentliche Wasserversorgung);
- im An- und Abstrom von Anlagen, die mit wassergefährdenden Stoffen arbeiten als Emittentenüberwachung (Umsetzung des gesetzlichen Anspruches einer Kommune auf Überwachung solcher Anlagen, WHG § 19i Abs. 3, diskutiert in LÜBBE-WOLF et al. 1990)
- in versauerungsgefährdeten Gebieten, d. h. Gebieten, in denen ein Untergrund mit geringer Pufferkapazität vorliegt;
- als Wächterbrunnen für als grundwassergefährdend eingestufte Objekte, wie Altablagerungen und Altdeponien, Unfallaltlasten (Überwachung der Sanierung), aktive Deponien etc.

d) Die Überwachung des Rohwassers durch den Nutzer selbst, also nicht durch die Behörde, ist oft die heutige Praxis (Rohwasseruntersuchungen, interne Betriebskontrollen, Untersuchung von Notbrunnenwasser etc.). Die Gesetzgebung schreibt dies den Nutzern vor. Diese Analysen müssen in das Meßprogramm und die Auswertung als ein weiteres Teilmeßnetz mit eingegliedert werden.

e) Sondermeßnetze im Bereich von Schadensfällen, Altlasten oder Sanierungsmaßnahmen sowie weiterer Gebiete mit einer nachgewiesenen hohen Belastung des Grundwassers. Auch die Ergebnisse aus Forschungsarbeiten über den Grundwasserleiter müssen mit in die Datenbank aufgenommen werden und sollten zur Auswertung und Interpretation zur Verfügung stehen.

Die Abb. 12 gibt drei Beispiele für die Anlage von Überwachungsbrunnen.

6.2 Meßprogramm für ein zukünftiges Grundwasserüberwachungsnetz

Stufe 1 (für alle Meßstellen):

Zu bestimmen sind: Wasserstände, pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit, Redoxpotential und Sauerstoffgehalt. Die Messungen werden direkt am Brunnen in kurzen Abständen (bis zu viermal im Jahr) durchgeführt, ohne eine Probe mit ins Labor zu nehmen – es sei denn, es besteht der Verdacht auf Veränderung der Parameterwerte.

Stufe 2 (Leitparameter für einzelne Brunnengruppen):

Auf die Anzeigerstoffe hin sollte einmal pro Jahr beprobt werden. Neben ausschließlichen Leitparametern geben Summenparameter wertvolle Hinweise auf eine Veränderung der Grundwasserqualität.

- Grundmeßstellen:
  Kleine Vollanalyse incl. CKW ohne Schwermetallen (SM) und organische Einzelstoffe; vollverfilterte Meßstelle über den ganzen Aquifer.
- Versauerungsgefahr:
  neben dem pH-Wert aus Stufe 1 sollten Analysen auf die Lösungsinhalte einzelner Pufferstufen abgeglichen mit dem möglichen Pufferreservoir des Untergrundes durchgeführt werden (die Meßstellen können Grundmeßstellen sein);
- Wächterbrunnen
  (Multilevelbrunnen, Probenahme zunächst über den gesamten Aquifer, später da, wo das größte Gefährdungspotential liegt)
  a) Umgang mit wassergefährdenden Stoffen:
     Die Stoffe, mit denen umgegangen wird und CKW, Kohlenwasserstoffe (KW), polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Benzol, Toluol und Xylol (BTX), Eisen, Mangan, Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB);
  b) Anfall von mit organischen Stoffen hoch belastetem Abwasser aus defekten Abwasserkanälen:
     CSB, BSB, Ammonium, Kalium, Bor, mikrobiologische Parameter;
  c) Altstandorte:
     Anzeigerstoffe für reduzierte Verhältnisse (Eisen, Mangan), Verschmutzungsparameter (Ammonium, Kalium, Nitrit, Sulfat), Produktionsstoffe, Abfallstoffe, CKW, KW;
  d) Altdeponien:
     Anzeiger für reduzierte Verhältnisse, PAK, KW, CKW, PCB, Ammonium, Kalium, Calcium, Magnesium, Cyanide, Chlorid, Sulfat;
  e) Unfallaltlasten:
     Altlastspezifische Stoffe und Abbauprodukte;
  f) aktive Deponien:
     Hausmüll: Bor, Chloride, CKW, KW;
     Bauschutt: Sulfat, Calcium, CKW;
     Sondermüll: Einzelne Stoffe nach Inhalt der Deponie und den Anlieferlisten für Sondermüll, wie z. B. Dioxine bei Anlieferung von Flugaschen, CKW, PCB, KW aller Art, Chloride;
- Wächterbrunnen zum Schutz von Wasserfassungen (Multilevelbrunnen)
  - Trinkwasserentnahmen (Probenahme im Bereich größter Durchlässigkeiten im Aquifer):
    Analysen nach Trinkwasserverordnung, kleine Vollanalysen ohne Mikrobiologie unter spezieller Berücksichtigung der Nutzung des Einzugsgebietes, in dem der Wächterbrunnen liegt;
  - schützenswerte Biotope (Probenahme oberflächennah):
    Parameter, die für ein Nährstoffüberangebot und Eutrophierung verantwortlich sind, z. B. Phosphat, Nitrat;
  - Brauchwasserentnahmen (Probenahme im Bereich der größten Durchlässigkeiten):
- Kesselspeisewasser:
  Härte, freie Kohlensäure, Eisen, Kupfer und Öl, Kieselsäure;
- Kühlwasser:
  Parameter des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes sowie der Wasserhärte, Eisen, Mangan, organische Summenparameter, Chlorid und Sulfat;

- Lebensmittelproduktion:
  Parameter, die speziell für die produzierten Lebensmittel und den Produktionsablauf wichtig sind, z. B. Nitrat, Eisen, Mangan und Ammonium für Brauereien oder Eisen, Mangan, Nitrat, Natrium, Hydrogencarbonat, Magnesium bei Wasserentnahmen zur Herstellung von Konserven etc.;
- Badeteiche:
  Hygienische, mikrobiologische Parameter. Die Probe muß in einem so geringen Abstand zum Teich in bezug auf die Fließzeit genommen werden, daß die Mikroorganismen noch eine Gefährdung für den Nutzer des Teichwassers darstellen können und im Anstrom auf den Teich nicht schon absterben. Ferner Parameter, die die Eutrophierung verstärken, wie z. B. Phosphate und Nitrat;
- Bauchemische Grundwasseranalysen auf Betonaggressivität (Probenahme oberflächennah):
  Parameter nach DIN 4030 bei Bauvorhaben für Bauten, die mit dem Grundwasser in Kontakt kommen können.

Stufe 3 (Große Vollanalyse):

Im Dreijahresrhythmus schließen sich große Vollanalysen mit der Untersuchung aller Parameter an. Jeweils bei der Bewertung einer Vollanalyse ist zu überprüfen, ob die derzeitigen Anzeiger und die Probenahmetiefe noch gerechtfertigt sind oder ergänzt werden müssen, z. B., ob sich die Nutzung entweder des Brunnens oder des Anstromgebietes geändert hat.

7 Kostenwirksamkeitsbetrachtungen

Die chlorierten Kohlenwasserstoffe haben das Grundwasser am stärksten verschmutzt (MULL et al. 1992, PIELKE 1992). Diese Stoffe kommen im wesentlichen von Altlastenverdachtsflächen.

Ist beabsichtigt, diese Schadstoffquellen zu sanieren, stehen Kosten an. Bei der Fülle von Verdachtsflächen sind Prioritäten zu setzen. Ein Kriterium für eine solche Rangfolge der sanierungsbedürftigen Standorte ist die Auswirkung auf die Qualität des Grundwassers.

Die bekannten Standorte sind daher als Schadstoffquellen in ein Grundwassermodell gesetzt worden. In diesem Modell war es möglich, die Schadstoffemission zu stoppen. Mit diesem Stop ist die Sicherung oder Sanierung des jeweiligen Standorts verbunden. Unter der Voraussetzung, daß keine weiteren Schadstoffquellen in der Zukunft hinzukommen, wurde die Abnahme der CKW-Konzentration in einer Zeitspanne von 50 Jahren ermittelt. Als Maß für die Verschmutzung des Grundwassers galt ein sog. Überschreitungsfaktor. Er gibt an, um welchen Faktor zu einer bestimmten Zeit (hier 50 Jahre) der Grenzwert der CKW-Konzentration nach der Trinkwasserverordnung überschritten wird. Dieser Überschreitungsfaktor ist als Mittelwert über den gesamten betrachteten Grundwasserleiter zu verstehen.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Abb. 14 dargestellt. Die Kosten steigen exponentiell mit der Abnahme des Überschreitungsfaktors an, d. h. mit wachsender Qualität des Grundwassers (MULL et al., 1992).

Der Wunsch, in der Zukunft überall wieder Grundwasser mit Trinkwasserqualität zu bekommen, zeigt sich hier als nicht realisierbar. Die Kosten werden das Erreichen des als Wunsch dargestellten Qualitältsziels verhindern.

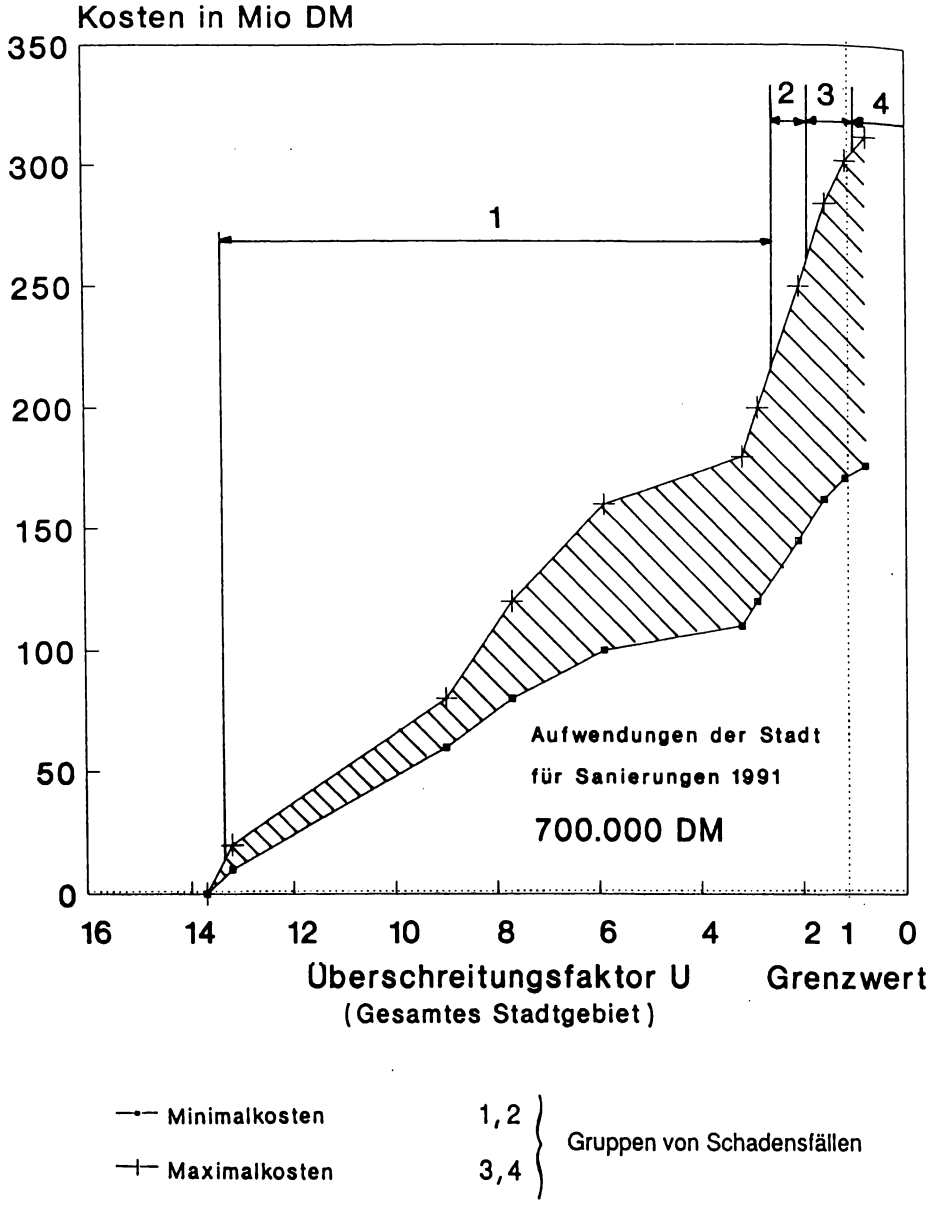


Abb. 13: Aufwendungen der Stadt für Sanierungen

Literatur

BATTERMANN, G. (1973): Grundwasserhaushalt eines Stadtgebietes untersucht an einem Widerstands-Kondensator-Netzwerk. in: Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover, H. 28 (1973), Hannover.

BÖCKER, R. (1985): Bodenversiegelung – Verlust vegetationsbedeckter Flächen in Ballungsräumen. in: Landschaft und Stadt 17 (1985), **2**, S. 57–61.

DIETZ, C. (1959): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Niedersachsen, Blatt Hannover; Nieders. Landesamt für Bodenforschung.

DVWK (1982): Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes. in: Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., H. 58/1 und 2 (1985). Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey.

GRIMM-STRELE, J. (1983): Vorschlag für ein Programm zur Untersuchung und Kontrolle der Grundwasserbeschaffenheit im Land Baden-Württemberg. in: Veröffentlichungen der Universität Karlsruhe, H. 22, (1983).

HÄRIG, F. & MULL, R. (1992): Undichte Kanalisationssysteme – die Folgen für das Grundwasser. GWF Wasser Abwasser, H. 133, Nr. 4, S.196–199.

HEITFELD, K.-H., KRAPP, L. & WEILER, A. (1981): Temperaturanomalien im Stadtgebiet Duisburg und deren Auswirkungen auf Baumaßnahmen der Stadtbahn. in: Zeitschrift deutsche geologische Gesellschaft, H. 132, (1981), S. 779–797.

HÖLTZL, H. & MAKURAT, A. (1981): Veränderungen der Grundwassertemperaturen unter dicht bebauten Flächen am Beispiel der Stadt Karlsruhe. in: Zeitschrift deutsche geologische Gesellschaft, H. 132, (1981), S. 767–777.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (1983): Rahmenkonzept zur Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit – Grundwasserüberwachungskonzept, (1983).

LÜBBE-WOLF, G. & DÜMMER, M. (1990): Grundwasserschutz durch Grundwasserbeobachtung. in: Wasser und Boden (1990), H. 9, S. 610–613.

MULL, R.; HÄRIG, F. & PIELKE, M. (1991): Groundwater Management in the Urban Area of Hannover, Germany. in: Journal of the Institution of Water and Environmental Management, Vol. 6, (1992), No 2, p. 199–205.

MULL, R.; MULL, J. & PIELKE, M. (1992): Wirkung der Sanierung von CKW-Schadensfällen auf die Grundwasserqualität und zugeordnete Kosten – am Beispiel der Stadt Hannover, in: Wasser und Boden, H. 8, (1992), S. 510–515.

Niedersächsisches Umweltministerium (1987): Reinhaltung der Gewässer in Niedersachsen, Grundwassergütemeßnetz. Niedersächsischer Umweltminister, (1987).

OBERMANN, P. (1981): Hydrometrische/Hydromechanische Untersuchungen zum Stoffhaushalt von Grundwasser bei landwirtschaftlicher Nutzung. in: Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, Nr. 42, Hrsg.: Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, (1981).

PIELKE, M. (1992): Bewirtschaftung des Grundwassers urbaner Räume. in: Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie u. landw. Wasserbau, Universität Hannover, H. 78, 242 S.

Trinkw. V. (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung) vom 12. Dezember 1990. BGBL I, S. 2613–2629.

Manuskript eingegangen am: 18. August 1994

Anschrift des Autors:
Prof. Dr.-Ing. R. Mull
Institut für Wasserwirtschaft,
Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau
Appelstr. 9A
30167 Hannover

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 137

Autor(en)/Author(s): Mull R.

Artikel/Article: Beitrag zur Grundwasserbewirtschaftung in einem urbanen Raum am Beispiel Hannover 125-152