



Band 8

## 12 Jahre Pilotbetrieb Karolinenhöhe

-Zusammenfassende Auswertung-

Manja Liese, Ranjeet Nagare, C. Jahnke, Hans-Jürgen Voigt  
in Zusammenarbeit mit  
Bernd Heinzmann, Heidi Dlubek

Projektfinanzierung



Schriftenreihe Kompetenzzentrum Wasser Berlin

Band 8

**12 Jahre Pilotbetrieb Karolinenhöhe  
Zusammenfassende Auswertung**

Dipl.-Ing. Manja Liese, Ranjeet Nagare, Dipl.-Geol. C. Jahnke,  
Prof. Dr. Hans-Jürgen Voigt

In Zusammenarbeit mit  
den Berliner Wasserbetrieben

Dr.-Ing. Bernd Heinzmann  
Dipl.-Phys. Heidi Dlubek

Projektfinanzierung:  
Veolia Water



## **12 Jahre Pilotbetrieb Karolinenhöhe - Zusammenfassende Auswertung**

Dipl.-Ing. Manja Liese, Ranjeet Nagare, Dipl.-Geol. C. Jahnke,  
Prof. Dr. Hans-Jürgen Voigt, Dr.-Ing. Bernd Heinzmann, Dipl.-Phys. Heidi Dlubek  
Berlin 2007

Schriftenreihe Kompetenzzentrum Wasser Berlin, 1.2004 ff., Band 8

Herausgeber

Dr.-Ing. Bernd Heinzmann

Layout:

Philipp Uhl

ISBN 978-3-9811684-2-6

Alle Rechte vorbehalten

© Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Berlin 2007

Cicerostraße 24

10709 Berlin

[www.kompetenz-wasser.de](http://www.kompetenz-wasser.de)

Umschlag: Votum GmbH, Berlin

Druck: Papyrus-Druck GmbH, Berlin

## Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT .....	1
KURZFASSUNG .....	3
1 Datengrundlage.....	5
1.1 Grundwasserstand .....	5
1.2 Grundwasserbeschaffenheit.....	6
1.3 Klarwasser .....	6
2 Kurzer Abriss zur Geschichte des Rieselfeldes.....	7
3 Hydrogeologischer Aufbau des Untersuchungsgebietes.....	9
4 Bodenbelastung .....	13
5 Hydrodynamik .....	15
5.1 Hydrodynamische Situation im Dezember 1989 .....	16
5.1.1 Der 1. Grundwasserleiterkomplex.....	16
5.1.2 Der 2. und 3. Grundwasserleiterkomplex .....	20
5.2 Die Entwicklung der Grundwasserstände bis 2003 .....	23
5.2.1 Hydrologische Randbedingungen .....	23
5.2.2 Ganglinienverlauf .....	24
5.2.3 Hydraulischer Einfluss der Beaufschlagung auf das Grundwasserregime .....	29
5.3 Grundwasserisohypsen im Zeitraum 1993 - 2003.....	37
5.4 Modellierung der hydraulischen Situation am Beispiel der Jahre 1995/ 1996 .....	52
5.4.1 Modellaufbau .....	52
5.4.2 Modellierung und Ergebnisse.....	54
6 Hydrochemie .....	61
6.1 Der 1. Grundwasserleiterkomplex .....	63
7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	103
8 Literatur .....	105

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1</i> Übersichtskarte mit Bohrpunkten und geologischer Schnittpur.....	5
<i>Abb. 2</i> Hydrogeologischer Schnitt (GCI GmbH, 1994) von Ost nach West (Lage siehe <i>Abb. 1</i> ).....	11
<i>Abb. 3</i> Lage der Messstellen der Wasserstandsmessungen im 1. GWLK.....	15
<i>Abb. 4</i> Grundwasserisohypsen im 1. GWLK im Dezember 1989.....	17
<i>Abb. 5</i> Flurabstandsplan Dezember 1989 (1. GWLK).....	19
<i>Abb. 6</i> Lage der Messstellen im 2. Grundwasserleiterkomplex.....	20
<i>Abb. 7</i> Grundwasserisohypsen im 2. GWLK im Dezember 1989.....	21
<i>Abb. 8</i> Differenzenplan zwischen dem 1. und 2. GWLK (Dezember 1989).....	22
<i>Abb. 9</i> Monatlicher Niederschlag im Untersuchungsgebiet in mm.....	23
<i>Abb. 10</i> Monatliche Beaufschlagung 1985 - 2001.....	24
<i>Abb. 11</i> Vergleich klimatische Wasserbilanz mit dem Grundwasserstand einer Messstelle außerhalb des Beaufschlagungsbereiches.....	25
<i>Abb. 12</i> Grundwasserganglinie der Messstelle KLA059 (natürlicher Verlauf, rot) und KAR01UP (rieselfeldgeprägter Verlauf, blau).....	26
<i>Abb. 13</i> Vergleich der klimatischen Wasserbilanz mit der Ganglinie einer Messstelle im Beaufschlagungsbereich.....	27
<i>Abb. 14</i> Ganglinien verschiedener Messstellen der Grundwasserleiterkomplexe.....	28
<i>Abb. 15</i> Beaufschlagung und verschiedene Ganglinien des 1. GWLK.....	29
<i>Abb. 16</i> Standardabweichung gegen Wasserstand 1995: 3 Cluster.....	30
<i>Abb. 17</i> Räumliche Verteilung der Cluster im 1. GWLK 1995.....	31
<i>Abb. 18</i> Standardabweichung gegen Wasserstand 2002: 3 Cluster.....	32
<i>Abb. 19</i> Räumliche Verteilung der Cluster im 1. GWLK 2002.....	33
<i>Abb. 20</i> Standardabweichung gegen Wasserstand 1995 für den 1. und 2. GWLK.....	36
<i>Abb. 21</i> Grundwasserisohypsenplan für November 1993 für den 1. GWLK.....	38
<i>Abb. 22</i> Grundwasserisohypsen des 1. GWLK im März 1994.....	39
<i>Abb. 23</i> Grundwasserisohypsen im September 1995 im 1. GWLK.....	41
<i>Abb. 24</i> Grundwasserisohypsen im 1. GWLK im April 1996.....	42
<i>Abb. 25</i> Grundwasserisohypsenplan für den 1. GWLK September 2001.....	44
<i>Abb. 26</i> Grundwasserisohypsenplan für den 1. GWLK April 2002.....	45
<i>Abb. 27</i> Flurabstandsplan des 1. GWLK für April 2002.....	46
<i>Abb. 28</i> Fiktiver Grundwasserisohypsenplan des 1. GWLK April 2002.....	48
<i>Abb. 29</i> Grundwasserisohypsenplan des 2. GWLK im November 1993.....	49
<i>Abb. 30</i> Grundwasserisohypsenplan des 2. GWLK im September 2001.....	50
<i>Abb. 31</i> Differenzenplan April 2002.....	51
<i>Abb. 32</i> Schematischer Modellaufbau und Wasserbewegungen.....	53
<i>Abb. 33</i> Ermittelte Beaufschlagungsflächen September 1995.....	54
<i>Abb. 34</i> Fließzeiten aus dem Beaufschlagungsgebiet Richtung Westen im 1. GWLK.....	55
<i>Abb. 35</i> Schnittspuren für die im Weiteren dargestellten Fließwege.....	56
<i>Abb. 36</i> Fließwege und -zeiten entlang Schnittpur 1-1 im September 1995.....	56
<i>Abb. 37</i> Fließwege und -zeiten entlang Schnittpur 2-2 im September 1995.....	57
<i>Abb. 38</i> Flächenunterteilung für die 3D-Darstellung.....	57

Abb. 39 3D-Fließbild.....	58
Abb. 40 Fließweg und -zeit entlang Schnittspur 3-3 im April 1996 .....	59
Abb. 41 Beschaffenheitsmesspunkte im 1. GWLK.....	63
Abb. 42 Borverteilung im 1. GWLK im November 1993.....	64
Abb. 43 Borverteilung im 1. GWLK im April 2002.....	65
Abb. 44 Chloridverteilung im 1. GWLK im Februar 1990 .....	66
Abb. 45 Chloridkonzentration in den Messstellen des 1. GWLK.....	67
Abb. 46 Chloridverteilung im 1. GWLK im April 2002 .....	68
Abb. 47 PO <sub>4</sub> -P-Entwicklung in den Messstellen des 1. GWLK.....	69
Abb. 48 PO <sub>4</sub> -P-Verteilung im 1. GWLK im Februar 1990 .....	69
Abb. 49 PO <sub>4</sub> -P-Verteilung im 1. GWLK im April 2002.....	70
Abb. 50 Entwicklung der Monatsmittelwerte der Stickstoffspezies im Abwasser .....	71
Abb. 51 NH <sub>4</sub> -N-Verteilung im 1. GWLK im Februar 1990.....	72
Abb. 52 NH <sub>4</sub> -N-Verteilung im 1. GWLK im November 1993.....	73
Abb. 53 NH <sub>4</sub> -N-Verteilung im 1. GWLK im April 2002 .....	73
Abb. 54 NH <sub>4</sub> -N-Konzentrationen im 1. GWLK .....	74
Abb. 55 NO <sub>3</sub> -N-Verteilung im 1. GWLK im Februar 1990.....	75
Abb. 56 NO <sub>3</sub> -N-Verteilung im 1. GWLK im November 1993.....	76
Abb. 57 NO <sub>3</sub> -N-Verteilung im 1. GWLK im April 2002.....	76
Abb. 58 NO <sub>3</sub> -N-Konzentration im 1. GWLK.....	77
Abb. 59 Stabilitätsdiagramm für KAR018OP.....	78
Abb. 60 Stabilitätsdiagramm für KAR031MP2.....	78
Abb. 61 Stabilitätsdiagramm für die Messstelle KAR020OP außerhalb des Verrieselungsbereiches.....	79
Abb. 62 Nitratkonzentrationen gegen Redoxpotential im Grundwasser der Messstelle KAR031MP2 .....	80
Abb. 63 Kaliumkonzentrationen im 1. GWLK.....	81
Abb. 64 Kaliumverteilung im 1. GWLK im März 1994.....	82
Abb. 65 Kaliumverteilung im 1. GWLK im April 2002.....	83
Abb. 66 Konzentration im aufgebrauchten Klarwasser und 1. GWLK.....	84
Abb. 67 AOX - Verteilung (in µg/l) im 1. GWLK im März 1994.....	85
Abb. 68 AOX-Verteilung (in µg/l) im 1. GWLK im April 2002.....	85
Abb. 69 Entwicklung der Sulfatkonzentration im Abwasser und in den Messstellen des 1. GWLK.....	86
Abb. 70 DOC-Gehalt im aufgebrauchten Klarwasser und in den Messstellen des 1. GWLK .....	87
Abb. 71 Beschaffenheitsmesspunkte im 2. GWLK.....	89
Abb. 72 Bor - Verteilung im 2. GWLK im März 1994.....	90
Abb. 73 Zeitlicher Verlauf der Chloridkonzentrationen im 2. GWLK .....	91
Abb. 74 Chlorid - Verteilung im 2. GWLK im März 1994.....	92
Abb. 75 PO <sub>4</sub> -P - Verteilung im 2. GWLK im März 1994 .....	93
Abb. 76 Zeitliche Entwicklung der PO <sub>4</sub> -P-Konzentration.....	94
Abb. 77 NH <sub>4</sub> -N - Verteilung im 2. GWLK im März 1994.....	95
Abb. 78 NH <sub>4</sub> -N-Entwicklung über die Zeit im 2. GWLK.....	96

*Abb. 79 NO<sub>3</sub>-N - Verteilung im 2. GWLK im März 1994* ..... 97  
*Abb. 80 Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen im 2. GWLK* ..... 98  
*Abb. 81 Stabilitätsdiagramm für eine Messstelle des 2. GWLK* ..... 98  
*Abb. 82 Kalium - Verteilung im 2. GWLK im März 1994* ..... 99  
*Abb. 83 AOX - Verteilung (in µg/l) im 2. GWLK im März 1994* ..... 100  
*Abb. 84 Zeitliche Entwicklung der AOX- Konzentrationen im 2. GWLK* ..... 101

## **Tabellenverzeichnis**

*Tab. 1 Gehalte der Schwermetalle in den oberen 0,8 Metern* ..... 13  
*Tab. 2 Messstellen und Cluster des 1. GWLK in den verschiedenen Jahren* ..... 35  
*Tab. 3 Anzahl der jährlichen Probenahme in den Messstellen in den Messgebieten  
Karolinenhöhe und Kladow (1990 – 2003)* ..... 61

## ABSTRACT

**Duration:** 02/2004 – 06/2004

**Project Volume:** 17.723 €

**Projekt participants:** KWB with assignment to BTU Cottbus

Partner: Berliner Wasserbetriebe (Berlin Water)

**KWB Contact:** Dr. Bernd Heinzmann (Berliner Wasserbetriebe)

**Financing:** Veolia Water

With the application of advanced treated wastewater to the ancient wastewater irrigation field Karolinenhöhe, the Berlin Water Company (Berliner Wasserbetriebe) started in 1990 an ecological passable and water economical reasonable cultivation of an old wastewater irrigation field. After a period of 10 years of operation the functional capability and the efficiency is assed.

In the first aquifer a hydrodynamic impact by the trickled water could be proved in the measuring facilities and certified by modelling. Altogether the application of the advanced treated wastewater stabilized the water balance and therefore the basis flow of the river Havel. Especially admissions during the low water periods (summer and autumn) counteract the low water level in the surface water by a raised basis discharge.

Since 1990 the ecological status of the first aquifer of the wastewater irrigation field is clearly improved. The concentration of the relevant parameters of eutrophication  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  und  $\text{PO}_4$  regressed significantly. In the second aquifer the parameter boron and phosphate improved from 1990 to April 2002. For the other parameters a diffuse basis load remained.

The admission of the advanced treated water has a positive effect to the quality of the groundwater compared to the initial situation. The concentration of most of the parameters regressed. Just the concentration of potassium (in the first and second aquifer) and of AOX (in the first aquifer) stayed almost constant because of the input. There are no risks by continuing applications. There is a degradation of the nitrogen compounds due of the soil passage of the water and a dilution by the natural groundwater recharge. Therefore the receiving water bodies are less polluted compared to a direct discharge (exception potassium). A clear improvement is reached for the river Havel. The retention time of the water in the underground passage is very long because of the great depth of the groundwater level. Therefore a degradation of germs is assured.

More detailed studies and analyses must follow this primal estimation.





## KURZFASSUNG

**Dauer:** 02/2004 – 06/2004

**Volumen:** 17.723 €

**Projektnehmer:** KWB mit Auftrag an BTU Cottbus, Partner: Berliner Wasserbetriebe

**Kontakt im KWB:** Dr. Bernd Heinzmann (Berliner Wasserbetriebe)

**Finanzierung:** Veolia Water

Mit der Aufbringung von Klarwasser auf das ehemalige Rieselfeld Karolinenhöhe haben die Berliner Wasserbetriebe 1990 eine ökologisch vertretbare, wasserwirtschaftlich sinnvolle und verhältnismäßige Bewirtschaftung eines alten Rieselfeldes gestartet. Nach über 10 – jährigem Betrieb wird die Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit bewertet.

Die hydrodynamische Beeinflussung der Messstellen durch die Verrieselung konnte im 1. Grundwasserleiterkomplex (GWLK) nachgewiesen und durch die Modellierung bestätigt werden. Die Beaufschlagung stabilisiert insgesamt den Wasserhaushalt und damit den Basisabfluss der Havel. Besonders eine Beaufschlagung in den Niedrigwasserperioden (Sommer und Herbst) wirkt durch den erhöhten Basisabfluss dem Niedrigwasser im Oberflächenwasser entgegen.

Der ökologische Status des 1. GWLK des Rieselfeldes ist seit 1990 deutlich verbessert. Die Konzentrationen der eutrophierungsrelevanten Parameter  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  und  $\text{PO}_4$  haben sich signifikant zurückentwickelt. Für den 2. GWLK hat sich die Situation von 1990 bis zum April 2002 für die Parameter Bor und Phosphat verbessert. Für die übrigen Parameter verbleibt eine diffuse Grundbelastung.

Die Beaufschlagung mit Klarwasser wirkt sich im Vergleich zur Ausgangssituation insgesamt positiv auf die Qualität des Grundwassers aus. Die Konzentrationen der meisten Parameter gingen zurück. Nur die Konzentrationen von Kalium (im 1. und 2. GWLK) und AOX (im 1. GWLK) blieben aufgrund des Inputs nahezu konstant. Ein Risiko durch die weitere Beaufschlagung besteht nicht. Aufgrund der Bodenpassage des Wassers kommt es zu einem Abbau der Stickstoffverbindungen und zu einer Verdünnung durch die natürliche Neubildung. Damit wird die Vorflut im Vergleich zur Direkteinleitung weniger belastet (Ausnahme Kalium). Eine deutliche Verbesserung für die Havel ist damit erreicht worden. Aufgrund des mächtigen Flurabstandes ist die Verweilzeit des Klarwassers im Untergrund sehr groß. Somit ist gleichzeitig ein Abbau von Keimen gewährleistet.

Dieser Ersteinschätzung müssen weitere detailliertere Untersuchungen und Auswertungen folgen.



# 1 Datengrundlage

Durch die Berliner Wasserbetriebe wurden alle Daten zum Grundwasserstand und zur Grundwasserbeschaffenheit der Messstellen auf dem Gebiet des ehemaligen Rieselfeldes Karolinenhöhe (Messgebiet Karolinenhöhe „KAR“) bereitgestellt.

Weiterhin wurden Messstellen aus den angrenzenden Messgebieten Spandau („SPA“, nördlich des Rieselfeldes) und Kladow („KLA“, im südlichen Bereich) in die Auswertung einbezogen. Für alle Messstellen liegen die Stammdaten sowie die Einbautiefen der Filter vor.

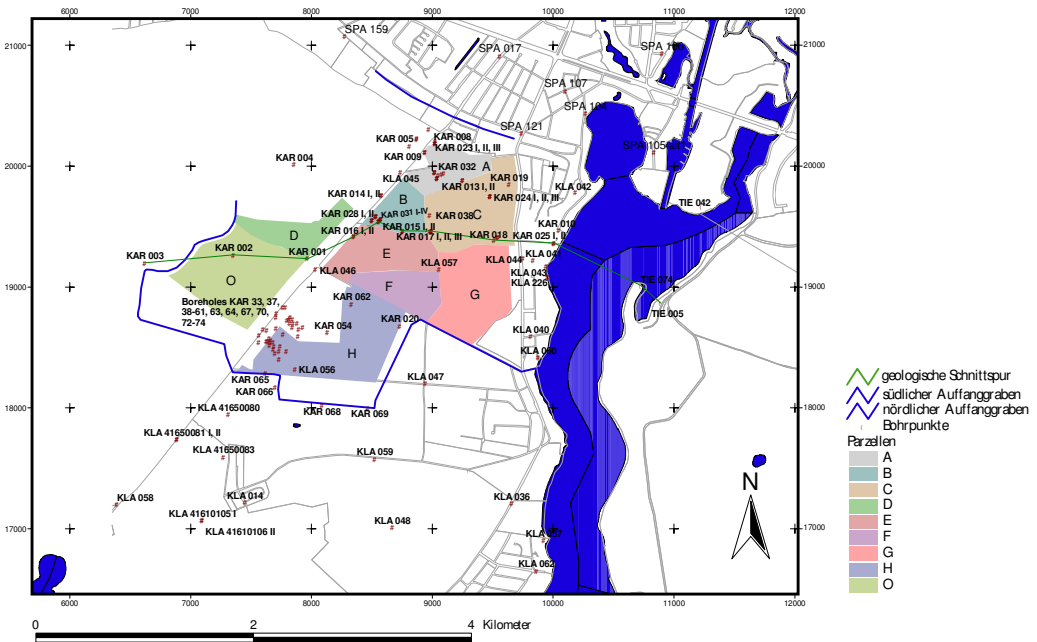


Abb. 1 Übersichtskarte mit Bohrpunkten und geologischer Schnittspur

## 1.1 Grundwasserstand

Im Zeitraum 1992 – 1995 wurden die Grundwasserstände in den drei Messgebieten diskontinuierlich gemessen. In dieser Zeit wurden 53 Messstellen im 1. Grundwasserleiterkomplex (GWLK) und 18 Messstellen im 2. GWLK in die Messungen einbezogen. Seit 1996 wurde das Messprogramm auf 27 Messstellen im 1. GWLK und 10 im 2. GWLK reduziert, dafür jedoch wurden die Grundwasserstände kontinuierlich monatlich gemessen.

In 24 weiteren Messstellen der angrenzenden Messgebiete Kladow, in Spandau wurde der Wasserstand im 2. GWLK seit 1987 regelmäßig gemessen (siehe Abb. 3 und 6).

## 1.2 Grundwasserbeschaffenheit

Im Rahmen der Studie „Einschätzung der Auswirkungen einer geplanten veränderten Betriebsführung der Rieselfelder am Standort Karolinenhöhe in Berlin- Spandau“ (VEB Industrie- Consult/TU Dresden Teil 1 – 3, 1987-1990, kurz: Rieselfeldstudie) wurden 1987 – 1990 umfangreiche Beschaffenheitsmessungen vorgenommen und ausgewertet. Im Jahr 1991 wurde keine Beschaffenheitsuntersuchung durchgeführt. In den Jahren 1992-1994 wurde ein Großteil der Messstellen in den verschiedenen GWLK ein- bis dreimal im Jahr beprobt. Im Zeitraum von 1995 bis 1997 wurden in 16 Messstellen (sechs aus dem 1. GWLK, 9 aus dem 2. und 1 Messstelle aus dem 3. GWLK) viermal pro Jahr Wasserproben entnommen, die Messstellen KAR004OP (1. GWLK) und KAR004MP (2. GWLK) wurden einmal beprobt. Von 1997 bis 2001 wurden diese 16 Messstellen zweimal pro Jahr und die Messstellen KAR004OP und KAR004MP nur einmal beprobt. 2002 wurden die Messstellen KAR013UP (1. GWLK) und KAR017MP1 (2. GWLK) aus dem Untersuchungsprogramm herausgenommen und dafür die Messstellen KAR015OP (1. GWLK), KLA047 (2. GWLK) und SPA017 (1. GWLK) in das Programm mit aufgenommen. Die Abbildungen 41 und 71 zeigen die Lage der Messpunkte.

## 1.3 Klarwasser

Analysen zu den Stickstoffkomponenten und P-gesamt im aufgebrauchten Klarwasser liegen über den gesamten Zeitraum (1990-2002) vor. Die Analysen zum AOX- und Chlorid-Gehalt im Klarwasser wurden für den Zeitraum 1995 – 2002 bereitgestellt. Kaliumgehalte liegen nur für die Jahre 1994- 1996 vor, Borgehalte für die Jahre 1994, 2001 und 2002.

## 2 Kurzer Abriss zur Geschichte des Rieselfeldes

Bis ins 19. Jahrhundert war es üblich, Abwässer in offenen Rinnsalen in den Straßen abzuleiten, welche dann aufgrund der fehlenden Kanalisation oberirdisch in nahe liegende Gewässer abfließen. Es kam es zu einer Zunahme von Epidemien und Krankheiten, was auf das Abwasser zurückgeführt wurde.

1873 wurde mit dem Bau der Kanalisation begonnen und die Abwässer im Umland verrieselt.

Auf dem Rieselfeld Karolinenhöhe wurden seit 1890 Abwässer aus Berlin verrieselt. Vor dem 1. Weltkrieg wurde das Rieselfeld mit bis zu 7000 mm/a beschickt, wohingegen die Belastung zwischen den Weltkriegen bei rund 4500 mm/a lag.

Das verrieselte Abwasser bestand aus häuslichen Abwässern und Straßenabläufen. Es wurde in Absetzbecken mechanisch vorgereinigt. Mit zunehmender Industrialisierung stieg der Anteil an Industrieabwässern gegenüber kommunalem Abwasser und betrug 1926 7%. (Savric. 2001)

1963 wurde das Klärwerk Ruhleben in Betrieb genommen. Somit konnte der Rieselfeldbetrieb im Südwesten (Parzelle H) eingestellt und die Berieselungsmenge im Nordosten (Parzellen A, B, C, E und F) auf ca. 2000 mm/a gesenkt werden. 1983 wurde das Klärwerk erweitert und 1985 wurde mit der Einführung der biologischen Phosphateliminierung in Kombination mit Nitrifikation und Denitrifikation begonnen.

In den 80er Jahren wurden erste Untersuchungen an Rieselfeldern in der DDR vorgenommen, welche eine erhebliche Anreicherung von Schwermetallen im Oberboden feststellten (Nestler, W. Aurand, K. in VEB Industrie-Consult/TU Dresden Teil 1, 1987).

Im Rahmen der Rieselfeldstudie (1987 – 1990) erfolgte neben der eigentlichen Schwarzwasserverrieselung eine zusätzliche Verrieselung von Klarwasser.

Von 1991 bis 1993 wurde auf dem Rieselfeld Klar- und Schwarzwasser aufgebracht.

1994 – 1996 wurde Misch- und Klarwasser verrieselt. Parallel fanden „Untersuchungen zur Mischwasserversickerung in den Rieselfeldern Karolinenhöhe“ (Jekel, Reemtsma 1996) statt.

Ab 1997 wurde ausschließlich Klarwasser verrieselt.

Das westlich gelegene Rieselfeld Seeburg (Parzellen O und D) wurde bis Juni 1994 mit Klar- und Schwarzwasser beschickt und dann stillgelegt.

### 3 Hydrogeologischer Aufbau des Untersuchungsgebietes

Das Rieselfeld Karolinenhöhe befindet sich auf der weichselkaltzeitlich geprägten Gatower Hochfläche.

Aus den geologischen Gegebenheiten wurden im Hydrogeologischen Strukturmodell Wasserwerk Tiefwerder (HSM Tiefwerder, 1998) drei süßwasserführende Grundwasserleiterkomplexe ausgewiesen:

- 1. GWLK: Holozän bis zu den Schmelzwassersanden der Rückzugsphase der jüngeren Saale-Kaltzeit
- 2. GWLK: saalekaltzeitliche glazifluviale Sande
- 3. GWLK: elsterzeitliche und miozäne Sande

Der GWLK 1 umfasst mehrere stratigraphisch definierte Grundwasserleiter. Im Gebiet Karolinenhöhe bilden saale- und weichselkaltzeitliche Sande (Grundwasserleiternummer nach HSM Tiefwerder: 1.3) diesen GWLK. Mit einer Mächtigkeit von 15 – 20 Meter ist er flächenhaft vertreten. Der 1. GWLK ist ungespannt, lediglich unter der lokalen Geschiebemergelbedeckung im Süden des Untersuchungsgebietes können gespannte Verhältnisse auftreten.

Den Liegendstauer bildet der jüngere saalekaltzeitliche Geschiebemergelhorizont (qsWA) in einer Tiefe von ca. 20 m.

Im nördlichen Bereich der Havel existiert eine hydraulische Verbindung zwischen dem 1. und 2. GWLK. Im Süden des Untersuchungsgebietes, im Bereich des Landschaftsfriedhofs Gatows, ist aufgrund ungünstiger Stauereigenschaften ebenfalls mit einer hydraulischen Kommunikation des 1. GWLK mit tieferen Grundwasserleitern zu rechnen. Nach der Hydrogeologischen Karte des Landes Brandenburg (Blatt L3544) sind nordwestlich des Untersuchungsgebietes ebenfalls hydraulische Verbindungen zwischen dem 1. und 2. GWLK zu erwarten.

Der GWLK 2 wird im Hangenden von der Warthe-Grundmoräne und im Liegenden vom Holstein-Interglazial begrenzt. Dieser Grundwasserleiterkomplex ist im zentralen und nordöstlichen Teil des Rieselfeldes Karolinenhöhe lokal durch den älteren Geschiebemergelhorizont (qsD) unterteilt.

Der GWLK 2 besteht aus saalekaltzeitlichen glazifluviatilen Mittelsanden. Die Mächtigkeit beträgt 20 – 25 m. Er umfasst die Grundwasserleiter 2.1, sowie 2.2.1 und 2.1.3.



Der Holstein-Komplex ist sehr heterogen aufgebaut und kann als Liegendstauer des 2. GWLK eingeordnet werden. Der Liegendstauer fehlt lediglich im Bereich Weinmeisterhorn/ Weinmeisterhöhe und östlich des Rieselfeldes im Bereich der Havel (Rinnenbereich).

Den 3. GWLK bilden die elsterkaltzeitlichen und miozänen Sande (Grundwasserleiternummern 3.3 und 3.1.2). Er wird im Liegenden durch den mittelligozänen Rupelton begrenzt. Dieser wurde in der Bohrung B16/88 I in einer Tiefe von 138 m unter NN erbohrt. In der Bohrung 74Tw östlich des Rieselfeldes wurde er in einer Tiefe von 120 m unter NN erbohrt. Der Rupelton bildet den regionalen Stauer zwischen süß- und salzwasserführenden Aquiferen.

Einen Überblick über die hydrogeologische Situation liefert der in Abbildung 2 dargestellte hydrogeologische Schnitt.

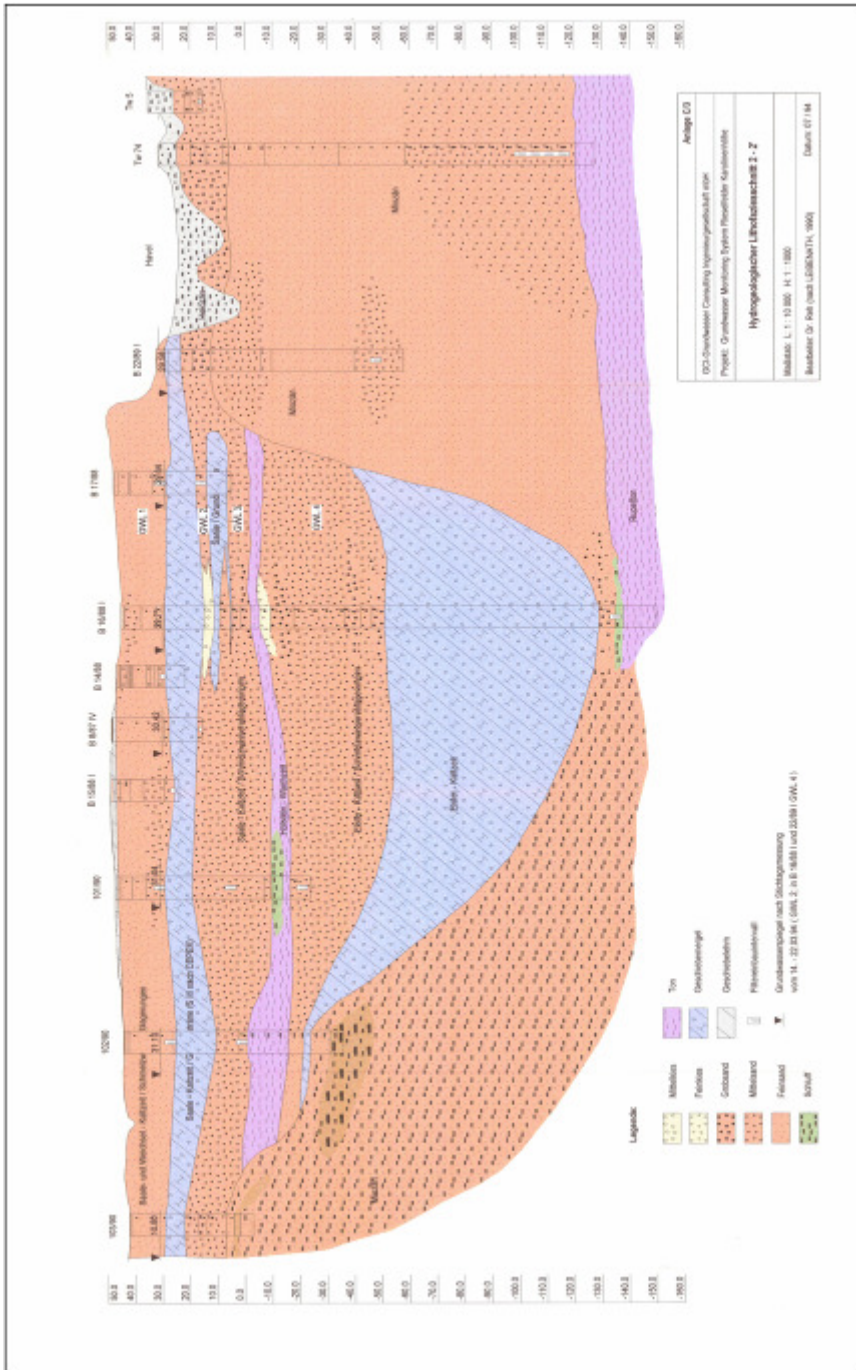


Abb. 2 Hydrogeologischer Schnitt (GCI GmbH, 1994) von Ost nach West (Lage siehe Abb.1)



## 4 Bodenbelastung

Auf den Rieselfeldern kam es durch die Verrieselung der Abwässer zu einer Akkumulation von organischer Substanz. Sie weist eine hohe Sorptionskapazität auf, was zu einer Akkumulation von Schadstoffen im Oberboden führte. Die organische Substanz wird unter aeroben Bedingungen durch Mikroorganismen abgebaut. Durch deren Abbau werden die an ihr gebundenen Stoffe freigesetzt bzw. mobilisiert.

In den ersten Untersuchungen am Rieselfeld (Nestler, W. in VEB Industrie-Consult/TU Dresden Teil 1, 1987) wurde eine erhebliche Anreicherung von Schwermetallen im Oberboden festgestellt. Die folgende Tabelle zeigt die analysierten Gehalte in den oberen 0,8 m.

Tab. 1 Gehalte der Schwermetalle in den oberen 0,8 Metern

Nickel	Cadmium	Blei
5 – 27 mg/ kg	0,3 – 4,6 mg/ kg	13 – 520 mg/ kg

Im Rahmen der Rieselfeldstudie wurden Bodenproben genommen und mit den gewonnenen Proben Säulenversuche durchgeführt. Für Schwermetalle zeigte sich, dass sich ein Pool in den oberen, humosen Schichten aufgebaut hat, welcher durch den Abbau der organischen Substanz remobilisiert wurde. Die mobilisierten Schwermetalle wurden in den tieferen Schichten wieder fixiert (Sorptions).

Der maximale analysierte AOX- Gehalt betrug 38,9 mg/ kg Boden. Hohe Gehalte fanden sich zum einem im humosen Oberboden, allerdings auch in Teufen von 17 bis 30 Meter. Nachgewiesen wurde AOX am Sediment bis in eine Teufe von 108 Meter.

Die hohen Gehalte in dieser Teufe sind nur mit der jahrzehntelangen Belastung der Rieselfelder mit schwerabbaubaren chlororganischen Verbindungen zu erklären. Batchversuche mit verschiedenen Wässern (Klarwasser, Schwarzwasser, Regenwasser) zeigten einen Verteilungskoeffizienten ( $K_d$ ) in der Größenordnung von 34 bis 387 l/ kg. Die AOX- Konzentration in der Gleichgewichtslösung entsprach ungefähr der Konzentration im eingesetzten Wasser, d.h. die Grundwässer befinden sich annähernd im Gleichgewicht. Die AOX- Gehalte werden auf dem Weg ins Grundwasser durch Wechselwirkungsprozesse mit der organisch-mineralischen Substanz der Sedimente nicht, bzw. nur wenig verändert. Der Boden ist mit AOX- Verbindungen

adsorptiv gesättigt; neu zugeführte AOX- Verbindungen bewegen sich somit mit dem Sickerwasser ins Grundwasser (mit Sickergeschwindigkeit). Die AOX-Gehalte entsprechen der Adsorptionskapazität für die derzeitige Konzentration des Abwassers.

Im Rahmen der Untersuchungen durch die TU Berlin (Savric, 2001) wurden Säulenversuche durchgeführt, in welchen der Einfluss der Mineralisation der organischen Substanz auf die Schadstofffreisetzung untersucht wurde. Für das Rieselfeld Karolinenhöhe konnte festgestellt werden, dass der Einfluss des Humusabbaus auf eine Schadstofffreisetzung geringer ist als die Veränderung der physiko- chemischen Einflüsse. Ein Humusabbau führt nur bedingt zu einem Verlust an Sorptionsplätzen und somit zur Freisetzung sorbierter Stoffe.

Zum aktuellen Zustand des Bodens in Hinblick auf die Schadstoffbelastung sind keine Daten vorhanden.

Eine Untersuchung ausgewählter Bodenprofile wird empfohlen.

## 5 Hydrodynamik

Zur Darstellung der Hydrodynamik des 1. Grundwasserleiterkomplexes wurden die Messstellen in Abbildung 3 verwendet.

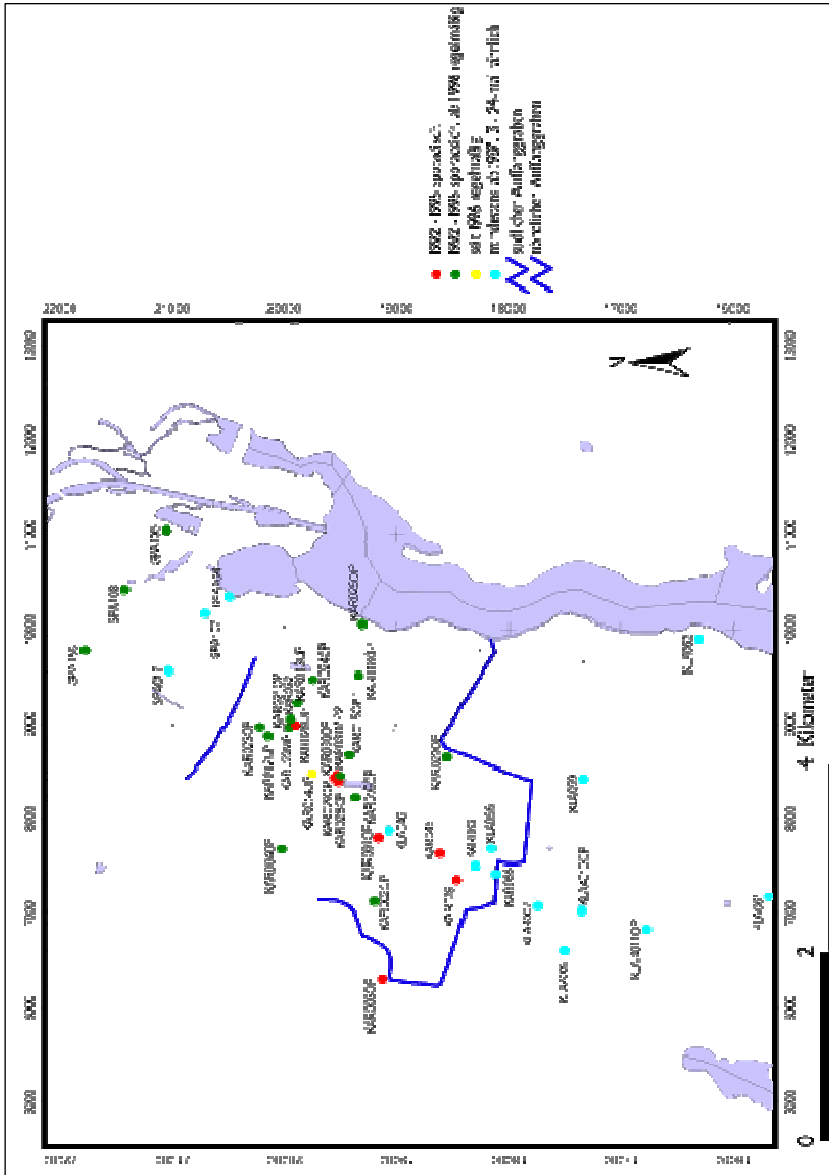


Abb. 3 Lage der Messstellen der Wasserstandsmessungen im 1. GWLK

## 5.1 Hydrodynamische Situation im Dezember 1989

### 5.1.1 Der 1. Grundwasserleiterkomplex

Die 1989 gemessenen Messstellen liegen hauptsächlich um die Rieselfeldtafel A7b (KAR021OP, KAR022UP/MP, KAR026UP/MP/OP und KAR032) und um die Rieselfeldtafel B7c (KAR028UP/MP/OP, KAR029UP/MP/OP, KAR030UP/MP/OP und KAR031MP1/OP). Diese Teilflächen wurden im Rahmen der Rieselfeldstudie untersucht. Die Wasserstände in zwei weiteren Messstellen südlich der Beaufschlagungsfläche wurden ebenfalls gemessen. Außerhalb des Rieselfeldes lagen Messwerte von Messstellen im Messgebiet Spandau und Kladow vor, welche sich z.T. in großer Entfernung vom Untersuchungsgebiet befinden.

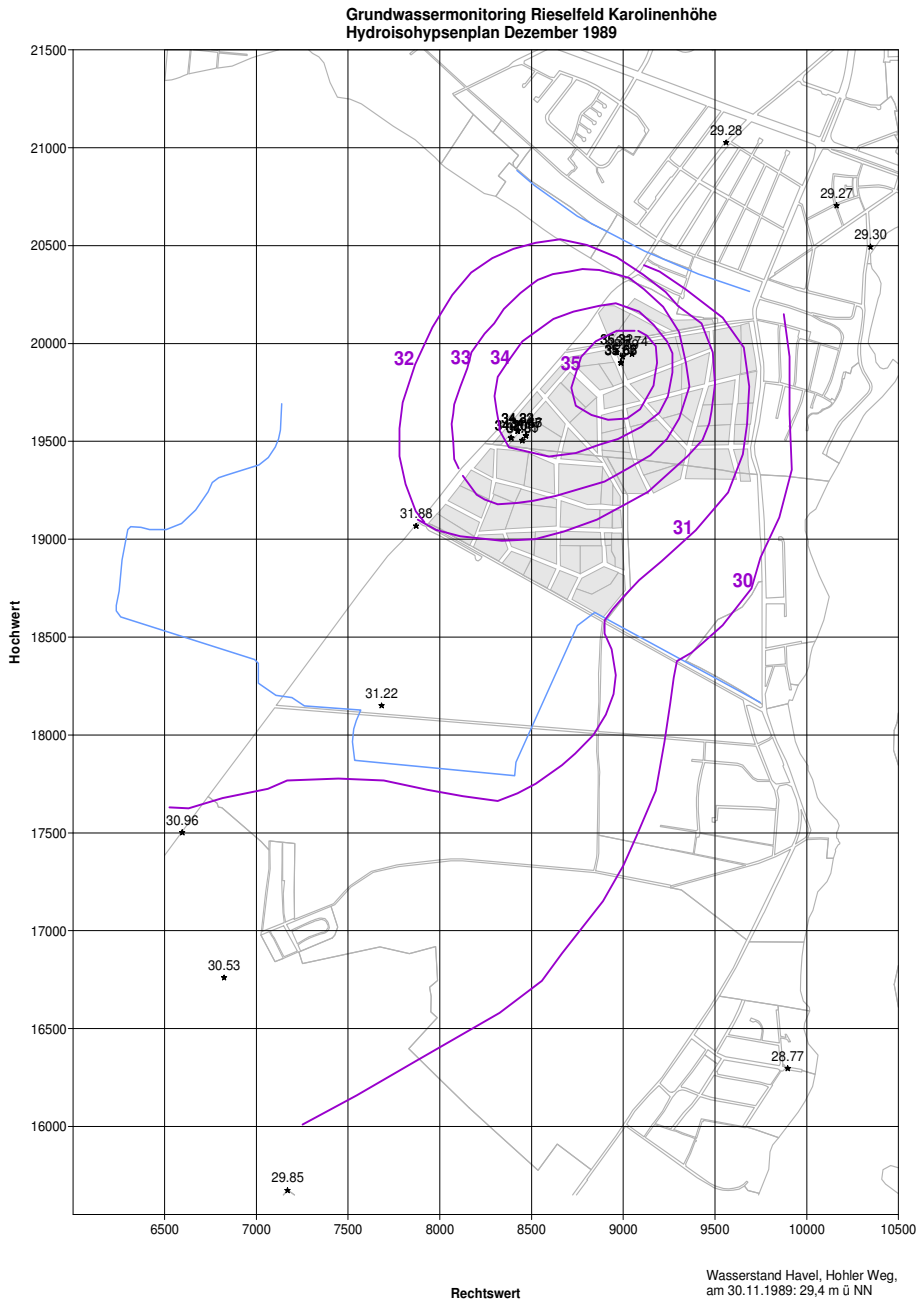
Aufgrund der Verrieselung von Abwässern kam es zu einer starken Aufhöhung des Grundwasserspiegels unter dem Zentrum des Rieselfeldes (Abb.4) auf ca. 35 m ü. NN. Von dieser Hochlage fließt das Grundwasser im ersten GWLK radial in alle Richtungen.

Das Grundwasser des 1. GWLK wird im Norden durch den nördlichen Auffanggraben, im Süden durch den südlichen Auffanggraben und im Osten durch die Havel drainiert.

Generell ist das Gefälle zum nördlichen Auffanggraben und zur Havel größer als nach Süden und Westen. Das Grundwassergefälle beträgt in etwa:

- nach Osten zur Havel 0,5%,
- zum nördlichen Auffanggraben 1,1%,
- zum südlichen Auffanggraben (in Richtung Südwest) 0,3%.

Nach Westen (in Richtung des regionalen Grundwasseranstroms) ist eine Beeinflussung etwa 2 km bemerkbar.



**Abb. 4** Grundwasserisohypsen im 1. GWL im Dezember 1989



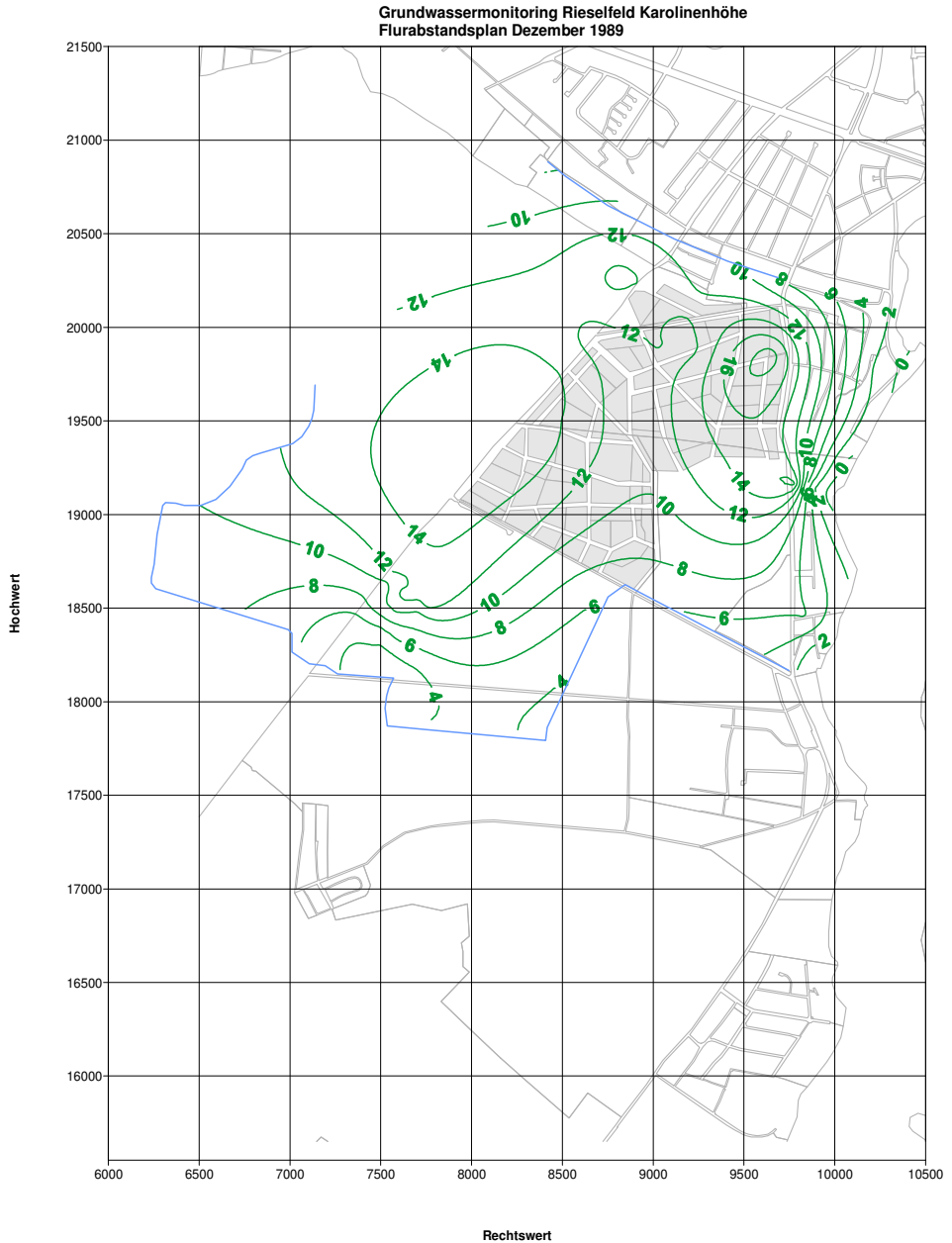
### *Flurabstand*

Morphologisch kleinräumig ist das Gelände von Rieselfeldeinrichtungen wie Gräben und Dämmen geprägt.

Höherliegende Bereiche des Rieselfeldes befinden sich im Nordosten (um die Messstelle KAR019OP) mit 52 m ü. NN und im südlichen Bereich der Parzelle B (Messstelle KAR029OP) mit bis zu 50 m ü. NN. Tieferliegende Bereiche sind der südliche Auffanggraben und das Havelufer mit rund 30 m ü. NN.

Die Flurabstände passen sich der Morphologie des Geländes an. Die größten Flurabstände finden sich mit 14 bzw. 18 m in den Bereichen der Höhenlagen des Untersuchungsgebietes. Der Flurabstand unter dem östlichen Teil des Rieselfeldes beträgt ca. 18 m. Zum Süden und zur Havel hin nimmt der Flurabstand entsprechend ab (siehe Abb. 5).

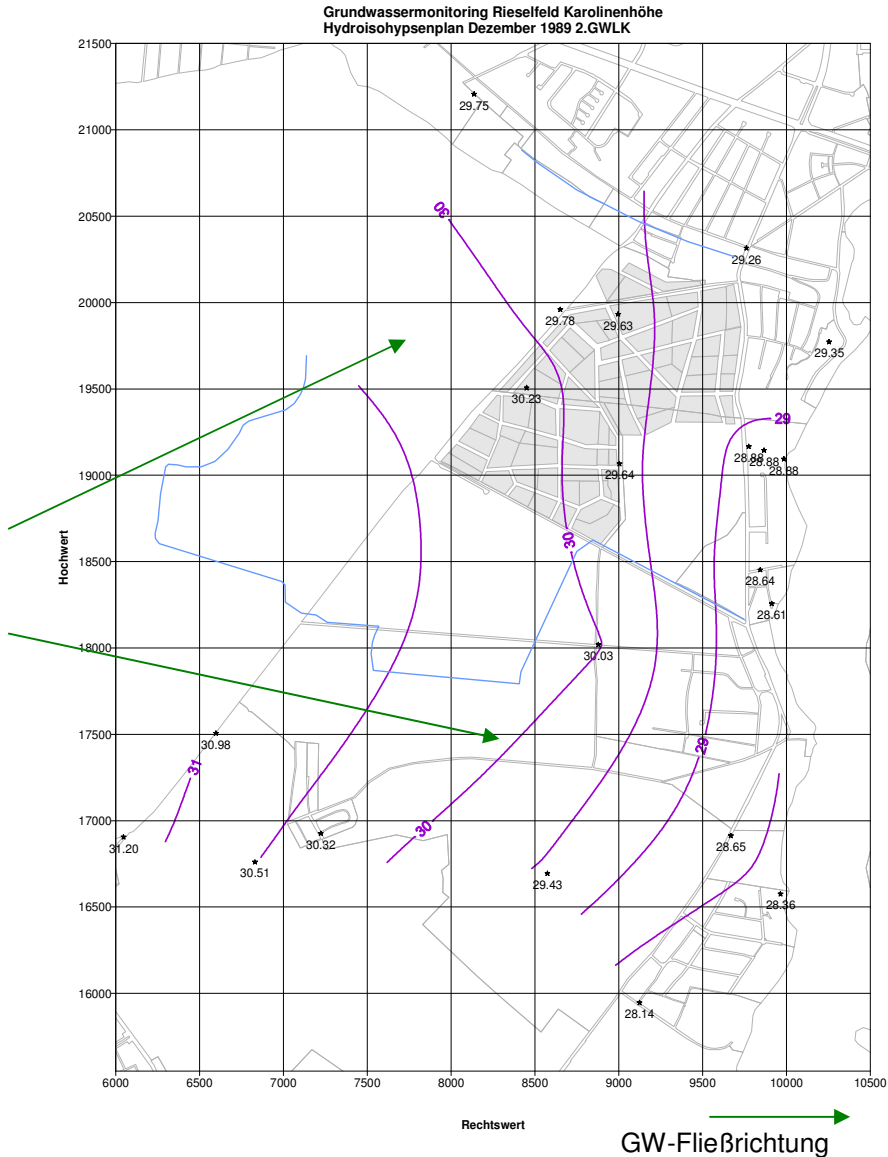
Somit kann geschlussfolgert werden, dass die Vegetation im Rieselfeldbereich nicht vom Grundwasser, sondern durch das Beaufschlagungs- und Niederschlagswasserdargebot beeinflusst wird.



**Abb. 5** Flurabstandsplan Dezember 1989 (1. GWLK)

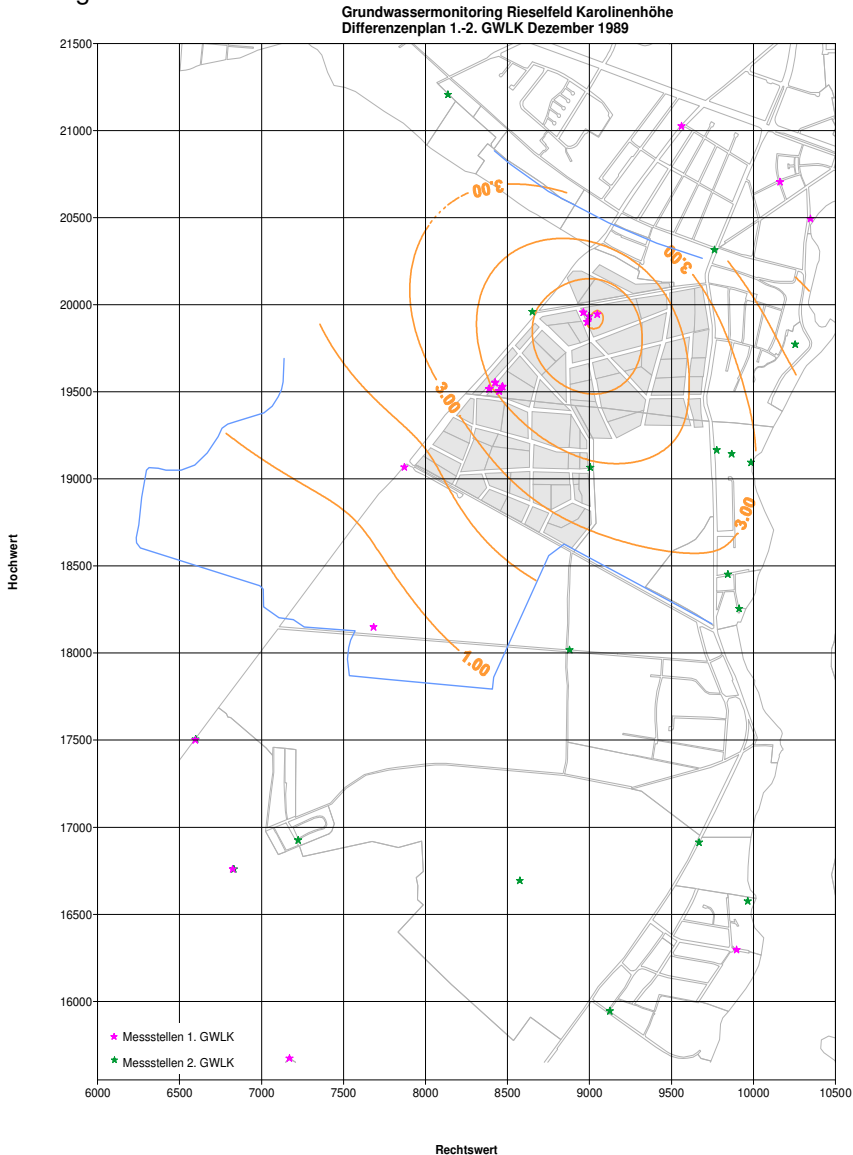


Der Isohypsenplan des 2. GWLK (Abb. 7) zeigt im Gegensatz zum 1. GWLK deutlich die natürliche Fließrichtung von West nach Ost. Sie entspricht der in der HK Brandenburg, Blatt Potsdam ausgewiesenen Grundwasserdynamik. Eine Beeinflussung durch die Rieselfeldbewirtschaftung ist nicht erkennbar.



**Abb. 7** Grundwasserisohypsen im 2. GWLK im Dezember 1989

Aus dem Differenzenplan zwischen dem 1. und 2. GWLK (Abb. 8) ergibt sich jedoch, dass im Zentrum des Rieselfeldes das Druckpotential des 1. GWLK um bis zu 6 Meter über dem des 2. GWLK liegt. Daraus folgt ein nach unten gerichtetes Druckgefälle, so dass potentiell eine Wasserbewegung in den GWLK 2 erfolgen kann.



**Abb. 8** Differenzenplan zwischen dem 1. und 2. GWLK (Dezember 1989)

Für den 3. GWLK lagen keine Messungen der Grundwasserstände von 1989 vor.

## 5.2 Die Entwicklung der Grundwasserstände bis 2003

### 5.2.1 Hydrologische Randbedingungen

Die natürliche Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet im Zeitraum 1985 bis 2003 ist in Abbildung 9 dargestellt.

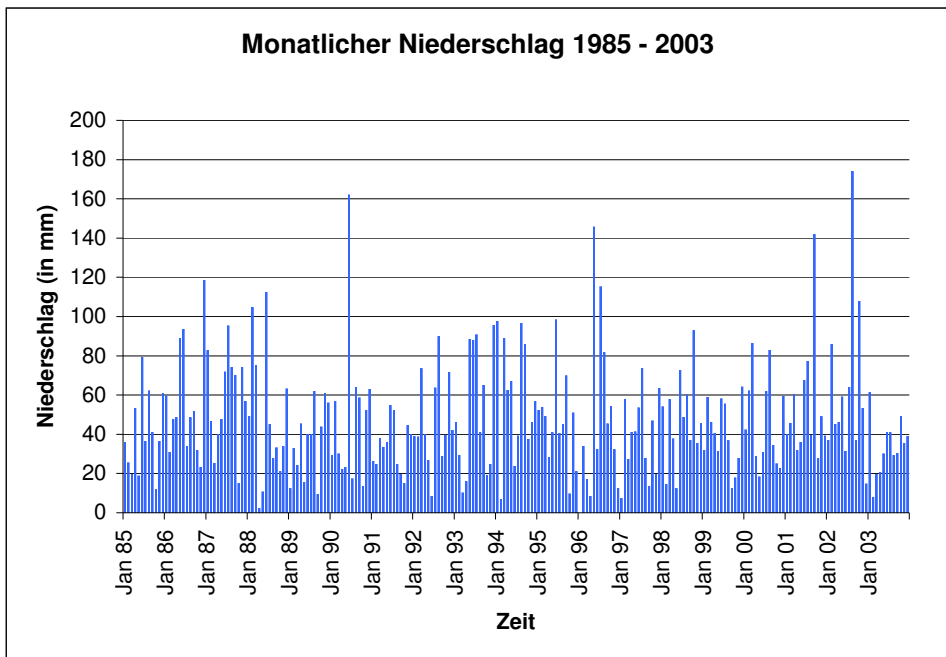


Abb. 9 Monatlicher Niederschlag im Untersuchungsgebiet in mm

Abbildung 10 zeigt die monatliche Gesamtbeaufschlagung mit Abwasser bzw. Klarwasser. Die geringen Mengen im Jahr 1990 ergeben sich aus der Tatsache, dass für die Klarwassermenge nur ein Jahreswert vorlag, welcher hier nicht berücksichtigt wurde. Generell erkennt man eine gleichbleibende Beaufschlagung bis 1992. Ab da nahm die Beaufschlagungsmenge bis 1994 zu und seitdem wieder ab.

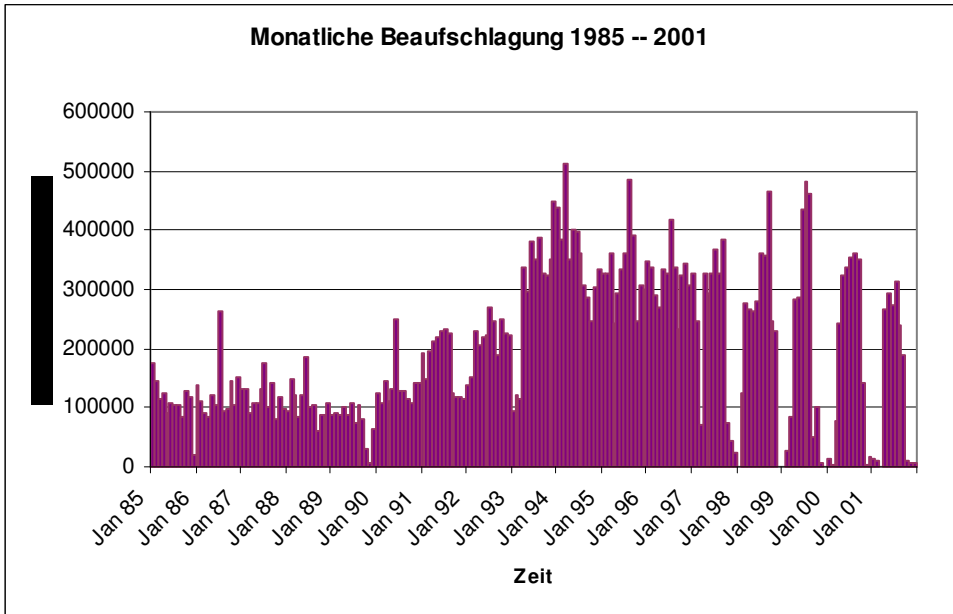


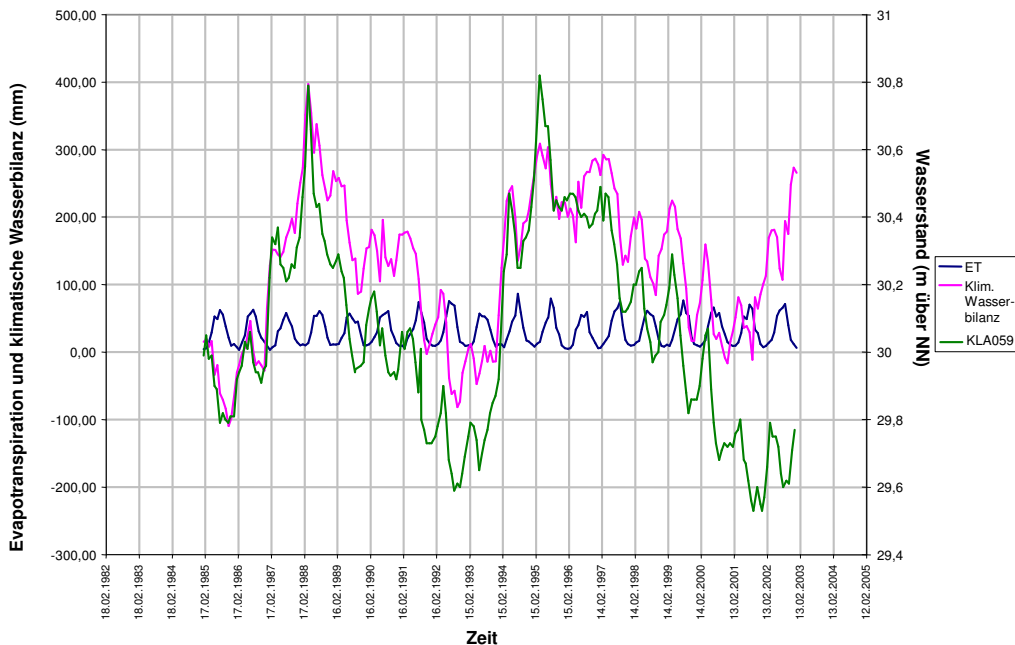
Abb. 10 Monatliche Beaufschlagung 1985 - 2001

### 5.2.2 Ganglinienverlauf

Wasserstandsganglinien, die von Oberflächengewässer bzw. von künstlicher Anreicherung unbeeinflussten Messstellen, zeigen einen klimatisch bedingten Gang. Im Allgemeinen steigt der Wasserspiegel in den Wintermonaten an und erreicht im Frühjahr sein Maximum. Mit Beginn der Vegetationsperiode sinkt der Wasserstand in den Sommermonaten und erreicht im Herbst sein Minimum.

Mit Hilfe der Tagestemperaturen wurde die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE berechnet. Aus dem Mittelwert der monatlichen Differenzen zwischen dem Niederschlag und der potentiellen Evapotranspiration wurde der Abfluss ermittelt. Somit war ein Vergleich der klimatischen Wasserbilanz mit den Grundwasserständen möglich.

Für die Messstelle KLA059 außerhalb der Verrieselungsflächen zeigt sich, dass beide Kurven proportional verlaufen (Abb. 11).



**Abb. 11** Vergleich klimatische Wasserbilanz mit dem Grundwasserstand einer Messstelle außerhalb des Beaufschlagungsbereiches

## 1. GWLK

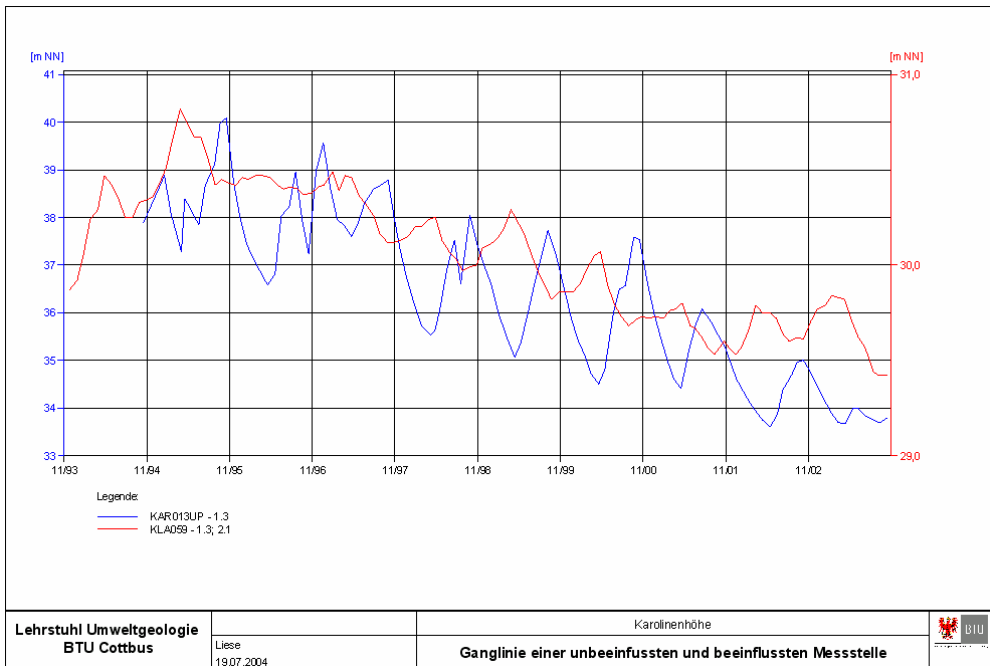
Die Grundwasserspiegelschwankungen in den Messstellen im Gebiet der Beaufschlagung zeigen nicht den oben beschriebenen, typischen Verlauf. Sie erreichen ihr Minimum im Frühjahr (März bis April) und ihr Maximum im Herbst (September bis November). Dies steht in direkter Beziehung zum Beaufschlagungsregime, da die in den Wintermonaten aufgebraachte Wassermenge geringer als die im Sommer ist. Generell weisen die Pegel mit Rieselfeldeinfluss eine hohe Jahresamplitude ( $\Delta 2 \text{ m}$ ) der Grundwasserspiegel auf.

Abbildung 12 zeigt die Ganglinie einer beeinflussten Messstelle (KAR013UP, blau) und die einer unbeeinflussten Messstelle (KLA059, rot). Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen.

Es wird deutlich, dass die Wasserstände im Bereich des Rieselfeldes vom 1996 bis 2003 um rund 4 m gesunken sind. Dies kann auf die Abnahme der Beaufschlagung seit 1995 zurückgeführt werden.

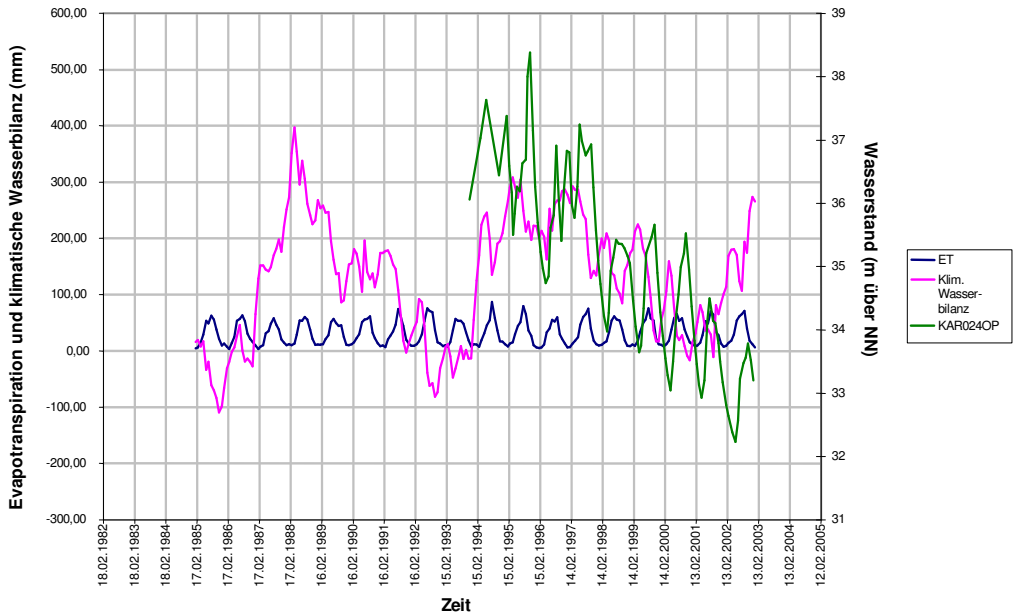


Jedoch ist auch in den Messstellen mit natürlichem Schwankungsverhalten der Grundwasserstände in diesem Zeitraum ein fallender Trend ( $\approx 1\text{ m}$ ) erkennbar.



**Abb. 12** Grundwasserganglinie der Messstelle KLA059 (natürlicher Verlauf, rot) und KAR01UP (rieselfeldgeprägter Verlauf, blau)

Beim Vergleich der Ganglinie von Messstellen im Verrieselungsbereich mit der klimatischen Wasserbilanz zeigt sich ein gegensätzlicher Verlauf. Dies ist ein eindeutiges Zeichen für die hydrodynamische Beeinflussung der Messstellen durch die Beaufschlagung auf dem Rieselfeld (Abb. 13).



**Abb. 13** Vergleich der klimatischen Wasserbilanz mit der Ganglinie einer Messstelle im Beaufschlagungsbereich

## 2. GWLK

Die Ganglinien der Messstellen im 2. GWLK zeigen den natürlichen Verlauf (Abb. 14). Auch im 2. GWLK ist ein abnehmender Grundwasserstand erkennbar, er sank im Durchschnitt seit 1995 um rund 1 m.

## 3. GWLK

Zur Überwachung des 3. GWLK sind lediglich drei Messstellen eingerichtet (KAR001UP, KAR017MP2 und KAR025UP). Im Pegel KAR001UP wurde nur in den Jahren 1992 bis 1994 sporadisch der Wasserstand gemessen.

Die Ganglinien der Wasserstände in den Messstellen KAR017MP2 (siehe Abb. 14) und KAR025UP weisen den typischen, natürlichen Verlauf auf (Maxima im Frühjahr und Minima im Herbst). In beiden Messstellen sank der Wasserstand seit 1995 um  $\approx 1,5$  m.

Abbildung 14 zeigt Ganglinien der verschiedenen GWLK. Erkennbar ist der hohe Grundwasserstand des 1. GWLK im Vergleich zu den beiden tieferen, d.h. das Druckpotential ist nach unten gerichtet und somit ist potentiell eine Speisung aus dem Hangendem möglich.

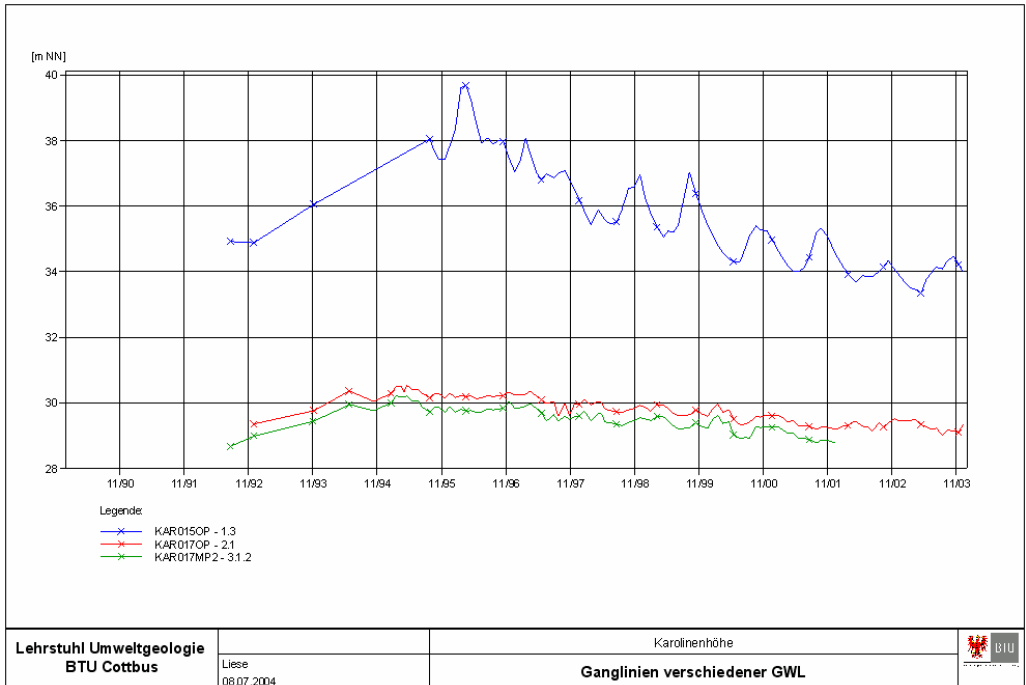
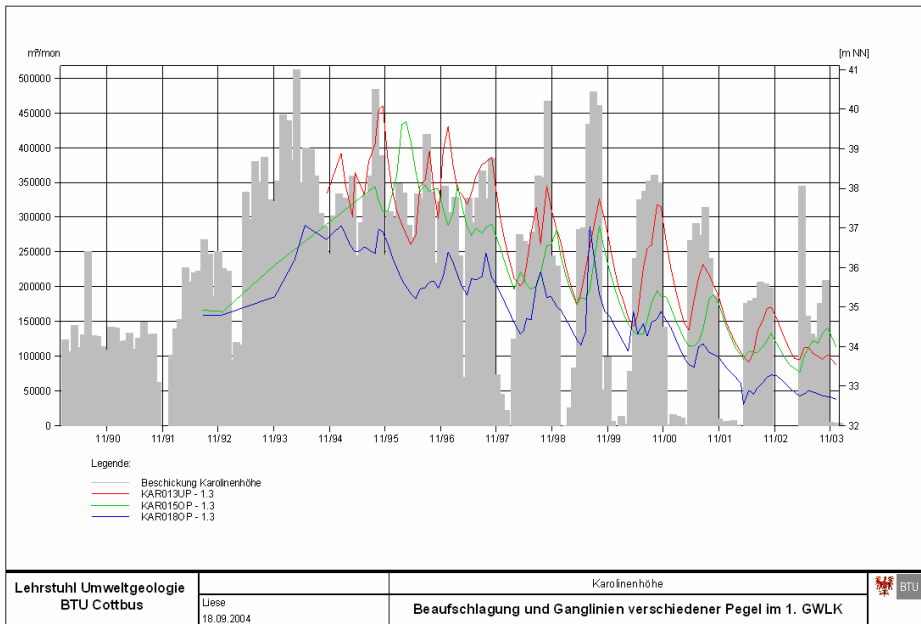


Abb. 14 Ganglinien verschiedener Messstellen der Grundwasserleiterkomplexe

### 5.2.3 Hydraulischer Einfluss der Beaufschlagung auf das Grundwasserregime

Zur ersten Einschätzung des hydraulischen Beeinflussung der Beaufschlagung auf das Grundwasserregime wurde versucht, die Wasserstände mit der Beaufschlagungsmenge zu korrelieren.



**Abb. 15** Beaufschlagung und verschiedene Ganglinien des 1. GWLK

Abbildung 15 zeigt die Beaufschlagungsmenge und Ganglinien von drei Messstellen auf dem Rieselfeld. Eine Korrelation zwischen den Beaufschlagungsspitzen und dem Wasserstand ist deutlich erkennbar. In vielen Fällen zeigen die Wasserstände der Messstellen verzögerte Reaktionen nach etwa einem Monat. Auf kleinere Verrieselungsmengen reagieren die Wasserstände in den Brunnen nicht, z.B. Dezember 1997 und Januar 1998.

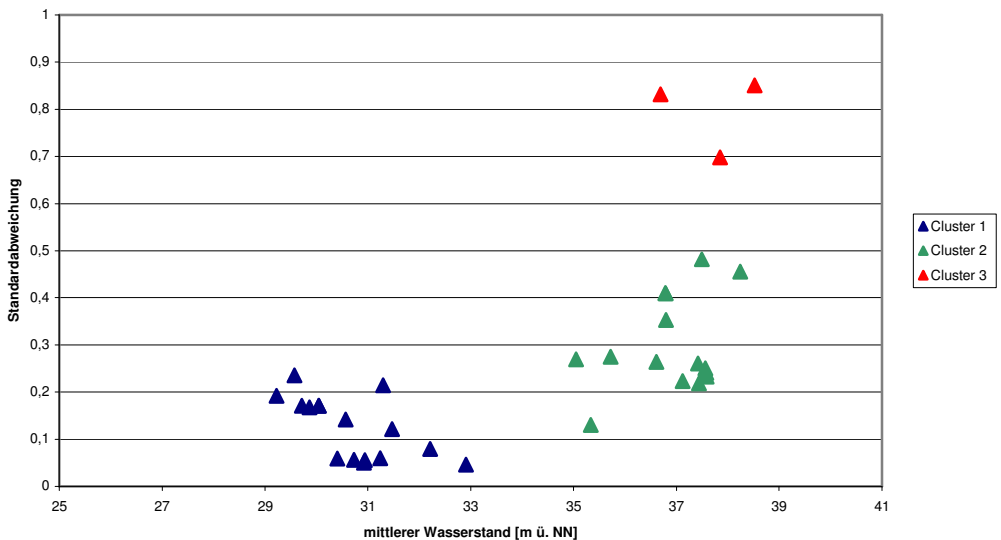
Trotz der Beschickung von Dezember 1995 bis Mai 1996 sinken in den meisten Messstellen die Wasserstände, außer in der Messstelle KAR015OP. Die Beaufschlagung von Mai 1996 bis August 1996 bewirkt z.B. in den Messstellen KAR013UP und KAR018OP einen deutlichen Anstieg des Grundwasserspiegels. Der Wasserstand der Messstelle KAR015OP hingegen stagniert. Dies deutet darauf hin, dass das Wasser nicht gleichmäßig auf die Fläche beaufschlagt wird und somit keine statistisch gesicherte Korrelation zwischen Grundwasserstand und den Daten zur Gesamtbeaufschlagungsmenge vorgenommen werden kann.

Für die Jahre 1991 und 1992 standen flächendifferenzierte Angaben zur Beaufschlagung zur Verfügung. Aus diesen Daten war ersichtlich, dass die Fläche nicht gleichmäßig beschickt wurde. Eine Auswertung der Korrelation zwischen Grundwasserstand und Beaufschlagung wäre für diesen Zeitraum prinzipiell möglich. Da jedoch für diesen Zeitraum nur ungenügend Wasserstandsdaten (drei Werte pro Jahr) zur Verfügung standen, konnte diese Auswertung leider nicht vorgenommen werden.

Deshalb wurde eine andere Methode entwickelt, um den Einfluss der Beaufschlagung zu ermitteln. Dazu wurden die Mittelwerte der Wasserstände (über ein Jahr) mit der jährlichen Standardabweichung (Maß für die innerjährliche Schwankung) des Wasserstandes korreliert.

Abbildung 16 zeigt diese Abhängigkeit für die Messstellen der Messgebiete Karolinenhöhe, Kladow und Spandau des 1. GWLK für das Jahr 1995. Dabei zeigen sich deutlich drei Gruppen (Cluster).

**Standardabweichung vs. mittlerer Wasserstand 1995 - 1.GWLK**



**Abb. 16** Standardabweichung gegen Wasserstand 1995: 3 Cluster

Der Cluster 1 zeigt einen tiefen Wasserstand und eine geringe Standardabweichung. Die Standardabweichung steigt mit sinkendem Wasserstand. Anhand der im Kap. 5.2.2. beschriebenen Charakteristika der Ganglinien der Messstellen im Bereich des Rieselfeldes können sie als durch die Verrieselung hydraulisch nicht beeinflusste Messstellen interpretiert werden.

Die zweite und dritte Gruppe zeichnen sich durch höhere Wasserstände und mit der Wasserstandserhöhung zunehmenden Standardabweichungen aus. Es handelt sich hier um hydraulisch durch die Beaufschlagung beeinflusste Messstellen, wobei der Cluster 3 die stärkste Beeinflussung aufweist.

Räumliche Verteilung der Cluster des 1. GWLK 1995

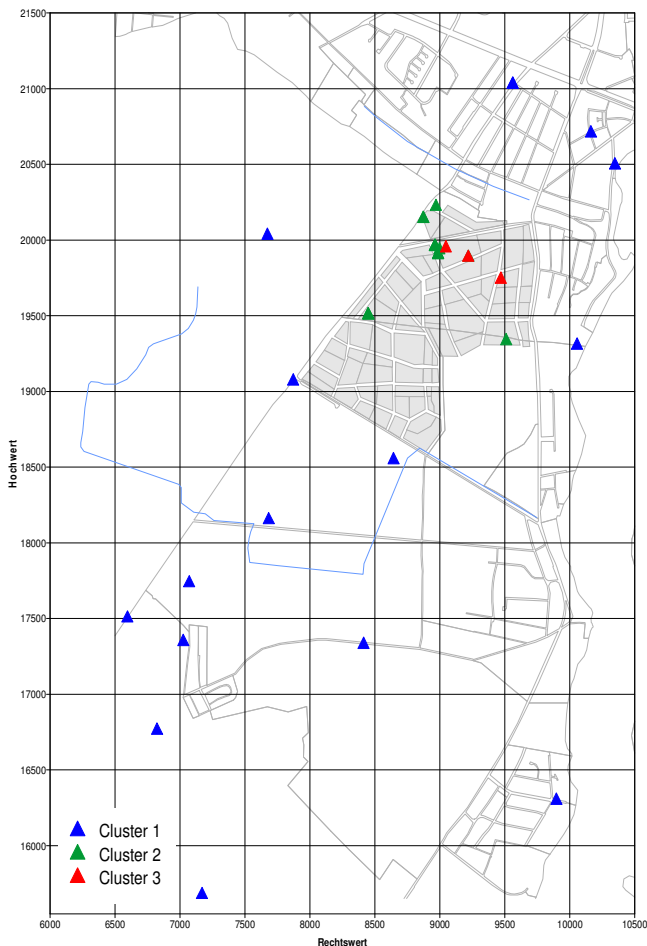
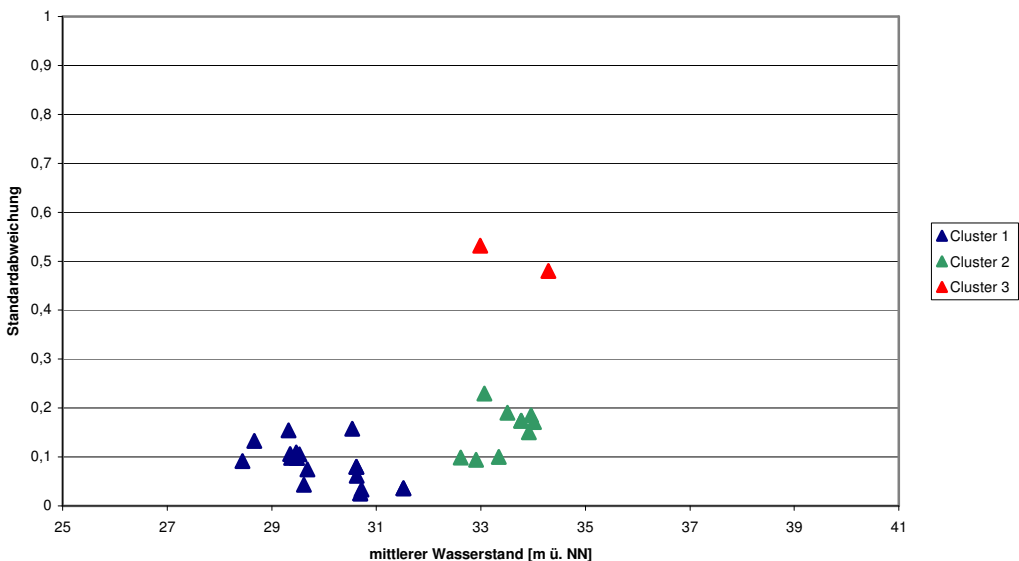


Abb. 17 Räumliche Verteilung der Cluster im 1. GWLK 1995

Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Messstellen, die den entsprechenden Clustern zugeordnet werden können. Dabei wird deutlich, dass sich die Messstellen der Clustergruppen zwei und drei entweder direkt auf den beaufschlagten Flächen bzw. in deren unmittelbarer Umgebung befinden (Parzellen A, B, C und E) und den Bereich der infiltrationsbedingt starken Aufhöhung der Grundwasserstände nachzeichnen (vgl. Abb. 4)

In Abbildung 18 ist dieser Zusammenhang für das Jahr 2002 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass sich die Gruppen verlagern (die Standardabweichung und die Wasserstände werden geringer), d.h. der Einfluss der Beaufschlagung scheint abzunehmen, was durch die geringere Beaufschlagungsmenge in diesem Zeitraum bestätigt wird. Diese sank von fast 4 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 1995 auf unter 1,2 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2002 (siehe auch Abb. 10)

**Standardabweichung vs. mittlerer Wasserstand 2002 - 1.GWLK**



**Abb. 18** Standardabweichung gegen Wasserstand 2002: 3 Cluster

Betrachtet man die räumliche Verteilung der Messstellen der einzelnen Clustergruppen im Jahr 2002 (Abb. 19), so ist jedoch weiterhin die räumliche Zuordnung der beeinflussten Messstellen auf den unmittelbaren Rieselfeldbereich deutlich erkennbar.

Räumliche Verteilung der Cluster des 1. GWLK 2002

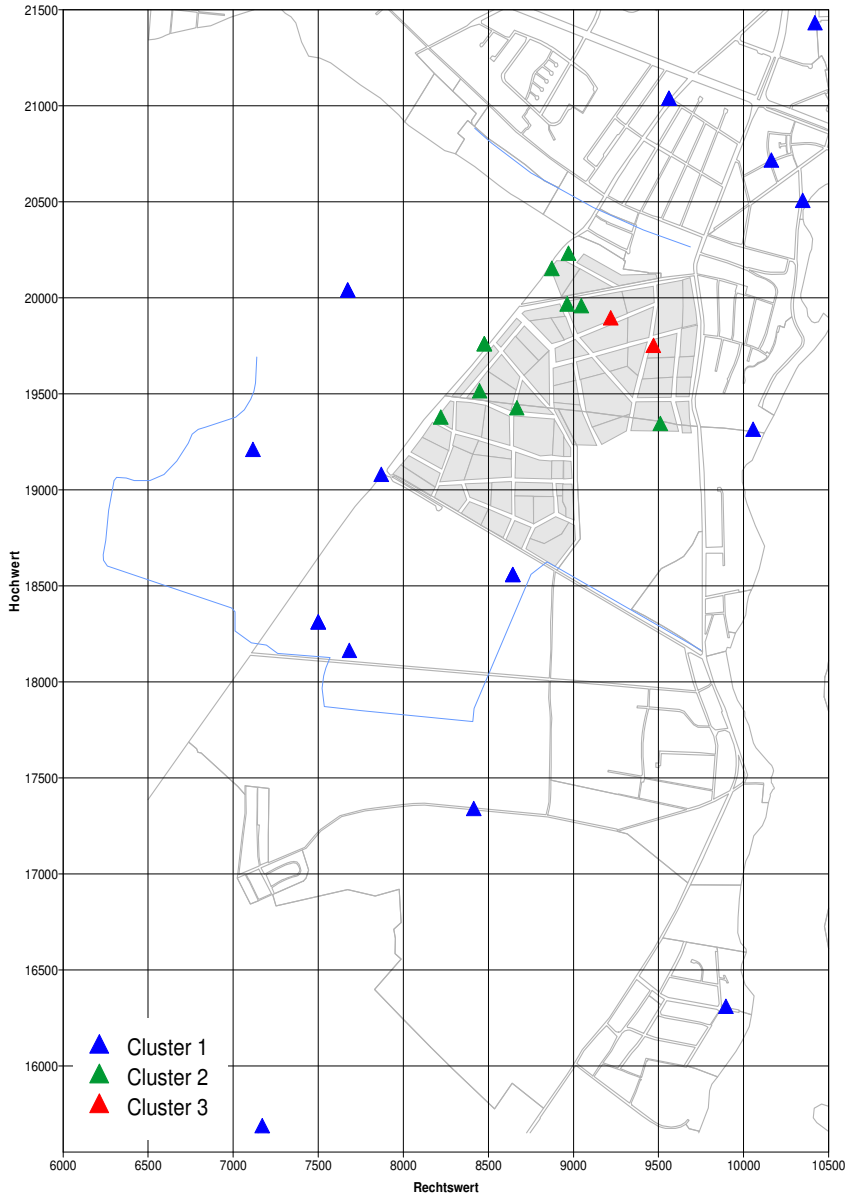


Abb. 19 Räumliche Verteilung der Cluster im 1. GWLK 2002



Tabelle 2 zeigt die Messstellen des 1. GWLK und die zugehörigen (jährlichen) Clustergruppen im Zeitraum von 1995 – 2002.

Cluster 1: hydraulisch durch Beaufschlagung unbeeinflusste Messstellen

Cluster 2: hydraulisch durch Beaufschlagung beeinflusste Messstellen

Cluster 3: hydraulisch durch Beaufschlagung sehr stark beeinflusste Messstellen

**Tab. 2** Messstellen und Cluster des 1. GWLK in den verschiedenen Jahren

Messstelle	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
KAR002OP		1	1	1	1	1	1	1	1
KAR004OP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KAR012OP	2								
KAR012UP	2	2	2	2	2	2	2	2	2
KAR013OP	2								
KAR013UP	3	3	3	3	3	3	3	3	2
KAR014UP		2	2	2	3	2	3	2	2
KAR015OP		3	2	2	3	2	3	2	2
KAR016OP		2	2	2	2	2	2	2	2
KAR018OP	2	2	2	2	3	2	2	2	2
KAR020OP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KAR021OP	2								
KAR022MP	2	2	2	2	3	3	3	2	2
KAR022OP	2								
KAR022UP	2								
KAR023OP	2	2	2	2	2	2	2	1	2
KAR024OP	3	3	3	2	3	3	3	3	2
KAR025OP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KAR026MP	2								
KAR026OP	2								
KAR026UP	2								
KAR031MP1	2								
KAR031MP2	2	2	2	2	3	2	3	2	2
KAR031OP	2								
KAR032	3	3	2	2	3	3	3	2	2
KAR063	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KAR065	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA046	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA056	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA059	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA061	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA062	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA4007	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA4009	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA4010OP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KLA4011OP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPA017	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPA104	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPA106		1	1	1	1	1	1	1	1
SPA107	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPA108		1	1	1	1	1	1	1	1
SPA158		1	1	1	1	1	1	1	1

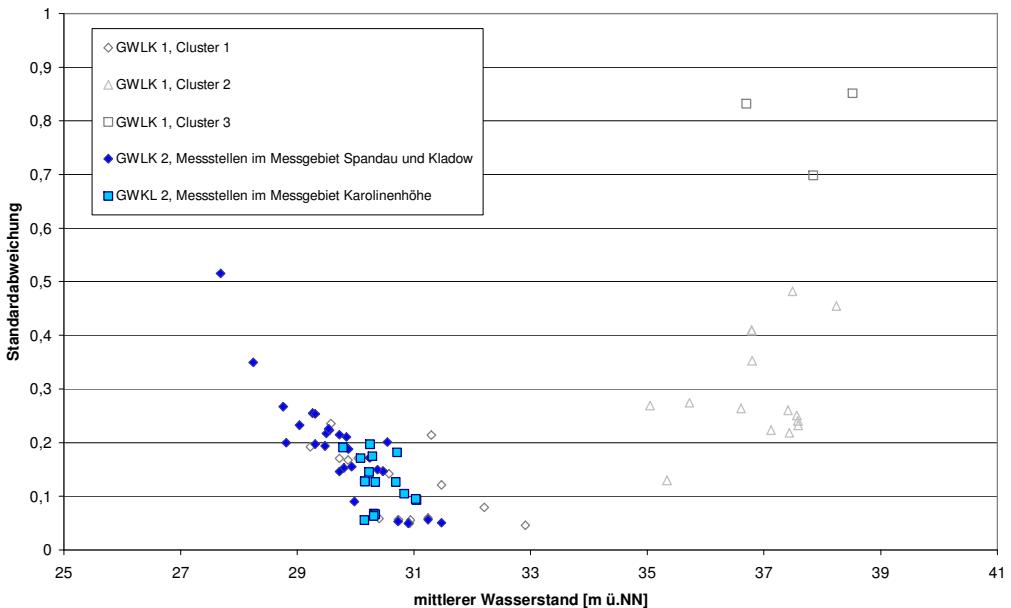
Die meisten Messstellen bleiben in der Zeit von 1995 bis 2002 in einem Cluster. Die Messstellen KAR014UP und KAR015OP (Parzelle B) liegen überwiegend im Cluster 2, außer in den Jahren 1999 und 2001 sind sie dem stark beeinflussten

Cluster 3 zuzuordnen. Dies spricht für eine stärkere Beaufschlagung der Parzelle B in diesen Jahren.

Auch die Messstellen KAR022MP (Parzelle A), KAR024OP (Parzelle C), KAR031MP2 (Parzelle B) und KAR032 (Parzelle A) liegen beispielsweise 1998 im 2. Cluster und in den Jahren 1999 bis 2001 vornehmlich im 3. Cluster.

Abbildung 20 zeigt das Korrelationsdiagramm für den 1. und 2. GWLK für das Jahr 1995. Die Messstellen des 1. GWLK sind grau dargestellt. Die Messstellen im 2. GWLK liegen im Bereich des unbeeinflussten Cluster 1 des 1. GWLK, wobei die Messstellen der Messgebiete Spandau und Kladow eine noch stärkere Tendenz des Anstiegs der Standardabweichung mit sinkendem Wasserstand zeigen, was möglicherweise auf einen Einfluss der Wasserfassungen hindeutet.

Standardabweichung vs. mittlerer Wasserstand 1995 - 1. GWLK und 2. GWLK



**Abb. 20** Standardabweichung gegen Wasserstand 1995 für den 1. und 2. GWLK

Durch dieses Auswerteverfahren konnte aufgezeigt werden, dass die Messstellen des 2. und 3. GWLK durch das Beaufschlagungsregime nicht hydraulisch überprägt wurden.

Dieses Auswertungsverfahren zeigt eine Beziehung zwischen der jährlichen Grundwasserspiegelschwankung (der Standardabweichung) und der

Beaufschlagung. Es bietet sich hierüber eine Möglichkeit der ungefähren Zuordnung der Beaufschlagungsmengen für die weitere Auswertung an. Diese Form der Auswertung liefert jedoch nur eine erste Orientierung zur Abgrenzung der Beeinflussung der Beaufschlagung. Sie sollte modellseitig abgesichert werden.

### **5.3 Grundwasserisohypsen im Zeitraum 1993 - 2003**

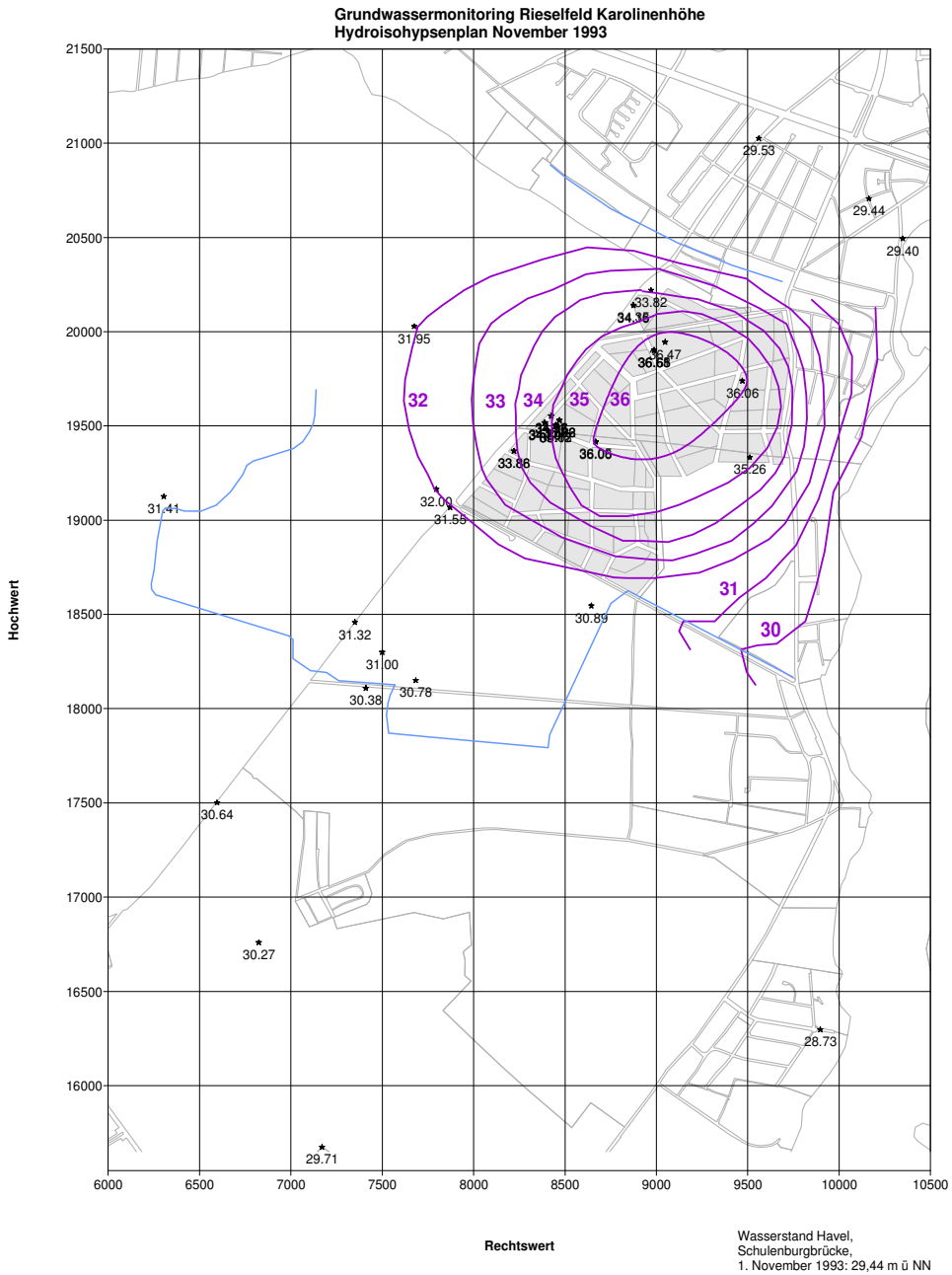
#### *Der 1. GWLK*

Jeweils für die Monate April und September wurden Grundwassergleichenpläne erstellt. Sie charakterisieren in natürlichen Regimen die Frühjahrssituation, wo die Grundwasservorräte aufgefüllt sind und den Herbst, wo diese am stärksten beansprucht sind. Wie oben beschrieben hängt die Grundwassergangliniendynamik im Untersuchungsgebiet neben den natürlichen Vorratsänderungen in erster Linie vom Beaufschlagungsregime des Rieselfeldes ab. Diese Ganglinien zeigen ihr Minimum im April und ihren Höchststand im September. Somit repräsentieren die Grundwassergleichen im April und September typische Systemzustände.

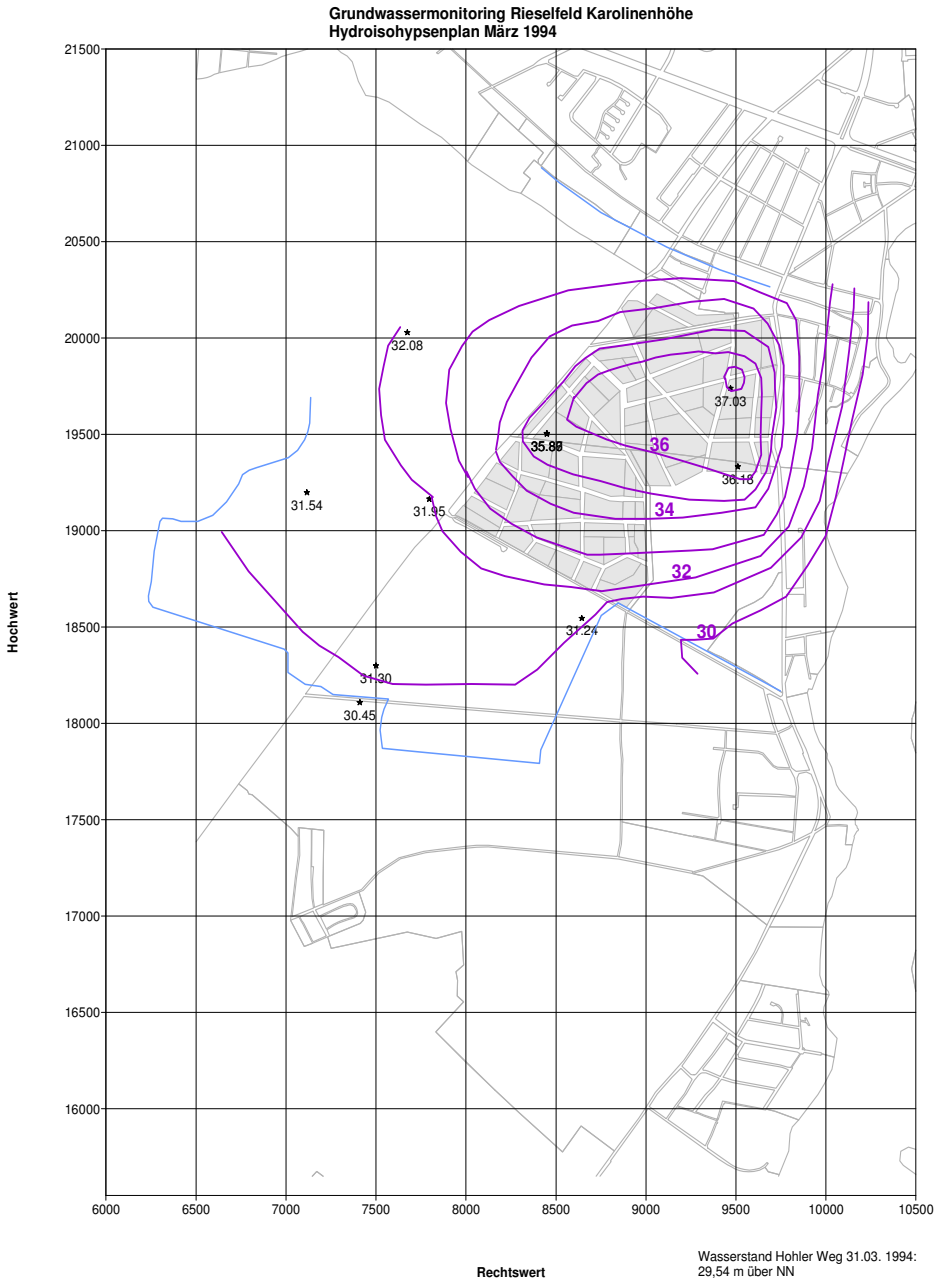
#### *1993/ 1994*

Die Grundwasserstände wurden in den Jahren 1992 bis 1994 nur sporadisch und erst seit Anfang/ Mitte 1995 monatlich gemessen. Für den ersten Vergleich von Frühjahrs- und Herbstzustand konnten Isohypsenpläne für November 1993 und März 1994 erstellt werden.

Beide Isohypsenpläne des 1. GWLK zeigen eine Toplage unter dem Rieselfeld. Im November 1993 (Abb. 21) beträgt der maximale Wasserstand 36 m ü. NN und im Frühjahr 1994 (Abb.22) 37 m ü. NN.



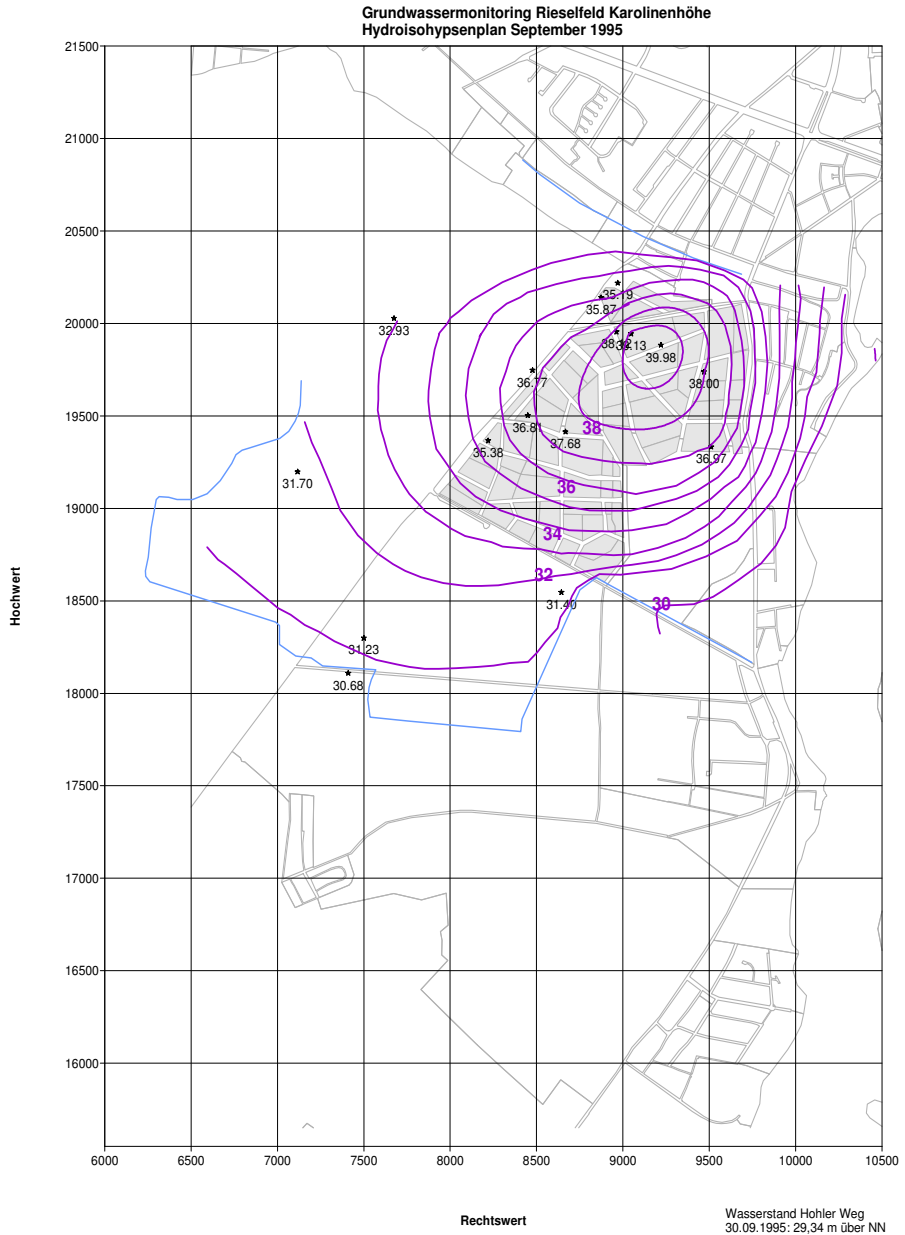
**Abb. 21** Grundwasserisohypsenplan für November 1993 für den 1. GWLK



**Abb. 22** Grundwasserisohypsen des 1. GWLK im März 1994

1995/ 1996

Die Isohypsen im September 1995 (Abb.23) zeigen ein Maximum des Wasserstandes von 40 m ü. NN im nordöstlichen Teil des Rieselfeldes um die Messstelle KAR013UP, also um die Tafeln A7 und C2. Im Frühjahr 1996 (Abb.24) verschiebt sich das Maximum mit 39 m ü. NN ins Zentrum des Rieselfeldes um die Messstelle KAR015OP. Der Wasserstand in der Messstelle KAR013UP sank von September 1995 bis April 1996 um rund 1,5 m, während der Wasserstand der Messstelle KAR015OP um 1,5 m stieg (siehe auch Abb. 15). Dies ist auf die unterschiedliche Beaufschlagung der Flächen zurückzuführen. Die Toplage verschob sich nach Südwesten. Im Frühjahr 1996 war das Gefälle nach Norden und Osten deutlich geringer als im Herbst 1995, und das Gefälle nach Westen nahm dementsprechend zu. Mit der Veränderung der Grundwasserhöchststände im Rieselfeldbereich sind lokale Veränderungen der Abflussanteile in den nördlichen und südlichen Auffanggraben verbunden.



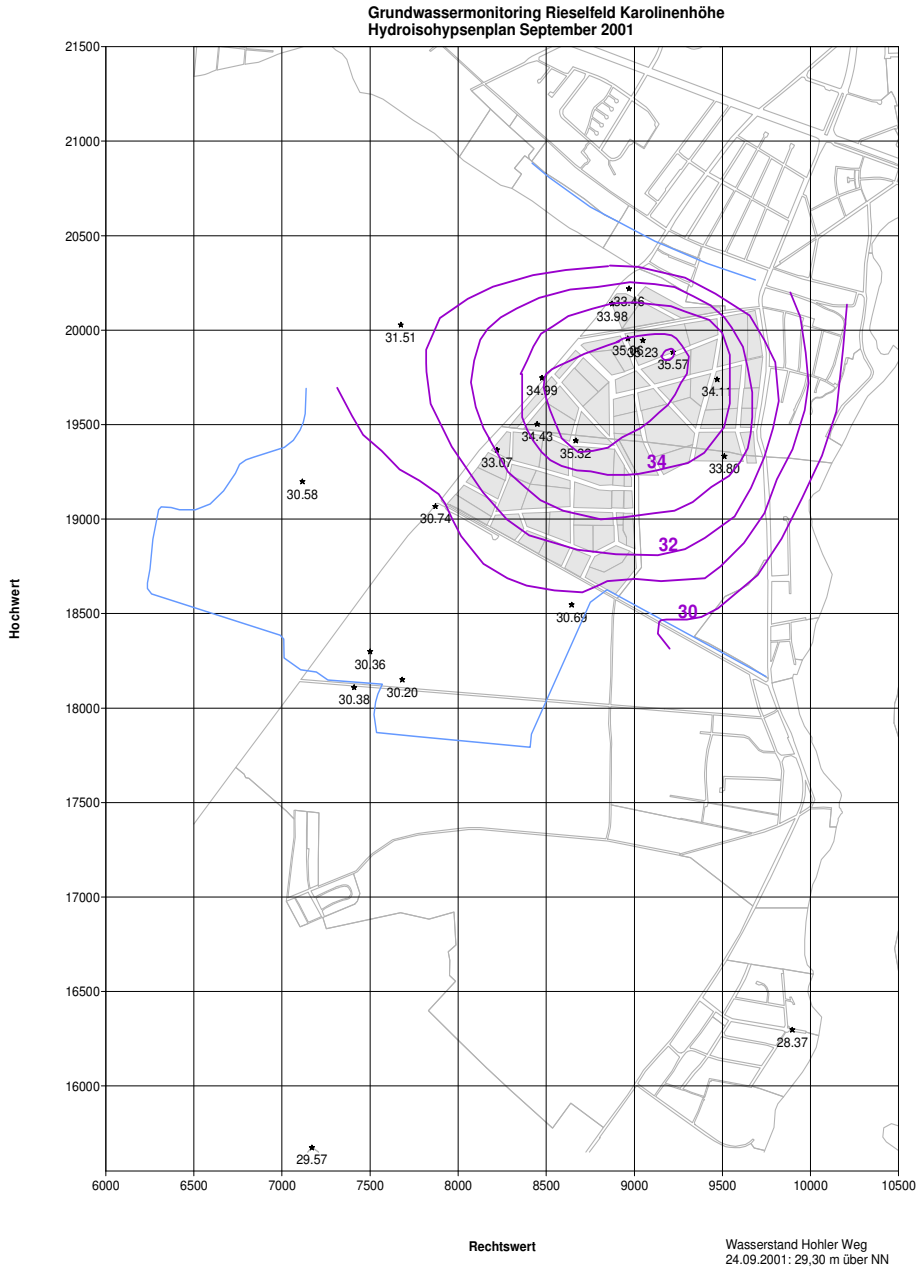
**Abb. 23** Grundwasserisohypsen im September 1995 im 1. GWLK



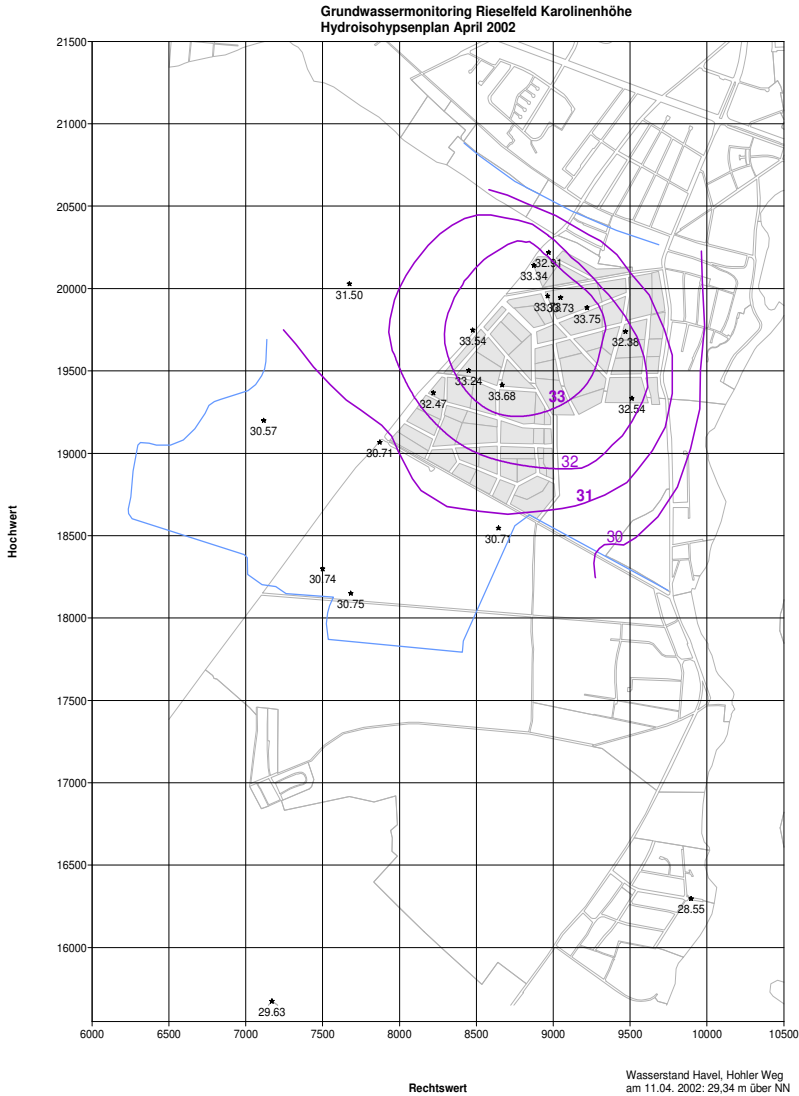


*2001/ 2002*

Die Isohypsen von September 2001 zeigen ein Hochplateau (35 m ü. NN) unter der Parzelle B und dem westlichen Teil der Parzellen A und C (Abb.25). Dieser Wasserstand ist um rund 5 Meter tiefer als der im September 1995. Im April 2002 bildete sich ein Hochplateau (rund 33 m ü. NN) unter dem Zentrum des Rieselfeldes aus. Der Höchstwasserstand im Zentrum des Rieselfeldes ist auf 33 m ü. NN gesunken. Verbunden mit den gesunkenen Grundwasserständen sind im Vergleich zur Situation 1995 geringere Grundwassergefälle in alle Richtungen zu verzeichnen (Abb.26).



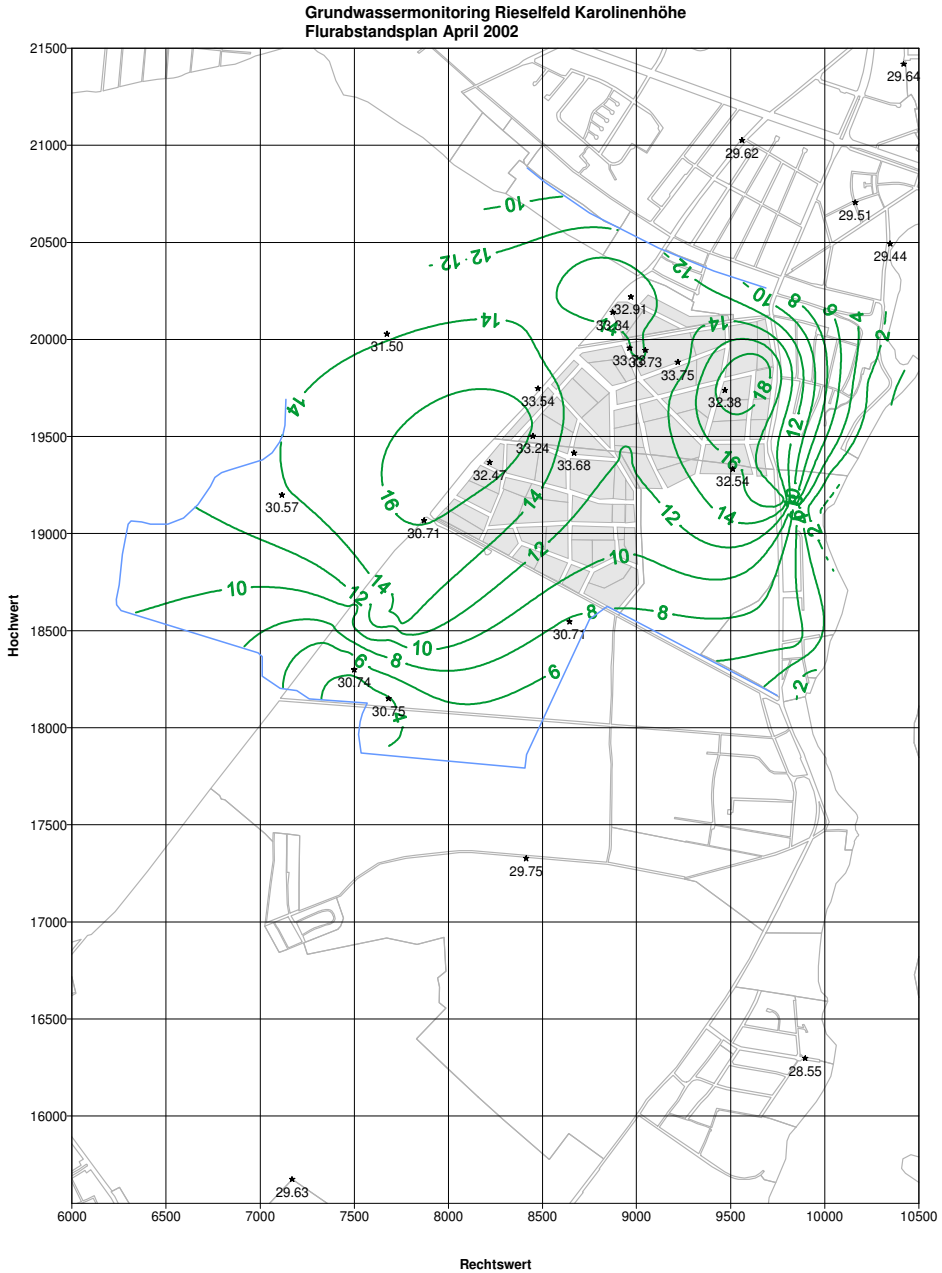
**Abb. 25** Grundwasserisohypsenplan für den 1. GWLK September 2001



**Abb. 26** Grundwasserisohypsenplan für den 1. GWLK April 2002

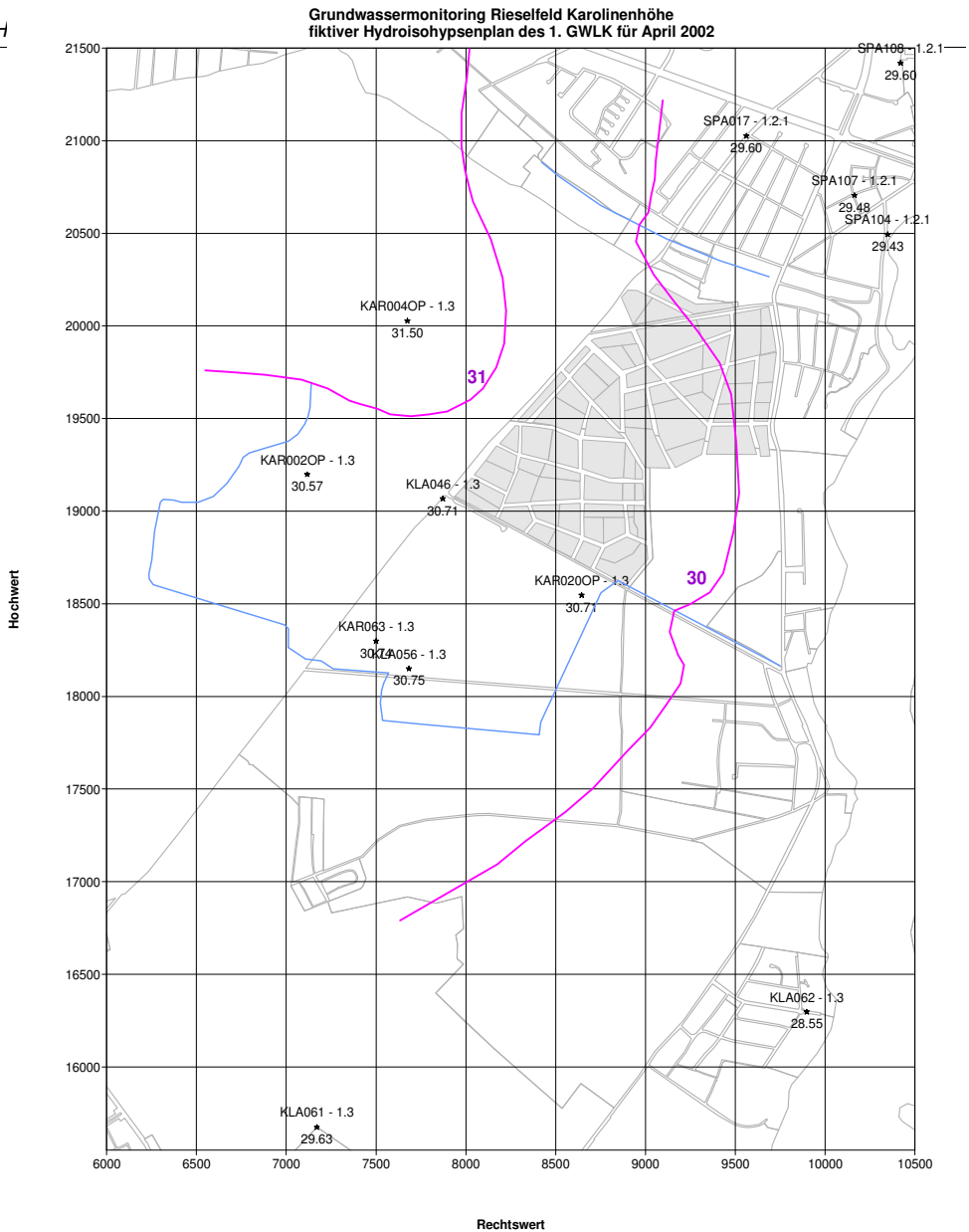
### *Flurabstände 2002*

Für April 2002 zeigt Abbildung 27 Flurabstände von 18 bzw. 16 m in den Bereichen der höchsten Geländeerhebungen. Im Bereich des südlichen Auffanggrabens beträgt der Flurabstand rund 5 m und unter dem zentralen Teil des Rieselfeldes rund 13 m.



**Abb. 27** Flurabstandsplan des 1. GWLK für April 2002

Anhand der Clusteranalyse konnten im 1. GWLK hydraulisch relativ unbeeinflusste Messstellen identifiziert werden. Mit Hilfe der Wasserstandsdaten dieser Messstellen wurde ein fiktiver Isohypsenplan erstellt, welcher schematisch die Situation ohne eine künstliche Beaufschlagung widerspiegelt. Abbildung 28 zeigt diesen schematischen Grundwassergleichenplan für April 2002. Dabei zeigt sich deutlich die natürliche, nicht beaufschlagungsübergeprägte Fließrichtung von Westen nach Osten mit einem geringen Gefälle. Aus der Abbildung wird gleichzeitig deutlich, dass die Wasserscheide im Bereich der Rieselfelder sich bei fehlender Beaufschlagung abbaut und die Einzugsgebietsgrenze deutlich durch die Wasserwerke Spandau und Kladow/ Nedlitz geprägt wird.

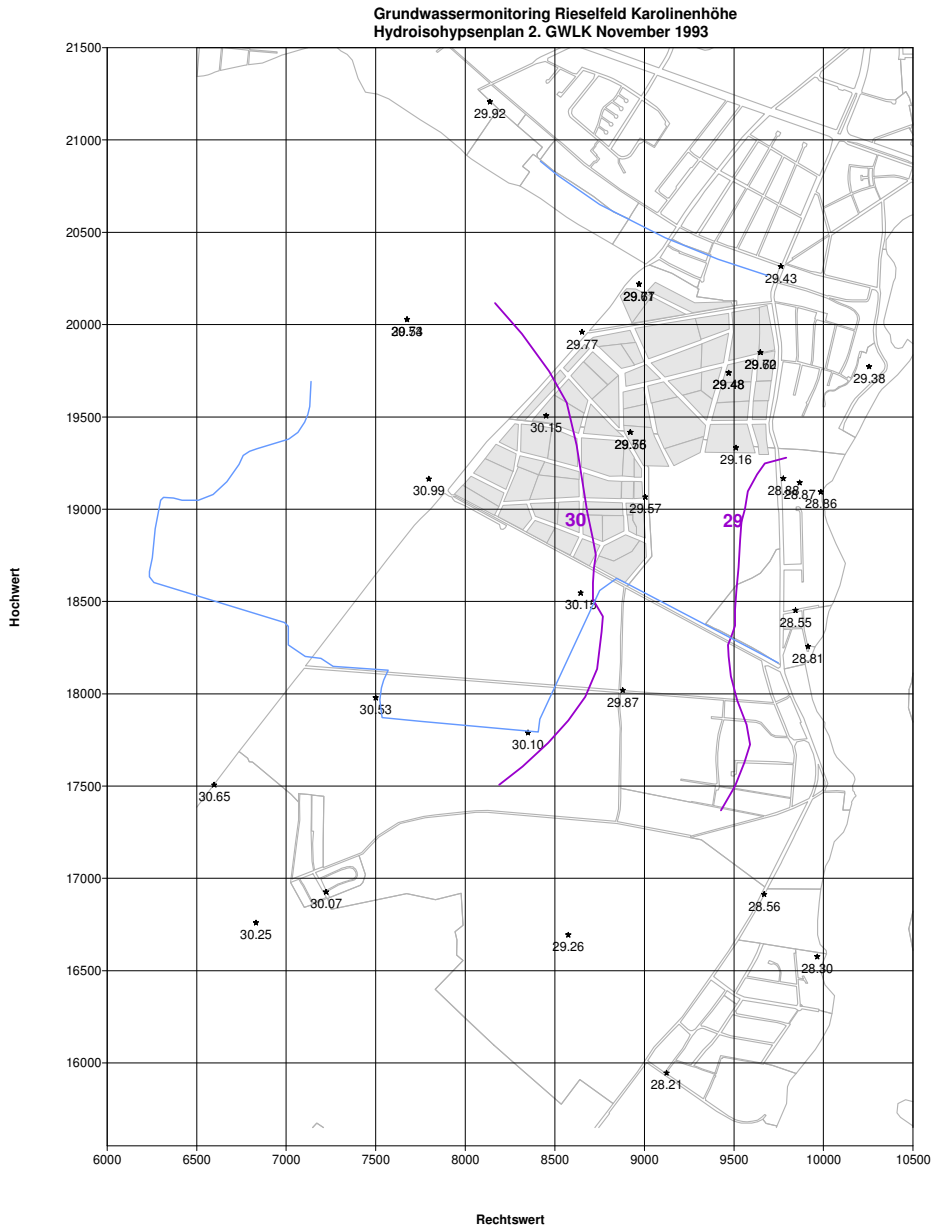


**Abb. 28** Fiktiver Grundwasserisohypsenplan des 1. GWLK April 2002

### Der 2. GWLK

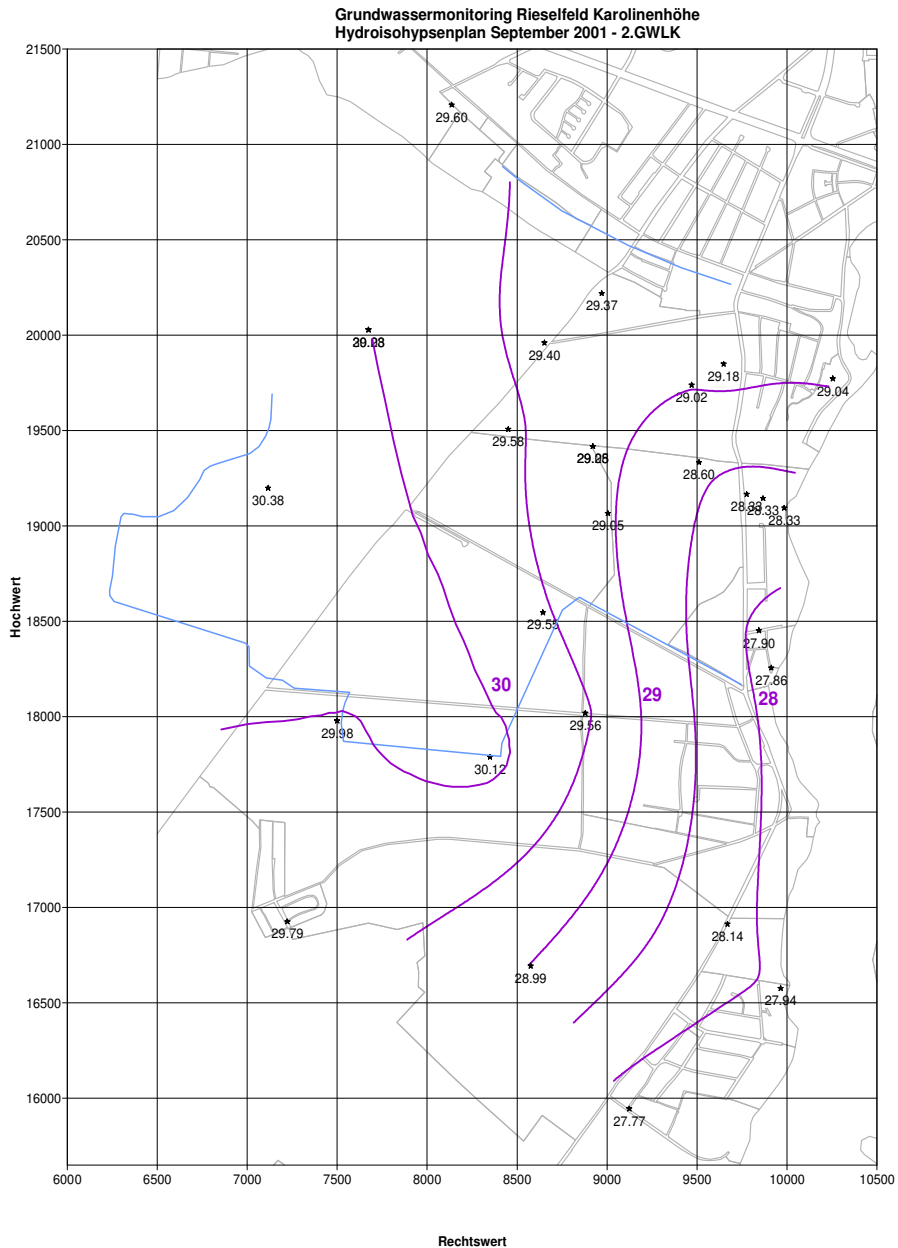
Wie aus der Clusteranalyse folgt, wird die hydraulische Situation im 2. GWLK nicht von der Beaufschlagung des Rieselfeldes überprägt. Die Grundwasserhöhen im 2. GWLK lagen im November 1993 (Abb. 29) bei knapp 31 m im Westen und bei 29 m ü. NN im Osten und kennzeichnen die natürliche Grundwasserfließrichtung von

West nach Ost. Bis zum September 2001 (Abb. 30) sanken die Grundwasserhöhen leicht auf 30 m ü. NN im Westen und 28 m ü. NN im Osten.



**Abb. 29** Grundwasserisohypsenplan des 2. GWLK im November 1993

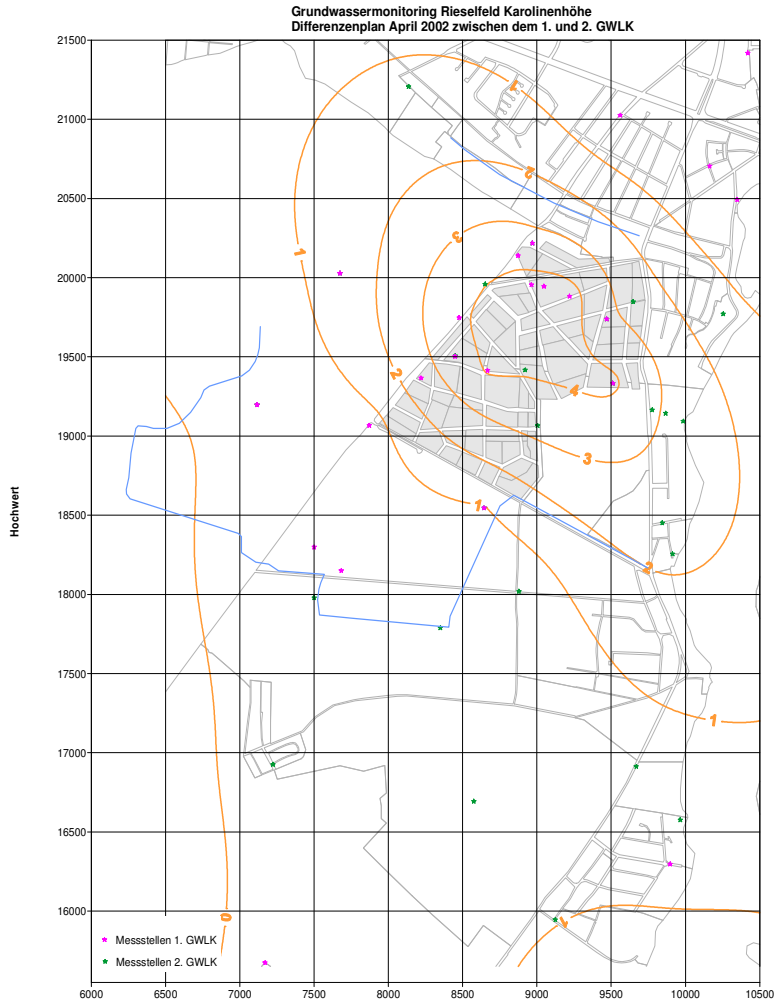




**Abb. 30** Grundwasserisohypsenplan des 2. GWLK im September 2001

Bei niedrigen Wasserständen macht sich die Förderung der Wasserwerke Tiefwerder und Kladow/ Nedlitz deutlicher im Grundwassergleichenplan und einem stärkeren Grundwassergefälle bemerkbar.

Der Differenzenplan zwischen dem 1. und 2. GWLK (Abb. 31) zeigt, dass das Druckpotential des 1. GWLK über dem des 2. GWLK liegt. Dabei beträgt der Unterschied nur noch 4 Meter; im Dezember 1989 betrug er noch 6 Meter.



**Abb. 31** Differenzenplan April 2002

Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes sind die Druckunterschiede nahezu ausgeglichen, allerdings steht für dieses Gebiet nur ein Messwert zur Verfügung (KLA061).

## 5.4 Modellierung der hydraulischen Situation am Beispiel der Jahre 1995/1996

Zur Erfassung der Grundwasserfließverhältnisse im Rieselfeldbereich wurde aufbauend auf dem HSM Tiefwerder ein kleinräumiges, dreidimensionales Modell erarbeitet und mit Hilfe der Simulationssoftware FEFLOW eine stationäre Strömungsmodellierung für die Monate September 1995, April 1996 und September 1996 durchgeführt. Neben der Klärung der Grundwasserabströmbedingungen war u.a. Ziel der Modellierung, die konkreten beaufschlagten Mengen und Flächen zu identifizieren, und sie mit den Ergebnissen der oben beschriebenen Clusteranalyse zu vergleichen.

### 5.4.1 Modellaufbau

#### *Das Modellgebiet*

Das Modell berücksichtigt nur das Gebiet des Rieselfeldes und die Einflüsse durch den Rieselfeldbetrieb. Nicht berücksichtigt wurde die Wasserentnahme aus den tieferen Grundwasserleitern durch die angrenzenden Wasserwerke.

Im Süden und Norden wird das Modellgebiet durch die Auffanggräben begrenzt, im Osten durch die natürliche Vorflut, die Havel. Die westliche Grenze orientiert sich an Grenze des HSM Tiefwerder. Das Modellierungsgebiet hat eine Größe von 7,36 km<sup>2</sup>.

#### *Die Schichten – Layers*

Das Modell umfasst sechs Schichten (siehe Abb. 32).

Die erste Schicht bildet der obere unbedeckte Grundwasserleiter. Die zweite Schicht wird durch den oberen Grundwasserstauer (jüngerer saalekaltzeitlicher Geschiebemergel, qsWA) gebildet. Der Stauer ist im Norden und Westen am mächtigsten und im Süden und Osten geringmächtiger. Die Mächtigkeit des Stauers variiert zwischen 0,20 m und 14,5 m. Im Nordwesten des Rieselfeldes existiert ein hydraulisches Fenster, welches des 1. und 2. GWLK verbindet.

In Kapitel 4 wurde beschrieben, dass der 2. GWLK teilweise durch einen Geschiebemergelhorizont (qsD) unterteilt ist. Diesem Sachverhalt wurde im Modell Rechnung getragen. Die Grundwasserleiter 2.2.1 und 2.1.3 des HSM Tiefwerder wurden der dritten Modellschicht zugeordnet, dem vierten Layer der Geschiebemergelhorizont (qsD) und der fünften Modellschicht der GWL 2.1.

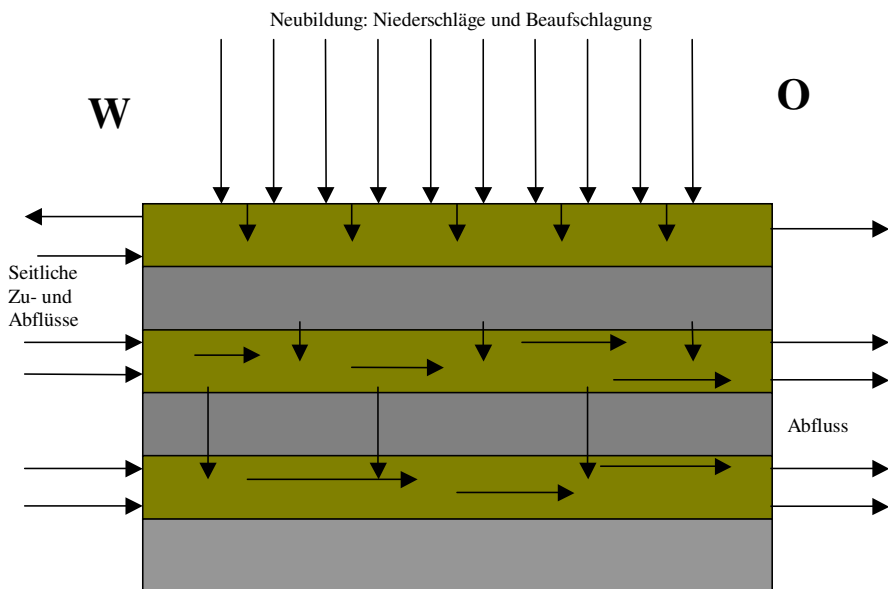
Die sechste Modellschicht entspricht dem Holstein-Komplex (qhol). Dieser ist nicht im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet. Seine Mächtigkeit beträgt 4 bis 17 Meter.

### *Schematische Beschreibung des Fließsystems*

In den ersten Grundwasserleiterkomplex gelangt Wasser in den Modellierungsbereich durch infiltriertes Niederschlags- und Beaufschlagungswasser.

Aufgrund der ausgebildeten Toplage fließt das Wasser im ersten GWLK in alle Richtungen ab. Im Norden und Süden wird der 1. GWLK durch die Auffanggräben und im Osten durch die Havel entwässert. Ein Teil des Wassers kann durch das hydraulische Fenster in den 2. GWLK infiltrieren.

Im zweiten und dritten GWL fließt das Wasser seitlich von Westen her zu und nach Osten zur Havel ab. Neben der Speisung über das erwähnte Fenster im Nordosten kann an Stellen mit geringer Mächtigkeit des ersten Grundwasserstauers Grundwasser aus dem ersten GWL auf Grund des nach unten gerichteten Druckpotentials potentiell in den 2. GWL überströmen.



**Abb. 32** Schematischer Modellaufbau und Wasserbewegungen

## 5.4.2 Modellierung und Ergebnisse

### Vorgehensweise

Das Modell wurde für die hydrogeologischen Verhältnisse im September 1995 aufgestellt und kalibriert.

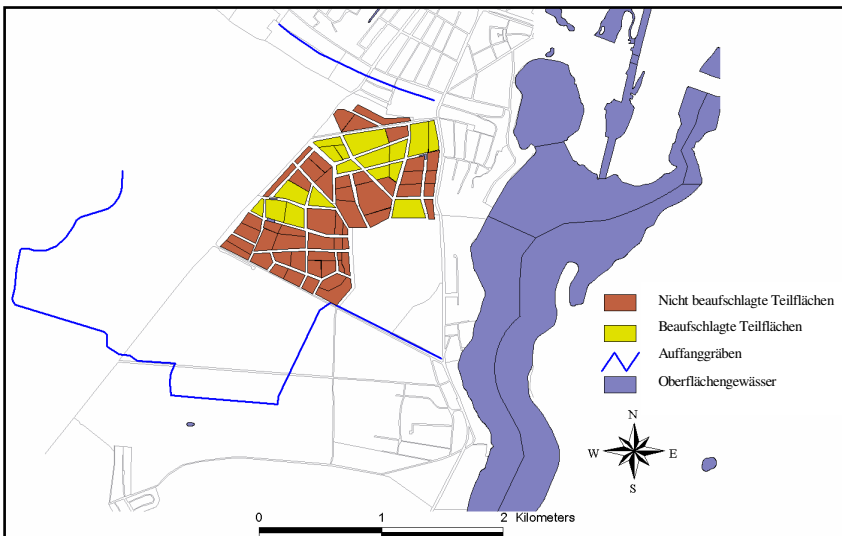
Diese Situation wurde deshalb gewählt, da ab diesem Zeitpunkt monatliche Zeitreihen der Grundwasserstände vorlagen. Weiterhin war zu diesem Zeitpunkt die Beaufschlagungsmenge am größten und wurde seitdem ständig verringert.

Zum Vergleich wurde die Situation im Frühjahr im Herbst des Folgejahres modelliert

### Ergebnisse September 1995

#### Beaufschlagungsflächen

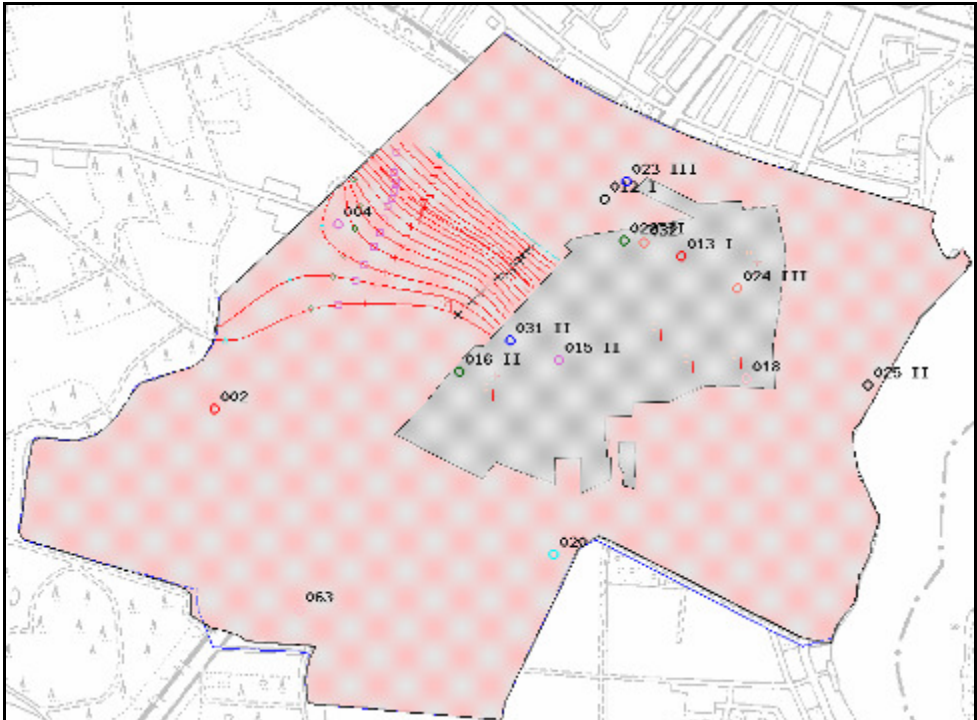
Abbildung 33 zeigt die Flächen, auf welchen anhand der Ergebnisse der Modellierung eine Abwasserbeaufschlagung identifiziert werden konnte.



**Abb. 33** Ermittelte Beaufschlagungsflächen September 1995

### Fließzeiten und Fließwege

Mit dem erarbeiteten Modell war es möglich, die Fließzeiten des Grundwassers in den verschiedenen Grundwasserleitern zu bestimmen.



**Abb. 34** Fließzeiten aus dem Beaufschlagungsgebiet Richtung Westen im 1. GWLK

Es zeigt sich, dass das Grundwasser von den Beaufschlagungsflächen bis zur Westgrenze des Modells 6,5 bis 8,5 Jahre benötigt (siehe Abb. 34). Im zweiten Grundwasserleiter benötigt das Wasser von der Westgrenze bis unter das Beaufschlagungsgebiet mehr als 15 Jahre.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden auf ausgewählten Profilschnitten die Fließzeiten bestimmt. Abbildung 35 zeigt die im Folgenden dargestellten Schnittspuren.

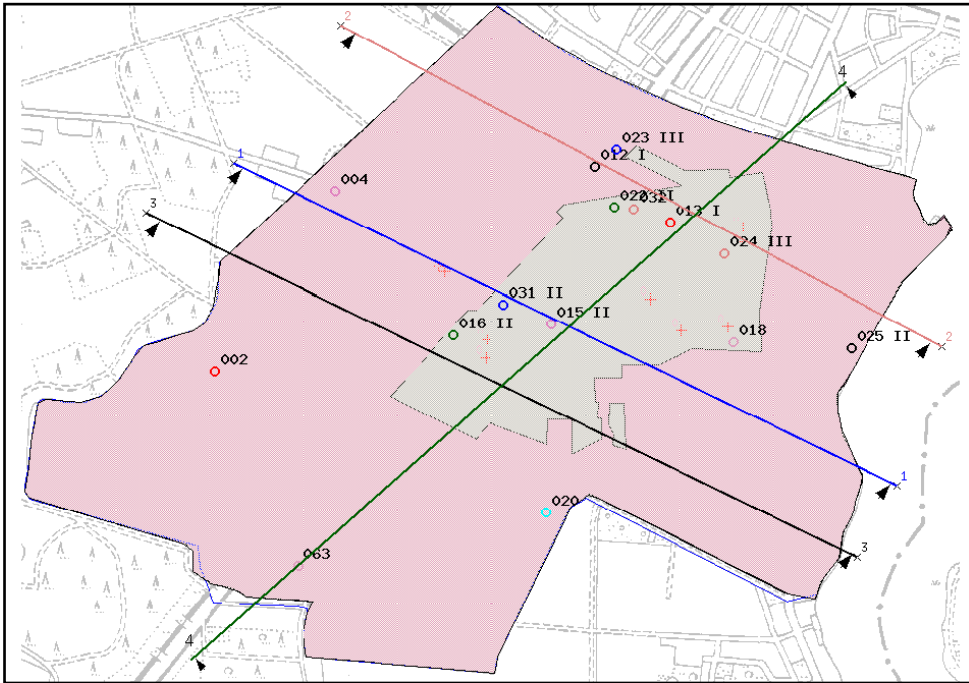


Abb. 35 Schnittpuren für die im Weiteren dargestellten Fließwege

Entlang der Schnittpur 1-1 benötigt ein Teilchen, welches nach Osten in Richtung Havel abfließt, ungefähr 15 Jahre um den ersten Grundwasserstauer zu durchdringen und wird die Havel in frühestens nach 20 Jahre erreichen. Ein Teilchen, welches nach Westen abfließt, wird nach 15 Jahren die Grenze des Untersuchungsgebietes passieren, jedoch noch nicht den Stauer durchdrungen haben. (siehe Abb. 36)

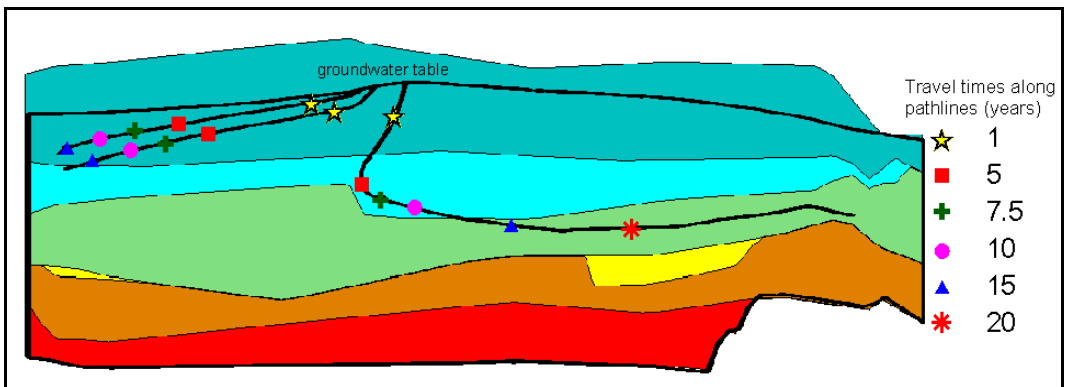
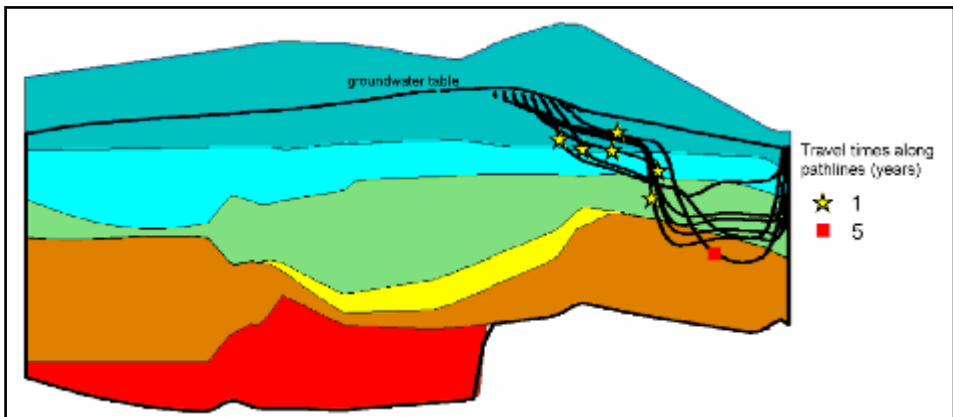


Abb. 36 Fließwege und -zeiten entlang Schnittpur 1-1 im September 1995

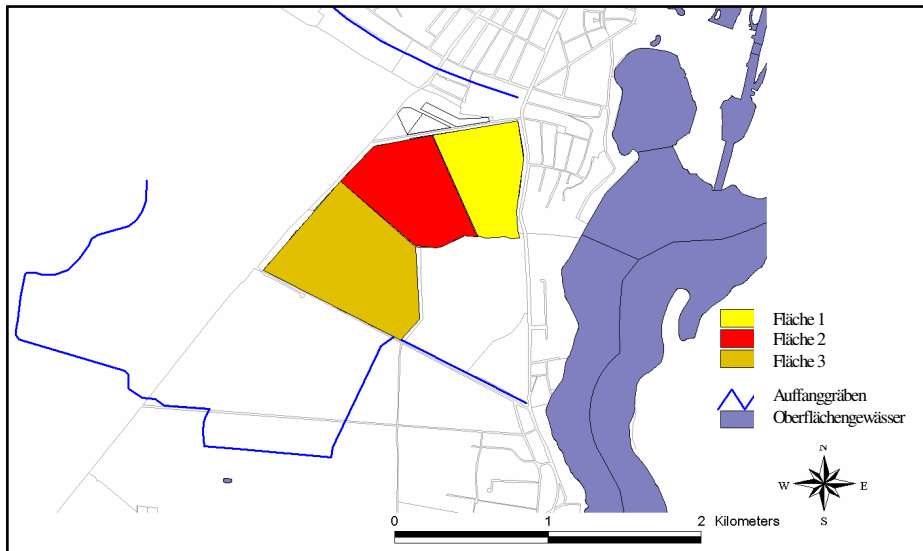
Abbildung 37 zeigt den Einfluss des Fensters im Stauer im nordöstlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Entlang des Schnittes 2-2 benötigen Teilchen nur ein Jahr, um in den 2. Grundwasserleiter zu gelangen.

Generell ergibt sich damit hier eine Gefährdung des 2. Grundwasserleiters bei längeren Belastungszeiten.



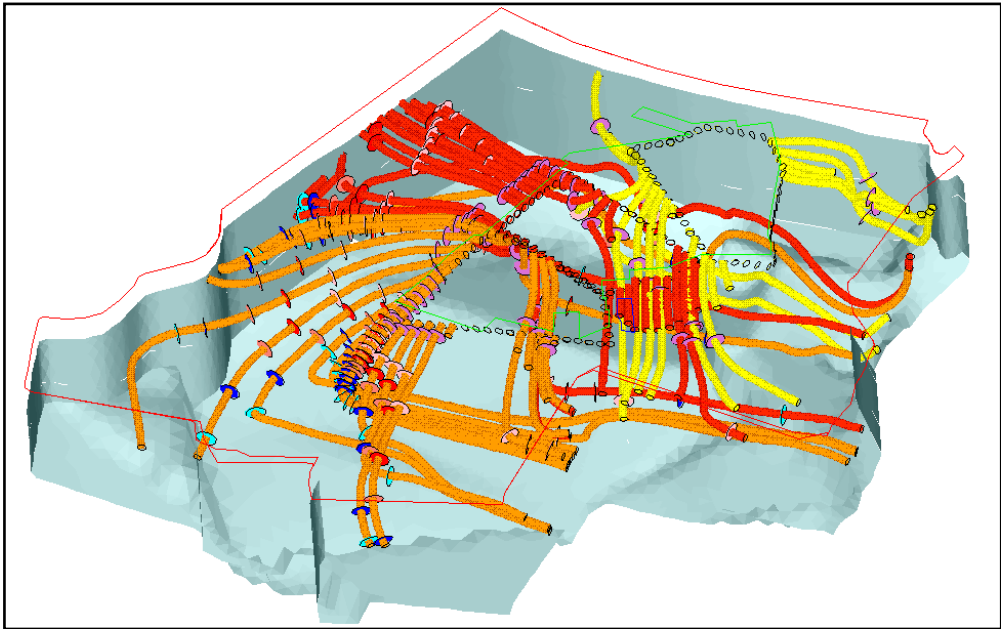
**Abb. 37** Fließwege und -zeiten entlang Schnittspur 2-2 im September 1995

Eine 3-D-Ansicht zeigt die Fließbewegungen des Wassers von den Rändern der verschiedenen Beaufschlagungsflächen (Abb. 39).



**Abb. 38** Flächenunterteilung für die 3D-Darstellung





**Abb. 39** 3D-Fließbild

Dabei wird deutlich, dass sich das auf die nördlichste Fläche aufgebrachte Wasser vorrangig nach Osten in Richtung Havel bewegt und durch das Fenster in den 2.Grundwasserleiter eindringt (gelb dargestellt).

Die Fließwege des Wasser aus dem zentralen Beaufschlagungsbereich (rot dargestellt) verlaufen nach Westen oder Südosten, und das Wasser verlässt das Gebiet entweder über die westliche Grenze oder infiltriert in den südöstlichen Teil des südlichen Auffanggrabens.

Die Wässer aus dem südlichen Beaufschlagungsgebiet (orange dargestellt) bewegen sich in unterschiedliche Richtungen. Sie entwässern jedoch größtenteils nach Süden in den südlichen Auffanggraben.

Nur die Wässer aus dem nördlichen Bereich dringen im Nordosten, in Havelnähe in tiefere Schichten ein und entwässern dort auf kurzem Wege in die Havel.

### Ergebnisse April 1996 und September 1996

Die Modellierung für die beiden weiteren Zeitpunkte zeigte, dass damit eine Identifikation der beaufschlagten Flächen möglich ist.

Bei der Bestimmung der Fließzeiten und Fließwege wurden ebenfalls die Ergebnisse der Modellierung für September 1995 bestätigt. Bei der Modellierung für April 1996 ergaben sich für das Wasser des 1. GWLK Fließzeiten von 6,5 Jahre von der Beaufschlagungsfläche zum westlichen Rand des Modellgebietes, während die Modellierung für September 1996 Fließzeiten von 8,5 bis 10 Jahre ergab.

Für das Wasser des 2. GWLK ergaben sich in beiden Fällen Fließzeiten von 15 Jahren von der westlichen Modellgrenze bis unter den Verrieselungsbereich.

Die Fließwege für April und September 1996 zeigen ebenfalls einen ähnlichen Verlauf wie die für September 1995. Stellvertretend sei hier die Situation entlang der Schnittpur 3 – 3 für April 1996 dargestellt (Abb. 40). Das Wasser hat innerhalb von 20 Jahren den Stauer noch nicht durchdrungen.

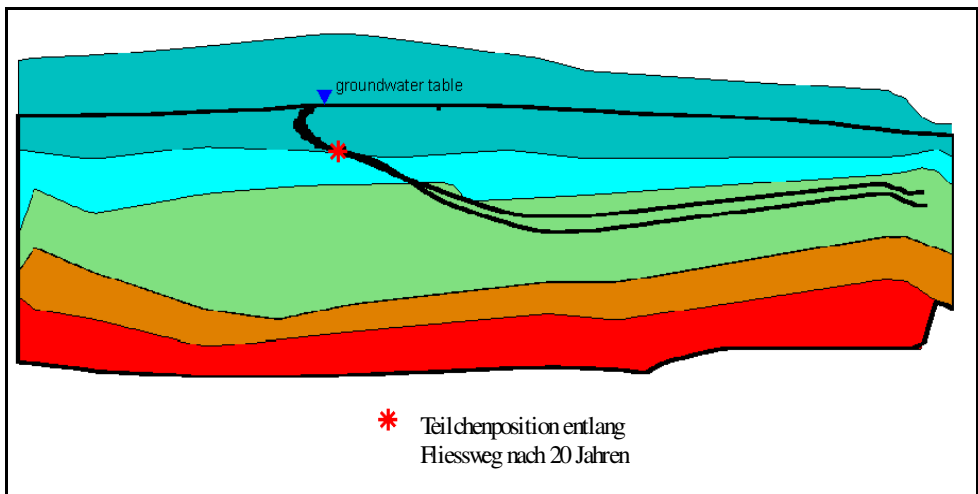


Abb. 40 Fließweg und –zeit entlang Schnittpur 3-3 im April 1996



## 6 Hydrochemie

Das Grundwasser im Bereich des Rieselfeldes wurde unregelmäßig untersucht. Im Rahmen der Rieselfeldstudie (September 1987 – Februar 1990) wurden umfangreiche Beschaffenheitsmessungen vorgenommen und ausgewertet. Im Jahr 1991 wurde keine Beschaffenheitsuntersuchung durchgeführt. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die beschaffenheitsseitig untersuchten Messstellen im Untersuchungsgebiet.

**Tab. 3** Anzahl der jährlichen Probenahme in den Messstellen in den Messgebieten Karolinenhöhe und Kladow (1990 – 2003)

Name der Messstelle	Grundwasserstockwerk	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
KAR001MP	2.1			2	1	2				1					
KAR001OP	1.3			2	1	2				1					
KAR001UP	3.1.2			2	1	2									
KAR002OP	1.3					2									
KAR002UP	2.1					2									
KAR003OP	1.3			2	1	2									
KAR003UP	2.1			2	1	2									
KAR004MP	2.1			2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
KAR004OP	1.3			2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
KAR004UP	2.3			2	1	2									
KAR012OP	1.3	1		1	1	1									
KAR012UP	1.3	1		1	1	1									
KAR013OP	1.3	1				1									
KAR013UP	1.3	1				1	4	4	4	2	2	2	2		
KAR014UP	1.3	1													
KAR015OP	1.3	1		2	1									2	2
KAR015UP	1.3	1		2	1										
KAR016OP	1.3	1		2	1										
KAR016UP	1.3	1		2	1										
KAR017MP1	2.1; 2.2.1	1		1	1	3	4	4	4	2	2	2	2		
KAR017MP2	3.1.2	2		2	1	3									
KAR017OP	2.1	1		1	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR017UP	3.3	1		2	1	3									
KAR018OP	1.3	1		2	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR018UP	2.1	1		2	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR019OP	2.1	1		2	1	2									
KAR019UP	2.2.1	1		2	1	2									
KAR020MP	2.1	1		2	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR020OP	1.3	1		2	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR020UP	2.2.1	1		2	1	3									
KAR021OP	1.3					3									
KAR021UP	2.1					3									
KAR022MP	1.3					1									
KAR022OP	1.3					1									
KAR022UP	1.3					1									

KAR023MP	2.1	1	2	1	3									
KAR023OP	1.3	1	2	1	3									
KAR023UP	2.3	1	2	1	3									
KAR024MP	2.1	1	1	1	3	4	4	5	2	2	2	2	3	2
KAR024OP	1.3	1	1	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR024UP	2.1.3	1	1	1	3									
KAR025OP	1.3.3	1	2	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR025UP	3.1.2	1	2	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR026MP	1.3		1	1	1									
KAR026OP	1.3		1	1	1									
KAR026UP	1.3		1	1	1									
KAR028MP	1.3		2	1										
KAR028OP	1.3		2	1										
KAR028UP	1.3		2	1										
KAR029MP	1.3		1	1										
KAR029OP	1.3		1	1										
KAR029UP	1.3		1	1										
KAR030MP	1.3		1	1										
KAR030OP	1.3		1	1										
KAR030UP	1.3		1	1										
KAR031MP1	1.3		1	1	3									
KAR031MP2	1.3		1	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR031OP	1.3		1	1	3									
KAR031UP	2.1		1	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR032	1.3		1	1	1	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KAR039	1.3		2	1										
KAR066	2.1		2	1	3									
KLA043	2.1				3	4	4	4	2	2	2	2	2	2
KLA044	2.1	1												
KLA047	2.1	1	2	1	3							1	1	
KLA057	2.1		1	1	3									
KLA060	2.1		2	1	3	4	4	4	2	2	2	2	2	2

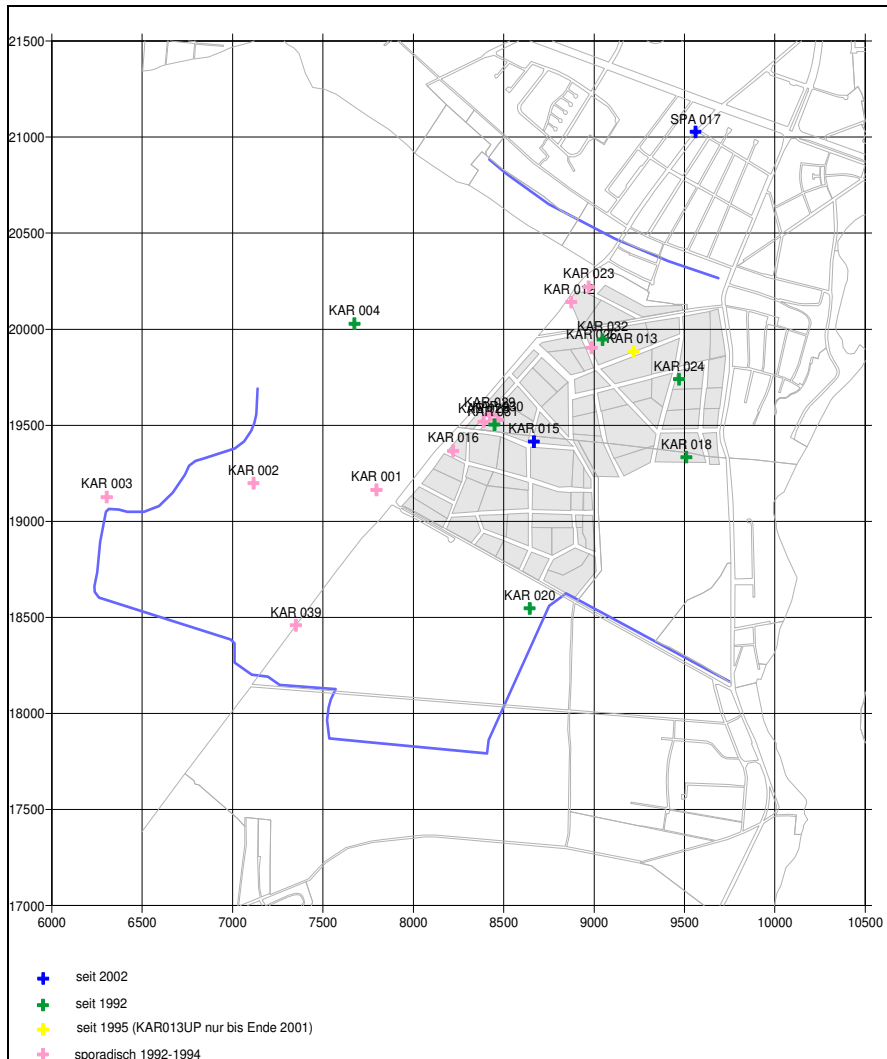
Die hydrochemische Situation im Untersuchungsgebiet soll anhand von ausgewählten Parametern beschrieben werden. Als Parameter wurden gewählt:

- die abwasserrelevanten Screening - Parameter Bor und Chlorid,
- die eutrophierungsrelevanten Nährstoffe Phosphor ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ), Stickstoff ( $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{NO}_3\text{-N}$ ), Sulfat und Kalium,
- AOX, da dafür in der Wasserbehördlichen Erlaubnis die Jahresfracht festgesetzt ist.

Bor und Kalium wurden im Rahmen der Rieselfeldstudie (Analysen von 1988 bis 1990) nicht untersucht. Im Rahmen des Grundwassermonitoring wurden die Proben ab 1992 einmal jährlich (im Frühjahr oder Sommer) auf Bor und Kalium analysiert.

Die anderen ausgewählten Parameter wurden bei jeder Probenahme untersucht.

## 6.1 Der 1. Grundwasserleiterkomplex



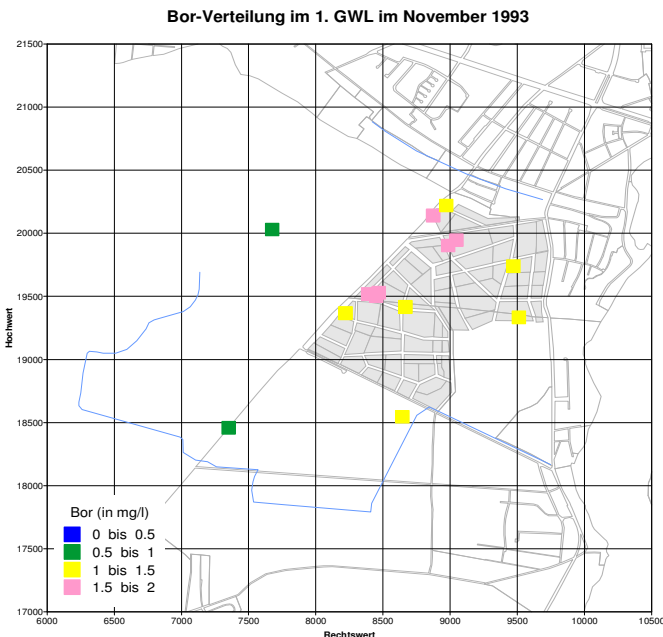
**Abb. 41** Beschaffenheitsmesspunkte im 1. GWLK

## Bor

Geogene Borgehalte in quartären Lockergesteinen liegen in der Größenordnung bis 0,1 mg/l. Die analysierten Konzentrationen von Bor im aufgebrauchten Klarwasser schwankten 1994 zwischen 1,1 und 1,6 mg/l. Das Bor im Abwasser stammt zum größten Teil aus Waschmitteln (z.B. Perborate als Bleichmittel). Aufgrund ihrer hohen Löslichkeit werden Borverbindungen bei der Abwasserbehandlung kaum eliminiert (Scheffer/ Schachtschabel, 1998).

Für den Zeitraum von 1995 bis 2001 lagen keine Angaben zur Bor - Konzentration im Abwasser vor, ab 2001 schwankte sie zwischen 0,4 und 0,7 mg/l.

Die Verteilung der Bor-Konzentrationen im 1. GWLK im November 1993 zeigt Abbildung 42. Die maximalen Bor-Konzentrationen bis zu 1,87 mg/l finden sich unter den Verrieselungsflächen, besonders unter den Versuchsflächen der Rieselfeldstudie. Die Pegel westlich des Rieselfeldes Karolinenhöhe sind geringer beeinflusst, jedoch zeigen auch sie erhöhte Werte (0,5 – 1 mg/l). Im März 1994 wurden in allen Messstellen im Verrieselungsbereich Bor-Konzentrationen von 1,5 – 2 mg/l nachgewiesen.

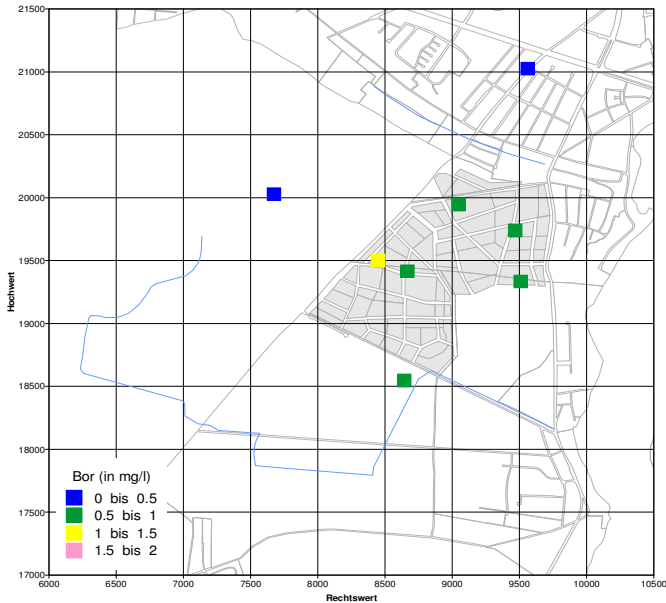


**Abb. 42** Borverteilung im 1. GWLK im November 1993

Im April 2002 (Abb. 43) weist das Grundwasser im 1. GWLK Bor-Konzentrationen von unter 1,36 mg/l auf. Die höchsten Konzentrationen sind ebenfalls unter dem

Rieselfeld zu finden. Außerhalb des Rieselfeldes gehen die Gehalte unter 0,5 mg/l zurück, die Messstelle SPA017 weist Borgehalte von 0,054 mg/l auf, was im Bereich der natürlichen Konzentration im Grundwasser liegt.

**Bor-Verteilung im 1. GWL im April 2002**



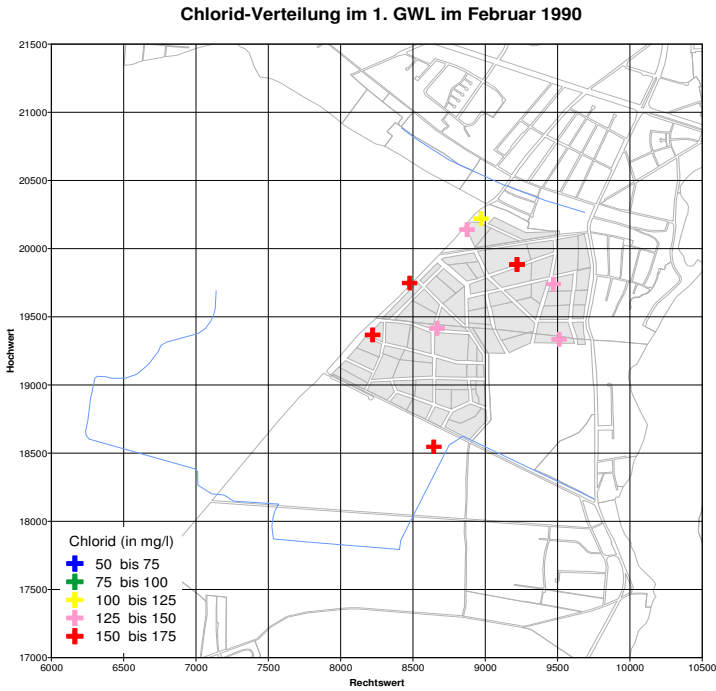
**Abb. 43** Borverteilung im 1. GWL im April 2002

### *Chlorid*

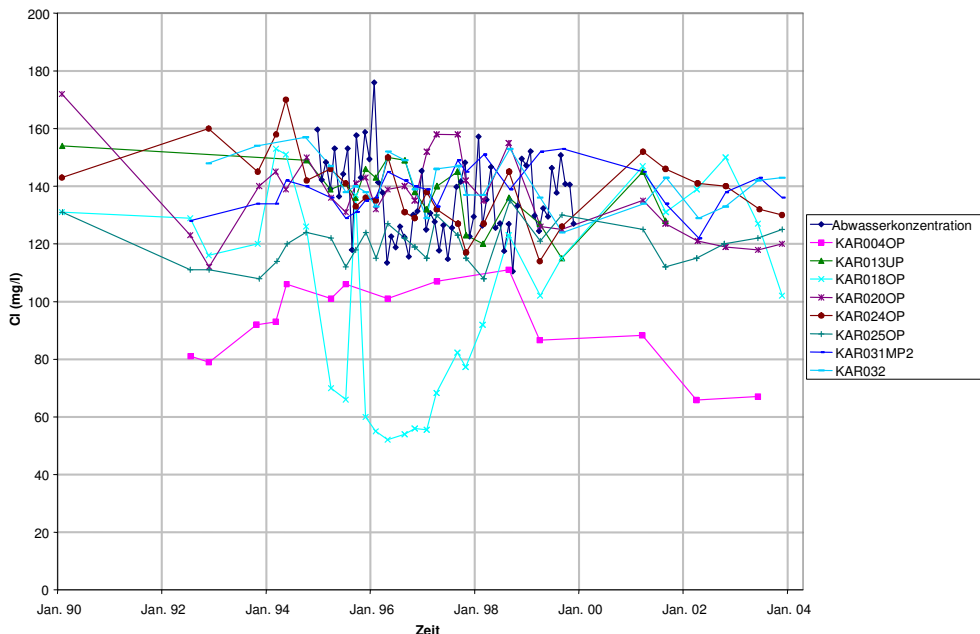
Chlorid ist sehr reaktionsträge und sehr mobil; es wird nicht absorbiert und somit schnell aus dem Boden ausgewaschen.

Die Konzentrationen von Chlorid im Grundwasser lagen im Februar 1990 im Bereich des Rieselfeldes zwischen 125 und 175 mg/l, nur im Norden des Rieselfeldes betrug die Konzentration 112 mg/l (Abb. 44).





**Abb. 44** Chloridverteilung im 1. GWL im Februar 1990



**Abb. 45** Chloridkonzentration in den Messstellen des 1. GWLK

1995 - 1999 lagen die Chlorid - Konzentrationen im Abwasser zwischen 110 und 160 mg/l.

In Abbildung 45 ist die zeitliche Veränderung der Chloridkonzentrationen in den Messstellen des Untersuchungsgebietes dargestellt. In den Jahren von 1990 bis 2001 kam es im Rieselfeldbereich zu keiner merklichen Veränderung der Chloridkonzentration im Grundwasser, die Konzentrationen lagen im Bereich von 100 bis 175 mg/l. Nur im Nordosten zeigen sich geringere Konzentrationen von 84 bis 110 mg/l (Messstelle KAR004OP).

Für März 1994 zeigt auch der Bereich des Rieselfeldes Seeburg erhöhte Konzentrationen (146 - 161 mg/l). Die Pegel im Gebiet Seeburg wurden jedoch nur 1993 – 1994 untersucht.

Erst im April 2002 ist eine leichte Verringerung der Chloridkonzentrationen erkennbar (Abb. 46), was auf die geringeren Beaufschlagungsmengen seit 1996 und die damit verbundene Verdünnung durch natürliche Neubildungswässer zurückzuführen sein kann. Die Konzentrationen im Westen des Rieselfeldbereiches sind auf Werte unter 125 mg/l, im Osten auf unter 150 mg/l gesunken. Sie liegen somit jedoch immer noch über natürlichen Chloridgehalten (<50 mg/l). Die Messstelle KAR004OP westlich der Verrieselungsfläche weist deutlich geringere Chloridkonzentration von 66 mg/l auf. In der Messstelle

SPA017 nördlich des Rieselfeldes wurde für Chlorid eine Konzentration von 12,4 mg/l ermittelt, welche dem natürlichen Gehalt entspricht.

Chlorid-Verteilung im 1. GWL im April 2002

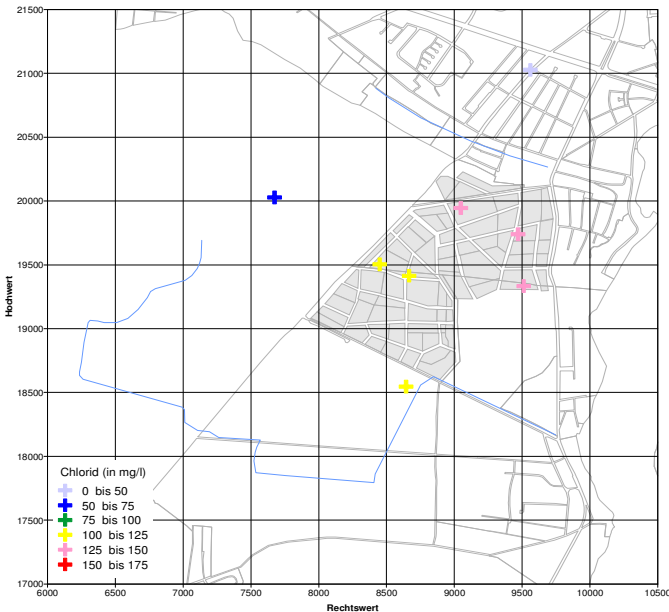


Abb. 46 Chloridverteilung im 1. GWL im April 2002

### Phosphat

Abbildung 47 zeigt die Entwicklung der  $\text{PO}_4\text{-P}$ - Konzentration in den Messstellen des 1. GWL. Die Messstellen innerhalb des Beaufschlagungsgebietes weisen eine höhere Konzentration auf als die heute sehr geringen Konzentrationen (0,2 – 0,5 mg/l) im aufgebrachtten Klarwasser, was auf die Remobilisierung des vorhandenen Phosphatpotenzials aus der organisch – mineralischen Bodenmatrix zurückzuführen ist, wo sich im Ergebnis der Schwarzwasserbringung erhebliche Phosphatmengen in der Versickerungszone akkumuliert haben.

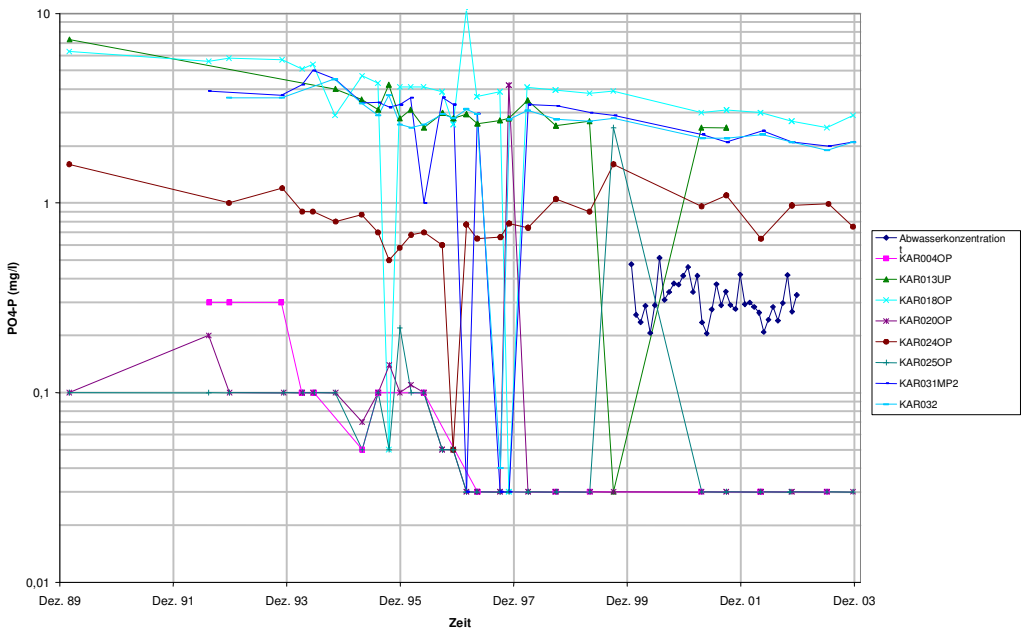


Abb. 47 PO<sub>4</sub>-P-Entwicklung in den Messstellen des 1. GWLK

Im Februar 1990 betrug die Konzentration von PO<sub>4</sub>-P im Verrieselungsbereich bis 7,3 mg/l (Abb. 48). Die Verteilung der Konzentrationen ist jedoch sehr heterogen und reicht von ca. 0,5 mg/l bis ca. 7,3 mg/l. Außerhalb der Rieselflächen ist sie geringer (KAR020, südlich des Verrieselungsbereiches).

PO<sub>4</sub>-P - Verteilung im 1. GWLK im Februar 1990

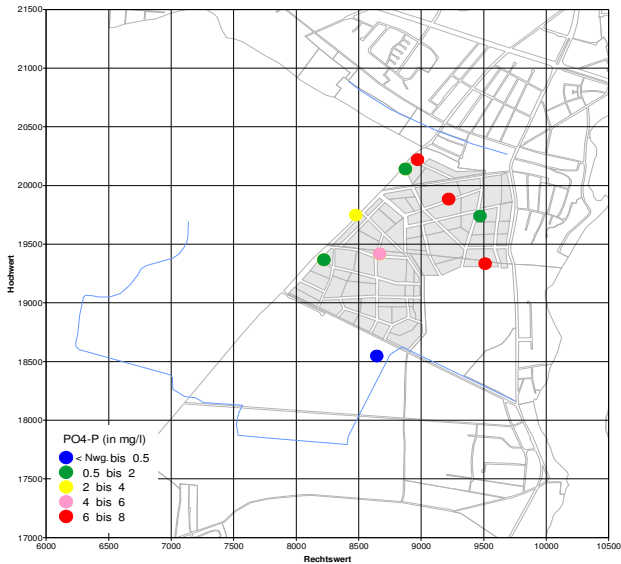
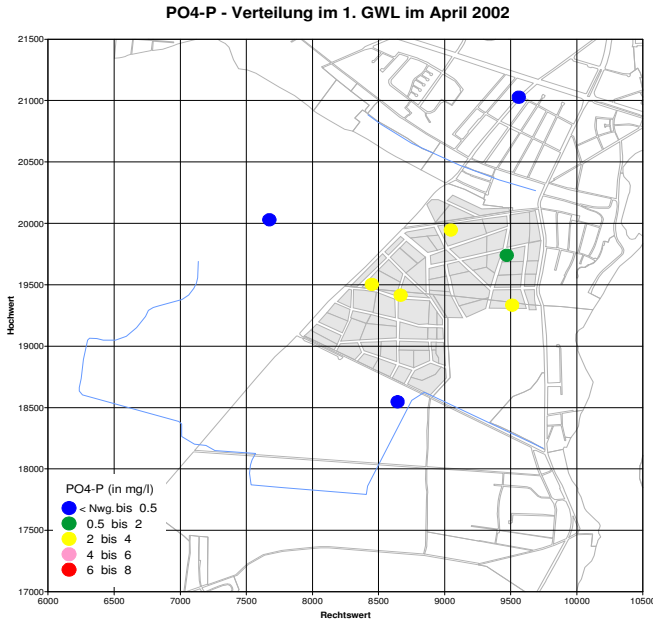


Abb. 48 PO<sub>4</sub>-P-Verteilung im 1. GWLK im Februar 1990

Im April 2002 lässt sich ein deutlicher Rückgang der  $\text{PO}_4$ -Gehalte erkennen. Die Konzentrationen im Rieselfeldbereich liegen überwiegend zwischen 2 und maximal 3,3 mg/l (Abb. 49). Außerhalb des Verrieselungsbereiches lagen die Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze.



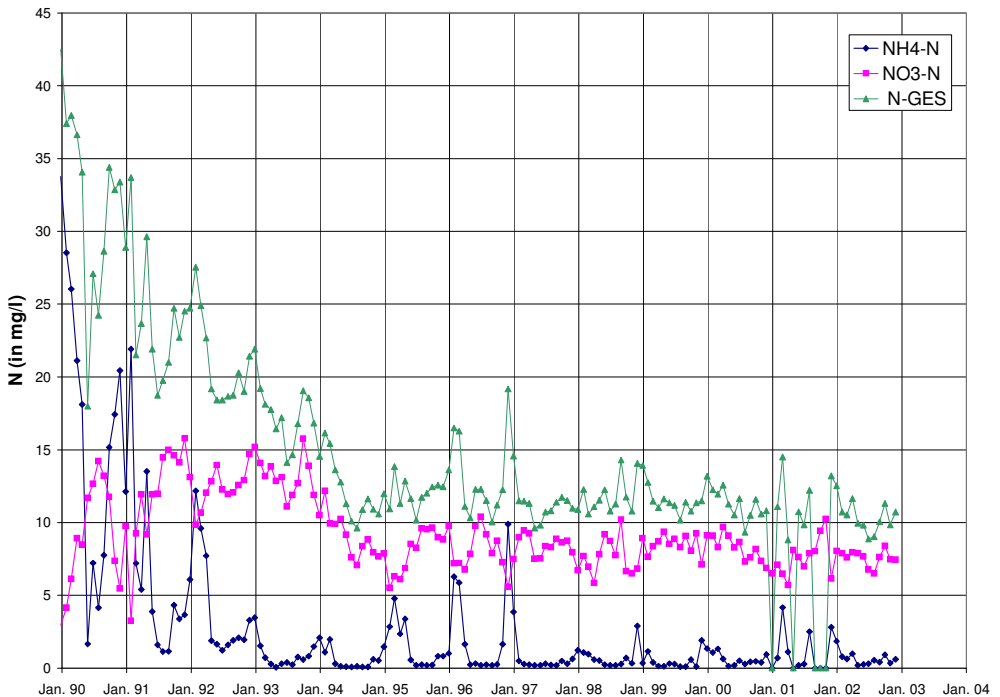
**Abb. 49** PO<sub>4</sub>-P-Verteilung im 1. GWL im April 2002

### Stickstoffverbindungen

Die Entwicklung der Konzentrationen der Stickstoffspezies  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  und N-Gesamt im Abwasser zeigt Abbildung 50.

Die Konzentration von  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Abwasser betrug Anfang 1990 ca. 33 mg/l und sank bis Ende 1990 auf ca. 21 mg/l. Seit März 1992 lag die Konzentration unter 5 mg/l, nur 1996 lag die Konzentration zeitweise bei bis zu 10 mg/l.

Bis Mitte 1991 schwankten die Konzentrationen von  $\text{NO}_3\text{-N}$  im Abwasser zwischen 3 und 15 mg/l. Bis Ende 1993 lagen die Konzentrationen zwischen 10 und 15 mg/l und seit 1994 zwischen 5 und 10 mg/l.

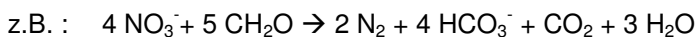


**Abb. 50** Entwicklung der Monatsmittelwerte der Stickstoffspezies im Abwasser

Mit dem Abwasser eingetragenes Ammonium wird i.A. am Sediment der gesättigten und ungesättigten Zone adsorbiert. Unter oxidischen Bedingungen kann  $\text{NH}_4$  zu Nitrat oxidiert werden.



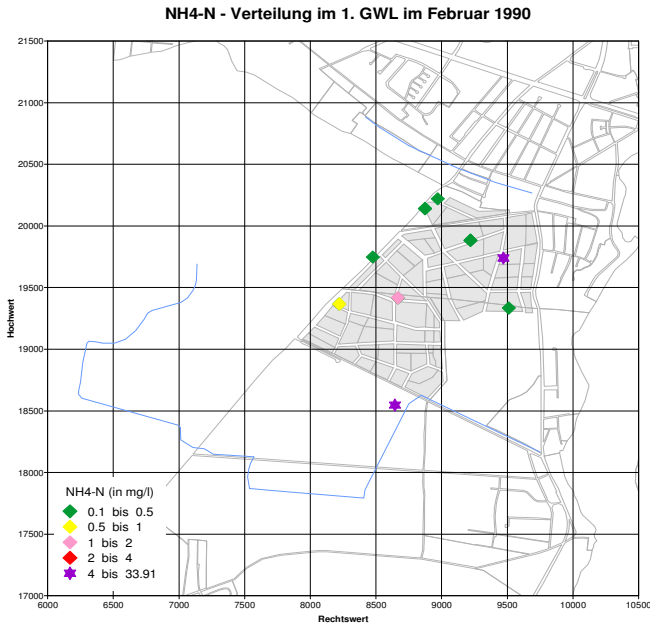
Nitrat wird nur in geringem Umfang am Sediment zurückgehalten. Es ist sehr mobil und kann im Untergrund weit verlagert werden. Es ist jedoch unter reduzierenden Bedingungen zu molekularem Stickstoff abbaubar (Reduktion an organischem Material, Eisensulfiden,  $\text{Fe}^{2+}$ ).



( $\text{CH}_2\text{O}$  – schematische Summenformel für organisches Material)

### Ammonium

Die  $\text{NH}_4\text{-N}$ - Verteilung im Grundwasser im Bereich der Verrieselungstafeln war 1990 sehr heterogen, die Mehrzahl der Messstellen weist Gehalte  $< 0,5 \text{ mg/l}$  auf, es treten jedoch Spitzenkonzentrationen von  $33,9$  bzw.  $17,5 \text{ mg/l}$  auf (Abb. 51). Dieses geht mit stark schwankenden  $\text{NH}_4\text{-N}$  - Gehalten im Abwasser einher.

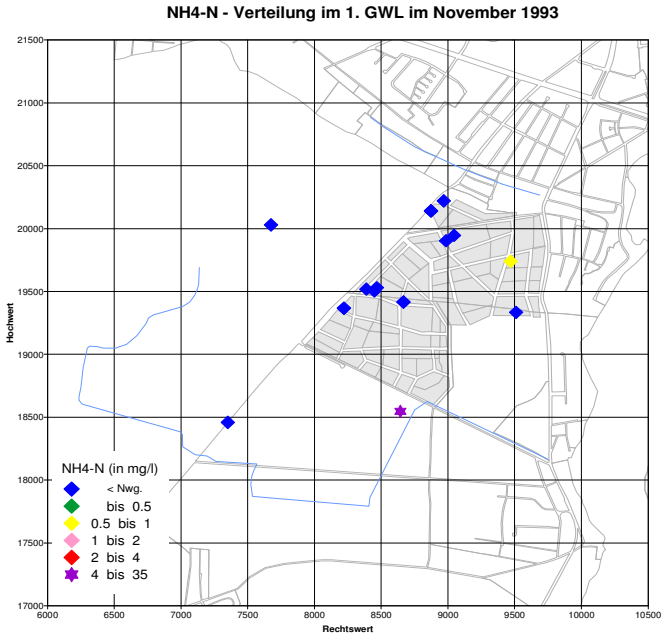


**Abb. 51**  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Verteilung im 1. GWL im Februar 1990

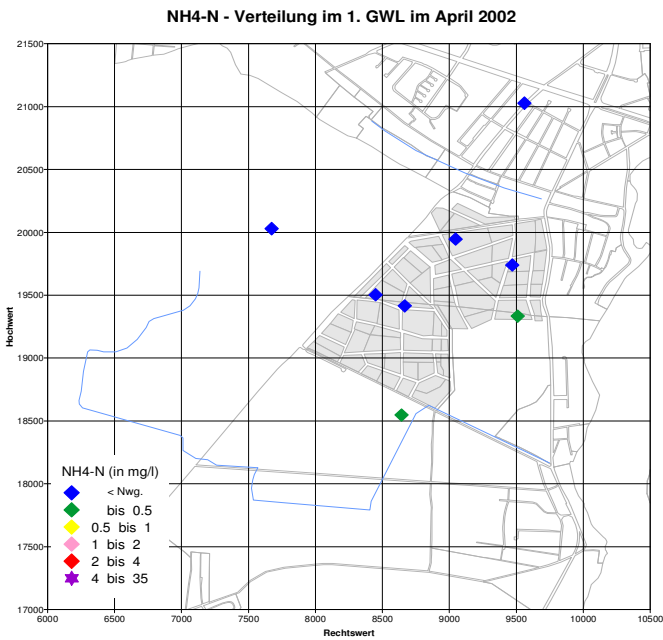
Die Verteilungskarte von November 1993 (Abb. 52) zeigt im Verrieselungsbereich bereits überwiegend Konzentrationen unter der Nachweisgrenze ( $< 0,2 \text{ mg/l}$ ).

Dies korreliert mit den zurückgegangenen Werten im Abwasser.

Nur die Messstelle KAR020OP außerhalb der Verrieselungsfläche im südlichen Abstrom weist eine Spitzenkonzentration von  $26,9 \text{ mg/l}$  auf.



**Abb. 52** NH<sub>4</sub>-N-Verteilung im 1. GWL im November 1993



**Abb. 53** NH<sub>4</sub>-N-Verteilung im 1. GWL im April 2002



Bis April 2002 kam es zu einer weiteren Stabilisierung der  $\text{NH}_4$ -Gehalte (Werte unter 0,25 mg/l, Abb. 53).

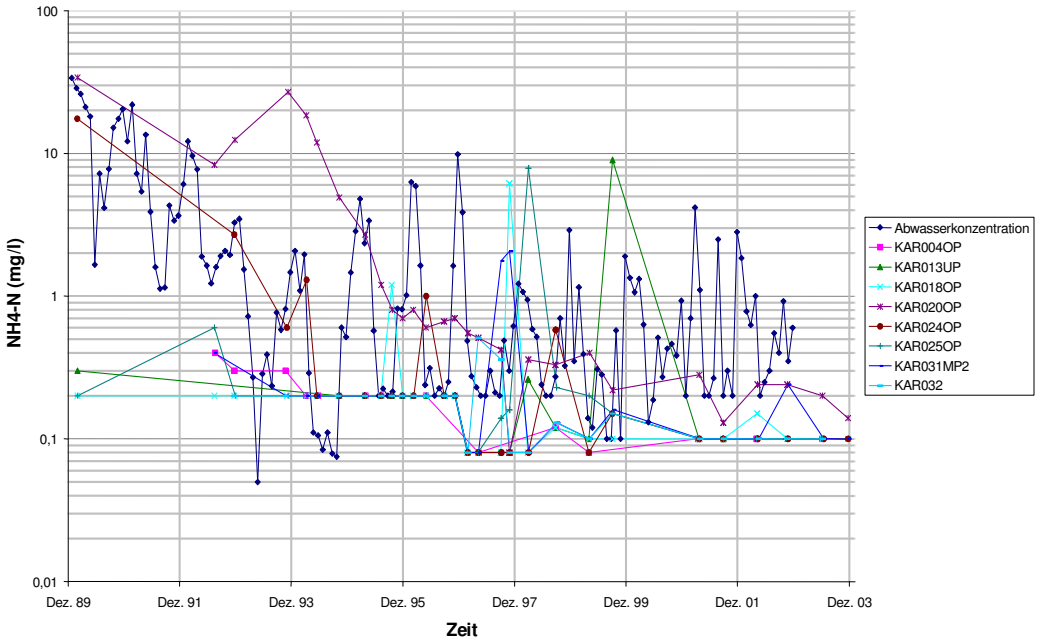
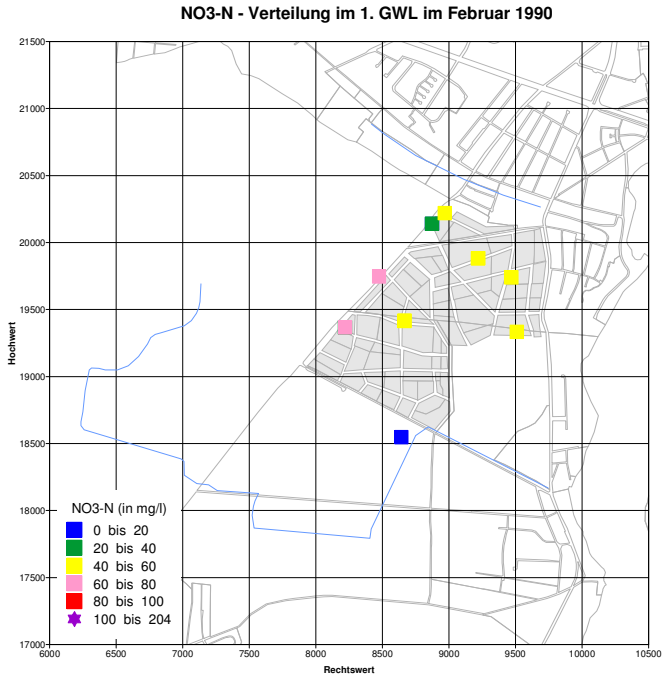


Abb. 54  $\text{NH}_4$ -N-Konzentrationen im 1. GWLK

Abbildung 54 zeigt die Entwicklung der  $\text{NH}_4$ -N-Konzentrationen im 1. GWLK. Parallel zur Verringerung der Konzentration im Abwasser verringern sich die Konzentrationen im Grundwasser. Eine Ausnahme bildet die Messstelle KAR020OP. In dieser steigt die Konzentration in der Zeit von Februar 1990 bis Anfang 1995 an, danach sinkt sie unter die Konzentration im aufgegebenen Klarwasser.

### Nitrat

Die  $\text{NO}_3$ -N-Gehalte im Grundwasser lagen im Februar 1990 größtenteils zwischen 40 und 60 mg/l, teilweise bei bis zu 80 mg/l (Abb. 55). Diese Konzentration liegt deutlich über der Konzentration von  $\text{NO}_3$ -N im Abwasser (< 15 mg/l). Ein Großteil des  $\text{NO}_3$ -N wurde offensichtlich aus Ammonium und eventuell organisch gebundenem Stickstoff gebildet.



**Abb. 55** NO<sub>3</sub>-N-Verteilung im 1. GWL im Februar 1990

Innerhalb relativ kurzer Zeit (bis 1993, siehe Abb. 56) gingen die NO<sub>3</sub>-N-Gehalte auf Werte zwischen 20 unter 60 mg/l zurück, ab 1995 überwiegen Werte unter 20 mg/l und im Jahr 2002 sind die Konzentrationen auf 2,7 mg/l zurück gegangen (Abb. 57).

NO<sub>3</sub>-N - Verteilung im 1. GWL im November 1993

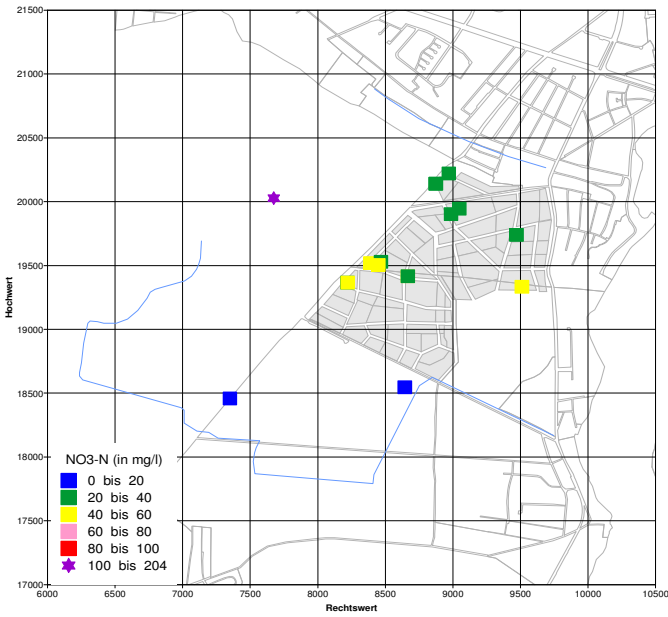


Abb. 56 NO<sub>3</sub>-N-Verteilung im 1. GWL im November 1993

NO<sub>3</sub>-N - Verteilung im 1. GWL im April 2002

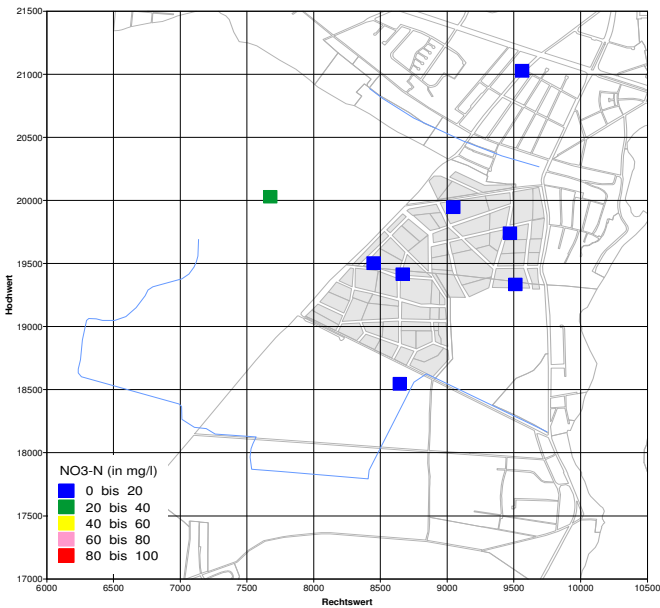
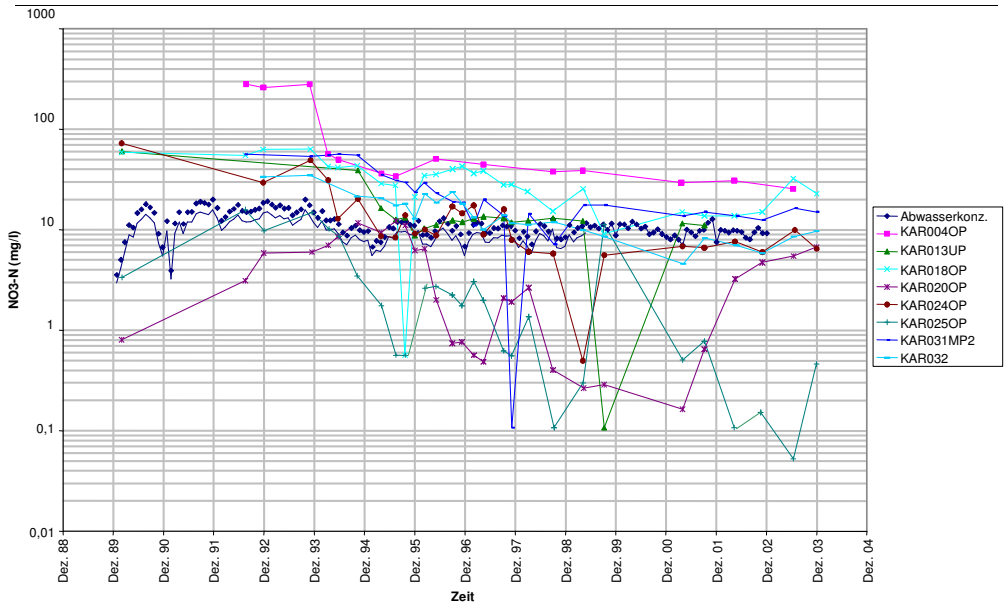


Abb. 57 NO<sub>3</sub>-N-Verteilung im 1.GWL im April 2002



**Abb. 58**  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration im 1. GWLK

In Abbildung 58 ist die zeitliche Entwicklung der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen dargestellt. Im Vergleich mit dem aufgetragenen Abwasser zeigen die Messstellen KAR004OP, KAR018OP, KAR013UP, KAR031MP2 und KAR032 erhöhte Konzentrationen. Diese Messstellen liegen innerhalb des Verrieselungsbereiches (Ausnahme KAR004OP). Die Messstellen außerhalb des Verrieselungsbereiches weisen geringere Konzentrationen auf.

Zur Charakterisierung der  $\text{NH}_4\text{-NO}_3$ -Stabilität wurde das Stabilitätsdiagramm von VOIGT und KRAINOW (1990) herangezogen. Die  $\text{NH}_4$  und  $\text{NO}_3$ -Konzentration werden gegen das Redoxpotenzial aufgetragen. In Abhängigkeit vom Redoxpotential gibt es für beide Spezies Stabilitätsgrenzen.

Für die Messstellen KAR018OP und KAR031MP2 werden diese stellvertretend dargestellt.

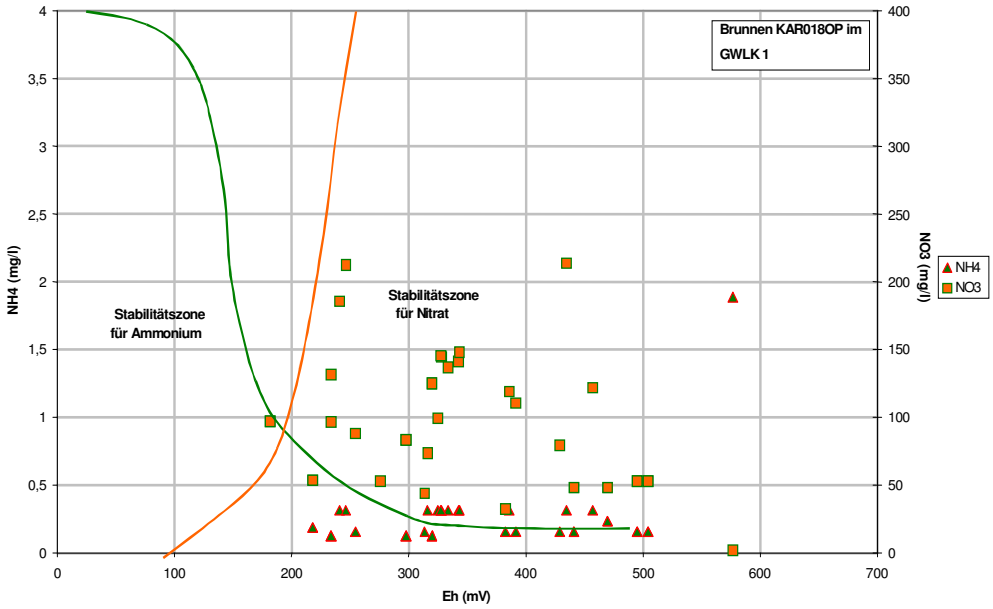
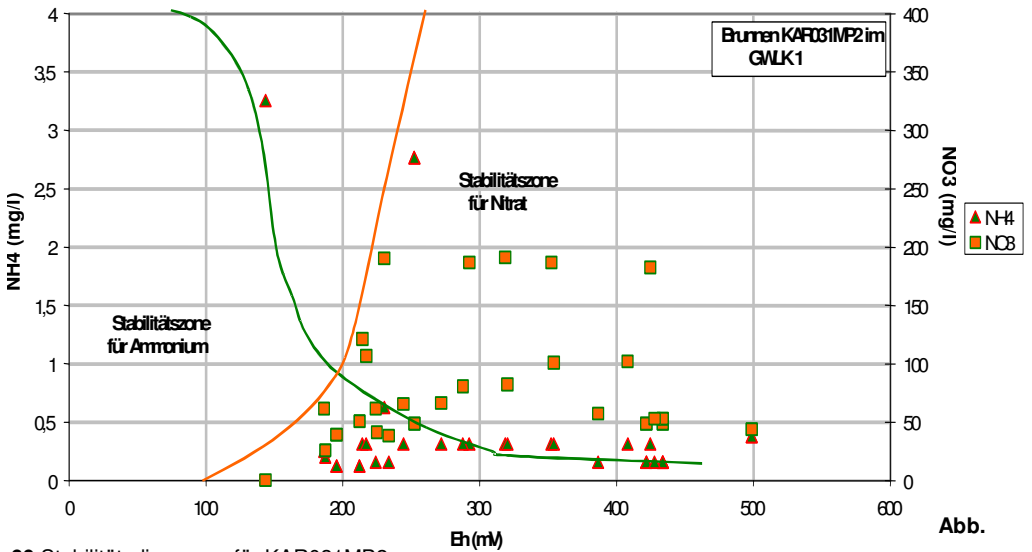
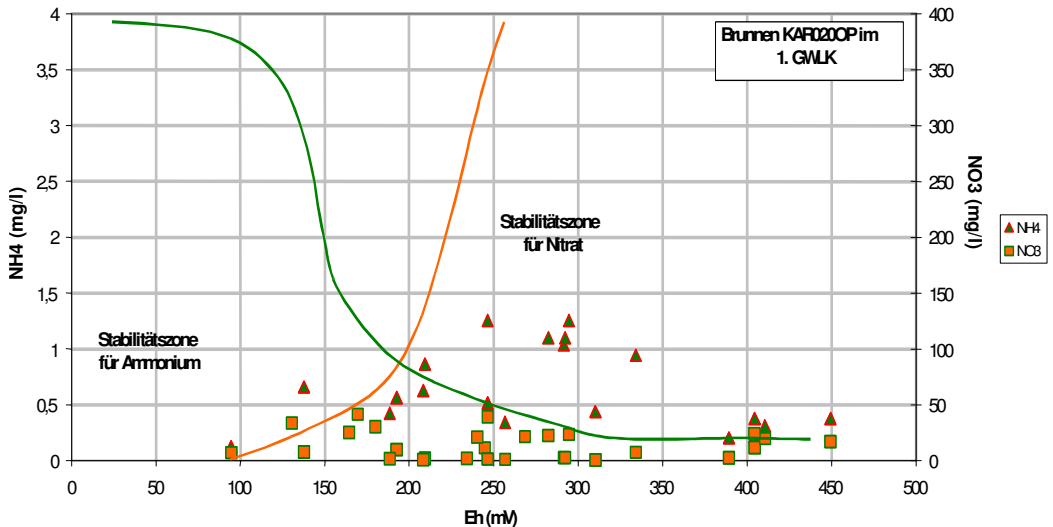


Abb. 59 Stabilitätsdiagramm für KAR018OP



60 Stabilitätsdiagramm für KAR031MP2

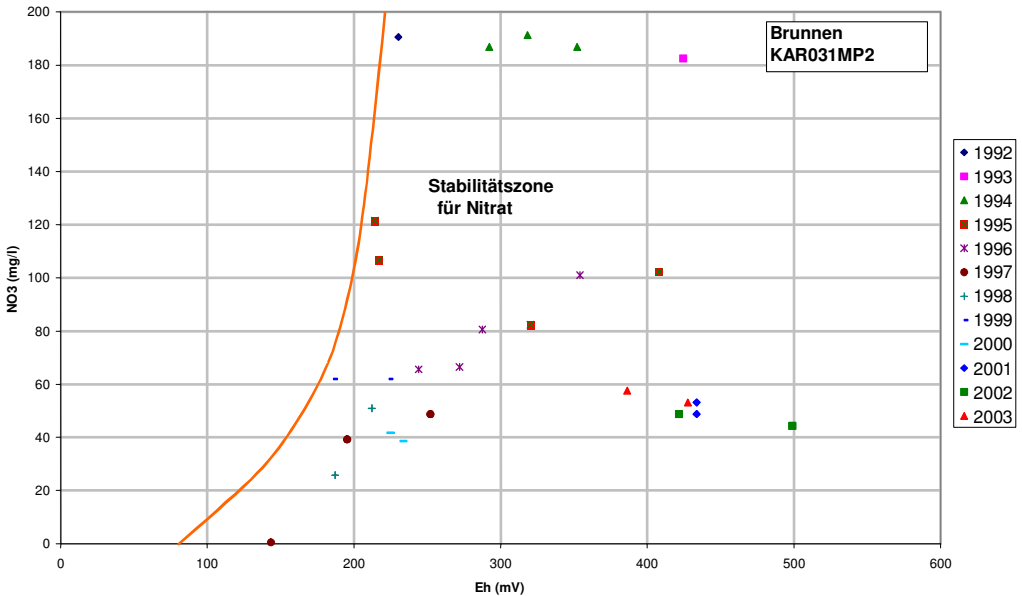
Dabei zeigt sich bei den Messstellen im Verrieselungsbereich, dass das Redoxpotential größer als 200 mV ist. Bei diesen hohen Redoxpotentialen ist Ammonium instabil. Weiterhin sind die Konzentrationen von Ammonium gering; die Konzentrationen von Nitrat sind hingegen erhöht. Dies deutet darauf hin, dass Nitrifikation der vorherrschende Prozess ist.



**Abb. 61** Stabilitätsdiagramm für die Messstelle KAR020OP außerhalb des Verrieselungsbereiches

In den Messstellen außerhalb des Verrieselungsbereiches herrscht ebenfalls ein erhöhtes Redoxpotential, folglich ist Ammonium auch hier nicht stabil und wird oxidiert. In diesen Messstellen sind auch die Nitratkonzentrationen gering, so dass das gebildete Nitrat abtransportiert oder abgebaut wurde. Nitrifikation und Denitrifikation laufen hier anscheinend parallel ab. Im Beaufschlagungsbereich deutet dies auf einen erhöhten Eintrag an Nitrat (direkter Eintrag, Bildung aus Ammonium) oder einen geringeren Abbau an Nitrat hin.

Betrachtet man die Messstellen KAR024OP und KAR031MP2 (Abb. 62) genauer, so erkennt man für Nitrat einen zeitlichen Trend.



**Abb. 62** Nitratkonzentrationen gegen Redoxpotential im Grundwasser der Messstelle KAR031MP2

Im ersten Zeit-Cluster (1992 - 1994) liegt Nitrat in erhöhten Konzentrationen vor. Im folgenden Zeitraum (1995 - 1999) nehmen die Nitratkonzentrationen und das Redoxpotential ab. Im dritten Zeitraum erhöhen sich die Konzentrationen von Nitrat und das Redoxpotential nimmt leicht zu.

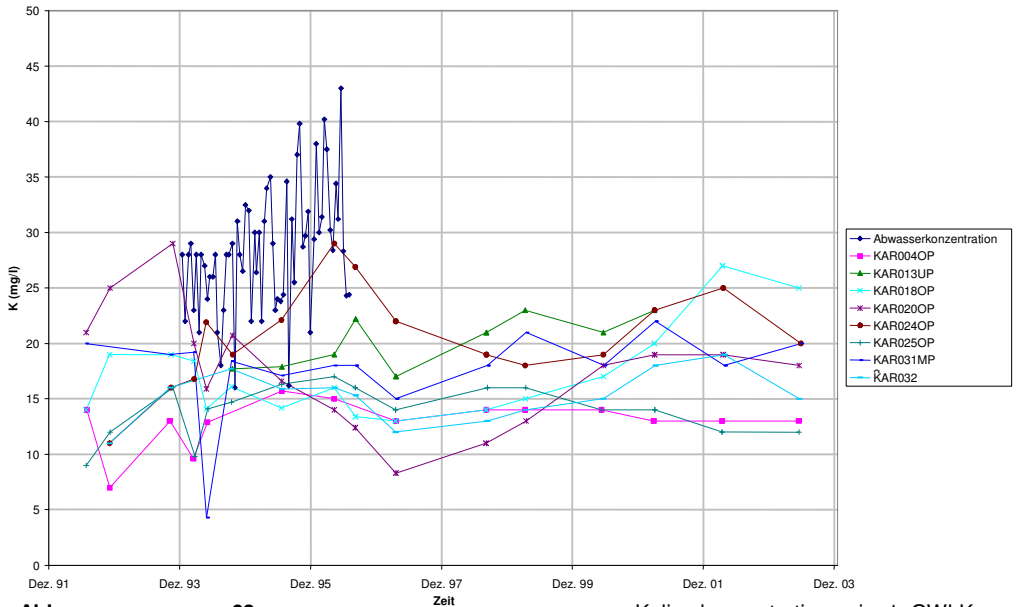
Im ersten Zeitraum war der Eintrag vom Ammonium und Nitrat mit dem Abwasser am größten, beide lagen in hohen Konzentrationen vor. Die aufgebrachte Menge und damit die Fracht war ebenfalls erhöht. Dies führte zu anaeroben Bedingungen. In der zweiten Periode herrscht die Denitrifikation vor. Diese wird durch die reduzierenden Bedingungen, welche in der ersten Phase erzeugt wurden, begünstigt. In diesem Zeitraum war der Eintrag geringer (geringere Konzentration und Fracht). Es kam zur Ausbildung der mächtigeren ungesättigten Zone und damit zur Erhöhung des Redoxpotenzials.

In der dritten Phase kommt es zu einem Anstieg der Nitratkonzentration aufgrund von externen Einträgen oder dem Abbau von organischer Substanz im Boden.

Dieser Trend zeigt sich auch in den andern Messstellen, ist dort jedoch nicht so vorherrschend.

## Kalium

Abwasseranalysen zum Kalium lagen nur für die Jahre 1994 bis 1996 vor. In dieser Zeit stieg die Konzentration im Abwasser von im Mittel 25 auf 32 mg/l.



**Abb.**

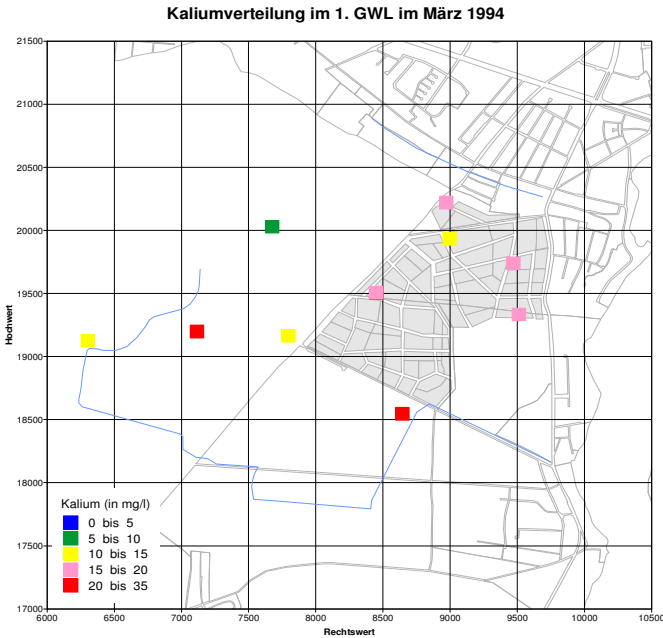
**63**

Kaliumkonzentrationen im 1. GWLK

Die Konzentrationen von Kalium im Grundwasser unter den Rieselflächen liegen seit 1993 unverändert im Bereich zwischen ca. 10 und 30 mg/l, und sind damit gegenüber geogenen Konzentrationen (< 5 mg/l) erhöht.

In den Jahren 1994 – 1996 steigt die Kaliumkonzentration in den Messstellen parallel mit der Erhöhung im Abwasser, sie liegt jedoch unter der Konzentration im aufgebrauchten Klarwasser.

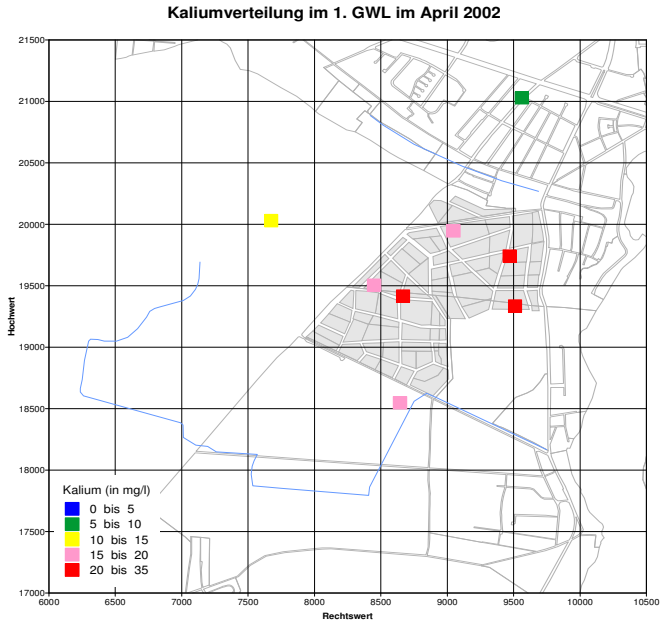




**Abb. 64** Kaliumverteilung im 1. GWL im März 1994

Abbildung 64 zeigt die Kaliumverteilung im März 1994. Dabei sind ebenfalls außerhalb des Verrieselungsbereiches Karolinenhöhe erhöhte Konzentrationen erkennbar (z.B. im Bereich Seeburg und südlich der Beaufschlagungsflächen).

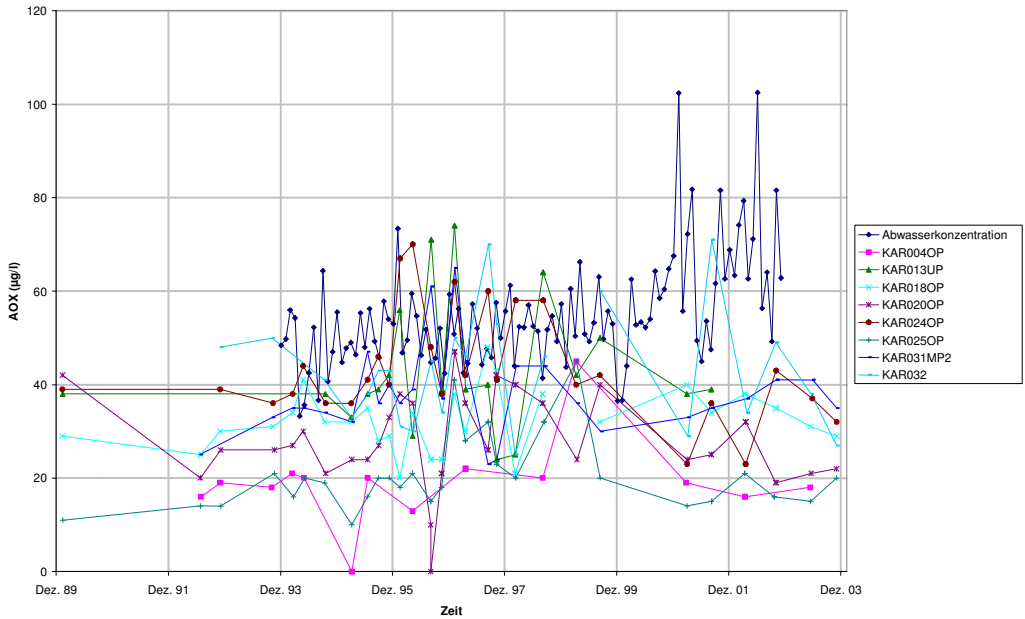
Wie Abbildung 65 ausweist, sind auch 2002 unterhalb der Rieselfelder erhöhte Kaliumgehalte im Grundwasser des 1.GWLK zu verzeichnen, die einerseits auf den weiterhin bestehenden Nachschub an Kalium mit dem Klarwasser und teilweise auf Desorption des Kaliums aus dem organisch- mineralischen Komplex der Sedimente zurückzuführen sein können.



**Abb. 65** Kaliumverteilung im 1. GWL im April 2002

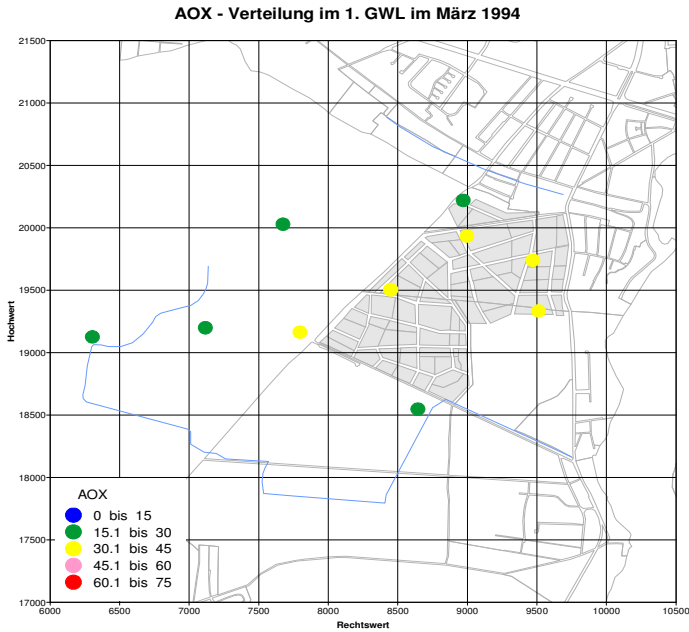
## AOX

Die Konzentration von AOX im Abwasser lag in den Jahren 1994 bis 2000 im Bereich von 40 bis 60  $\mu\text{g/l}$ . Im Zeitraum 2001 bis 2002 ist die Konzentration leicht gestiegen und lag zwischen 55 und 80  $\mu\text{g/l}$ .

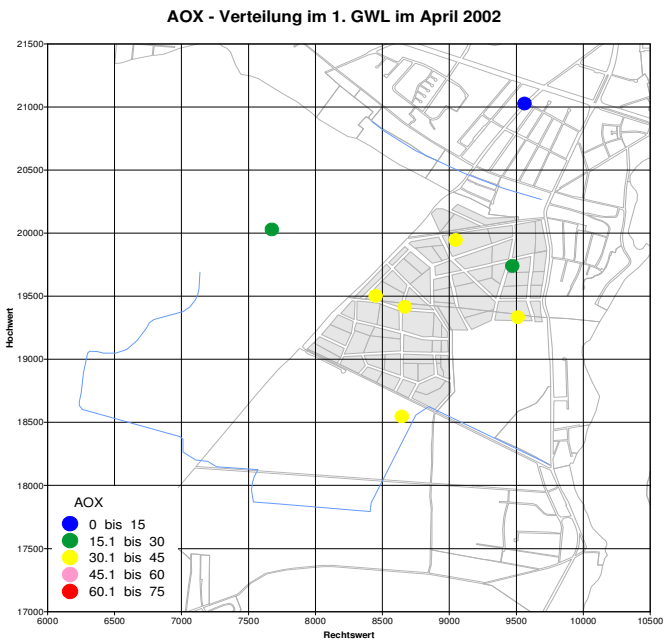


**Abb. 66** Konzentration im aufgebrachtten Klarwasser und 1. GWLK

Die Konzentration von AOX im Grundwasser lag im gesamten Untersuchungszeitraum im Verrieselungsbereich zwischen 20 und 45 µg/l. Nur vereinzelt wurden höhere Konzentrationen bis 75 µg/l nachgewiesen. Die Randbereiche weisen überwiegend geringere Konzentrationen zwischen 15 und 30 µg/l auf.



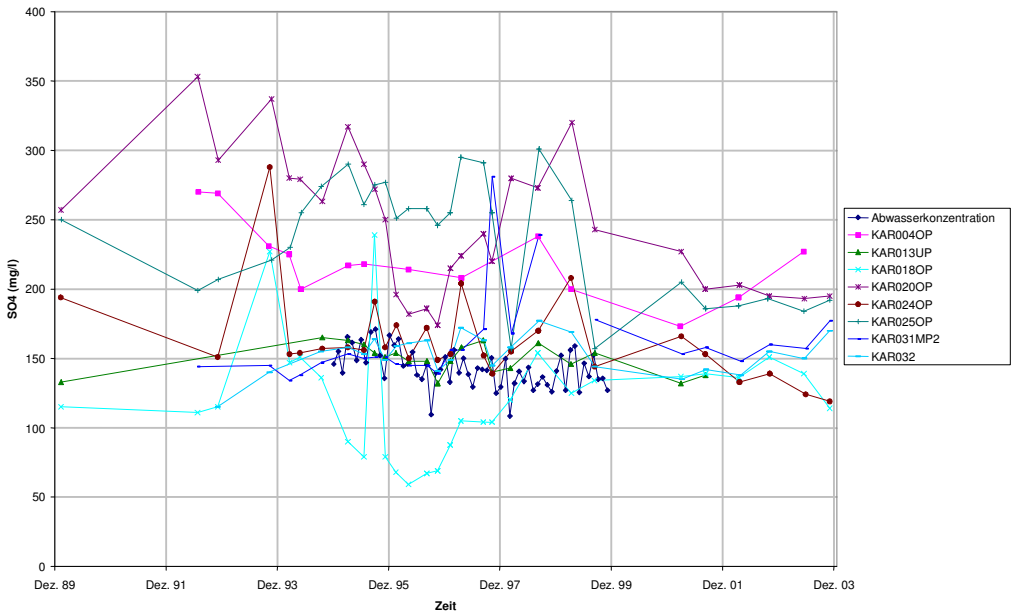
**Abb. 67** AOX - Verteilung (in µg/l) im 1. GWL im März 1994



**Abb. 68** AOX-Verteilung (in µg/l) im 1. GWL im April 2002

Sulfat

Sulfatanalysen im aufgebrauchten Klarwasser lagen nur für den Zeitraum zwischen Januar 1995 und Dezember 1999 vor. In Abbildung 69 wurden diese Analyseergebnisse mit den Befunden im Grundwasser des 1.GWL gegenübergestellt.

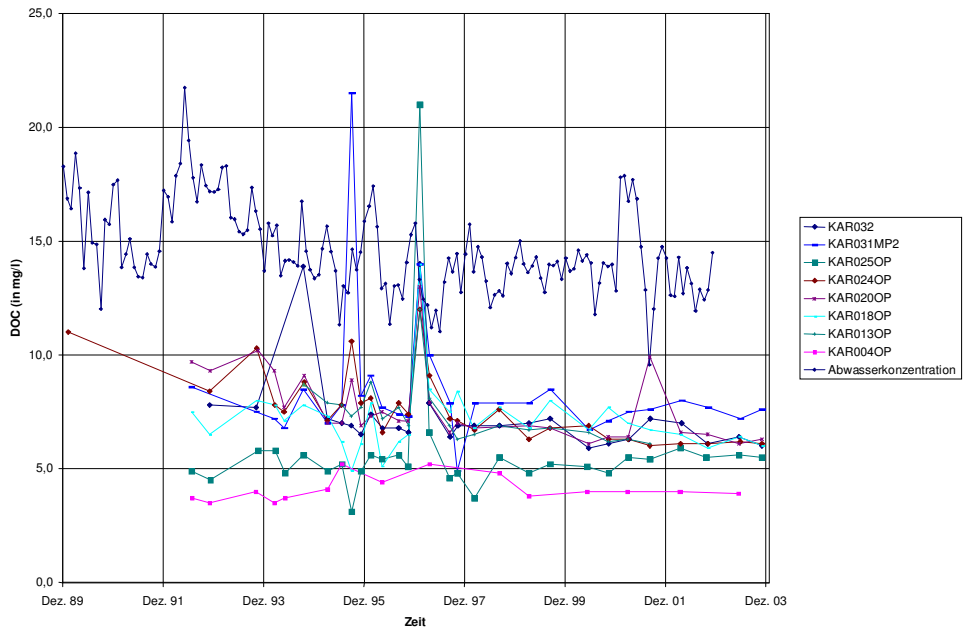


**Abb. 69** Entwicklung der Sulfatkonzentration im Abwasser und in den Messstellen des 1. GWLK

Die Sulfatkonzentrationen im Rieselfeldbereich zeigen erheblich höhere Werte als in dem beaufschlagten Klarwasser, wobei ab 1993 ein deutlich fallender Trend auf Gehalte unter 200 mg/l zu verzeichnen ist. In den Messstellen außerhalb der beaufschlagten Flächen sind die Sulfatgehalte im Grundwasser des 1. GWLK ähnlich den Konzentrationen im Klarwasser (unter 150 mg/l).

Die hohen Konzentrationen an Sulfat im Grundwasser unterhalb des Rieselfeldes sind wahrscheinlich auf die Mineralisierung der eingetragenen und gespeicherten organischen Substanzen zurückzuführen. Dies wird deutlich bei einem Vergleich mit den DOC – Gehalten im aufgebrauchten Klarwasser und den DOC- Gehalten im Grundwasser (Abb. 70). Letztere liegen deutlich unter den DOC – Gehalten des Klarwassers.

Eine andere Möglichkeit der Sulfatanreicherung besteht in der potentiellen Oxidation disperser Sulfidminerale unter den veränderten (aeroben) Redoxbedingungen.



**Abb. 70** DOC-Gehalt im aufgebrauchten Klarwasser und in den Messstellen des 1. GWLK

### **Zusammenfassende Einschätzung der Situation des 1. GWLK**

Für den Großteil der Parameter zeigt sich eine Verbesserung der Situation, z.B. für Bor, Chlorid, Nitrat, Ammonium und  $\text{PO}_4\text{-P}$  im Zeitraum des Pilotbetriebes.

Die Verringerung der Bor-Konzentration im 1. GWLK geht mit der Verringerung der Konzentration im beaufschlagten Wasser einher.

Für Chlorid verbesserte sich die Situation ab 2002 leicht. Dies kann auf eine geringere Beaufschlagungsmenge und eine entsprechende Verdünnung zurückzuführen sein. Eine Verringerung der Beaufschlagungsmenge bewirkt einen prozentual erhöhten natürlichen Neubildungsanteil. Somit kommt es zu einer stärkeren Verdünnung des eingetragenen Abwassers.

Bei den Stickstoffverbindungen sind die Verringerungen der Konzentrationen zum einen auf einen Rückgang der Gehalte im Abwasser zurückzuführen. Das eingetragene Ammonium wurde anscheinend bereits überwiegend unter

günstigen Abbaubedingungen (mächtige aerobe Versickerungszone) zu Nitrat oxidiert, welches auf dem Weg zum bzw. im Grundwasser weiter abgebaut (Denitrifikation) oder mit dem Grundwasser weitertransportiert wurde.

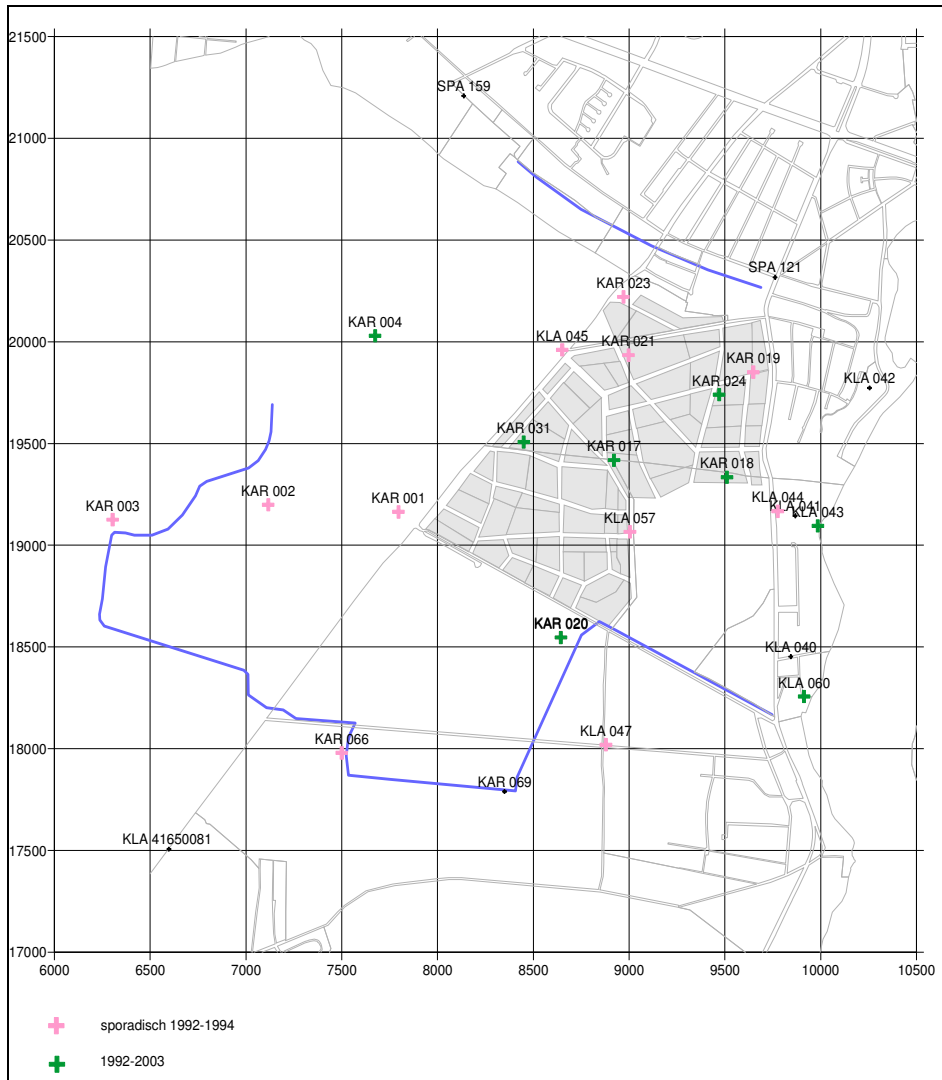
Im Unterschied zu anderen Rieselfeldern in Berlin (z.B. Machnow) erfolgte keine nennenswerte  $\text{NH}_4$ -Akkumulation im Sediment. Die Sande des 1. GWLK besitzen geringe Anteile von gebundenen  $\text{NH}_4$  im Kationenaustauschkomplex. Dies ist möglicherweise durch die bereits erfolgte Umwandlung, bzw. durch die Ionenkonkurrenz mit Kalium bedingt. Auf letzteres deutet das Kaliumverhalten.

Für Kalium zeigt sich keine Verringerung der Konzentrationen im Grundwasser. Dies kann auf die erhöhten Konzentrationen im Abwasser und mangelnde oder erschöpfte Adsorptionskapazitäten zurückzuführen sein, wodurch neue Einträge mit dem Klarwasser direkt ins Grundwasser transformiert werden.

Für AOX zeigt sich ebenfalls kaum eine Veränderung der Situation. Für AOX liegen die Konzentrationen im Grundwasser zwar unter denen im Abwasser, es ist aber kein Rückgang erkennbar. AOX wird im Untergrund nicht zurückgehalten. Säulenversuche zeigten (VEB Industrie-Consult, 1988; Savric, 2001), dass die Austauschkapazitäten der Sedimente ausgeschöpft sind und keine Retardation der AOX - prägenden Stoffe erfolgt.

Insgesamt kann für den 1. GWLK eingeschätzt werden, dass eine deutliche Verbesserung des ökologischen Status des Rieselfeldes seit 1990 eingetreten ist. Die Konzentrationen der Parameter  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  und  $\text{PO}_4$  haben sich deutlich zurückentwickelt. Somit ist eine deutliche Verbesserung der Entlastungsbedingungen in die Havel erreicht worden.

## Der 2. Grundwasserleiter



**Abb. 71** Beschaffenheitsmesspunkte im 2. GWKL

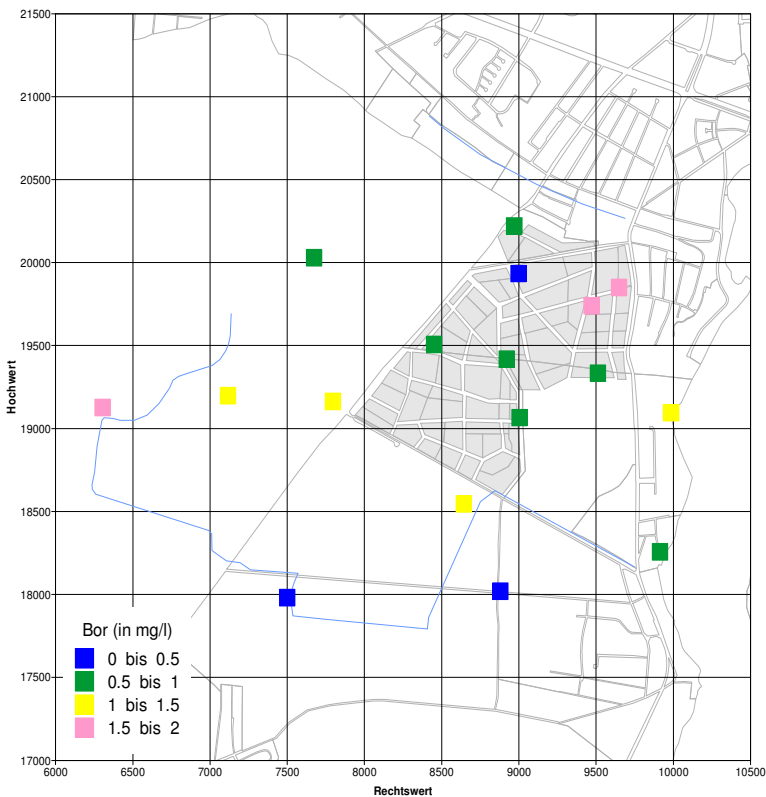


**Bor**

Für Bor lagen die Konzentrationen im Grundwasser des 2. GWLK im März 1994 im Bereich von 0,4 bis 1,7 mg/l. Die Messstelle KAR004OP im Grundwasseranstrom weist eine geringe Konzentration auf (0,7 mg/l), deutlich erhöht sind die Werte im südlichen Anstrombereich unter dem Bereich Seeburg. Die Konzentration dort betrug ca. 1,5 mg/l. Die Konzentrationen unter dem Rieselfeld Karolinenhöhe lagen unter 1 mg/l. Erhöhte Werte zeigen sich im Abstrom mit bis zu 1,6 mg/l im Nordosten, im Bereich des hydrogeologischen Fensters zum 1. GWLK.

Die Konzentration im 2. GWLK sank bis zum April 2002 auf unter 1 mg/l.

**Bor - Verteilung im 2. GWL im März 1994**



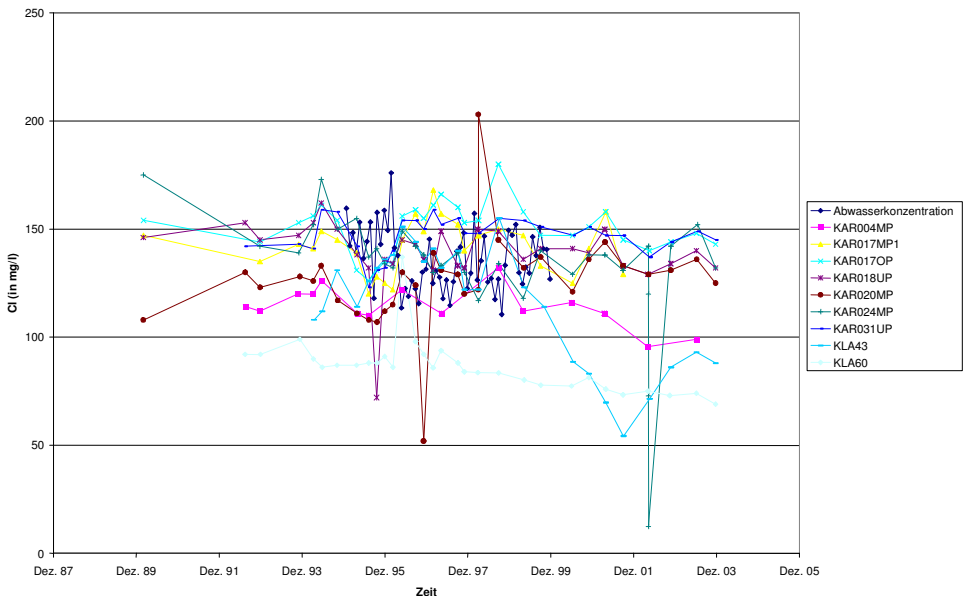
**Abb. 72** Bor - Verteilung im 2. GWL im März 1994

## Chlorid

Die Gehalte vom Chlorid im Grundwasser des 2. GWLK weisen nur geringe Unterschiede zu den Gehalten im 1. GWLK auf, sie liegen im Bereich des Rieselfeldes bei über 125 mg/l. Im westlichen Anstrombereich liegen die Konzentrationen zwischen 75 und 125 mg/l. Unter dem Rieselfeld Seeburg wurden Konzentrationen von ca. 150 mg/l nachgewiesen. Südlich des Rieselfeldes lag die Konzentration im Bereich von 70 bis 115 mg/l (Abb. 74).

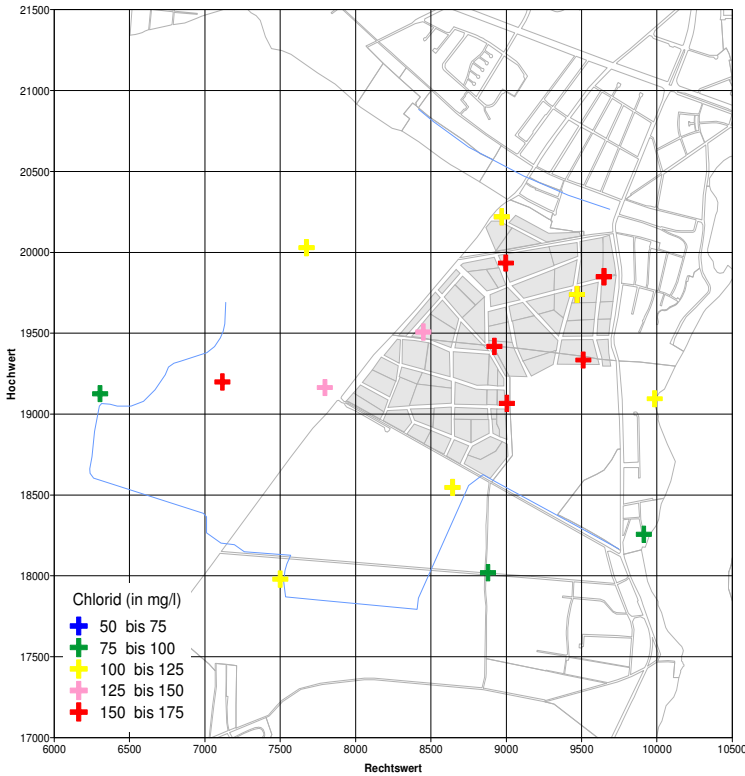
Im April 2002 lagen die Konzentrationen unterhalb des Beaufschlagungsbereiches zwischen 125 und 150 mg/l, südöstlich und nordwestlich des Rieselfeldes zwischen 50 und 100 mg/l.

In Abbildung 73 erkennt man, dass sich die Chloridkonzentration im 2. GWLK über die Zeit nur wenig verändert haben, was nach den Ergebnissen der Modellierung aufgrund der langen Fließzeiten auch nicht zu erwarten ist.



**Abb. 73** Zeitlicher Verlauf der Chloridkonzentrationen im 2. GWLK

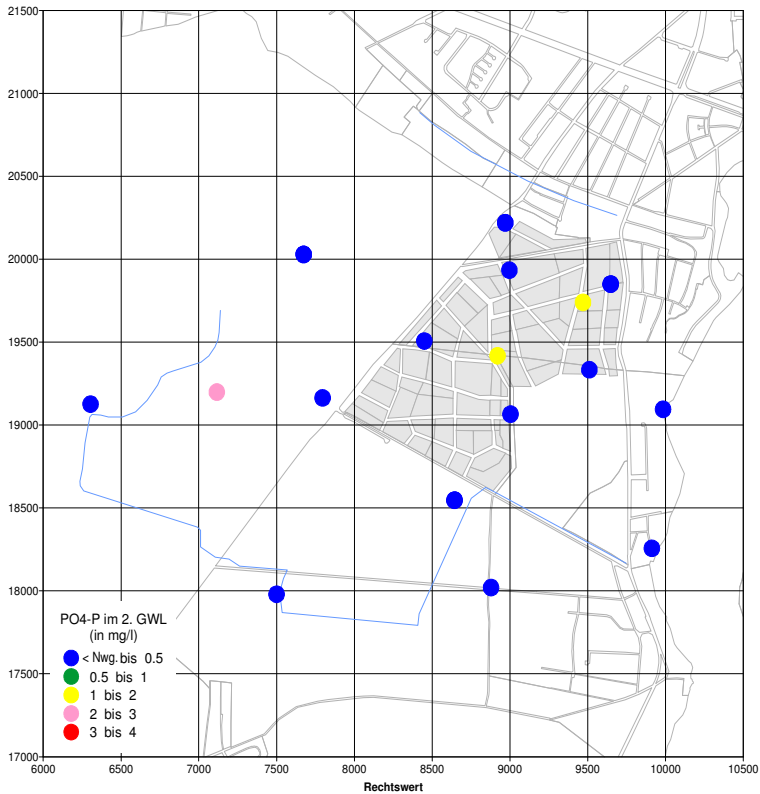
**Chlorid - Verteilung im 2. GWL im März 1994**



**Abb. 74** Chlorid - Verteilung im 2. GWL im März 1994

*Phosphat*

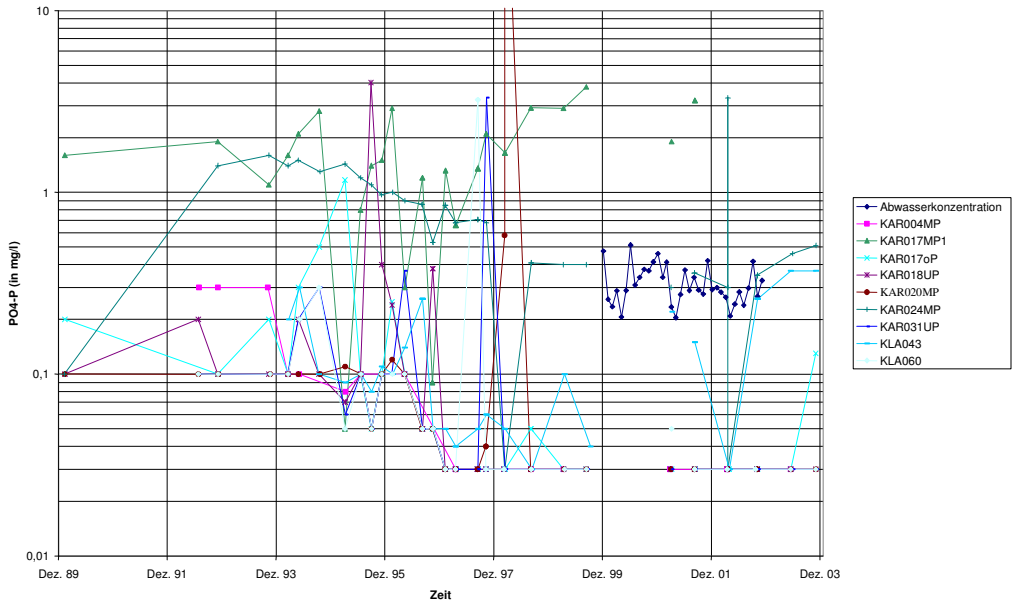
Die Konzentration von  $\text{PO}_4\text{-P}$  lag im Grundwasser des 2. GWL im März 1994 überwiegend unter  $0,5 \text{ mg/l}$  und damit unter den Konzentrationen im 1. GWL. Es traten vereinzelt erhöhte Konzentrationen von bis zu  $2 \text{ mg/l}$  auf. Im Bereich des Rieselfeldes Seeburg ist eine  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration von  $2,4 \text{ mg/l}$  nachgewiesen worden.

PO<sub>4</sub>-P - Verteilung im 2. GWL im März 1994

**Abb. 75** PO<sub>4</sub>-P - Verteilung im 2. GWL im März 1994

Die Konzentration von PO<sub>4</sub>-P änderte sich mit der Zeit kaum. Sie lag in den meisten Messstellen bei unter 0,5 mg/l. Erhöhte Konzentrationen weist nur die Messstelle KAR017MP1 auf. Diese liegt im Zentrum des Rieselfeldes. Die Messstelle KAR017OP ist im oberen Bereich des 2. GWLK verfiltert und die Messstelle KAR017MP1 im tieferen Bereich.

In der Messstelle KAR017OP sind keine erhöhten Konzentrationen nachgewiesen worden.



**Abb. 76** Zeitliche Entwicklung der PO<sub>4</sub>-P-Konzentration

### Stickstoffverbindungen

#### Ammonium

Die NH<sub>4</sub>-N – Konzentration im Anstrombereich lag 1994 unter 1 mg/l. Im Bereich des Rieselfeldes Seeburg wurde kein NH<sub>4</sub> nachgewiesen. Die Konzentrationen unter dem Rieselfeld Karolinenhöhe sind erhöht, sie liegen zwischen 0,5 und 1,4 mg/l. Im Süden wurden Spitzenkonzentrationen von 7,5 mg/l nachgewiesen. Im Nordosten ist die Konzentration mit 3,5 mg/l ebenfalls erhöht. Diese Erhöhung kann auf den Kontakt zwischen den 1. und 2. GWLK in diesem Bereich zurückzuführen sein.

NH<sub>4</sub>-N - Verteilung im 2. GWL im März 1994

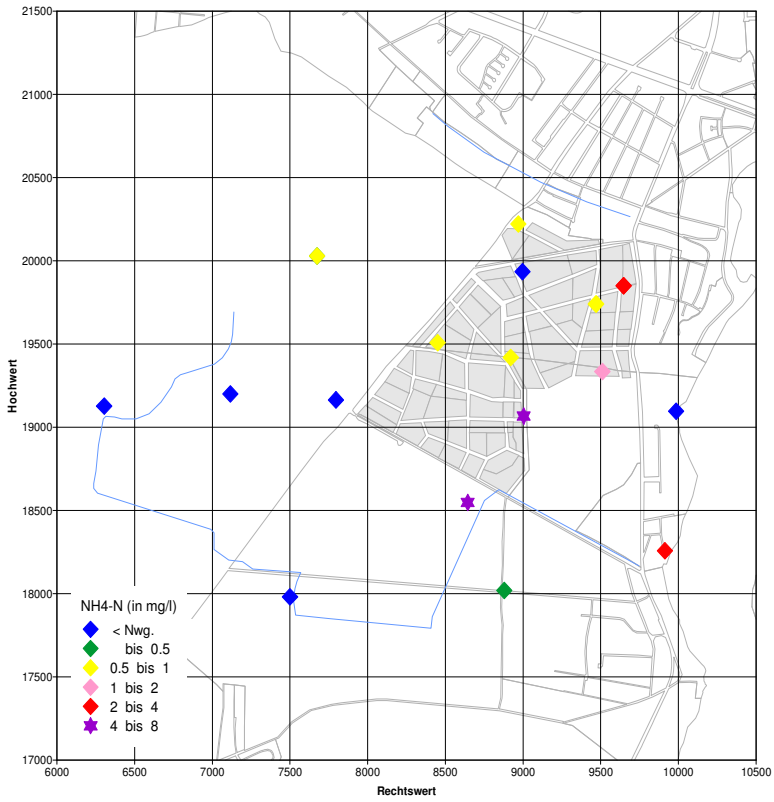
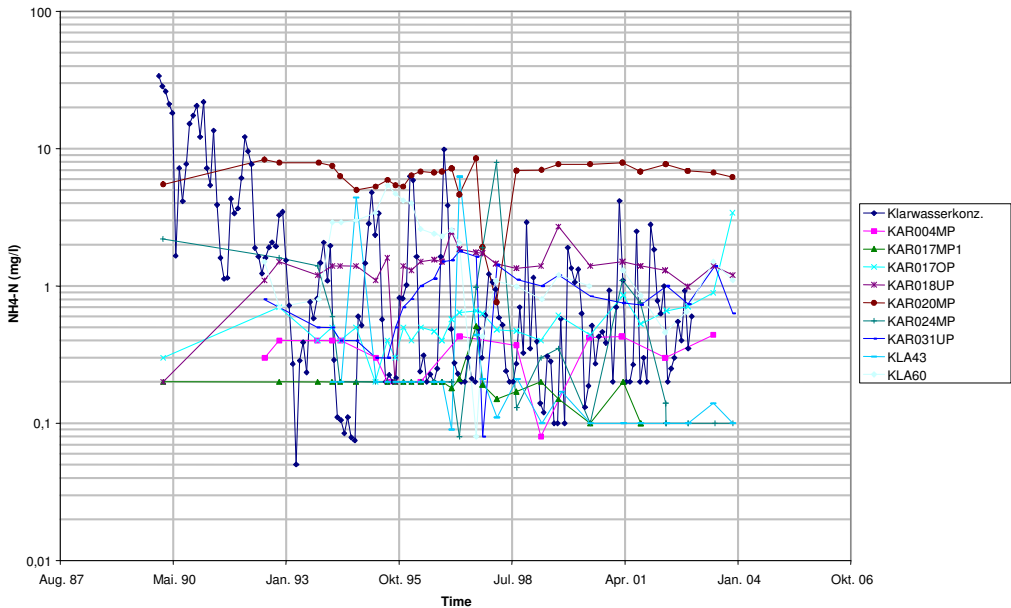


Abb. 77 NH<sub>4</sub>-N - Verteilung im 2. GWL im März 1994



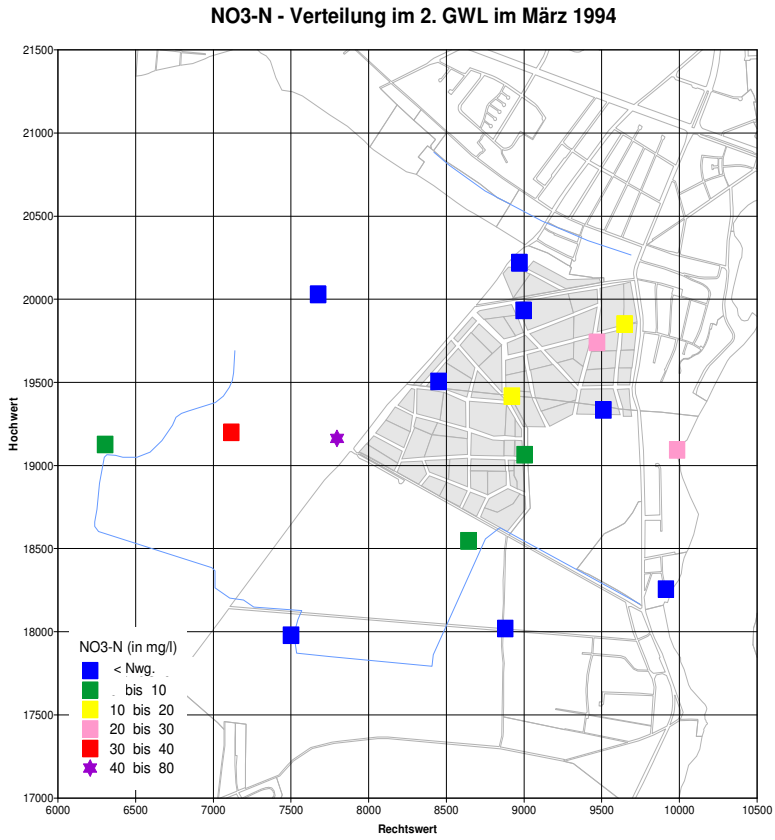
**Abb. 78**  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Entwicklung über die Zeit im 2. GWLK

Die Konzentrationen von Ammonium verändern sich in den Jahren kaum, wie Abbildung 78 zeigt. Die Messstellen KAR020MP im Süden und KAR018UP weisen stets erhöhte Konzentrationen auf.

### Nitrat

Im Anstrompegel KAR004MP wurde kein  $\text{NO}_3$  nachgewiesen, unter dem Rieselfeld Seeburg wurden jedoch Konzentrationen von 37,5 bzw. von 41,8 mg/l gemessen, was möglicherweise auf die dortige Verrieselung zurückzuführen ist. Im Bereich des Rieselfeldes Karolinenhöhe lagen die Konzentrationen unter 11 mg/l, im Nordosten bei bis 21 mg/l.

Bis April 2002 sanken die Konzentrationen von  $\text{NO}_3$  im Grundwasser auf unter 10 mg/l, nur in der Nähe zur Havel sind die Konzentrationen leicht erhöht.



**Abb. 79** NO<sub>3</sub>-N - Verteilung im 2. GWL im März 1994



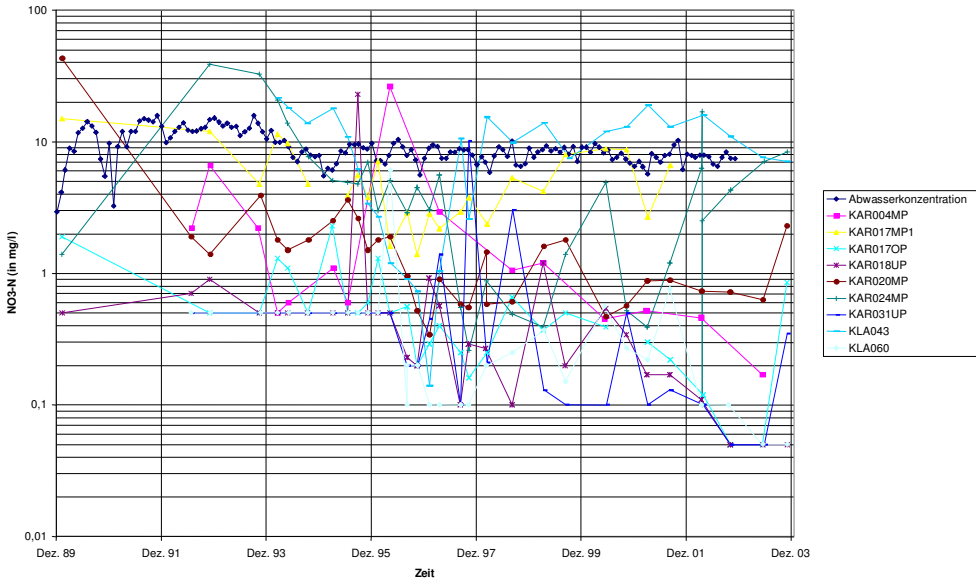


Abb. 80 Zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen im 2. GWLK

Man erkennt in Abbildung 80 den Rückgang der Nitratkonzentrationen in den meisten Messstellen.

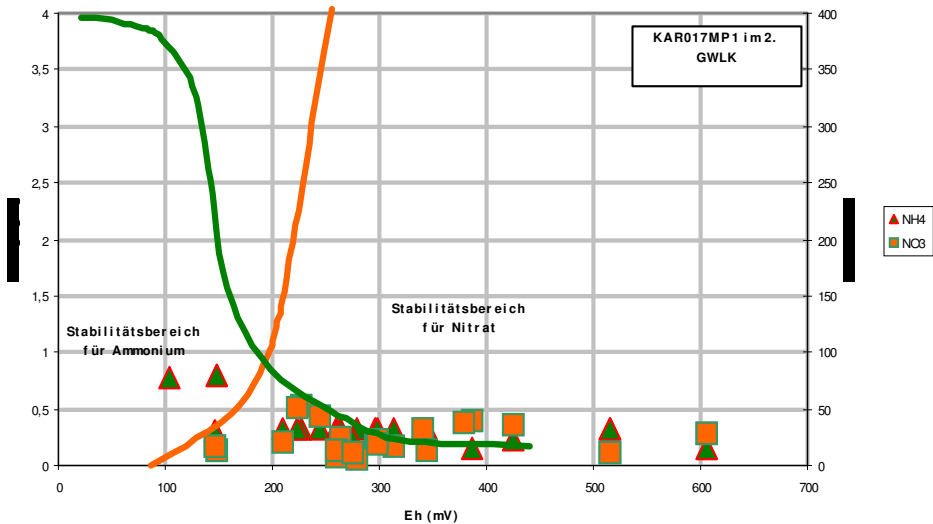


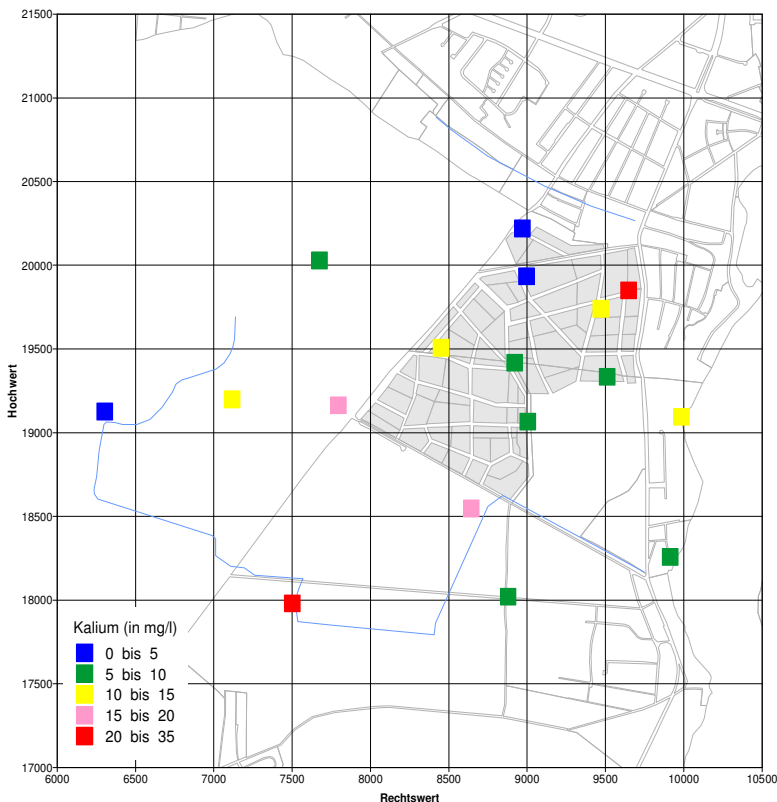
Abb. 81 Stabilitätsdiagramm für eine Messstelle des 2. GWLK

Das Stabilitätsdiagramm nach KRAINOV und VOIGT zeigt für die Messstellen des 2. GWLK ein vergleichbares Bild. Beispielhaft ist hier die Messstelle KAR017MP1 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Konzentrationen vom Ammonium und Nitrat relativ gering sind und in den stabilen Bereichen liegen.

### Kalium

Für Kalium zeigen sich im nördlichen Anstrombereich geringe Konzentrationen (< 8 mg/l). Die Konzentrationen unter dem Rieselfeld in Seeburg hingegen sind deutlich erhöht und liegen bei 11,7 bzw. 19,5 mg/l. Die Konzentrationen unter dem Rieselfeld Karolinenhöhe liegen unter 15 mg/l, erhöhte Werte von 21,5 mg/l treten im Nordosten auf. Ein ähnliches Bild zeigt sich im April 2002.

**Kalium - Verteilung im 2. GWL im März 1994**



**Abb. 82** Kalium - Verteilung im 2. GWL im März 1994

AOX

AOX - Verteilung im 2. GWL im März 1994

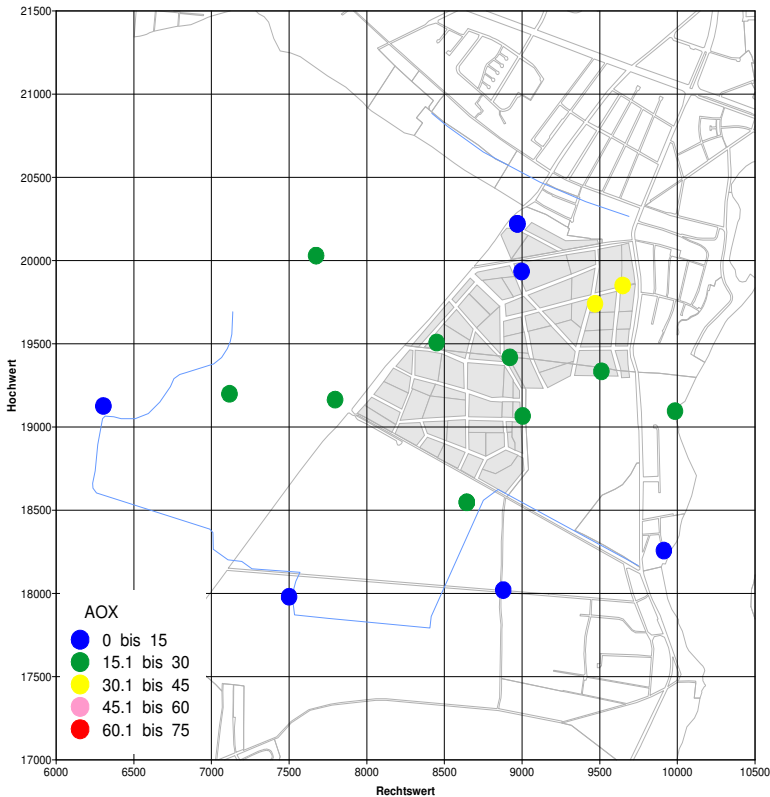
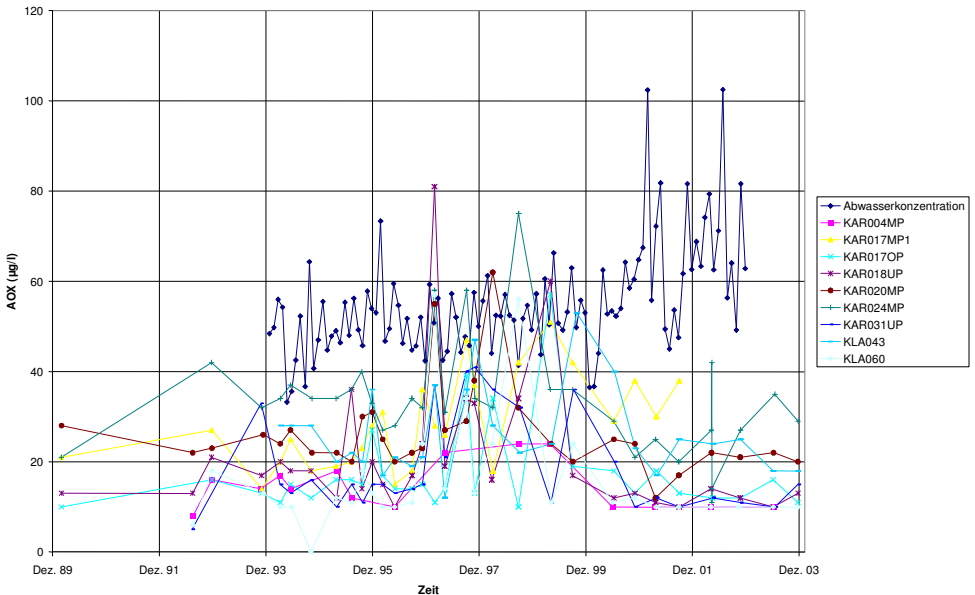


Abb. 83 AOX - Verteilung (in µg/l) im 2. GWL im März 1994

Die Konzentrationen von AOX im 2. GWL lagen größtenteils unter 30 µg/l. Im März 1994 sind erhöhte Konzentrationen in Nordosten (34 µg/l) und im Bereich des Rieselfeldes Seeburg (ca. 26 µg/l) zu beobachten (Abb. 83). Die AOX-Konzentrationen im 2. GWL haben sich im Zeitraum 1993-2003 nur geringfügig verändert (Abb. 84).



**Abb. 84** Zeitliche Entwicklung der AOX-Konzentrationen im 2. GWLK

## Zusammenfassende Einschätzung 2. GWLK

Der 2. GWLK zeigt für Bor, Kalium und Chlorid eine anthropogene Grundbelastung. Die Gehalte liegen über dem geogenen Hintergrund. Es zeigt sich bereits im Anstrom eine Belastung des Grundwassers.

Der direkte Einfluss des Rieselfeldes Karolinenhöhe in seinem unmittelbaren Umfeld auf den 2. GWLK ist aufgrund dieser Vorbelastung nur diffus erkennbar. Lediglich im havelnahen, nordöstlichen Bereich, wo der 1. Grundwasserhemmer auskeilt und somit ein direkter hydraulischer Kontakt zwischen dem 1. und 2. Grundwasserleiter besteht, zeigt sich eine deutliche Beeinträchtigung des 2. GWLK durch das Rieselfeld Karolinenhöhe.

Gegenüber dem Zustand 1990 hat sich die Situation bis zum April 2002 für die Parameter Bor und Phosphat verbessert. Für die übrigen Parameter verbleibt eine diffuse Grundbelastung. Der Parameter AOX ist lediglich im Kontaktbereich zum 1. GWLK erhöht.

Eine Kontamination in tieferen Grundwasserleitern kann durch verschiedene Prozesse verursacht werden:

1. Eine Ursache stellt das Vorhandensein von hydraulischen Fenstern im Stauer dar, durch welche eine Wasserbewegung und damit ein Schadstofftransport in tiefere Grundwasserleiter erfolgen kann. Im Untersuchungsgebiet ist bekannt, dass der Liegendstauer des 1. GWLK, der jüngere saalekaltzeitliche Geschiebemergelhorizont, im nördlichen Bereich der Havel erodiert ist.
2. Durch den jahrzehntelangen Rieselfeldbetrieb kam es zu erhöhten Druckpotenzialdifferenzen zwischen dem 1. und 2. GWLK (siehe Abb. 8 und 31). Dies kann es zu einer Speisung des 2. GWLK durch den Stauer führen. Gefördert wird dies durch geringe Mächtigkeiten bzw. fazielle Veränderungen mit verringerten Tonanteilen (Anisotropie). Derartige Verhältnisse deuten sich im Bereich des Landschaftsfriedhofes Gatow an.
3. Die Dynamik des 1. GWLK zeigt, dass das Grundwasser vom Rieselfeld in alle Richtungen radial strömt. Es fließt somit ebenfalls entgegen dem natürlichen Regime nach Westen. Dabei können Schadstoffe aus dem Untersuchungsgebiet heraus transportiert werden und über Fenster (z.B. westlich des Rieselfeldes) in den 2. GWLK gelangen und von dort wieder zurück in das Untersuchungsgebiet transportiert werden.
4. Ein Schadstoffeintrag kann ebenfalls durch einen Fremdeintrag im Anstrom erfolgen (z.B. Rieselfeld Seeburg).

## 7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In der hydrodynamischen Auswertung wurde die Situation im Bereich des Rieselfeldes Karolinenhöhe dargestellt. Mit Hilfe einer Analyse der absoluten Wasserstände und ihrer Schwankungsbereiche (Standardabweichungen) wurde die hydrodynamische Beeinflussung der Messstellen durch die Verrieselung im 1. GWLK ausgewiesen und durch die Modellierung bestätigt.

Für den 2. GWLK, für den zusätzlich eine Beeinflussung durch benachbarte Wasserwerke besteht, sind weitere großräumigere Betrachtungen der Dynamik nötig, um die Auswirkung der Speisung aus dem 1. GWLK abschließend abschätzen zu können.

Die Aufbringung stabilisiert insgesamt die Jahresbilanz des Wasserhaushaltes und damit den Basisabfluss der Havel. Besonders eine Aufbringung in den Niedrigwasserperioden (Sommer und Herbst) wirkt durch den erhöhten Basisabfluss den niedrigen Abflüssen im Oberflächenwasser entgegen.

Aufgrund der hohen Flurabstände ist das Grundwasser nicht pflanzenverfügbar, jedoch hat sich die Vegetation im Rieselfeldbereich an die Beaufschlagung angepasst. Im Fall eines Einstellen der Beaufschlagung sind Pflanzenschäden zu erwarten. Die Vegetation wird und muss sich der veränderten Betriebsweise anpassen.

Die hydrochemische Auswertung zeigte die räumliche Verteilung der Konzentrationen der Parameter und die zeitliche Entwicklung in den Messstellen.

Insgesamt kann für den 1. GWLK eingeschätzt werden, dass eine deutliche Verbesserung des ökologischen Status des Rieselfeldes seit 1990 eingetreten ist. Die Konzentrationen der eutrophierungsrelevanten Parameter  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  und  $\text{PO}_4$  haben sich deutlich zurückentwickelt.

Für den 2. GWLK hat sich die Situation von 1990 bis zum April 2002 für die Parameter Bor und Phosphat verbessert. Für die übrigen Parameter verbleibt eine diffuse Grundbelastung. Der Parameter AOX ist lediglich im Kontaktbereich zum 1. GWLK erhöht, ansonsten bewegt er sich in Konzentrationsbereichen unter  $25 \mu\text{g/l}$ .

Die Beaufschlagung mit Klarwasser wirkt sich im Vergleich zur Ausgangssituation insgesamt positiv auf die Qualität des Grundwassers aus. Die Konzentrationen der meisten Parameter gingen zurück. Nur die Konzentrationen von Kalium (im 1. und 2. GWLK) und AOX (im 1. GWLK) blieben aufgrund des Inputs nahezu konstant. Ein Risiko durch die weitere Aufbringung besteht nicht. Aufgrund der Bodenpassage des Wassers kommt es zu einem Abbau der

Stickstoffverbindungen und zu einer Verdünnung durch die natürliche Neubildung. Damit wird die Vorflut im Vergleich zur Direkteinleitung des weitgehend gereinigten Abwassers weniger belastet (Ausnahme Kalium). Eine deutliche Verbesserung der Entlastungsbedingungen in die Havel konnte hierdurch erreicht werden. Aufgrund des mächtigen Flurabstandes ist die Verweilzeit des Abwassers im Untergrund sehr groß. Somit ist gleichzeitig ein Abbau von Keimen gewährleistet.

Im Vergleich zu einer Direkteinleitung des Abwassers in Oberflächengewässer kommt es während der Untergrundpassage zur Verdünnung, eingeschränkt zur Adsorption und zu einem Abbau der eingebrachten Stoffe und damit zu einer Abnahme der Konzentrationen.

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um eine Ersteinschätzung der Situation im Bereich des Rieselfeldes Karolinenhöhe handelt. Die hier stattfindenden Prozesse (z.B. Abbau von Ammonium) sind spezifisch für die hydrogeologischen Bedingungen an diesem Standort. Dieser Ersteinschätzung müssen weitere detailliertere Untersuchungen und Auswertungen folgen.

## 8 Literatur

Krainov, S.R. & Voigt, H.-J.,1990: Geochemische und ökologische Folgen der Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit unter Einwirkung von Wasserschadstoffen., Zeitschrift für angewandte Geologie 36 11, S. 405 – 410, Berlin

Scheffer/ Schachtschabel, 1998: Lehrbuch der Bodenkunde, 14., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart,

### unveröffentlichte Gutachten und Berichte

- VEB Industrie-Consult/TU Dresden: Rieselfeldstudie/ BWB. Einschätzung der Auswirkungen einer geplanten veränderten Betriebsführung der Rieselfelder am Standort Karolinenhöhe in Berlin-Spandau.  
Teil 1 (1987)  
    Bd.2: Textteil  
    Bd.3: Anlagen  
Teil 2: Feldversuche, spezifizierte Laborversuche, Landschaftsgestaltung (1988)  
    Bd.1: Kurzbericht  
    Bd.2: Hauptbericht  
    Bd.3: Anlagen  
    Bd.5: Daten  
Teil 3: Neues Konzept für die zukünftige Gestaltung und Betriebsweise des Rieselfeldes (1990)  
    Bd.1: Kurzbericht  
    Bd.2: Hauptbericht  
    Bd.3: Anlagen  
    Bd.4: Daten
- VEB Industrie – Consult Berlin: Dokumentation Teichfläche E2, (1990)
- Hydrogeologisches Strukturmodell Wasserwerk Tiefwerder (1998)
- GCI GmbH: Grundwasser Monitoring System Rieselfelder Karolinenhöhe (GMS RF KH). Bohrungs- und Messstellenkataster, Juni 1994
- Jekel, M. Reemtsma, T.: Untersuchungen zur Mischwasserversickerung in den Rieselfeldern Karolinenhöhe, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wasserreinhaltung, Oktober 1996



- Liese, M., Jahnke, Ch., Nagare, R., Voigt, H-J., 2004: Analyse des über 10 – jährigen Versuchsbetriebes zur Bewirtschaftung des Rieselfeldes Karolinenhöhe mit Klarwasser, Projektbericht der BTU Cottbus für KompetenzZentrum Wasser der BWB,
- Nagare, R., 2005: Study of Groundwater Hydrodynamics and Changing Hydrochemical Conditions at the 100 Years Old Sewage Farms of Berlin Karolinenhöhe, Master thesis at the Chair of Environmental Geology, BTU Cottbus.
- Savric, I.: Einflussfaktoren auf die Bindung und Mobilität organischer und anorganischer Stoffe in kontaminierten Rieselfeldern. Dissertation an der Technischen Universität Berlin, Fakultät III – Fakultät für Prozesswissenschaften, Berlin, 2001

## Schriftenreihe Kompetenzzentrum Wasser Berlin

Bisher erschienen:

- Band 1 (2004): Beteiligung der Öffentlichkeit im Koordinierungsraum Havel  
*Nicole Kranz, Antje Vorwerk, Wenke Hansen*
- Band 2 (2005): berlinbeach – Erarbeitung eines Verfahrens zur Vermeidung von Einleitungen aus der Mischkanalisation in städtische Fließgewässer (2005)  
*Norbert Engel, Peter Moll, Ralf Steeg*
- Band 3 (2005): Behandeltes Abwasser als Ressource – Erfahrungen mit der Ableitung weitgehend gereinigten Abwassers aus dem Klärwerk Waßmannsdorf (2005)  
*Klaus Möller, Nils Kade*
- Band 4 (2006): Online-Sensor zur Erfassung von Biofilmen  
*Klaus-Henrik Mittenzwey, Ulrich Szewzyk, Volker Dworak, Detlef Schulze*
- Band 5 (2007): Pilotox – Pilotuntersuchungen zur kombinierten oxidativ-biologischen Behandlung von Klärwerksabläufen für die Entfernung von organischen Spuren- und Wirkstoffen und zur Desinfektion  
*Carsten Bahr, Mathias Ernst, Martin Jekel*  
*In Zusammenarbeit mit Bernd Heinzmann, Francis Luck, Achim Ried*
- Band 6 (2007): *Cylindrospermopsis raciborskii* und Cylindrospermopsin in Gewässern der Berliner Region - Vorkommen, Ursachen, Auswirkungen  
*Claudia Wiedner, Jacqueline Rücker, Bodo Weigert (Hrsg.)*
- Band 7 (2007): CONFERENCE PROCEEDINGS  
2nd IWA National Young Water Professionals Conference, Germany  
“Membrane Technologies for Wastewater Treatment and Reuse”  
4-5 June 2007, Berlin (Germany)  
*Boris Lesjean (ed.)*

Alle Bände können auch als Dokument von der Homepage des KWB heruntergeladen werden

Mit der Aufbringung von Klarwasser auf das ehemalige Rieselfeld Karolinenhöhe haben die Berliner Wasserbetriebe 1990 eine ökologisch vertretbare, wasserwirtschaftlich sinnvolle und verhältnismäßige Bewirtschaftung eines alten Rieselfeldes gestartet. Nach über 10 – jährigem Betrieb wurde die Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit bewertet.

Die Beaufschlagung stabilisiert insgesamt den Wasserhaushalt und damit den Basisabfluss der Havel. Besonders eine Beaufschlagung in den Niedrigwasserperioden (Sommer und Herbst) wirkt durch den erhöhten Basisabfluss den niedrigen Abflüssen im Oberflächenwasser entgegen. Der ökologische Status des 1. Grundwasserleiterkomplexes des Rieselfeldes ist seit 1990 deutlich verbessert.

Die Beaufschlagung mit Klarwasser wirkt sich im Vergleich zur Ausgangssituation insgesamt positiv auf die Qualität des Grundwassers aus. Die Konzentrationen der meisten Parameter gingen zurück. Ein Risiko durch die weitere Beaufschlagung besteht nicht. Aufgrund der Bodenpassage des Wassers kommt es zu einem Abbau der Stickstoffverbindungen und zu einer Verdünnung durch die natürliche Neubildung. Damit wird die Vorflut im Vergleich zur Direkteinleitung des gereinigten Abwassers weniger belastet (Ausnahme Kalium). Aufgrund des mächtigen Flurabstandes ist die Verweilzeit des Klarwassers im Untergrund sehr groß. Somit ist gleichzeitig ein Abbau von Keimen gewährleistet.

Dieser Ersteinschätzung müssen weitere detailliertere Untersuchungen und Auswertungen folgen.