



Landeshauptstadt  
München  
**Referat für Gesundheit  
und Umwelt**

## **Grundwasser- Überwachungssystem der Landeshauptstadt München**

Abschlussbericht



Ein Projekt gefördert nach dem  
Finanzierungsinstrument für die  
Umwelt (LIFE) der Europäischen  
Gemeinschaften

## **Impressum**

Herausgeber: Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt  
München, Mai 1999

Bearbeitung: Dr. F. Dohr, Dipl. Geol.  
W. Gruban, Dipl. Geogr.  
RGU 113  
Bayerstraße 28a  
80335 München  
Tel.: (089) 2 33 - 2 37 25 od. 2 33 - 2 73 36  
Fax: (089) 2 33 - 2 83 44

PDF-Erstellung: SustainAbilities, München

Nachdruck nur mit Genehmigung des Herausgebers



**LIFE 94/D/A32/D/00422/BAY**

**GRUNDWASSER - ÜBERWACHUNGSSYSTEM  
DER LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN**

Abschlussbericht

## **Anschrift der Autoren**

### **Dr. Folker Dohr, Dipl. Geologe**

Referat für Gesundheit und Umwelt der LH München  
RGU 113  
Bayerstrasse 28 a  
80335 München

FON +49 -89 -23323725

FAX +49 -89 -23328344

### **Werner Gruban, Dipl. Geograph**

Referat für Gesundheit und Umwelt der LH München  
RGU 113  
Bayerstrasse 28 a  
80335 München

FON +49 -89 -23327336

FAX +49 -89 -23328344

Kurzfassung (englisch)

Report Title	Groundwater Monitoring System of the City of Munich
Sponsoring Agency (Name, Address)	European Commission, Directorate-General XI, Environment, Nuclear Safety and Civil Protection XI.B.2, Geb. BU-5/167, Rue de la Loi 200, B-1049 Brussels
Sponsoring Number	LIFE94/D/A32/D/00422/BAY
Authors (Name, First Name)	Dohr, Folker; Gruban, Werner
Accepter of the Sponsorship	City of Munich, City Treasury Department, City Hall, D-80331 Munich, Germany
Performing Organization	City of Munich, Department of Health and Environment, Bayerstraße 28a, 80335 München, Deutschland
Project Period	36 months; beginning: 02.04.1996, end: 31.03.1999;
Report Date	June 1999
No. of Pages	167 pages
No. of References	6
No. of Tables, Diagrams	42
No. of Figures	70
Abstracts	<p>By carrying through this project it is intended to show european conurbations like the City of Munich a possibility how a comprehensive monitoring of the groundwater quality can be done. A network with 330 -350 control points should be developed, installed and operated for a test. It was also intended to determine groundwater quality by a staggered test procedure and then to evaluate the analysis results with the help of special data processing software. Of course the project should be ecologically effective and economically justifiable.</p> <p>With the final report of the project the following facts are revealed: Because of the problems concerning groundwater protection in conurbations the necessity of permanent groundwater quality monitoring is justified. The starting point concerning groundwater examination in the City of Munich is described. Referring to the important hazard potentials for the groundwater that have been recognized for the City of the Munich certain criteria have been worked out, in order to develop a first network of control points and to check its efficiency.</p> <p>The network of control points, sampling and analysing were tuned with each other concerning their logistic interdependence and correlation. The parameters were selected because of the knowledge of present contamination of the groundwater and because of thinking about possible hazards for the groundwater, which can be derived from the present and historical land use structure of the City of Munich. The sampling itself was carried out under the regulations of DIN 38402. Except the PAK examination, it was not the principal aim to question techniques of sampling and analysing.</p> <p>During the quality tests of the laboratory results spot checks were made. The analysis results were worked out by data processing and transferred to a database in ORACLE, which was created during the project specially for this purpose. Methods of evaluation were simple statistics with EXCEL and SPSS; for evaluating temporary and spatial variability of groundwater pollution ArcVIEW and ArcINFO have been used. For the spatial evaluation additional programs were used, which are running under BS 2000 (operating system) but are being transferred to UNIX just now.</p> <p>With the help of the evaluated data and the such received general survey about the present pollution and its temporary variability the network of control points was adapted to this knowledge.</p>

As consequence of this project the City of Munich intends to prosecute a network, which will work with about the half of the number of its own project control points, in addition external measurings will be included.

There will be done two control samples by the Department a year including the parameters electrical conductivity, temperature, pH value, oxygen content, chloride, boron, nitrate, sulphate, chlor. hydrocarbon, DOC. After 5 years there should be a test concerning PAK and pesticides.

Additional tools for evaluating the data and for describing the conditions of groundwater flow have been recognized as useful and necessary. Partly they have already been acquired.

The possibility to transfer this project of the groundwater monitoring in conurbations is a result of the exemplary way of the City of Munich as well as of the critical discussion of the results and the methods used.

By describing the proceeding deficiencies, especially concerning scientific evaluation shall be recognized.

**Keywords**

groundwater quality, municipal groundwater monitoring system, development of a monitoring network, sampling, analytisis, groundwater contamination, groundwater protection

## Kurzfassung (deutsch)

Titel des Projektes	Grundwasser-Überwachungssystem der Landeshauptstadt München
Fördernde Institution (Name, Anschrift)	Europäische Kommission, Generaldirektion Umwelt, Nukleare Sicherheit und Zivilschutz, XI.B.2, Geb. BU-5/167, Rue de la Loi 200, B-1049 Brüssel
Fördernummer	LIFE94/D/A32/D/00422/BAY
Autoren (Name, Vorname)	Dohr, Folker; Gruban, Werner
Mittlempfänger	Landeshauptstadt München, Stadtkämmerei, Rathaus, D-80331 München, Deutschland
Projektdurchführung	Landeshauptstadt München, Referat für Gesundheit und Umwelt, Bayerstraße 28a, 80335 München, Deutschland
Projektlaufzeit	36 Monate; Beginn: 02.04.1996, Abschluss: 31.03.1999;
Veröffentlichungsdatum	Juni 1999
Seitenzahl	167 Seiten
Literaturangaben	6
Tabellen und Diagramme	42
Abbildungen	70
Kurzfassung	<p>Mit der Durchführung dieses Projektes wird das Ziel verfolgt, europäischen Kommunen wie die LH München einen Weg aufzuzeigen, wie die flächige Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit durchgeführt werden kann. Es sollte ein Messsystem mit 330 bis 350 Messstellen entwickelt, aufgebaut und zur Probe betrieben werden. Ebenso war es Absicht, mit einem mehrstufigen Analytikprogramm die Grundwasserqualität zu bestimmen und die hier gewonnenen Ergebnisse mit Hilfe spezieller EDV-Instrumente auszuwerten. Dabei sollte das Projekt die Vorgaben erfüllen, ökologisch effektiv und ökonomisch vertretbar zu sein.</p> <p>Mit dem vorgelegten Projekt-Abschlussbericht wird folgendes dokumentiert:  Aufgrund der Problemstellung im Bereich des kommunalen Grundwasserschutzes wird die Notwendigkeit der kontinuierlichen Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit begründet. Die Ausgangssituation, wie sie sich in der LH München für die Grundwasseruntersuchung darstellt, wird beschrieben. Aufgrund der für die Stadt München erkannten bedeutsamen Gefährdungspotentiale des Grundwassers wurden Kriterien erarbeitet, um ein erstes Messnetz zu entwickeln und auf seine Leistungsfähigkeit hin zu überprüfen. Messnetz, Probennahme und Analytik wurden hinsichtlich ihrer logistischen Zusammenhänge und Abhängigkeiten aufeinander abgestimmt. Die Parameterauswahl erfolgte aufgrund der Kenntnisse über bestehende Grundwasserbeeinträchtigungen und der Annahme potentieller Grundwasser-risiken, die sich aus der gegenwärtigen wie auch historischen Flächennutzungsstruktur der LH München ableiten. Die Probennahme selbst erfolgte nach den Richtlinien der DIN 38402. Probennahme- und Analysetechniken kritisch zu hinterfragen und zu variieren waren mit Ausnahme der Untersuchung der PAK <u>nicht</u> zentrales Anliegen dieses Projektes. Im Rahmen der Qualitätssicherung der Laborergebnisse wurden aber stichprobenartige Prüfmaßnahmen durchgeführt.</p> <p>Die Messergebnisse wurden DV-technisch aufbereitet und auf die speziell im Projektverlauf hierzu geschaffene Datenbank in ORACLE übertragen. Angewandte Auswertemethoden waren einfache Statistik mit EXCEL und SPSS, Auswertung hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Variabilität der Grundwasserbelastungen mit ArcView und ArcInfo. Zur räumlichen Auswertung wurden zusätzlich Programme</p>

herangezogen, die zur Zeit noch unter dem Betriebssystem BS2000 anwendbar sind, aber gegenwärtig auf UNIX übertragen werden. Mit Hilfe der ausgewerteten Daten und dem damit geschaffenen Gesamtüberblick über die Belastungssituation und ihrer zeitlichen Variabilität wurde das Messnetz diesen Erkenntnissen angepasst. Als Konsequenz des Projektes beabsichtigt die LH München künftig ein Messnetz zu unterhalten, das mit etwa der Hälfte der im GWUES beprobten Messtellen vom Referat für Gesundheit und Umwelt selbst betrieben wird, zusätzlich aber referatsextern durchgeführte Messungen miteinbezieht.

Die Messungen des Referates werden zweimal jährlich auf die Parameter Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Chlorid, Bor, Nitrat, Sulfat, LHKW, und ggf. DOC durchgeführt. Im zeitlichem Abstand von 5 Jahren soll eine Untersuchung auf PAK und PSM erfolgen.

Zusätzliche Instrumente zur Auswertung der Daten und der Beschreibung der Strömungsverhältnisse sind für sinnvoll bzw. notwendig erkannt worden. Teilweise wurde deren Beschaffung bereits in die Wege geleitet.

Die Übertragbarkeit dieses Projektes, Grundwasserüberwachung im kommunalen Bereich durchzuführen, ergibt sich aus dem beispielhaft gezeigten Weg der LH München sowie der kritischen Auseinandersetzung mit den angewandten Methoden und Ergebnissen. Mit der transparenten Darstellung der Vorgehensweise sollen Defizite, gerade auch im Bereich der wissenschaftlichen vertieften Auswertung, erkennbar werden.

#### Schlagwörter

Grundwasserbeschaffenheit, Kommunales Grundwasser-Überwachungssystem, Entwicklung eines Messnetzes, Probennahme, Analytik, Grundwassergefährdung, Grundwasserschutz

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>II. Problemstellung</b>	<b>2</b>
1 Vorgehensweise	2
2 Gefährdungen der Grundwasserqualität in urbanen Siedlungsräumen	3
3 Stand der Grundwasserüberwachung - Beispiel bestehender Grundwasserüberwachung	4
4 Konzept für die Einrichtung eines Grundwasserbeschaffenheits-Meßnetzes	4
5 Ziele des GWUES	9
<b>III. Beschreibung des Projektgebietes</b>	<b>10</b>
1 Geographische Lage und historische Stadtentwicklung	10
2 Geologische und hydrogeologische Beschaffenheit des Untergrundes	12
3 Nutzung des quartären Grundwassers	21
<b>IV. Durchführung</b>	<b>23</b>
1 Aufbau und Einrichtung des Meßnetzes	23
2 Auswahl der Parameter	29
3 Probennahme	32
4 Meßhäufigkeit	33
5 Analytik	33
6 Qualitätssicherung	36
7 EDV-Einsatz	37
<b>V. Auswertung</b>	<b>39</b>
1 Bewertungsgrundlagen	39
2 Durchführung der Messungen und der Analytik	42
3 Auswertung und Darstellung der Analyse-Ergebnisse	44
4 Zusammenfassende Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit im Stadtgebiet	113
5 Weitergehende Untersuchungen und Konsequenzen aus den Analysenergebnisse	131
<b>VI. Folgerungen</b>	<b>136</b>
1 Diskussion und Folgerungen aus der Grundwasserüberwachung	136
2 Weiterführung der Grundwasserüberwachung durch die LH München	146
3 Gesamtbewertung im Hinblick auf die gesetzten Ziele	159
<b>VII. Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>163</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Diagramme</b>	<b>164</b>
<b>Literatur</b>	<b>167</b>

## I. Vorwort

Wasser ist eine der Lebensgrundlagen des Menschen. Im Zusammenhang mit einem nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser trägt die Landeshauptstadt München die Verpflichtung, das Grundwasser zu schützen und in seiner natürlichen Qualität zu sichern und zu erhalten.

Auch wenn die Stadt München das obere Grundwasserstockwerk im Stadtgebiet in der Regel nicht zur Versorgung ihrer Bürgerinnen und Bürger mit Trinkwasser heranzieht, so bleibt dennoch die Verantwortung gegenüber den Gemeinden, die dies stromabwärts tun. Deshalb hat sich München die Aufgabe eines flächendeckenden Grundwasserschutzes in seinem Bereich gestellt. Diese Bemühungen stehen im Einklang mit dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung, zu dem sich München bekennt.

Wesentlicher Bestandteil eines flächendeckenden Grundwasserschutzes ist neben der Bewirtschaftung der Grundwassermengen die Sicherung der Grundwasserqualität. Bedingt durch langanhaltende und vielfältige Nutzungseinflüsse sind die oberflächennahen Grundwasserleiter im Stadtgebiet nahezu überall anthropogen beeinflusst.

Im Sinne des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen kann deshalb als Ziel eines kommunalen Grundwasserschutzes in München gelten, *anthropogen möglichst unbelastetes Grundwasser* zu sichern und soweit wie möglich vor anthropogenen Belastungen zu schützen.

Um dieses Ziel zu erreichen strebt München eine konsequente Überwachung der Grundwasserqualität durch ein nahezu flächendeckendes Messnetz an. Mit den im Projekt angewandten Methoden und den daraus gewonnenen Erkenntnissen werden ähnlich strukturierten Städten und Ballungsgebieten nachvollziehbare Lösungswege und Hinweise für eigene Vorhaben zur Grundwasserüberwachung angeboten.

Mit dem vorliegenden Schlußbericht erfolgt eine Gesamtbewertung der technischen und wirtschaftlichen Ergebnisse sowie des durch das Vorhaben erzielten umweltrelevanten Nutzens. Entwicklung, Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens werden dokumentiert und zusammengefaßt.

Das **Grundwasserüberwachungssystem München (GWUES)** wurde durch Fördermittel der Europäischen Gemeinschaft unterstützt. Das Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München dankt für die Bereitstellung finanzieller Mittel nach dem „Finanzierungsinstrument für die Umwelt (LIFE) der Europäischen Gemeinschaften“, ohne die das Projekt über den Zeitraum von drei Jahren mit dieser Intensität in Beprobung und Auswertung nicht hätte durchgeführt werden können. Insbesondere ist für Mitarbeit und Unterstützung zu danken:

- der Ingenieurgruppe München eG, die in enger Abstimmung mit dem Referat für Gesundheit und Umwelt die Koordination der Probennahme und Analytik, die Aufbereitung und erste Auswertung der Analyse-Ergebnisse übernommen hat,
- dem Labor Görtler & Partner Umweltanalytik GmbH für die Durchführung der Analytikarbeiten,
- dem Wasserwirtschaftsamt München und dem Landesamt für Wasserwirtschaft sowie den im Haus befassten Sachgebieten *Wasserrecht* sowie *Altlasten und Abbrüche*, die ihr Fachwissen in das Projekt einfließen ließen, und nicht zuletzt Herrn Stadtdirektor Wigand Kahl, der maßgeblich dazu beigetragen hat, dieses Projekt bei der Stadt München einzurichten und die finanzielle Unterstützung der EU zu gewinnen

Besonderer Dank gehört dem Projektteam Herrn Dr. Folker Dohr und Herrn Dipl.-Geogr. Werner Gruban, die das Projekt äußerst konsequent, fachkundig und - trotz manch widriger Umstände mit der zur Verfügung gestellten Hard- und Software - nicht zuletzt auch zeitplangemäß durchgeführt haben.

Mit dem vorgelegten Ergebnis hofft die Landeshauptstadt München einen Beitrag zu leisten, mit dem Kommunen im Interesse eines nachhaltigen Grundwasserschutzes tätig werden können.

Joachim Lorenz  
Berufsmäßiger Stadtrat

## II. Problemstellung

### II.1 Vorgehensweise

Mit dem vorliegenden Abschlussbericht wird folgende Vorgehensweise beschrieben:

Im **Kap. II Problemstellung** soll deutlich gemacht werden, vor welchen Problemen die Kommunen hinsichtlich Grundwasserschutz und Grundwasserüberwachung stehen, die Bedeutung und die Aufgaben der kommunalen Grundwasserüberwachung sollen vermittelt werden.

Mit **Kap. III Beschreibung des Projektgebietes** soll das Stadtgebiet in den Aspekten näher beschrieben werden, die in bedeutsamen Zusammenhang mit dem Projekt stehen. Es dient auch dazu, die Projektergebnisse in Bezug auf die konkreten, für die Stadt München charakteristischen Eigenschaften zu interpretieren. Somit lassen sich die Projektergebnisse, wenn sie von anderen europäischen Kommunen auf deren standörtliche Verhältnisse übertragen werden wollen, besser relativieren.

**Kap. IV Durchführung** dokumentiert die Planung und Durchführung beim Aufbau und Betrieb des Messnetzes und der Probennahme mit der anschließenden Analytik der Proben. Der Schwerpunkt liegt hier bei der kritischen Beschreibung der zur Anwendung gekommenen Methoden und Instrumente.

Das **Kap. V Auswertung** beschreibt die Vorgehensweise bei der Auswertung und der Darstellung der Ergebnisse. Es werden hier Ergebnisse statistischer Auswertungen sowie Analysen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität der Grundwasserbelastung in München vorgestellt. Die Situation, wie sie sich insgesamt für das Stadtgebiet nach dem Beobachtungszeitraum von drei Jahren gezeigt hat, wird erläutert, ebenso werden die Konsequenzen, die sich nach dem Projektabschluss für die LH München zur Entscheidung stellen, genannt.

In **Kap. VI Folgerungen** werden die Schlußfolgerungen und möglichen Konsequenzen diskutiert, die sich nach Projektabschluss für die LH München ergeben sowie Empfehlungen für die Übertragung der Erkenntnisse auf andere Kommunen gegeben. Die Möglichkeiten einer weiterführenden flächigen Grundwasserbeobachtung im Stadtgebiet werden benannt.

In einer Zusammenfassung wird das Projekt hinsichtlich der Erreichung seiner Zielsetzung bewertet.

## II.2 Gefährdungen der Grundwasserqualität in urbanen Siedlungsräumen - Ausgangssituation für das LIFE-Projekt

Das Grundwasser ist in der Bundesrepublik Deutschland durch das Wasserhaushaltsgesetz flächendeckend gegen "vermeidbare Beeinträchtigungen" (§1a,WHG) geschützt und der flächendeckende Erhalt der natürlichen Grundwasserqualität ist erklärtes politisches Ziel ( s. auch Sondergutachten des RATES VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1998, *Flächendeckend wirksamer Grundwasserschutz*). Dieses Ziel kommt in unterschiedlichen Gesetzeswerken und Verordnungen der Bundesrepublik Deutschland zum Ausdruck (z.B. §§ 33-35 WHG, Pflanzenschutzgesetz). Bei der Schaffung allgemeiner Schutzauflagen, die flächendeckend das gesamte Grundwasser betreffen, sind in den vergangenen Jahren große Fortschritte erzielt worden. Beispiele sind bauliche Auflagen bei der Lagerung, dem Transport und dem Umgang mit wassergefährdenden Stoffen oder das Verbot bestimmter Pflanzenschutzmittel.

Daß trotzdem anthropogene Schadstoffe aus vielfältigen Quellen und weitverbreitet im Grundwasser vorkommen, ist nur zum Teil mit dem Kenntnisstand und dem Verhalten aus der Zeit vor Inkrafttreten der Gesetze zu erklären. Denn auch heute gelangen nach wie vor Schadstoffe aus Industrie, Landwirtschaft und Verkehr in das Grundwasser, mit der Neigung fortzudauern, wenn keine wirksamen Maßnahmen durchgesetzt werden können.

Grundwasser ist in einer Großstadt wie München aufgrund der vielfältigen, sich teilweise überlagernden Nutzungen erheblichen stofflichen und nichtstofflichen Belastungen anthropogenen Ursprungs ausgesetzt. Wie stark das Grundwasservorkommen durch diese Beeinträchtigungen gefährdet ist hängt von Art, Ausmaß und Dauer der anthropogenen Einflüsse (historische und derzeitige Oberflächennutzung) und auch von den jeweiligen Standortverhältnissen ab.

Die Grundwasser-Problematik rückte verstärkt ins Bewußtsein der Öffentlichkeit, als Ende der siebziger Jahre das Ausmaß der Grundwasserbelastungen anlässlich zahlreicher größerer Grundwasserschadensfälle (Unfälle bei Lagerung, Umschlag oder Transport wassergefährdender Stoffe, Stoffeinträge aus Altablagerungen oder Altstandorte) offenkundig wurde.

Zu diesen Punktquellen mit teilweise sehr hohen Schadstoffkonzentrationen ( halogenierte Kohlenwasserstoffe und andere Organika) kommen nach wie vor diffuse Einträge aus der Luftbelastung hinzu bzw. bestehen Vielpunktquellen auf kleinstem Raum mit anorganischen Belastungen (Nitrat, Ammonium), Pflanzenschutzmittel, Arzneimittel, humanpathogenen Keimen und Viren.

Diese Grundwasserbelastungen existieren trotz der eingangs erwähnten gesetzlicher Instrumente. Deshalb stehen Wasserwirtschaftsverwaltungen und Gesetzgeber vor der Aufgabe, entsprechende Folgerungen aus den aufgedeckten Grundwasserbeeinträchtigungen zu ziehen. Auf Landesebene wurden zwar erste Schritte eingeleitet, um frühzeitig nachteilige Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit zu erkennen bzw. um die Wirksamkeit der vorhandenen Instrumente zu prüfen und um den Vollzug zu verbessern.

Aber die Übertragung dieser Konsequenz auf kommunale Ebene, in deren Gebieten die wohl zahlreichsten und weitgehendsten Grundwasserbeeinträchtigungen existieren, fand bisher nicht statt. Dabei unterstützen Grundwasserüberwachungssysteme bei der Umsetzung der Rechtsbestimmungen in mehrfacher Weise. Neben der laufende Kontrolle der Grundwasserqualität und dem Aufdecken von Belastungen und der Belastungswirkungen stehen sie im Dienste des Vollzugs und der Erfolgskontrolle des vorhandenen Instrumentariums. Zudem liefern sie Erkenntnisse, die einer Kommune helfen kann, ihren Handlungsspielraum im Sinne der Vorsorge argumentativ zu stützen und damit zu erweitern.

## **II.3 Stand der Grundwasserüberwachung**

Die Trinkwasserversorgung der Bundesrepublik Deutschland erfolgt im Gegensatz zu vielen anderen europäischen Ländern zum großen Teil aus Grundwasser (ca. 70%), in Bayern sogar zu 94% (SCHENK u. KAUPE, 1998).

Auf Landesebene hat die Grundwasserüberwachung eine längere Tradition, während im kommunalen Bereich eine kontinuierliche und flächige Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit bisher in der Bundesrepublik Deutschland nicht praktiziert wurde.

So gibt es z. B. in Bayern derzeit ein Grundmessnetz mit 278 Messstellen (Basis- und Trendmessstellen) und zahlreiche Messstellen in Sondermessnetzen (Erkundungsgebieten, Wassergewinnungsanlagen). Die Messstellen werden 2 bis 4 mal jährlich beprobt.

Die Landesmessnetze sind aber sehr weitmaschig entwickelt worden. Die sehr kleinräumige und stofflich umfangreichere wie auch prozeßmäßig wesentlich differenziertere Belastungssituation in städtischen Verdichtungsräumen erfordert ein wesentlich dichteres Messraster. So sind Erfahrungen bei der Grundwasserstandserfassung der Bundesländer bei der Anlage von Messnetzen nur bedingt auf urbane Verhältnisse übertragbar.

Urbane Gebiete zeichnen sich durch eine generelle Erhöhung der Hintergrundkonzentration, den Eintrag natürlicher, geogen gebietsfremder Stoffe und den Eintrag synthetischer Störstoffe aus. Dies bedeutet auch, dass die Bedeutung der Hauptinhaltsstoffe hin zu den vielzähligen Einzelstoffen verschoben wird.

Die früheren Aktivitäten im Bereich der Grundwasserbeobachtung im Stadtgebiet der Landeshauptstadt München beschränkten sich, neben der Befassung mit konkreten Fällen von lokalen Kontaminationen und deren Beweissicherung und Sanierung, in erster Linie auf die regelmäßige Höhenmessung der Grundwasserstände.

Im Jahre 1984 wurden Untersuchungen zur flächigen Erkundung des oberen Grundwasserstockwerks begonnen. Daran anschließend erfolgte zwischen 1986 und 1991 zur flächendeckenden Erfassung der Grundwasserqualität die Beprobung und Untersuchung von mehr als 1800 über das Stadtgebiet verteilten Messstellen. Zweck dieses Programmes war es, verborgene Altlasten und unerkannte Infiltrationen von umweltgefährdenden Substanzen in Boden und Grundwasser aufzuspüren sowie in erster Linie eine Beurteilungsbasis für künftige Grundwasseruntersuchungen zu schaffen.

## **II.4 Konzept für die Einrichtung eines Messnetzes zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit**

### **II.4.1 Grundwasserschutz und Grundwasserüberwachung**

In allen europäischen Großstädten besteht auf Grund der konzentrierten Ansiedlung der verschiedenartigsten Industrie- und Gewerbebetriebe und deren Umgang mit wassergefährdenden Stoffen eine erhöhte Gefahr von Grundwasserverunreinigungen. Zu leicht können Verunreinigungen durch unsachgemäßen Umgang, Leckagen oder Unfälle in den Untergrund gelangen und das Grundwasser belasten.

Die systematische Erfassung und Überwachung des Grundwasserzustandes in quantitativer und qualitativer Hinsicht ist deshalb die Grundlage für eine dauerhaft umweltgerechte Sicherung der Ressource Wasser als Bestandteil des Naturhaushaltes und Basis der Wasserversorgung. Hiermit lassen sich mögliche Beeinträchtigungen frühzeitig erkennen, Maßnahmen im Sinne des vorsorgenden Umweltschutzes treffen und die Wirksamkeit von gesetzlichen Regelungen oder Maßnahmen kontrollieren (SRU, 1998).

In diesem Zusammenhang kann Grundwasserüberwachung folgende Aufgaben ( in Abänderung der Vorschläge des SRU, 1998) erfüllen:

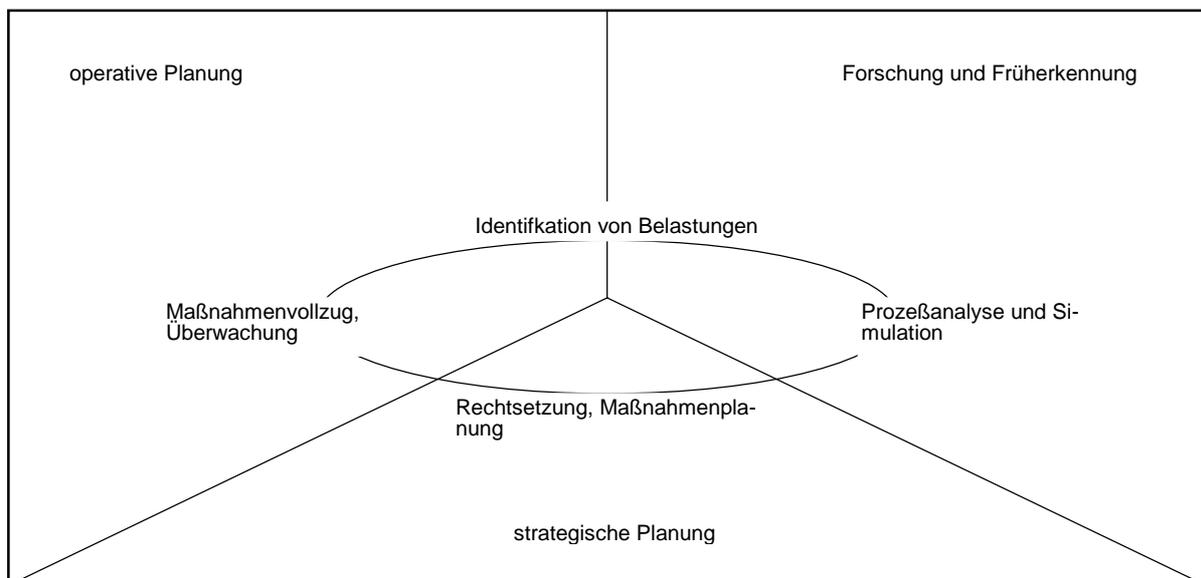
- durch Einbindung kommunal erhobener Daten, einheitliche Beschreibung des gegenwärtigen Zustandes der Grundwasserbeschaffenheit in den Ballungsgebieten
- Erkennen von Langzeittrends hinsichtlich Quantität und Qualität (Charakterisierung des Grundwasserzustandes, räumliche und statistische Verteilungsmuster der Parameter) auf hohem Aktualitäts-, Signifikanz- und Repräsentativitätsniveau
- Erfassung von Veränderungen beziehungsweise Warnung vor Grundwasserschadensfällen und Beweissicherung eingetretener Schäden
- Quantifizierung der anthropogenen Einflüsse im Stadtbereich
- Unterstützung des wasserwirtschaftlichen Vollzugs (Gewinnung wissenschaftlich gesicherter Basisdaten für wasserrechtliche Verfahren)
- Wirksamkeitsnachweis (Erfolgskontrolle) für eingeleitete umweltpolitische Maßnahmen
- Steuerung der Wassergewinnung mit Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte
- Sicherstellung der Kompatibilität der Ergebnisse im Informationsaustausch zwischen den unterschiedlichen Überwachungsbehörden

zusätzlich

- Bereitstellung von Daten für Überwachung und Grundwassermanagement
- Berichtspflichten einschließlich Information der Öffentlichkeit und fachliche Unterstützung der Politikbetreuung

## II.4.2 Vorüberlegungen für die Entwicklung eines Überwachungskonzeptes

Nach GRIMM-STRELE (1991) sollte die Planung und Durchführung von Maßnahmen zum Grundwasserschutz in einem ständigen Prozess erfolgen, der in nachfolgender Abbildung wiedergegeben wird. Meist steht zu Beginn die Aufdeckung von bis dato an diesem Ort unbekanntem oder stofflich neuartigen Grundwasserkontaminationen. Im Anschluß daran erfolgt die Identifikation der Schadstoffquellen und gegebenenfalls die Untersuchung der abgelaufenen Transport- und Reaktionsvorgänge. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sind Grundlage für die Entwicklung von geeigneten Instrumenten und Maßnahmen, die dann im Vollzug ein- und umgesetzt werden.



Diag. II.3.2: Planungs- und Durchführungsphasen

Methodisch bieten sich für den Bereich der Identifikation von Belastungen drei miteinander in Beziehung stehende Möglichkeiten an:

1. Ermittlung der Belastungsquellen ( z. B. Risikokartierung und -bewertung)
2. Ständige Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit durch den Betrieb von Messnetzen
3. Untersuchung der grundwasserhydraulischen und -chemischen Vorgänge für unterschiedliche Belastungstypen ( z. B. Modelluntersuchungen als Basis für Prognosen und Sanierungsmaßnahmen)

Im vorliegenden Fall war es zwar vorrangiges Projektziel, ein Messnetz zur kontinuierlichen Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit im kommunalen Zuständigkeitsbereich einzurichten und zu betreiben, dennoch bestehen enge Querverbindungen zu den beiden anderen Untersuchungsansätzen, die mitbedacht werden müssen, da sich hieraus auch funktionelle Mindestanforderungen an das Messnetz ergeben.

Bei der Früherkennung von Grundwasserbelastungen besteht eine unmittelbare Wechselbeziehung zwischen den erhobenen Grundwasserdaten und gezielten Beprobungsstrategien. Um konkrete Aufschlüsse zu den Ursachen der Grundwasserbelastung zu erhalten sind im weiteren Verlauf Messdaten und Modellansätze miteinander zu koppeln.

Zu all diesen Schritten leistet die Grundwasserüberwachung bedeutende Beiträge.

Aus funktioneller Sicht wesentlich für dieses Projekt sind, dass zum einen die erhobenen Daten zur Aufdeckung neuer Belastungen bereitgestellt werden (neue Störstoffe, Stoffquellen und Transportpfade), zum anderen die verursachenden Prozesse geklärt werden, um die Planungsgrundlage für die Erarbeitung zielgerichteter Instrumente auf der strategischen Ebene zu schaffen und um den Vollzug wirkungsvoll zu unterstützen.

Neben diesen funktionellen Aspekten ergeben sich Anforderungen aufgrund der im Stadtgebiet vermuteten Belastungsstruktur an das Messnetz, die festlegen, in welcher räumlichen Dichte und mit welchem zeitlichen Rhythmus die Überwachung durchgeführt wird. Die jeweiligen möglichen Beobachtungsstrategien unterscheiden sich dabei recht deutlich für weitgehend unbeeinflusstes Grundwasser oder für Grundwasser unter dem Einfluß flächig verteilter, disperser oder punktförmiger Einträge.

In Stadtgebieten bestehen Schadstoffquellen unterschiedlichster Art, die gehäuft auf kleinem Raum aneinandergrenzen und sich teilweise auch überlagern. Diese Quellenstruktur bezeichnet man als *dispers*. Von ihrer Definition her nehmen sie eine Zwischenstellung zwischen den rein *diffusen*, d. h. zeitlich und räumlich relativ gleichförmig verteilten und den *punktuellen*, d. h. zeitlich diskontinuierlich, aber räumlich eng begrenzten Schadstoffquellen (z.B. Leckagen) (GRIMM-STRELE et al., 1995).

Aus dieser sehr unterschiedlichen Quellenstruktur resultieren bei der Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit Schwierigkeiten, die aber auch zum Teil auf den Eigenschaften des Mediums Grundwasser beruhen:

- in der dreidimensionalen Ausdehnung des - hydrochemisch mehr oder weniger heterogen - Grundwasserkörpers, der zudem nur mit hohem Aufwand einer Beprobung mittels Bohrung zugänglich wird
- in der Vielgestaltigkeit der Stoffeintragsstruktur (Einzel-, Vielpunkt-, Linien-, Flächenquellen)
- in der daraus resultierenden erheblichen räumlichen Variabilität in den Stoffgehalten
- in der für einige Stoffe in Abhängigkeit von der örtlichen Strömungs-, Reaktions-, Standort- und Nutzungsbedingungen zeitlich schwankenden Konzentration
- in der Trägheit des Systems mit entsprechend langen Reaktionszeiträumen, die graduelle Beeinflussungen oft erst spät erkennen lassen
- in der Notwendigkeit, bei den organischen Verbindungen vergleichsweise kleine Konzentrationen für eine breite Palette von Stoffen überwachen zu müssen

### II.4.3 Anforderungen an ein kommunales Messnetz

In Deutschland verfügen einige Bundesländer über weit entwickelte Systeme zur Überwachung der Grundwasserstände und Grundwasserbeschaffenheit, in die auch Informationen aus grundwasserrelevanten Bereichen (anthropogene Einflüsse) einfließen. Kommunal betriebene Messnetze zur kontinuierlichen und flächendeckenden Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit existierten hier - soweit bekannt - bisher nicht.

Aufgrund dieser Tatsache ergeben sich bei der Konzeption eines kommunalen Messnetzes entsprechende Anforderungen, sollen die Grundwasser-Daten auch im großräumigen Kontext miteinander vergleichbar sein. Dies bedeutet eine kooperativen Vorgehensweise bei der Konzeption eines kommunalen Messnetzes von Kommune und Land.

In seinen Vorüberlegungen fand sich die LHM durch das Gutachten des SRU von 1998 bestätigt, in dem der SRU hinsichtlich der Schaffung einer effizienten, auf einheitlichen Grundlagen aufgebauten Grundwasserüberwachung auf bestimmte Modifikationen und Ergänzungen hinsichtlich Ausbau und Betrieb der Messnetze und Gestaltung der Messprogramme konkrete Empfehlungen gibt.

Dies bedeutete für die LHM im vorliegenden Fall enge Zusammenarbeit mit den übergeordneten Behörden wie Wasserwirtschaftsamt und Landesamt für Wasserwirtschaft.

Die Konzipierung der Messnetze beeinflusst ganz entscheidend die Aussagefähigkeit der Messergebnisse. Um repräsentative Daten zur kommunalen Grundwasserbeschaffenheit zu erhalten, wurden die Richtlinien der LAWA (1993), „*Richtlinie für die Beobachtung und Auswertung Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit*“, herangezogen; ebenso wurden neuere Forschungsergebnisse und Erkenntnisse (GRIMM-STRELE, 1991) im Bearbeitungsfortschritt mit aufgenommen.

Bei der Einrichtung von Grundwassermessnetzen lassen sich nach LAWA (1993) generell zwei Gruppen unterscheiden :

Grundmessnetze		Sondermessnetze	
<b>Basismessstelle</b>	Messstelle zur Erfassung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit	<b>Vorfeldstelle</b>	Messstelle zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit im Zuflusbereich von Grundwasserentnahmen
<b>Trendmessstelle</b>	Messstelle zur Erfassung geringfügiger und diffuser anthropogener Einflüsse auf das Grundwasser	<b>Emittentenmessstelle</b>	Messstelle zur Überwachung eines Gefährdungspotentials
		<b>Belastungsmessstelle</b>	Messstelle zur Überwachung von Grundwasserunreinigungen oder deren Sanierung
		<b>Problemgebundene Messstelle</b>	Messstelle mit besonderer Aufgabenstellung

Tabelle II.3.2: Einteilung der Messnetze

Grundmessnetze sind gewässerkundlich orientiert und von überörtlicher Bedeutung. Sie dienen der langfristigen Beobachtung des zeitlichen Verlaufes der Grundwasserlandschaften und -regionen (LAWA, 1993). Sie umfassen:

- *Basismessstellen*, die die Schwankungsbreite der geogenen Grundwasserbeschaffenheit erfassen und somit Referenzwerte für die Beurteilung anthropogener Einflüsse liefern
- *Trendmessstellen*, die der Erfassung diffuser Stoffeinträge ins Grundwasser dienen und daher innerhalb der Grundwasserlandschaften gleichmäßig verteilt sein müssen

Sondermessnetze dienen der Erfassung lokaler Belastungsherde und sind daher räumlich eng begrenzt. Wichtig ist hier die Ermittlung von Fließrichtung und -geschwindigkeit. Dazu gehören:

- *Vorfeldmessstellen* mit Frühwarnfunktion im Zustrombereich von Wassergewinnungsanlagen

- *Emittentensmessstellen* für die Überwachung von (potentiellen) Belastungsherden im Zustrombereich von Wassergewinnungsanlagen
- *Belastungsmessstellen* für die Überwachung bekannter Schadensfälle
- *Problemgebundene Messstellen* für besondere Aufgabenstellungen

Das Gesamtnetz setzt sich gemäß den LAWA-Empfehlungen von 1993 aus den *Teilmessnetzen* zusammen, die je nach Zielsetzung und Aufgabenschwerpunkt - landesweiter Überblick oder lokale Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit - von unterschiedlichen Trägern errichtet werden.

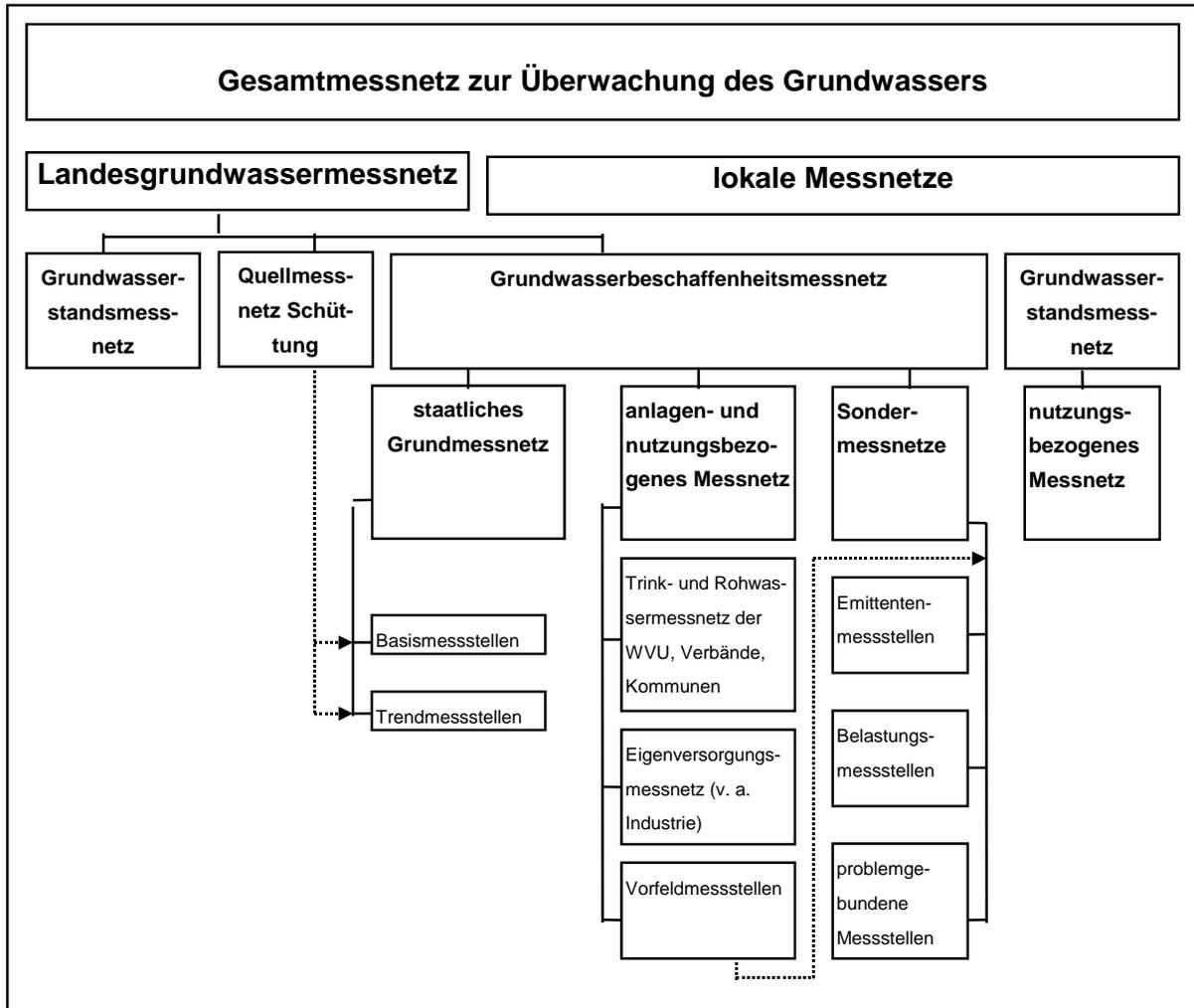


Abb. III.3.2 nach SRU 1998 (verändert nach TOUSSAINT, 1996)

## II.5 Projektziel

Ziel dieses LIFE-Projekts ist die Entwicklung und der Aufbau eines innovativen, flächendeckenden Grundwasser-Überwachungssystems zur permanenten Kontrolle der Einhaltung der *EG-Richtlinien zum Grundwasser- und Trinkwasserschutz* als Modell für entsprechende Überwachungssysteme in anderen Ballungszentren Europas.

Dieses Projekt beinhaltet

- Entwicklung, Aufbau und Probetrieb eines Messsystems zur flächendeckenden Grundwasserüberwachung bestehend aus einem Netz von ca. 330 - 350 hydrologisch repräsentativen Grundwasserpegeln
- ein mehrstufiges Analyseprogramm zur Feststellung der Qualität und etwaiger Belastungen des Grundwassers
- die Definition eines anwenderfreundlichen Computerprogrammes zur Speicherung, Verarbeitung und Auswertung des Datenmaterials

Das Projekt versteht sich als europäisches Demonstrationsobjekt für eine ökologisch effektive und ökonomisch vertretbare permanente Grundwasserüberwachung in Großstädten, also für Gebiete mit besonderen Kontaminationsrisiken und mit hydrogeologischen Verhältnissen, die dem glazial geprägten Lockergesteinsaquifer (Porengesteinsleiter) Münchens entsprechen.

Mit dem **GRUNDWASSER-UEBERWACHUNGSSYSTEM** (GWUES) will die Landeshauptstadt München ein Instrument für eine effektive Grundwasserüberwachung und einen konsequenten Grundwasserschutz schaffen. Das GWUES wurde als nahezu flächendeckendes Messstellennetz im Stadtgebiet konzipiert, um die Überwachung der Grundwasserqualität, der Grundwasserstände und somit auch der Grundwasserquantität sicherzustellen. Das Messstellennetz soll nach Möglichkeit das Stadtgebiet mit einem mehr oder weniger gleichmäßigen Raster überdecken, wobei die Rasterabstände einerseits groß genug sein sollten, um möglichst alle relevanten Kontaminationen zu erfassen, andererseits aber auch nicht zu eng sein sollten, um den personellen und finanziellen Aufwand in vertretbarem Verhältnis zum Nutzen zu halten.

Was die Auswertung der Daten betrifft, sollte mit ausgelotet werden, mit welchem Mindest-Einsatz an Instrumenten und Methoden sichere Aussagen zum Zustand des Grundwassers gewährleistet werden können. Dies bedeutet aber auch, dass rein wissenschaftliche Aspekte, die bei der Bearbeitung des Projektes eine Rolle hätten spielen können, einer pragmatischen und praxisbezogenen Vorgehensweise untergeordnet wurden bzw. zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen der Nachfolgearbeiten des Projektes bearbeitet werden können.

Beispielsweise sind dies auch weitergehende statistische und geostatistische Verfahren mit denen die gewonnenen Daten hätten noch umfassender ausgewertet werden können. Aber solche Methoden erfordern entsprechendes Instrumentarium sowie Finanzmittel und gehen damit weit über den eigentlichen Anspruch dieses Projektes hinaus, nämlich mit geringstmöglichem Einsatz den größtmöglichen Erkenntnisgewinn zu erzielen.

Gerade die pragmatische Vorgehensweise ist nach Einschätzung des Referates für Gesundheit und Umwelt sehr bedeutsam, will man die Vorgehensweise und Erkenntnisse für andere europäische Kommunen transparent und auch in ökonomischer Hinsicht nachvollziehbar und nachahmbar machen. Zumal finanzielle Nöte der Kommunen deren Möglichkeiten für die Übernahme solcher freiwilliger Aufgaben sehr stark einschränken.

### III. Beschreibung des Projektgebietes

#### III.1 Geographische Lage, Topographie und Nutzungsgeschichte

München liegt inmitten der zum nördlichen Alpenvorland zählenden Landschaftseinheit der **Münchner Schotterebene**. Die Schotterebene wird im Süden, Osten und Westen durch Moränengürtel begrenzt. Im Norden schließt sich das Tertiärhügelland an. Sie erstreckt sich über eine Länge von etwa 50 km und eine Breite von bis zu 40 km. Die Mächtigkeit des Schotters reicht von 2 bis 20 m, im Süden bis zu 100 m. Das Gebiet stellt mit einer Fläche von etwa 2000 km<sup>2</sup> einen der ausgedehntesten Schotterbereiche Bayerns dar. Die Münchner Schotterebene wird auch *Schiefe Ebene* genannt, da sie von ca. 650 m ü. NN im Süden auf etwa 430 m ü. NN im Norden abfällt. Ihr Gefälle reduziert sich von 12 ‰ in Höhe der südlichen Moränen auf 4-5 ‰ im Stadtgebiet von München und auf nur mehr 2 ‰ im Norden in Freising. Diese Gegebenheiten machen die Münchner Schotterebene zu einem der grundwasserreichsten Gebiete Deutschlands.

Die Landeshauptstadt München (ca. 48°12′ geographische Breite, 11° 30′ östliche Länge) erstreckt sich über eine Fläche von rund 310 km<sup>2</sup>. Die höchste Erhebung bildet der Warnberg (Solln) am südlichen Stadtrand mit 579 m ü. NN, der niedrigste Punkt wird mit 482 m ü. NN im nördlichen Schwarzhölzl (Feldmoching) erreicht. Der maximale Höhenunterschied beträgt somit 97 Meter.

Die durchschnittliche Lufttemperatur im Stadtgebiet München liegt im langjährigen Mittel bei 8,0 C°. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge beträgt 950 mm, wobei 65% der Niederschläge im Zeitraum vom Mai bis Oktober fallen.

Die historische wie auch aktuelle Landnutzung haben im Stadtgebiet München maßgeblich Böden und Bodenentwicklung beeinflusst und damit auch wesentlich die räumliche und zeitliche Verteilung der aktuellen und potentiellen Gefährdung des Grundwassers. Tiefgreifende Veränderungen der naturräumlichen Gegebenheiten wirken heute auf Menge und Beschaffenheit des Grundwassers im Stadtbereich.

Die Gründung Münchens als Markt- und Kaufmannsiedlung durch den Welfenherzog Heinrich den Löwen reicht bis ins 12. Jahrhundert zurück. Die wirtschaftliche Entwicklung der Stadt war stark geprägt vom Salz- und Fernhandel sowie vom Handwerk. Die Veränderungen, die München als fürstliche Residenzstadt ab dem 16. Jahrhundert erfuhr, konzentrieren sich zunächst auf das Gebiet innerhalb der Mauerbefestigung. Während des 18. Jahrhunderts führte zunehmender Bevölkerungsdruck zur Entstehung „wilder Siedlungen“ vor der Stadt entlang der Isar (Lehel, Au). Während des 19. Jahrhunderts wurde München als Hauptstadt des jungen Königreichs Bayern planmäßig erweitert. Diese „adlige Stadterweiterungen“ ließen u. a. Max-Vorstadt und Ludwig-Vorstadt entstehen und waren an repräsentativen Prachtstrassen ausgerichtet. In der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts setzte eine starke Durchmischung von Wohn- und Gewerbefunktionen ein.

Die Industrialisierung setzte in München mit Beginn des 20. Jahrhunderts erst relativ spät ein. Sie umfaßte vor allem den Maschinen- und Fahrzeugbau (Krauss-Maffei, MAN, BMW), der sich vornehmlich vor der Stadt auf der „grünen Wiese“ (z.B. Allach) niederließ. Stark altlastenverdächtige und damit extrem grundwassergefährdende Industriezweige wie z.B. Bergbau, Hüttenwesen und Großchemie waren mit Ausnahme der Gaswerke in München nicht vertreten. Während des 2. Weltkriegs wurde das Stadtgebiet stark bombardiert. 90 % der historischen Stadtbereiche wurden zerstört, insgesamt fielen etwa 45 % der Bausubstanz den Bombenangriffen zum Opfer. Unzählige Bombentrichter wurden mit zum Teil nicht geeigneten Materialien verfüllt sowie große Schuttdeponien errichtet (z.B. Olympiaberg). Nach dem 2. Weltkrieg stieg der Flächenverbrauch als Folge der rasanten wirtschaftlichen Entwicklung stark an. Großkonzerne wie z.B. Siemens verlagerten ihren Hauptsitz nach München. Verkehrsachsen wurden ausgebaut. Heute gilt München trotz großer innerstädtischer Parkanlagen (z.B. Englischer Garten, Schloß Nymphenburg) als eine der am dichtesten besiedelten Großstädte in Deutschland. Zur Orientierung im Stadtgebiet München werden markante Punkte in der Übersichtskarte von München (Abb. III.1.1) dargestellt.

# Übersichtskarte Stadtgebiet München

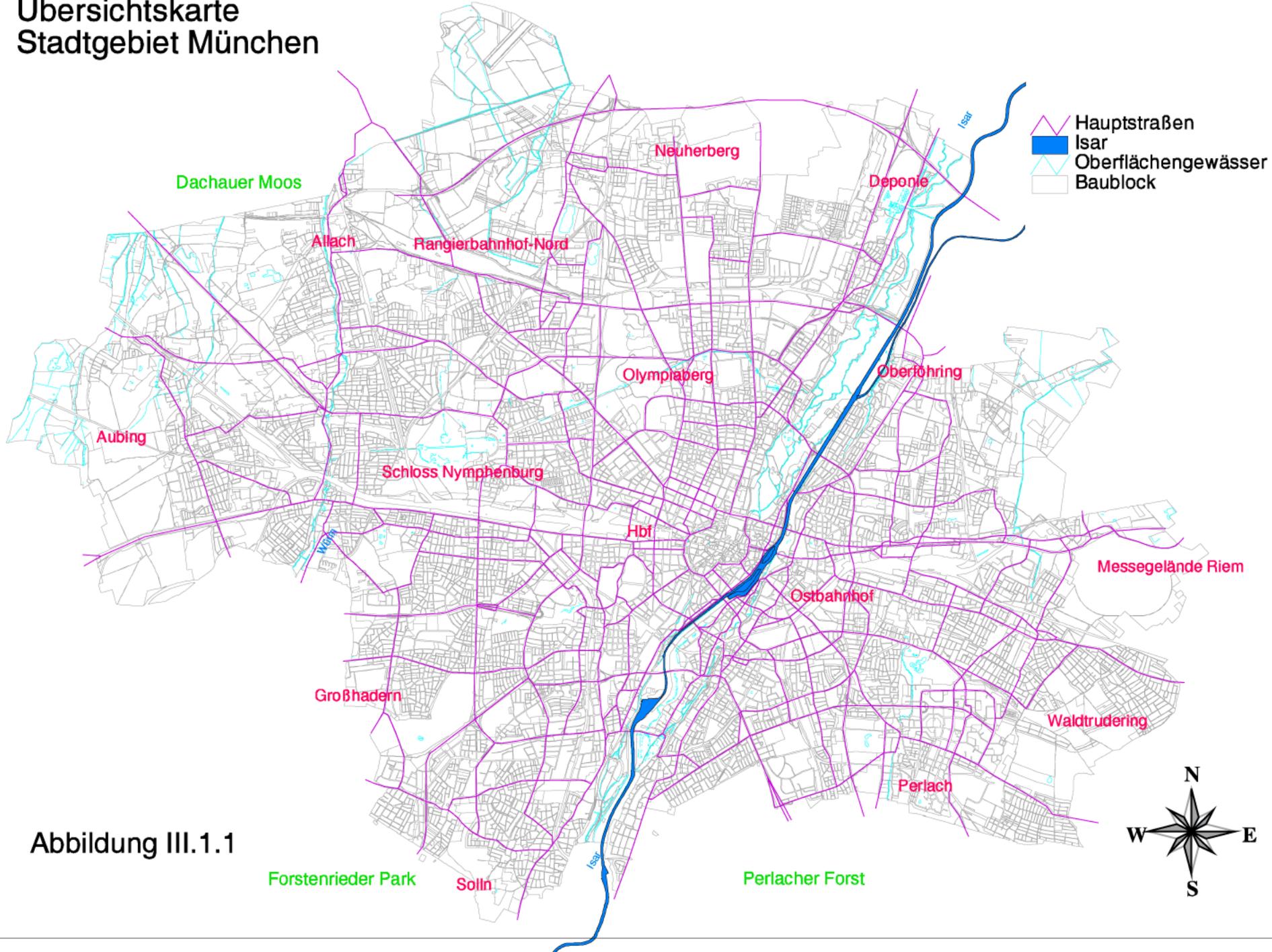


Abbildung III.1.1

### Aktuelle Flächennutzung

Die gegenwärtige Struktur der Flächennutzung gibt die Karte Realnutzung Abb. III.1.2 wieder. Das Stadtgebiet ist durch eine sehr starke anthropogene Nutzung geprägt. Die Bodennutzung verteilt sich flächenanteilig wie folgt:

	Angaben in ha
<b>Gebäude- und (zugehörige) Freiflächen</b>	<b>13.680</b>
davon	
Öffentliche Gebäude und Anlagen	1.129
Wohnen (incl. Garagen)	8.342
Handel, Wirtschaft und Dienstleistungen	1.283
Gewerbe und Industrie	885
Verkehr	204
Ver- und Entsorgung	150
Land- und Forstwirtschaft	183
Erholung	108
Sonderflächen	277
Sonstige Freiflächen	1.119
<b>Betriebsflächen</b>	<b>264</b>
<b>Erholungsflächen</b>	<b>4.420</b>
davon	
Sportanlagen	722
Grünanlagen und -flächen	3.643
<b>Verkehrsflächen</b>	<b>5.077</b>
davon	
Straßen, Wege, Plätze	3.879
Schienenverkehr	871
<b>Landwirtschaftsflächen</b>	<b>5.349</b>
<b>Waldflächen</b>	<b>1.404</b>
<b>Wasserflächen</b>	<b>400</b>
<b>Flächen anderer Nutzung</b>	<b>452</b>
davon	
Friedhöfe	391

Datenquelle: Statistisches Jahrbuch München 1998, Statistisches Amt der LH München

## III.2 Geologische und hydrologische Beschaffenheit des Untergrundes

### Geologische Verhältnisse

Die heutige Gestalt des Alpenvorlandes und damit auch der sog. Münchener Schotterebene entstand in der letzten geologischen Erdgeschichte, dem Quartär. In den Eiszeiten rückten die Gletscher in mehreren Vorstößen (Kaltzeiten) aus den Alpen ins Vorland vor und überprägten das unterlagernde tertiäre Relief. Die heutige geomorphologische Struktur mit den (grob) Süd-Nord gerichteten Terrassen oder Geländestufen wurde durch den mehrmaligen Wechsel von Ablagerung und Abtragung geschaffen.

Somit stehen im Münchener Untergrund die Ablagerungen der beiden jüngsten geologischen Epochen (Tertiär und Quartär) an. Unter den quartären Schichten des Holozäns und des Pleistozäns folgen die jungtertiären Sedimente der oberen Süßwassermolasse mit ihren limno-fluviatilen Aufschüttungen. Hier kamen vorwiegend Feinsande, Fein- bis Mittelsande und Mittelsande zur Ablagerung, deren Schluffanteile stark variieren. Daneben wurden sandige Schluffe und Tone sedimentiert. Diese jungtertiären Sande und Mergel werden auf Grund ihres hohen Gehalts an Glimmerplättchen (im Volksmund "Flinserln") als Flinzsande und Flinzmergel bezeichnet.

Die Tertiäroberfläche wurde dann während des Spättertiärs und des Quartärs durch Erosion und Akkumulation überprägt und so das heutige Terrassenrelief im wesentlichen geschaffen. Postglaziale Einflüsse vollendeten schließlich das geomorphologische Erscheinungsbild, soweit es nicht anthropogenen Veränderungen unterlag (Abb. III.2.1 Blockbild).

# Realnutzung Stadtgebiet München

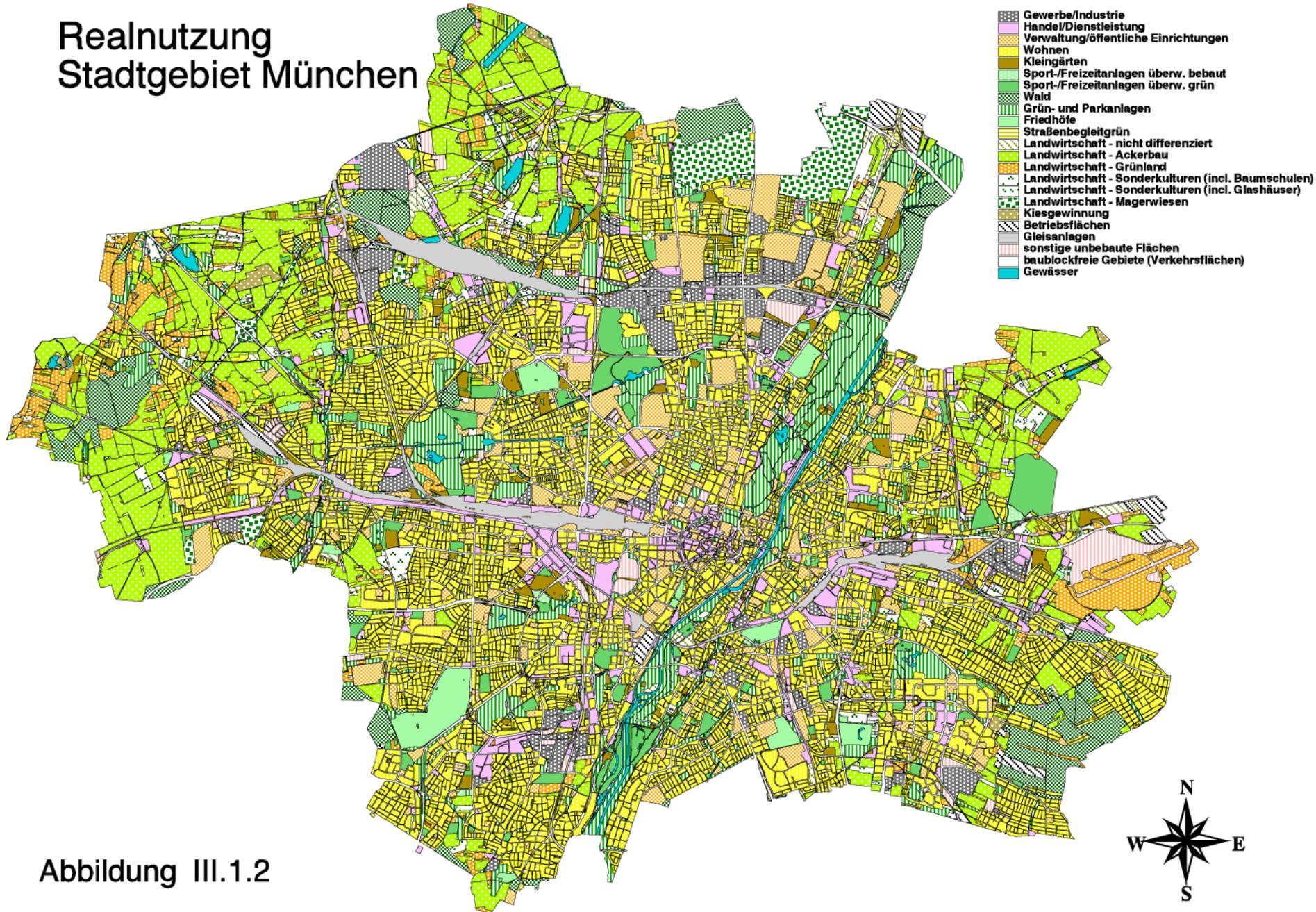


Abbildung III.1.2



Abb. Blockbild nach Münichsdorfer (1922)

(z.T. nach neueren Ergebnissen ergänzt und verändert Gebhardt 1968, 1977, 1988, 1990)

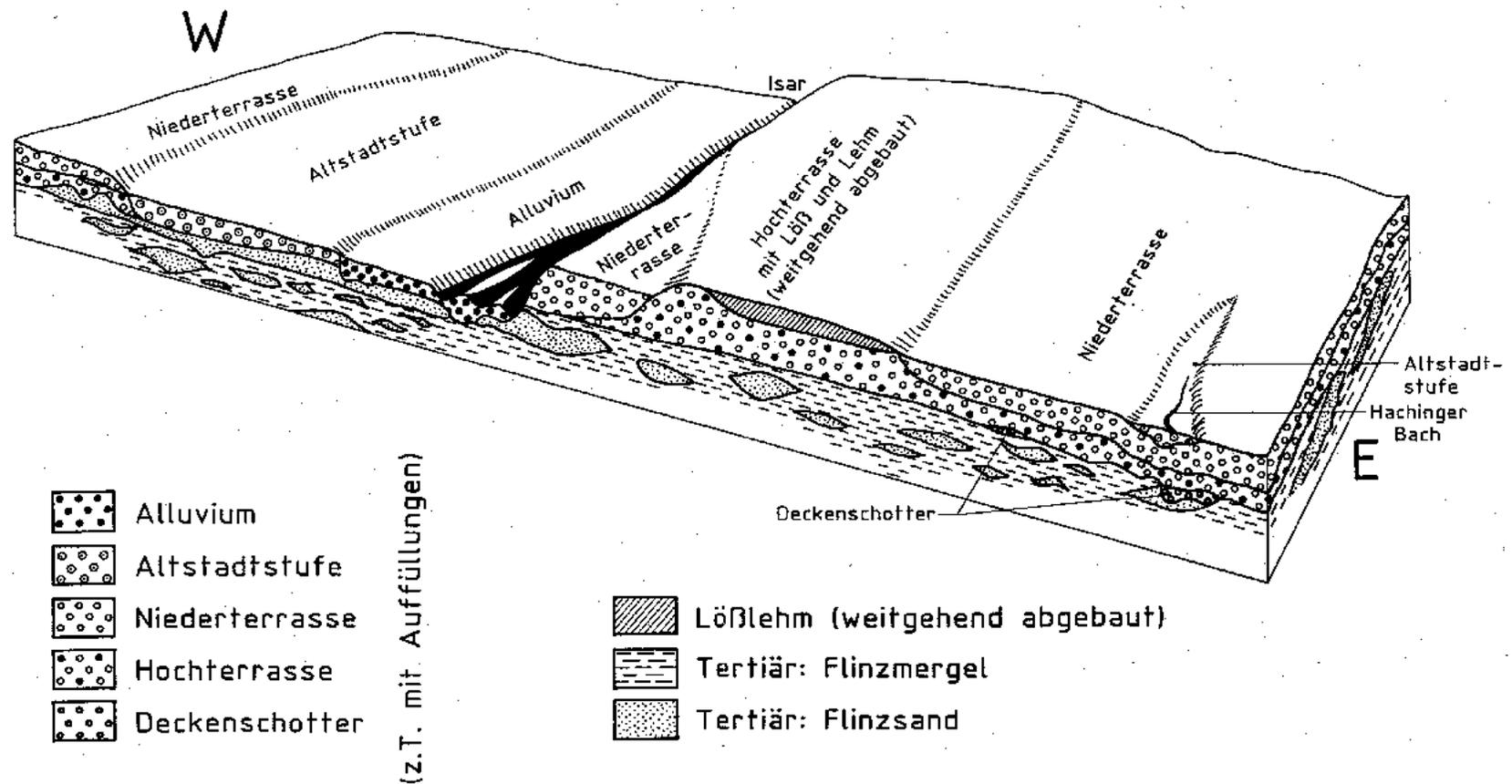


Abb. III.2.1 Blockbild nach MÜNICHSDORFER (1922), z.T. nach neueren Erkenntnissen ergänzt und verändert von GEBHARDT 1968, 1977, 1988, 1990

Während im Westen des Stadtgebietes der Schotterkegel der Würm das Bild geprägt hat bzw. prägt, bestimmt der Schotterkegel der Isar im überwiegenden Stadtgebiet die Morphologie. Im Osten schließt sich der Schotterstrang des Gleisen- und Hachingertales an (Abb. III.2.2).

Von Westen nach Osten folgt auf die "Niederterrasse" die nächst jüngere Stufe der "Altstadtstufe" (der Isar). Daran schließt sich das "Isaralluvium" an. Östlich der Isar kamen vor allem Hoch- und Niederterrasse zur Ausbildung. Dazwischen liegen Ablagerungen der jüngeren Stufen, deren räumliche Abgrenzungen jedoch unsicher sind. Die großen Hangkanten des Isarschotterstranges trennen zum einen die Niederterrasse von der Altstadtstufe (westlich der Isar) und zum zweiten die Hoch- von der Niederterrasse (östlich).

Die Münchener Schotterebene weist insgesamt eine Süd - Nord -Neigung von durchschnittlich ca. 5 ‰ auf.

Bei den quartären Schottern der Hochterrasse, Niederterrasse und Altstadtstufe handelt es sich um schlecht sortierte, gerundete, gut durchlässige, schwach schluffige bis schluffige, sandige Fein- bis Grobkiese mit Steinen. Sie sind zu ca. 90 % aus Kalken und Dolomiten aufgebaut. Daneben setzen sie sich noch aus Quarzen, Sandsteinen und kristallinem Material zusammen. Der Anteil der locker gelagerten Fein- bis Grobsande beträgt < 10 bis 30 %. Sofern sich nicht aufgearbeitete Lehme oder umgelagertes Tertiärmaterial am Zwischenmittel beteiligen, liegt der Schlämmkornanteil unter 15 %.

Die Mächtigkeiten der Quartärablagerungen betragen im Süden der Stadt ca. 25 - 30 Meter, im Westen 4 -25 Meter, im Osten 5 - 15 Meter und im Norden 3 - 11 Meter, bedingt durch die nördlich bis nordöstlich gerichtete Schüttungsrichtung glazialer und postglazialer Sedimente. Analog variieren die mittleren Grundwassermächtigkeiten zwischen 8 - 18 Meter im Süden und 0 - 12 Meter im Norden.

Bei den tertiären Sanden handelt es sich um fein- bis mittelkörnige, dicht bis sehr dicht gelagerte, glimmerhaltige, feldspatführende Quarzsande mit meist ausgeprägten Schräg-, Kreuz-oder Horizontal-schichtungen. Der Schlämmkornanteil liegt < 5 % bis 45 %.

Die tertiären Mergel sind i.d.Regel als harte bis sehr harte Tone, Schluffe und Ton- bis Kalkmergel ausgebildet und weisen unterschiedliche tonmineralogische Zusammensetzungen, Kalkgehalte und diagenetische Verfestigungsgrade auf.

Durch diagenetische Kalkfällung können die tertiären Sedimente zonenartig oder konkretionär zu Gesteinsarten wie Sand- oder Mergelstein felsartig verfestigt sein.

### **Die hydrogeologischen Verhältnisse (Abb. III.2.3)**

Der Grundwasserkörper im Münchener Stadtgebiet ist nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Grundwasserkörper der Münchener Schotterebene, die von der Moränenlandschaft im Süden bis auf die Höhe von Freising reicht. Bedingt durch den geologisch-petrographischen Aufbau existieren im Münchener Untergrund mehrere untereinanderliegende Grundwasserhorizonte. Grundsätzlich müssen daher im Stadtgebiet München hydrogeologisch zwei Arten von Grundwasserhorizonten unterschieden werden:

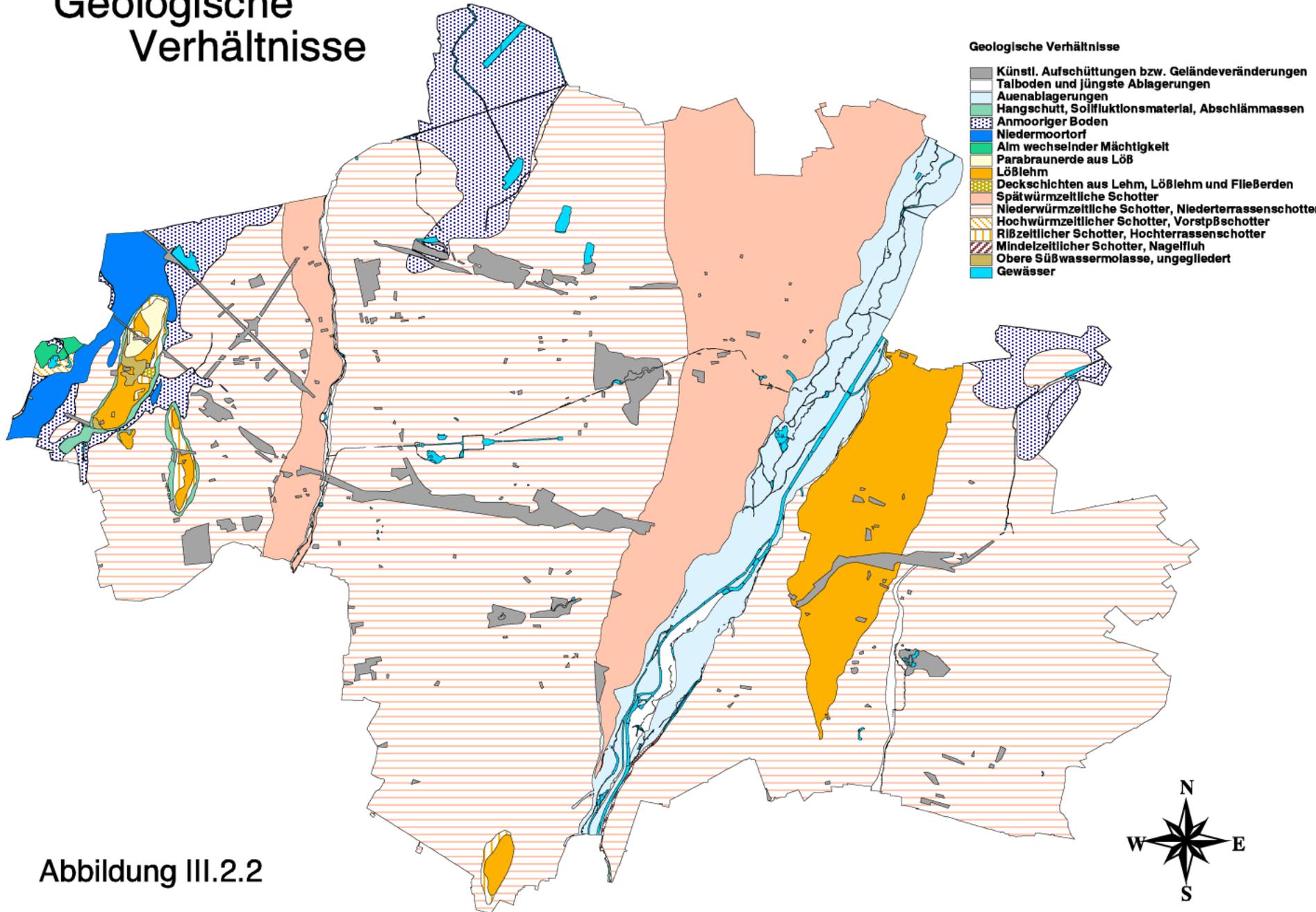
- Quartärgrundwasser
- Tertiärgrundwasser

### **Quartärgrundwasser**

Das sog. "Obere Grundwasserstockwerk" ( auch als "Quartäres Grundwasserstockwerk" bezeichnet) liegt in unterschiedlicher Ausbildung in den meist oberflächennahen quartären Kiesschichten (Schottern). Bereichsweise folgen darunter auch direkt unterlagernde tertiäre Sande, die dann ebenfalls zum oberen Stockwerk gezählt werden. Lokal existieren auch Zonen, in denen der obere Grundwasserhorizont, z.T. nur zeitweise, völlig fehlt.

Der Abstand des Grundwasserspiegels zur Geländeoberkante (Flurabstand) schwankt entsprechend den geologischen Gegebenheiten. Generell nehmen die Flurabstände von Süden nach Norden in der Münchner Schotterebene ab. Die größten Abstände von mehr als 20 m sind daher im südlichen Stadtgebiet zu finden. Im Norden Münchens erreichen die Flurabstände Minimalwerte unter 2 m.

# Geologische Verhältnisse



# Hydrogeologische Situation

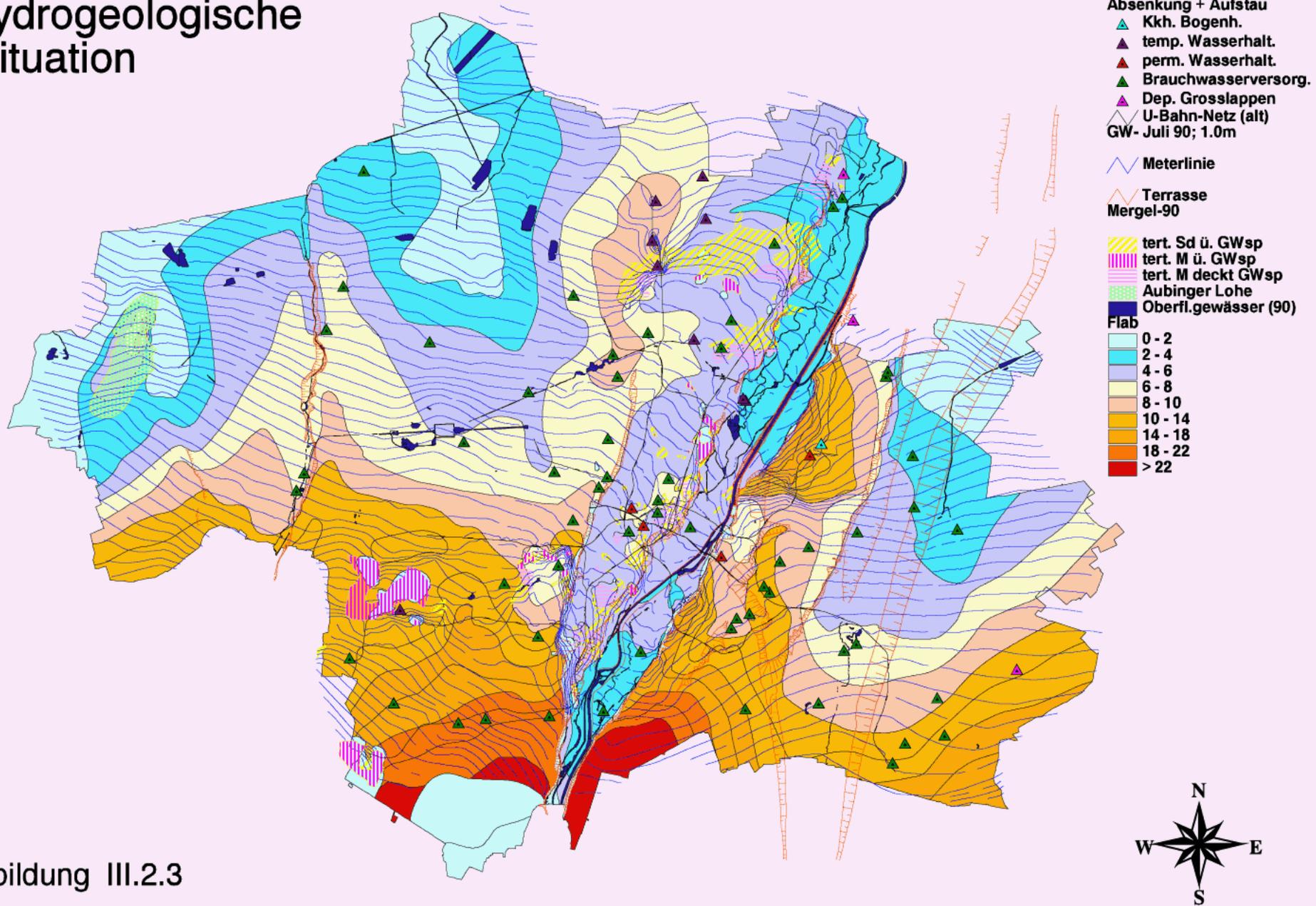


Abbildung III.2.3

Die Grundwasserfließrichtung dieses Horizontes verläuft, von örtlichen Strömungen oder Störungen abgesehen, westlich der Isar generell von Südwest nach Nordost und östlich der Isar im allgemeinen von Südost nach Nordwest. Das durchschnittliche Grundwassergefälle beträgt 2 - 3 ‰, kann aber in Hangbereichen mehr als 10 ‰ erreichen, während das Gefälle der Geländeoberfläche im Schnitt ca. 5 ‰ beträgt (s.o.). Durch das gegenüber der Geländeoberkante des Stadtgebietes geringere Grundwassergefälle nehmen die Flurabstände (Tiefenlage des Grundwasserspiegels) von Süden, mit Tiefen von mehr als 18 Meter, nach Norden bis auf Werte kleiner 1 Meter ab. Ebenso hängt die Grundwassermächtigkeit von lokalen Einflüssen ab und variiert von einigen Zentimetern bis zu mehr als 10 m. Die mittleren Grundwassermächtigkeiten liegen zwischen 8 - 18 Meter im Süden und 0 - 12 Meter im Norden.

Bei entsprechenden Randbedingungen, wie gut durchlässigen Schottern und verhältnismäßig großem Grundwassergefälle, können maximale Fließgeschwindigkeiten von mehr als 20 Meter pro Tag erreicht werden. In der Regel beträgt dieser Wert aber wenige Meter pro Tag.

Die Möglichkeit hydraulischer Kurzschlüsse, d.h. natürlicher Wegsamkeiten zwischen quartären und tertiären Grundwasserleitern ist stets gegeben. Diese sind vor allem in Bereichen zu erwarten, in denen sich das Quartär rinnenartig in die Tertiäroberfläche ein- und die tertiären Sande angeschnitten hat, so daß quartäre und tertiäre Wässer korrespondieren können. Diese quartären Eintiefungen stellen bevorzugte Abflußrinnen des Grundwassers dar, in denen durchwegs eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit vorherrscht und die Fließrichtung deutlich vom generellen Verlauf (s.o.) abweichen kann.

Besonders im Bereich der Altstadtstufe links der Isar, aber auch der Niederterrasse und des Isaralluviums werden die Grundwasserverhältnisse des oberen Stockwerkes verstärkt durch die älteren tertiären Sande und Mergel beeinflusst. Zum einen handelt es sich um sog. "deckende Mergel" und zum zweiten um sog. "auftragende Mergel". Während ein "deckender Mergel" den Grundwasserleiter, wie der Name schon ausdrückt, deckt, d.h. eine stauende Mergelschicht direkt über dem Grundwasser, das unter diesem hindurchströmt, liegt, hängt der "auftragende Mergel" mit der stauenden Schicht an der Basis des Grundwasserleiters unmittelbar zusammen. Die Mergelschichten liegen hier wie Inseln im Grundwasserstrom, d.h. hier fehlt das Grundwasser des oberen Grundwasserstockwerkes völlig.

Im Bereich der jüngsten hier ausgebildeten geologischen Stufe des Isaralluviums spielen die Wechselbeziehungen zwischen Isar- und Grundwasser eine Rolle. In den südlichen Bereichen (bis ungefähr Stadtkern) hat sich die Isar im allgemeinen noch nicht in die tertiären Schichten eingetieft, so daß in diesen Zonen stellenweise noch Oberflächenwasser (Isarwasser) ins Grundwasser eindringen kann, während weiter nördlich die Isar sich schon ins Tertiär eingeschnitten hat und nur noch als Grundwasservorfluter fungiert.

Auf der Hoch- und Niederterrasse liegen weitgehend gleichmäßige Stömungsverhältnisse vor, die, von Ausnahmen abgesehen, nur an den geomorphologischen Terrassenkanten stärker gestört sind. In diesem Bereich der großen Hangkanten (s.o.) ändert sich die Grundwasserströmung z.T. deutlich in Richtung zur Isar.

Durch Grundwasserentnahmen, z.B. für Brauchwasserzwecke oder als temporäre und/oder permanente Wasserhaltungsmaßnahmen, und -versickerungen werden die Grundwasserverhältnisse durch die Ausbildung von Absenktrichtern bzw. Aufstaukegeln ebenfalls beeinflusst.

Die natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserspiegels betragen im Stadtgebiet in der Regel bis zu ca. 2 Meter. Größere Schwankungen treten nur vereinzelt, vor allem hervorgerufen durch gespannte Grundwasserverhältnisse oder anthropogene Einflüsse (permanente oder Bauwasserhaltungen), auf (Abb. III.2.4).

Die Durchlässigkeiten des Grundwasserkörpers werden in der Literatur von verschiedenen Autoren als Durchschnittswerte einmal für die einzelnen Schotterterrassen, zum anderen für die einzelnen Bodenarten (Korngrößen) angegeben:

# Grundwasser- schwankungen

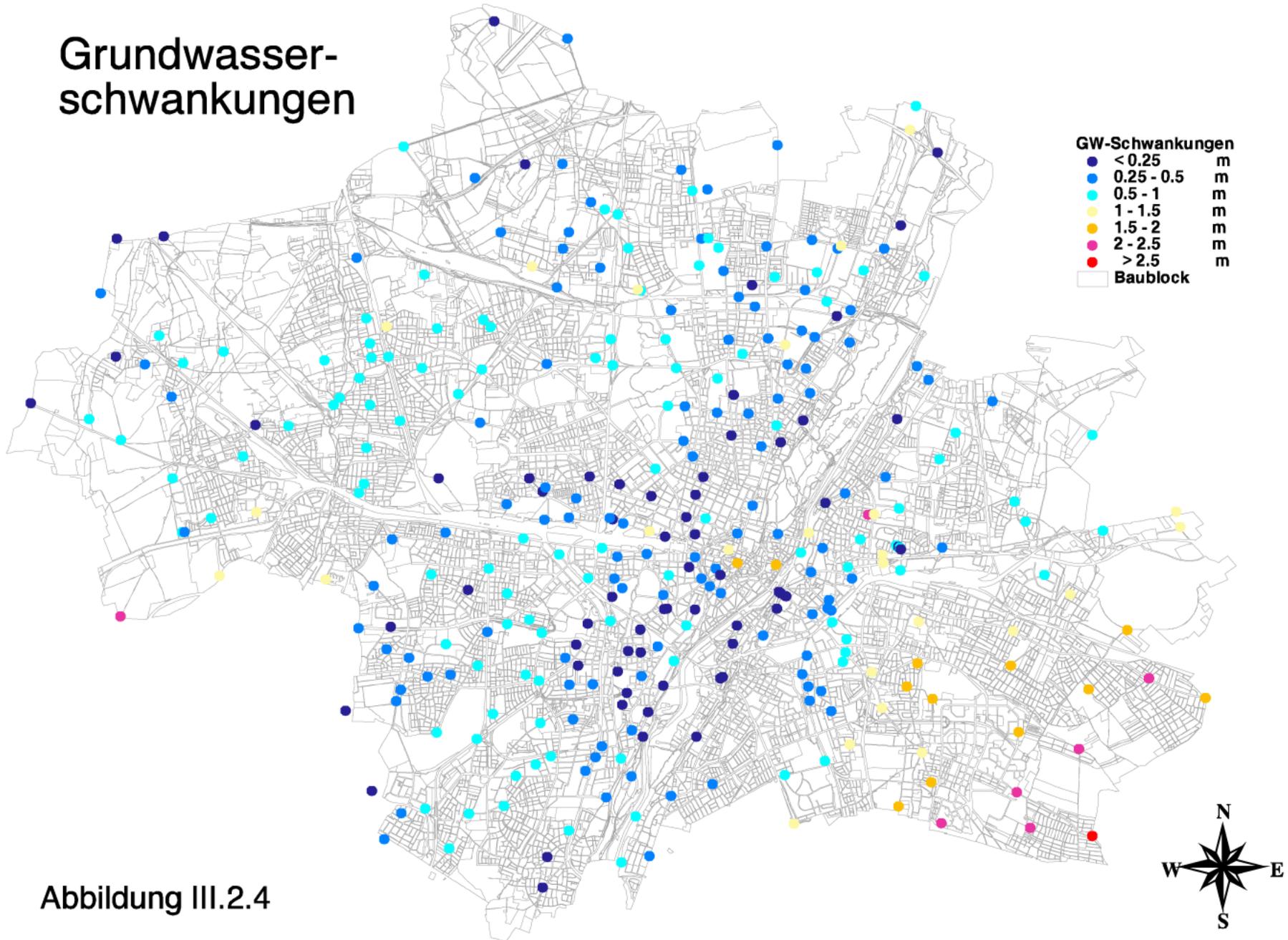


Abbildung III.2.4

Schotterterrasse	Durchschnittswerte	Schwankung
Isaralluvium (IA)	5 x 10 <sup>-3</sup> / 3,1 x 10 <sup>-3</sup>	7,6 x 10 <sup>-3</sup> - 4 x 10 <sup>-4</sup>
Altstadtstufe (AS)	1 x 10 <sup>-2</sup> / 2,0 x 10 <sup>-3</sup>	1,8 x 10 <sup>-3</sup> - 1 x 10 <sup>-4</sup>
Niederterrasse (NT)	1 x 10 <sup>-2</sup> / 1,2 x 10 <sup>-3</sup>	4,5 x 10 <sup>-3</sup> - 3,5x10 <sup>-4</sup>
Hochterrasse (HT)	5 x 10 <sup>-3</sup> / 8,6 x 10 <sup>-3</sup>	2,7 x 10 <sup>-3</sup> - 4 x 10 <sup>-4</sup>

Bodenart	Kf-Werte	Bodenart	Kf-Werte
gG	10-1	S	5x 10 <sup>-4</sup>
g-mG	5x 10 <sup>-2</sup>	mS	5x 10 <sup>-4</sup>
mG	10-2	m-fS	10 <sup>-4</sup>
m-fG	5x 10 <sup>-3</sup>	fS	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-6</sup>
fG	5x 10 <sup>-3</sup>	Z	10 <sup>-7</sup>
gS	10 <sup>-3</sup>	U	10 <sup>-8</sup>
g-mS	5x 10 <sup>-4</sup>	T	<10 <sup>-9</sup>

Die **Abflussmengen** der Münchener Schotterebene (MSE) werden in der Literatur für das mittlere Grundwasser wie folgt angegeben:

östl. der Isar	6 m <sup>3</sup> /s	ca. 11 l/s x km <sup>2</sup>
westl. der Isar	4,3 m <sup>3</sup> /s	
gesamte MSE	14 m <sup>3</sup> /s	

Die **Grundwasserneubildungsrate** für die MSE zwischen Ammer und Isar beträgt

im langjährigen Mittel	400 mm/a
die mittlere Neubildungsrate	331 mm/a (Nemeth)
die niedrigste Neubildungsrate	220 mm/a (Nemeth)

Zusammenfassend stellt man fest, dass die Münchner Ebene aus hydrogeologischer Sicht sich als ein sehr günstiger Porenwasserleiter darstellt, der sich durch hohe Versickerungsrate (bis zu 40% des Niederschlags) und hohe Durchlässigkeit auszeichnet. Durch den hohen Bebauungs- und damit Versiegelungsgrad spielt aber der Oberflächenabfluss eine wesentliche Rolle.

### Natürliche Beschaffenheit des oberen Grundwasserstockwerkes

Das im Untergrund versickernde Niederschlagswasser nimmt aus den mineralischen und organischen Stoffen des Bodens, sowie aus den Gesteinen der grundwasserführenden Schichten durch Lösungsvorgänge und biologische Prozesse chemische Substanzen auf, deren jeweilige Mischung die natürliche Zusammensetzung des Grundwasserchemismus ergibt.

Die natürlichen Wässer des oberen Grundwasserstockwerks in der Münchener Schotterebene werden dem Typ der „Kalkschotterwässer“ zugerechnet. Dies sind alkalische, ziemlich harte, meist sauerstoffhaltige bis sauerstoffreiche Kohlensäuregleichgewichtswässer (Gerb 1958), die sich folgendermaßen charakterisieren lassen:

Abdampfdruckstand	350	+/- 50	mg/l
Leitfähigkeit	460	- 620	uS/cm
ph - Wert	7,3	+/- 0,2	
Sauerstoffgehalt	6	- 10	mg/l
SO4 (Kieselsäuregehalt)	2	- 15	mg/l
Karbonathärte (KH)	16	+/- 3	Grad dH
Gesamthärte (GH)	KH	+ 1-3	Grad dH
Magnesiumanteil an GH	30	- 35	%
Nitrat	maximal 20	- 25	mg/l

### Tertiärgrundwasser

Charakteristisch für die oberflächennahen, Tertiärwasser führenden Schichten sind die starken Verzahnungen von Sanden, Schluffen und Tonen, wobei die feinsandigen Horizonte die wasserführenden Schichten darstellen. Die tertiären Grundwasserschichten sind durch stauende, d.h. wasserundurchlässige Mergelschichten nicht nur untereinander, sondern auch vom oberen, quartären Stockwerk getrennt.

Im Gegensatz zum oberen Grundwasserstockwerk sind die tertiären Grundwasserschichten nicht einheitlich, flächig über das gesamte Stadtgebiet ausgebreitet, sondern sind mehr oder weniger nur lokal vorhanden.

## III.3 Nutzung des quartären Grundwassers

Bis zur Erschließung der 40 Kilometer südlich des Stadtgebietes von München gelegenen Mangfallquellen im Jahre 1883 wurde ausschließlich das reiche Grundwasservorkommen im Untergrund von München genutzt, zunächst in einfachen Brunnen, später, ab 1555, in Brunnhäusern.

Mit steigender Einwohnerzahl führte fehlende Kanalisation zu einer zunehmenden Verunreinigung des Grundwassers der Münchner Schotterebene. Durch die Entnahme von Trinkwasser unmittelbar im Stadtgebiet wurden immer wieder Typhus- und Cholera-Epidemien ausgelöst. Erst mit der Sanierung der Wasserversorgung durch die Fassung der Mangfallquellen und der Einführung einer Schwemmkanalisation durch das Engagement von Max von Pettenkofer wurde die Trinkwasserversorgung für München vor allem in hygienischer Hinsicht gesichert.

Das Wasser der Mangfallquellen sichert nach wie vor den Grundbedarf der Münchner Wasserversorgung. Zusätzliche Förderwerke in der Münchner Schotterebene und der in den 80-er Jahren erschlossenen Grundwasservorkommen im oberen Loisachtal dienen zur Deckung der Bedarfsspitzen.

Im Stadtgebiet selbst liegen zwei Förderwerke: Förderwerk Trudering (im Südosten Münchens) und Förderwerk Pasing (im Westen Münchens).

Aufgrund der schwankenden Wasserqualität des oberen Grundwasserstockwerkes wird das Quartärgrundwasser hauptsächlich als Brauchwasser genutzt und darf nur in Ausnahmefällen zu Trinkwasserzwecken und nur unter besonderen Schutzvorkehrungen (laufende Qualitätskontrolle, Abkochauflage, Verwendung von Desinfektionsmitteln) verwendet werden, wenn ein Anschluß an das öffentliche Trinkwassernetz nur erschwert möglich ist.

Der primäre Verwendungszweck des im Stadtgebiet durch Brunnen entnommenen Quartärgrundwassers ist die Nutzung für Kühlwasserzwecke (ca. 200 Brunnen z.B. für Klimaanlage, Rechenzentren etc.) oder auch als Wärmequelle mittels sog. Wärmepumpen (über 200 Anlagen in München, die hauptsächlich für den privaten Heizbedarf eingesetzt werden). Da das Wasser dabei nicht verschmutzt, sondern lediglich um einige Grad Celsius erwärmt bzw. abgekühlt wird, muß es durch Versickerungsbrunnen wieder in das obere Grundwasserstockwerk zurückgeleitet werden, damit es dem Grundwasserhaushalt nicht verloren geht.

Ansonsten wird das Quartärgrundwasser noch als Brauchwasser z.B. in Wäschereien, in Autowaschstraßen, zur Betonherstellung, für Fischereizwecke, zur Anlage von Seen und Teichen sowie zu gärtnerischen und landwirtschaftlichen Zwecken eingesetzt.

Die Anzahl der Flachbrunnen bzw. Wärmepumpenanlagen ist in den letzten Jahren annähernd konstant geblieben. Die Entnahmemenge aus dem oberflächennahen, quartären Grundwasser ist in den letzten Jahren u.a. aufgrund von Wassersparmaßnahmen rückläufig.

1995 wurden im Stadtgebiet aus dem Quartärgrundwasser ca. 47 Mio m<sup>3</sup> entnommen. Mehr als zwei Drittel des entnommenen Grundwassers wurden nach der Nutzung unverschmutzt wieder in den quartären Untergrund zurückgeleitet (ca. 39 Mio m<sup>3</sup>). Damit ist nahezu ein Gleichgewicht zwischen Entnahme und Rückleitung im quartären Grundwasser gewährleistet.

## IV. Durchführung

### IV.1 Aufbau und Einrichtung des Messnetzes

Im Stadtgebiet Münchens existierten zu Beginn der Planungen für ein Grundwasserüberwachungssystem über 5000 Brunnen und Pegel. Aus dieser Vielzahl vorhandener Grundwasserpegel mußte eine Auswahl für ein effektives Messnetz getroffen werden. Wesentliche Rahmenbedingung für diese Auswahl der Messstellen war ein optimaler Kompromiß zwischen den theoretischen Maximalanforderungen aus fachlicher Sicht (Optimum) einerseits und der praktischen Umsetzbarkeit unter Einbeziehung bereits vorhandener Bestände sowie den zur Verfügung stehenden Finanzmitteln (Minimalanforderungen) andererseits.

#### Festlegung der Pegelausbaukriterien

Die Anforderungen an den Ausbau einer Grundwassermessstelle erfolgte üblicherweise gemäß den Normen und Richtlinien:

LAWA - Grundwasserrichtlinie 1/82  
LAWA - Grundwasserrichtlinie 3/93  
DVGW - Arbeitsblatt W 115  
DIN 4021; DIN 4022; DIN 4023

Der Standort muß so gewählt werden, daß er den u.g. Anforderungen bestmöglichst entspricht, zudem aber die jederzeitige Zugänglichkeit gewährleistet ist.

Da für das geplante Grundwasseruntersuchungssystem fast ausschließlich auf bestehendes Pegelmaterial zurückgegriffen wurde und Neubohrungen von Messstellen praktisch ausschieden, mussten die ausgewählten Pegel folgende Mindestanforderungen erfüllen, um noch fachlich vertret- und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten:

- Ausbauplan und Bohrprofil vorhanden
- Einmessung auf NN
- Pegeldurchmesser 4" (Ausnahmen in begründeten Einzelfällen)
- Ausbautiefe bis Basis Quartär bzw. Stauer
- Grundwassermächtigkeit mind. 1 m
- ordnungsgemäße Abdichtung des Vollrohres
- ohne sichtbare Schäden
- gute jederzeitige Zugänglichkeit

#### Messnetzeinrichtung

Bei der Auswahl von Messstellen für die Überwachung des Grundwasserchemismus sind allgemein vor allem drei Problemkreise zu berücksichtigen:

##### Lokales Gefährdungspotential des Grundwassers

Das lokale Gefährdungspotential drückt u.a. die Wahrscheinlichkeit einer Verunreinigung des Grundwassers auf Grund der lokalen geographischen Situation, der Anzahl der möglichen Verschmutzungsquellen und der Bodenreinigungskraft aus. Die Höhe des Gefährdungspotentials läßt sich mit der Beantwortung u.a. folgender Fragen abschätzen:

- Geomorphologische Situation: Ebene Flächen, Mulden und Erhebungen, Hang- oder Terrassenkanten, Flußtäler, u.a.
- Oberflächen-Nutzungsstrukturdaten: Industrie- und Gewerbeansiedlungen, Wohnbereiche, Landwirtschaft, Verkehrsflächen, Tiefbauwerke, Deponien, etc.
- Oberflächen-Versiegelungsgrad

##### Hydrogeologische Verhältnisse

Geologische Schichtfolge, z.B. deckender Mergel (Schutz des Grundwassers gegenüber einsickernden Schadstoffen), Rollkieslagen (erhöhte Durchlässigkeit, erhöhter Stofftransport),

Flurabstand (Reinigungskraft des Bodens), Mächtigkeit, Grundwassermenge; hydraulische Kurzschlüsse (Gefahr der Verschleppung von Verunreinigungen in tiefere Grundwasserschichten); Durchlässigkeit (Strömungs-, Stofftransportgeschwindigkeit); Grundwasserströmungsrichtung (Gefährdung unterstromiger Grundwassernutzer, Ausbreitung einer Verunreinigung (Schadstofffahne)); Infiltrationsbereiche des Vorfluters (Wasser- und Schadstoffaustausch zwischen Fluß- und Grundwasser); Adsorptionsfähigkeit des Bodens für bestimmte Schadstoffe (Schwermetalle etc.).

### **Hydrochemische Beschaffenheit**

Ist-Zustand, Vorbelastung

Beim Abgleich der Kriterien für die erste Messstellenauswahl waren bei den Verhältnissen im Münchener Stadtgebiet vorrangig praktische Erfahrungen und Erkenntnisse zu berücksichtigen. Dies bedeutete, dass für die Auswahl und Festlegung der Messstellen für das flächendeckende Überwachungsrastrer von den theoretischen Kriterien nur noch die folgenden für München zum Tragen kamen:

- **Lokales Gefährdungspotential des Grundwassers**
  - ◆ Altlasten mit Grundwasserrelevanz
  - ◆ Deponien
  - ◆ Industrie und Gewerbe mit besonders wassergefährdendem Inventar  
stark belastete Verkehrswege
  - ◆ Landwirtschaft
  
- **Hydrogeologische Verhältnisse**
  - ◆ geologische Schichtfolge: Die Messstellen sollten möglichst repräsentativ die kiesig-sandige Fazies des quartären Aquifers bis zum Stauer erschließen.
  - ◆ Mächtigkeit des Aquifers: Die erschlossene Grundwassermächtigkeit sollte möglichst groß sein.
  - ◆ Infiltrationsbereiche des Vorfluters: Diese stellen in München die Ausnahme dar und können gezielt ausgewählt werden.
  - ◆ Flurabstand
  
- **Hydrochemische Beschaffenheit**

Dabei konnte auf z.T. bereits vorhandenes, umfangreiches Daten- und Kartenmaterial zurückgegriffen werden.

- Zur Beantwortung hydrogeologischer Fragen wurden Grundwassergleichen- (Isohypsen-) Karten von einem mittleren Grundwasserstand vom Juli 1990 sowie aktuelle Grundwasserstände zur Feststellung u.a. der Strömungsrichtung, des Gefälles, langfristiger Veränderungen, Bereichen mit Grundwasserentnahmen etc. berücksichtigt.
- Geologische Profile ermöglichten die Beurteilung der Schichtenfolge.
- Flurabstandskarte: Abstand des Grundwasserspiegels von der Geländeoberkante,
- Terrassenkanten: Darstellung der geomorphologischen Geländesprünge, Isothermenkarte: Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet
- Grundwasserqualität: lokale Belastung des Grundwassers mit verschiedenen Schadstoffen

Daneben wurden Karten aus dem *Umweltatlas München* ausgewertet, die über die Oberflächenstruktur, die Verteilung von Wohnbebauung und Gewerbe/Industrieansiedlung (Realnutzung) sowie über den Versiegelungsgrad Auskunft liefern.

Auf Grund der oben angesprochenen Verhältnisse ergeben sich die Anforderungen für die Auswahl und Festlegung der Messstellen für das flächendeckende Überwachungsrastrer unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Gegebenheiten ( z.B. Grundwasserfließrichtung, Aquiferausbildung, Flurabstand, Schichtfolge), der Oberflächenbeschaffenheit, Standortfaktoren (z.B. Industrie- und

Gewerbegebiete, Landwirtschaft, Wohnbereiche) des Messstellenzustandes (Ausbau, Material, Querschnitt, Filterstrecken) und der -zugänglichkeit.

Daraus resultierten bei der Auswahl der Messstellen, gemäß den spezifischen örtlichen Anforderungen Abweichungen von dem geplanten gleichmäßigen Raster. Unter Beibehaltung des Grundprinzips ergab sich eine variable Verteilung der Messstellen dergestalt, dass in Bereichen geringer Flurabstände und erhöhter Bodendurchlässigkeit das Raster engmaschiger ausfiel, als z.B. in Bereichen großer Flurabstände.

Auch ergab sich in einzelnen Bereichen eine Unterteilung der erforderlichen Überwachungspegel in Primärpegel, die bei jedem Untersuchungsschritt beprobt werden und weiteren Sekundärpegeln, die nur dann in das Untersuchungsprogramm einfließen, wenn die Primärpegel Auffälligkeiten aufweisen.

Aus den oben genannten Auswahlkriterien ergab sich als erster Entwurf für ein flächiges Überwachungsnetz im Stadtgebiet eine Anzahl von ca. 330 bis 350 Messstellen, mit einem durchschnittlichen Rasterabstand von ca. 500m in den Verdichtungsbereichen (z.B. in der Innenstadt) und ca. 1000 bis 1500m in den randlicheren, weniger intensiv genutzten Zonen.

Aufgrund früherer Grundwasseruntersuchungen (86-91) einerseits und den Kenntnissen der geologischen Verhältnisse andererseits wurden 78 Pegel aus geologischen und geographischen Gesichtspunkten für das Messnetz der ersten Phase ausgewählt. Diese Messstellen sollen den Chemismus des natürlichen, anthropogen unbelasteten Grundwassers charakterisieren. Daher wurden die Pegel vor allem oberstromig der Landeshauptstadt München, im Randbereich zu den großen Waldgebieten im Süden (aber auch im Norden) ausgewählt. Ebenso wurden somit die unterschiedlichen geomorphologischen Einheiten berücksichtigt.

Die durch frühere Untersuchungen (86-91) als belastet erkannten Messstellen bildeten die Basis für die Auswahl der von Pegeln der Kategorie "C". Von diesen Messstellen, die in der Vergangenheit verunreinigte Grundwässer belegten, wurden für das GWUES 78 Pegel ausgewählt, wobei zu beachten ist, dass diese "Vorbelastung" sich nicht notwendigerweise auch in den aktuellen Messungen wieder spiegeln muß.

Eine weitere Kategorie "A" umfaßt Messstellen, die im Zuge von Altlastenerkundungen oder -untersuchungen benötigt wurden und geeignet sind, Altlasten(verdachts)flächen zu beobachten bzw. zu überwachen. Nach Absprache mit dem Sachgebiet Altlasten wurden hierfür 65 Messstellen ins Netz übernommen. Analog zu den "Altlasten" wurden für das Sachgebiet "Wasserrecht" 39 Messstellen (Kat. "W") ausgewählt. Auch hier gilt, dass Pegel dieser Kategorien in den laufenden Messungen nicht zwangsläufig Verunreinigungen aufzeigen müssen.

Zusätzlich wurden 46 Pegel, bei denen mehrere Auswahlkriterien (z.B. "A" + "C", "A" + "W" oder "A" + "W" + "C"...) zutrafen, in der Kategorie "X" zusammengefaßt und weitere 23 Pegel aus Sonderprogrammen des WWA's als Ergänzung mit in das Netz aufgenommen.

Insgesamt enthielt das Messstellennetz (Abb. IV.1.1) für den ersten Messzyklus also 329 Primär-Messstellen:

<u>Anzahl Pegel 04.96</u>	
A :	Altlasten 65
W :	Wasserrecht 39
C :	Chemische Vorbelastung aus den GWP 86 - 91 78
X :	mehrere Faktoren (z.B. C) 46
7 :	geograph. und geologische Aspekte 78
ST :	Sonderprogramme des WWA 23
	Summe 329

an 16 Mehrfachpegeln wurden auch die T-Horizonte untersucht: d.h.: 329 Bohrungen mit 345 Messstellen (Beobachtungsrohren).

# Messstellennetz

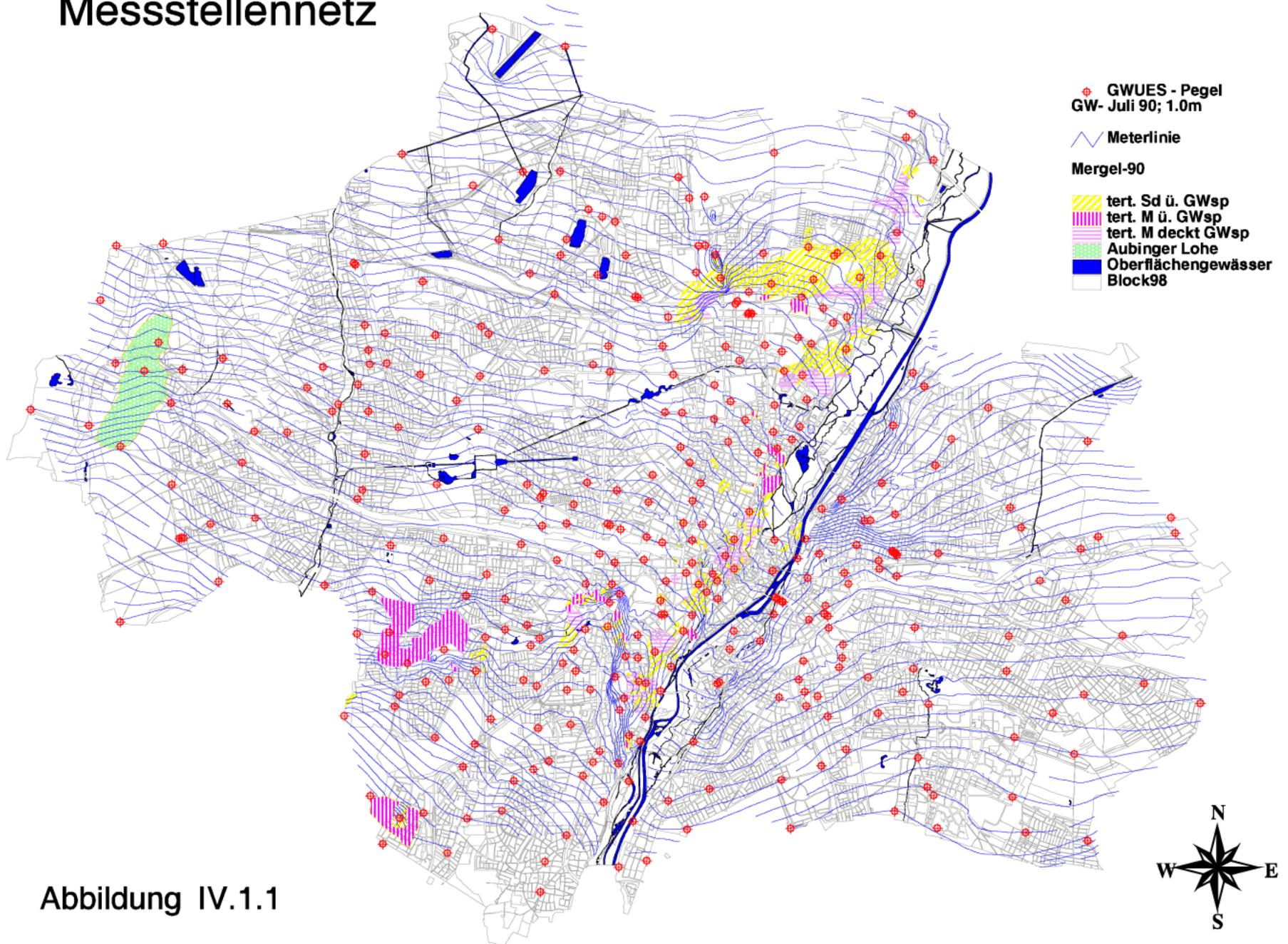


Abbildung IV.1.1

# Messstellennetz

## Messstellennetz

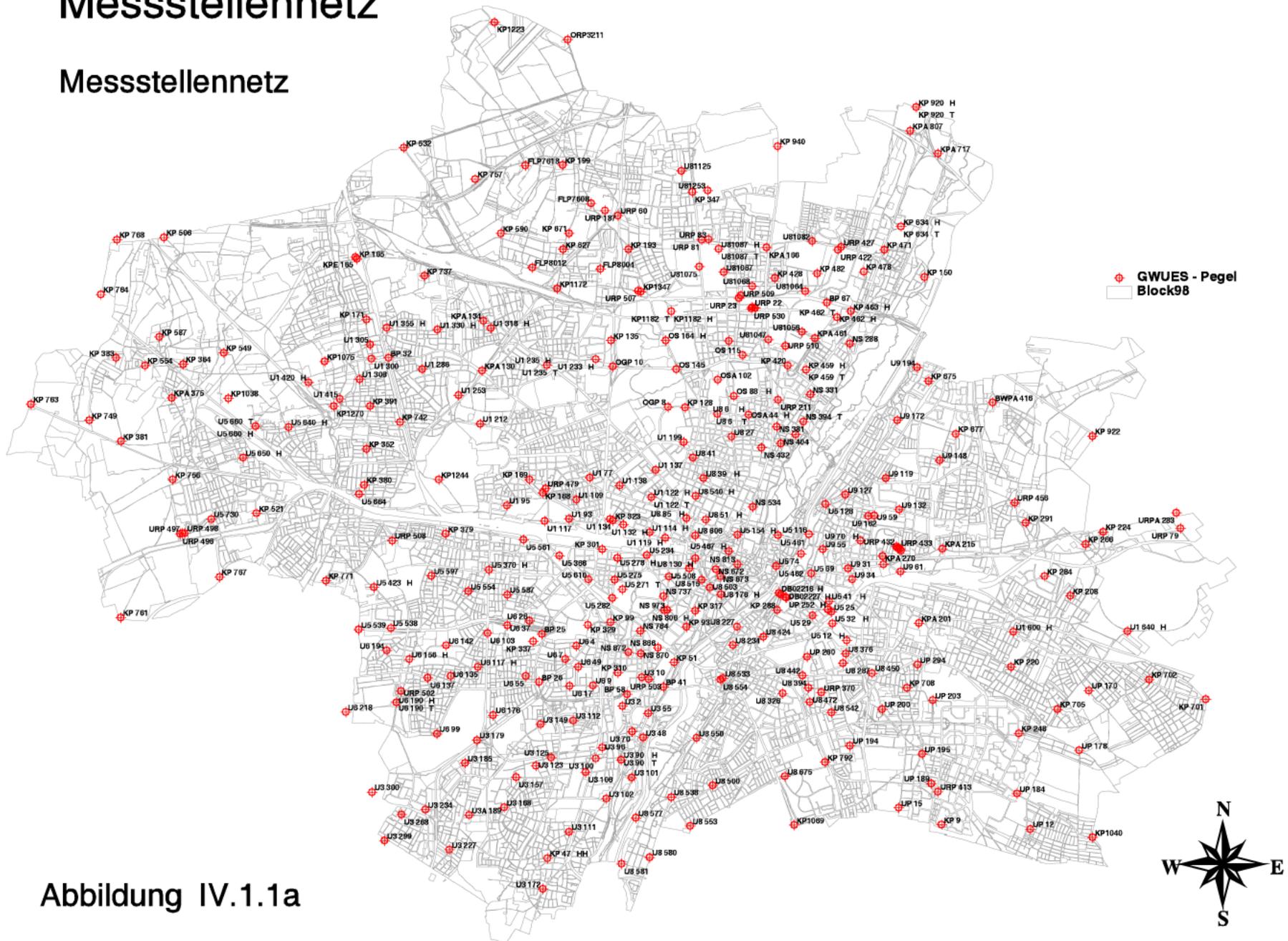


Abbildung IV.1.1a

Die Festlegung möglicher Sekundärmessstellen erschien zum damaligen Zeitpunkt nicht sinnvoll, da eventuelle Kontaminationsherde bzw. -schwerpunkte sich erst aufgrund der Untersuchungsergebnisse abzeichnen würden.

Nach den ersten Messzyklen wurde die Messstellenauswahl hinsichtlich ihrer Zuordnung zu den einzelnen Kategorien und ihrer entsprechenden Aussagekraft überprüft, verifiziert, neu zugeordnet oder verworfen. So dürften z. B. die Messstellen der Kat "7" keine Belastung aufweisen. Auch wurden die Pegel ständig auf ihre Eignung zur Probenahme und Analytik sowie ganz allgemein hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit als Bestandteil des Messnetzes überprüft und ggf. repariert, ersetzt oder vollständig aus dem Programm genommen.

Aufgrund der ersten Überprüfung des Messnetzes bezüglich den ausgewählten Kategorien, veränderte sich die Zuordnung der Messstellen von der ersten bis zur dritten Messung wie folgt:

#### Neuklassifizierung der Messstellen

Kategorie ALT	Mess. 04.96	Mess. 07.96		Kat. NEU	Mess. 11.96
A	65	66	⇒	E	66
W	39	39	⇒	E	39
C	78	78	⇒	C	79
X	46	46	⇒	T	19
			⇒	C	25
			⇒	B	2
7	78	77	⇒	T	33
			⇒	B	32
			⇒	C	11
ST	24	23	⇒	E	23
Summe	330	329			329

Neuordnung	
E	128
B	34
T	52
C	115
Summe	329

Alle Pegel im Zustrom oder z.T. auch im Abstrom (!) des Stadtgebietes werden, soweit sie weitgehend dem natürlichen Chemismus des Kalkschotterwassers der Münchner Schotterebene entsprechen, der Kategorie "B", Basismessstellen, zugeordnet. Dementsprechend sind in dieser Gruppe vorwiegend Pegel enthalten, die unbelastet sind und aus geologischen und/oder geographischen Gesichtspunkten (ehemalige Kat "7") ausgewählt wurden.

Ebenfalls vorwiegend der alten Kat "7" entstammen Pegel der neuen Kategorie "T". Diese sogenannten Trendmessstellen repräsentieren die summarischen Einflüsse des Stadtgebietes auf den GW-Chemismus - ohne direkten Bezug zu Altlasten- und/oder Wasserrechtspegeln oder vorbelasteten Messstellen.

Die Pegel der neuen Kategorie der Emittentenmessstellen "E" stehen jeweils in direktem Bezug zu Flächen, Betrieben etc., die im Verdacht stehen, das Grundwasser zu verunreinigen oder auf Grund des Umgangs mit wassergefährdenden Stoffen diese Möglichkeit in sich bergen. Diese Messstellen liegen vor allem unterstromig von derartigen Bereichen und dienen der Überwachung und Kontrolle dieser Flächen und Betriebe, insbesondere hinsichtlich zeitlicher Entwicklungen und Veränderungen. Die hier zusammengefaßten Pegel entstammen vor allem den alten Kategorien "A", "W", "ST".

Die letzte neue Kategorie "C" beinhaltet Messstellen, die aufgrund früherer Untersuchungen bereits als "vorbelastet" eingestuft wurden und nicht zwangsläufig in ursächlichem Zusammenhang mit Betrieben u./o. Altlasten- bzw. sonstigen (Betriebs-) Schadensfällen stehen. Alle auf Grund besonderer Vorbelastungen ausgewählte Messstellen werden daher als Belastungsmessstellen bezeichnet. Demgemäß sind in dieser Gruppe auch alle Messstellen enthalten, die ursprünglich auf Grund der Voruntersuchungen 86-91 in der alten Kategorie "C" erfaßt worden sind.

In der neuen Zuordnung entfallen die alten Gruppen "X" und "ST". Während die Pegel der Kategorie "X" auf die drei neuen Klassen "T", "C", "B" verteilt wurden, ging die Kat "ST" vollständig in der neuen Kategorie "E" auf.

Diese neue Einteilung sollte die spätere Beurteilung und Zuordnung von kommenden Grundwasseraanalysen dergestalt vereinfachen, dass die Beantwortung auf einen Abgleich mit den noch zu ermittelnden Durchschnittschemismen der einzelnen Klassen "B", "T" innerhalb der jeweiligen Schwankungsbreiten Min/Max hinauslaufen kann.

Nach Ablauf des ersten Jahres mit drei Messreihen wurde in der dritten Arbeitskreissitzung am 19.03.1997 die Notwendigkeit des Untersuchungsumfanges überprüft. Dies erbrachte die Erkenntnis, dass eine Veränderung der Anzahl an Messstellen zum damaligen Zeitpunkt nicht angezeigt war. Bedingt durch die Erfahrungen mit einer Grundwasser-Kontamination im Umfeld der Messstelle XP 5 8 1 erschien auch eine Reduzierung der Anzahl der Messzyklen nicht sinnvoll.

Aufgrund der Überprüfungen des Messnetzes veränderte sich die Anzahl der Messstellen seit der ersten Messreihe im April 1996 wie folgt:

Messreihe	Summe Pegelrohre	Mehrfach Pegel	Summe der Bohrungen	nicht beprobbar	ingeschr. beprobbar
April '96	346	16	330	9	8
Juli '96	345	16	329	1	21
Nov. '96	344	15	329	Ersatz	30
April '97	327	11	316	Ersatz	20
Juli '97	326	9	317	Ersatz	17
Nov. '97	326	9	317	Ersatz	13
April '98	329	9	320	Ersatz	12
Juli '98	329	9	320	Ersatz	9
Nov. '98	329	9	320	Ersatz	11

Die Anzahl der 16 beprobten tertiären Pegelrohre blieb während der ersten drei Messreihen annähernd konstant, danach wurde die Anzahl aufgrund der gleichbleibenden, mit dem oberen Grundwasserstockwerk korrespondierenden Ergebnisse reduziert. Es hatte sich gezeigt, dass in der überwiegenden Zahl der Mehrfachpegel der Chemismus der tieferen Grundwasserleiter durchaus vom Chemismus des darüberliegenden quartären Aquifers beeinflusst, z.T. abhängig ist. In diesen Fällen existiert keine wirksame hydraulische Trennung der einzelnen Grundwasserhorizonte und somit können Grundwasserunreinigungen relativ ungehindert auch bis in tiefere Grundwässer vordringen.

Weitere Änderungen des Messnetzes beruhten neben der angestrebten Optimierung des Messrasters in erster Linie auf der Beschädigung bzw. Zerstörung von Messstellen durch (Tief-) Baustellen oder Kraftfahrzeuge. Somit konnten die betroffenen Pegel nicht mehr zur Probenentnahme herangezogen werden.

## IV. 2 Auswahl der Parameter

Die Auswahl der zu untersuchenden Parameter orientierte sich an den einschlägigen Richtlinien. Um den Umfang der regelmäßigen flächigen Grundwasseruntersuchung zwar einerseits so umfangreich wie notwendig, andererseits aber finanziell auch vertretbar und von der Labor- bzw. Personalkapazität her praktikabel zu gestalten, wurde angestrebt, die Analytik stufenweise durchzuführen. Dabei wurden in einem ersten Untersuchungsschritt die für eine allgemeine Grundwasserbeurteilung notwendigen Basisparameter sowie die wichtigsten Summenparameter überwacht. Die Untersuchung der Messstellen erfolgte im 1. Schritt periodisch auf folgende Parameter:

- organoleptische Ansprache der Probe (Farbe, Geruch, Trübung),
- Vor-Ort-Parameter (Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, O<sub>2</sub>),
- Sulfat, Bor, Chlorid, AOX., LHKW, DOC und Nitrat

Die elektrische Leitfähigkeit gilt als Kenngröße für die Belastung mit anorganischen Stoffen. Speziell machen sich hier die salzhaltigen Einträge in den Untergrund, z.B. Chlorid, Sulfat und Nitrat bemerkbar.

Die Chloride sind toxikologisch unbedenklich, können aber als Maß für eine allgemeine Verunreinigung gelten und geben Hinweise auf die Salzbelastung u.a. durch winterlichen Streusalzeinsatz.

Der Sulfatgehalt ist im wesentlichen auf Trümmer- bzw. Bauschuttagerungen zurückzuführen, der sulfathaltigen Gips enthält, welcher vom Niederschlagswasser ausgewaschen werden kann.

Nitrat gilt als Parameter für eine organische Belastung z.B. für Verunreinigungen durch Abwässer und Fäkalien und liefert somit auch Hinweise auf landwirtschaftlichen Düngereinsatz.

Der Parameter Bor gibt Hinweise auf Belastungen durch Hausmüll.

AOX steht für adsorbierbare halogenierte Kohlenwasserstoffe und dient als Indikator für intensive industrielle Nutzung. Die Anwesenheit von AOX ist gleichermaßen charakteristisch für Verunreinigungen durch die Lagerung industrieller Abfälle.

Aus der Vielzahl der wassergefährdenden Stoffe stellen die Leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW) wegen ihrer Stoffeigenschaften eine besonders große Gefahr für das Grundwasser dar. Sie sind aufgrund ihres weiten Einsatzbereiches (Lösungsmittel, die in Industrie, Gewerbe und privaten Haushalten Verwendung finden) und ihrer großen Verbreitung eine der Hauptursachen bei der Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers im Münchener Stadtgebiet.

Bei Verdacht auf Verunreinigungen erfolgte dann ggf. eine weitere Probennahme mit umfangreichere Analytik gemäß Untersuchungsschritt 2 :

- Bei Verdacht auf anorganische Verunreinigung:  
Untersuchung auf As, Cd, Cr, Ni, Pb, CN, Hg und Cu. Zn, Fe, Mn, NH<sub>4</sub>,
- Bei Verdacht auf organische Verunreinigung:  
Untersuchung auf LHKW - Einzelparameter, Phenole, BTX, PAK
- Untersuchung eventueller ergänzender Tochterpegel gemäß der Analytik des ersten Schrittes

Die ursprünglich ausgewählten Parameter, vor allem des Untersuchungsschrittes 1, hatten sich in den ersten Messreihen bereits bewährt und wurden somit vorerst beibehalten. In der Arbeitskreissitzung vom 19.03.97 wurde vereinbart, bei den kommenden Messzyklen auch die Untersuchung aller Pegel auf NH<sub>4</sub> miteinzubeziehen. Zusätzlich sollen in der Messreihe vom Juli 97 für alle Messstellen folgende Parameter, die der Ermittlung des Gesamtchemismus dienen, als einmalige Untersuchung mitaufgenommen werden: Ca, Mg, Na, K, Säurekapazität.

Bezüglich der Kohlenwasserstoffe (KW) wurde vereinbart, dass die Probennehmer für den Fall, dass während einer Probennahme Auffälligkeiten hinsichtlich Geruch, Färbung usw. wahrgenommen werden, unverzüglich die IGM und das Umweltschutzreferat zu benachrichtigen haben, damit rechtzeitig ggf. eine Untersuchung auf KW und/oder BTX veranlaßt werden kann.

#### **Herkunft der untersuchten Stoffe:**

**LHKW,** werden vorwiegend als Lösungs- und Reinigungsmittel, z. B. zur Metall- und Oberflächenreinigung, als Abbeizmittel, in Farben und Lacken eingesetzt. Ein Großteil der LHKW emittiert in die Luft und wird dort durch Niederschläge ausgewaschen. Die wichtigsten Vertreter sind PER, TRI, 1,1,1-Trichlorethan (1.1.1) und Dichlormethan (DCM). Mit Ausnahme von PER werden diese Stoffe nur mäßig durch Humus und Tonminerale gebunden. In humusarmen Böden bewegen sich TCE, PER und TRI mit der Wasserfront vorwärts. In sandigen Böden ist die Wirkstoffbewegung fast so schnell wie die Fließgeschwindigkeit. Die LHKW sind schwerer als Wasser und kaum mischbar. Unter anaeroben Bedingungen wur

den für Chloroform, TRI oder PER, in einem Zeitraum von 40 Wochen Abbauraten zwischen 50 - 90 % erzielt. Diese sind in sandigen Böden geringer. Sie zeichnen sich in Boden und Grundwasser durch eine ausgeprägte Persistenz und hohe Mobilität aus. LHKW breiten sich im Grundwasser weiträumig aus. Da sie zudem schwerer als Wasser sind, sinken sie im Aquifer ab und sind in der Lage an der Grundwassersohle Schadstofflinsen zu bilden, aus denen über lange Zeiträume hinweg Rücklösungen ins Grundwasser stattfinden können.

**AOX:** sind ein Summenparameter, der als Untergruppe in der Summe der CKW mit erfaßt wird. In unseren Bereichen sind AOX fast ausschließlich anthropogener Herkunft und haben einen weitgefächerten Anwendungsbereich (Bleichereien, Lack- und Farbenbetriebe, Kfz-Werkstätten, Krankenhäuser). Daher finden sie sich auch im Abwasser oder in den Sickerwässern von Mülldeponien (Chemiemüll) wieder. Grundwässer mit AOX-Gehalten über 0,01 mg/l gelten als anthropogen beeinflusst. Eine Zuordnung zu def. Einzelverbindungen ist meist nicht möglich und auch ihr Verhalten in der aquatischen Umwelt ist sehr verschieden. Viele AOX sind leichtflüchtig, gut löslich, mobil und leicht abbaubar, aber es gibt ebenso viele andere, die genau das Gegenteil davon sind. Toxische AOX weisen meist eine größere Persistenz auf.

**BOR:** kommt im Abwasser meist als Borat vor. Dieses Anion verhält sich im Grundwasser relativ mobil, kann aber mit Metallen chemische Bindungen eingehen. Als Alkaliborat (Borax) ist es weiterhin gut wasserlöslich. Je nach Adsorptionsvermögen des Bodens, kann Bor an Eisen- oder Aluminiumoxiden, Tonmineralen sowie organischen Substanzen adsorbiert werden.

**CHLORID:**

zum Auftauen eingesetztes Streusalz (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, seltener KCl) hat den bedeutendsten straßenspezifischen Einfluß auf das Grundwasser. Chlorid besitzt bei den anfallenden Stoffen des Streusalzes die größte Mobilität, gilt oftmals als Leitelement und weist einen jahreszeitlichen Verlauf auf.

**NITRAT:**

Durch Stickstoffdünger wird der Stickstoffgehalt angereichert, aus dem über Mineralisierung NH<sub>4</sub> freigesetzt wird. Das NH<sub>4</sub> kann an Kationenaustauscher im Boden sorbiert werden, ist aber dennoch leicht pflanzenverfügbar. In gut belüfteten Böden unterliegt NH<sub>4</sub> der Nitrifikation und der Stickstoff liegt in Form von Nitrat im Boden vor. Da NO<sub>3</sub> als leicht beweglich gilt, ist ein relativ rascher Transport mit der vertikalen Wasserbewegung in das Grundwasser die Folge. Doch nicht alles NO<sub>3</sub>, was aus dem Boden ausgewaschen wird, bleibt in Nitratform. Beim Wechsel in sauerstoffarme und zugleich metallsulfid- und/oder humushaltige Bodenzone kommt es unter günstigen Milieubedingungen zur biologischen Denitrifikation oder Chemodenitrifikation.

**AMMONIUM:**

kann in sauerstoffreichem Grundwasser, z. B. unter landwirtschaftlich genutzten Flächen, nitrifiziert werden und trägt damit zur pH-Wert Absenkung des Bodens und des Grundwassers bei. In Grundwasser unterhalb von städtischen Gebieten herrschen jedoch meist reduzierende Verhältnisse, so dass die Milieubedingungen für Nitrifikanten schlecht sind und Nitrifizierung selten stattfindet. Da Ammoniumverbindungen in Wasser dissoziieren und sich ähnlich den Alkalimetallen verhalten, ist die Verdünnung unter diesen Randbedingungen daher der wesentliche Reduktionsmechanismus

**KALIUM:**

gehört zu der Stoffgruppe der Alkalimetalle und kann als einwertiges Kation, im Gegensatz zum Natrium, welches einem Tracer sehr nahe kommt, von den natürlichen Kationenaustauschern im Boden verstärkt zurückgehalten werden. Das Sorptionsvermögen des Bodens ist daher von entscheidender Bedeutung für die Mobilität von Kalium im Grundwasser. So sorgen tonmineralhaltige Böden für eine wesentlich schnellere Fixierung des Kaliums an der Bodenmatrix als sandige Böden. Kalium kommt im Boden meist fest eingebunden im Kristallgitter primäre Minerale (Feldspat, Glimmer) vor und ist damit nicht unmittelbar pflanzenverfügbar.

#### **SCHWERMETALLE:**

Die Festlegung und Mobilisierung von Schwermetallen in der Boden- und der Aquifermatrix ist im wesentlichen pH-Wert abhängig. So wird bei einem pH-Wert < 5 z. B. Kupfer gelöst (Zn < 6, Ni < 6, Pb < 4,5, Cr < 5, Cd < 6). Da pH-Werte im Straßenbereich kaum unter pH 5 sinken, ist damit kaum eine Erhöhung der Bleigehalte im Grundwasser zu erwarten. Anthropogene Komplexbildner wie EDTA oder NTA können Schwermetalle stärker als organisches Material an sich binden und bilden dabei wasserlösliche Verbindungen.

**PAK:** werden durch die mechanische Filterwirkung der Bodenmatrix, durch Sorption in den oberflächennahen Schichten oder besonders gut an Pflanzenteilen zurückgehalten und abgebaut. In Autoabgasen sind z. B. bis zu 150 Einzelsubstanzen der PAK vorhanden, die unterschiedliche Wasserlöslichkeit und damit Mobilität aufweisen. Die Abbauprodukte können im Grundwasser die Gehalte an TOC, DOC, CSB erhöhen. Der Abbau organischer Substanzen verringert den Gehalt an gelöstem O<sub>2</sub> im Grundwasser und kann in einer Sekundärreaktion Fe, Mn und NH<sub>4</sub>-Ionen mobilisieren.

**PBSM:** sind rein anthropogene Stoffe. Sie können wie andere organische Verbindungen auch ab- oder desorbiert, gefällt, gelöst oder biologisch zu CO<sub>2</sub> und Wasser abgebaut werden. Die PBSM sind wenig wasserlöslich. Bei ihnen spielt naturgemäß die Bodenfiltration die größere Rolle, während die Adsorptionsfähigkeit und damit die Mobilität wasserlöslicher PBSM vom pH-Wert, der Temperatur, dem chemischen Charakter oder der Konzentration des PBSM abhängt. Die Bindungsfähigkeit des Bodens steigt mit dem Gehalt an Huminstoffen oder an Mineraloberflächen. In der Regel sind leicht lösliche PBSM auch leichter abbaubar, da sie einem biotischen oder chemischen Abbau proportional besser ausgesetzt und weniger stark gebunden sind und der Abbau weniger spezialisierte Mikroorganismen erfordert.

#### **STICKSTOFFHERBIZIDE ( ATRAZIN, SIMAZIN):**

werden nur in stark sauren Böden gut gebunden. Damit sind schwach bindige Böden, die darüber hinaus noch eine hohe Wasserdurchlässigkeit besitzen, gegenüber Pestizideinträgen in das Grundwasser besonders verwundbar. In Böden dominiert die biotische Umwandlung, deren Größe von der Temperatur (> 5°C), vom Sauerstoff oder vom Nährstoffgehalt, sowie den vorhandenen Mikroorganismen abhängt. Die Metabolite sind meist resistenter und verhalten sich im Boden überwiegend mobiler.

### **IV.3 Probennahme**

Vor Projektbeginn des Grundwasser-Überwachungssystem (GWUES) wurden am 07.06.1995 im Referat für Gesundheit und Umwelt unter Teilnahme des **Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft** (LfW) und des **Wasserwirtschaftsamtes München** (WWA) die Kriterien für die Durchführung der Grundwasser-**Probenentnahme** unter dem Gesichtspunkt einer kostensparenden, aber fachlich einwandfreien Aus- bzw. Durchführung diskutiert.

Demzufolge sollte die Durchführung der Probenentnahme in enger Abstimmung mit bzw. durch das mit der Analytik beauftragte Labor erfolgen, da erstens die Probennahme auf die Analytik abgestimmt sein muß, zweitens das fachlich geschulte Personal zur Verfügung steht, drittens die Gerätschaften und das "Know how" vorhanden sind und letztlich die Mehrkosten für die Probennahme gegenüber den Laborkosten nur geringfügig ausfallen. Außerdem wird hierdurch die Kontinuität der Qualität gewährleistet.

Bei der Probenentnahme, die entsprechend den einschlägigen Richtlinien erfolgte, wurden zunächst die Grundwasserspiegel eingemessen und die Pegelrohre der Messstellen klargepumpt, d.h. je nach örtlichen Verhältnissen wurde das Grundwasser ca. 20 bis 30 Minuten abgepumpt, bevor die Messung der Vor-Ort-Parameter (Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und pH-Wert) und die Probenentnahme für die jeweiligen Parameter (s.u.) erfolgen konnte. Alle Messstellen eines Messzyklusses

sollten in einem möglichst kurzen Zeitraum (z.B. innerhalb einer Woche) beprobt werden, um die Vergleichbarkeit der Analysenergebnisse sicherzustellen.

Bei der Durchführung der Probennahme trat immer wieder das Problem geringer Wasserführung auf, das dazu führte, dass lediglich Schöpfproben an den betroffenen Messstellen gezogen werden konnten. Hier galt es letztlich zu entscheiden, ob die ermittelten Grundwasserergebnisse plausibel waren und die Messstelle aus wichtigen Überlegungen - z.B. da sie wegen ihrer geographischen Lage in Bezug auf potentielle Gefahrenquellen für das Grundwasser unverzichtbar erschien und kein Ersatz zur Verfügung stand - weiterhin Bestandteil des Grundwasserüberwachungssystems bleiben sollte oder die Messstelle durch besser geeignete Pegel ersetzt bzw. ersatzlos aus dem Messraster entfernt werden sollte.

Im Laufe der Untersuchungen waren 48 Messstellen hiervon betroffen. In 15 Pegel musste lediglich bei einer Messreihe und in weiteren 14 Pegeln bei zwei Messreihen Schöpfproben gezogen werden. In 19 Messstellen war der Wasserandrang während mehreren Messreihen nicht ausreichend zum Abpumpen.

Während 19 Messstellen schon frühzeitig (nach der 3. MR) aus dem Pegelnetz herausgenommen wurden, verblieben 16 Pegel, bei denen zwar auch ein geringer Wassernachlauf festgestellt wurde, jedoch aus übergeordneten Gründen im Untersuchungsprogramm.

Aufgrund der Grundwasserstandsschwankungen variierte die betroffene Pegelanzahl von Messreihe zu Messreihe. In der letzten Messreihe waren es noch neun Pegel, bei denen nur eine Schöpfprobe gezogen werden konnte, die jedoch aufgrund der Ergebnisse bzw. ihrer Lage im Messnetz verblieben.

#### **IV.4 Messhäufigkeit**

Die Untersuchungshäufigkeit des Messnetzes sollte einerseits zeitlich dicht erfolgen, damit Grundwasserunreinigungen möglichst frühzeitig erkannt werden können, andererseits muß auch hier der personelle, finanzielle und gerätetechnische (Laborkapazität) Aufwand noch vertretbar sein und in richtiger Relation zum Nutzen (Kosten/Nutzen-Verhältnis) stehen.

Bereits zu Beginn des Projektes stellte sich die Frage, ob im gesamten Untersuchungsgebiet ein gleichmäßiger Untersuchungsrhythmus zwingend ist oder ob lokale Abweichungen erfolversprechender und ökonomischer sind.

Die Landeshauptstadt München plante das Grundwasser-Programm zunächst mit einer gleichmäßigen 3x jährlichen Probenentnahme, um Erfahrungen zu sammeln und anschließend das Programm den praktischen Bedürfnissen und Notwendigkeiten entsprechend anzupassen und zu korrigieren. Für die Wahl der Untersuchungszeitpunkte waren in erster Linie die jahreszeitlichen Schwankungen der Witterung und des Grundwasserspiegels (Hoch- und Niedrigwasserstand) ausschlaggebend. Damit flossen auch die Faktoren „Ende der Vegetationsperiode“ und „Ende des winterlichen Streusalzeinsatzes“ ein. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt war die Durchführbarkeit einer problemlosen Probennahme, die nicht mehr durch Eis und Schnee behindert werden konnte.

#### **IV.5 Analytik**

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel dargelegt, wurde die Analytik stufenweise durchgeführt, um die Untersuchungen finanziell und von der Labor- bzw. Personalkapazität her praktikabel zu gestalten. Daher wurden alle entnommenen Grundwasserproben auf die 7 Regelparameter (Analytikschritt 1) untersucht. Weitergehende Grundwasseruntersuchungen (Analytikschritt 2, Zusatzparameter) wurden entsprechend den Vorgaben der Landeshauptstadt München an Proben ausgewählter Grundwassermessstellen durchgeführt.

Die Analysen wurden vom Labor Görtler & Partner Umweltanalytik GmbH, 85521 Ottobrunn-Riemerling, Otto-Hahn Str. 13b ausgeführt. Die eingesetzten Analytikverfahren, Nachweisgrenzen und Vertrauensbereiche sind nachfolgend aufgelistet:

## Analytikverfahren

01	Anionen: Nitrat, Chlorid, Sulfat - DIN 38405 - D19, Ionenchromatographie/LF- und UV-Detektion
02	AOX - Schüttelmethode - DIN 38409 - H14
03	Bio-Test (Leuchtbakterientest) - DIN 38412 - L 34
04	Cyanide, gesamt - DIN 38405 - D13
05	DOC - DIN 38409 - H3
06	Kaliumpermanganatindex (KMnO <sub>4</sub> ) - DIN 38409 - H 5
07	Kohlenwasserstoffe - DIN 38409 - H18, FTIR-Spektroskopie
08	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX) - DIN 38407 - F9, GC / FID, Headspace-Technik
09	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) - DIN 38407 - F5, GC / ECD, Headspace-Technik
10	Metalle (As, B, Cd, Cu, Cr, Cr VI, Fe, Hg, K, Mn, Ni, Pb, Zn, Na, Ca, Mg) - DIN 38406 - E22, ICP-OES - AAS-Kaltdampftechnik (Hg) - AAS-Graphitrohr (As, Cd, Pb) - DIN 38405 - D24 (Cr VI)
11	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK EPA-Liste, Methylnaphthaline) - HPLC-Fluoreszenz-/Diodenarraydetektion - Flüssig/Flüssig-Extraktion, GC/MS
12	PSM (Desethylatrazin, Metoxuron, Hexazinon, Simazin, Cyanazin, Methabenzthiazuron, Chlortoluron, Atrazin, Monolinuron, Diuron, Isoproturon, Metrobromuron, Metazachlor, Sebutylazin, Terbutylazin, Linuron, Metolachlor): - Flüssig/Flüssig-Extraktion, DIN 38407-F12, HPLC-Diodenarraydetektion
	Lindan - Flüssig/Flüssig-Extraktion, GC-ECD
	AMPA, Glyphosat - Methodensammlung zur Rückstandsanalytik von Pflanzenschutzmitteln der DFG, Kennziffer 405
13	Ammonium - DIN 38406 - E5-1

## Nachweisgrenzen

01	Anionen: - Nitrat, Chlorid, Sulfat	je	0,5	mg/l
02	AOX		10	µg/l
03	Bio-Test (Leuchtbakterientest)		1	GL
04	Cyanide, gesamt		0,02	mg/l
05	DOC		0,5	mg/l
06	KMnO <sub>4</sub>		0,5	mg/l
07	Kohlenwasserstoffe		0,01	mg/l

08	BTX (Summe)	5*	µg/l
	- Benzol, Toluol	1	µg/l
	- Xylole (je Komponente)	1	µg/l
	- Xylole (Summe)	3*	µg/l
09	LHKW (Summe)	0,5*	µg/l
	- LHKW (je Komponente)	0,1	µg/l
10	Metalle		
	- Arsen, Blei, Nickel	je 0,003	mg/l
	- Bor, Eisen, Chrom VI	je 0,01	mg/l
	- Cadmium	0,003	mg/l
	- Chrom, Kupfer	je 0,002	mg/l
	- Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium	je 0,5	mg/l
	- Mangan, Zink	je 0,005	mg/l
	- Quecksilber	0,0005	mg/l
11	PAK (Summe), bei HPLC	0,4*	µg/l
	- Naphthalin, Acenaphthylen, bei HPLC	0,1	µg/l
	- alle anderen Einzelparameter, bei HPLC	0,01	µg/l
	PAK (Summe), bei GC / MS	0,17*	µg/l
	- Naphthalin	0,02*	µg/l
	- alle anderen Einzelparameter, bei GC/MS	0,01	µg/l
12	PSM (Summe)	0,2*	µg/l
	F 12 (Summe),	0,85*	µg/l
	- Lindan	0,01	µg/l
	- alle anderen Komponenten	0,05	µg/l
13	Ammonium	0,02	mg/l

\* für die beauftragten Einzelkomponenten

## Vertrauensbereiche

01	Anionen:		
	- Nitrat, Chlorid, Sulfat	+/- 0,2	mg/l
02	AOX	+/- 2	µg/l
04	Cyanide, gesamt	+/- 0,01	mg/l
05	DOC	+/- 0,2	mg/l
06	KMnO <sub>4</sub>	+/- 0,2	mg/l
07	Kohlenwasserstoffe	+/- 0,005	mg/l
08	BTX (jeKomponente)	+/- 0,5	µg/l
09	LHKW (je Komponente)	+/- 0,05	µg/l
10	Metalle		
	- Arsen, Blei, Nickel	+/- 0,001	mg/l
	- Bor, Eisen, Chrom VI	+/- 0,005	mg/l
	- Cadmium	+/- 0,001	mg/l
	- Chrom, Kupfer	+/- 0,0005	mg/l
	- Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium	+/- 0,2	mg/l
	- Kupfer	+/- 0,0005	mg/l
	- Mangan, Zink	+/- 0,002	mg/l
	- Quecksilber	+/- 0,0001	mg/l
11	PAK EPA-Liste, Methylnaphthaline (je Komponente)	+/- 0,002	µg/l
	- Naphthalin, Acenaphthylen bei HPLC	+/- 0,02	µg/l
12	PSM (je Komponente)	+/- 0,01	µg/l
13	Ammonium	+/- 0,005	mg/l

## IV.6 Qualitätssicherung

### **Eignungs- und Zustandskontrolle "Vor-Ort" der Pegel für die Probennahme/Analytik**

Die Erfüllung der Mindestanforderungen an die Messstellen wurde vor der ersten Probennahme bei einer gesonderten Vor-Ort-Überprüfung jeder einzelnen Messstelle sichergestellt, indem die aktuelle Tiefe, der aktuelle Grundwasserstand, die Lage (Zugänglichkeit), der Pegelabschluß sowie etwaige Beschädigungen geprüft wurden.

Diese Zustandskontrolle der ausgewählten 346 Pegel konnte gemäß den angegebenen Kriterien in der Zeit vom 01.06. bis 01.09.1995 durchgeführt werden. Ausgeführt wurden die Arbeiten, nach intensiver Einweisung, von referatseigenem Personal.

Die Ergebnisse der Überprüfungsaktion wurden in vorbereiteten Tagesberichten und Checklisten mit Lageplan sowie einer tabellarischen Pegelliste eingetragen bzw. angekreuzt. Bei jedem Pegel wurden u.a. die Sohlentiefe, sowie der Wasserstand gemessen, bei jedem 2-Zoll Pegel wurde eine Kalibrierung vorgenommen. Besonderes Augenmerk wurde auch, in Anbetracht der künftig ständigen Beprobung, auf eine sichere Wasserführung, leichte und einfache Zugänglichkeit (Auto/GW-Pumpe), sowie auf schwaches Verkehrsaufkommen im Umfeld liegender Straßen gelegt.

### **Überprüfung der Probennahme**

Während der gesamten Laufzeit des GWUES wurde die ordnungsgemäße Probennahme, insbesondere die Einhaltung der Klarpumpdauer, immer wieder durch unangekündigte Stichproben „vor Ort“ durch die Mitarbeiter des Referates für Gesundheit und Umwelt überprüft.

Da durch den vorgegebenen Probenahmezeitraum von 14 Tagen ein relativ großer Zeitdruck bei der Probennahme, vor allem bedingt durch Pegel mit geringem Wassernachlauf, besteht, wurden speziell diese Pegel dahingehend überprüft, ob sie weiterhin für das GWUES unbedingt erforderlich sind, aufgelassen werden können oder durch neue Pegel ersetzt werden können.

### **Qualitäts- und Plausibilitätskontrolle der Messwerte**

Eine erste Plausibilitätskontrolle der Messwerte wurde vom Labor breits unmittelbar nach der ersten Messreihe anhand des vorhandenen Datenmaterials vorgenommen.

Bei der dritten Messreihe im November 96 wurde eine stichpunktartige, parallel laufende Qualitätssicherung der Probennahme und Analytik durch das Wasserwirtschaftsamt München (WWA) durchgeführt. Dazu wurden zeitgleich mit dem beauftragten Labor Parallel-Proben an 77 Pegeln gezogen und Analysen erstellt, die vom Umfang der Parameterbestimmung her identisch mit denen des Labors waren.

Dabei wurde festgestellt, daß die ermittelten Analyseergebnisse im Grunde sehr gut übereinstimmen. Die jeweiligen Tendenzen konnten in den Ergebnissen beider Labors gleichermaßen nachgewiesen werden. Lediglich bei sehr hohen LHKW-Werten ergeben sich Abweichungen zwischen den Ergebnissen des WWA und den "normalen" Laborwerten. Hierbei liegen die Ergebnisse des WWA stets über denen des Labors Görtler. Die Abweichungen in der LHKW-Analytik liegen ungefähr zwischen 10% bis 15%. Gemäß WWA können Differenzen, die unterhalb 20% liegen, hier noch toleriert werden. Diese Abweichungen treten vor allem dann auf, wenn die Proben trüb sind.

Es wurde auch auf die Möglichkeit einer Verschleppung von Verunreinigungen bei der Probennahme aufmerksam gemacht. Pumpenmaterial, das bei einem belasteten Pegel verunreinigt wurde, könnte das Ergebnis eines anderen, unmittelbar danach beprobten unbelasteten Pegels im negativen Sinne verfälschen. Wie jedoch die Praxis zeigt, bewegen sich diese Einflüsse allenfalls im µg/l - Bereich und sind daher durchaus tolerabel. Eine diesbezügliche Änderung der Probennahmepaxis ist daher nicht erforderlich.

## IV.7 EDV - Einsatz

Die Be- und Verarbeitung bzw. Auswertung geographischer, geologischer, hydrogeologischer und hydrochemischer Daten erfolgte bisher im Umweltschutzreferat ausschließlich mit EDV-gestützten Methoden im Betriebssystem BS 2000. Die zugehörigen Programme, um z.B. Beziehungen zwischen einzelnen hydrochemischen Parametern, Parametergruppen, Proben und Messungen aufzuzeigen, um Zeitreihenauswertungen durchführen zu können, um die räumliche Variabilität bzw. Kontinuität von Grundwasserbeschaffenheitsdaten beschreiben zu können, fußen auf entsprechenden Eigenentwicklungen der Landeshauptstadt München.

### BS 2000-Anwendungen

*Die Verarbeitung der Daten mit den BS 2000 Prozeduren erfolgt zwar fachlich angepaßt, setzt jedoch viel System-Erfahrung voraus, d.h. einzelne Verarbeitungsschritte sind nicht miteinander gekoppelt, sondern müssen separat aufgerufen werden. Zum Start einiger Prozeduren müssen vom Anwender die entsprechenden Daten z.T. erst aufbereitet und die Prozeduren durch Einrichtung von Steuerkarten erst vorbereitet werden. Des Weiteren sind oftmals auch noch Vorarbeiten, z.B. Misch-, Selektions- und/oder Sortierläufe oder Arbeitsdateien zu starten bzw. anzulegen. Hierzu ist jedoch eine erweiterte Kenntnis des BS 2000 - Systems erforderlich.*

*Der Datenzugriff erfolgte auf ISAM- oder SAM-Dateien (Datenformate):*

KA7	Bohr- und Pegelkataster
KA1	Datei der geologischen Schichtsäulen
D.CHEMIE	Datei der chemischen Ergebnisdaten

*Zur Anwendung kamen bisher vorwiegend folgende Be- und Verarbeitungsverfahren:*

EDT; CFS; SORT; PERCON; PEGMIS:	(Editor, Misch- und Sortierprog.)
P.CHEMIE; P.CHEMIE.EINLESEN:	(Datenverwaltung chem. Werte)
P.GWMLST; P.JAHRAUS; SUBMAS; P.MISCH.FL	(Auswertungsprog.)

*sowie die grafischen Auswertungs- bzw. Darstellungsmöglichkeiten:*

SUBISO	(Iso- bzw. Konzentrationslinien)
SUBPEG	(Zeitreihen)
SUBBOR	(Schichtsäulen)
GEOMAT	(Schichtprofile)

*Die Arbeiten mit den Prozeduren im BS 2000 sind zeitintensiv und wenig anwenderfreundlich und entsprechen nicht mehr den Bedürfnissen einer anwenderfreundlichen, wirtschaftlichen und effizienten Bearbeitung.*

Mit dem Beginn des Grundwasser-Überwachungssystems (GWUES) waren bestimmte Mindestanforderungen an die EDV-technische Unterstützung für notwendig befunden worden, um die anfallenden Datenmengen zeitgemäß speichern und auswerten zu können.

Dies begründete den Bedarf eines EDV-Systems mit leistungsfähigen Hard- und Softwarekomponenten. Aufbauend auf den bisher schon eingesetzten DV-Programmen zur Verarbeitung von Grundwasserstandsdaten, geologischen und hydrochemischen Informationen und den vorhandenen Dateien im System BS 2000, wurden im Hinblick auf die Ziele und auf die daraus abgeleiteten Notwendigkeiten des GWUES Anforderungen definiert, die ein optimierter EDV-Einsatz erfüllen müsste.

Hieraus wurde ein entsprechendes EDV - Anforderungsprofil, mit den formulierten Notwendigkeiten einer Umstellung der Pflegeprogramme für die Untergrunddatei auf ORACLE und UNIX bzw. Umstellung der BS 2000 - Anwendungsprogramme auf UNIX unter X-Windows zur Be- und Verarbeitung der Untergrunddatei erarbeitet (s. Kap. VI.1).

Als erster Schritt bei der Erfüllung dieses EDV-Anforderungsprofils sollte im Referat für Gesundheit und Umwelt die Umstellung der o.g. Datenhaltung auf das Datenbanksystem ORACLE durchgeführt werden. Da ORACLE aber zum Projektbeginn aus verschiedenen Gründen für die Zwecke des GWUES noch nicht nutzbar war, wurde vereinbart, daß bis zur Anwendungsreife der neuen Datenbank in ORACLE die künftigen Grundwasserdaten auf der bestehenden BS 2000-Datenbank übergangsweise abgespeichert werden, entsprechend angepaßt dem EDV-Anforderungsprofil und den neuen Vorgaben und Anforderungen des GWUES.

Die dazugehörigen Pflegeprogramme und Masken zur Prüfung auf Richtigkeit, Plausibilität und Vollständigkeit der Daten wurden bei der Erstellung der BS 2000 - Übergangsdatei z.T. bereits erstellt bzw. überarbeitet. Zusätzlich sollten die Pflegeprogramme thematisch um die Bereiche Geologie und Messstellenfestwerte erweitert werden.

Diese „Übergangs-Datei“ wurde anschließend zur Aufnahme, Plausibilitätsprüfung, Bearbeitung und Auswertung der Daten eingesetzt.

Weitere DV-gestützte Arbeiten zur Auswertung der anfallenden Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen wurden mit Microsoft EXCEL sowohl statistisch als auch zur Vorbereitung für die graphische Auswertung und Darstellung vorgenommen. Als Geographisches Informations System (GIS) kam ArcVIEW und ArcINFO der Firma ESRI zur Anwendung.

## V. Auswertung

### V.1 Bewertungsgrundlagen

#### Beurteilungskriterien

Als Indikatoren für die Qualität des oberflächennahen Grundwassers wurden vor allem die Standardparameter Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Bor sowie die Belastung mit AOX, CKW, PAK und Pestiziden ausgewählt.

Die elektrische **Leitfähigkeit** gilt als Kenngröße für die Belastung mit anorganischen Stoffen. Speziell machen sich hier die salzhaltigen Einträge in den Untergrund, z.B. Chlorid, Sulfat und Nitrat bemerkbar.

Die **Chloride** sind toxikologisch unbedenklich, können aber als Maß für eine allgemeine Verunreinigung gelten und geben Hinweise auf die Salzbelastung u.a. durch winterlichen Streusalzeinsatz. Der **Sulfat**gehalt ist im wesentlichen auf Trümmer- bzw. Bauschuttalagerungen zurückzuführen, der sulfathaltigen Gips enthält, welcher vom Niederschlagswasser ausgewaschen werden kann.

**Nitrat** gilt als Parameter für eine organische Belastung z.B. für Verunreinigungen durch Abwässer und Fäkalien und liefert somit auch Hinweise auf landwirtschaftlichen Düngemiteinsatz.

Der Parameter **Bor** gibt Hinweise auf Belastungen durch Hausmüll.

**AOX** steht für adsorbierbare halogenierte Kohlenwasserstoffe und dient als Indikator für intensive industrielle Nutzung. Die Anwesenheit von AOX ist gleichermaßen charakteristisch für Verunreinigungen durch die Lagerung industrieller Abfälle.

Aus der Vielzahl der wassergefährdenden Stoffe stellen die Leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe (**LHKW bzw. CKW**) wegen ihrer Stoffeigenschaften eine besonders große Gefahr für das Grundwasser dar und sind aufgrund ihres weiten Einsatzbereiches (Lösungsmittel, die in Industrie, Gewerbe und privaten Haushalten Verwendung finden) und ihrer großen Verbreitung eine der Hauptursachen bei der Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers im Münchener Stadtgebiet.

Die gezielte Untersuchung auf **Pestizide** soll Aufschluß über die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln geben, die vor allem zur Unkrautvernichtung z.B. auf unversiegelten Verkehrsflächen (Bahn, Tram etc.) zum Einsatz kommen und ins Grundwasser ausgeschwemmt werden können.

#### Bewertungsgrundlagen

Das im Untergrund versickernde Niederschlagswasser nimmt aus den mineralischen und organischen Stoffen des Bodens, sowie aus den Gesteinen der grundwasser-führenden Schichten chemische Substanzen auf, deren jeweilige Mischung die natürliche Zusammensetzung des Grundwasserchemismus ergibt.

Als Ausgangsbasis für die Beurteilung der Schadstoffbelastung im Grundwasser geht das Referat für Gesundheit und Umwelt von dem natürlichen chemischen Grundwassertyp, wie er in der Münchener Schotterebene vorherrscht, aus.

Wie bereits in Kap. III.2 erwähnt, lassen sich diese Kalkschotterwässer wie folgt nach GERB (1958) charakterisieren:

Abdampfdruckstand	350	+/- 50	mg/l
Leitfähigkeit	460	- 620	µS/cm
ph - Wert	7,3	+/- 0,2	
Sauerstoffgehalt	6	- 10	mg/l
SO4 (Kieselsäuregehalt)	2	- 15	mg/l
Karbonathärte (KH)	16	+/- 3	Grad dH
Gesamthärte (GH)	KH	+/- 1-3	Grad dH
Magnesiumanteil an GH	30	- 35	%
Nitrat	maximal	20-25	mg/l

Um diesen natürlichen Charakter des Münchener Grundwassers aktuell zu beschreiben, wurde die durchschnittliche Grundwasserbeschaffenheit von Messstellen ermittelt, die vorwiegend im südlichen Stadtgebiet liegen und einen weitgehend unverfälschten Grundwasserchemismus repräsentieren:

Statistische Werte der "unbelasteten" Pegel nach acht Messreihen (2664 Untersuchungen):

	T/°C	ph	Lf. µS/cm	O2 mg/l	DOC mg/l	AOX µg/l	CKW µg/l	B mg/l	NH4 mg/l	CL mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l	CA mg/l	MG mg/l	NA mg/l	K mg/l	PAK µg/l
Minimum	5,6	6,97	394	4,8	0,4	< 10	0,1	0,01	0,02	1,36	5,3	6	72	20	3	0,72	0,01
Maximum	13,8	7,86	710	10,4	12	18	2,93	0,8	0,22	38	36	28	113	28	33	4,26	1,6
Mittelwert	11,27	7,35	581	8,45	1,71	10,12	0,94	0,04	0,10	19,19	18,93	17,83	87,31	23,35	15,31	1,97	0,34
Stabwn	1,33	0,16	57	1,52	1,70	0,77	0,73	0,02	0,01	7,75	5,96	4,69	9,04	2,35	7,50	0,92	0,38

Wie frühere Untersuchungen bereits gezeigt haben, muß dabei jedoch festgestellt werden, dass das Grundwasser im überbauten Stadtgebiet von vornherein gegenüber den Kalkschotterwässern aus ungebauten Bereichen im oberen Stockwerk deutlich höhere Chlorid-, Sulfat- und Nitratgehalte sowie erhöhte Leitfähigkeitswerte aufweist.

Weitere Grundlagen der Beurteilung der Grundwasserbelastung stellen u.a. die Normen der "EG-Richtlinie über Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch" 1980/778/EWG, die Trinkwasserverordnung (TVO) vom 05.12.1990 und Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes mit den entsprechenden Richtwerten für Trinkwasser dar.

Außerdem flossen in die Auswertung und Interpretation der Analysenergebnisse Erkenntnisse der "Ergebnisse grundwassergefährdender Altlasten" (Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Heft 5, Berlin 1985) sowie die sog. "Holland-Richtlinien" für Grundwasser, Gravenhage 1983 und die Grundwasseruntersuchung der TU-München in Harlaching, 1983, ein.

	Datum	T °C	ph	Lf. µS/cm	O2 mg/l	DOC mg/l	AOX µg/l	CKW µg/l	B mg/l	NH4 mg/l	CL mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l	CA mg/l	MG mg/l	NA mg/l	K mg/l	PAK µg/l
<b>Gerb</b>	1958		7,10	460	6,00								2,0	54,0	14,7			
<b>EU - Richtl.</b>		12	6,5-8,5	400				1	1,0	0,05	25	50	25	100	30	20	10	-
<b>TU Harlach.</b>			7,50	636		2,00					33,8	22,4	47,0	93,3	19,7	14,3	2,3	
<b>WABOLU</b>		10,1	7,40				<10		0,02	0,35	22,0	1,00	73,0	100	5,4	8,5	1,2	
<b>TVO</b>	1990	25	6,5-9,5	2000				10	1,00	0,50	250	50	240	40	50	150	12	0,2

Bei Parametern, bei denen keine TVO- oder sonstigen Grenzwerte existieren, wurden hilfsweise selbstgewählte Beurteilungswerte herangezogen, die sich aufgrund langjähriger Erfahrungen herauskristallisiert haben:

Parameter	Verwendeter Richtwert	Begründung
<b>O2</b>	<= 2 mg/l	erfahrungsgemäß starkes Sauerstoffdefizit
<b>DOC</b>	>= 10 mg/l	erfahrungsgemäß stark erhöhte organische Belastung
<b>AOX</b>	>= 50 µg/l	Orientierungswert Bay. Altlastenleitfaden
<b>Cu</b>	>= 0,05 mg/l	Stufe 1 Wert Bay. Altlastenleitfaden
<b>CR 6</b>	>= 0,025 mg/l	halber Wert von Chrom (gesamt)
<b>Zn</b>	>= 0,2 mg/l	Stufe 1 Wert Bay. Altlastenleitfaden
<b>BTX</b>	>= 30 µg/l	Stufe 1 Wert Bay. Altlastenleitfaden
<b>BIO</b>	>= 2 GL	Bay. Altlastenleitfaden

Für die Bewertung bzw. Klassifikation der Messergebnisse der einzelnen chemischen Parameter wurde der Belastungsgrad herangezogen, der aus den entsprechenden Konzentrationswerten der o.g. Grenz- bzw. Richtwerten resultiert. Die Belastung wurde, füssend auf einer Einteilung des Wasserwirtschaftsamtes und des Umweltschutzreferates (1984/85), in fünf Stufen eingeteilt. Diese zwischenzeitlich vom RGU weiterentwickelte Belastungseinstufung ist mit den zugehörigen Konzentrationswerten in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

Klassifizierung der Belastungsbewertung					
<b>Ammonium mg/l</b>					
<0,02 unbelastet	>= 0,02 - < 0,05 gering belastet	>= 0,05 - < 0,5 mäßig belastet	>= 0,5 - < 1,0 stark belastet	>= 1,0 sehr stark belastet	
<b>AOX µg/l</b>					
<= 10 unbelastet	> 10 - < 25 gering belastet	>= 25 - < 50 mäßig belastet	>= 50 - < 100 stark belastet	>=100 sehr stark belastet	
<b>Bor mg/l</b>					
<= 0,01 unbelastet	> 0,01 - < 0,04 gering belastet	>= 0,04 - < 0,09 mäßig belastet	>= 0,09 - < 1,0 stark belastet	>= 1,0 sehr stark belastet	
<b>Chlorid mg/l</b>					
< 10 unbelastet	>=10 - < 25 gering belastet	>= 25 - < 100 mäßig belastet	>= 100 - < 250 stark belastet	>= 250 sehr stark belastet	
<b>CKW µg/l</b>					
<= 0,5 unbelastet	> 0,5 - < 1 gering belastet	>= 1 - < 10 mäßig belastet	>= 10 - < 100 stark belastet	>= 100 sehr stark belastet	
<b>DOC mg/l</b>					
< 5 unbelastet	>= 5 - < 10 gering belastet	>= 10 - < 50 mäßig belastet	>= 50 - < 100 stark belastet	>=100 sehr stark belastet	
<b>Leitfähigkeit µS/cm</b>					
< 400 unbelastet	>= 400 - < 600 gering belastet	>= 600 - < 1000 mäßig belastet	>= 1000 - < 1500 stark belastet	>= 1500 sehr stark belastet	
<b>Nitrat mg/l</b>					
< 1,0 unbelastet	>= 1,0 - < 25 gering belastet	>= 25 - < 50 mäßig belastet	>= 50 - < 90 stark belastet	>= 90 sehr stark belastet	
<b>PAK µg/l</b>					
n.n. unbelastet	n.n. - < 0,1 gering belastet	>= 0,1 - < 0,2 mäßig belastet	>= 0,2 - < 1,0 stark belastet	>= 1,0 sehr stark belastet	
<b>PH-Wert</b>					
7,0 - 7,5 unbelastet	6,5-7,0/7,5-8,5 gering belastet	6,0-6,5/8,5-9,5 mäßig belastet	4,0-6,0/9,5-11,5 stark belastet	< 4,0 / > 11,5 sehr stark belastet	
<b>Sulfat mg/l</b>					
< 15 unbelastet	>= 15 - < 25 gering belastet	>= 25 - < 100 mäßig belastet	>= 100 - < 240 stark belastet	>= 240 sehr stark belastet	
<b>Temperatur °Celsius</b>					
< 9 unbelastet	>= 9 - < 11 gering belastet	>= 11 - < 13 mäßig belastet	>= 13 - < 14 stark belastet	>=14 sehr stark belastet	

0,04 = Mittelwert KB-Pegel  
0,09 = Mittelwert alle Pegel  
1,0 = TVO-Grenzwert

## V.2 Durchführung der Messungen und der Analytik

Unmittelbar nach Vergabe des Auftrages wurde die Durchführung der Messreihen vorbereitet und die Probenahme für die erste Messreihe in Anlehnung an die DIN 38402 mit Beginn der mildereren Witterung vom 02.04.96 bis 16.04.96 durchgeführt. Sämtliche Messreihen wurden jeweils im April, Juli und November der Jahre 1996, 1997 und 1998 plangemäß abgewickelt. Die Beprobung für die letzte Messreihe erfolgte vom 02.11.98 bis zum 13.11.98, bzw. als Zusatzbeprobungen auf die Parameter AMPA, Glyphosat und Lindan vom 10.11. bis 25.11.98.

Vor Ort, bei der Probenahme, wurden die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur und Sauerstoffgehalt gemessen sowie Färbung, Trübung und Geruch nach vorgegebenen Kennziffern bewertet. Alle entnommenen Grundwasserproben wurden auf die 7 Regelparameter gemäß Analytikschritt 1 untersucht. Weitergehende Grundwasseruntersuchungen gemäß Analytikschritt 2 wurden entsprechend den vorgegebenen Zusatzparametern an Proben ausgewählter Grundwassermessstellen durchgeführt. Jeweils vier Wochen nach der Probenahme wurden die Laboruntersuchungen abgeschlossen und die Ergebnisunterlagen dem Referat für Gesundheit und Umwelt vorgelegt.

Wie geplant, wurden die Analysedaten, gemäß den Vorgaben, vom beauftragten Ingenieurbüro auf Datenträger (Diskette) abgespeichert und zur Einspielung in die EDV-Anlage des Referats für Gesundheit und Umwelts vorbereitet. Vor der Überspielung mußten die EDV-Daten auf formelle und inhaltliche Korrektheit geprüft werden, um zu verhindern, dass technische Formfehler und/oder fehlerhafte Daten übernommen werden. Die eingespielten Analytikergebnisse wurden dann hinsichtlich ihrer inhaltlichen Plausibilität überprüft und ggf. die Fehlerbearbeitung der EDV-Datei durchgeführt. Erst danach konnten die Daten als sicher interpretiert und ausgewertet werden.

Aufgrund der Erfahrungen bei den verschiedenen Messreihen mußte das Messnetz punktuell dahingehend geändert werden, dass defekte oder ungeeignete Messstellen in der folgenden Messreihe durch neue bzw. bessere ersetzt wurden. Dies wurde notwendig, da die Messstellen aus den unterschiedlichsten Gründen nicht beprobbar waren (Probenahmestellen waren trocken, verschlammte, zerstört etc.). Außerdem lagen einige der vorgesehenen Messstellen auf Privat-, Firmen- oder Industriegelände und waren somit nicht ohne weiteres für die Probennehmer erreichbar. Daher mußte bei sechs Messstellen eine schriftliche Zutrittsgenehmigung für die Probenahmeteams beantragt werden, die jedoch in zwei Fällen verweigert wurde. Aus diesen Gegebenheiten resultiert die Aufstellung modifizierter Pegelraster für die folgenden Messkampagnen.

Während der laufenden Ziehung der Grundwasserproben durch das beauftragte Ingenieurbüro wurde die ordnungsgemäße Durchführung der Arbeiten durch stichpunktartige unangekündigte Kontrollen des Referats für Gesundheit und Umwelts vor Ort überprüft.

Aufgrund lokal begrenzt auffälliger Messergebnisse wurden zusätzliche Messstellen (sog. Sekundärpegel) in der Umgebung ausgewählt. Mit einer zusätzlichen, an ausgewählten Primär- und Sekundärpegeln erfolgten punktuellen Untersuchung des Grundwassers z.B. im September 1996 sollten die ursprünglichen Messergebnisse verifiziert bzw. spezifiziert werden.

Alle festgestellten Grundwasserkontaminationen oder sonstigen Auffälligkeiten wurden zusätzlich zu den routinemäßigen Untersuchungen im Zuge des Grundwasserüberwachungssystem unverzüglich den zuständigen Stellen, Wasserwirtschaftsamt München sowie den Sachgebieten „Wasserrecht“ und „Altlasten“ im Referat für Gesundheit und Umwelt zur detaillierten Ursachenermittlung und weiteren Schadensverfolgung gemeldet.

Zur Qualitätssicherungen der Probenahme und der Analytik führte das Wasserwirtschaftsamt München zeitgleich zur laufenden dritten Messreihe mit dem beauftragten Labor im November 96 stichpunktartige Parallelproben und Analysen an 77 Pegeln durch, die vom Umfang der Parameterbestimmung her identisch mit dem des Labors waren (s. hierzu Kap. IV.6).

Nach Abschluss der dritten Messreihe wurden am 19. März 1997 die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für die kommenden Untersuchungen überdacht und neu festgelegt. Bezüglich der zusätzlich zum Analytikschritt 1 zu untersuchenden Parameter wurde dabei vereinbart, bei denjenigen Pegeln die Zusatzparameter herauszunehmen, bei denen in den Messreihen 1 bis 3 keine Überschreitung der Grenz- und/oder Richtwerte festgestellt werden konnten bzw. keinerlei nennens- und beach-

tenswerte Veränderungen zu verzeichnen waren. Es wurden aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse auch keine zusätzlichen Messstellen festgelegt, deren Grundwasserproben auf ein erweitertes Parameterspektrum hin analysiert werden sollten.

Um die Auswirkungen organischer Belastungen umfassender zu recherchieren, wurden bei der Durchführung des 4. Messzyklusses erstmals alle Grundwassermessstellen auch auf Ammonium untersucht.

Aufgrund der ermittelten Wasserstände wurde sowohl bei dieser, als auch schon bei den vorangegangenen Messreihen in einigen der beprobten Mehrfachpegel aufgrund des sehr geringen Unterschiedes des Grundwasserstandes (max. 2 cm) ein hydraulischer Kontakt zwischen quartärem und tertiärem Grundwasser für möglich erachtet.

Zur Überprüfung der ermittelten Kationen- und Anionenäquivalente hinsichtlich ihrer Plausibilität, wurde in der fünften Messreihe eine Ionenbilanz durchgeführt. Dazu wurde die Analytik um die in bisher noch keinem Messzyklus erfassten Kationen der Hauptinhaltsstoffe erweitert.

Diese 5. Untersuchung schloss erstmals auch die Analyse der PAK bei allen Messstellen ein. Zusätzlich zu den nach EPA ermittelten PAK wurden hierbei die Methylnaphtaline miterfasst. Ebenso wurde auch die Analysemethode geändert. Gegenüber den vorangegangenen Messreihen mit HPLC-Fluoreszenz-/Diodenarraydetektion wurden die PAK in dieser Messreihe mittels GC/MS untersucht. Mit der erstmals flächendeckenden Untersuchung auf PAK konnten in großer Anzahl Bereiche mit deutlichen Kontaminationen ausfindig gemacht werden.

In der 6. Messreihe wurden zur Verifizierung der PAK-Ergebnisse der 5. Messreihe ausgewählte, belastete Messstellen zusätzlich auf weitere Parameter, insbesondere PAK, untersucht. Insgesamt können CKW und PAK als die Hauptkontaminanten bezeichnet werden. Wobei die Anzahl der gemessenen Richtwertüberschreitungen für die PAK von 67 auf 24 abnahm. Auch in den folgenden Messreihen wurden die zusätzlichen Untersuchungen auf PAK beibehalten. Zusätzlich wurden in der 7. Messreihe alle Grundwasserproben auch auf **Ammonium** und erstmals flächig auf **BTX** untersucht.

In der 8. Messreihe wurde versucht, durch weitere Beprobung der Pegel mit auffälligen BTX-Gehalten diese Belastungen ggf. zu bestätigen. In der letzten, 9. Messreihe wurden erstmals alle Pegel des Messrasters auf **Pflanzenschutzmittel** untersucht.

## V.3 Auswertung und Darstellung der Analyseergebnisse

Bei der Ermittlung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers wurden als Ergänzung zu den hier vorgelegten Ergebnissen der Messreihen des Grundwasseruntersuchungssystems zusätzlich Analysendaten der Grundwasseruntersuchungen 1984 - 1991 sowie spezieller Erkundungs-, Sanierungs- und Beweissicherungsmaßnahmen berücksichtigt. Insgesamt stehen daher für die Auswertungen der Regelparameter je nach Parameter ca. 2660 bis über 10000 Einzeluntersuchungen zur Verfügung.

### V.3.1 Grundwassertemperatur

Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes liegen noch weitgehend unbeeinflusste Grundwassertemperaturen vor. Im Süden der Stadt, in den Forsten und den angrenzenden Bereichen spiegeln diese Temperaturen zwischen 8 °C und 9 °C die "natürlichen" Grundwassertemperaturverhältnisse wieder.

Mit zunehmender Bebauungs- und Versiegelungsdichte steigen die Werte an, wobei sich zur Innenstadt hin die diversen Einflußfaktoren so aufsummieren, dass sich im Stadtzentrum die höchsten Grundwassertemperaturen mit - flächenhaft - 17 °C - 20 °C bzw. punktuell > 20 °C nachweisen lassen. Insgesamt steigen also die Grundwassertemperaturen vom Stadtrand gegen das Zentrum an. Die innerstädtischen Grünanlagen fallen als lokale kühlere Bereiche von 11 °C -12 °C gegenüber den höheren Innenstadttemperaturen auf.

In Prozentzahlen ( s. Abb. V.3.1.1) ausgedrückt, liegen in den acht berücksichtigten Messreihen 1,8 % (48 Pegel) der Grundwassertemperaturen unter 9 °C, 17,7 % (470 Pegel) zwischen 9 °C und 11 °C, 60,5 % (1610 Pegel) zwischen 11°C und 13°C, 11,1 % (295 Pegel) zwischen 13°C und 14 °C und 9 % (240 Pegel) über 14 °C.

Temperatur °C	Anzahl der Messwerte					Summe	Temperatur °C	Prozentwerte					Summe
	< 9	>= 9 - < 11	>= 11 - < 13	>= 13 - < 14	>=14			< 9	>= 9 - < 11	>= 11 - < 13	>= 13 - < 14	>=14	
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet	
Apr 96	34	139	121	17	26	337	Apr 96	10.09	41.25	35.91	5.04	7.72	
Jul 96	0	28	266	29	21	344	Jul 96	0.00	8.14	77.33	8.43	6.10	
Nov 96	0	43	229	33	39	344	Nov 96	0.00	12.50	66.57	9.59	11.34	
Apr 97	7	52	213	42	13	327	Apr 97	2.14	15.90	65.14	12.84	3.98	
Jul 97	0	30	209	60	27	326	Jul 97	0.00	9.20	64.11	18.40	8.28	
Nov 97	1	37	244	26	19	327	Nov 97	0.31	11.31	74.62	7.95	5.81	
Apr 98	6	113	173	16	21	329	Apr 98	1.82	34.35	52.58	4.86	6.38	
Jul 98	0	28	155	72	74	329	Jul 98	0.00	8.51	47.11	21.88	22.49	
Nov 98							Nov 98						
Summe	48	470	1610	295	240	2663	Summe	1.80	17.65	60.46	11.08	9.01	

Bei den natürlichen Einflüssen auf die Grundwassertemperatur ist an erster Stelle der jahreszeitlich bedingte Witterungseinfluß zu nennen, mit Maximalwerten vorwiegend im vierten Quartal und Minimalwerten im zweiten Quartal eines jeden Jahres.

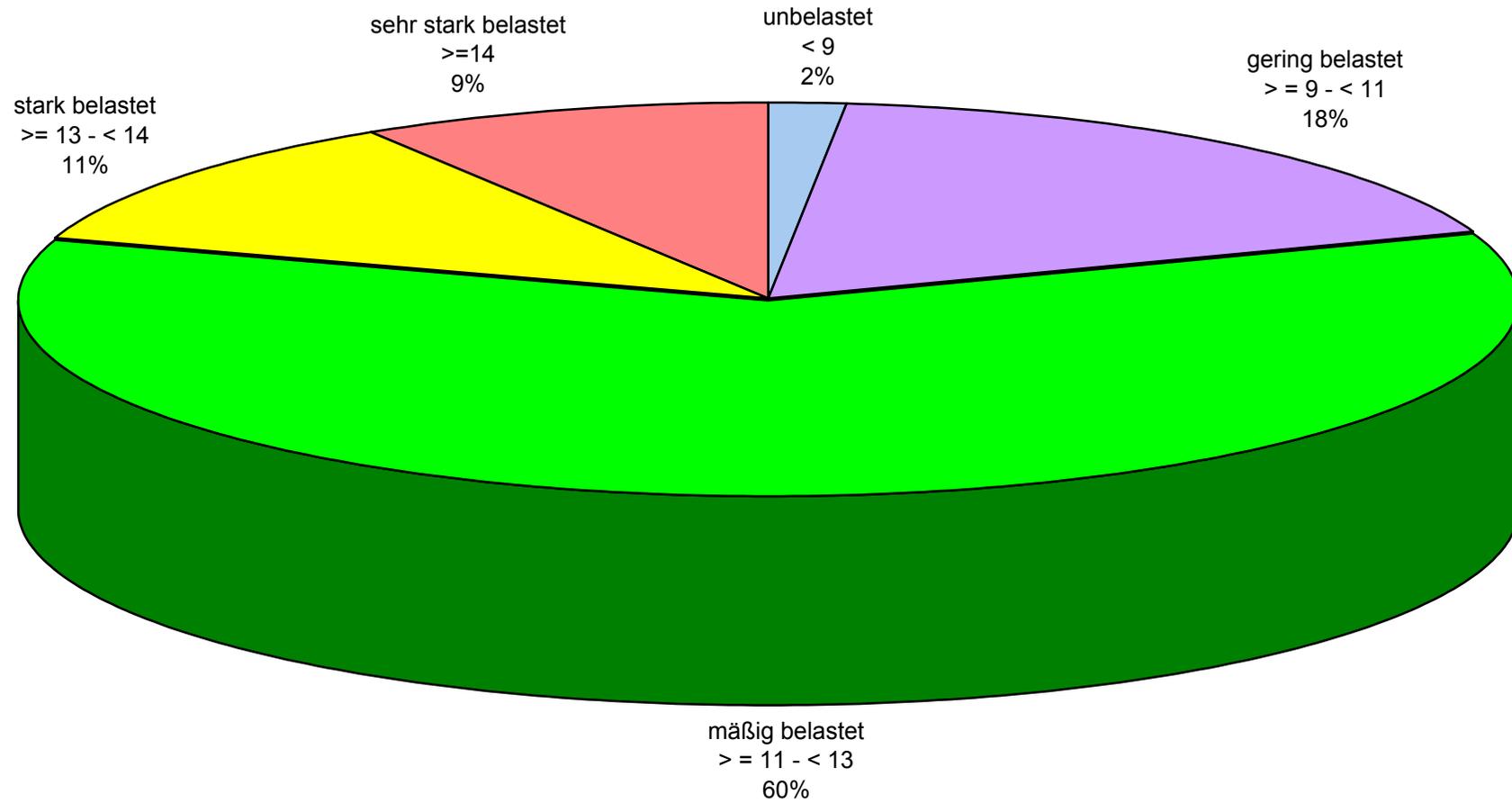
Je tiefer in einem mächtigen Grundwasserleiter der Messpunkt oder je tiefer das Grundwasserstockwerk unter der Geländeoberkante liegt, desto später treten diese Temperaturmaxima und -minima im Vergleich zu denen der Lufttemperatur auf. Außerdem nimmt die Größe der Temperaturschwankungen mit zunehmender Tiefe ab.

Ein Wechsel in der Korngröße und damit in der Durchlässigkeit des Leiters wirkt sich zusätzlich auf die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen aus. Gegenüber einem kiesigen Grundwasserhorizont dämpft ein sandiger Aquifer die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen im Grundwasser deutlich.

Als bedeutende anthropogene Faktoren sind neben der Bebauungsdichte und Untergrundversiegelung vor allem die U- und S-Bahn-Tunnel-Systeme, - und hier die Bahnhöfe stärker als Streckenabschnitte - zu nennen.

# Temperatur - Prozentwerte

Werte in Grad Celsius



# Temperatur - Verteilung

Messreihen 1 - 8

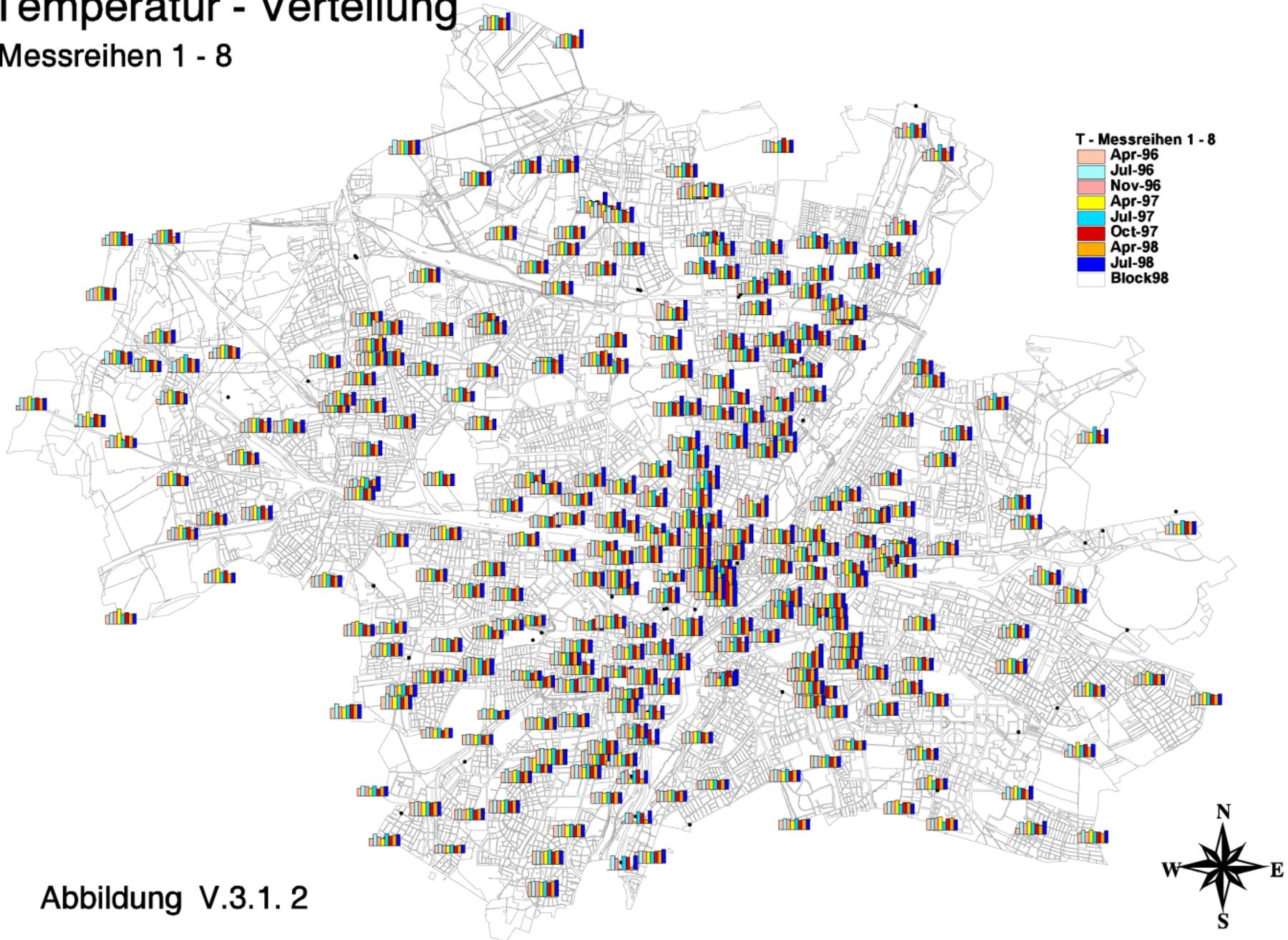


Abbildung V.3.1.2

# Temperatur - Verteilung

April 96 und arithmetisches Mittel der Messreihen 1-8

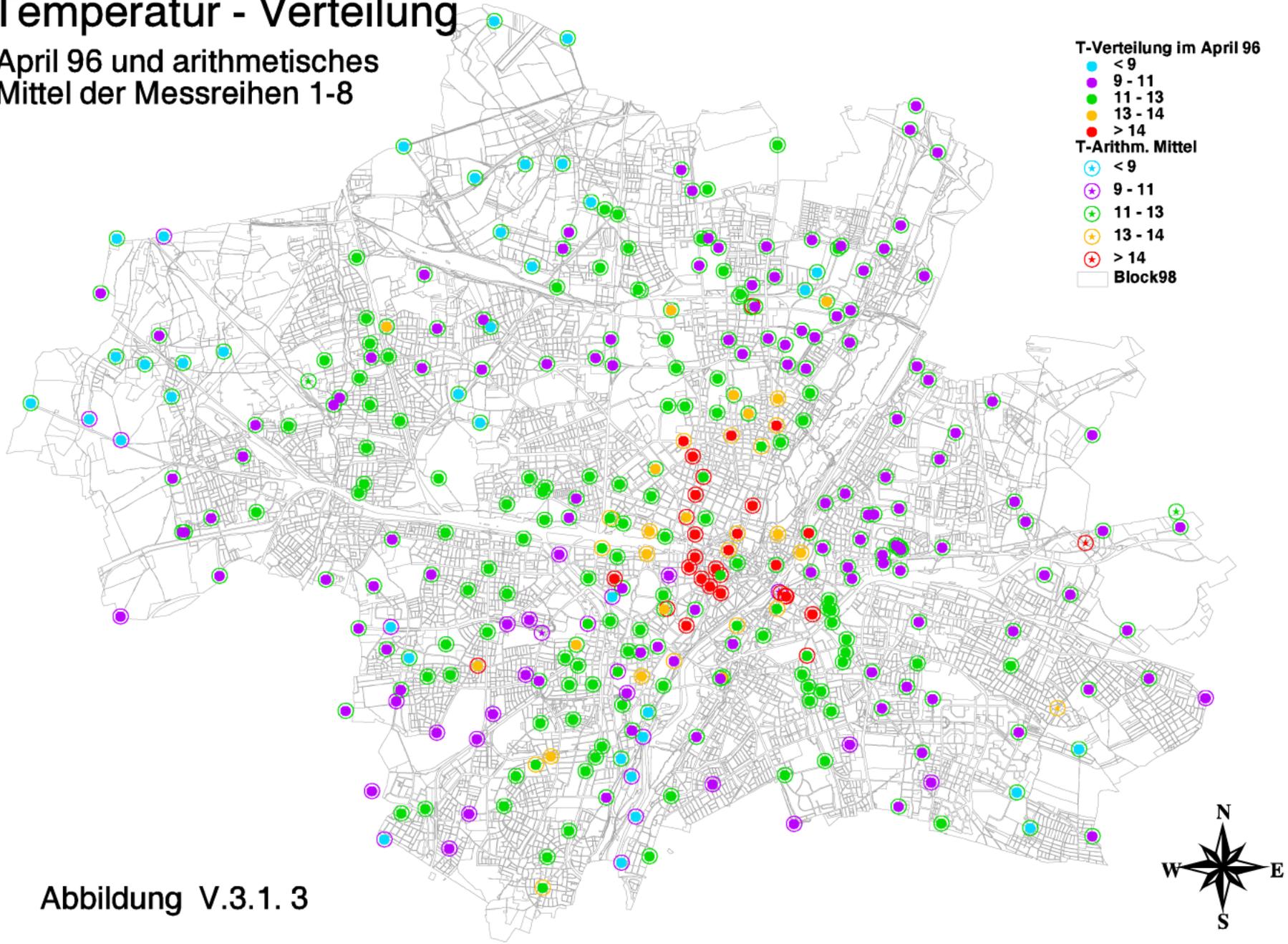


Abbildung V.3.1.3

# Temperatur - Verteilung

Juli 98 und arithmetisches Mittel der Messreihen 1-8

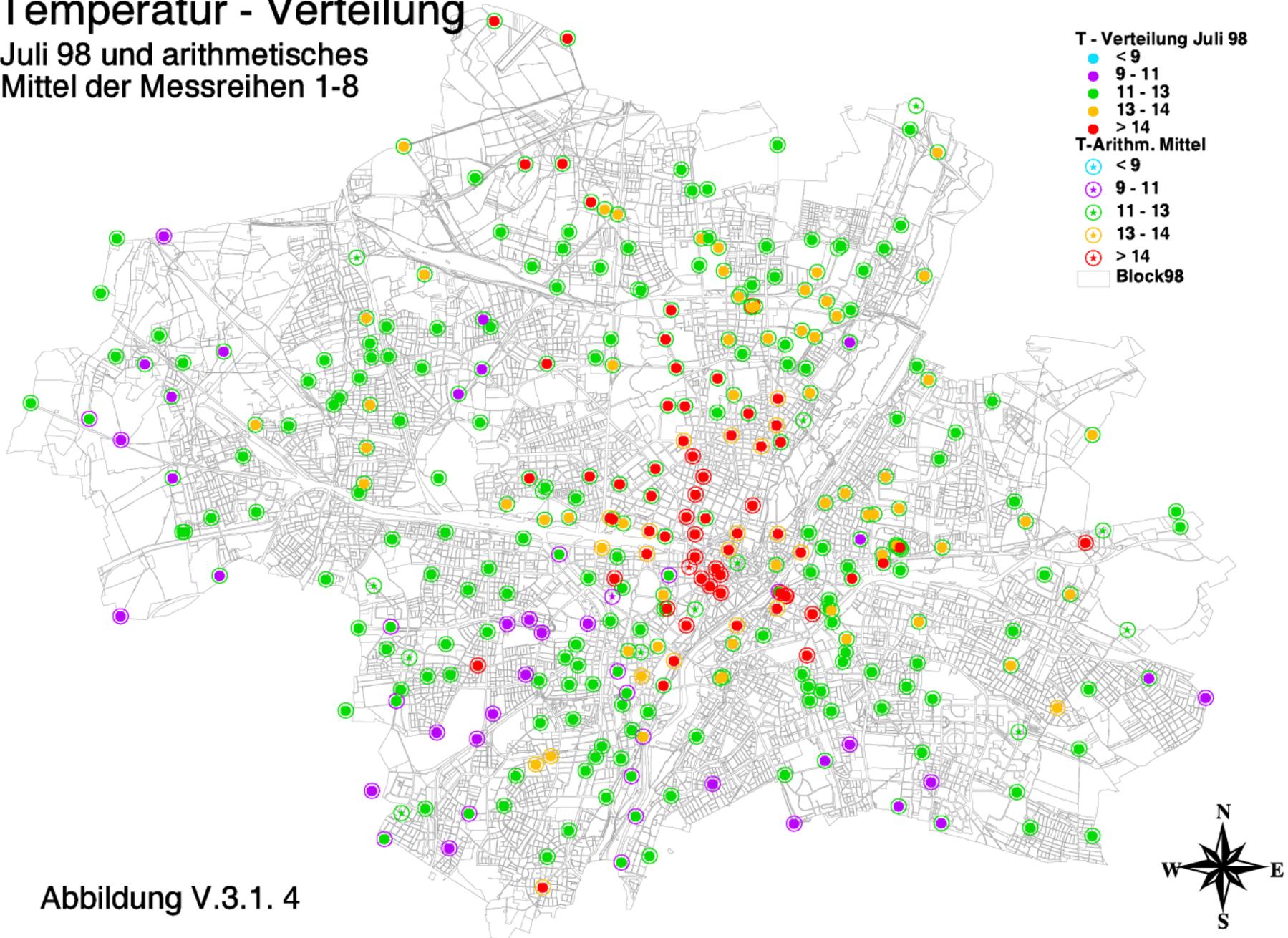
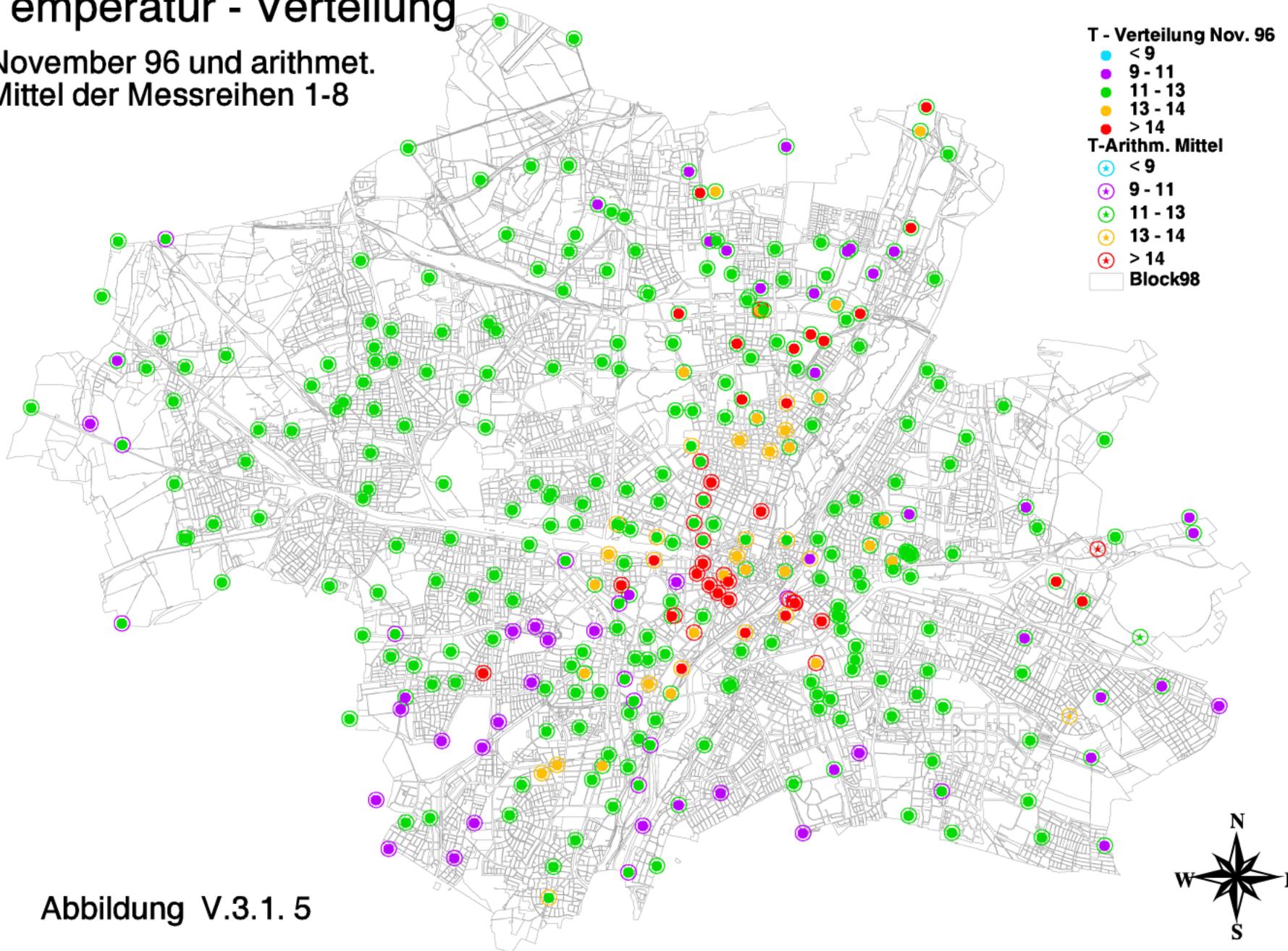


Abbildung V.3.1. 4

# Temperatur - Verteilung

November 96 und arithmet.  
Mittel der Messreihen 1-8



Ferner wirkt sich das Fernheiznetz und die Abwasserkanalisation temperaturerhöhend aus. Diese Beeinflussungen lassen sich jedoch nur in Ausnahmefällen direkt nachweisen.

Neben den flächig wirkenden Temperaturerhöhungen stehen punktuelle, lokal eng begrenzte Einflüsse. So gehen die absoluten Temperaturmaxima auf solche lokalen oder punktuellen Wärmequellen zurück, wie z.B. Bereiche großer unterirdischer Bauwerke oder Schadstellen in den Ver- und Entsorgungssystemen.

Punktuelle Einleitungen über Versickerungsbrunnen ins Grundwasser lassen sich nur in günstigen Fällen, d.h. bei sehr nahe gelegenen Messpunkten, durch Temperaturmessungen erfassen. Sie spielen auch bei der Grundwasseraufheizung im Stadtgebiet bisher nur eine untergeordnete Rolle.

Eine spezielle Beeinflussung der Grundwassertemperaturen ist durch die Infiltration von Isarwasser ins Grundwasser gegeben, die im Sommer eine positive und im Winter eine negative Temperaturänderung bewirkt. Im Gegensatz hierzu übt die Wärmewärmeeinwirkung offensichtlich keinen direkt messbaren Einfluß auf das Grundwasser aus, da die Temperaturwerte während der acht Messreihen relativ konstant, entsprechend dem arithmetischen Mittel der einzelnen Pegel bleiben (Abb. V.3.1.2).

Die Aprilmessungen (Abb. V.3.1.3) zeigen gegenüber den Werten des arithmetischen Mittels der 8 Messreihen in weiten Bereichen geringere, tiefere Temperaturen, während die Juliwerte (Abb. V.3.1.4) grossteils zwar den Mittelwerten entsprechen, bereichsweise diese aber auch z.T. deutlich übersteigen. Die Werte der Novembermessungen (Abb. V.3.1.5) stimmen weitgehend mit den Mittelwerten überein.

Wenig Veränderungen zwischen den einzelnen Messzyklen zeigen Messstellen, die in besonders durchlässigen Aquiferen liegen, wie z.B. im Bereich der sog. „Fürstenrieder Rinne“. Hier lassen sich so gut wie keine jahreszeitlichen Variationen erkennen.

Im allgemeinen fallen die jährlichen Temperaturschwankungen bei kleinen und mittleren Flurabständen schneller, deutlicher und stärker auf, als bei grossen Flurabständen. Wie bereits frühere Messungen gezeigt haben, liegen die niedrigsten Grundwassertemperaturen im allgemeinen in den Monaten Februar - März vor. Dabei treten dann die zonaren Temperaturverteilungen einmal in Richtung Stadtmitte und zum anderen entlang den Untergrundverkehrswegen, insbesondere der tiefen Bahnhöfe, besonders deutlich hervor.

Die Grundwassertemperatur ist, bezogen auf die Münchener Verhältnisse und unter Ausschluß natürlicher thermaler Einflüsse, eindeutig als Parameter zu werten, der vorwiegend von typischen Großstadtverhältnissen verändert wird. Dies sind in erster Linie die Versiegelung des Bodens sowie die Tiefbauwerke, wie z.B. Tiefgaragen und Tunnels.

### **V.3.2 Elektrische Leitfähigkeit**

Die elektrische Leitfähigkeit (Lf) eines (Grund-) Wassers beschreibt den Gehalt an gelösten ionischen Inhaltsstoffen und ist ein Anhaltspunkt für die anorganische Belastung. Laut Trinkwasserverordnung (TVO) soll der Leitfähigkeitswert eines Trinkwassers den Grenzwert von 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mikro Siemens pro cm) nicht übersteigen. Die unbelasteten Grundwässer der Münchener Schotterebene zeigen normalerweise Leitfähigkeitswerte zwischen 400 und 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Gerb; Gebhard). Daher und unter Berücksichtigung der im Verlauf der Untersuchungen ermittelten Leitfähigkeits-Werte bzw. deren Verteilung wurde für die Grundwasserbeurteilung und Abgrenzung belasteter Messstellen ein (Grenz-) Wert von 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  als sinnvoll erachtet.

Die ermittelten Leitfähigkeits-Werte variieren zwischen 205 und 53000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Mehrzahl aller Proben liegt im Bereich zwischen 400 und 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Das arithmetische Mittel beträgt ca. 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Höhere Lf-Werte zwischen 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  wurden in ca. 80 Proben (aus 36 Pegeln) und mit mehr als 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in ca. 33 Proben (11 Pegeln) gemessen. Nur wenige (7) Messstellen überschreiten in 18 Analysen den Grenzwert der TVO von 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Leitfähigkeit - Belastungsgrad**  
**Prozent aller Meßwerte**

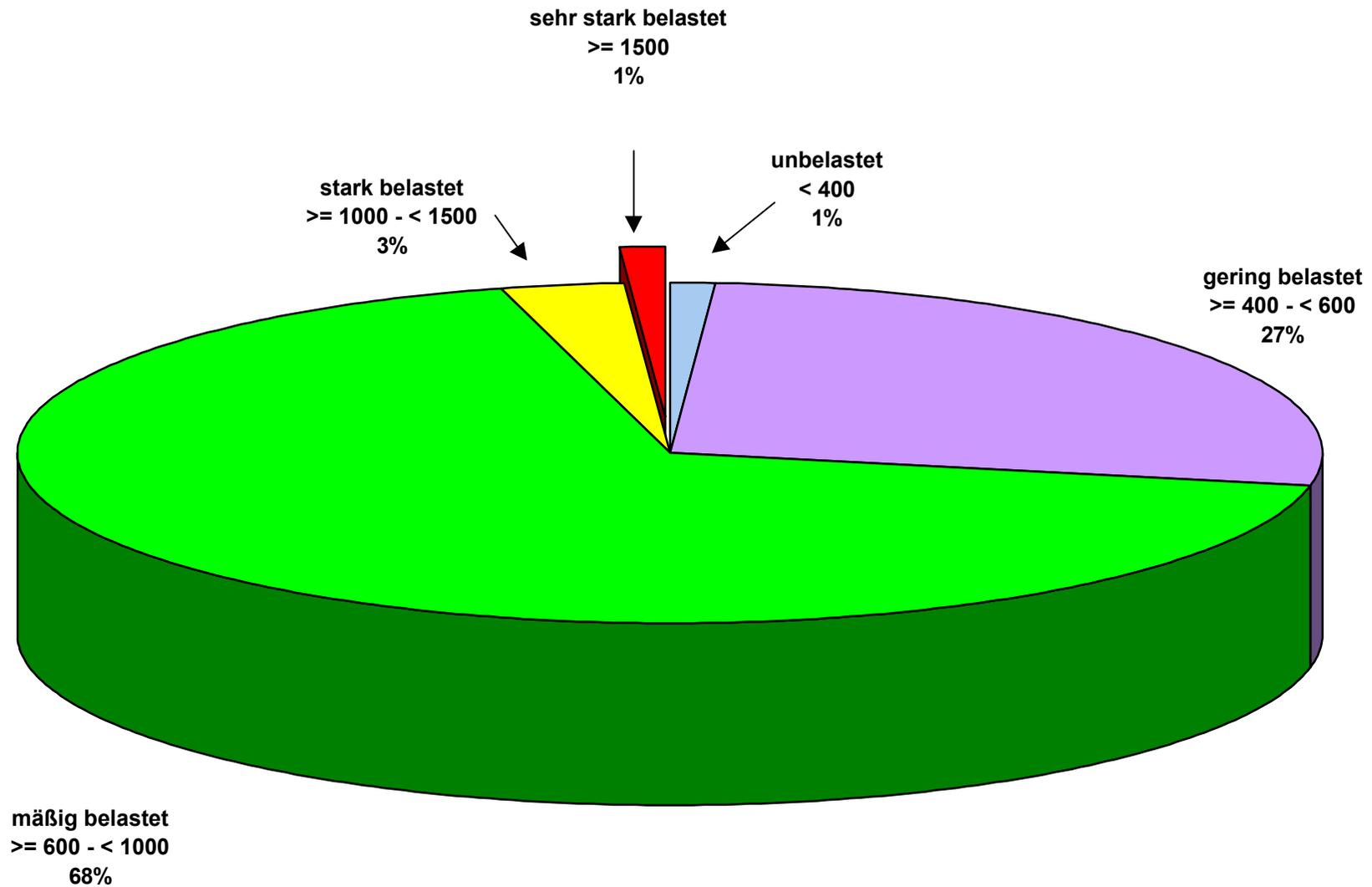


Abbildung V.3.2.1

# Leitfähigkeit

Juli 98 und arithmetisches  
Mittel der Messreihen 1-8

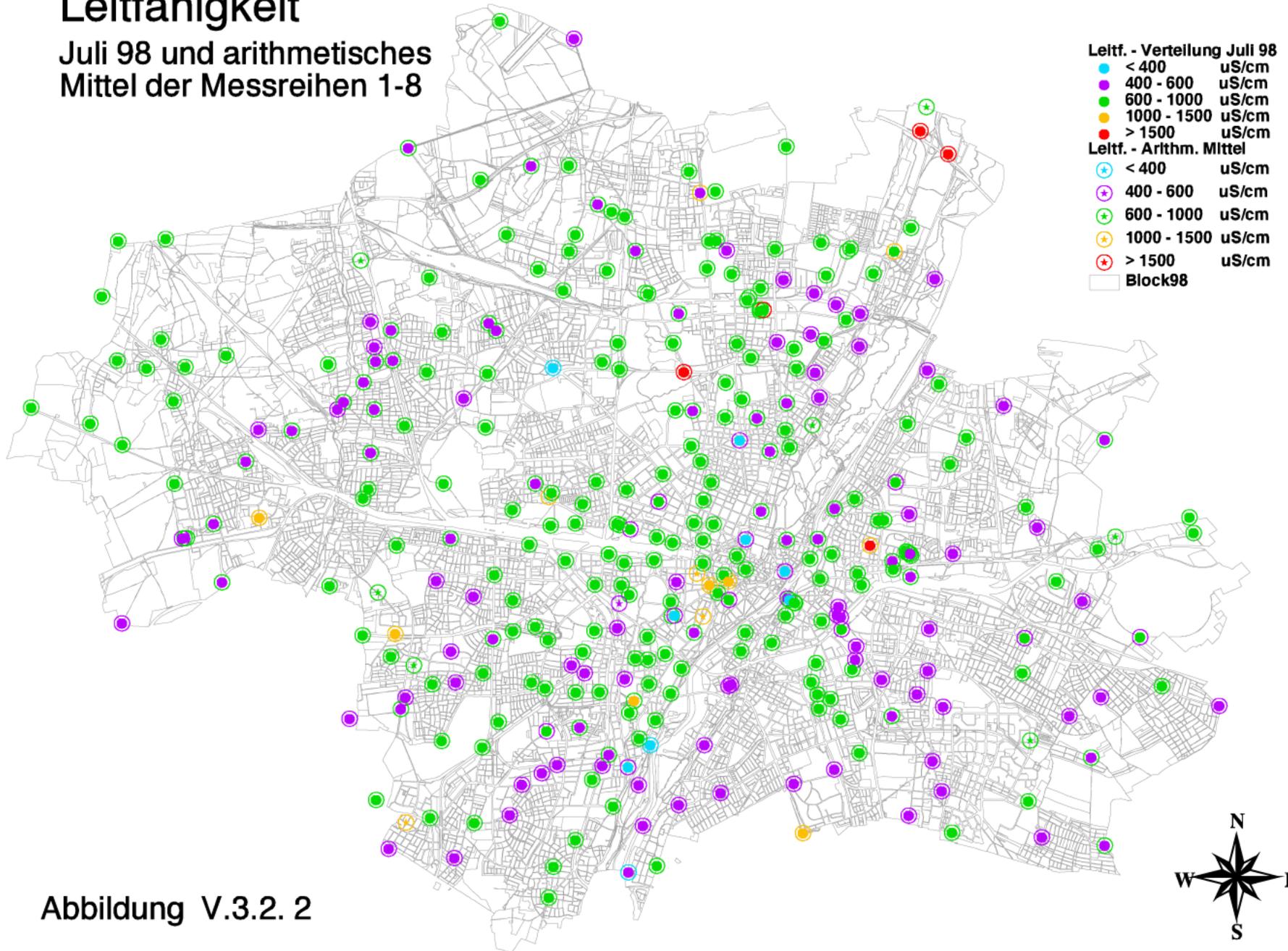


Abbildung V.3.2. 2

# Leitfähigkeit

Messreihen 1 - 8

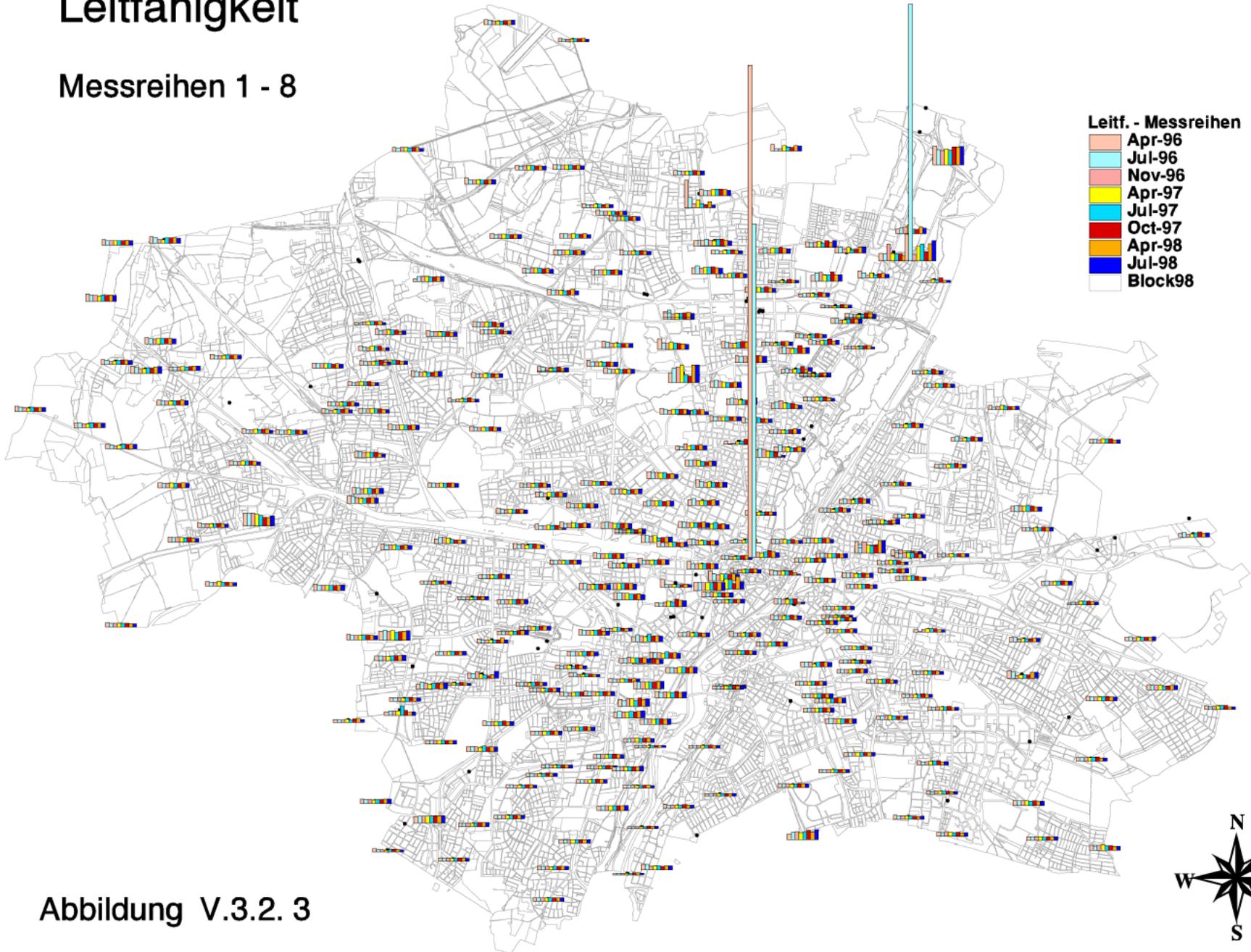


Abbildung V.3.2. 3

# Leitfähigkeit

November 96 und arithmet.  
Mittel der Messreihen 1-8

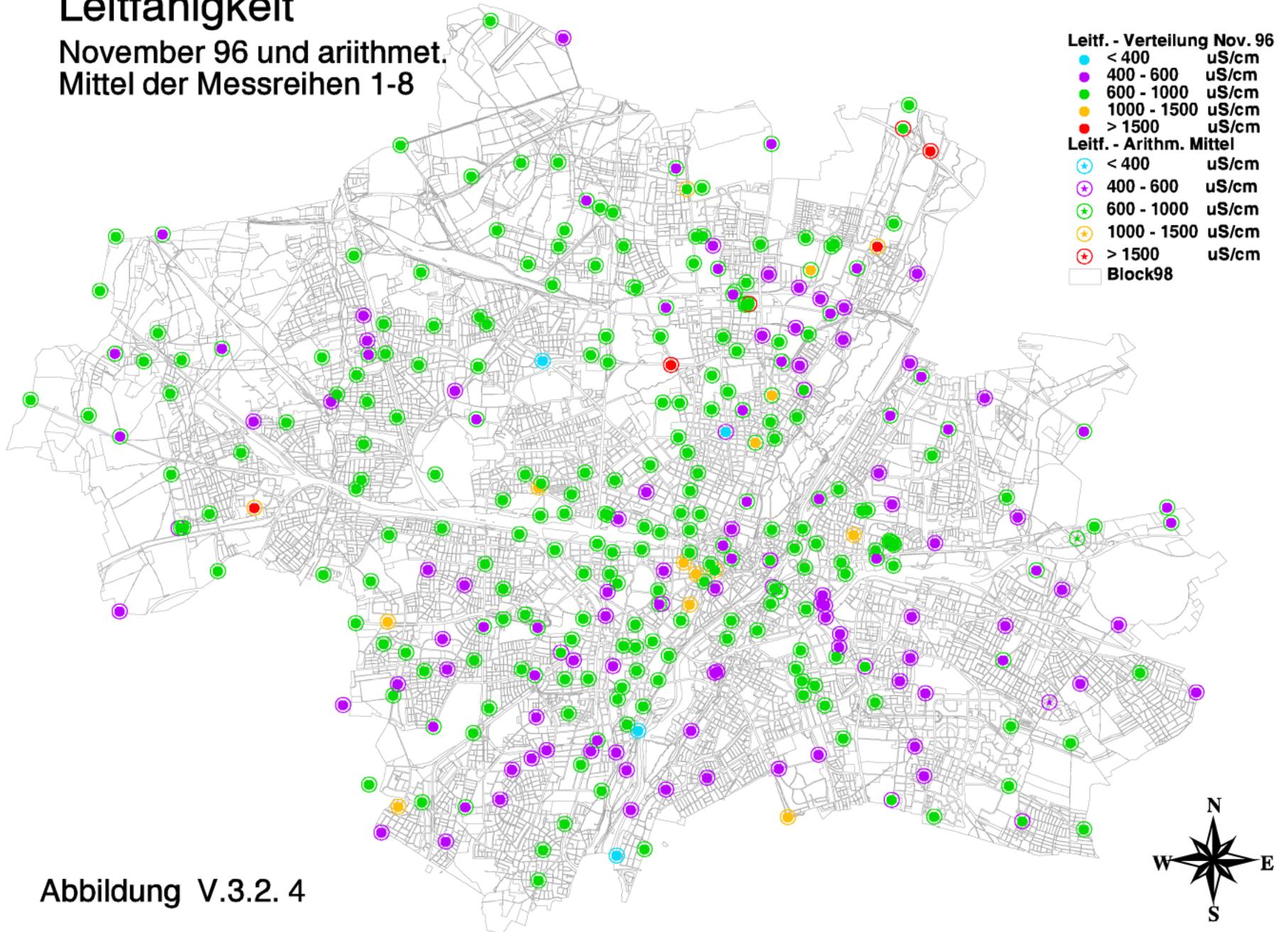


Abbildung V.3.2. 4

Prozentual ausgedrückt (s. Abb. V.3.2.1 ) sind 28,1 % der untersuchten Grundwasserproben mit Leitfähigkeitswerten kleiner als 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  als unbelastet bzw. gering belastet anzusehen. 67,7 % aller Proben werden mit Werten zwischen 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  als mäßig und 3,0 % mit Werten zwischen 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  als stark belastet eingestuft. Lediglich 1,2 % sind mit Werten über 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sehr stark belastet.

Leitfähigkeit		Anzahl der Messwerte					Summe	Leitfähigkeit		Prozentwerte					Summe
uS/cm		< 400	>= 400 - < 600	>= 600 - < 1000	>= 1000 - < 1500	>= 1500		uS/cm		< 400	>= 400 - < 600	>= 600 - < 1000	>= 1000 - < 1500	>= 1500	
Meßreihe		unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet	Meßreihe		unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		
Apr 96		3	60	250	18	6	Apr 96		0.89	17.80	74.18	5.34	1.78		
Jul 96		5	82	237	13	7	Jul 96		1.45	23.84	68.90	3.78	2.03		
Nov 96		4	110	214	11	5	Nov 96		1.16	31.98	62.21	3.20	1.45		
Apr 97		3	101	211	9	3	Apr 97		0.92	30.89	64.53	2.75	0.92		
Jul 97		3	90	224	7	2	Jul 97		0.92	27.61	68.71	2.15	0.61		
Nov 97		2	59	254	11	1	Nov 97		0.61	18.04	77.68	3.36	0.31		
Apr 98		4	99	216	5	5	Apr 98		1.22	30.09	65.65	1.52	1.52		
Jul 98		8	115	196	6	4	Jul 98		2.43	34.95	59.57	1.82	1.22		
Nov 98							Nov 98								
Summe		32	716	1802	80	33	Summe		1.20	26.89	67.67	3.00	1.24		

Die Schwerpunkte der hohen Leitfähigkeitswerte liegen vor allem im Abstrom der Autobahnen, Hauptverkehrsstrassen und (Schutt-) Deponien (Olympiaberg) sowie im Bereich Goetheplatz, Sendlinger-Tor-Platz und Sonnenstraße (s. Abb. V.3.2.2 ).

Bei dem Vergleich der Leitfähigkeitsmessungen der einzelnen Messreihen untereinander (s. Abb. V.3.2.3) und mit dem arithmetischen Mittel (s. Abb. V.3.2.4) fällt auf, dass die Werte der einzelnen Pegel kaum grösseren Schwankungen unterworfen sind, d.h. die Werte jeweils weitgehend dem arithmetischen Mittel entsprechen und die Hauptbelastungen von Messreihe zu Messreihe stets in den selben Pegeln auftreten. Die räumliche Verteilung bleibt also ziemlich konstant.

Die Hauptursache für die erhöhten Leitfähigkeitswerte beruht vor allem auf dem erhöhten Chloridgehalt, der ein deutliches Indiz für die Belastung durch den winterlichen Streusalzeinsatz auf den Straßen ist.

Die Maximalwerte für die Leitfähigkeit im betrachteten Zeitraum vom 53 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 36 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  wurden in den ersten zwei Messreihen nach Beginn der Grundwasseruntersuchungen im April 96 und Juli 96 in einem Pegel im nördlichen Industriegebiet gefunden. Zur Verifizierung und Ursachenermittlung wurden Zwischenuntersuchungen auch an zusätzlichen Messstellen durchgeführt. Diese (Maximal-)Werte konnten jedoch nicht mehr bestätigt werden, obwohl zeitweise erhöhte Lf-Werte in unterstromig gelegenen Messpegeln die Existenz dieser kurzfristig sehr hohen Ergebnisse belegten.

### V.3.3 Chlorid

Der Chloridgehalt der analysierten Pegel schwankt zwischen 0,62 und 21350 mg/l, bei einem Mittelwert von 57,4 mg/l. Nur wenige Messungen (s. Abb. V.3.3.1 ) zeigen Chloridwerte, die höher als der TVO-Grenzwert von 250 mg/l sind.

Entsprechend der hohen Leitfähigkeit liegt auch der Chloridgehalt bei 31 Messungen z.T. deutlich über dem TVO-Grenzwert. Die weitaus überwiegende Anzahl der untersuchten Messstellen erreicht zwar diesen TVO-Grenzwert nicht, aufgrund der natürlichen Zusammensetzung des Grundwassers ist jedoch schon eine Chloridbelastung von **mehr als 100 mg/l** als Hinweis auf eine entsprechende Verunreinigung zu werten. Daher wurde dieser Wert für eine Beurteilung herangezogen. Unter diesem Aspekt müssen 149 Messungen als stark belastet angesehen werden.

Prozentual ausgedrückt (s. Abb. V.3.3.2 ) sind 39,0 % der untersuchten Grundwasserproben mit Chloridgehalten kleiner als 25 mg/l als unbelastet bzw. gering belastet anzusehen. 54,3 % aller Proben werden mit Werten zwischen 25 mg/l - 100 mg/l als mäßig und 5,6 % mit Werten zwischen 100 mg/l und 250 mg/l als stark belastet eingestuft. Lediglich 1,2 % sind mit Chloridgehalten über 250 mg/l sehr stark belastet.

# Chlorid - Belastung

Grenzwertüberschreitungen

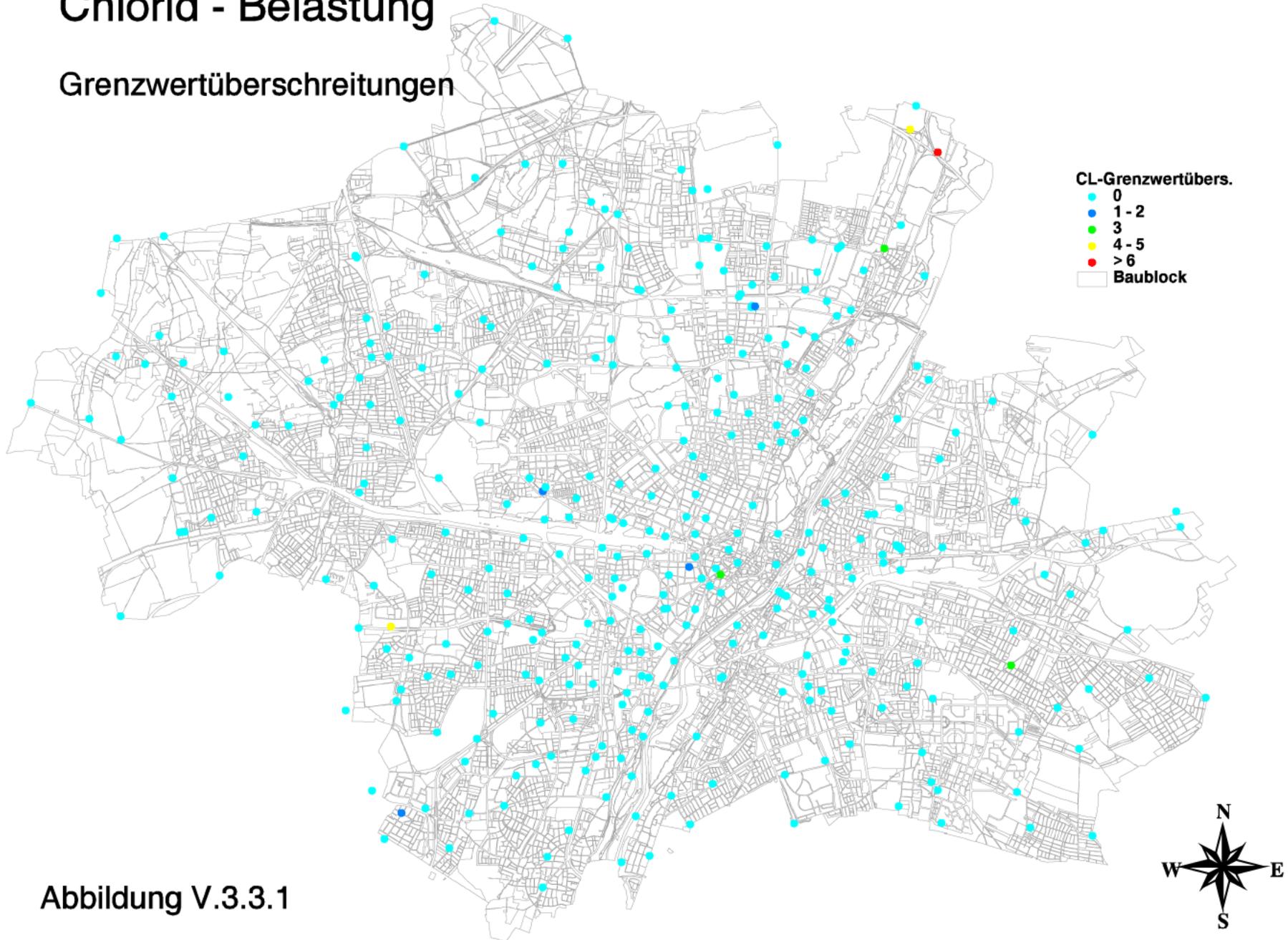


Abbildung V.3.3.1

**Chlorid - Belastungsgrad**  
**Prozent aller Meßwerte**

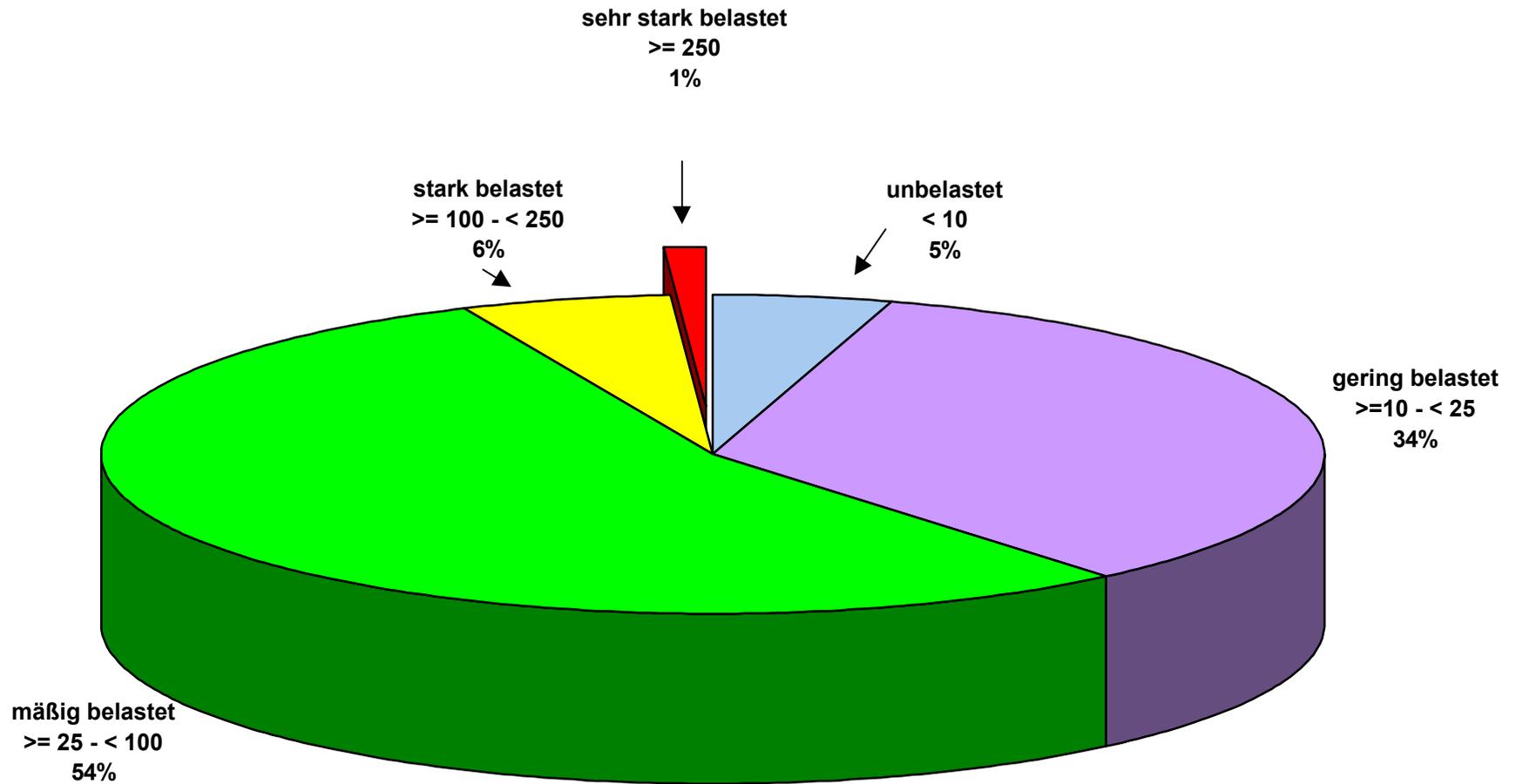


Abbildung V.3.3.2

# Chlorid - Belastung

April 96 und arithmetisches Mittel der Messreihen 1-8

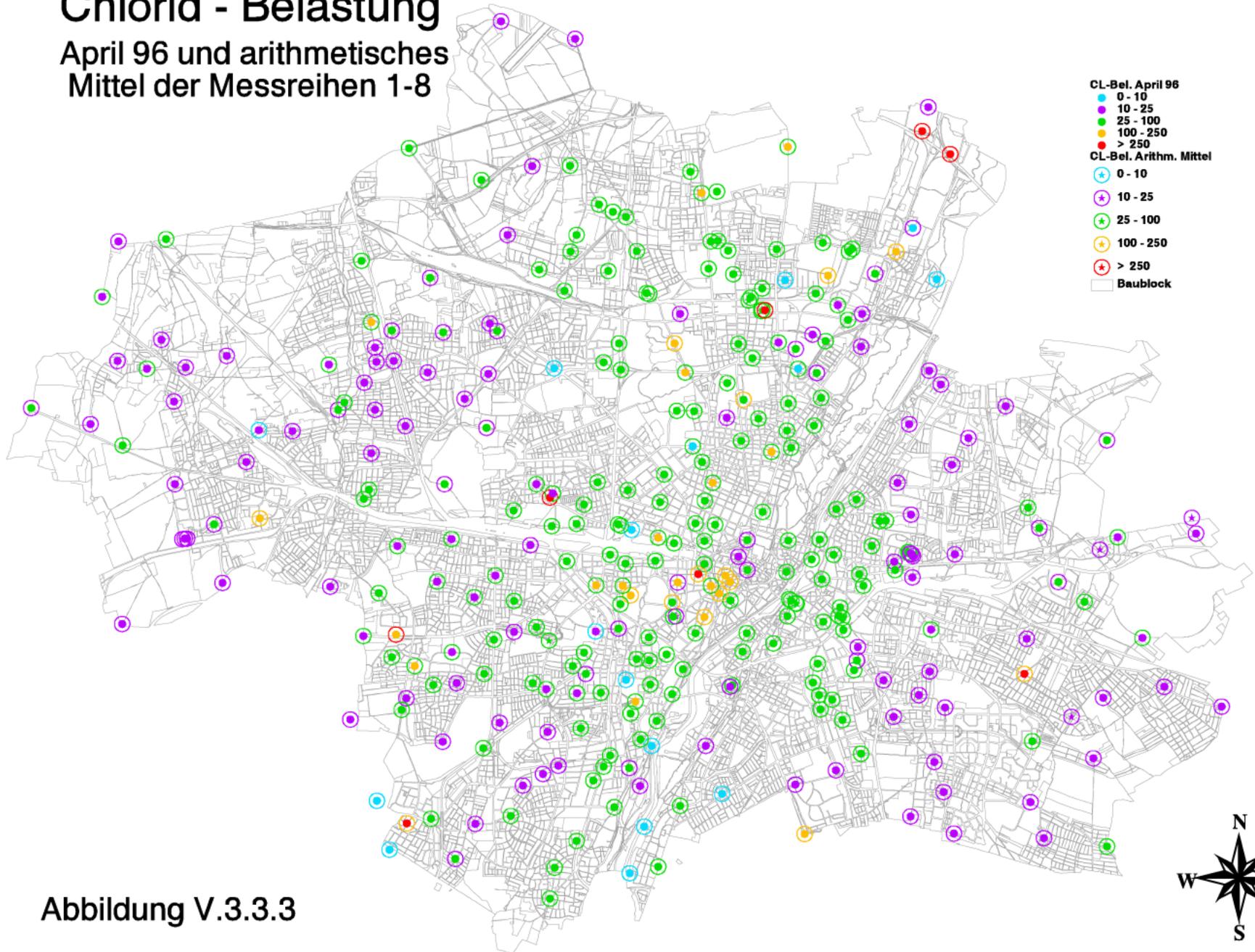


Abbildung V.3.3.3

# Chlorid - Belastung

Messreihen 1 - 8

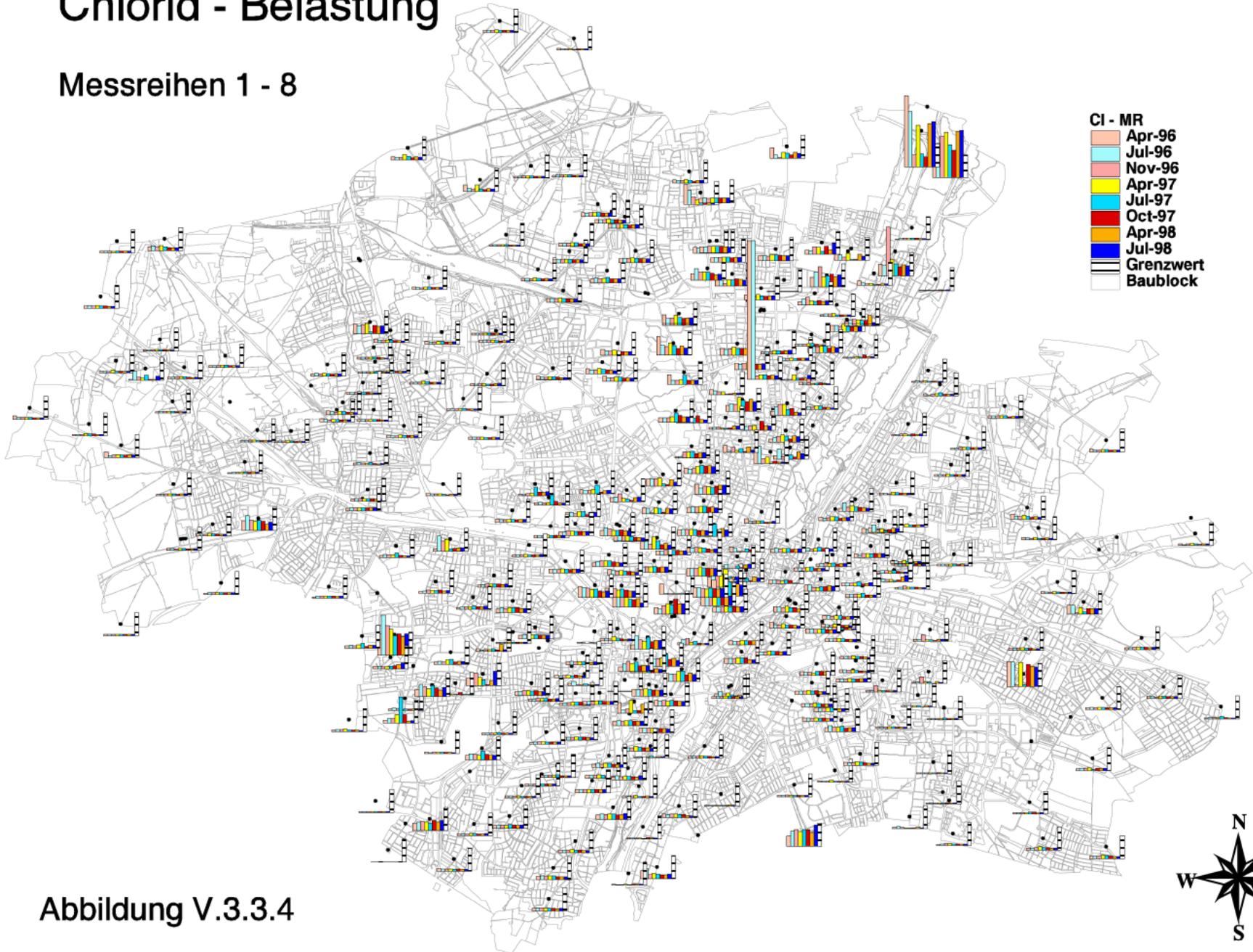


Abbildung V.3.3.4

Chlorid mg/l	Anzahl der Messwerte					Summe	Chlorid mg/l	Prozentwerte				
	< 10	>= 10 - < 25	>= 25 - < 100	>= 100 - < 250	>= 250			< 10	>= 10 - < 25	>= 25 - < 100	>= 100 - < 250	>= 250
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet
Apr 96	15	111	177	26	8	337	Apr 96	4.45	32.94	52.52	7.72	2.37
Jul 96	15	118	178	26	7	344	Jul 96	4.36	34.30	51.74	7.56	2.03
Nov 96	21	107	193	19	4	344	Nov 96	6.10	31.10	56.10	5.52	1.16
Apr 97	19	71	214	18	5	327	Apr 97	5.81	21.71	65.44	5.50	1.53
Jul 97	20	97	187	20	2	326	Jul 97	6.13	29.75	57.36	6.13	0.61
Nov 97	13	140	161	12	1	327	Nov 97	3.98	42.81	49.24	3.67	0.31
Apr 98	11	135	168	13	2	329	Apr 98	3.34	41.03	51.06	3.95	0.61
Jul 98	13	132	167	15	2	329	Jul 98	3.95	40.12	50.76	4.56	0.61
Nov 98							Nov 98					
Summe	127	911	1445	149	31	2663	Summe	4.77	34.21	54.26	5.60	1.16

Während in den westlichen, nördlichen, östlichen und südlichen Stadtgebieten, die im Bereiche der Nieder- und Hochterrassenstufen liegen, im allgemeinen sehr geringe Chloridgehalte vorherrschen, zeigen vor allem Pegel im Bereich der sog. morphologischen Altstadtstufe nicht nur im Maximum sondern auch im arithmetischem Mittel deutlich höhere Konzentrationen (s. Abb. V.3.3.3). Die am höchsten belasteten Pegel liegen jedoch, unabhängig von der Terrassenstufe und dem Flurabstand vorwiegend im Bereich von verkehrsreichen Straßen und Plätzen. Daneben sind deutliche Chloridbelastungen im Umfeld bekannter Verunreinigungsherde (z.B. im Abstrom des Olympiaberges) festzustellen.

Die beiden höchsten Chloridwerte treten analog den maximalen Leitfähigkeitswerten (s.o.) im April und Juli 96 auf. Der im April 1996 gemessene Maximalwert von 21350 mg/l wurde im Bereich der Taunusstrasse ermittelt. Bereits in der folgenden Messung vom Juli 96 verringerte er sich auf ca. 14700 mg/l und lag schon ab November 96 mit 44 mg/l weit unter dem Grenzwert der TVO (Abb. V.3.3.4). Der Ursache - eine punktuelle Kontamination des Grundwassers - wurde und wird vom Wasserwirtschaftsamt München und dem Referat für Gesundheit und Umwelt nachgegangen, um künftige Kontaminationen zu verhindern.

### V.3.4 Sulfat

Der Sulfatgehalt liegt im allgemeinen unter 100 mg/l und somit deutlich unter dem Grenzwert der TVO von 240 mg/l. Die Werte schwanken zwischen 0,50 mg/l und ca.1400 mg/l. Obwohl nur bei acht Messungen (2 Pegeln) ein Sulfatwert über 240 mg/l, d.h. über dem Grenzwert der TVO ermittelt wurde (s. Abb. V.3.4.1), belegen auch schon Sulfatgehalte **über 100 mg/l** gegenüber dem natürlichen Gehalt des Münchener Grundwassers eine eher starke Verunreinigung. Insgesamt muss von einem "geringen bis mäßigen Belastungsgrad" des Grundwassers durch Sulfat gesprochen werden (s. Abb. V.3.4.2).

Prozentual (s. Abb. V.3.4.3) sind 36,8 % der untersuchten Grundwasserproben mit Sulfatgehalten kleiner als 25 mg/l als unbelastet bzw. gering belastet anzusehen. 57,5 % aller Proben werden mit Werten zwischen >= 25 mg/l - <100 mg/l als mäßig und 3,4 % mit Werten zwischen >= 100 und <240 mg/l als stark belastet eingestuft. Lediglich 0,3 % sind mit Chloridgehalten über 240 mg/l sehr stark belastet.

Sulfat mg/l	Anzahl der Messwerte					Summe	Sulfat mg/l	Prozentwerte				
	< 15	>= 15 - < 25	>= 25 - < 100	>= 100 - < 240	>= 240			< 15	>= 15 - < 25	>= 25 - < 100	>= 100 - < 240	>= 240
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet
Apr 96	15	86	224	11	1	337	Apr 96	4.45	25.52	66.47	3.26	0.30
Jul 96	24	89	214	16	1	344	Jul 96	6.98	25.87	62.21	4.65	0.29
Nov 96	21	84	222	16	1	344	Nov 96	6.10	24.42	64.53	4.65	0.29
Apr 97	18	57	241	10	1	327	Apr 97	5.50	17.43	73.70	3.06	0.31
Jul 97	11	78	226	11	0	326	Jul 97	3.37	23.93	69.33	3.37	0.00
Nov 97	26	129	158	12	2	327	Nov 97	7.95	39.45	48.32	3.67	0.61
Apr 98	29	138	153	8	1	329	Apr 98	8.81	41.95	46.50	2.43	0.30
Jul 98	30	144	146	8	1	329	Jul 98	9.12	43.77	44.38	2.43	0.30
Nov 98							Nov 98					
Summe	174	805	1584	92	8	2663	Summe	6.53	30.23	59.48	3.45	0.30

Während vor allem der Münchener Osten und Südosten durch besonders geringe SO<sub>4</sub>-Gehalte und vergleichsweise kleine Konzentrationsschwankungen auffällt, finden sich erhöhte Sulfatgehalte und stärkere Veränderungen des Sulfatgehaltes insbesondere im Bereich der Altstadtstufe sowie der Aubinger Lohe und östlich der Isar im Gebiet Steinhausen / Berg a. Laim (s. Abb. V.3.4.4). Hier liegen Abb. V.3.4.1 Sulfat-Bel Gwüber av

# Sulfat - Belastung

Grenzwertüberschreitungen

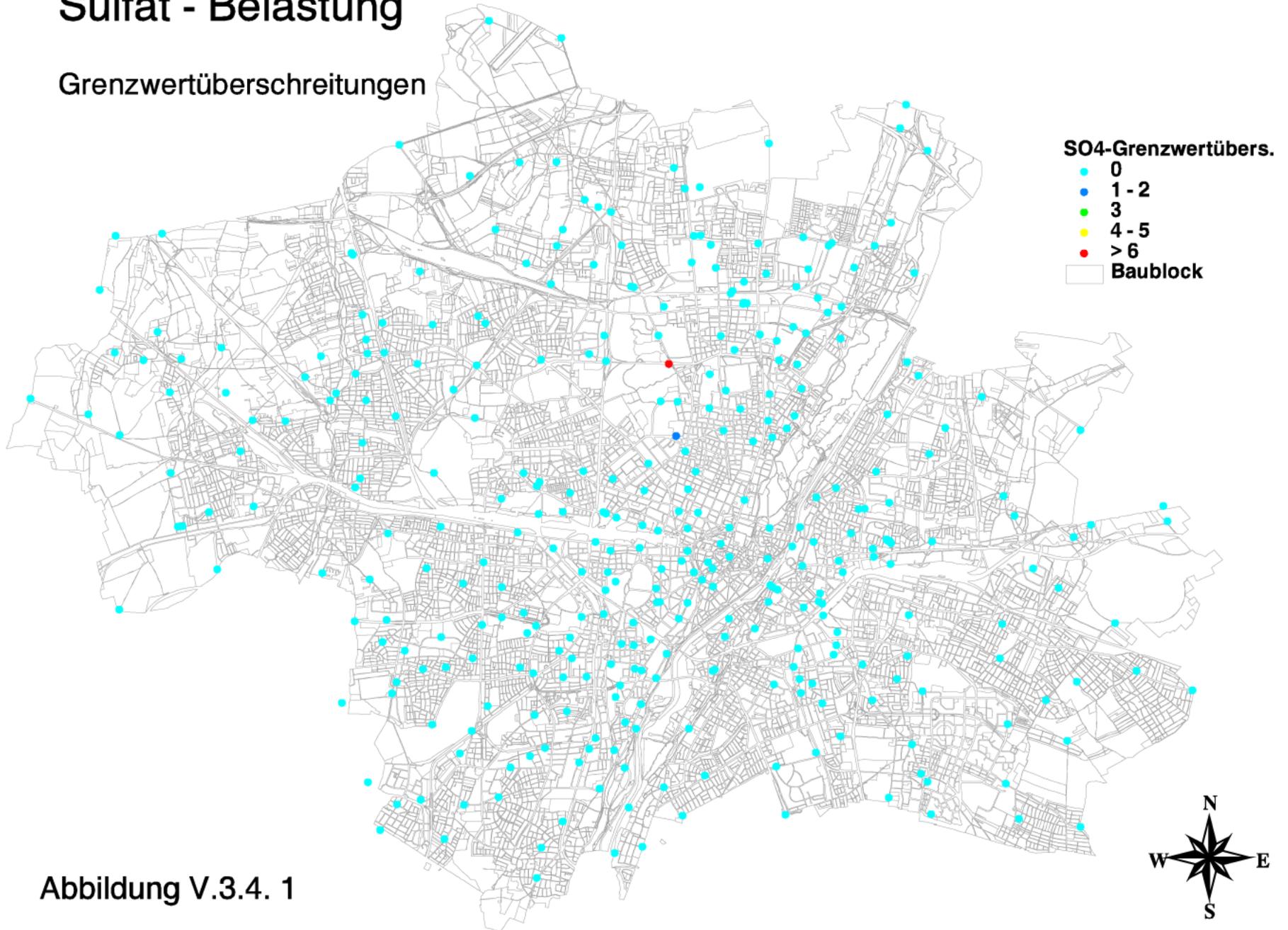


Abbildung V.3.4. 1

# Sulfat - Belastung

Juli 98 und arithmetisches  
Mittel der Messreihen 1-8

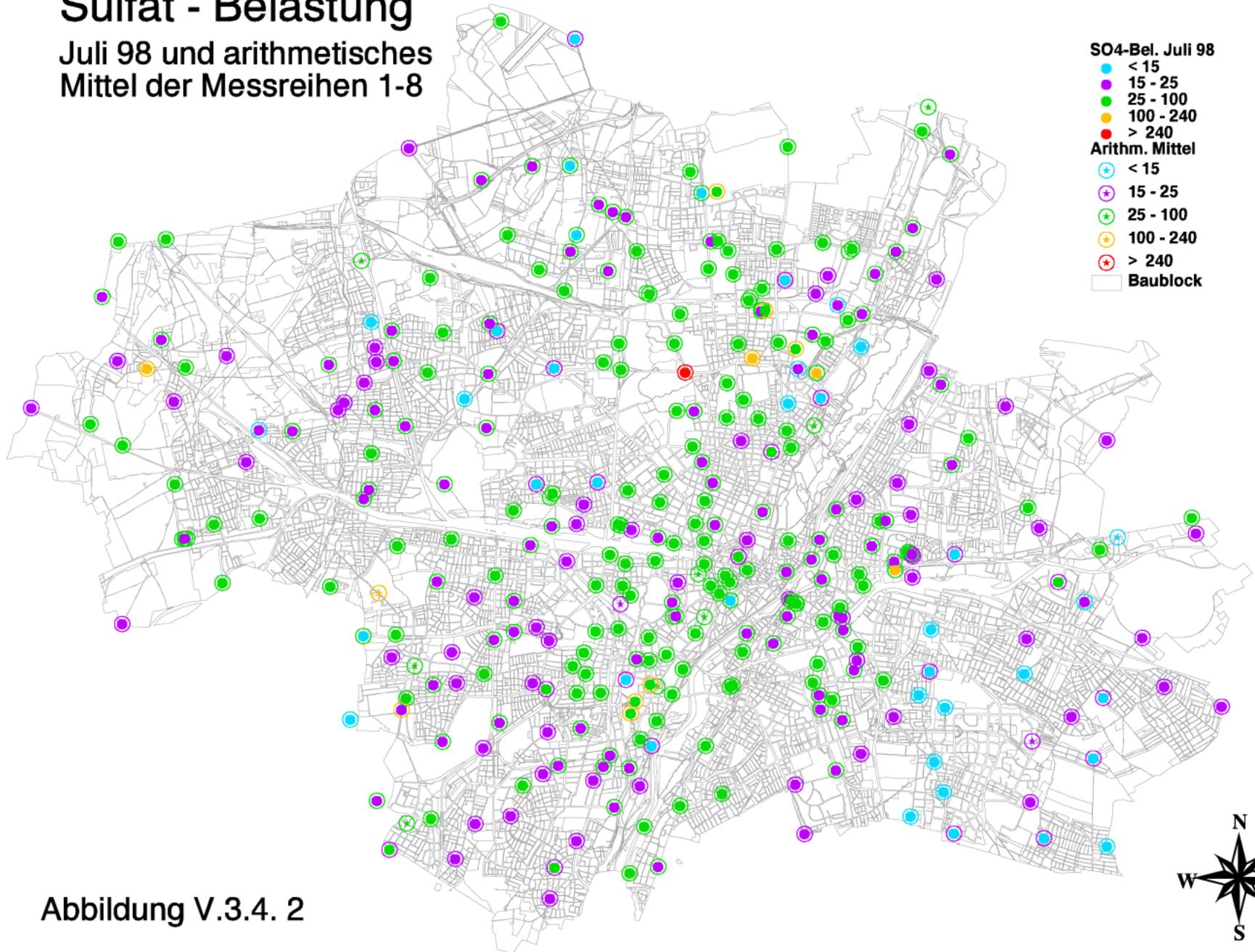


Abbildung V.3.4. 2

**Sulfat - Belastungsgrad**  
**Prozent aller Meßwerte**

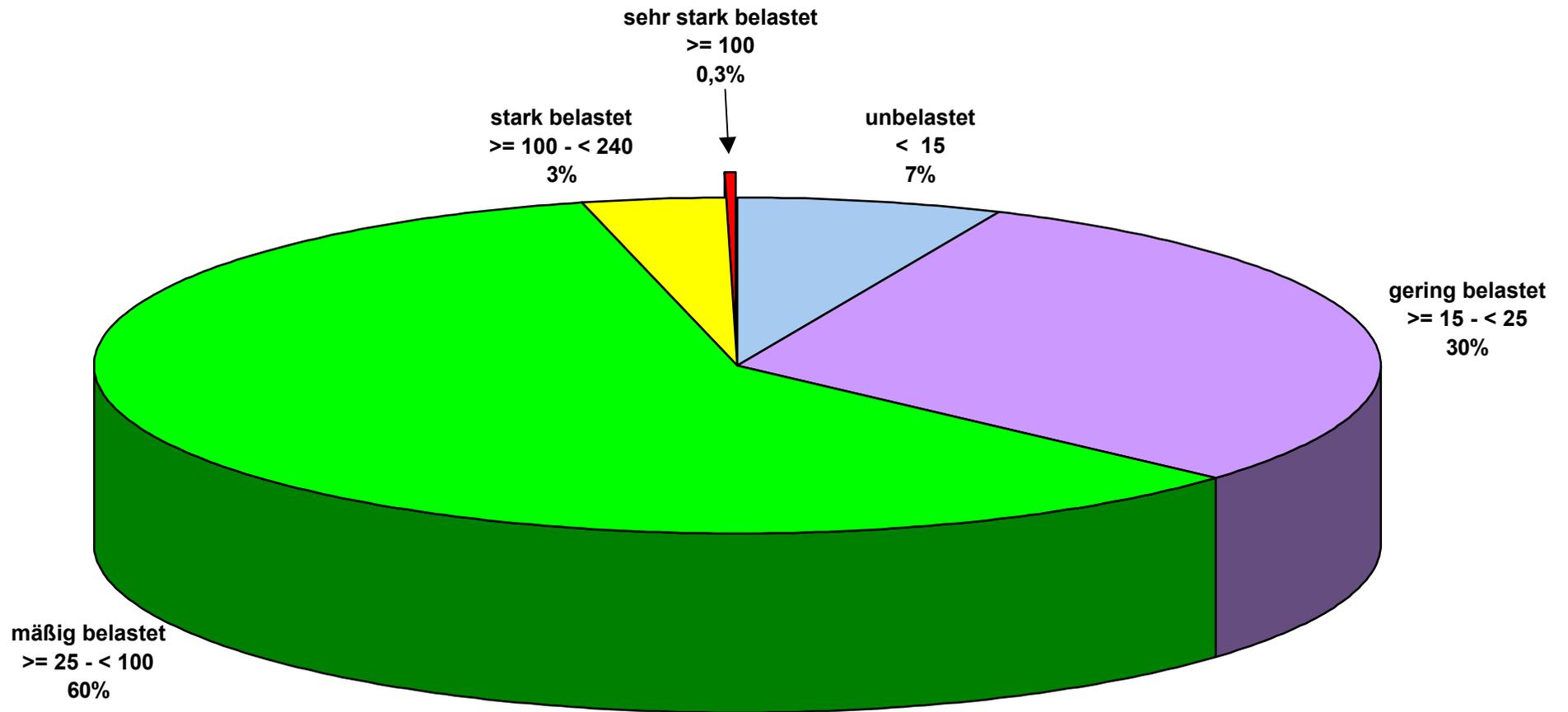


Abbildung V.3.4.3

# Sulfat - Belastung

Messreihen 1 - 8

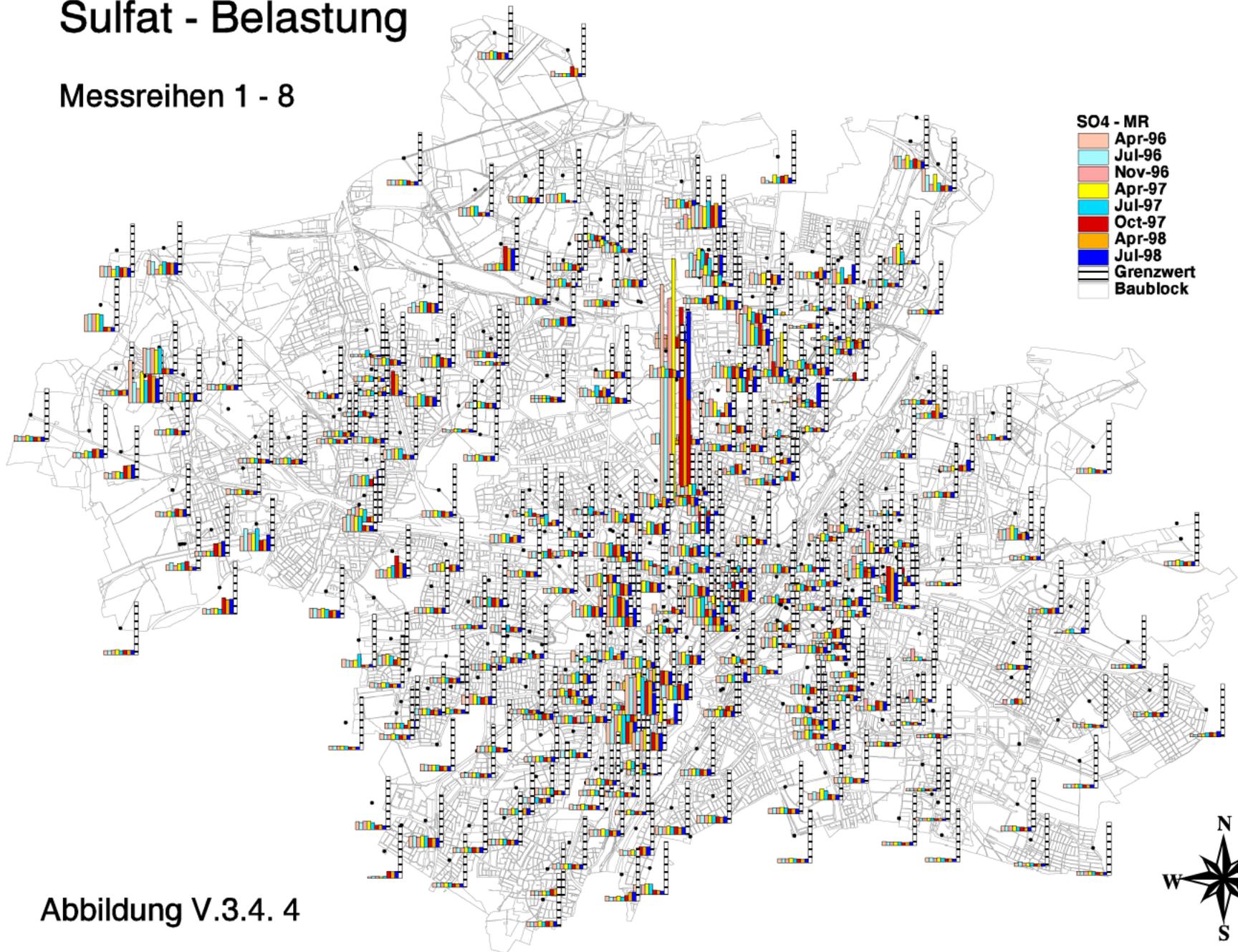


Abbildung V.3.4. 4

vorzugsweise Bauschuttablagerungen bzw. Aufschüttungen bei z.T. geringen Flurabständen vor, so daß die hier abgelagerten Kontaminationen leichter und rascher in das Grundwasser gelangen können bzw. konnten.

Die am stärksten belasteten Pegel liegen im Abstrom des Olympiaberges mit Werten bis zu 1400 mg/l. Dieser Kontaminationsbereich wird bereits intensiv von den Wasserwirtschaftsbehörden bearbeitet, mit dem Ziel, das genaue Ausmaß der Verunreinigungszone einzugrenzen, die Ursache(n) abzustellen bzw. zu verringern sowie Möglichkeiten der Sanierung zu erörtern.

Außerdem treten leicht erhöhte Sulfatwerte zwischen 180 mg/l und 210 mg/l u.a. im Abstrom des Schwabinger Schuttberges, im Bereich der Aubinger Lohe, der Impller-/Gaißacher Straße und des Neuhofener Berges auf.

Sulfatgehalte mit mehr als 100 mg/l wurden im betrachteten Zeitraum im allgemeinen stets in den gleichen Messstellen, bei z.T. deutlichen Konzentrationsschwankungen, vorgefunden. Beachtenswert ist noch, dass die SO<sub>4</sub>-Konzentrationen in der Messung vom Juli 98 gegenüber dem arithmetischen Mittelwert in vielen Messstellen deutlich geringer ausgefallen ist.

### V.3.5 Nitrat

Die Nitratgehalte des Grundwassers variieren zwischen 0,5 und 280 mg/l, bei einem Mittelwert von ca. 24,4 mg/l. Bei 73 von insgesamt 2663 Analysen liegen die Ergebnisse zwischen 50 mg/l und 90 mg/l und lediglich bei weiteren 22 Messungen wird auch der Wert von 90 mg/l überschritten. Wie die Abbildung (Abb. V.3.5.1) der Grenzwertüberschreitungen zeigt, liegen bei 3 Messstellen regelmässige, d.h. in allen Messreihen und bei weiteren 2 Pegeln in 4 bzw. 5 von 8 Messreihen Überschreitungen des TVO-Grenzwertes von 50 mg/l vor. Sporadische, kurzfristig erhöhte Nitratgehalte in einer oder zwei Messreihen traten bei 19 Pegeln auf.

In 96,5 % (s. Abb. V.3.5.2) aller untersuchten Grundwasserproben konnte keine oder allenfalls eine mässige Belastung durch Nitrat festgestellt werden, d.h. diese Werte lagen unter dem TVO-Grenzwert von 50 mg/l. Über 60 % aller Proben erreichen nicht einmal 25 mg/l. Eine deutliche Belastung des Grundwassers durch Nitrat mit Überschreitung des Grenzwertes und Gehalten zwischen 50 mg/l und 90 mg/l wurde in 2,7 % der Untersuchungen festgestellt. Weitere 0,8 % überschreiten auch noch den Wert von 90 mg/l.

Nitrat mg/l	Anzahl der Messwerte					Summe	Nitrat mg/l	Prozentwerte				
	< 1,0	>= 1,0 - < 25	>= 25 - < 50	>= 50 - < 90	>= 90			< 1,0	>= 1,0 - < 25	>= 25 - < 50	>= 50 - < 90	>= 90
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet
Apr 96	8	171	142	11	5	337	Apr 96	2.37	50.74	42.14	3.26	1.48
Jul 96	7	193	128	15	1	344	Jul 96	2.03	56.10	37.21	4.36	0.29
Nov 96	8	170	154	8	4	344	Nov 96	2.33	49.42	44.77	2.33	1.16
Apr 97	7	127	177	12	4	327	Apr 97	2.14	38.84	54.13	3.67	1.22
Jul 97	5	187	125	7	2	326	Jul 97	1.53	57.36	38.34	2.15	0.61
Nov 97	9	222	85	9	2	327	Nov 97	2.75	67.89	25.99	2.75	0.61
Apr 98	10	238	74	5	2	329	Apr 98	3.04	72.34	22.49	1.52	0.61
Jul 98	9	239	73	6	2	329	Jul 98	2.74	72.64	22.19	1.82	0.61
Nov 98							Nov 98					
Summe	63	1547	958	73	22	2663	Summe	2.37	58.09	35.97	2.74	0.83

Die Verteilung der Nitratkonzentrationen zeigt, dass die Hauptbelastung in allen Messreihen fast ausschliesslich in stets denselben Messstellen auftrat. Die Konzentrationsveränderungen im betrachteten Zeitraum weisen bis auf wenige (belastete) Ausnahmen lediglich geringe Schwankungen auf (s. Abb. V.3.5.3).

Analog der Verteilung der Sulfatkontaminationen treten erhöhte Nitratwerte vor allem im Abstrom des Olympiaberges sowie in Gebieten geringer Flurabstände auf, d.h. hauptsächlich im Bereich der Altstadtstufe und des Isaralluviums - hier vor allem in Schwabing - und weniger in Zonen landwirtschaftlicher Nutzung in den Stadtrandgebieten auf (s. Abb. V.3.5.4).

Eine anthropogen bedingte Erhöhung des Nitratgehaltes ist im allgemeinen vorwiegend auf eine verstärkte Düngung in der Landwirtschaft, aber auch in Park- und Gartenanlagen zurückzuführen, sowie den bekannten Kontaminationsherden (Olympiaberg, Schwabinger Schuttberg etc.) zuzuordnen. Auch können Hinweise auf Verunreinigungen durch Fäkalien abgeleitet werden.

# Nitrat - Belastung

Grenzwertüberschreitungen

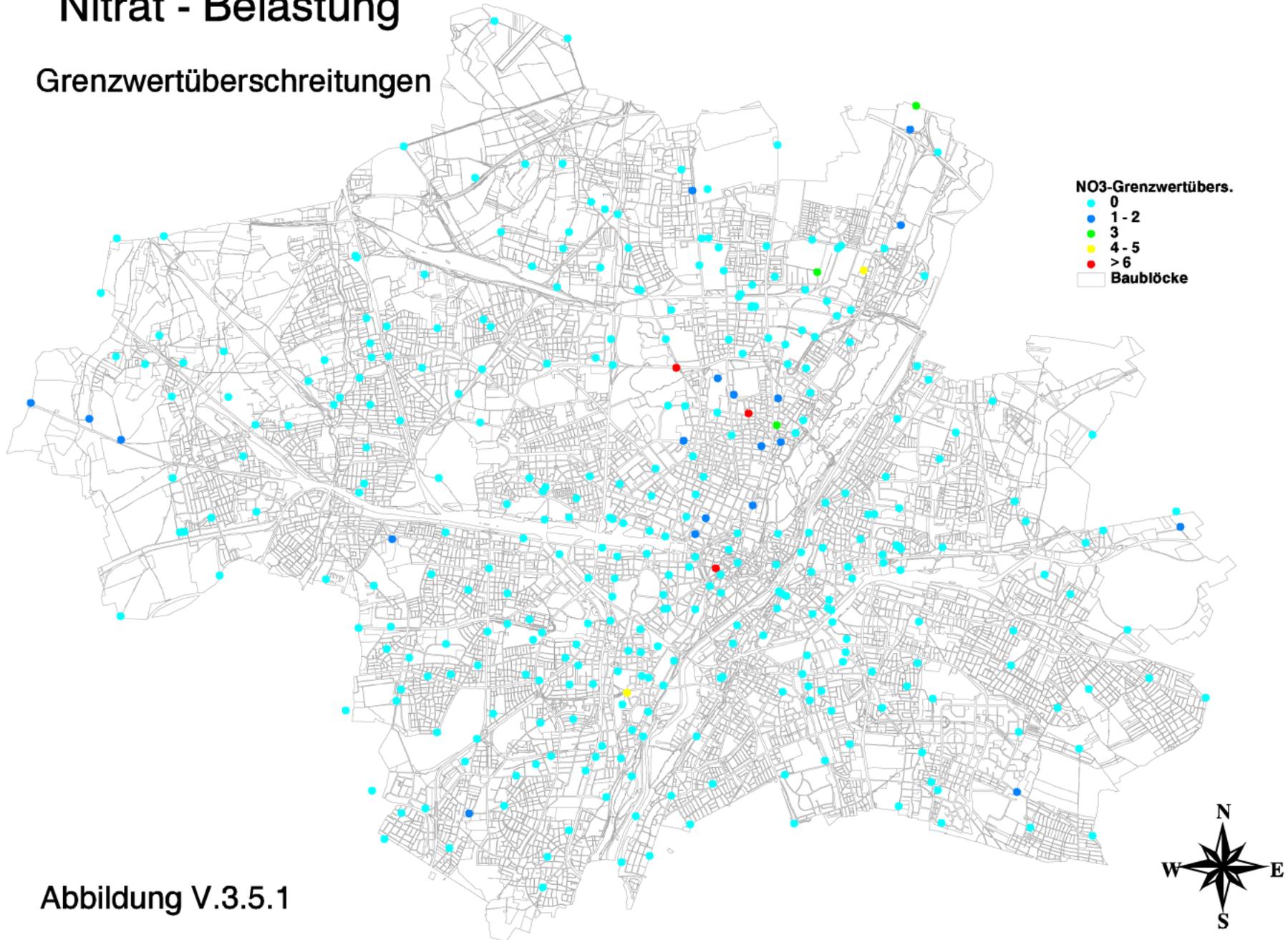


Abbildung V.3.5.1

**Nitrat - Belastungsgrad**  
**Prozent aller Meßwerte**

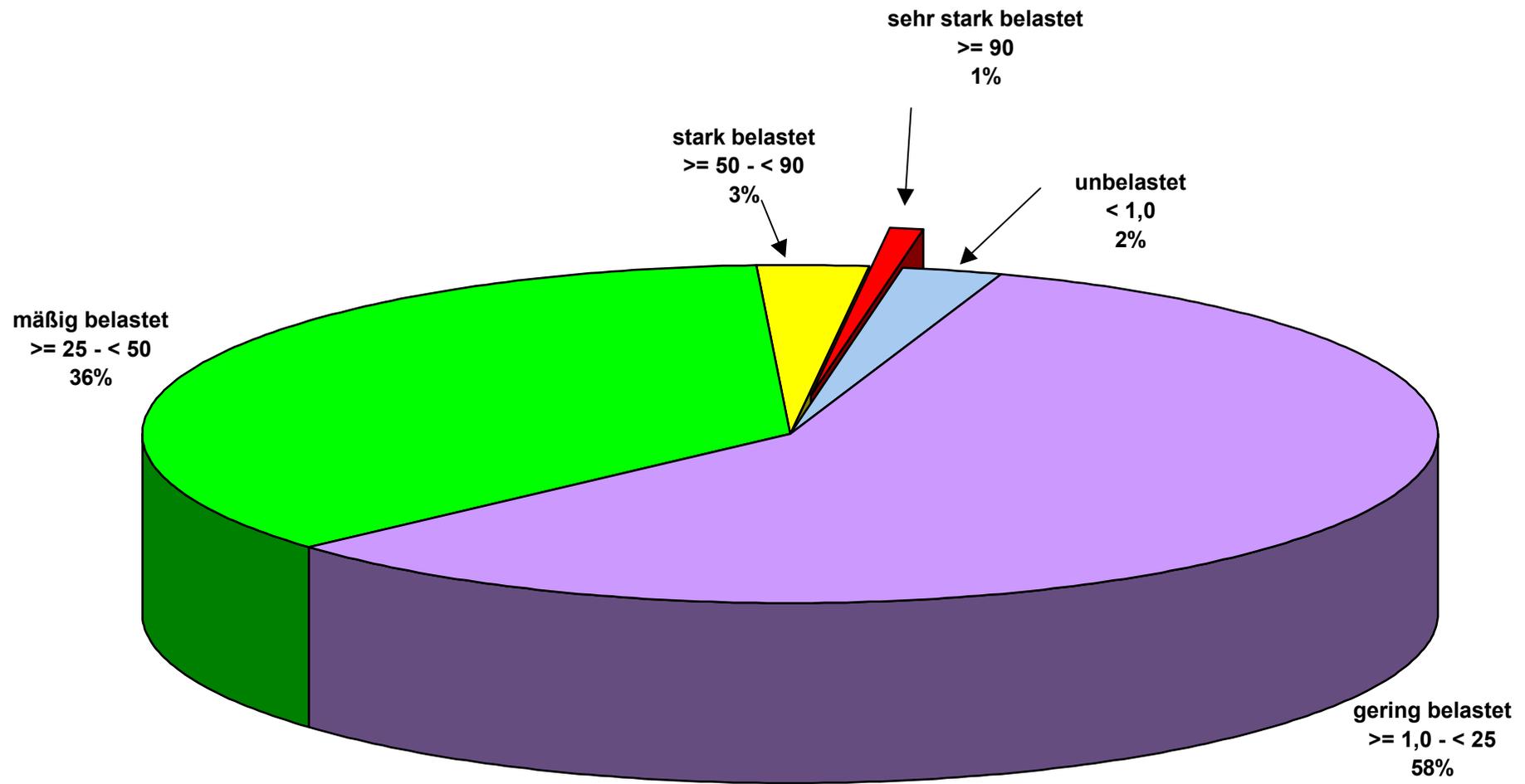


Abbildung V.3.5.2

# Nitrat - Belastung

Messreihen 1 - 8

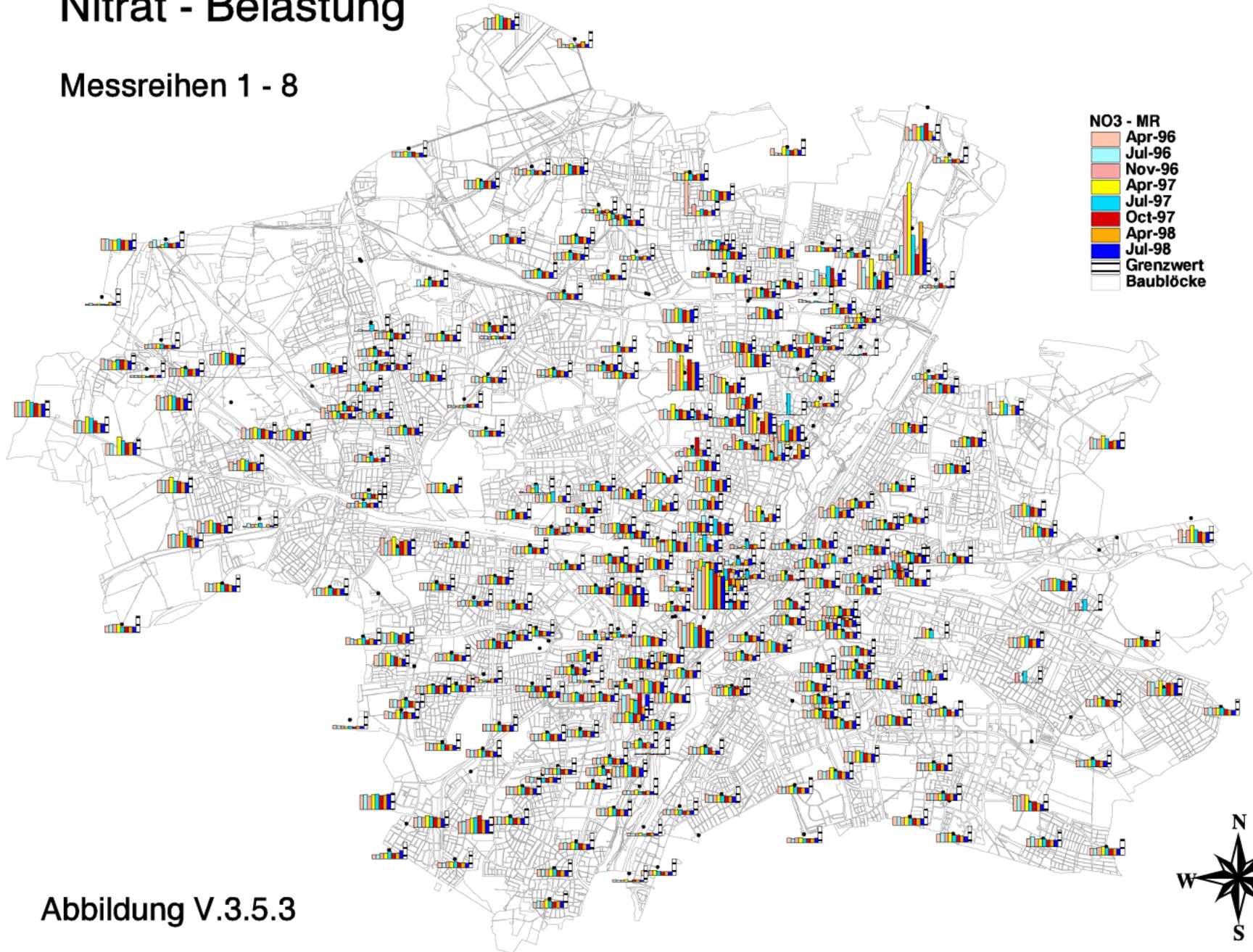


Abbildung V.3.5.3

# Nitrat - Belastung

Juli 98 und arithmetisches Mittel der Messreihen 1-8

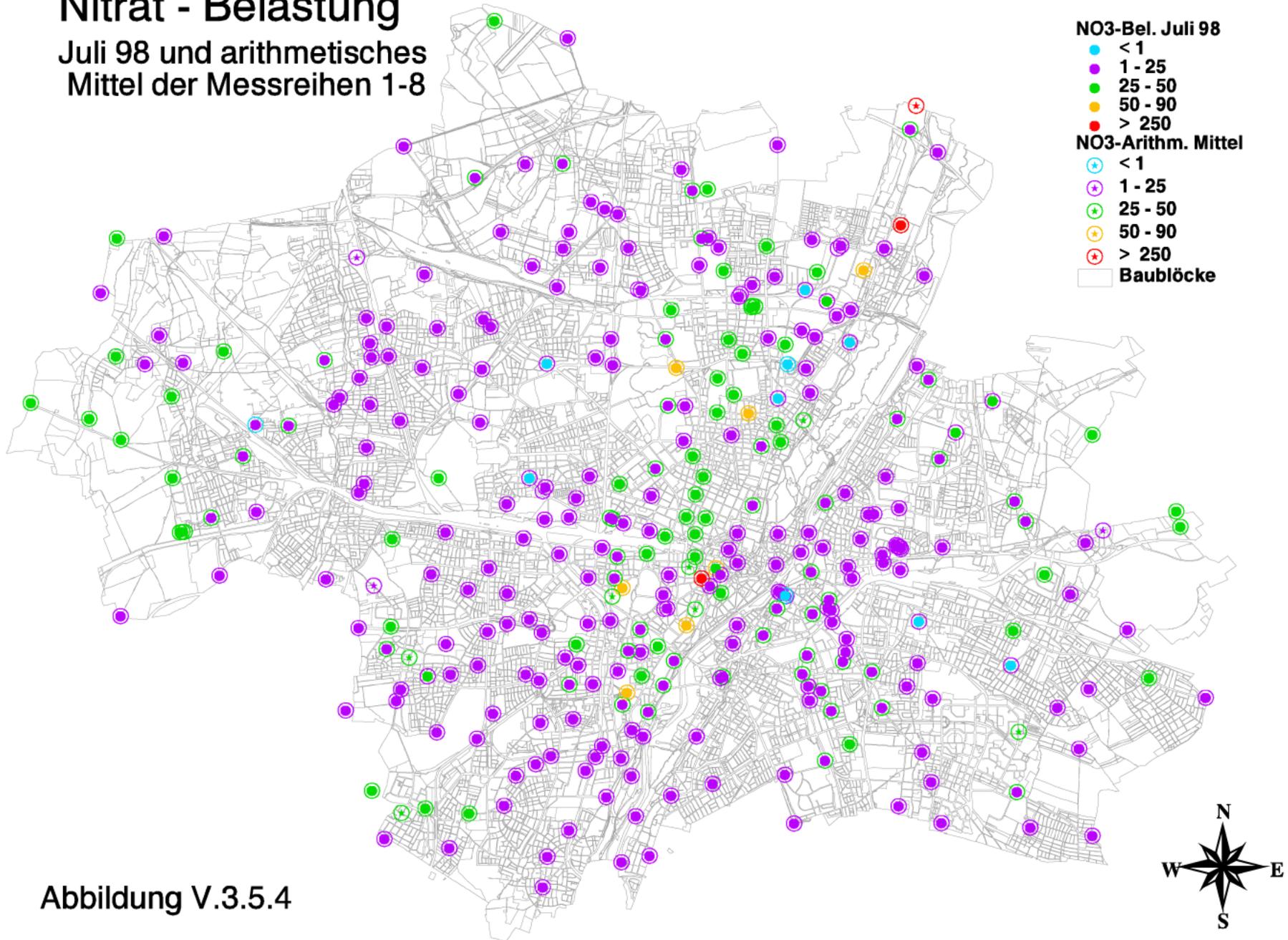


Abbildung V.3.5.4

### V.3.6 Bor

In den Grundwasserproben wurden Borgehalte zwischen  $< 0,01$  mg/l und maximal 1,1 mg/l nachgewiesen. Der arithmetische Mittelwert liegt bei 0,09 mg/l. Überschreitungen des TVO-Grenzwertes treten lediglich in einer Messstelle im Abstrom des Olympiaberges auf (s. Abb. V.3.6.1). Allerdings fallen etliche Pegel mit erhöhten, aber unter dem TVO-Grenzwert liegenden Bor-Konzentrationen insbesondere im und parallel zur Altstadtstufe, d.h. zwischen der Geländekante zur Isar (Isaralluvium) und dem westlichen Mittleren Ring / Wolfratshauer Strasse, aber auch im Bereich Pasing, Lochhausen / Aubinger-Lohe, sowie östlich der Isar im Gebiet Steinhausen / Berg a. Laim (s. Abb. V.3.6.2) auf.

Die über alle Messreihen geringsten Bor-Konzentrationen liegen vor allem im Münchener Osten, Südosten und Süden, aber z.T. auch im (Süd-) Westen. In diesen, wie auch vielen weiteren Messstellen fallen die höchsten Bor-Werte im betrachteten Zeitraum in den Messzyklus vom Juli 97.

Ein Beispiel für die Verteilung der Bor-Konzentrationen im Stadtgebiet München zeigt die Darstellung der Bor-Belastung der vorletzten Messreihe vom Juli 98 (s. Abb. V.3.6.3), in der als Vergleichsgrößen zusätzlich die arithmetischen Mittelwerte (der Messreihen 1 - 8) der Pegel angegeben sind.

Prozentual (s. Abb.V.3.6.4) konnten in nur 0,1 % aller Untersuchungen Borgehalte über oder gleich dem Grenzwert von 1,0 mg/l festgestellt werden. In 34,3 % lagen die Werte zwischen 0,09 mg/l und kleiner 1,0 mg/l und in 42,3 % der Proben zwischen 0,09 mg/l und dem Mittelwert der weitgehend unbeeinflussten Messstellen am südlichen Stadtrand von 0,04 mg/l. Geringere Konzentrationen zwischen 0,04 und 0,01 mg/l wurden bei 18,7 % und die minimalsten (unter 0,01 mg/l) in 4,6 % der Messungen ermittelt.

Bor mg/l	Anzahl der Messwerte					Summe
	$\leq 0,01$	$> 0,01 - < 0,04$	$\geq 0,04 - < 0,09$	$\geq 0,09 - < 1,0$	$\geq 1,0$	
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet	
Apr 96	12	78	155	91	1	337
Jul 96	5	75	152	112	0	344
Nov 96	11	63	133	137	0	344
Apr 97	17	69	151	90	0	327
Jul 97	1	32	126	167	0	326
Nov 97	2	72	159	94	0	327
Apr 98	13	67	145	103	1	329
Jul 98	61	41	106	120	1	329
Nov 98						
Summe	122	497	1127	914	3	2663

0,04 = Mittelwert KB-Pegel    0,09 = Mittelwert alle Pegel    1,0 = TVO-Grenzwert

Bor mg/l	Prozentwerte				
	$\leq 0,01$	$> 0,01 - < 0,04$	$\geq 0,04 - < 0,09$	$\geq 0,09 - < 1,0$	$\geq 1,0$
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet
Apr 96	3,56	23,15	45,99	27,00	0,30
Jul 96	1,45	21,80	44,19	32,56	0,00
Nov 96	3,20	18,31	38,66	39,83	0,00
Nov 96	5,20	21,10	46,18	27,52	0,00
Apr 97	0,31	9,82	38,65	51,23	0,00
Jul 97	0,61	22,02	48,62	28,75	0,00
Nov 97	3,95	20,36	44,07	31,31	0,30
Jul 98	18,54	12,46	32,22	36,47	0,30
Nov 98					
Summe	4,58	18,66	42,32	34,32	0,11

### V.3.7 DOC

Der DOC-Gehalt (gelöster organischer Kohlenstoff) im Grundwasser kann bereits einen Hinweis auf die gesamtorganische Belastung darstellen. Weder in der Trinkwasserverordnung noch in der EG-Richtlinie sind Grenz- bzw. Richtwerte für den DOC-Gehalt angegeben. Daher wurde ein Beurteilungswert von  $\geq 10$  mg/l angesetzt, ab dem erfahrungsgemäß erhöhte organische Belastungen vorliegen können.

In den Untersuchungen liegen die DOC-Werte zwischen 0,40 mg/l und maximal 85,0 mg/l. Ungefähr die Hälfte aller Messungen ergab Werte kleiner 2,0 mg/l DOC. Der Mittelwert aller 8 Messreihen liegt bei 2,14 mg/l.

Hinweise auf eine organische Belastung ergaben sich aufgrund 35 Analysen von 28 Pegeln, bei denen die DOC-Gehalte 10 mg/l überschritten haben. Dies sind lediglich 1,31 % aller DOC-Werte im betrachteten Zeitraum. Dabei traten Grenzwertüberschreitungen von Messreihe zu Messreihe meist in verschiedenen Messstellen auf, sodaß keine, über einen längeren Zeitraum konstante Belastungen vorliegen. Eine räumliche Konzentration der belasteten Pegel kann daher nicht angenommen werden, da die hohen DOC-Werte lokal und zeitlich stark variieren.

Die Darstellung der Grenzwertüberschreitungen (s.Abb. V.3.7.1) zeigt ebenso wie die Verteilung der DOC-Gehalte im Juli 98 (s.Abb. V.3.7.2), zum einen, dass Grenzwertüberschreitungen nur hin und wieder und in verschiedenen Pegeln auftreten, wobei in nur einer Messstelle eine 3-malige Über-

# Bor - Belastung

Grenzwertüberschreitungen

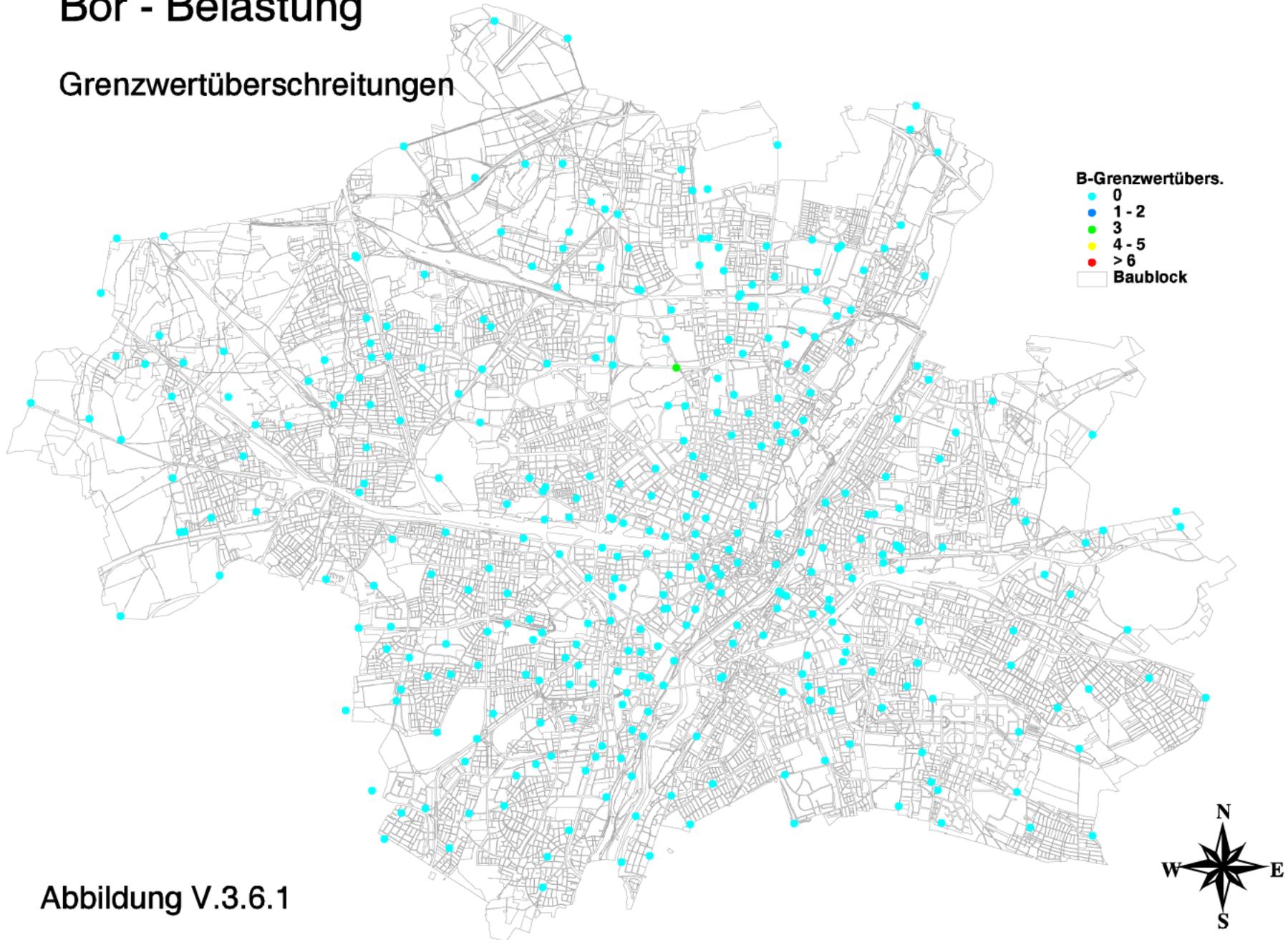
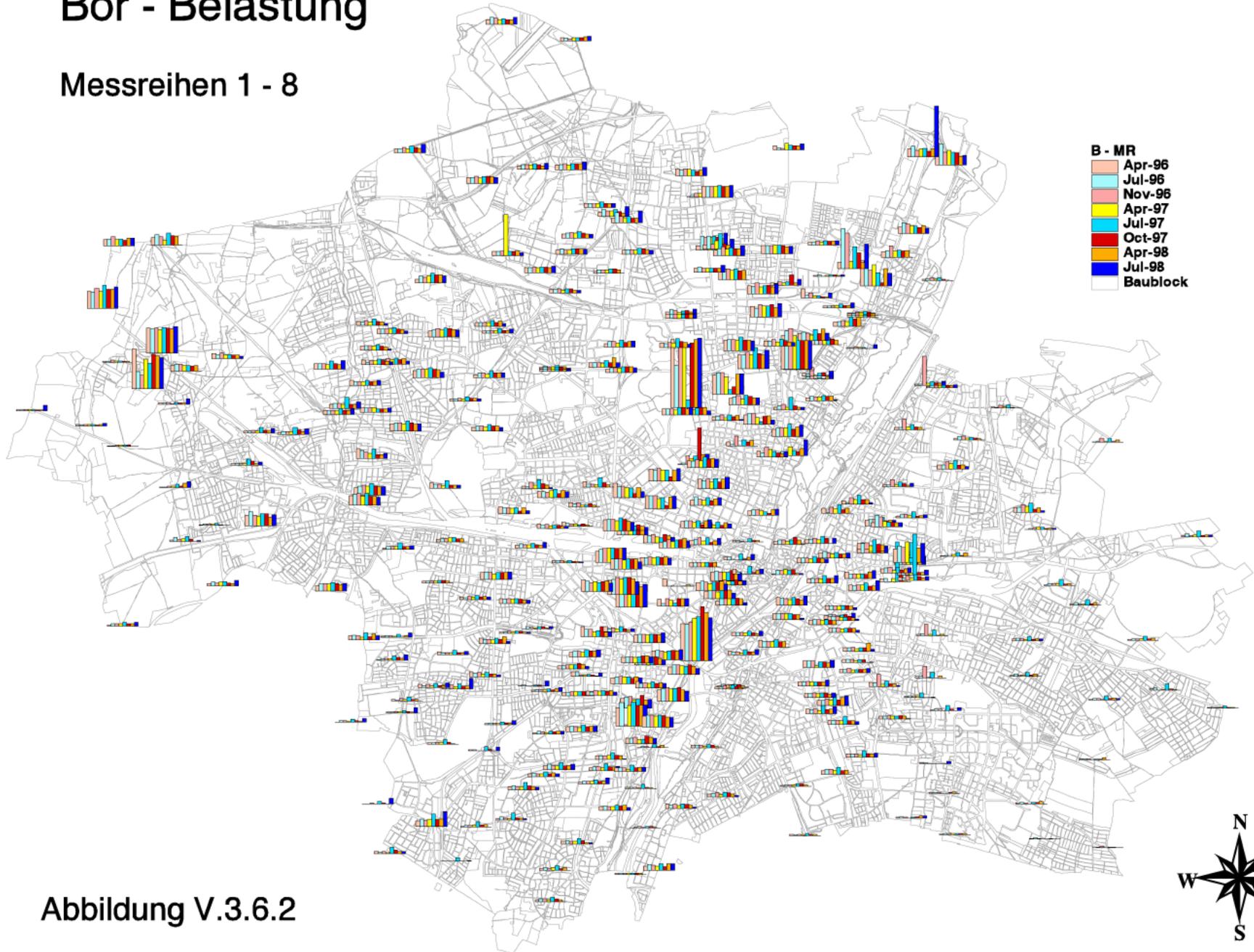


Abbildung V.3.6.1

# Bor - Belastung

Messreihen 1 - 8



# Bor - Belastung

Juli 98 und arithmetisches  
Mittel der Messreihen 1-8

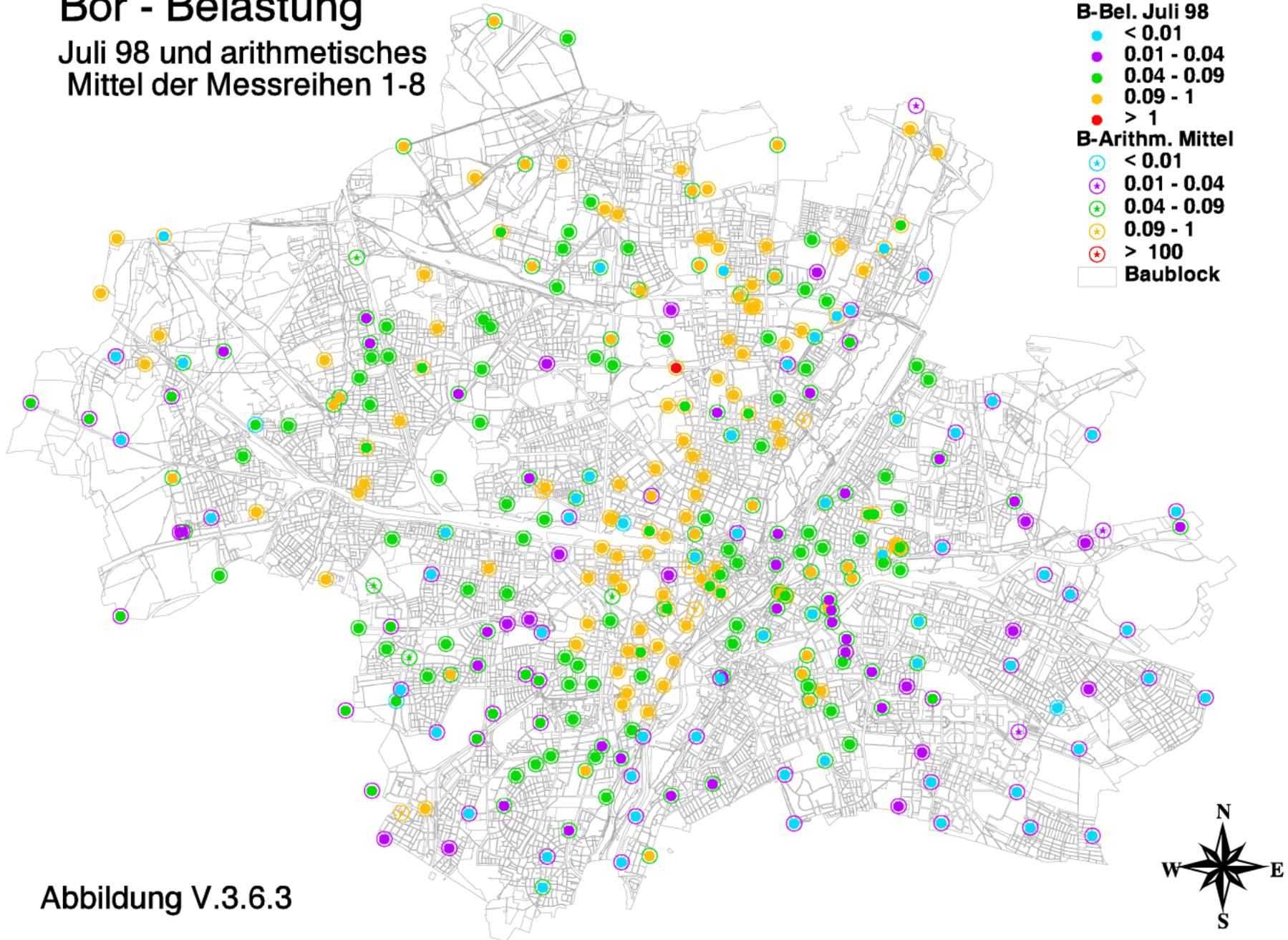


Abbildung V.3.6.3

**BOR - Belastungsgrad**  
**Prozent aller Meßwerte**

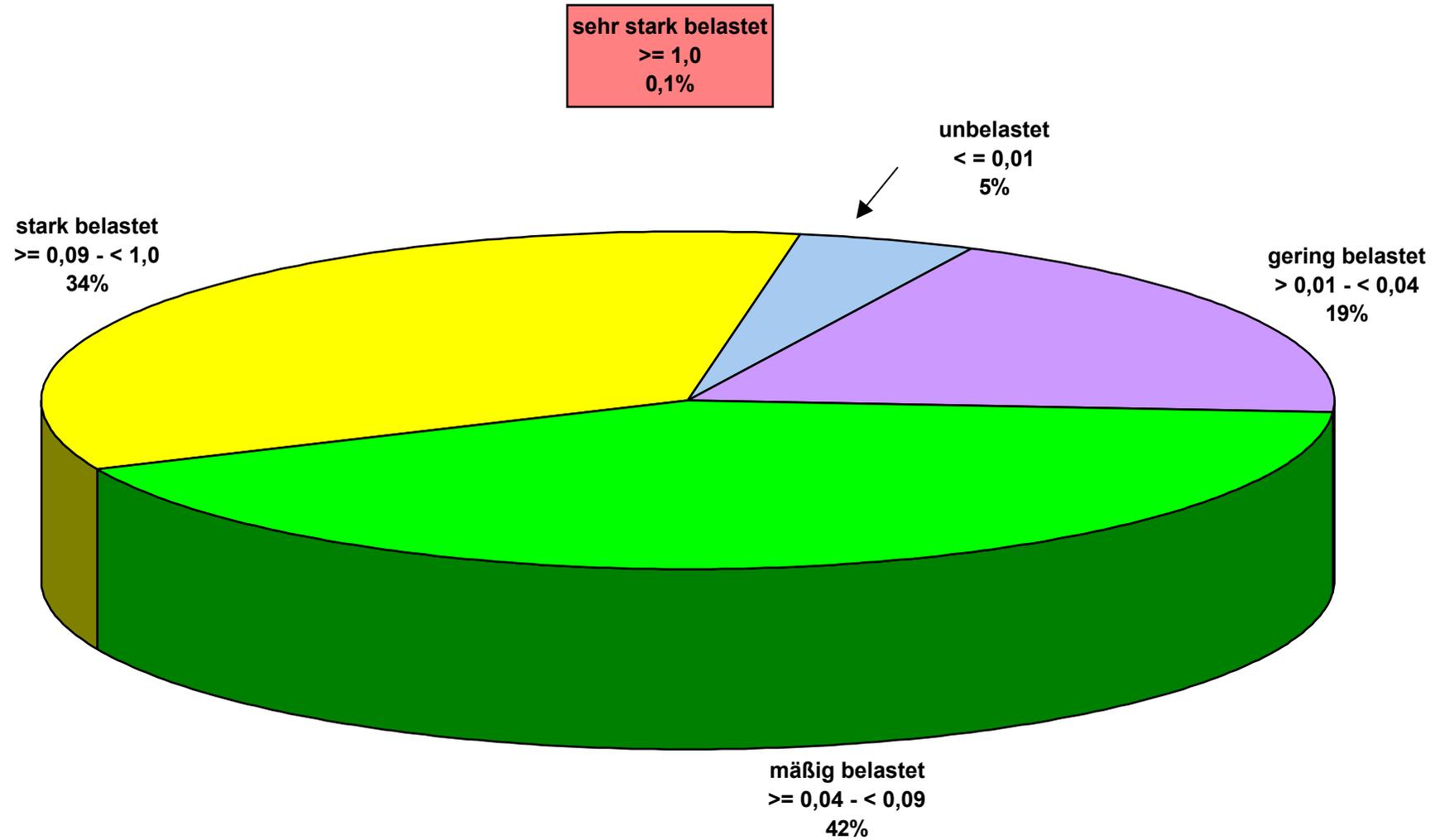


Abbildung V.3.6.4

schreitung festgestellt wurde und zum zweiten, dass die überwiegende Zahl der Messstellen unbelastet ist und nur wenige 5 mg/l überschreiten.

Dem stehen 98,69 % der Untersuchungen, die als unbelastet oder nur gering belastet ( 5 mg/l - kleiner 10 mg/l) gelten können (s. Abb. V.3.7.3 ), gegenüber.

DOC mg/l	Anzahl der Messwerte					Summe	DOC mg/l	Prozentwerte				
	< 5	>= 5 - < 10	>= 10 - < 50	>= 50 - < 100	>= 100			< 5	>= 5 - < 10	>= 10 - < 50	>= 50 - < 100	>= 100
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet
Apr 96	258	68	9	2	0	337	Apr 96	76.56	20.18	2.67	0.59	0.00
Jul 96	324	18	1	1	0	344	Jul 96	94.19	5.23	0.29	0.29	0.00
Nov 96	273	61	10	0	0	344	Nov 96	79.36	17.73	2.91	0.00	0.00
Apr 97	318	7	2	0	0	327	Apr 97	97.25	2.14	0.61	0.00	0.00
Jul 97	315	6	5	0	0	326	Jul 97	96.63	1.84	1.53	0.00	0.00
Nov 97	318	7	1	1	0	327	Nov 97	97.25	2.14	0.31	0.31	0.00
Apr 98	323	5	1	0	0	329	Apr 98	98.18	1.52	0.30	0.00	0.00
Jul 98	319	8	2	0	0	329	Jul 98	96.96	2.43	0.61	0.00	0.00
Nov 98							Nov 98					
Summe	2448	180	31	4	0	2663	Summe	91.93	6.76	1.16	0.15	0.00

Die höchsten DOC-Werte wurden u.a. in den nördlichen Stadtgebieten festgestellt (Abb. V.3.7.4). Sie lassen sich z.T. mit den AOX- bzw. NO<sub>3</sub>-Kontaminationen korrelieren.

### V.3.8 AOX

Der AOX-Gehalt erfaßt summarisch fast vollständig die adsorbierbaren halogenorganischen (z.B. Chlor-) Verbindungen. Zum Teil sind sie auf Grund ihrer Toxizität, Bioakkumulation und ihrer Persistenz zu den gefährlichen Stoffen zu rechnen. Nach den sog. "Holland-Richtwerten" wird bei der Bewertung der AOX-Gehalte davon ausgegangen, daß Konzentrationen von 20 µg/l - 60 µg/l als "mäßig belastet", 60 µg/l - 300 µg/l als "stärker belastet" und mehr als 300 µg/l als "kritisch belastet" anzusehen sind. Die hier vorgenommene Auswertung orientiert sich am Bayerischen Altlastenleitfaden, der für AOX als Orientierungswert 50 µg/l angibt. In Abstimmung mit den Holland-Richtwerten ergibt sich folgende Einstufung der Analysenergebnisse:

kleiner 10 µg/l:	unbelastet
10 - < 25 µg/l:	gering belastet
25 - < 50 µg/l:	mässig belastet
50 - < 100 µg/l:	stark belastet
größer 100 µg/l:	sehr stark belastet

Die AOX-Gehalte schwankten im Stadtgebiet zwischen <10 µg/l (=Nachweisgrenze) und maximal 640 µg/l. Die überwiegende Mehrzahl (ca. 91 %) der Analysen (s. Abb. V.3.8.1 ) zeigte Werte unter der Nachweisgrenze (1635 Messungen) bzw. unter 25 µg/l (787 Messungen). Konzentrationen zwischen 25 µg/l und 50 µg/l wurden in 6,27% (167 Analysen) ermittelt. Nur ca. 2,8 % ( 74 Messungen) aller Ergebnisse überschritten den Orientierungswert des Bayerischen Altlastenleitfadens von 50 µg/l, wobei in 10 Pegeln bei 23 Untersuchungen (0,86%) Werte über 100 µg/l gefunden wurden. Lediglich ein Wert wäre gemäss den Holland-Richtwerten mit 640 µg/l als "kritisch belastet" einzustufen. Dieser Wert wurde nur im November 1996 in einem Pegel Nähe Frankfurter Ring festgestellt. Bereits die darauf folgenden Messungen ergaben abnehmende Werte von 160 µg/l (April 97) und 83 µg/l (Juli 97).

AOX ug/l	Anzahl der Messwerte					Summe	AOX ug/l	Prozentwerte				
	<= 10	> 10 - < 25	>= 25 - < 50	>= 50 - < 100	>= 100			<= 10	> 10 - < 25	>= 25 - < 50	>= 50 - < 100	>= 100
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet
Apr 96	222	81	25	5	4	337	Apr 96	65.88	24.04	7.42	1.48	1.19
Jul 96	217	100	19	5	3	344	Jul 96	63.08	29.07	5.52	1.45	0.87
Nov 96	230	89	17	3	5	344	Nov 96	66.86	25.87	4.94	0.87	1.45
Apr 97	218	82	17	8	2	327	Apr 97	66.67	25.08	5.20	2.45	0.61
Jul 97	181	108	26	8	3	326	Jul 97	55.52	33.13	7.98	2.45	0.92
Nov 97	169	133	20	4	1	327	Nov 97	51.68	40.67	6.12	1.22	0.31
Apr 98	184	108	23	12	2	329	Apr 98	55.93	32.83	6.99	3.65	0.61
Jul 98	214	86	20	6	3	329	Jul 98	65.05	26.14	6.08	1.82	0.91
Nov 98							Nov 98					
Summe	1635	787	167	51	23	2663	Summe	61.40	29.55	6.27	1.92	0.86

# DOC - Belastung

## Grenzwertüberschreitungen

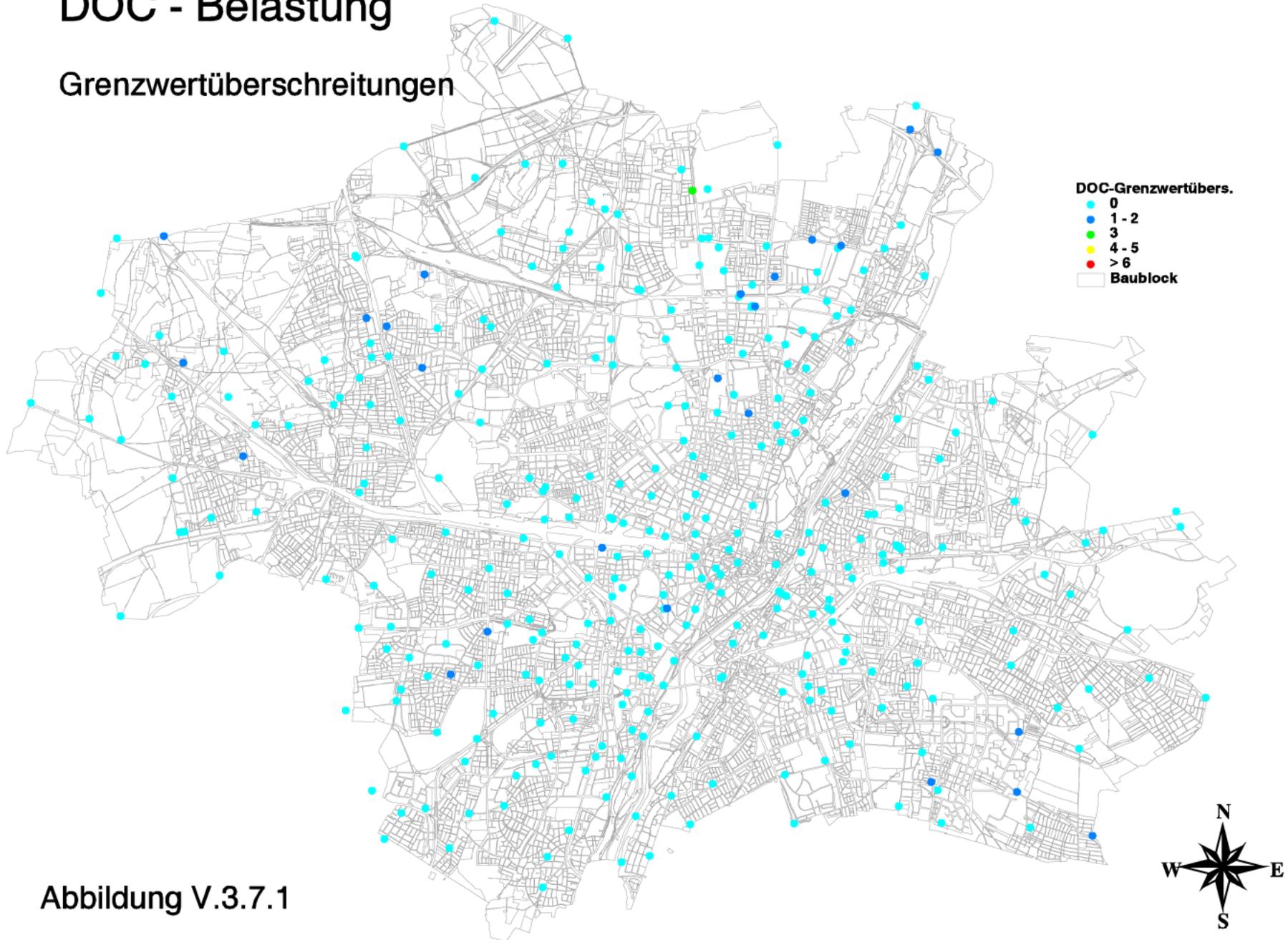


Abbildung V.3.7.1

# DOC - Belastung

Juli 98 und arithmetisches  
Mittel der Messreihen 1-8

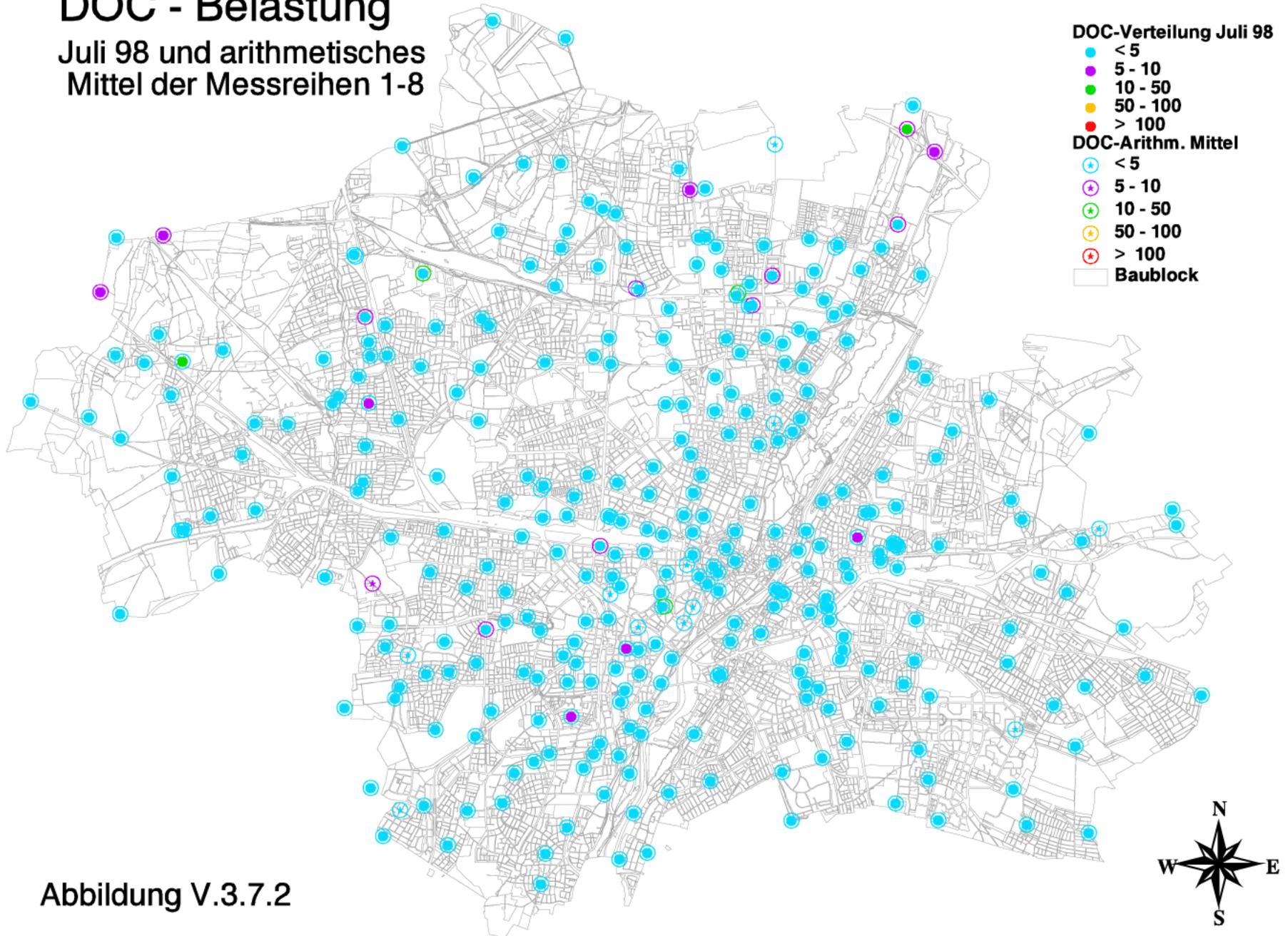


Abbildung V.3.7.2

# DOC - Prozentwerte

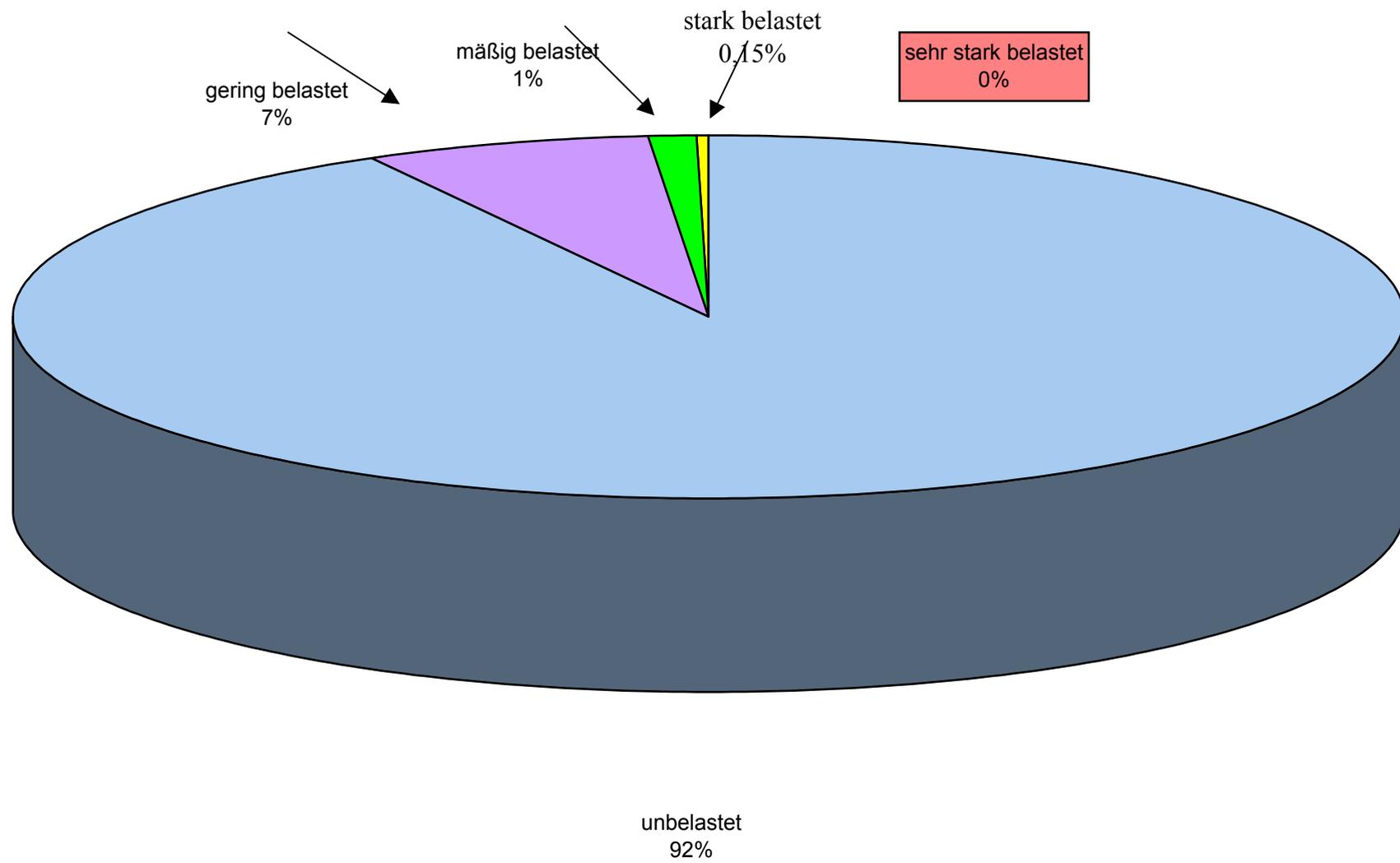


Abbildung V.3.7.3

# DOC - Belastung

Messreihen 1 - 8

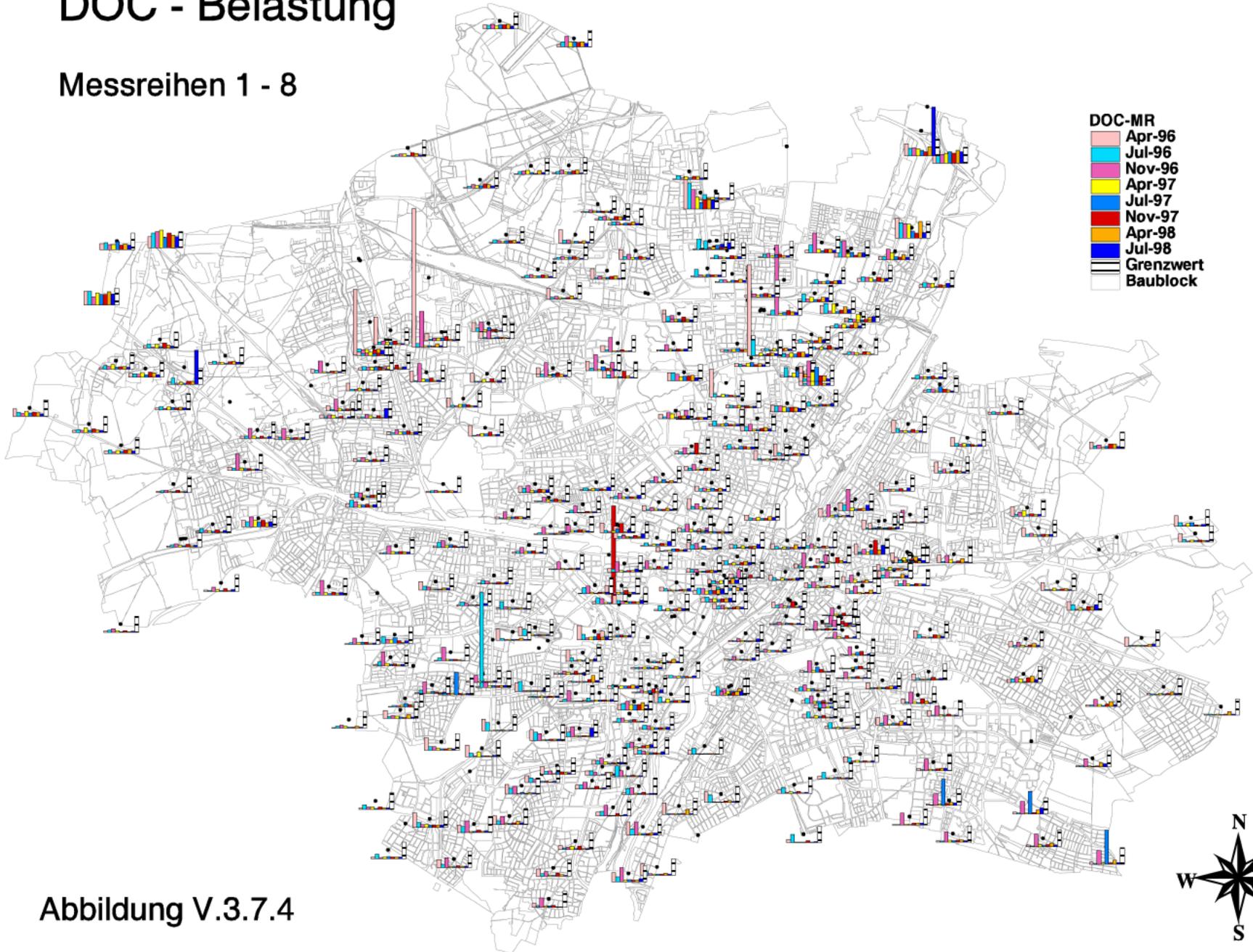


Abbildung V.3.7.4

**AOX - Belastungsgrad**  
**Prozent aller Meßwerte**

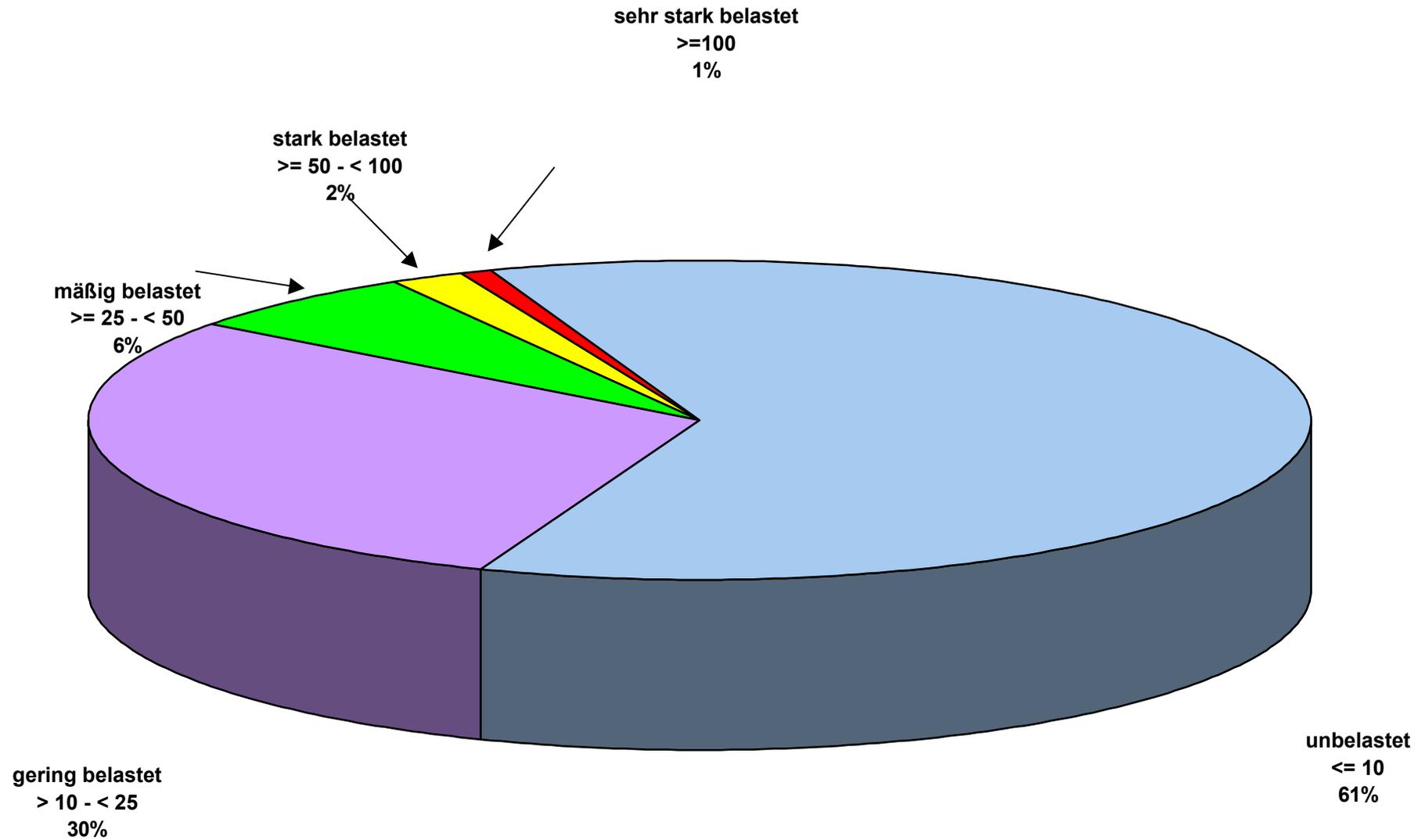


Abbildung V.3.8.1

# AOX - Belastung

## Grenzwertüberschreitungen

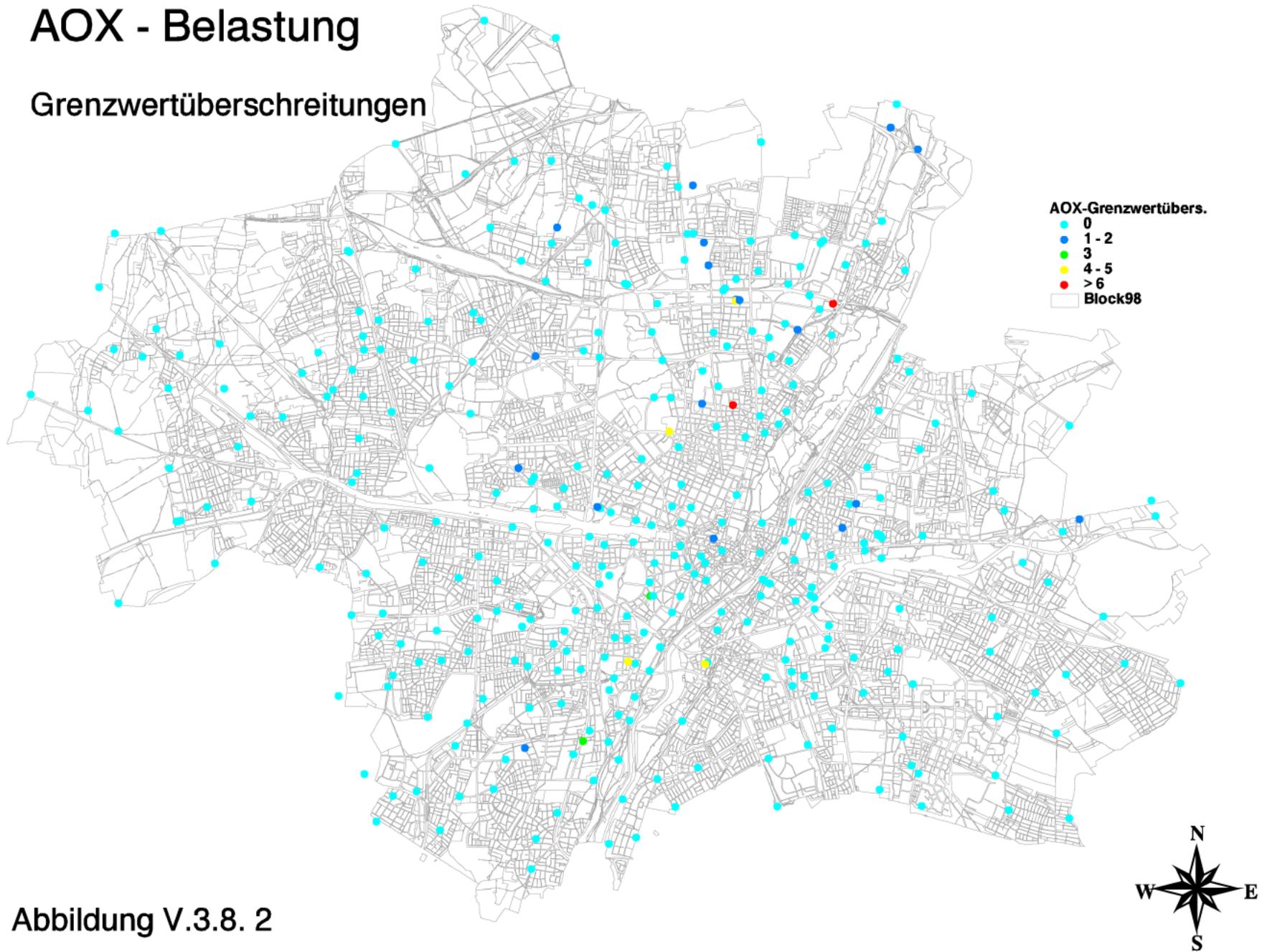


Abbildung V.3.8. 2

# AOX- Belastung

Messreihen 1-8

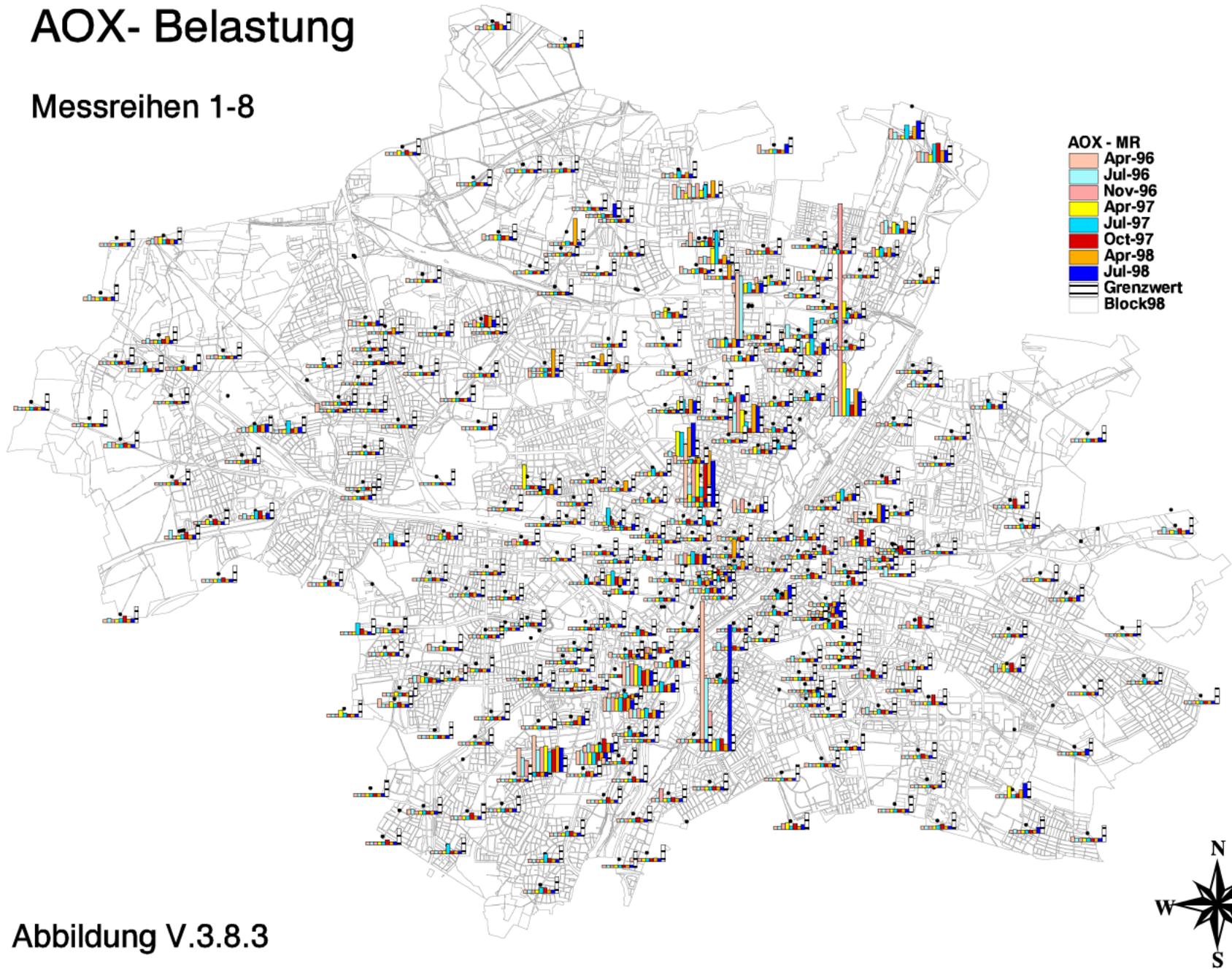


Abbildung V.3.8.3

# AOX- Belastung

Juli 98 und arithmetisches  
Mitte der Messreihen 1-8

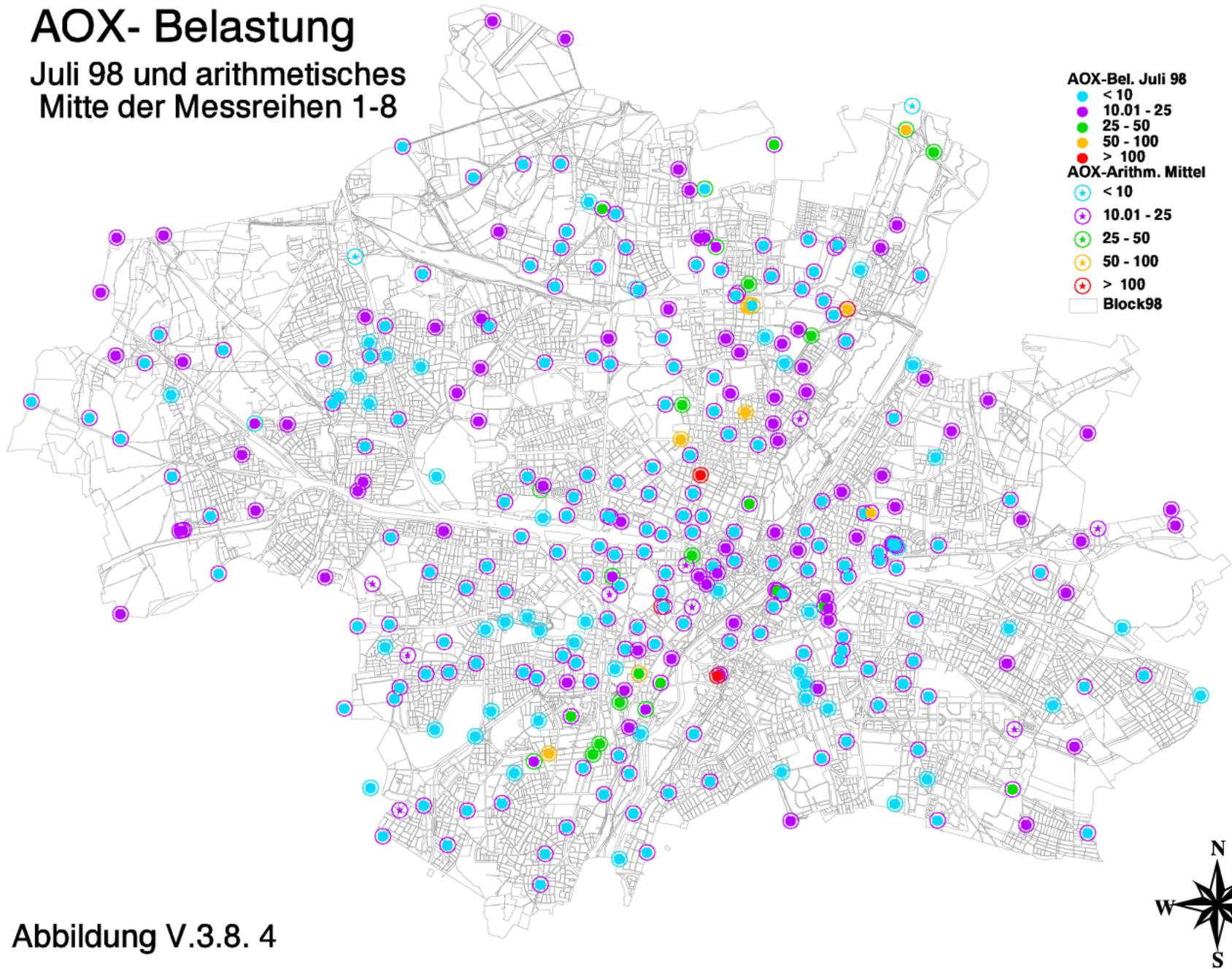


Abbildung V.3.8. 4

Fast permanente, d.h. mehr als sechs Grenzwertüberschreitungen (>50 µg/l) innerhalb der acht Messreihen wurden in zwei Messstellen (s. Abb. V.3.8.2), 4 - 5 Überschreitungen in weiteren vier Pegeln und dreimalige Überschreitungen in zwei Pegeln festgestellt. Bezüglich erhöhter AOX-Gehalte lagen bzw. liegen in diesen acht Messstellen die Schwerpunkte. Diese Schwerpunkte fallen fast alle in den Bereich zwischen westlichem Mittleren Ring und der Hangkante zur Isar hin. Weitere nur einmalig auftretende Grenzwertüberschreitungen fallen zum grossen Teil ebenfalls in diesen Bereich. Dieser entspricht weitgehend der morphologischen Terrasse der Altstadtstufe. Konkret befinden sich diese Belastungen in Pegeln im Bereich des Bonner Platzes, des Josephsplatzes, der Impler-/Gaißacher Strasse, des Frankfurter Ringes und nördlich des Candidplatzes. Zusätzliche AOX-Belastungen befinden sich z.B. im Bereich Schertlin-/Helfenriederstraße bzw. in deren Abstrom (s. Abb. V.3.8.3). Die Mehrzahl dieser Verunreinigungen lag in Zonen dichter Bebauung und sind z.T. gut mit den LHKW-Kontaminationen (s.u.) korrelierbar.

In weiten Bereichen des Stadtgebietes traten im Untersuchungszeitraum keine Grenzwertüberschreitungen sondern weitgehend konstante Werte unter 10 µg/l (=Nachweisgrenze) bzw. unter 25 µg/l auf. Wie die Abbildung der AOX-Belastung vom Juli 98 (Abb. V.3.8.4) zeigt, liegen sowohl die konkreten Messergebnisse dieser Messung, als auch die arithmetischen Mittelwerte westlich einer Linie Feldmoching-Forstenried sowie im Münchener Süden und Osten stets unter 25 µg/l.

### V.3.9 LHKW bzw. CKW

Aus der Gruppe der leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffe wurden die fünf Einzelsubstanzen Trichlormethan, Tetrachlormethan (Tetra), 1,1,1-Trichlorethan (1,1,1), Trichlorethan (Tri) und Tetrachlorethen (Per) bestimmt. Die TVO in ihrer Fassung vom Dezember 1990 legt für den Summenparameter CKW einen Grenzwert von 10 µg/l vor.

Im Untersuchungszeitraum schwankten die CKW-Gehalte im Stadtgebiet zwischen kleiner 0,1 µg/l und 879,3 µg/l. Das arithmetische Mittel betrug 7,97 µg/l.

In Prozenten (s. Abb. V.3.9.1) ausgedrückt, können ca. 19,3 % (entspricht 513 Messungen) aller untersuchten Grundwässer mit Werten kleiner 0,5 µg/l CKW als unbelastet angesehen werden. Bei rd. 9,6 % (256 Messungen) lagen die CKW-Werte zwischen 0,5 µg/l und 1,0 µg/l. Die überwiegende Mehrzahl (57,9 % = 1541 Messungen) wies mit CKW-Gehalten zwischen 1,0 µg/l und weniger als 10 µg/l (d.h. kleiner als der TVO-Grenzwert) einen mäßigen Belastungsgrad auf. Stärkere CKW-Kontaminationen mit Konzentrationen zwischen 10 µg/l und 100 µg/l wurden in ca. 12,4 % (331 Messungen) der Fälle vorgefunden. Lediglich 0,8 % (22 Messungen = 10 Pegel) überstieg den Wert von 100 µg/l.

CKW µg/l	Anzahl der Messwerte					Summe	CKW µg/l	Prozentwerte					Summe
	<= 0,5	> 0,5 - < 1	>= 1 - < 10	>= 10 - < 100	>= 100			<= 0,5	> 0,5 - < 1	>= 1 - < 10	>= 10 - < 100	>= 100	
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet	
Apr 96	51	32	200	50	4	337	Apr 96	15.13	9.50	59.35	14.84	1.19	
Jul 96	67	33	193	48	3	344	Jul 96	19.48	9.59	56.10	13.95	0.87	
Nov 96	58	28	202	50	6	344	Nov 96	16.86	8.14	58.72	14.53	1.74	
Apr 97	63	29	195	38	2	327	Apr 97	19.27	8.87	59.63	11.62	0.61	
Jul 97	70	26	192	36	2	326	Jul 97	21.47	7.98	58.90	11.04	0.61	
Nov 97	64	31	198	33	1	327	Nov 97	19.57	9.48	60.55	10.09	0.31	
Apr 98	66	37	189	36	1	329	Apr 98	20.06	11.25	57.45	10.94	0.30	
Jul 98	74	40	172	40	3	329	Jul 98	22.49	12.16	52.28	12.16	0.91	
Nov 98							Nov 98						
Summe	513	256	1541	331	22	2663	Summe	19.26	9.61	57.87	12.43	0.83	

Die Interpretation der CKW-Belastungen durch Betrachtung der Grenzwertüberschreitungen (Abb. V.3.9.2) kann nur bedingt aussagekräftig sein, da der TVO-Grenzwert von 10 µg/l - gemessen an den tatsächlichen Verhältnissen im Stadtgebiet und unter Berücksichtigung, dass das Grundwasser des oberflächennahen, oberen Grundwasserstockwerkes hier nicht für Trinkwasserzwecke herangezogen wird - sehr niedrig liegt. Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, weist dieses Grundwasserstockwerk durchweg eine ubiquitäre Belastung durch CKW's bis zu 10 µg/l im Stadtgebiet (s. Abb. V.3.9.3) auf, die als ständige Hintergrundbelastung gesehen werden muss. Lokal kann diese vor allem im nördlichen Stadtgebiet bei geringen Flurabständen bis auf 50 µg/l ansteigen.

# CKW - Belastungsgrad

Prozent aller Meßwerte

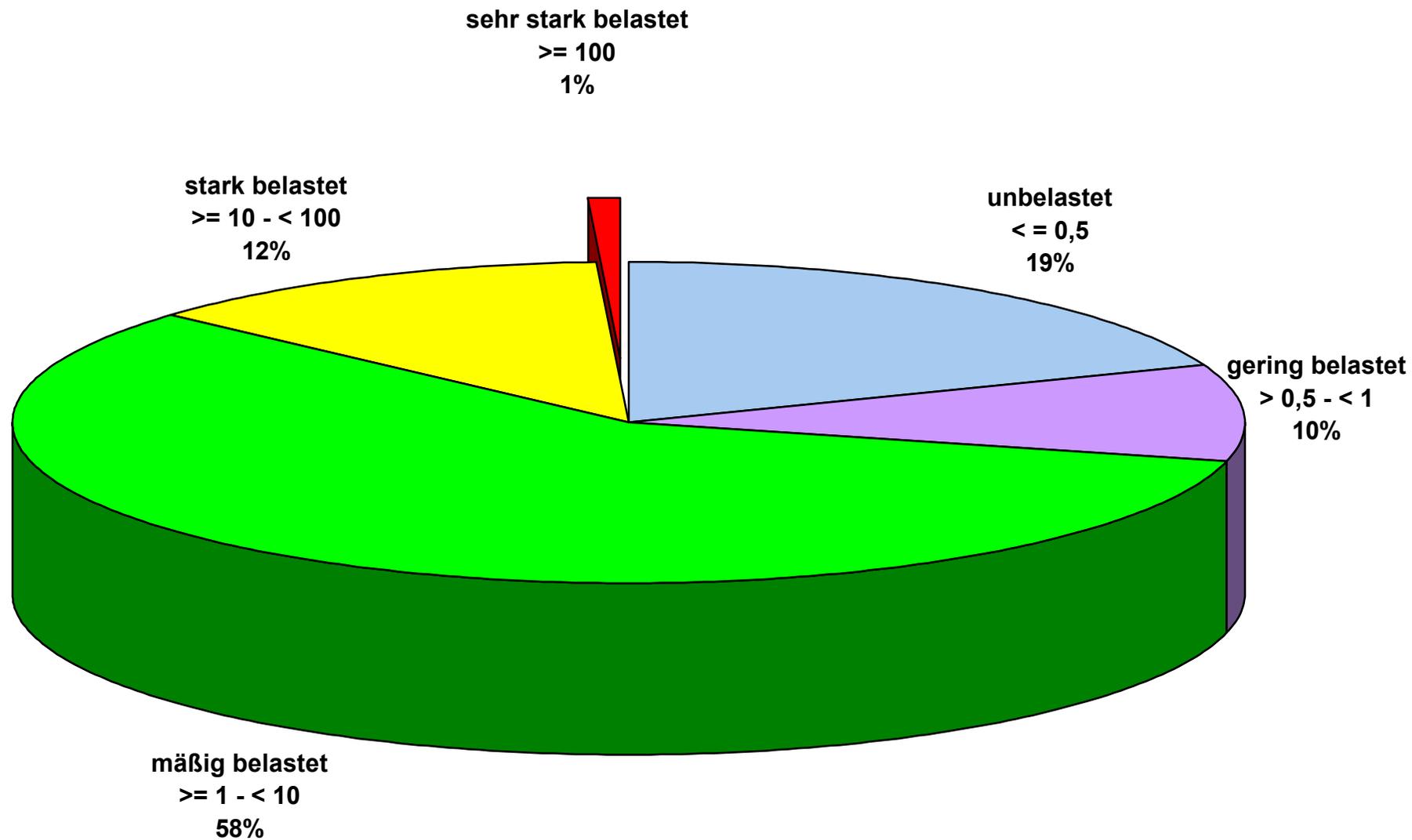


Abbildung V.3.9.1

# CKW- Belastung

Grenzwertüberschreitungen

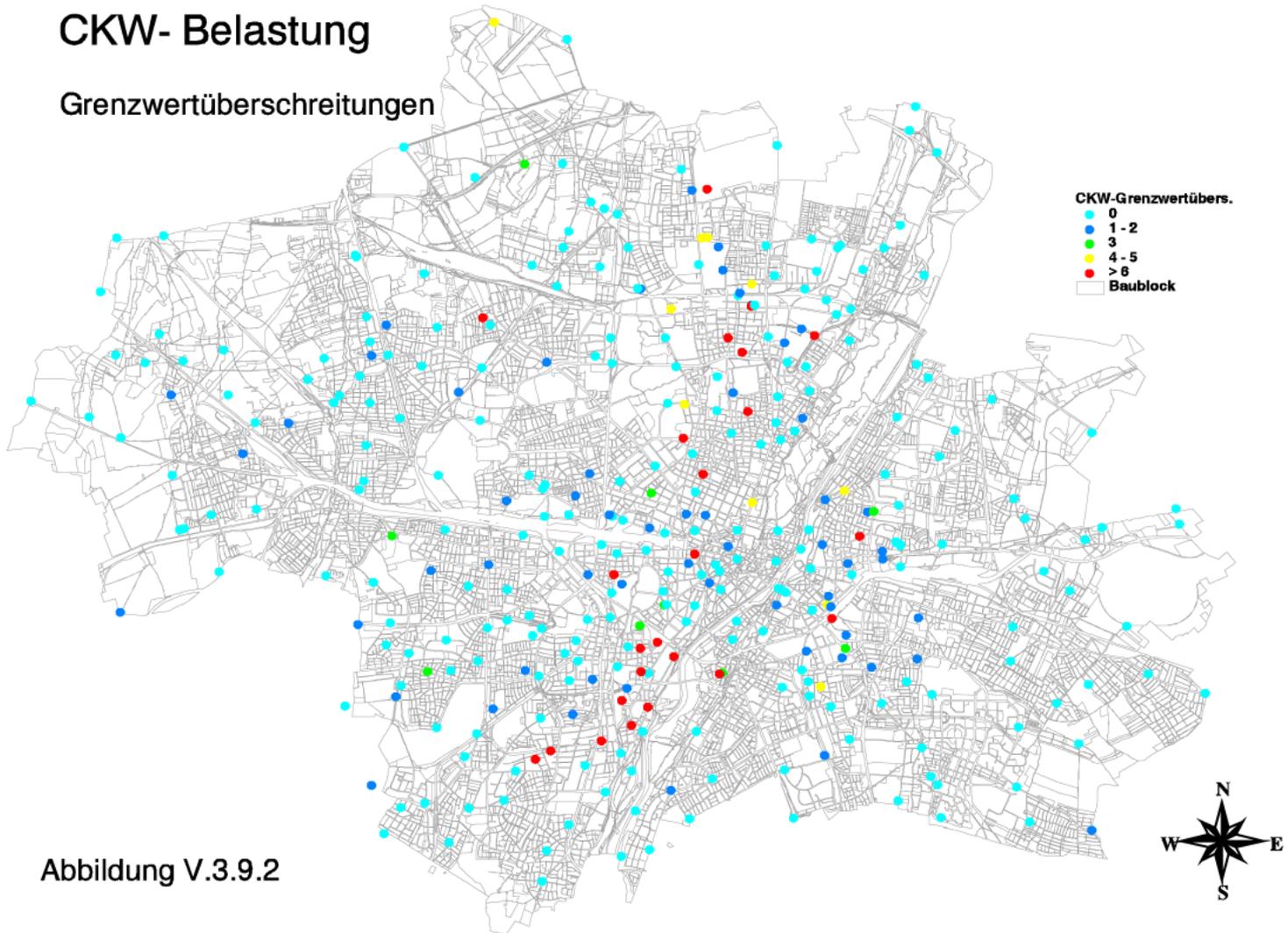


Abbildung V.3.9.2

# CKW- Belastung

Juli 98 und arithmetisches Mittel  
der Messreihen 1 - 8

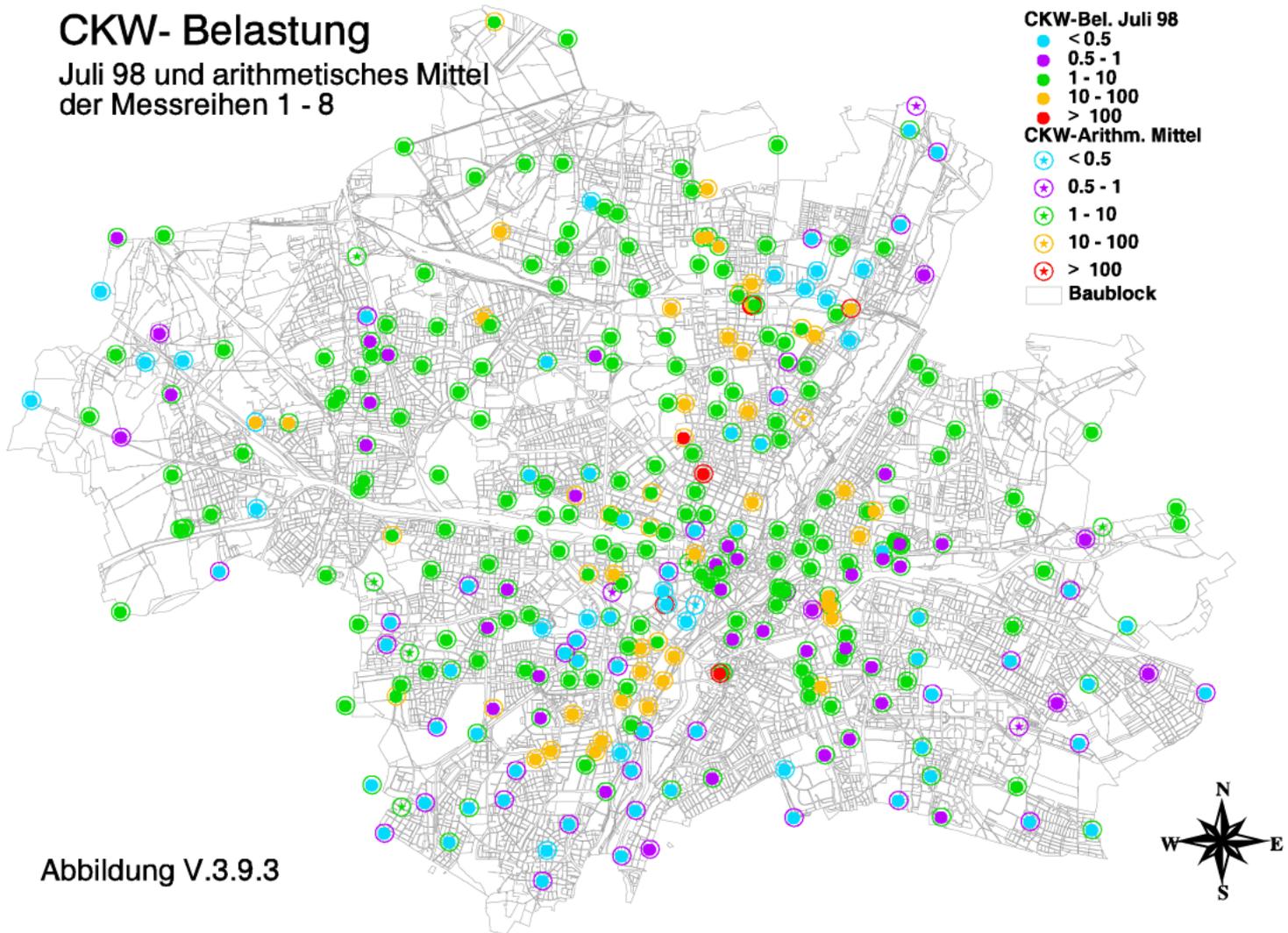


Abbildung V.3.9.3

# CKW- Belastung

Juli 98 II

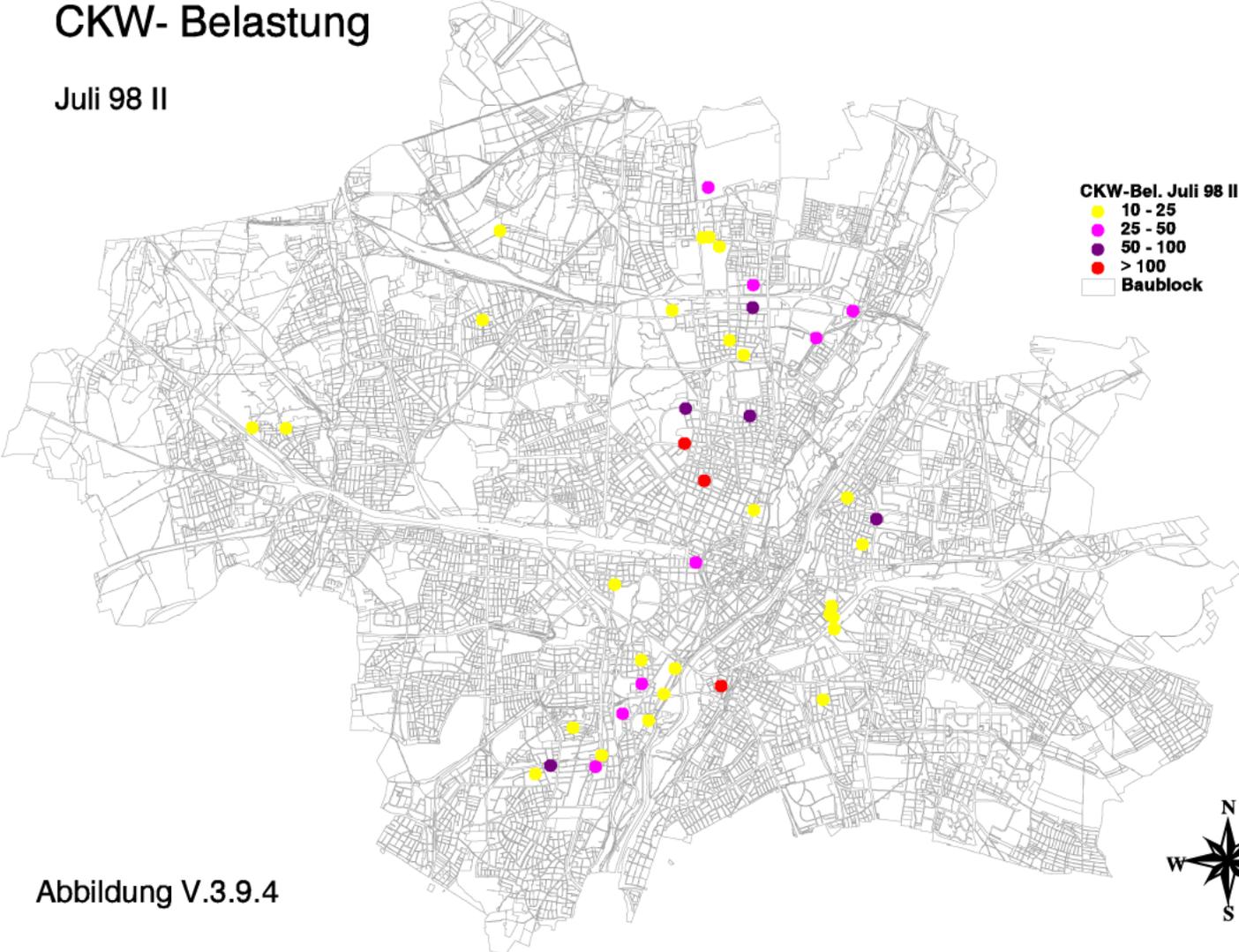


Abbildung V.3.9.4

# CKW- Belastung

Messreihen 1 - 8

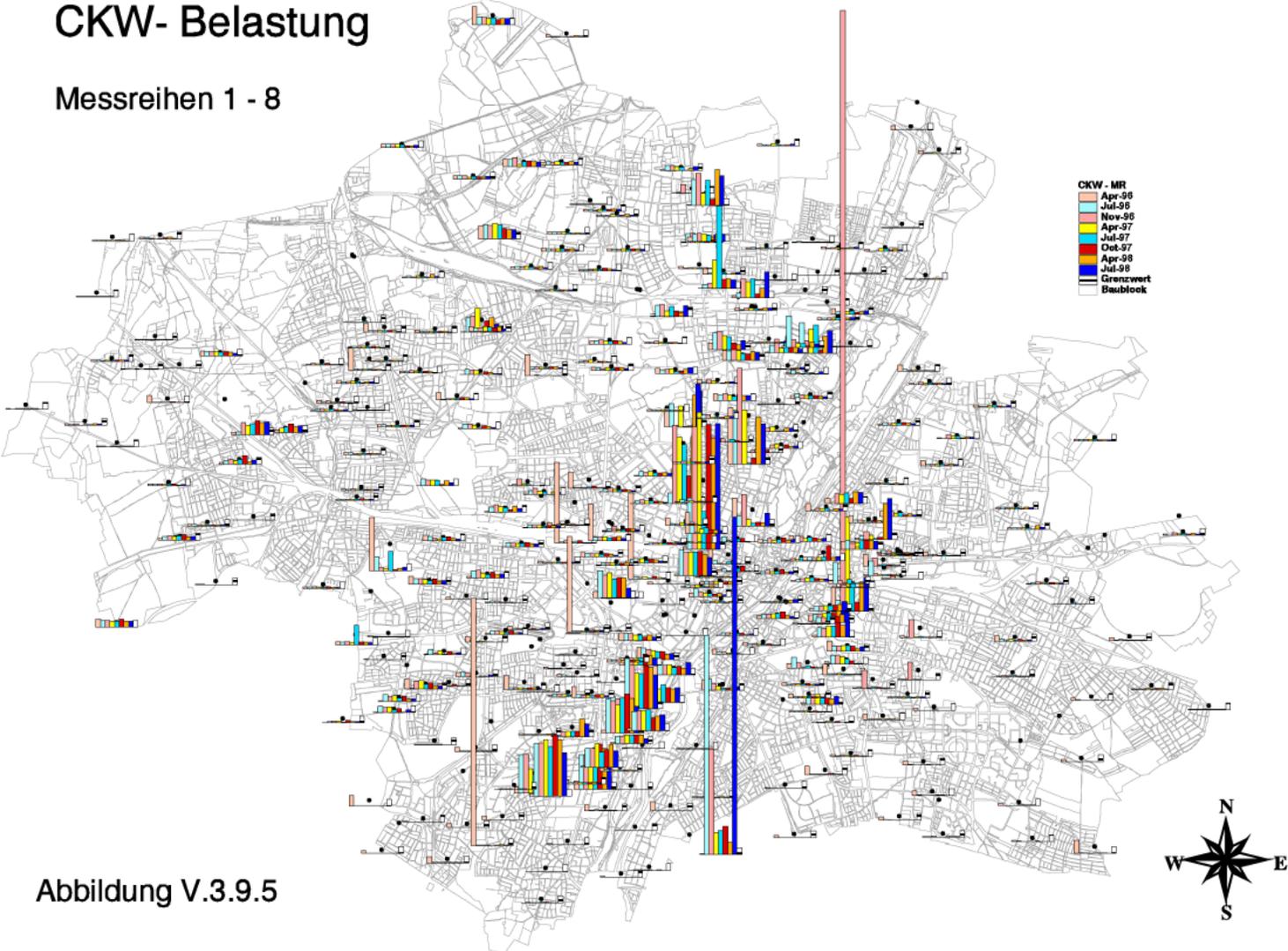


Abbildung V.3.9.5

Diese Hintergrundbelastung ist vor allem auf diffuse CKW - Einträge durch die Luft bzw. Niederschläge zurückzuführen. So zeigt z.B. der Pegel KPA134 im Bereich Moosach zwar eine Grenzwertüberschreitung in 6 Messreihen (s. Abb.: Grenzwertüberschreitungen), der maximal analysierte Wert betrug jedoch nur ca. 35 µg/l. Analog verhalten sich u.a. Messstellen am Ostbahnhof (max. 37,8), in der Nähe des Böhmerwaldplatzes (15 µg/l), am Georg Freundorfer Platz (39,4 µg/l).

Daher muss die Beurteilung der „stark belasteten“ Grundwasserproben durch eine zusätzliche Unterteilung der Einstufung differenziert werden. Damit relativiert sich quantitativ die Anzahl der Messstellen, die eine relevante starke CKW-Belastung aufweisen:

Belastungen 10 µg/l - 25 µg/l in 209 Proben von 67 Pegeln  
Belastungen 25 µg/l - 50 µg/l in 78 Proben von 30 Pegeln und  
**Belastungen 50 µg/l - 100 µg/l in 44 Proben von 13 Pegeln .**

Daraus folgt, von den 331 Messungen, die als „stark belastet“ eingestuft sind, bleiben 44 Untersuchungsergebnisse aus 13 Pegeln mit Werten zwischen 50 µg/l und 100 µg/l, bei denen ebenso eine rasche Ursachenermittlung bzw. Sanierung erfolgen muss, wie bei weiteren 22 Ergebnissen in diesen und 5 weiteren Pegeln mit Konzentrationen von mehr als 100 µg/l.

Diese wirklich relevanten Fälle von CKW-Verunreinigungen (bedingt durch den unsachgemäßen Umgang mit diesen Stoffen, durch Altlasten oder Schadensfälle (Unfälle)) befinden sich verstärkt im Bereich der Altstadtstufe bis zur Hangkante der Terrassenstufe des Isaralluviums sowie im Bereich Schertlinstrasse (s. Abb. V.3.9.4).

Die aktuellste Auswertung der Messung vom Juli 98 zeigt 3 Messstellen, deren CKW-Konzentrationen 100 µg/l überschreiten.

Die höchste Belastung mit 879,27 µg/l wurde, analog dem Maximalwert für AOX, in dem Pegel am Frankfurter Ring registriert. Wie bereits auch bei den AOX beschrieben, liegen weitere Kontaminationen u.a. im Umfeld der Schertlin- und der Implerstraße vor. Ausserdem wurden CKW-Verunreinigungen im Bereich des Josephsplatzes (140,01 µg/l) sowie der Konradinstraße (362,12 µg/l) festgestellt, deren Ursachen nachgegangen wird.

Auffällig ist ferner, dass besonders in der Messreihe vom April 96 etliche der jeweils höchsten Werte der Pegel festgestellt wurden. Viele dieser erhöhten CKW-Konzentrationen traten jedoch nur einmalig auf.

Besonders deutliche Schwankungen des CKW-Gehaltes traten innerhalb des Beobachtungszeitraumes gerade bei den belasteten Pegeln auf. Dagegen zeigten vor allem die Messstellen im Süden und Osten, sowie im äussersten Westen sehr geringe CKW-Werte und nur geringe Schwankungen (Abb. V.3.9.5).

### V.3.10 PAK

Zur Beurteilung der PAK-(Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)-Belastung in Wässern wurden verschiedene Verbindungen aus dieser Stoffgruppe herangezogen. Die TVO z.B. definiert 6 Stoffe (Fluoranthren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Benzo(ghi)perylen und Indeno(123cd)pyren) während nach US-EPA (Environmental Protection Agency) Richtlinien 16 Substanzen (siehe Anhang, Tab.xx) zu analysieren sind. Bei der Auswertung sind die PAK hier als Summe der 16-EPA-PAK aufgeführt. Beim Vergleich mit dem TVO-Grenzwert ist zu berücksichtigen, dass sich der TVO-Grenzwert auf die Summe von lediglich 6 Einzelparameter bezieht und daß bei Proben, bei denen alle Einzel-PAK unterhalb der Nachweisgrenze liegen (d.h. PAK sind nicht nachweisbar); rechnerisch die Summe der Nachweisgrenzen (0,3 µg/l --> „< 0,3 µg/l“ ) oberhalb des TVO-Grenzwertes von 0,2 µg/l liegt.

Erstmals wurden im 5. Messzyklus (Juli 1997; Abb. V.3.10.1 ) alle 326 Messstellen auf PAK hin untersucht. Zusätzlich zu den nach der EPA-Liste ermittelten PAK wurden Methylnaphtaline miterfasst. Hierbei wurde auch die Analysemethode geändert. Gegenüber den vorangegangenen Messreihen mit

# PAK - Belastung

Juli 97

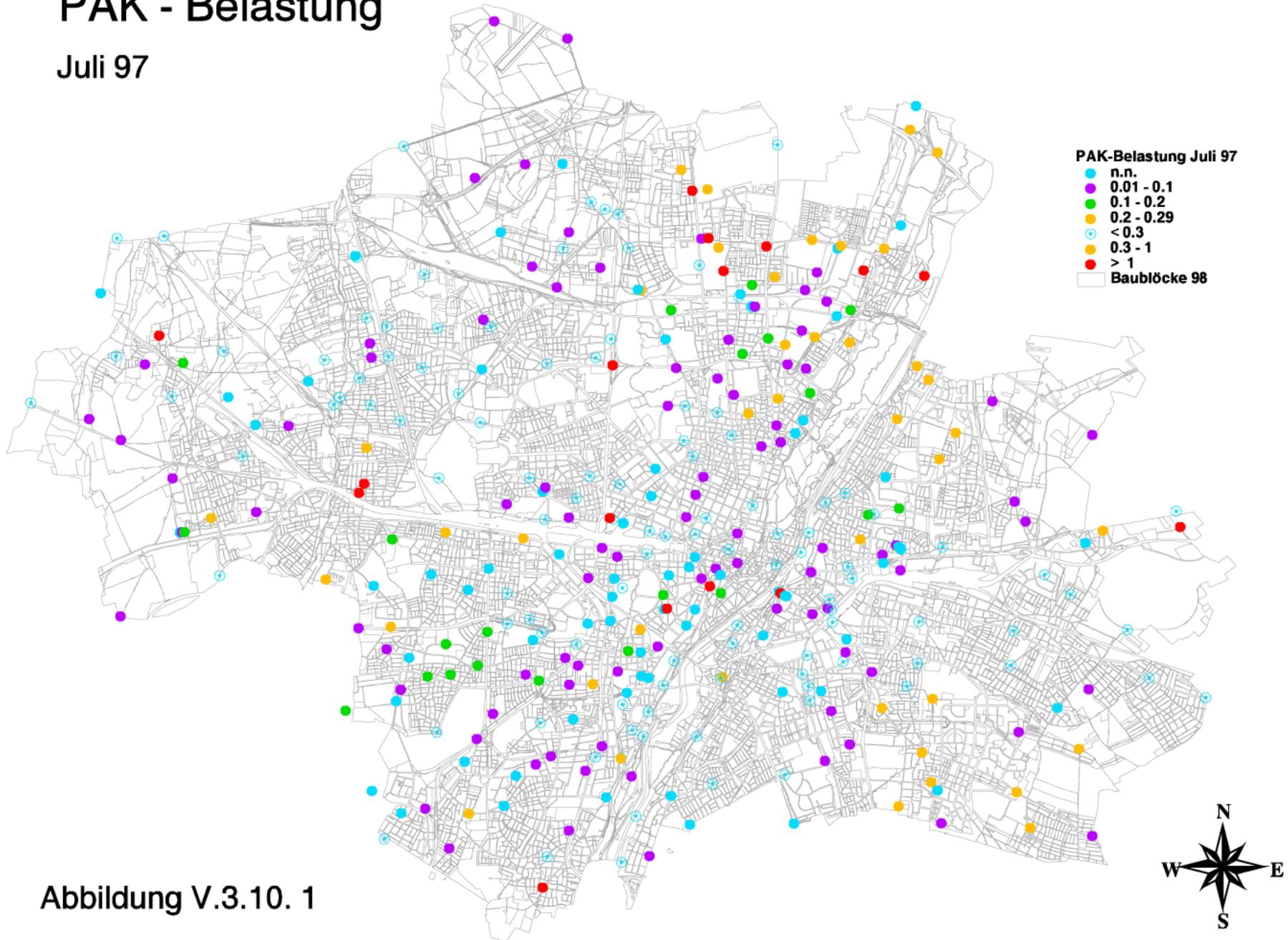


Abbildung V.3.10. 1

# PAK - Belastung

## Grenzwertüberschreitungen

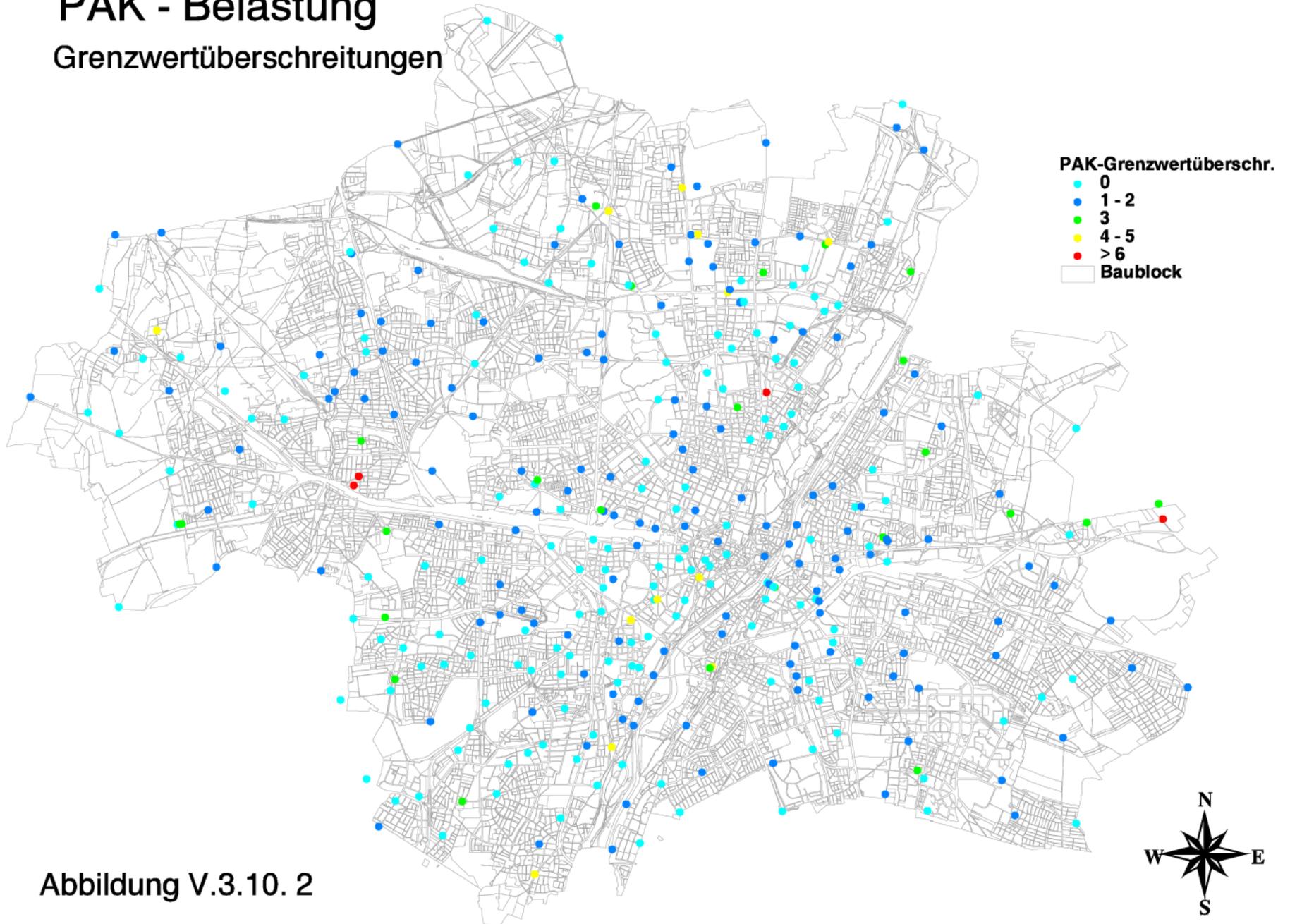
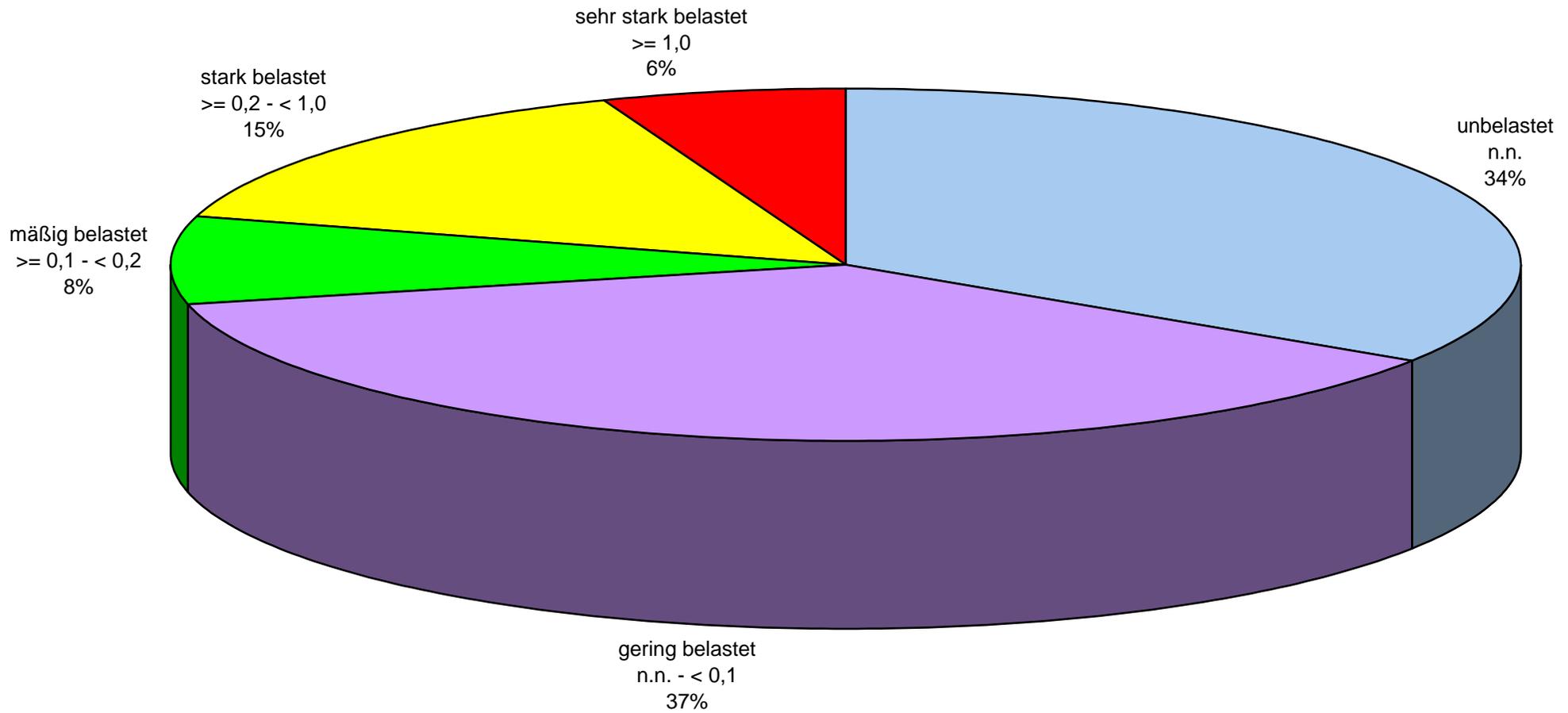


Abbildung V.3.10. 2

# PAK - Prozentwerte

Gesamtmessung vom Juli 1997



# PAK - Belastung

Messreihen 1 - 8

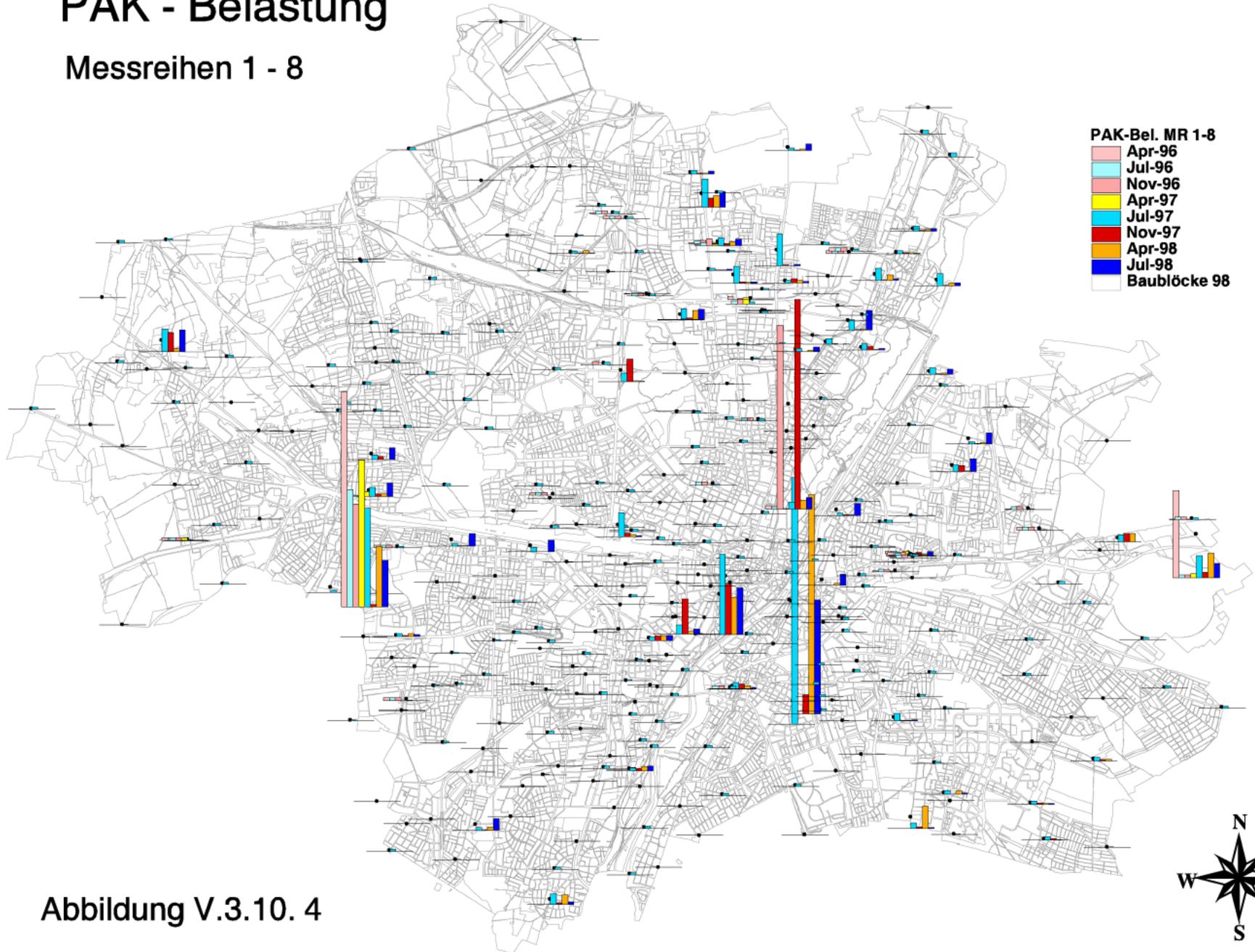


Abbildung V.3.10. 4

der Analysemethode „HPLC-Fluoreszenz-/Diodenarraydetektion“ wurden die PAK in dieser Messreihe mittels der Analysemethode „GC/MS“ untersucht.

Mit der erstmals flächendeckenden Untersuchung konnten in grosser Anzahl Verunreinigungen des Grundwassers durch PAK ausfindig gemacht werden, die bisher noch nicht bekannt waren. Der Anstieg der Zahl der PAK-Belastungen ist vor allem dadurch bedingt, daß in der aktuellen Messreihe zahlreiche Pegel erstmals auf diese Parameter untersucht wurden. Von den nun festgestellten 67 Richtwertüberschreitungen traten 62 an Messstellen auf, die bisher noch nicht auf PAK analysiert untersucht wurden.

Die Werte für PAK variieren zwischen < 0,03 und 33,56 µg/l. Das arithmetische Mittel beträgt 0,47 µg/l. Unter dem Grenzwert der TVO von 0,20 µg/l liegen 259 Analysen. Über dem TVO-Grenzwert wurden zwischen 0,20 µg/l und 1,0 µg/l 34 Analysen und 19 Werte größer als 1,0 µg/l ermittelt. Die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen in den 8 Messreihen wurden in Abbildung V.3.10.2 dargestellt.

Insgesamt verteilten sich die PAK-Konzentrationen wie folgt:

111 Messstellen	zeigen Konzentrationen	< 0,3	µg/l
122 Messstellen		0,01 - < 0,1	µg/l
26 Messstellen		0,1 - < 0,2	µg/l
14 Messstellen		0,2 - < 0,29	µg/l
4 Messstellen		0,3	µg/l
16 Messstellen		0,31 - < 0,5	µg/l
14 Messstellen		0,5 - < 1,0	µg/l
16 Messstellen		1,0 - < 5,0	µg/l
3 Messstellen		> 5,0	µg/l

Prozentual stellen sich die Ergebnisse (s. Abb. V.3.10.3 ) wie folgt dar:

34,1 %	nicht nachweisbar (n.n.)
37,4 %	n.n. bis < 0,1 µg/l
8,0 %	0,1 bis < 0,2 µg/l
14,7 %	0,2 bis < 1,0 µg/l
5,8 %	>1,0

PAK µg/l	Anzahl der Messwerte					Summe	PAK µg/l	Prozentwerte				
	n.n.	n.n. - < 0,1	>= 0,1 - < 0,2	>= 0,2 - < 1,0	>= 1,0			n.n.	n.n. - < 0,1	>= 0,1 - < 0,2	>= 0,2 - < 1,0	>= 1,0
Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet		Meßreihe	unbelastet	gering belastet	mäßig belastet	stark belastet	sehr stark belastet
Apr 96							Apr 96					
Jul 96							Jul 96					
Nov 96							Nov 96					
Apr 97							Apr 97					
Jul 97	111	122	26	48	19	326	Jul 97	34.05	37.42	7.98	14.72	5.83
Nov 97	5	12	10	16	8	51	Nov 97	9.80	23.53	19.61	31.37	15.69
Apr 98	5	12	6	18	10	51	Apr 98	9.80	23.53	11.76	35.29	19.61
Jul 98	2	7	7	17	19	52	Jul 98	3.85	13.46	13.46	32.69	36.54
Nov 98							Nov 98					
Summe	123	153	49	99	56	480	Summe	25.63	31.88	10.21	20.63	11.67

An 9 dieser Messstellen wurden Konzentrationen > 2 µg/l, d.h. größer Stufe-2-Wert Bay. Altlastenleitfaden bzw. Einstufung als Extremwert, festgestellt.

Die räumliche Verteilung der PAK-Gehalte zeigt die grafische Auswertung der Messung vom Juli 1997. Diese Abbildung (V.3.10.1) verdeutlicht die ungleichmäßige, punktuelle Verteilung der deutlich belasteten Messstellen mit Werten über 1,0 µg/l, d.h. räumliche Belastungsschwerpunkte kristallisieren sich nicht heraus. Allenfalls unter Einbeziehung der leicht erhöhten PAK-Gehalte zwischen 0,2 µg/l und 1,0 µg/l lässt sich ein Schwerpunkt im nördlichen Stadtgebiet (Bereich der Altstadtstufe) feststellen. Nach einer in den folgenden Messreihen stufenweisen Reduzierung der auf PAK zu analysierenden Messstellen wurden letztlich nur noch 29 Pegel bei den Untersuchungen berücksichtigt, die entweder schon deutlich belastet waren oder bei denen ein entsprechender Verdacht bestand (Abb. V.3.10.4 ).

Bei längerer Beobachtung der 9 deutlich kontaminierten Messstellen fällt auf, dass die PAK-Gehalte von Messung zu Messung teilweise sehr stark schwanken.

Die Differenzierung der PAK-Gehalte von 19 belasteten Pegel (Werte über 1,0 µg/l) der Gesamtmesung vom Juli 1997 hinsichtlich der beteiligten Einzelparameter ergab, dass die Stoffe Fluoranthen, Pyren und Benzo(b)fluoranthen in fast jeder Messung auftraten und zusammen mit vier weiteren Parametern (Chrysen, Benzo(a)anthracen, Indeno(123-cd)pyren und Benzo(a)pyren) den Hauptbeitrag zur Gesamtkonzentration lieferten. Weniger häufig traten PHT, BKT und BGP auf, während die restlichen der 16 EPA-PAK nur vereinzelt zur Gesamtkonzentration beitrugen.

### V.3.11 Pflanzenschutzmittel (PSM)

In der letzten, neunten Messreihe wurden erstmals alle 329 Grundwasserproben auf Pflanzenschutzmittel gemäß der F-12-Liste (s. Anhang) sowie ausgewählte Pegel zusätzlich auf Lindan (12 Pegel), Glyphosat (29 Pegel) und AMPA (29 Pegel) hin untersucht.

Werden die untersuchten Grundwasserproben nur hinsichtlich des PSM-Summenwertes gemäß TVO (**Grenzwertes von 0,5 µg/l**) betrachtet, so überschreiten lediglich 6 Messstellen diesen Grenzwert (Abb. V.3.11.1 ). Unter Einrechnung aller Einzelparameter der F-12-Liste zum Summenwert liegen die Konzentrationen jedoch bei 14 Pegeln über 0,5 µg/l (Abb. V.3.11.2 ). Bei Berücksichtigung auch der verschiedenen Pflanzenschutzmittel-Einzelparameter und unter Zugrundelegung des Grenzwertes von **0,1 µg/l je Einzelsubstanz** fällt das Ergebnis deutlich schlechter aus.

Wie die jeweiligen Darstellungen der Belastungen des Grundwassers durch Atrazin, Desethylatrazin, Diuron und Simazin (Abb. V.3.11.3-6 ) belegen sind deutlich mehr Messstellen durch diese Pflanzenschutzmittel beeinträchtigt und überschreiten den jeweiligen Grenzwert von 0,1 µg/l der TVO für die Einzelparameter. Während bei Betrachtung nur des Summengrenzwertes lediglich 6 bzw. 14 Messstellen als belastet anzusehen wären, überschreiten bei Atrazin 22 Pegel, bei Desethylatrazin 23, bei Diuron 26 und bei Simazin sogar 54 Messstellen den Grenzwert für die Einzelparameter . Unter Berücksichtigung, dass in einigen Pegeln mehrere PSM-Einzelstoffe relevant sind, sind letztlich immer noch 79 verschiedene Messstellen durch PSM kontaminiert, d.h. der Grenzwert von 0,1 µg/l wird überschritten. Von diesen zeigen 55 Messstellen Einzelparameterkonzentrationen zwischen 0,1 -0,2 µg/l; 10 Messstellen zwischen 0,2 - 0,3 µg/l; 8 Pegel zwischen 0,5 - 1,0 sowie 6 Pegel Konzentrationen über 1,0 µg/l.

Es zeigt sich also, dass das Grundwasser hinsichtlich der PSM-Einzelparameter noch (?) erheblich beeinträchtigt ist. Der bedeutsamste Einzelparameter davon ist Simazin. Simazin wurde bereits an über 40 % der Messstellen nachgewiesen. An über 16 % der Messstellen wurde der TVO-Einzel-Grenzwert von 0,1 µg/l überschritten. Weitere relevante Pflanzenschutz-Einzelparameter sind insbesondere Desethylatrazin, Atrazin und Diuron, die jeweils an über 16% aller Messstellen nachgewiesen wurden und bei jeweils über 6,5 % aller Pegel den TVO-Grenzwert übersteigen. In der unten stehenden Tabelle sind die verschiedenen PSM-Einzelparameter hinsichtlich ihrer Relevanz ausgewertet dargestellt.

Werden alle Pflanzenschutz-Einzelparameter zusammen betrachtet, ergibt sich folgendes Bild:

- an 158 Messstellen ( 48 %) wurden keine Pflanzenschutzmittel festgestellt
- an 171 Messstellen wurden Pflanzenschutzmittel nachgewiesen
- Werden hinsichtlich der Summe der Pflanzenschutzmittel alle untersuchten Einzelparameter berücksichtigt, wird der einschlägige TVO-Summengrenzwert von 0,5 µg/l bei 15 Pegeln ( ca. 5% der untersuchten Messstellen) überschritten.

Die räumliche Verteilung der Grundwasserbelastung durch die Pflanzenschutzmittel zeigt die Abb. V.3.11.7. Hier sind sowohl die Pegel mit Überschreitung des TVO-Summengrenzwert von 0,5 µg/l als auch diejenigen dargestellt, bei denen die Konzentration der jeweiligen Einzelparameter den Grenzwert von 0,1 µg/l übersteigt.

# PSM - Belastung

Summenwerte gemäß TVO  
(6 Parameter)

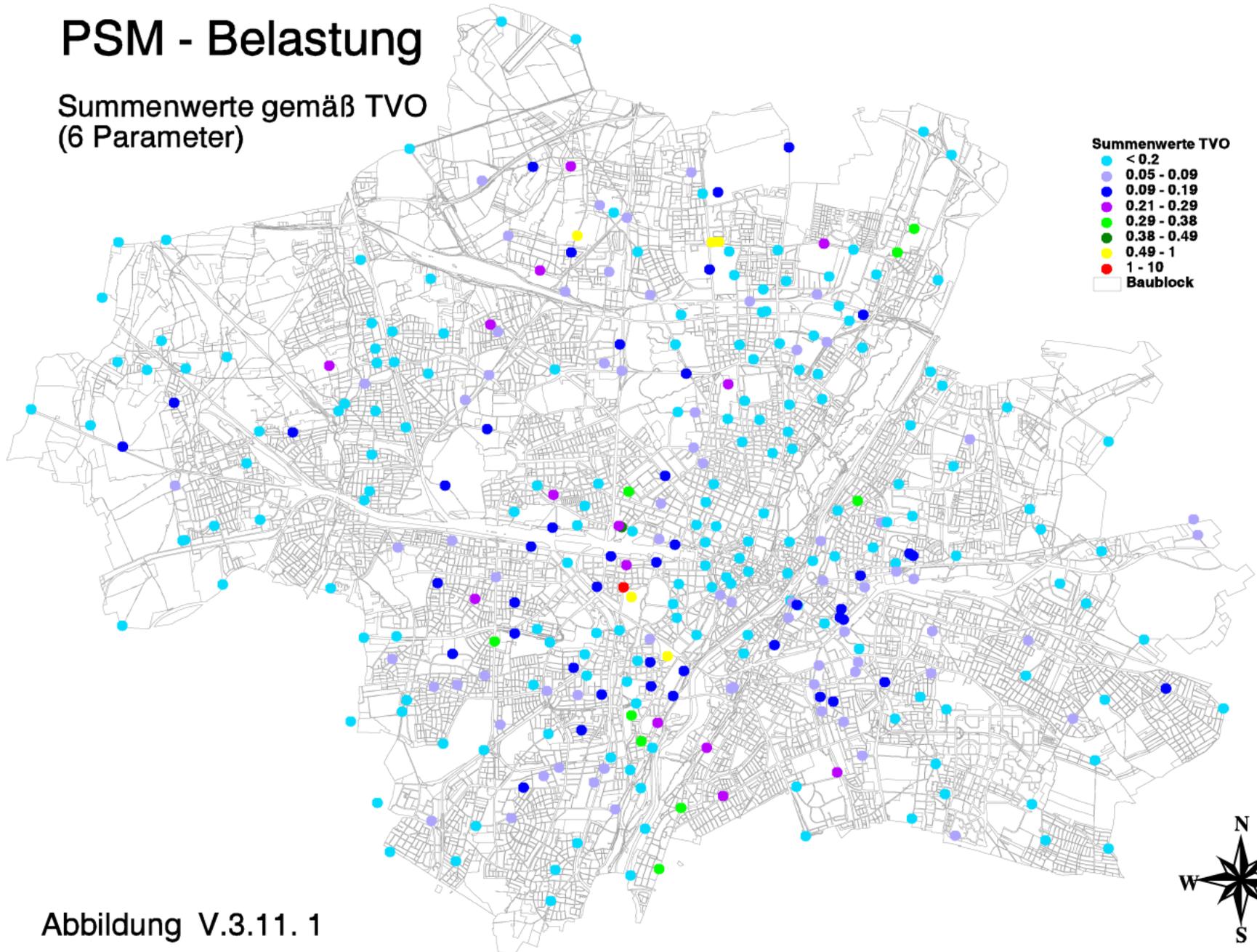


Abbildung V.3.11.1

# PSM - Belastung

Summenwerte der F12 -  
Parameter

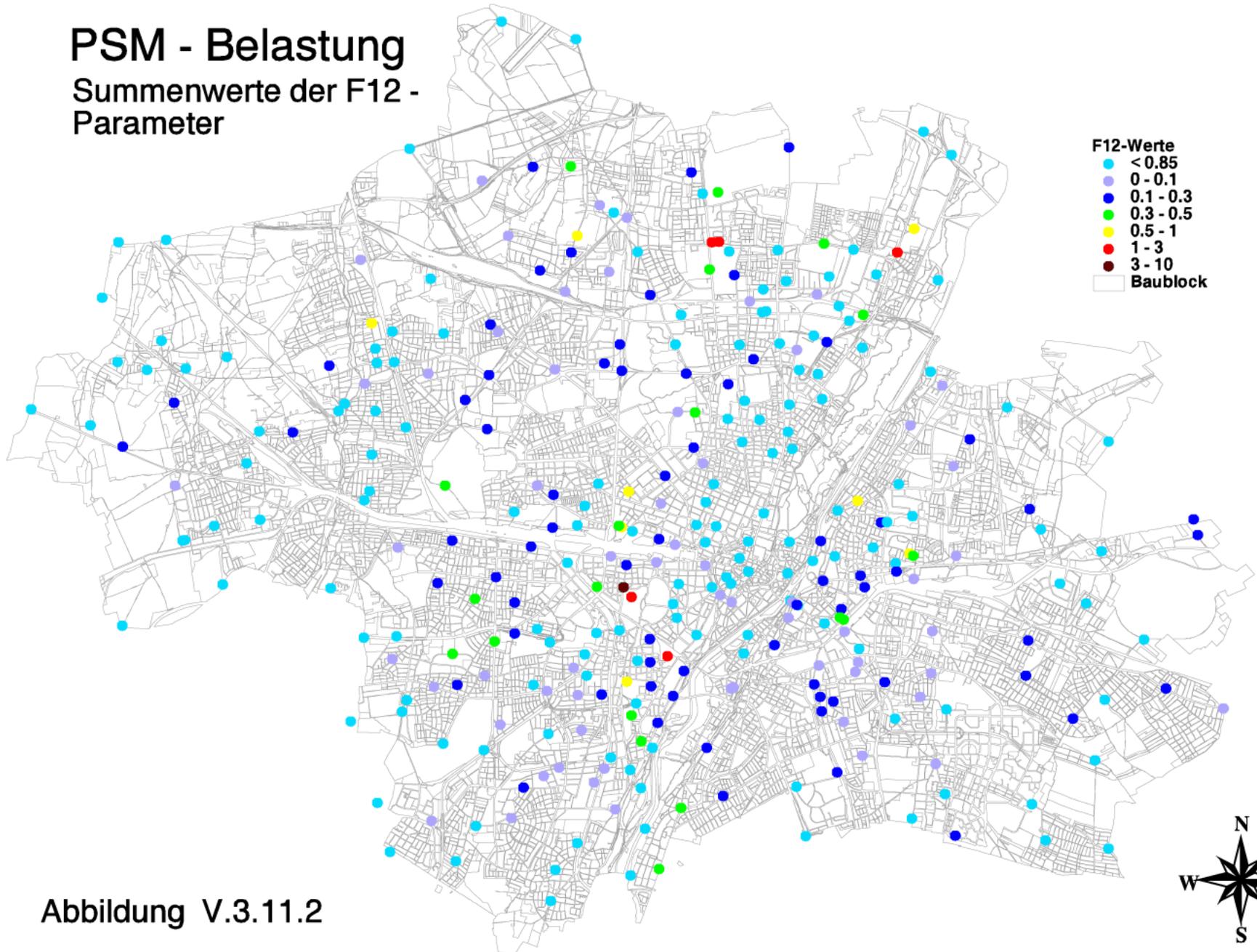


Abbildung V.3.11.2

# PSM - Belastung

## Atrazin

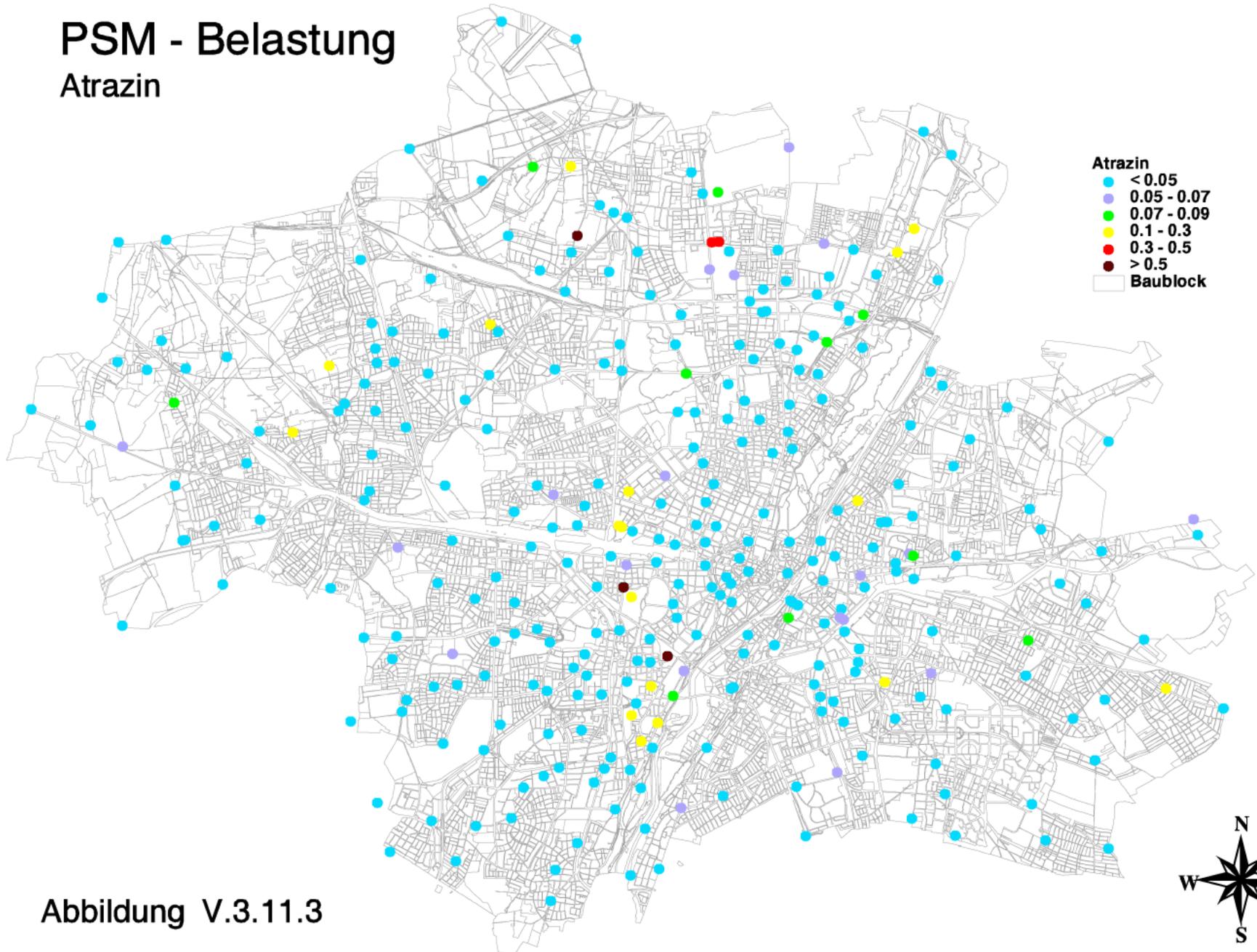


Abbildung V.3.11.3

# PSM - Belastung

## Desethylatrazin

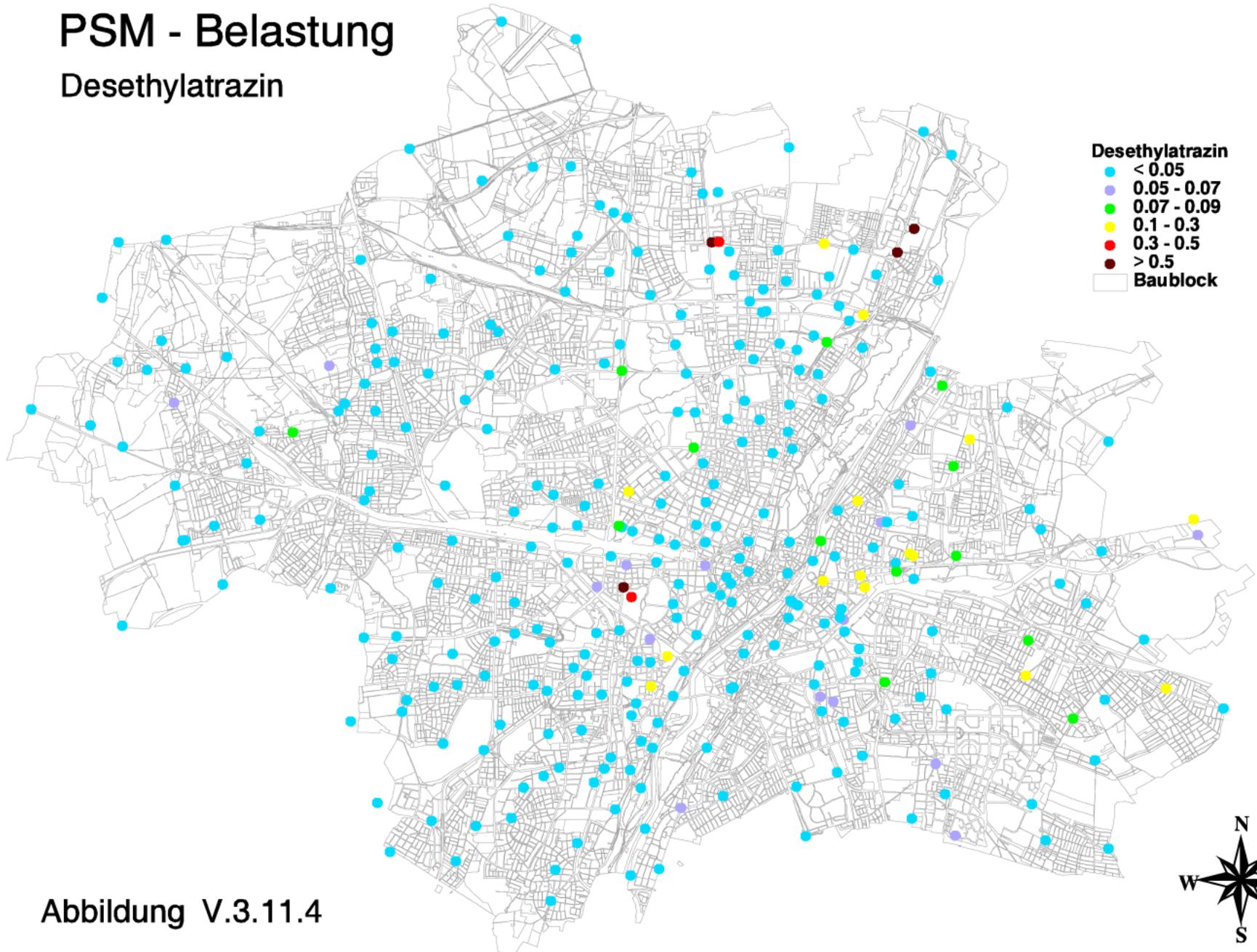


Abbildung V.3.11.4

# PSM - Belastung

## Diuron

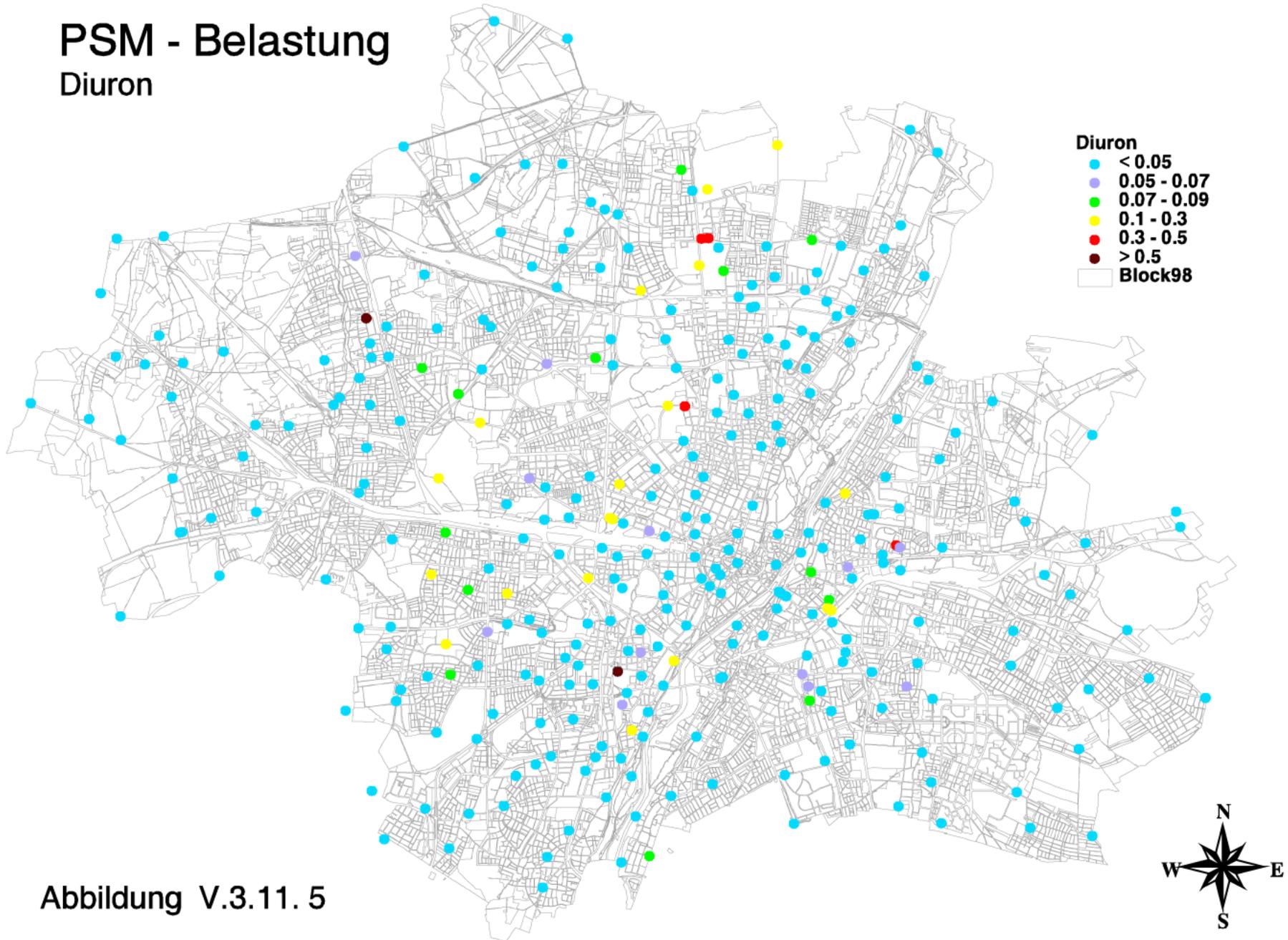


Abbildung V.3.11.5

# PSM - Belastung Simazin

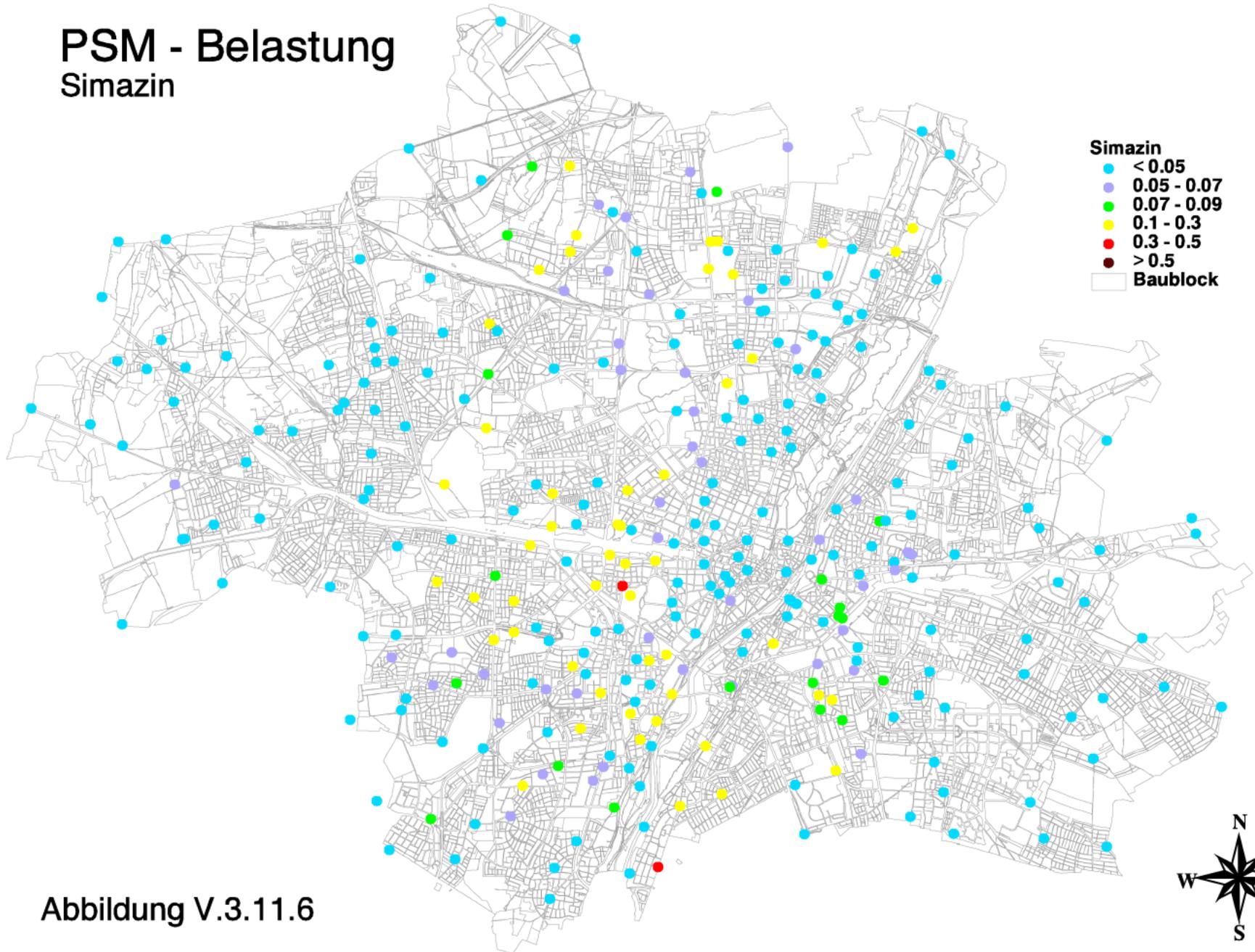


Abbildung V.3.11.6

# PSM - Belastung

Verteilung der Grenzwert-  
überschreitungen

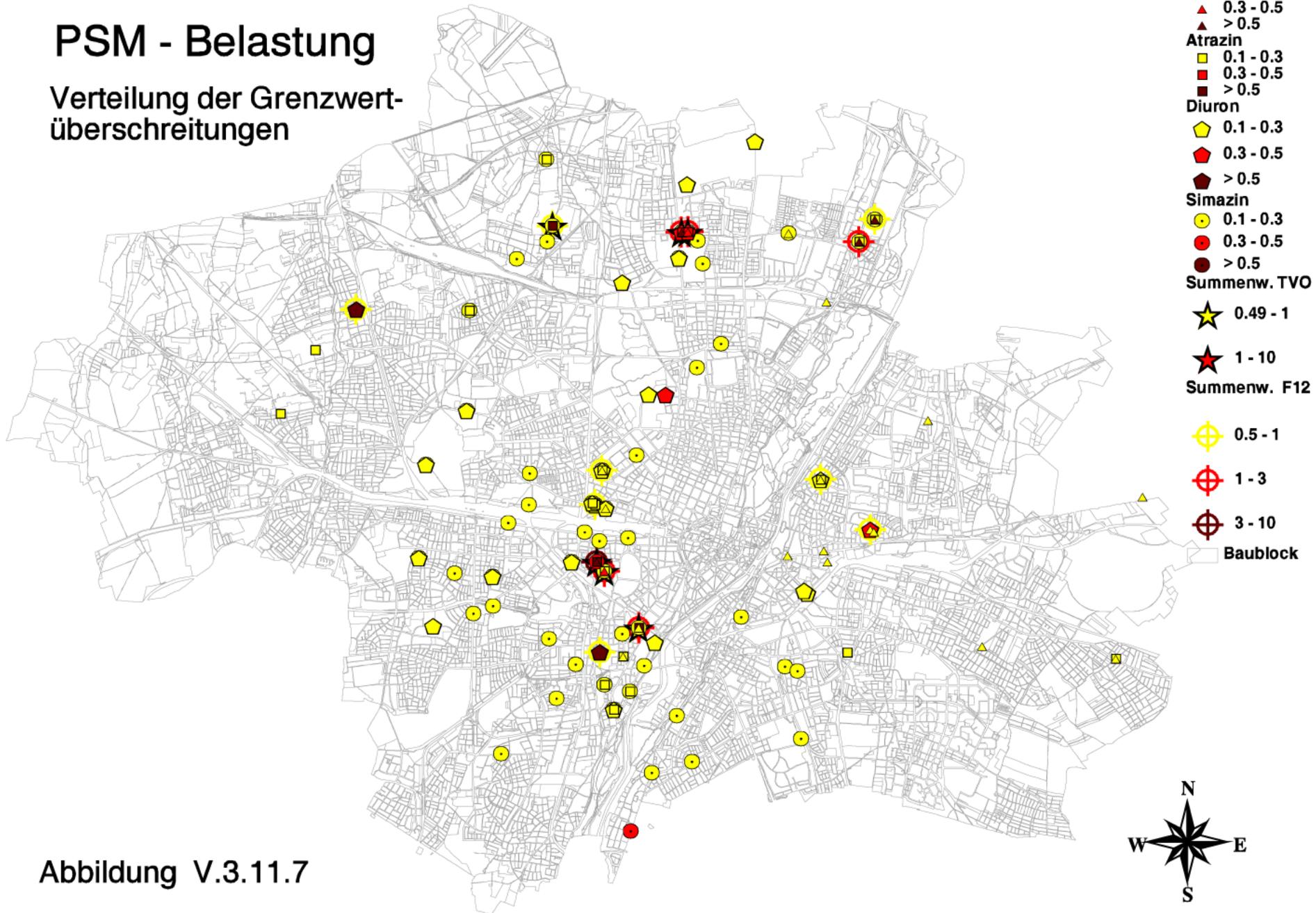


Abbildung V.3.11.7



Strasse	Lage	TVO	F12	SIM	ATR	DESE	DIU
Rathenauerstr.	(Kasernengelände) ehem.	URP 81 URP 83					
Feldmochinger Str.	Nähe Fasenerieweg Parkplatz ?	KP 671	KP 671	KP 671	KP 671		
Georg Freundorferpl.	Trambahnwendeschleife	U5 275	U5 275	U5 275	U5 275		
Altes Messegelände		U5 271					
Thalkirchnerstr.	Gleisanlagen/ Großmarkthalle	NS 866					
Großlappen	Bereich Kläranlagen		KP 634 H	KP 634 H	KP 634 H	KP 634 H	
Kleinlappen			KP 471	KP 471	KP 471	KP 471	
Esmachstr./Kirschstr.	Allach - Sportplatzabstrom ?		KP 171				KP 171
Herkomerplatz	Trambahn		U9 127		U9 127	U9 127	U9 127
Stuntzstr./Bogenhausen	zwischen Kirchengelände und Schule		URP 432			URP 432	URP 432
Nähe Kidlerplatz	Schulgelände		KP 310				KP 310
Arnulfstr.	Abstrom DB Abstrom Daimler Benz		KP 323	KP 323	KP 323		KP 323
Jutastr./Neuhasen	(Schulgel.i.d.Alfonsstr.)		U1 138				
Arnulfstr.	Abstrom DB Abstrom Daimler Benz?			U1 134	U1 134		U1 134
Arnulfstr.	Abstrom DB Abstrom Großparkpl.für Busse			U1 132 H;T	U1 132 H;T	U1 132 H;T	U1 132 H;T
Akkermannstr.	Abstrom Busparkplatz						OGP 8
Akkermannstr.	Abstrom Waldmannkaserne/ Kleingartenanlage						KP 128

Strasse	Lage	TVO	F12	SIM	ATR	DESE	DIU
Stiftsbogen	Abstrom Schule/Kirche ?						U6 142
Camerloherstr.	Nähe Städt.Baumschule			U5 597			U5 597
Pogner-/Zennerstr.	Thalkirchen			U3 70	U3 70		U3 70
Schäftlarn Str.	Abstrom Kraftwerk Süd ?						KP 51
Ostbahnhof Orleansplatz	Trambahn Rondellanlagen? Abstrom Gleisanlagen						UP 252 H U5 25
Nymph.Park	An der Schlossmauer südl. Kleingartenanlage (Wege?)			KP1244			KP1244
Menzingerstr.	Parkplatz Abstrom Botanischer Garten Trambahnstrasse			U1 212			U1 212
Friedenheimerstr. Ecke Fachnerstr.	Abstrom Schule			U5 587			U5 587
Ingolstädter Str.	(Nähe Neuherberg) Ostrand Panzer Wiese						KP 940
SW-Ecke Panzer Wiese	Abstrom Schule ?						U8 1253
Schleissheimerstr./ Schätzweg	Sportplatz						U8 1075
Riedlerstr./Gießbergweg	Sportplatz/Kleingartenanl.			U5 610			U5 610
Schittgablerstr.	Gleisanlagen/ Fa.Knorrbremse Abstrom Hochschulportanl.						KP1347
Geisel-Gasteig-Str./ Meichelbeckstr.	Trambahntrasse			U8 580			
Theodorlindenplatz	Trambahntrasse Abstrom Krankenhaus-Harlaching Parkplätze			U8 538			
Naupliastr./Griechenstr.				U8 500			
Harlachingerstr.	Sportplätze TSV 1860 Abstrom Orthopäd.Klinik, Parkpl.			U8 556			
Neuhofer Berg	Parkanlage, Kleingarten			U3 2	U3 2		

Strasse	Lage	TVO	F12	SIM	ATR	DESE	DIU
Luitpoldpark/ Georgenschwaige	Abstrom ?; Wege ?; Schule			OSA 102			
Freiligrathstr.	Abstrom Georgenschwaige Georgenschwaige Bad			OS 115			
Friedbergerstr.	Abstrom Schule im S?			U5 554			
Fürstenriederstr.	(Nähe Westpark) Abstrom Schule			U6 103			
Westendstr. südl.Lindauer Autobahn	Abstrom Schule/Albertinium			U6 37			
Nähe Schinderbrücke/ Schäftlarnstr.	Abstrom Sportplatz Abstrom Parkplatz			U3 55	U3 55		
Schäftlarnstr.	HKW Süd bzw Großmarktgelände			BP 41			
Landsbergerstr.	Abstrom Opel Häusler/ Gewerbehof			KP 310			
Westendstr./ Ganghoferstr.	Abstrom Gollierpl. St.Kiliansplatz (Kirche) Schule			U5 278			
Landsberger/ Theresienhöhe	Abstrom?? Georg-Freundpl.?			U5 234			
Birketweg	Abstrom DB			U1 117			
Trojanostr.	Abstrom Schule (Hirschgarten)			URP 479			
Ohlauerstr.	Abstrom ?			KPA 134	KPA 134		
Frankfurter Ring	Abstrom Bayern-Kaserne Sportanlage			U8 1082		U8 1082	
zwischen Hammerschmidstr. u.Karlsfelderstr.	Abstrom Friedhof u.Parkplatz			KP 199	KP 199		
Kirchseeoner Str.	Abstrom/Schule				U8 450		
Wasserburger Landstr.	Abstrom Schulgelände nähe Sportplatz				KP 702	KP 702	
Pasinger Heuweg	Abstrom Parkplatz Lotsendienst BAB Stuttgart Campingplatz				KP 1075		
Bergsonstr./Alte Allee	Friedhof Obermenzing				U5 640 H		
Gaissacherstr.	Abstrom Schule (?)				U3 10	U3 10	
St.Augustinusstr./ Bajuwarenstr.	Ursache ?					KP 220	
Max-Weber-Platz	Abstrom ehem.Tramdepot					U5 69	
Grillparzerstr./ Einsteinstr.	Abstrom DB Straßenbahndepot					U9 31	
Haidhauserstr.	Abstrom DB					U9 34	
Stuntzstr./Gotthelfstr.	Abstrom Kirchengel. Abstrom DB					URP 434	
Knappersbuschstr.	Berufsbildungswerk/Schule Abstrom Fideliopark					KP 677	
Riem	Kleingärten / Abstrom Umschlagbahnhof M-Riem					URPA 283	
Freimanner Bahnhofstr.	Abstrom Kaserne					KP 463	

Die Untersuchungen auf Pestizide ergaben somit Hinweise auf mehrfach deutlich erhöhte Gehalte an Pflanzenschutzmitteln im unmittelbaren Abstrom unversiegelter Verkehrsflächen und Anlagen. Auch über größere Distanzen im Grundwasserabstrom lassen sich z.T. noch erhöhte Werte nachweisen und zeigen damit eine entsprechende Fahnenbildung an. Eine durchgehende flächenhafte Belastung des Grundwassers im Abstrom derartiger Verkehrsflächen ist nicht festzustellen.

Die oberstromig gelegenen Messstellen zeigen grundsätzlich wesentlich geringere PSM-Gehalte mit Summenkonzentrationen kleiner 0,1 µg/l.

Bei den jeweils erhöhten PSM-Gehalten handelt es sich vorwiegend um die Totalherbizide Atrazin Diuron, und Simazin, - Wirkstoffe die weit überwiegend zur Bewuchsfreihaltung u.a. in Gleisbereichen eingesetzt werden bzw. wurden. Simazin und Diuron wurden in der Vergangenheit häufig auch im Haus- und Gartenbereich auf Wegen und Plätzen eingesetzt. Die Anwendung ist inzwischen jedoch stark reduziert worden.

Der vergleichsweise hohe Anteil von Desethylatrazin, das ein Abbauprodukt von Atrazin ist, lässt auf länger zurückliegende Einträge schliessen, obwohl trotz des Verbotes auch widerrechtliche Einsätze nicht auszuschliessen sind. Diese Wirkstoffe werden nur langsam abgebaut und zeigen erfahrungsgemäss auch nach mehreren Jahren nur eine geringe Abnahme der Konzentration, d.h. sie bleiben noch lange Zeit nach Beendigung der eigentlichen Einträge nachweisbar.

Die Untersuchungen des Grundwassers auf Lindan blieb auf Bereiche beschränkt, in denen in der Vergangenheit möglicherweise eine verstärkte Borkenkäferbekämpfung durchgeführt wurde. In München trifft dies vor allem auf den Süden der Stadt, den Perlacher und Truderinger Forst sowie den Forstenrieder Park zu. Daher wurden am südlichen Stadtrand eine Reihe von 12 speziell ausgewählten Pegeln auf Lindan hin analysiert. Die Ergebnisse ergaben keinerlei Hinweise auf eine Lindanbeeinflussung des Grundwassers. Alle Werte lagen unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l.

Tab. V.3.11: Darstellung der Ergebnisse und Überschreitungen der TVO-Grenzwerte von Pflanzenschutzmittel - Einzelparametern

Parameter	Abkürzung	Anzahl beprobte Pegel	Anzahl Pegel < NWG	Anzahl Pegel > NWG	Pegel > NWG in % der beprobten Pegel	Anzahl Pegel > 0,1 µg/l	Pegel > 0,1 µg/l in % der beprobten Pegel
Desethylatrazin	DESE	329	274	55	16,7 %	23	7,0 %
Metoxuron	METX	329	328	1	0,3 %	1	0,3 %
Hexazinon	HEXA	329	329	-		-	
Simazin	SIM	329	197	132	40,1 %	54	16,4 %
Cyanazin	CYAN	329	329	-		-	
Methabenzthiazuron	METH	329	329	-		-	
Chlortoluron	CHTO	329	329	-		-	
Atrazin	ATR	329	266	63	19,1 %	22	6,7 %
Monolinuron	MOLI	329	329	-		-	
Diuron	DIUR	329	270	59	17,9 %	26	7,9 %
Isoproturon	ISOP	329	329	-		-	
Metobromuron	METB	329	329	-		-	
Metazachlor	META	329	328	1	0,3 %	-	
Sebutylazin	SYL	329	325	4	1,2 %	1	0,3 %
Terbutylazin	TYL	329	314	15	4,6 %	6	1,8 %
Linuron	LINU	329	329	-		-	
Metolachlor	METL	329	329	-		-	
AMPA	AMPA	29	27	2	6,9 %	2	6,9 %
Glyphosat	GLYP	29	28	1	3,4 %	1	3,4 %
Lindan	LIN	12	12	-		-	

### V.3.12 Sauerstoffgehalt

Für die Sauerstoffgehalte wurde ein Beurteilungswert vom 2,0 mg/l herangezogen, da erfahrungsgemäss bei Analyseergebnissen von weniger als 2,0 mg/l ein starkes Sauerstoffdefizit vorliegt, das auf mögliche Verunreinigungen schliessen lässt.

Die Sauerstoffgehalte des Grundwassers variierten im Stadtgebiet während der 8 Messzyklen zwischen 0,16 mg/l und 12,2 mg/l, bei einem Mittelwert von ca. 7,18mg/l. Bei der weitaus überwiegenden Zahl der Analysen lagen die Ergebnisse deutlich über dem Wert von 2,0 mg/l. Lediglich in 7 von den ca. 330 Messstellen wurde dieser Grenzwert von 2,0 mg/l in 4 von 8 Messreihen und in weiteren 13 Pegeln sogar in fast allen Messreihen unterschritten (s. Abb. V.3.12.1 ), d.h. in diesen Pegeln liegen deutlich reduzierte Verhältnisse vor.

Die Lage dieser Pegel und die räumliche Verteilung der ermittelten Sauerstoffgehalte sind am Beispiel der Messung vom Juli 1998 in Abb. V.3.12.2 dargestellt. Auffällig ist die Massierung der Grenzwertunterschreitungen einmal im engeren Bereich der Innenstadt sowie zum zweiten parallel der Isar im Bereich Thalkirchen.

### V.3.13 BTX

In der 7. Messreihe vom April 1998 (Abb. V.3.13.1 ) wurden erstmals alle 329 Messstellen auf BTX hin untersucht. Für die Beurteilung wurde der Stufe-1-Wert des Bayerischen Altlastenleitfadens von 30 µg/l herangezogen. Die Gehalte des Grundwassers an BTX schwanken zwischen kleiner Nachweisgrenze ( < 5µg/l) und maximal 125,31 µg/l, bei einem Mittelwert von ca.6,09 µmg/l.

Bei den untersuchten 329 Pegeln lagen in 314 Pegeln die Messwerte unter der Nachweisgrenze von 5 µg/l bzw. entsprachen diesem Wert. 11 Messstellen zeigten Werte zwischen 5 µg/l und 20 µg/l. Der Stufe-1-Wert von 30 µg/l wurde in 4 Messstellen überschritten.

Die Lage und Grösse der im April 98 ermittelten BTX - Gehalte (Werte grösser bzw. gleich der Nachweisgrenze), sowie die prozentuale Zusammensetzung der Einzelparameter Benzol, Toluol und Xylol zeigt die Abbildung V.3.13.2 (Prozentuale BTX-Zusammensetzung):

14	Pegel	Werte	= 5 µg/l
7	Pegel	Werte	5 - 10 µg/l
3	Pegel	Werte	10 - 15 µg/l
1	Pegel	Werte	15 - 20 µg/l
1	Pegel	Werte	45 - 50 µg/l
3	Pegel	Werte	> 50 µg/l

Die belasteten Pegel wurden im Juli 1998 erneut hinsichtlich ihrer Belastung überprüft. Während die Ergebnisse der im April stark durch BTX belasteten Pegel in der Julimessung in den meisten Fällen sich nicht wiederholten, zeigten zuvor un- bzw. geringbelastete Messstellen eine deutliche Erhöhung der BTX-Gehalte an. Die höchsten Werte der Julimessung (z.B. Pegel KP1182 H und T) gingen auf einen Unfall vom Frühjahr 1998 zurück.

### V.3.14 Sonstige

Neben diesen flächigen Untersuchungen aller Pegel des Messnetzes, wurden bei speziell ausgewählten Pegeln weitere zusätzliche Parameter analysiert, um einen möglichen Verdacht auf Verunreinigungen zu verifizieren.

Eine Belastung des Grundwassers durch Metalle bzw. Schwermetalle ist im Stadtgebiet insgesamt zum überwiegenden Teil nicht nachweisbar, d.h. die ermittelten Werte für die einzelnen Parameter lagen unter den Nachweisgrenzen. Nur in wenigen einzelnen Messstellen wurden punktuell erhöhte Schwermetallgehalte vorgefunden.

# O2 - Verteilung

Grenzwert-  
unterschreitungen (GWU)

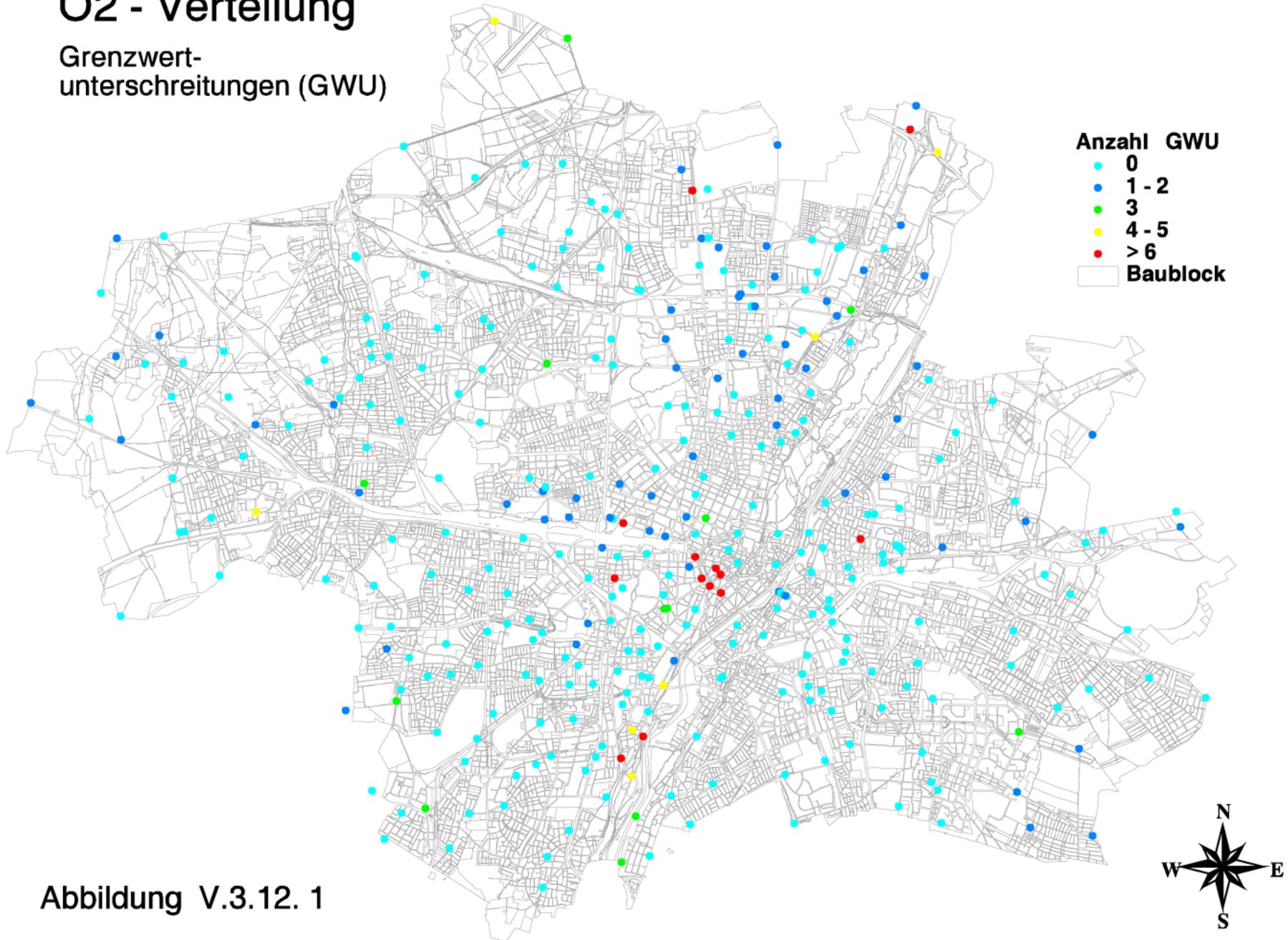


Abbildung V.3.12. 1

# O2 - Verteilung

Juli 98 und arithmetisches  
Mitteler Messreihen 1-8

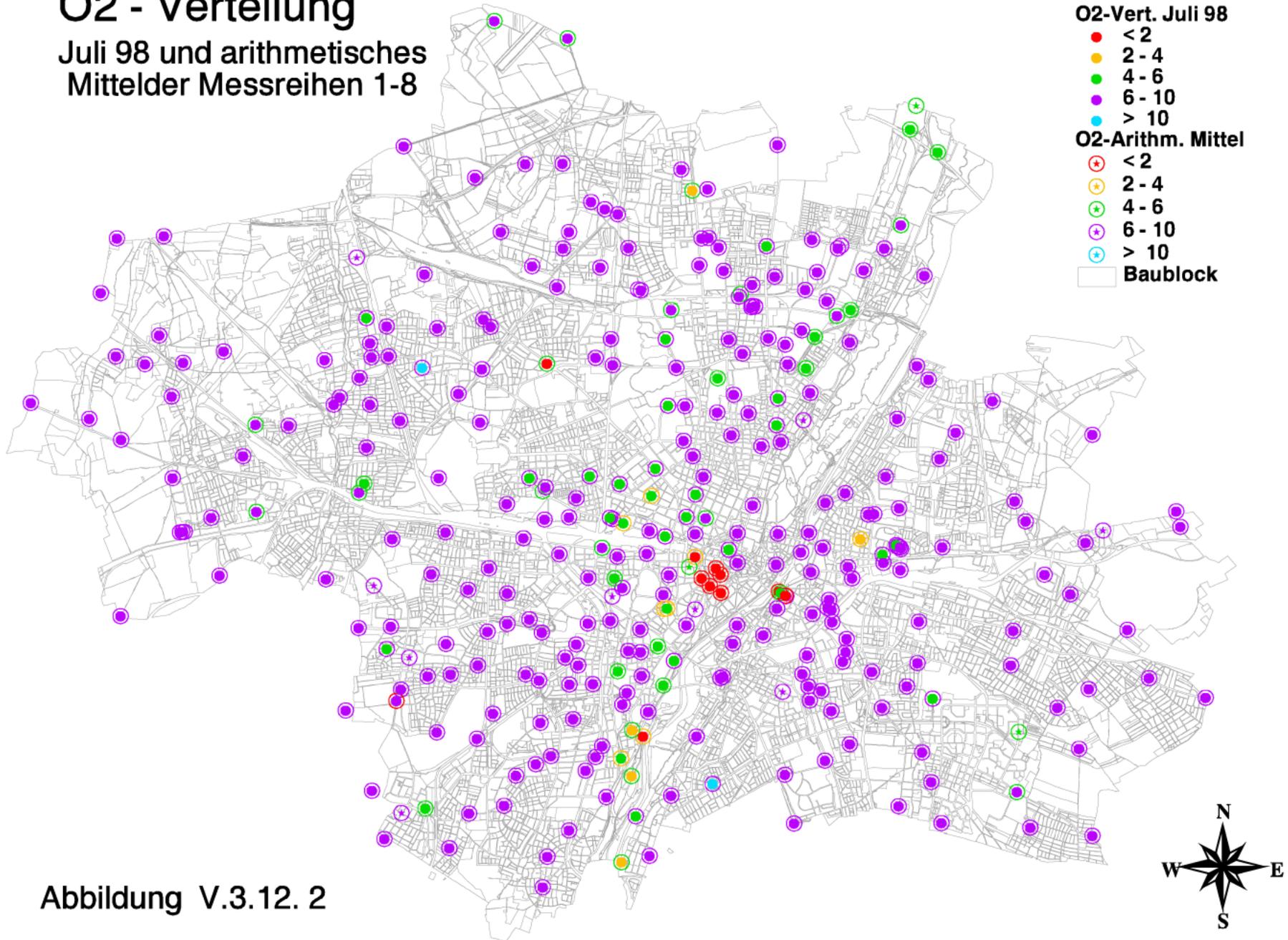


Abbildung V.3.12. 2

# BTX-Belastung

April 98

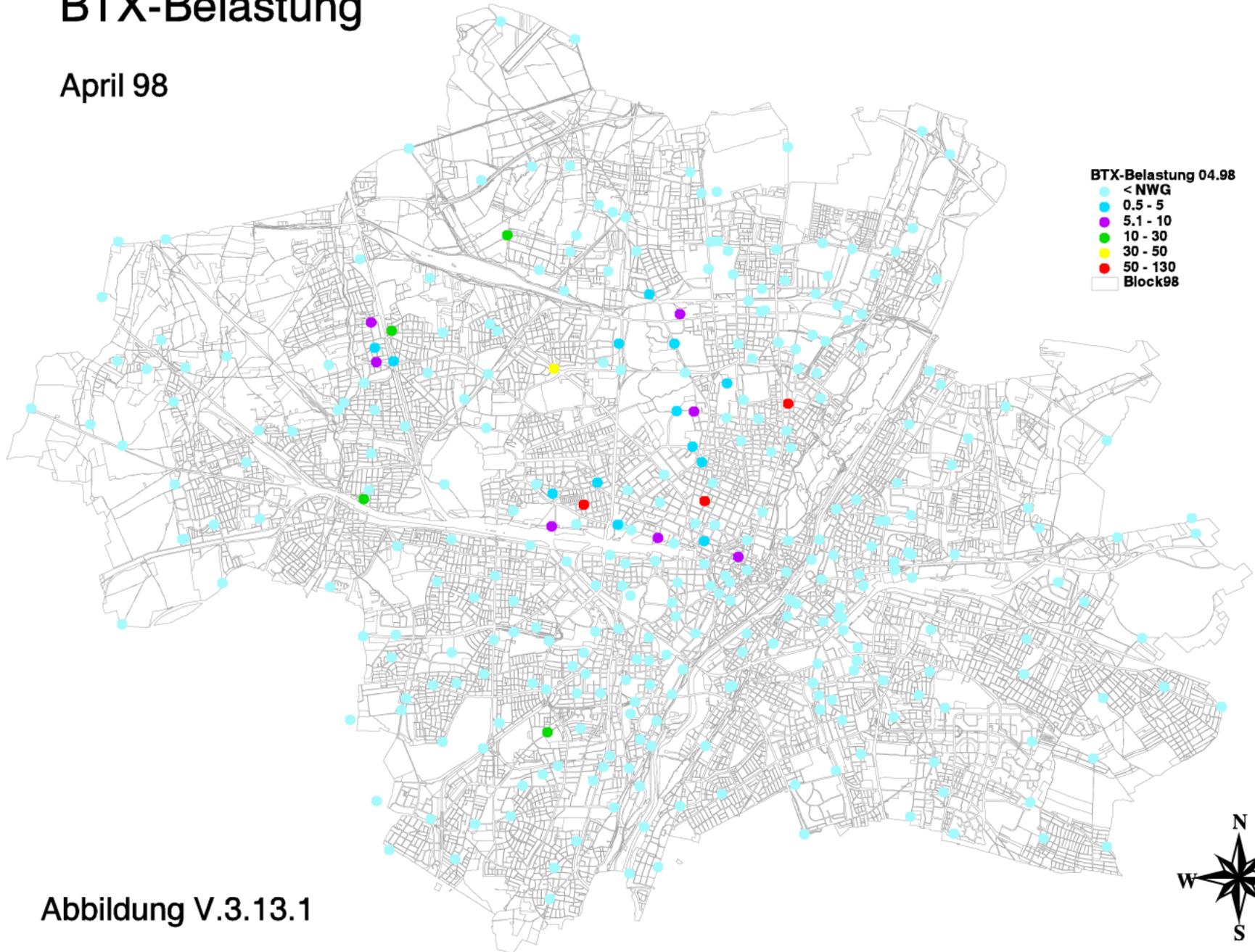


Abbildung V.3.13.1

# BTX - Belastung

Prozentuale Zusammen-  
setzung

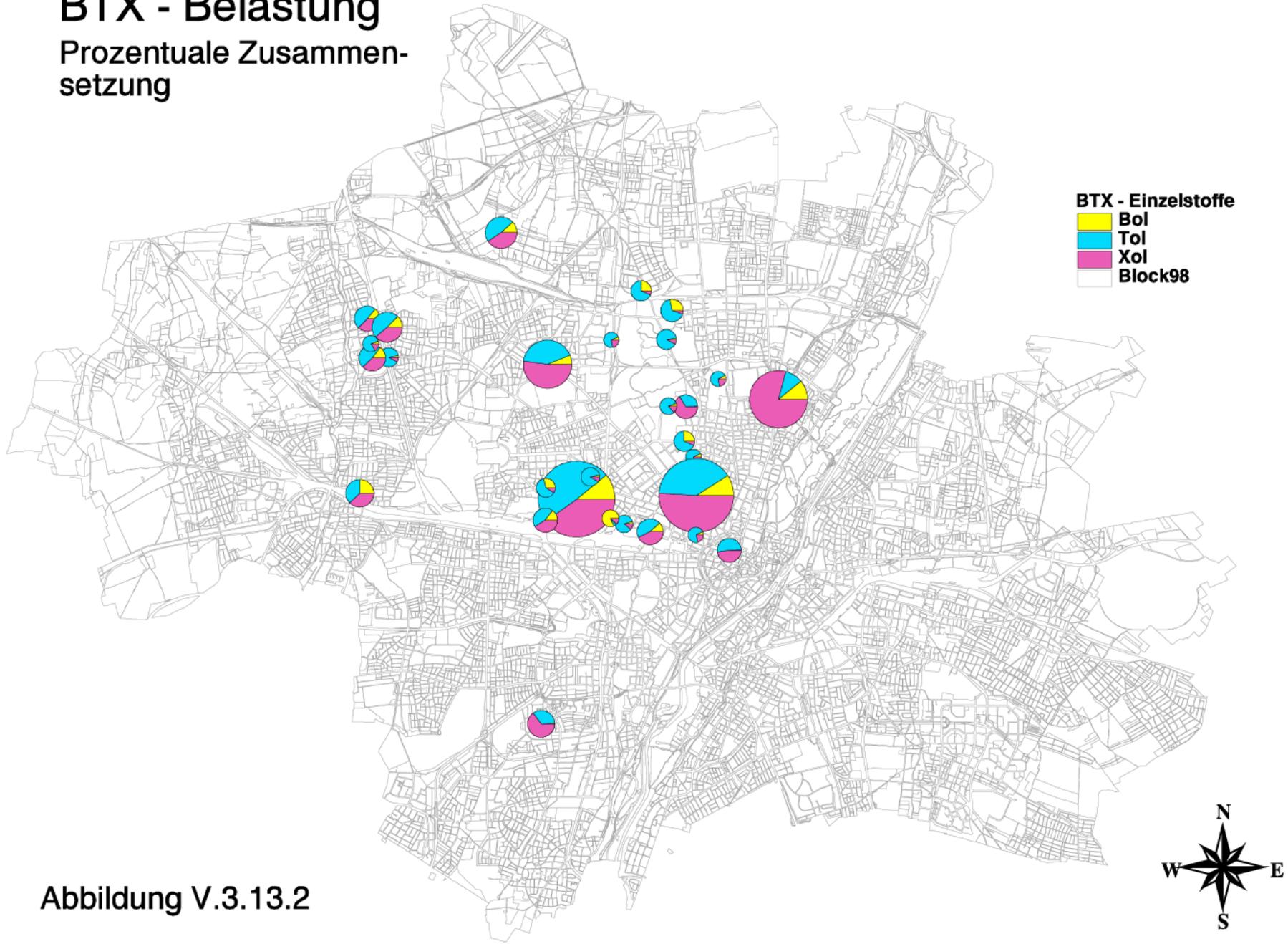


Abbildung V.3.13.2

Der Gehalt an den "toxischen Schwermetallen" Chrom, Cadmium und Blei liegt mit wenigen Ausnahmen unterhalb des jeweiligen Grenzwertes nach TVO (Chrom: 0,05 mg/l; Cadmium: 0,005 mg/l; Blei: 0,04 mg/l). Die erhöhten Schwermetallbelastungen fanden sich vor allem im Bereich bekannter Altlasten.

Die Metalle Kupfer, Zink und Eisen werden als "unerwünschte Stoffe" behandelt. Für diese Stoffe sehen die TVO und die EG-Richtlinie mit Ausnahme für Eisen (TVO-Grenzwert = 0,2 mg/l) lediglich Richtwerte vor: Kupfer TVO-RW: 3 mg/l, EG-R: 0,1 mg/l; Zink TVO-RW: 5 mg/l, EG-R: 0,1 mg/l. Auch die Gehalte dieser "unerwünschten Stoffe" liegen zum überwiegenden Teil unter den Grenz- bzw. Richtwerten.

Die Eisengehalte schwankten zwischen <0,01 mg/l und 135,0 mg/l, bei 20 Überschreitungen des TVO-Grenzwertes von 0,2 mg/l, wobei in 4 Fällen eine Konzentration von mehr als 10 mg/l vorgefunden wurde. Die Kupferwerte lagen zwischen < 0,01 mg/l und 0,99 mg/l; während der EG-Richtwert 28 mal überschritten wurde, wurde der TVO-Richtwert bei keiner Messung erreicht. Die Zinkbelastung schwankte zwischen < 0,01 mg/l und 80,1 mg/l. Auch hier lag der größte Teil der Messungen unter dem TVO-Richtwert von 5 mg/l, während 10 Messungen diesen Richtwert überschritten (in 5 Fällen ergaben die Messungen erhöhte Werte zwischen 10 und 50 mg/l, in 3 weiteren über 50 mg/l).

Die vorgefundenen Analysewerte liegen für Kupfer zwischen < 0,002 und 0,005 mg/l, für Zink zwischen <0,005 und 0,88 mg/l und für Eisen unter der Nachweisgrenze. Auch die Gehalte dieser "unerwünschten Stoffe" liegen mit Ausnahme eines Zinkwertes im Bereich der Rathenaustraße, einer bekannten Altlast, unter den Grenz- bzw. Richtwerten.

Diese Analysenergebnisse der KW (Kohlenwasserstoffe) schwanken zwischen <0,01 und 0,29 mg/l bei einem Mittelwert von 0,03 mg/l. Lediglich 1 Ergebnis (0,29) überschreitet den TVO-Grenzwert von 0,01 mg/l. Auch dieser Wert wurde im Bereich der Altlast Rathenaustraße ermittelt.

## V.4 Zusammenfassende Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit im Stadtgebiet München

Unter Berücksichtigung aller Messergebnisse der ausgewerteten 8 Messreihen können zum einen die statistischen Eckwerte der einzelnen Messreihen - Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung -, zum anderen der **Gesamtuntersuchung** (für alle Messstellen) ermittelt werden. Aus den statistischen Werten der Gesamtuntersuchung (siehe Tabelle) ergeben sich u.a. die Schwankungen des Grundwasserchemismus im betrachteten Zeitraum, sowie die mittlere Zusammensetzung:

Statistische Werte aller Pegel nach acht Messreihen (2664 Untersuchungen):

	T/°C	ph	Lf. µS/cm	O2 mg/l	DOC mg/l	AOX µg/l	CKW µg/l	B mg/l	NH4 mg/l	CL mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l	CA mg/l	MG mg/l	NA mg/l	K mg/l	PAK µg/l
Minimum	4.70	5.51	205	0.16	0.18	10	0.10	0.01	0.01	0.62	0.47	0.50	19.00	3.58	3.00	0.34	0.01
Maximum	20.10	12.40	3355	12.20	85.00	640	879.27	1.02	5.20	21350.00	280.00	1100.00	222.00	45.00	241.00	41.00	33.56
Mittelwert	12.09	7.37	686	7.17	2.14	17	7.59	0.09	0.09	57.43	24.41	37.26	89.42	23.56	29.92	4.03	0.73
Stabwn	1.59	0.38	206	1.75	3.46	25	27.87	0.09	0.38	504.17	15.37	50.20	19.49	5.28	25.16	3.78	2.76

Beim Parameter Leitfähigkeit wurde der einzelne Extremwert von 53 000 µS/cm nicht in der Statistik berücksichtigt, da eine Verifizierung des Wertes in dieser Größenordnung mit weitem Abstand nicht erfolgen konnte. Es wurde daher der nächst kleinere Wert von 3355 µS/cm als Maximalwert herangezogen.

Zur Beurteilung der Grundwasserbelastung wurden u.a. die Normen der "EG-Richtlinie über Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch" 1980/778/EWG (kurz: EU-Richtwert) und die Trinkwasserverordnung (TVÖ) herangezogen, obwohl sie sich ursprünglich nur auf die Beurteilung von Trinkwasser im eigentlichen Sinne bezogen haben. Zusätzlich wurden die statistischen Daten denen des (fast) natürlichen Grundwassers gegenübergestellt. Daher wurden als Vergleichsdaten und Beurteilungsbasis die statistischen Eckwerte der sogenannten unbeeinflussten Messstellen am südlichen Stadtrand Münchens herangezogen:

Statistische Werte der "unbelasteten" Pegel nach acht Messreihen (2664 Untersuchungen):

	T/°C	ph	Lf. µS/cm	O2 mg/l	DOC mg/l	AOX µg/l	CKW µg/l	B mg/l	NH4 mg/l	CL mg/l	NO3 mg/l	SO4 mg/l	CA mg/l	MG mg/l	NA mg/l	K mg/l	PAK µg/l
Minimum	5.6	6.97	394	4.8	0.4	< 10	0.1	0.01	0.02	1.36	5.3	6	72	20	3	0.72	0.01
Maximum	13.8	7.86	710	10.4	12	18	2.93	0.8	0.22	38	36	28	113	28	33	4.26	1.6
Mittelwert	11.27	7.35	581	8.45	1.71	10.12	0.94	0.04	0.10	19.19	18.93	17.83	87.31	23.35	15.31	1.97	0.34
Stabwn	1.33	0.16	57	1.52	1.70	0.77	0.73	0.02	0.01	7.75	5.96	4.69	9.04	2.35	7.50	0.92	0.38

Die Ergebnisse der BTX- und PSM-Untersuchungen bleiben bei dieser Zusammenfassung unberücksichtigt, da diese Analytik auf BTX und PSM nur in jeweils einer Messreihe flächendeckend durchgeführt wurde.

Von den in den 8 ausgewerteten Messreihen untersuchten Grundwassermessstellen konnten bei 72,2 % keinerlei Überschreitungen der zugrundegelegten TVÖ-Grenz- bzw. EU-Richtwerte festgestellt werden. Bei 20,1 % der Messstellen wurde jeweils der Grenzwert bei einem Parameter und bei weiteren 7,7 % bei zwei oder mehr Parametern überschritten. Auch zwischen den einzelnen Messreihen variieren diese Prozentwerte nur geringfügig innerhalb weniger Prozentpunkte.

In der folgenden Tabelle sind die festgestellten Überschreitungen der Grenz- und Richtwerte fortlaufend für die bisherigen Messreihen parameterbezogen aufgeführt:

Parameter		Anzahl der Grenz-/Richtwertüberschreitungen je Parameter								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
T	1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PH	1)	5	5	3	2	1	2	3	2	1
LF	1)	5	2	2	1	1	1	3	3	0
O2	1)	8	8	12	6	9	8	8	10	6
DOC	1)	12	2	10	2	5	2	1	2	2
AOX	1)	9	8	8	10	10	5	14	9	23
CKW	1)	54	51	56	40	38	34	37	43	43
B	1)	1	0	0	0	0	0	1	1	0
CL	1)	8	7	4	5	2	1	2	2	2
NO3	1)	16	16	12	16	9	11	7	8	6

SO4	1)	1	1	1	1	0	2	1	1	1
CR	2)	1	2	2	2	2	2	2	0	0
CR6	2)	0	2	2	2	1	2	2	0	0
CU	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZN	2)	0	2	0	0	0	0	0	0	0
CD	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AS	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HG	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MN	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA	4)	0	1	0	0	1	0	0	0	0
K	4)	0	0	0	0	10	0	0	0	0
CN	2)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
KMN	2)	0	1	0	0	0	0	0	0	0
NH4	3)	0	1	0	4	3	6	5	4	6
PAK	4)	4	2	6	5	67	24	28	36	13
KW	2)	1	10	8	4	7	6	11	9	4
BTX	5)	1	1	1	0	0	1	4	2	0
PSM	6)	2	3	3	0	1	0	0	0	6
PHE	2)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
BIO	2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- 1) = Komplettuntersuchung aller Pegel jeder Messreihe;  
2) = Untersuchung nur ausgewählter Pegel jeder Messreihe;  
3) = Komplettuntersuchung ab Messreihe 4;  
4) = Komplettuntersuchung nur in Messreihe 5, ansonsten wie 2);  
5) = Komplettuntersuchung nur in Messreihe 7, ansonsten wie 2);  
6) = Komplettuntersuchung nur in Messreihe 9, ansonsten wie 2);

Zu berücksichtigen ist hierbei, daß sich die Anzahl der beprobten Grundwassermessstellen und der Analytikumfang von Messreihe 1 zu den folgenden Messreihen jeweils leicht veränderte. Bei der Auswertung der Analysenergebnisse aller bisher ausgewerteten Messreihen wurde in 111 Pegeln eine Überschreitung der herangezogenen Grenz- bzw. Richtwerte in mehreren Messreihen festgestellt. Diese belasteten Messstellen sowie die jeweils relevanten Parameter sind in der Abb. V.4.1 (Belastungsverteilung, Grenzwertüberschreitungen) dargestellt. Dabei wurden zum einen die massgebenden Parameter und zum zweiten die Häufigkeit der Grenzwertüberschreitungen pro Pegel pro Parameter differenziert, wobei nur Pegel mit 3 oder mehr Überschreitungen berücksichtigt wurden. Bei der räumlichen Verteilung dieser Messstellen fällt eine Massierung vor allem westlich der Isar, im Bereich der Schotterterrasse der sog. Altstadtstufe, zwischen Thalkirchen im Süden und Feldmoching bis Hard im Norden, auf. Östlich der Isar liegen belastete Pegel vorwiegend zwischen Karl-Preis-Platz und Isarring im Norden, diese Pegel werden vor allem durch die Parameter CKW und PAK beeinflusst (s.u.).

Von den 111 als belastet zu bezeichnenden Pegel geht die Kontamination bei 82 Parametern, d.h. 73,9 %, von den Parametern AOX, CKW und PAK aus (Abb. V.4.2 ). Bei der überwiegenden Anzahl aller belasteten Messstellen geht also die Verunreinigung auf diese drei „technischen“ Parameter zurück, d.h. sie sind anthropogenen Ursprungs. Dagegen werden nur vergleichsweise wenige Pegel durch anorganische Parameter belastet (Abb. V.4.3 ). So lassen sich in lediglich 17,1 % der belasteten Pegel die Verunreinigung auf Bor, Chlorid, Nitrat oder Sulfat zurückführen. Ferner gibt es vereinzelt Pegel, bei denen ein niedriger Sauerstoffgehalt oder erhöhte NH<sub>4</sub>- oder DOC- Werte eine Belastung anzeigen.

Die häufigsten Richtwertüberschreitungen erfolgten bei den leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen (CKW), gefolgt von den PAK's. Wie aus der Abb. „Belastungsverteilung PAK, CKW, AOX“ hervorgeht, decken sich die Pegel mit Überschreitungen des CKW-Grenzwertes mit denen für AOX. Die CKW stellen in München die Hauptkontaminanten und damit das hauptsächlichste Gefahrenpotential für den oberen Grundwasserleiter dar. Die Gründe hierfür liegen in dem breiten Anwendungsspektrum

# Belastungsverteilung

Grenzwertüberschreitungen  
aller relevanter Parameter

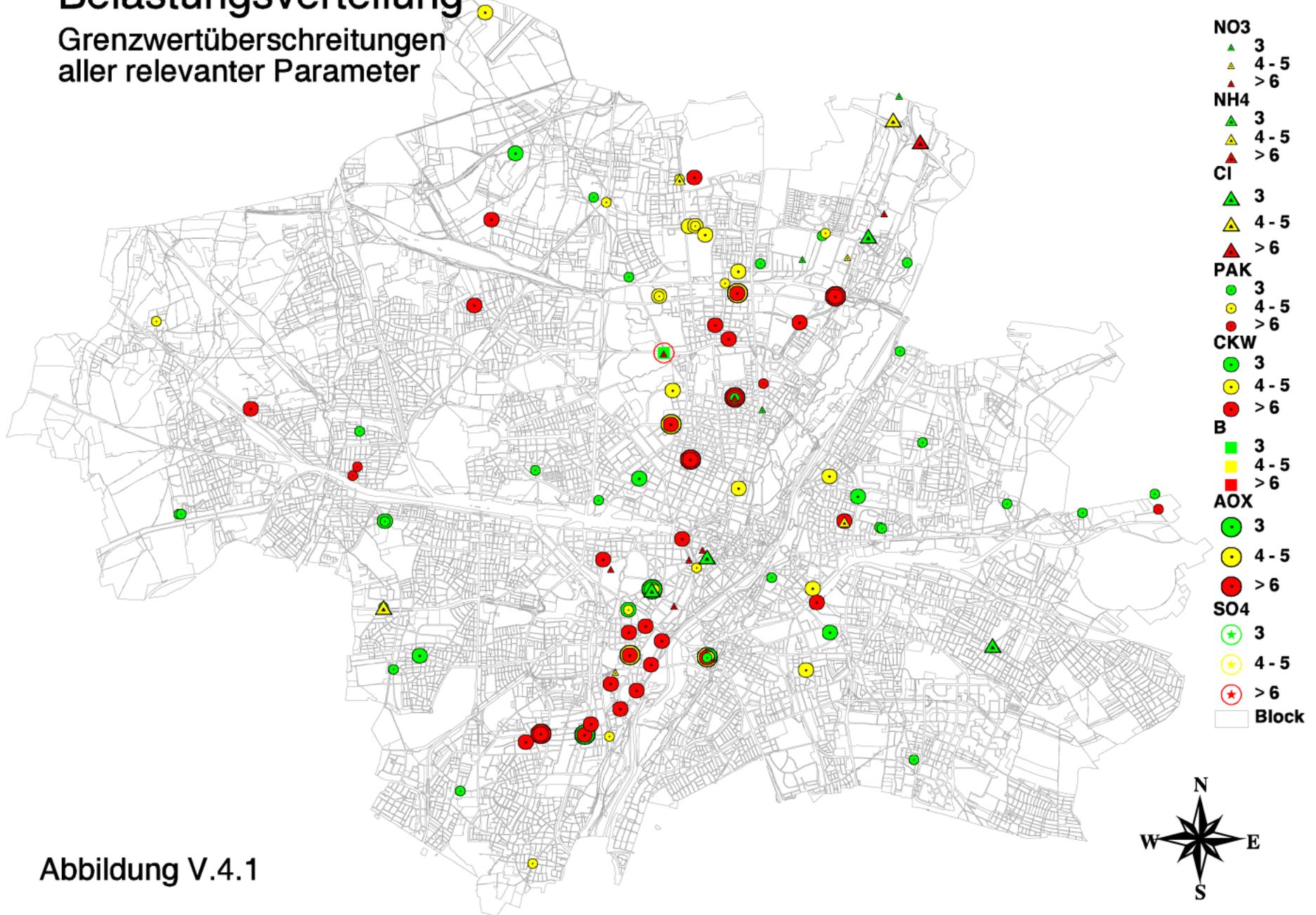


Abbildung V.4.1

und der grossen Menge dieser Stoffe, verbunden mit einem in früherer Zeit geringerem Verantwortungsbewusstsein im Umgang mit diesen Stoffen.

Das obere Grundwasserstockwerk weist somit durchweg eine Hintergrundbelastung durch CKW's bis zu 10 µg/l auf, die bereichsweise bis auf 50 µg/l ansteigen kann. Punktuell über das Stadtgebiet verteilt sind starke bis sehr starke CKW-Kontaminationen bekannt, bei denen bereits Sanierungsmaßnahmen laufen, bereits abgeschlossen sind oder eingeleitet wurden.

Weitere, jedoch weniger relevante Verunreinigungsparameter des Grundwassers sind vor allem Chlorid, Sulfat und Nitrat, während die Schwermetallbelastung im allgemeinen keine Rolle spielt.

Bei den bekannten Altlastenfällen im Stadtgebiet treten lokal weitere verschiedene chemische Verunreinigungsparameter gemäß der zurückliegenden Nutzung des Areals auf.

In der nachfolgenden Tabelle sind die ermittelten Belastungsschwerpunkte fortlaufend für die bisherigen Messreihen aufgeführt

**Belastungsschwerpunkte:**

Pegel	Grenz- Richtwertüberschreitungen je Messreihe, Anzahl und Parameter								
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
BP 58	0	2 CKW, NO3	1 NO3	0	2 CKW, K	1 NO3	0	1 NO3	0
DB 02216H	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	1 O2	2 O2, KW	2 O2, KW
DB 02227H	0	0	0	0	1 PAK	1 PAK	2 PAK, KW	2 PAK, KW	1 PAK
DB 12227H	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	1 KW	2 O2, KW	2 O2, KW
KP 224	0	1 KW	1 pH	1 KW	3 AOX, PAK, KW	2 PAK, KW	3 NH4, PAK, KW	nicht beprobt	nicht beprobt
KP 269	0	0	1 PHE	0	1 PAK	1 PAK	0	1 PAK	0
KP 347	4 pH, LF, DOC, NO3	2 pH, DOC	3 pH, DOC, CKW	2 pH, NH4	2 pH, PAK	3 pH, PAK, NH4	3 pH, PAK, NH4	3 pH, PAK, NH4	2 pH, NH4
KP 380	1 PAK	1 KW	0	2 PAK, KW	2 PAK, KW	2 PAK, KW	2 PAK, KW	1 KW	1 PAK
KP 459 T	0	0	0	0	2 K, NH4	0	1 NH4	0	0
KP 462 H	0	0	0	0	1 PAK	0	0	1 PAK	0
KP 463 H	1 CR	2 CR, CR6	2 CR, CR6	3 AOX, CR, CR6	1 CR	2 CR, CR6	2 CR, CR6	0	2 AOX, CKW
KP 463 T	2 AOX,	3 CKW,	4 AOX,	4 AOX,	4 AOX,	4 pH,	4 AOX,	2 AOX,	2 AOX,

Pegel	Grenz- Richtwertüberschreitungen je Messreihe, Anzahl und Parameter								
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
	CKW	CR, CR6	CKW, CR, CR6	CKW, CR, CR6	CKW, CR, CR6	CKW, CR, CR6	CKW, CR, CR6	CKW	CKW
KP 471	0	0	2 LF, CL	0	1 PAK	0	0	0	1 AOX
KP 478	1 NO3	1 NO3	0	1 NO3	1 PAK	0	2 PAK, NO3	1 NO3	0
KP 587	0	0	0	0	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK
KP 634H	2 DOC, NO3	1 NO3	1 NO3	1 NO3	2 NO3, PAK	1 NO3	2 DOC, NO3	2 NO3, PAK	0
KP 634T	0	1 NO3	1 NO3	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt
KP 920T	1 NO3	1 NO3	1 NO3	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt
KP 1182H	0	0	0	0	1 PAK	1 PAK	1 PAK	2 PAK BTX	2 CKW PAK
KP 1182T	1 CKW	2 CKW, ZN	2 O2, CKW	0	1 CKW	0	0	3 CKW, PAK BTX	1 PAK
KP 1223	2 O2, CKW	1 CKW	2 O2, CKW	0	1 CKW	0	0	0	0
KPA 166	0	0	0	0	1 PAK	0	0	0	0
KPA 461	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	3 AOX, CKW, PAK	0	1 CKW	1 CKW	2 AOX, CKW
KPA 717	3 LF, DOC, CL	1 CL	1 CL	1 CL	4 AOX, CL, NA, PAK	3 LF, AOX, CL	2 LF, CL	2 LF, CL	0
KPA 807	2 LF, CL	3 LF, CL, NA	1 NO3	1 CL	2 LF, PAK	1 NO3	2 LF, CL	5 LF, CL DOC, AOX NH4	2 CL NH4
NS 288	0	0	0	0	1 PAK	1 NH4, PAK	0	0	0
NS 394T	1 CKW	0	1 CKW	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt
NS 534	2	1	1	0	0	0	0	1	0

Pegel	Grenz- Richtwertüberschreitungen je Messreihe, Anzahl und Parameter								
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
	CKW, NO3	CKW	CKW					CKW	
NS 672	1 NO3	2 O2, NO3	2 O2, NO3	2 O2, NO3	2 NO3, K	2 O2, NO3	1 O2	1 O2	0
NS 673	1 O2	1 O2	1 O2	2 O2, CL	1 O2	1 O2	1 O2	1 O2	1 O2
NS 806H	2 LF, CL	1 CL	2 LF, CL	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt
NS 806T	2 AOX, CKW	3 O2, AOX, CKW	2 AOX, CKW	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt
NS 764	1 CKW	1 CKW	1 CKW	0	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	2 AOX, PAK
NS 866	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	0	0	2 CKW, PSM
NS 973	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	2 K, PAK	2 DOC, PAK	1 PAK	1 PAK	0
OGP 10	0	0	0	0	1 PAK	1 PAK	0	0	0
OS 145	3 B, NO3, SO4	1 SO4	2 NO3, SO4	3 LF, NO3, SO4	0	2 NO3, SO4	4 LF, B, NO3, SO4	4 LF, B, NO3, SO4	3 CKW NO3, SO4
OS 88H	2 CKW, NO3	0	1 CKW	0	0	0	0	0	1 CKW
OSA 102	2 DOC, NO3	1 NO3	0	0	0	0	0	0	0
OSA 44H	4 DOC, AOX, CKW, NO3	3 AOX, CKW, NO3	3 AOX, CKW, NO3	3 AOX, CKW, NO3	1 PAK	0	3 AOX, CKW, NO3	3 AOX, CKW, NO3	3 AOX, CKW, NO3
U1 109	0	1 KW	1 KW	0	0	0	2 PAK, KW	0	0
U1 122T	nicht beprobt	2 pH, CKW	3 O2, CKW; PSM	2 O2, CKW	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt

Pegel	Grenz- Richtwertüberschreitungen je Messreihe, Anzahl und Parameter								
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
U1 132T	1 O2	1 O2	1 O2	1 O2	1 O2	0	0	0	0
U1 134	1 PSM	1 PSM	1 PSM	0	2 AOX, PAK	1 PAK	1 PAK	0	0
U1 199	0	1 CKW	1 CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	3 CKW, NO3, SO4	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW
U1 235 T	0	0	0	0	0	0	2 AOX, BTX	1 O2	0
U1 95	0	1 KW	2 CKW, KW	0	0	0	0	0	0
U3 10	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW
U3 100	1 CKW	1 CKW	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW
U3 123	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW
U3 125	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW
U3 90 T		0	0	0	2 O2, PAK	2 O2, PAK	2 O2, PAK	1 PAK	0
U3A 189	0	0	0	0	1 PAK	1 NO3	1 PAK	1 PAK	2 NO3, PAK
U5 271T	1 NO3	1 NO3	1 NO3	1 NO3	1 NO3	1 NO3	1 NO3	1 NO3	1 PSM
U5 275	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	2 CKW PSM
U5 664	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK
U6 190T	1 O2	2 O2, CKW	2 O2, CKW	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt
U6 9	0	0	0	0	2 NH4, PAK	0	1 PAK	1 PAK	0
U8 130H	1 CKW	1 CKW	2 O2, CKW	1 CKW	2 O2, CKW	2 O2, CKW	2 O2, CKW	2 O2, CKW	2 AOX, CKW
U8 176 H	2 pH, O2	2 pH, O2	1 O2	0	2 O2, K	1 O2	1 O2	1 O2	1 O2
U8 39H	2 AOX,	2 AOX,	2 AOX,	2 AOX,	2 AOX,	2 AOX,	2 AOX,	2 AOX,	2 AOX,

Pegel	Grenz- Richtwertüberschreitungen je Messreihe, Anzahl und Parameter								
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
	CKW	CKW	CKW	CKW	CKW	CKW	CKW	CKW	CKW
U8 503	1 O2	2 O2, CKW	1 O2	1 O2	2 O2, PAK	2 O2, PAK	2 O2, PAK	2 O2, PAK	4 O2, AOX, NH4, PAK
U8 51H	0	2 CKW, NO3	0	0	1 O2	0	0	0	0
U8 515	2 O2, NO3	2 O2, NO3	2 O2, NO3	2 O2, NO3	3 O2, NO3, K	2 O2, NO3	2 O2, NO3	2 O2, NO3	3 O2, AOX, NO3
U8 533	1 CKW	2 pH, CKW	1 CKW	0	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 PAK	1 CKW
U8 554	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	2 AOX, CKW	1 CKW
U8 1067	0	0	0	0	1 PAK	0	1 AOX	1 PAK	0
U8 1082	0	0	2 DOC, KW	0	2 PAK, KW	0	0	0	0
U8 1087H	0	0	0	1 CKW	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	0
U8 1087T	nicht beprobt	0	0	0	1 PAK	0	2 AOX, CKW	1 CKW	0
U8 1253	1 CKW	1 CKW	1 CKW	1 CKW	2 CKW, PAK	0	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW
U9 127	0	0	2 DOC, CKW	1 CKW	1 CKW	0	1 CKW	1 CKW	0
U9 59	1 CKW	0	1 CKW	0	0	0	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	0
U9 70T	2 pH, CKW	1 CKW	1 pH	2 pH NH4	3 CKW, NH4, PAK	3 AOX, CKW, NH4	3 pH, CKW, NH4	3 pH, CKW, NH4	3 AOX, CKW, NH4
UP 184	0	0	1 NO3	0	2 DOC, PAK	1 PAK	0	0	0
UP 189	0	0	0	0	2 DOC, PAK	0	1 PAK	1 PAK	0

Pegel	Grenz- Richtwertüberschreitungen je Messreihe, Anzahl und Parameter								
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
URP 211	1 BTX	3 PAK, KW, BTX	2 PAK, BTX	1 KW	2 NO3, PAK	3 PAK, KW, BTX	3 PAK, KW, BTX	2 PAK, KW	2 PAK, KW
URP 23	nicht beprobt	0	2 PAK, KW	1 PAK	0	0	0	0	0
URP 427	0	1 KW	2 DOC, KW	0	1 PAK	0	0	0	1 NO3
URP 510	0	0	1 CKW	0	2 CKW, PAK	0	0	1 PAK	0
URP 530	nicht beprobt	nicht beprobt	nicht beprobt	2 AOX, CKW	1 CKW	1 CKW	2 AOX, CKW	2 AOX, CKW	1 CKW
URP 79	1 PAK	1 KW	0	2 NO3 PAK	2 PAK, KW	1 PAK	2 PAK, KW	1 PAK	1 PAK
URP 81	1 CKW	1 CKW	3 CKW, PAK, KW	2 CKW KW	2 CKW KW	1 KW	1 KW	2 CKW KW	2 CKW, PSM
URP 83	1 CKW, KW	1 CKW	3 CKW, PAK, KW	2 CKW PAK	2 PAK, KW	1 KW	3 CKW, PAK, KW	3 CKW, PAK, KW	3 CKW, KW, PSM
XP 581	6 pH, LF, O2, DOC, AOX, CL	6 pH, AOX, NH4, LF KMN, Cl	0	0	0	0	0	0	0

# Belastungsverteilung

Grenzwertüberschreitungen  
organischer Parameter

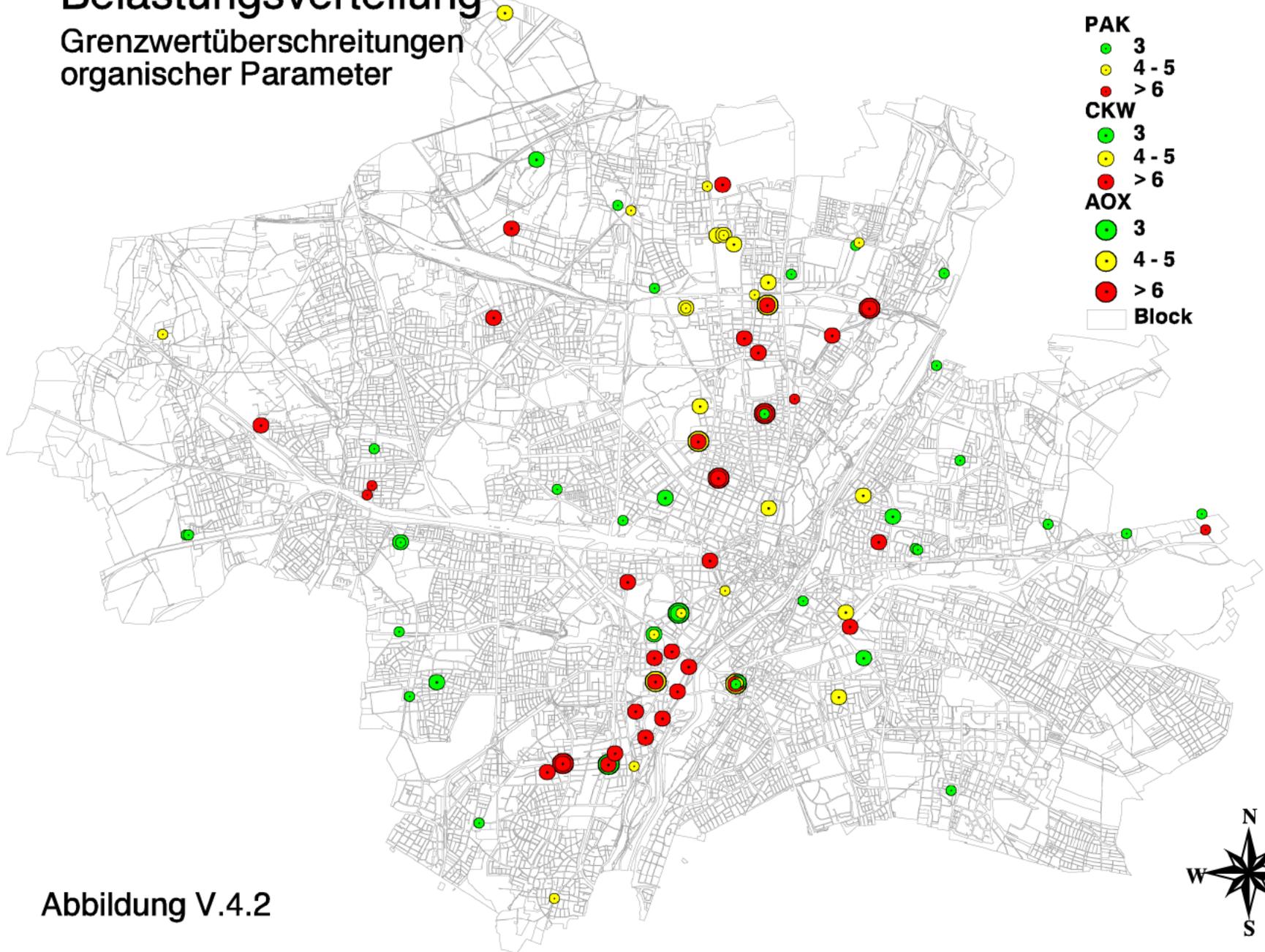


Abbildung V.4.2

# Belastungsverteilung

## Grenzwertüberschreitungen anorganischer Parameter

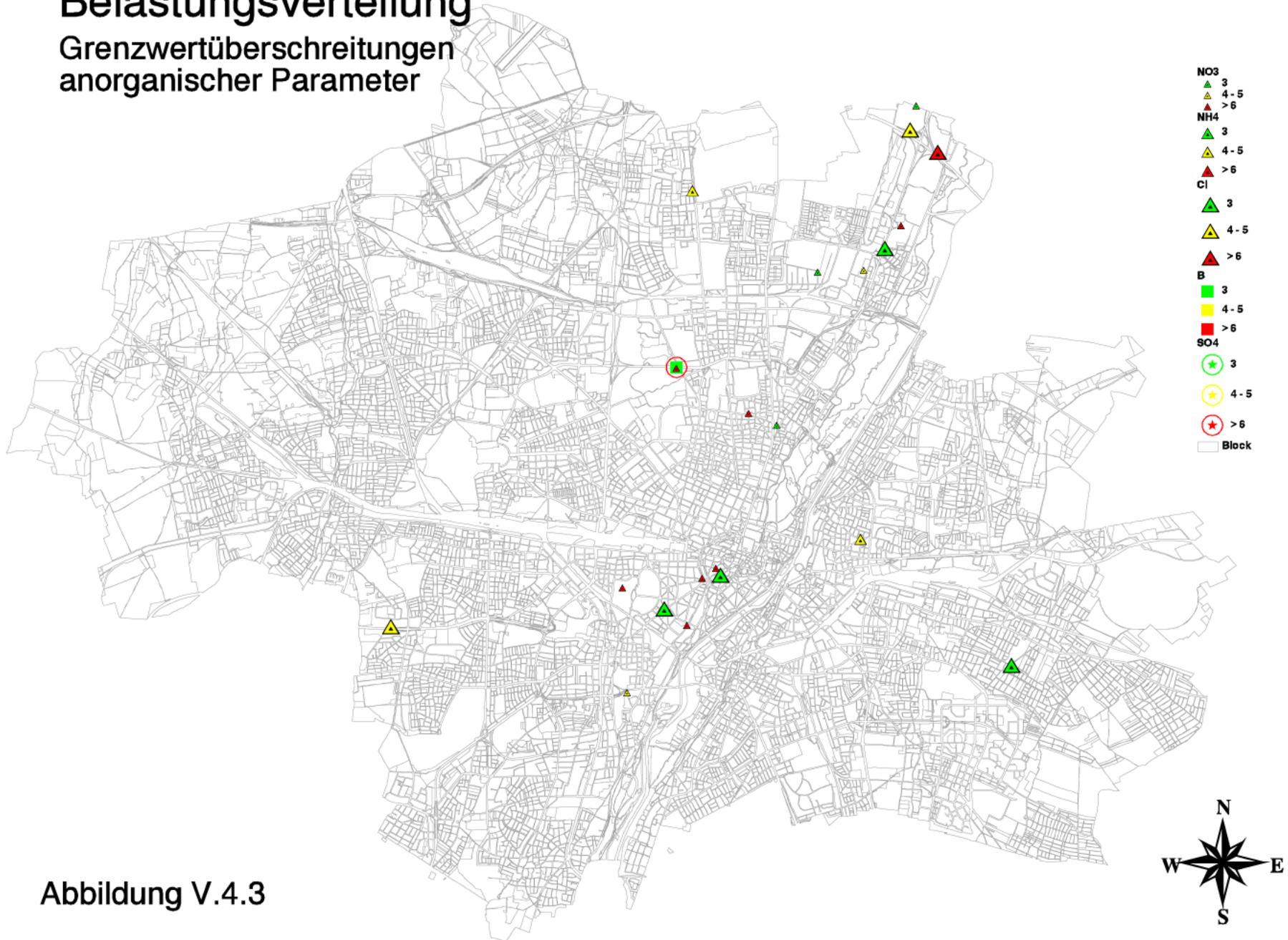


Abbildung V.4.3

## Unterschiede der Grundwasserzusammensetzung in ausgewählten Messstellen des Zu- und des Abstromes

Die Notwendigkeit, die Gefährdungspotentiale und Einflußfaktoren auf das Grundwasser zu erkunden und die Einhaltung der entsprechenden Richtlinien zur Reinhaltung des Grundwassers intensiv zu überwachen, ergibt sich nicht zuletzt aus der Verantwortung der Stadt München für die Grundwasserqualität in ihrem Stadtgebiet gegenüber den unterstromigen Gemeinden und den nördlichen Anliegern im Stadtgebiet, die noch nicht an das Stadtwassernetz angeschlossen sind und das Grundwasser noch für Trinkwasserzwecke verwenden.

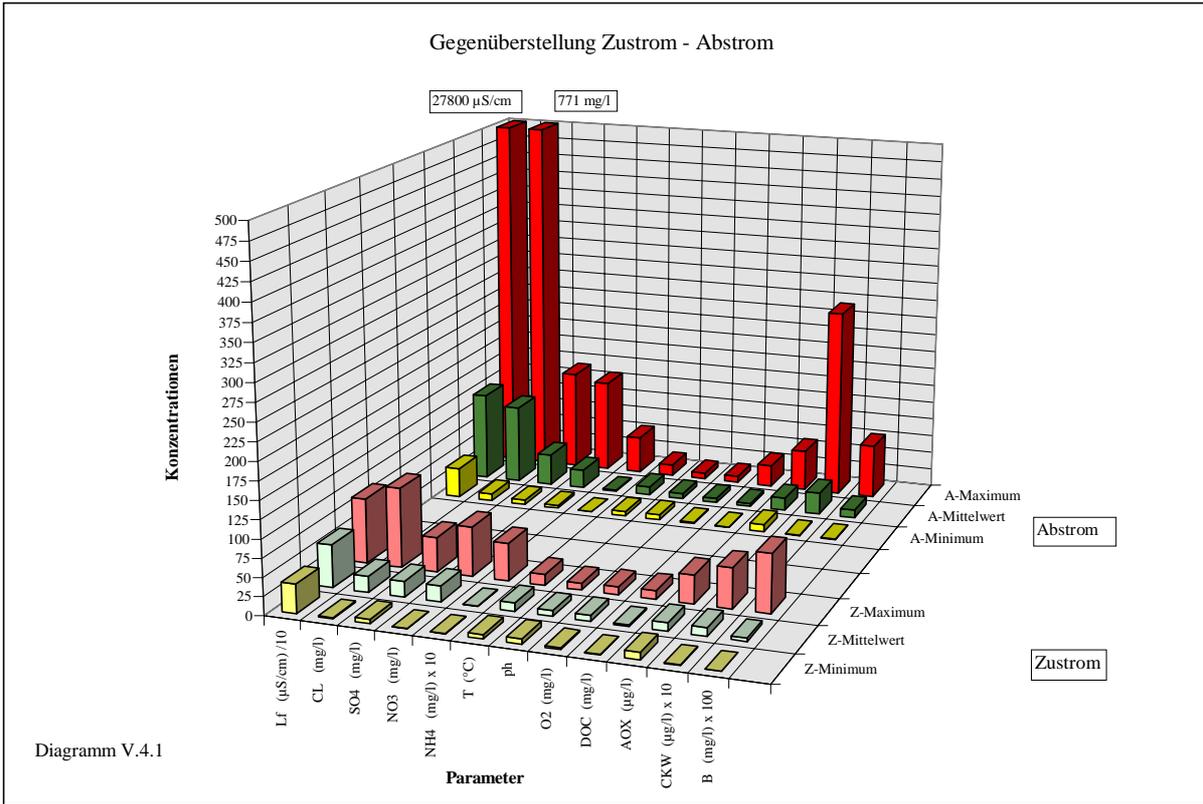
Um künftig Veränderungen des Grundwasserchemismus, bedingt durch die Einflüsse der Stadt, im Abstrom nachzuweisen, liegen noch zu wenig Daten aus einer zu geringen Messstellenanzahl der sog. Abstrompegel vor. Der dargestellte Beitrag stellt daher einen Ansatz zur Annäherung an diese Problemlösung, d.h. zur Feststellung des Abstromchemismus dar.

Hierzu wurden die Analytik-Ergebnisse, vor allem die statistischen Werte (Maximum, Minimum, arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung) entlang eines West-Ost-Profiles ( 11 Messstellen) im Norden, die im Abstrom des Stadtgebietes liegen, mit denen eines West-Ost-Profiles (12 Messstellen) im Süden verglichen. Ein möglicher Nutzungseinfluss in unmittelbarer Umgebung der nördlichen Messstellen wurde bei dieser Betrachtung nur unvollständig berücksichtigt. Das Profil im Süden setzt sich aus den Pegeln zusammen, die für die Ermittlung der fast unveränderten ursprünglichen, quasi-natürlichen Grundwasserbeschaffenheit herangezogen wurden.

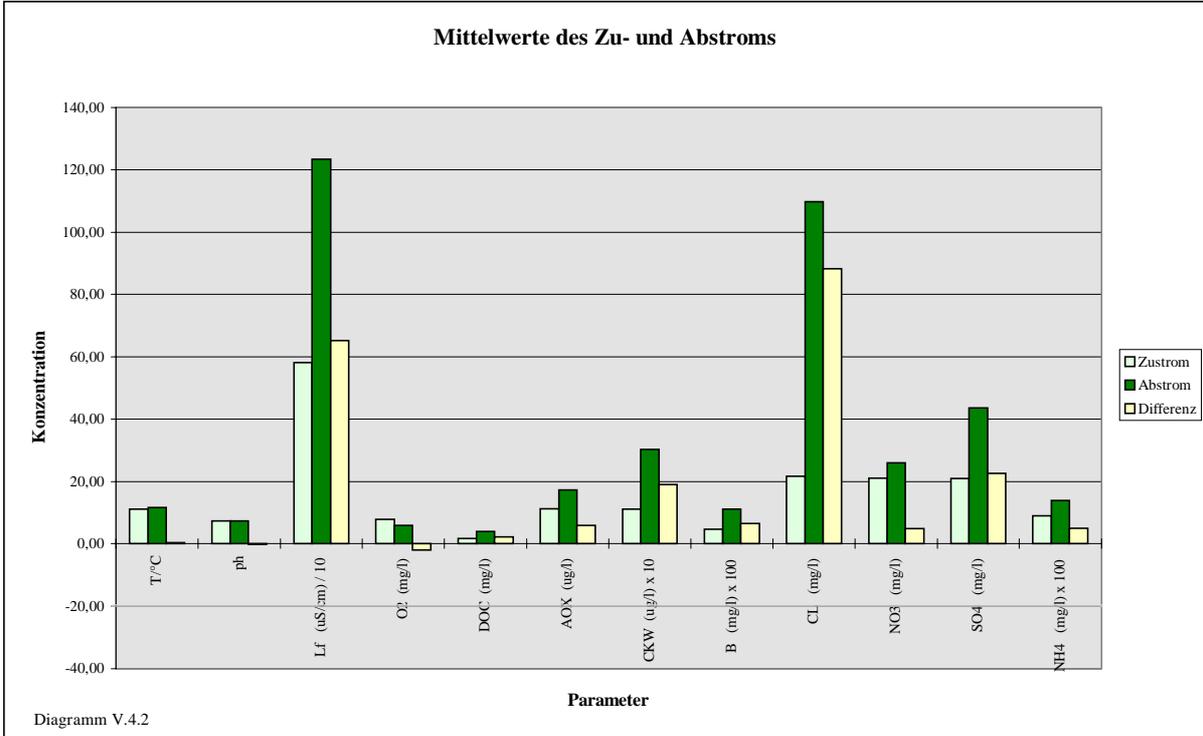
Zustrom	T	ph	Leitf.	O2	DOC	AOX	CKW	Bor	CL	NO3	SO4	NH4
MR 1-8	°C		µS/cm	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Maximum	15	9,11	886	10,7	12	39	5,46	0,796	108,9	67	47	5,1
Minimum	5,6	6,78	394	2,08	0,4	10	0,1	0,010	1,36	0,5	5,8	0,02
Mittelw.	11,21	7,35	581,46	7,85	1,71	11,32	1,12	0,046	21,68	21,12	20,96	0,09
Stabwn	1,41	0,20	71,81	1,52	1,70	3,48	0,94	0,053	10,91	9,01	6,90	0,51

Abstrom	T	phg	Leitf.	O2	DOC	AOX	CKW	Bor	CL	NO3	SO4	NH4
MR 1-8			µS/cm	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Maximum	15,6	8,12	27800	8,75	30	57	26,46	0,750	771	130	138,9	5,2
Minimum	6	6,91	420	1,54	0,5	10	0,1	0,010	9,8	3,7	5,8	0
Mittelw.	11,67	7,28	1233,54	5,90	3,99	17,26	3,03	0,111	109,83	25,98	43,54	0,14
Stabwn	0,38	0,05	2385,97	0,43	1,97	3,90	1,39	0,054	45,38	9,07	3,64	0,55

Bereits hier zeigten sich gegenüber der Grundwasserzusammensetzung der sog. Zustrompegel aus dem Süden des Stadtgebietes eine deutliche Erhöhung der Konzentration der meisten Parameter in den zur Verfügung stehenden Abstrompegeln. So sind insbesondere Leitfähigkeit-, Chlorid-, Sulfat- und CKW-Konzentrationen im Norden deutlich höher als im Süden. Aber auch die Parameter Bor, Ammonium, Nitrat, AOX und DOC sowie O2 zeigen schlechtere Werte als in den Zustrompegeln. Diese Erhöhung der Konzentrationen der einzelnen Parameter, die im allgemeinen unterhalb der jeweiligen entsprechenden Grenz- bzw. Richtwerte liegen, spiegelt sich nicht nur in den Maximal-, sondern auch - aussagekräftiger - in den arithmetischen Mittelwerten der ausgewählten Messstellen und sogar in den Minimalwerten wieder (s. Diagramm V.4.1).



Die Differenzen der Konzentrationen der einzelnen Parameter zwischen den Zu- und Abstrompegeln zeigt eine Gegenüberstellung der jeweiligen Mittelwerte. Das Diagramm V.4.2 verdeutlicht noch einmal die Parameter mit den auffälligsten Unterschieden zwischen den südlichen und nördlichen Pegelreihen.



Die Messungen und Analysen des Grundwasseruntersuchungssystems waren ausschließlich auf das Gebiet der Landeshauptstadt München und das obere, sog. quartäre Grundwasserstockwerk beschränkt. Ob und inwieweit sich aus diesen Ergebnissen eine Beeinträchtigung für abstromige Wasserversorgungen ergeben können, läßt sich aus der Sicht des Referates für Gesundheit und Umwelt auf Grund geringer Daten über die Grundwasserbeschaffenheit außerhalb des Stadtgebietes und nur groben unvollständigen Kenntnissen über den lokalen geologischen Schichtaufbau sowie der grundwasserführenden Horizonte, aus denen lokal Trinkwasser gefördert wird, nicht ableiten.

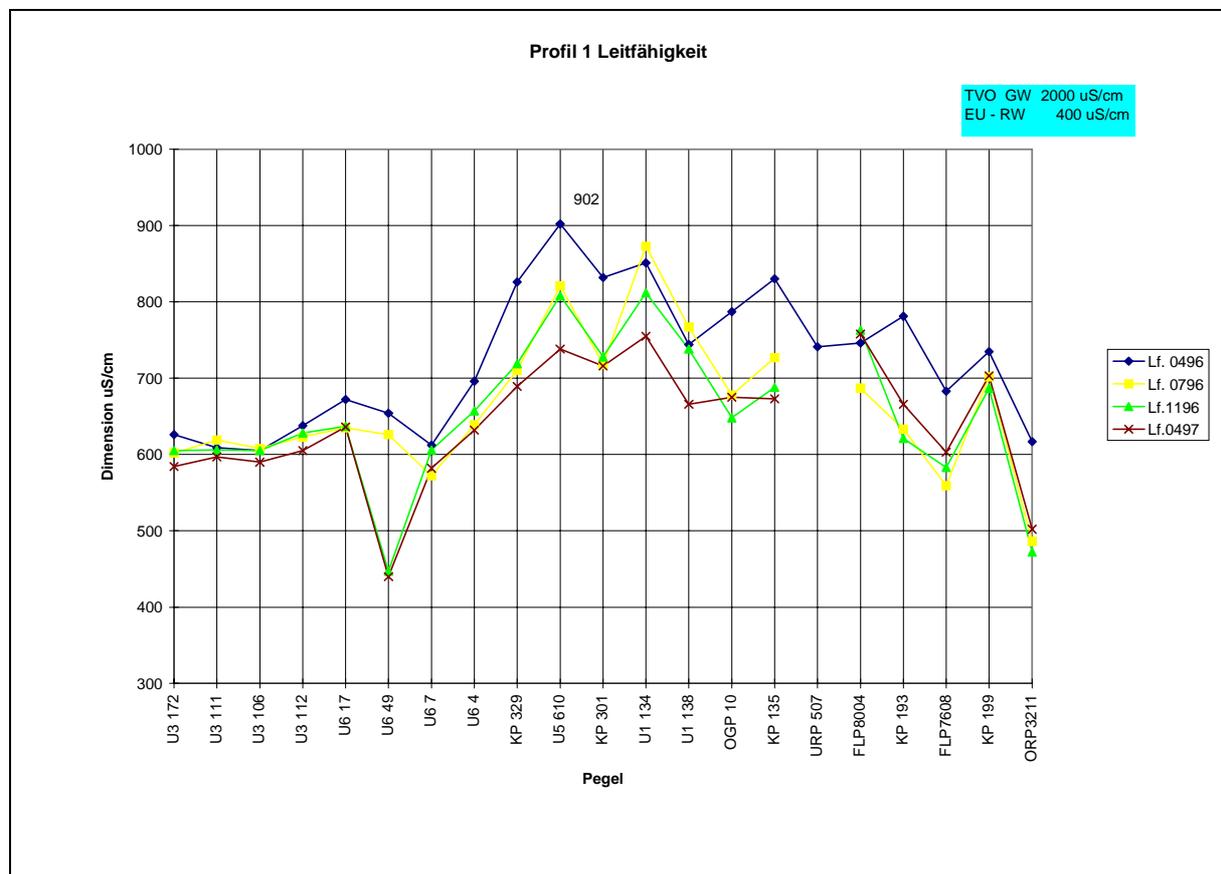
## Konzentrationsprofile

Zur Verdeutlichung dieser räumlichen und auch zeitlichen Konzentrationsveränderungen der einzelnen chemischen Parameter wurden entsprechende Konzentrationsprofile durch das Stadtgebiet gelegt. Diese Profile beruhen auf den Analysewerten von Messstellen, die sowohl in Richtung der Grundwasserströmung (ungefähr Süd - Nord) als auch quer zur Stömungsrichtung (ungefähr West - Ost) angeordnet sind. Ziel war es, Hinweise auf mögliche Stadteinflüsse und/oder Akkumulationseffekte bei einzelnen Stoffen im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Da die Messstellendichte bereichsweise jedoch relativ gering ist und zudem deutliche lokale Kontaminationen sich herausheben und die gesuchten Effekte überlagern, ist die Zusammenstellung der Konzentrationsprofile eher beispielhaft und die Ergebnisse als solche zu werten. Zudem ist diese Betrachtung auf einen längeren Zeitraum ausgelegt und derzeit noch nicht abgeschlossen.

Zur Analyse der allgemeinen Einflüsse des Stadtgebietes auf das Grundwasser sollten für die einzelnen charakteristischen Parameter ( z.B. Bor, Chlorid, CKW, Sulfat, Leitfähigkeit) mögliche räumliche Konzentrationsveränderungen festgestellt werden.

Insgesamt wurden zehn Süd-Nord - Profile und sieben West-Ost - Profile erarbeitet.

Als erstes Beispiel zeigt dies ein Profilschnitt für die Leitfähigkeitswerte von Solln/Forstenried im Süden bis zum Bereich der Regattastrecke im Norden des Stadtgebietes. Die Lage der Profile ist in der Abbildung V.4.4 dargestellt.



# Lage der Profile

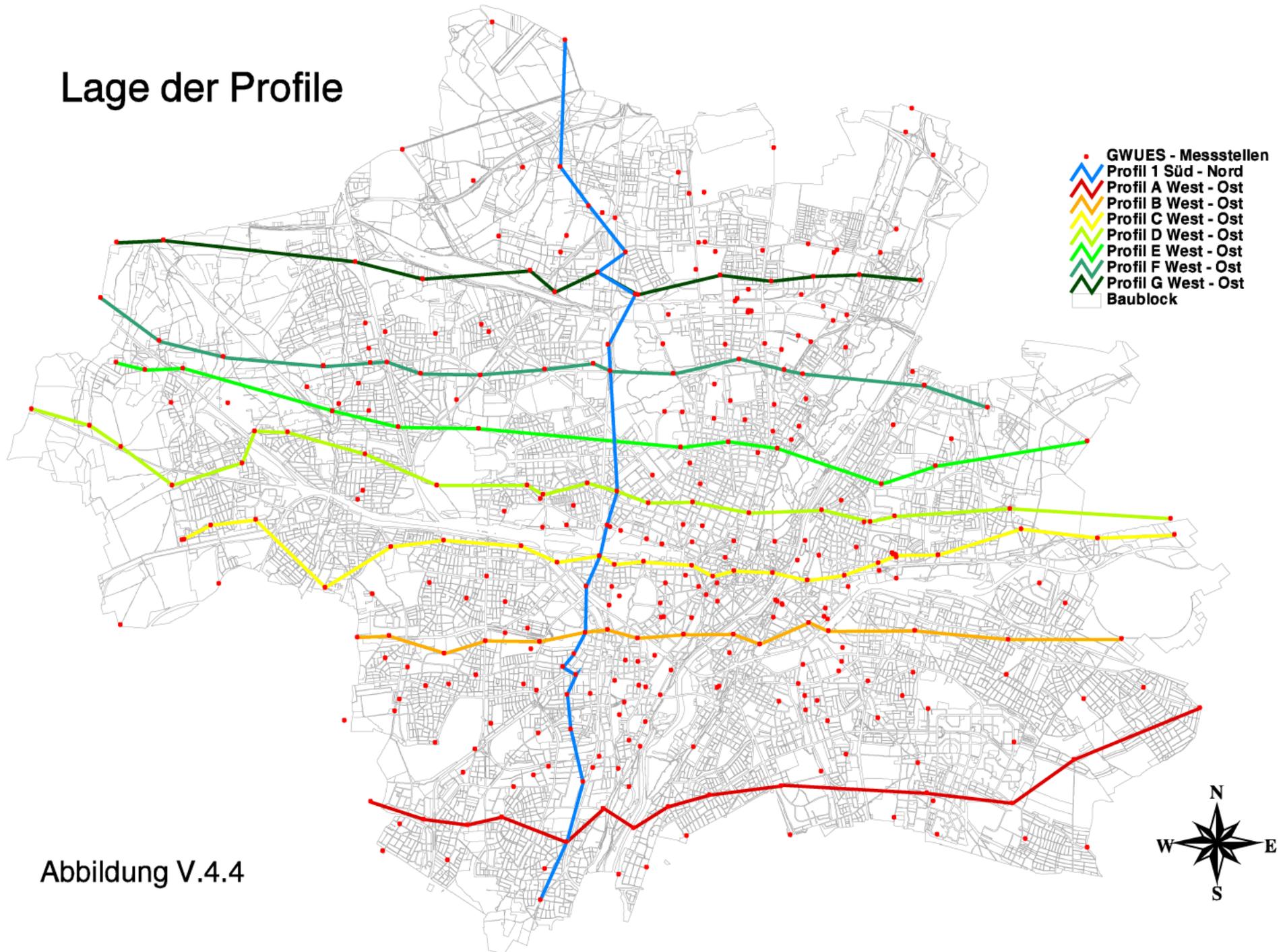
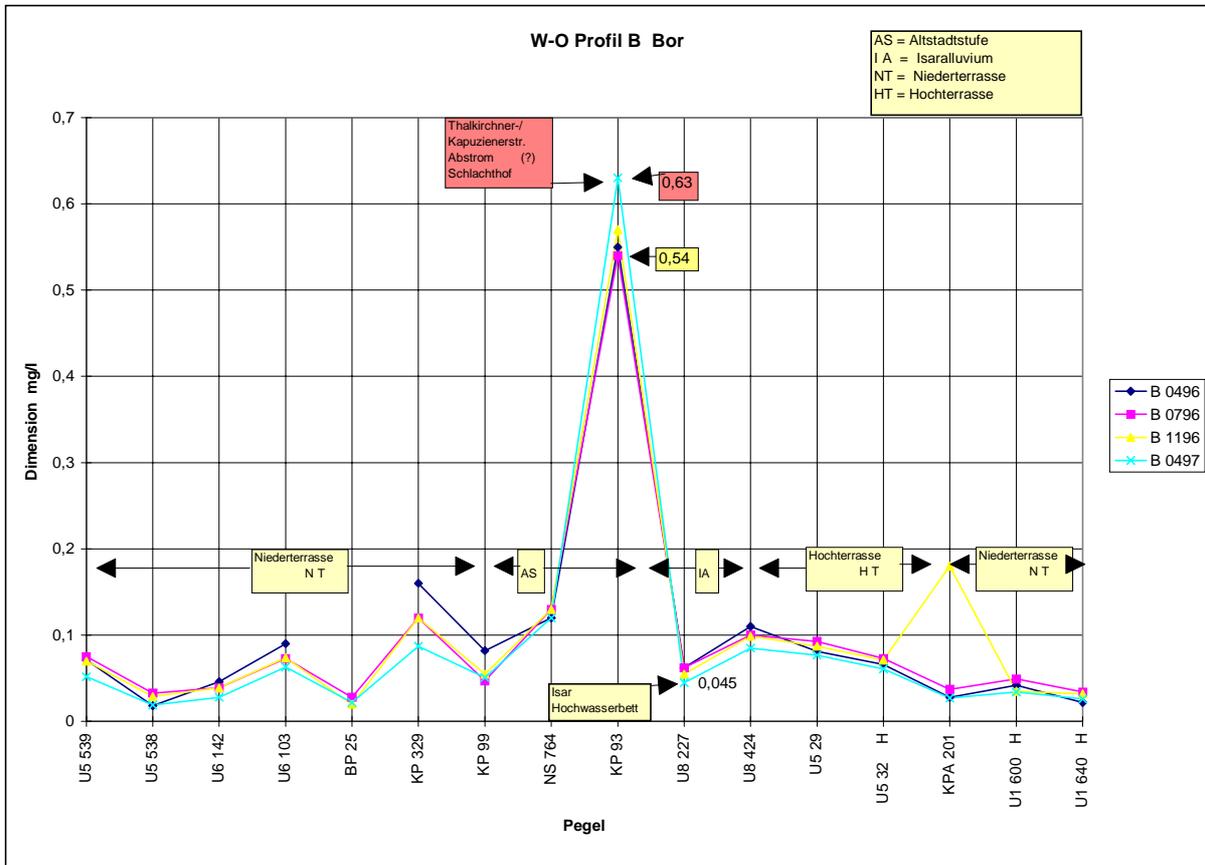
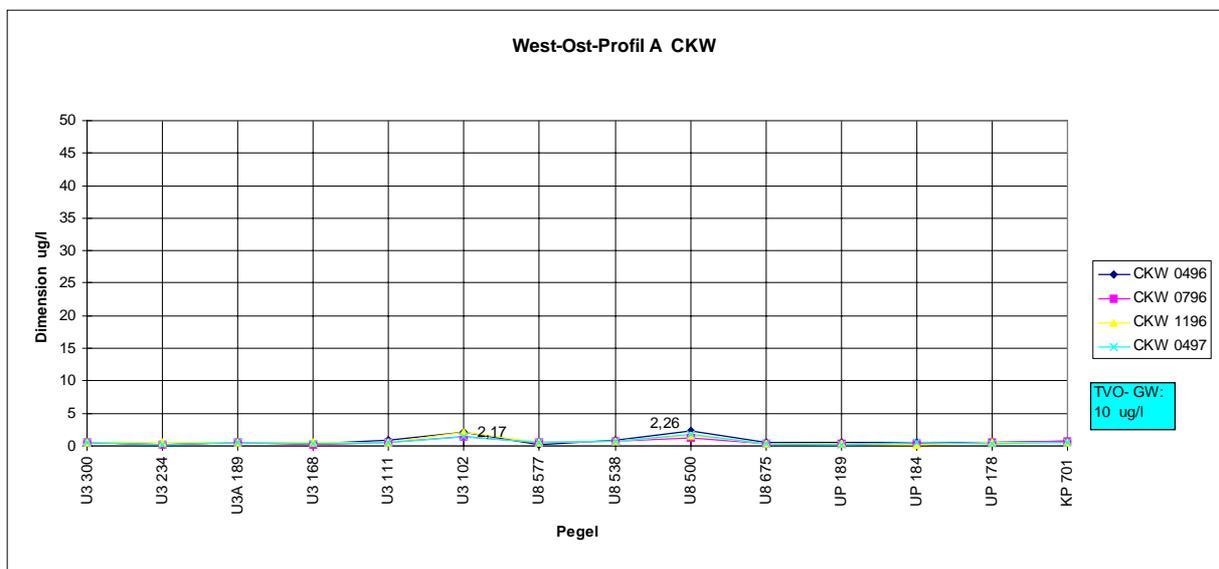


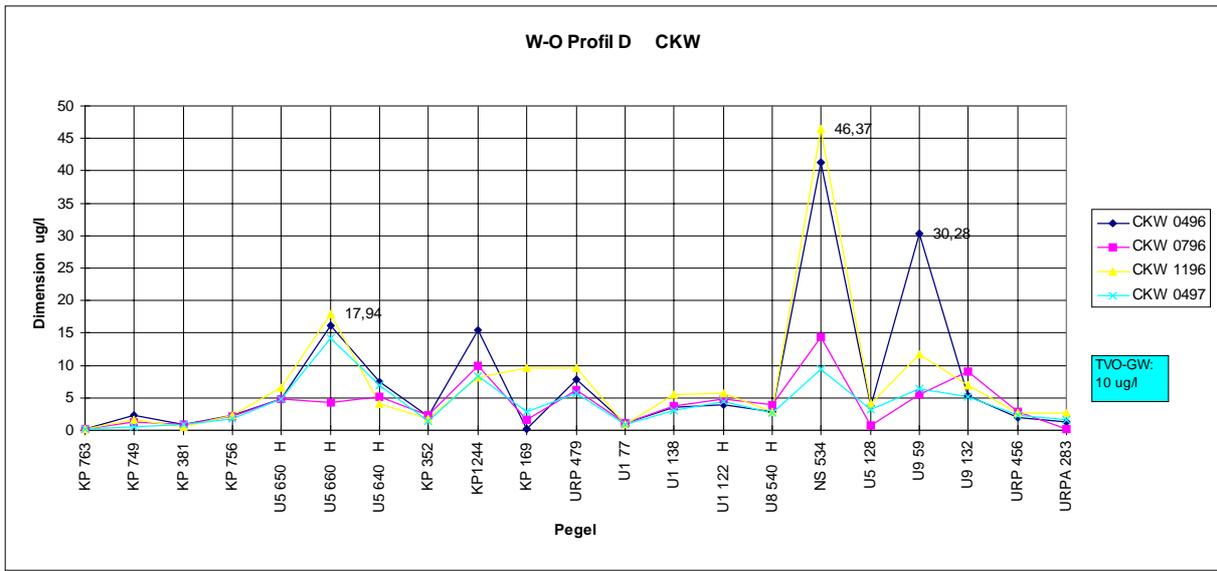
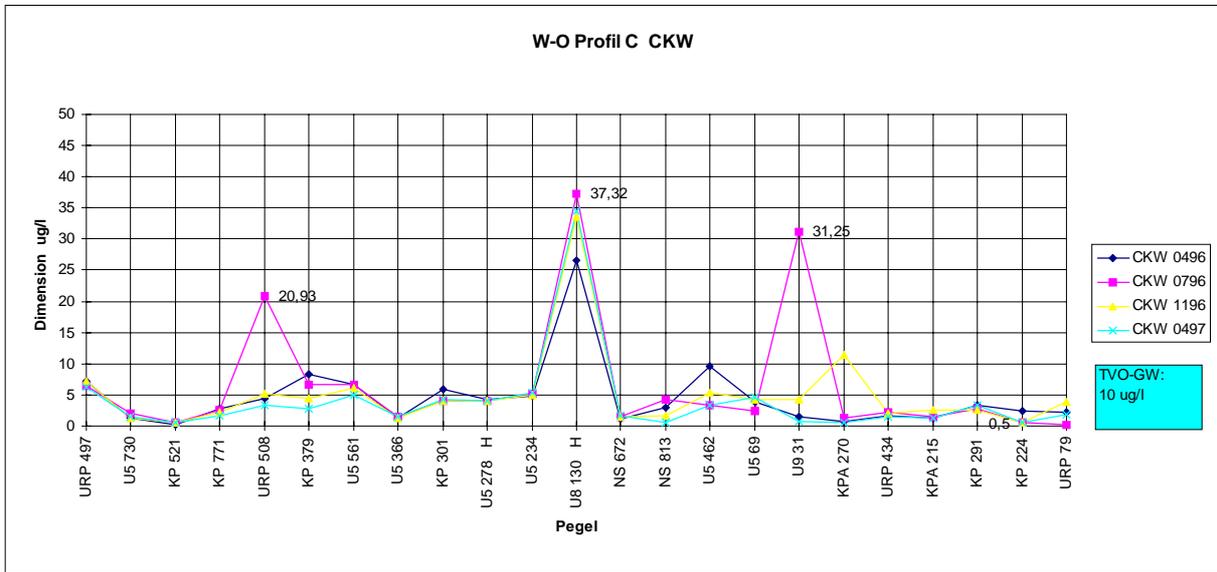
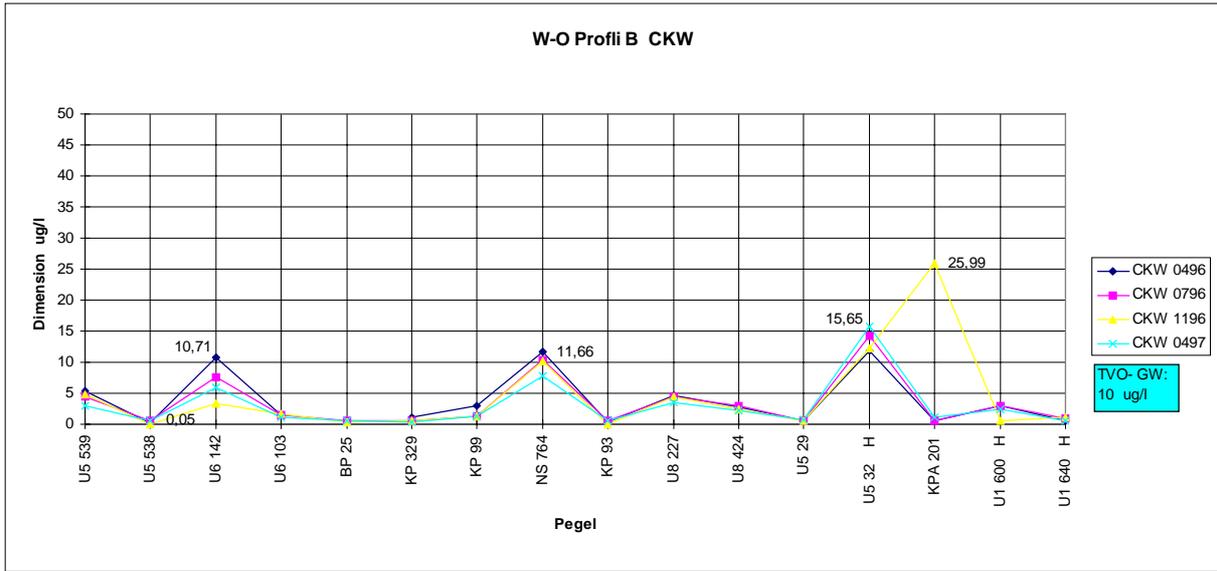
Abbildung V.4.4

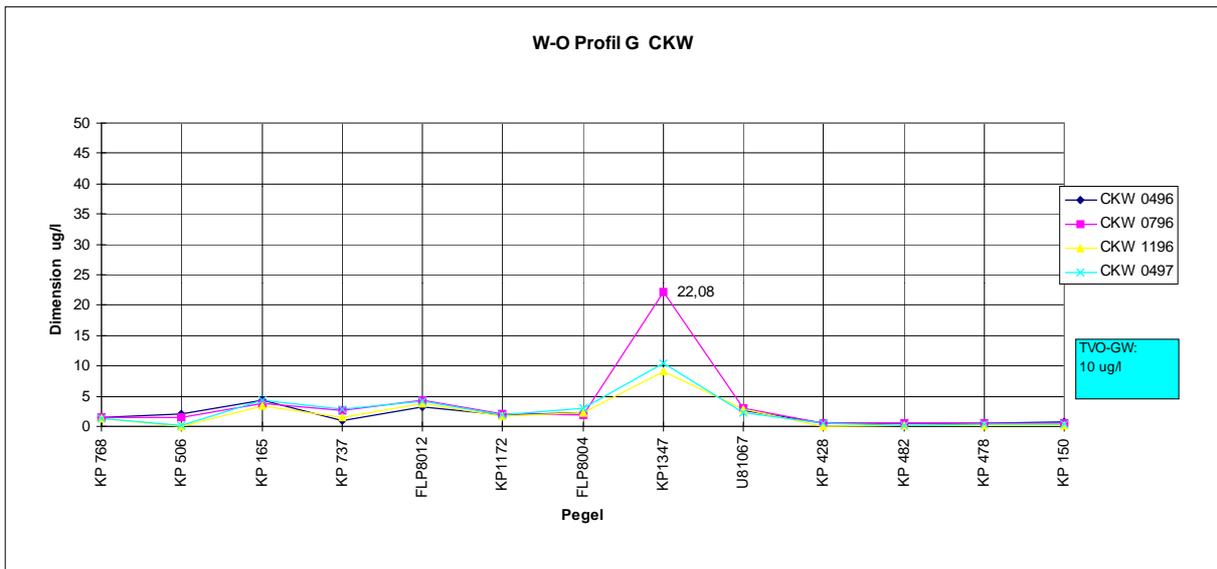
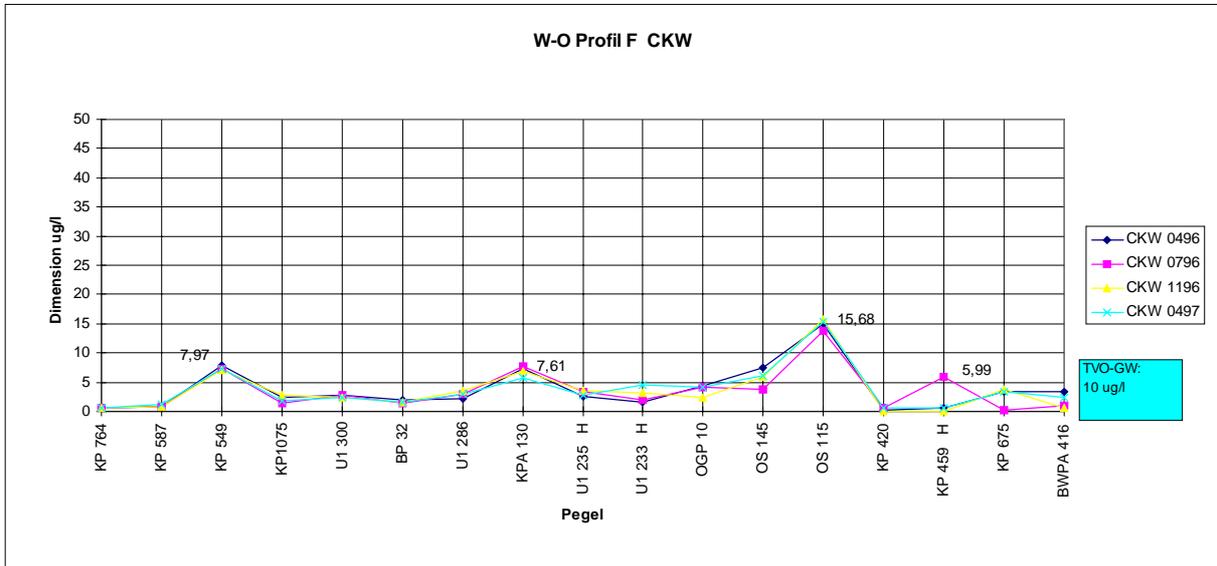
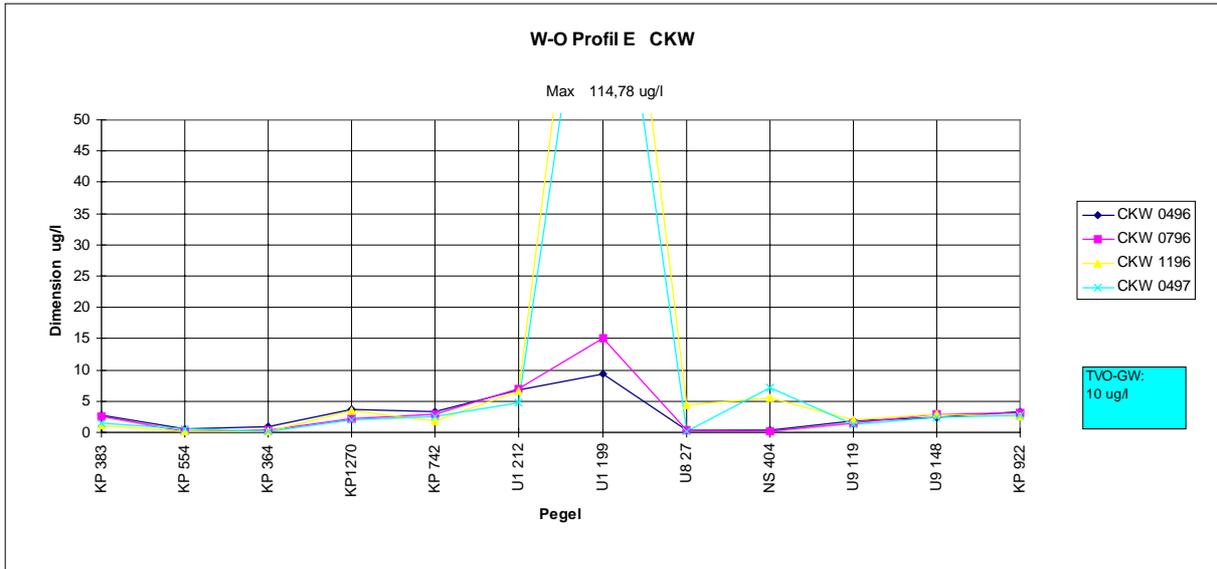
Die West-Ost- Verteilung der Konzentration z.B. des Parameters „Bor“ wird an Hand des Profiles B von Kleinhadern bis Trudering aufgezeigt. Zur räumlichen Orientierung sind die geomorphologischen Einheiten (Terrassenstufen) sowie die Lage der Isar ebenfalls eingetragen.



Bereits aus den ersten Profilizusammenstellungen lassen sich räumliche Veränderungen der Parameterkonzentrationen ablesen. Die Darstellungen der West - Ost - Profile für die CKW - Konzentrationen belegen in einem ersten Ansatz diese Effekte.







## V.5 Weitergehende Untersuchungen und Konsequenzen aus den Analyseergebnissen

Die Ergebnisse des GWUES wurden grundsätzlich den Vollzugssachgebieten im Referat für Gesundheit und Umwelt sowie dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt München zur Verfügung gestellt. Auffällige Untersuchungsergebnisse und erkannte (neue) Grundwasserverunreinigungen, wie z.B. die festgestellte CKW-Kontamination nördlich des Candidplatzes im Pegel U8 554, wurden unverzüglich mit den o.g. Stellen diskutiert, Zusatzuntersuchungen im Rahmen des GWUES erörtert und die eigentliche Detailuntersuchung bis zur Sanierung und wasserrechtlichen Verfolgung den o.g. Sachgebieten übergeben.

Bei der Wahrnehmung der Aufgaben im Bereich Wasserrecht und Altlasten bzw. von Planfeststellungs- und Genehmigungsverfahren wurden und werden die Untersuchungsergebnisse des GWUES lokal gezielt für die betrachteten Gebiete abgefragt oder generelle Berichte zum Zustand des Grundwassers angefordert.

Die Ergebnisse des Grundwasserüberwachungssystems (GWUES) wurden vom **Sachgebiet „Altlasten und Abbrüche“ RGU 131** im Hinblick auf die Altlastsituation im Stadtgebiet München ausgewertet. Der Abgleich mit dem Altlastenverdachtsflächenkataster der Landeshauptstadt München ergab, daß insgesamt 32 Grundwassermessstellen mit auffälligen Schadstoffgehalten im räumlichen Umgriff von Altlastverdachtsflächen oder Altlasten liegen :

Pegel	Altstandort Altablagerung	Erläuterungen/Bearbeitungsstand
U1 134	Altstandort 21/3 Altablagerung	Im Zu- und Abstrom der Altlast wurde eine Stichtagsmessung repräsentativer Grundwassermessstellen durchgeführt. Die Ergebnisse liegen dem Wasserwirtschaftsamt derzeit zur Bewertung vor
URP 79	Altablagerung 32/55	Im Zu- und Abstrom der Altablagerung sollen weitere Grundwassermessstellen errichtet und turnusgemäß beprobt werden.
U5 664 KP 380	Altstandort 35/46	Vorstudie zur Grundwassersanierung wurde erstellt
OGP 10	Altstandort ../10	Grundwassersanierung läuft
URP 81 URP 83	Altablagerung 27/41	Grundwasserbeprobung im Zu- bzw. Abstrom der Altlast ist erfolgt. Nach Vorlage der Ergebnisse erfolgt Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt
KPA 461 URP 510	Gewerbegebiet	Grundwasserüberwachung läuft (RGU 133)
KP 269	Altablagerung 29/43	Grundwasserüberwachung abgeschlossen; Erneute Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt erforderlich (GW-Kontrolle)
KP 1182	Altablagerung 27/46	Grundwasserüberwachung abgeschlossen; Erneute Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt erforderlich (GW-Kontrolle)
DB02227 H	Altstandort 14/62	Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt und RGU 133 erforderlich - gewerbliche Nutzungen im Umfeld
UP 189	Altablagerung 30/30 a	Recherche bestätigt Altlastverdacht; Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt bzgl. weiterer Maßnahmen ist erforderlich
U8 503	verschiedene Altstandorte	Verunreinigung vermutlich nicht auf Altlastverdacht zurückzuführen; Abstimmung mit RGU 133 und Wasserwirtschaftsamt erforderlich.
KPA 166	ehem. Albuminwerk	Altlastrecherche: keine wassergefährdende Nutzung; derzeitige Nutzung: Wohnbebauung; Abstimmung mit RGU 133 und dem Wasserwirtschaftsamt erforderlich
U8 1067	Altstandort 27/58	Recherche liegt vor - Abstimmung mit RGU 133 und dem

	Rüstungsalblast	Wasserwirtschaftsamt bzgl. weiterer Maßnahmen ist erforderlich
KP 587	Altstandort N3 Auffüllung N 2	Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt bzgl. weiterer Maßnahmen ist notwendig
U6 9	Altablagerung 34/106	Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt bzgl. weiterer Maßnahmen ist notwendig
KP 478	Altstandort 22/115	Nutzungsrecherche liegt vor - Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt ist erforderlich
KP 462 H	Altstandort 22/19	Altlastrecherche: Altlastverdacht 22/19 nicht bestätigt Abstimmung mit RGU 133 und dem Wasserwirtschaftsamt erforderlich
URP 211	ehem. Güterbahnhof	Verdacht aufgrund topographischer Karte; derzeitige Nutzung: Wohnbebauung; Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt/ RGU 133
U3 172	Altstandort 36/10	Altlastrecherche notwendig -> Abstimmung mit RGU 133 und dem Wasserwirtschaftsamt erforderlich
NS 973	Altstandort 10/1	Altlastrecherche erforderlich
U3 10	Altablagerung 19/72	Abstimmung mit RGU 113 und dem Wasserwirtschaftsamt
U3 100	Altablagerung 24/118 Altstandort 24/77	Altlastrecherche erforderlich -> Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt
U3 123	Altablagerung 24/121 verschiedene Altstandorte	s.o.
U8 39 H	Altstandort 7/7	s.o.
U8 533	Altstandort 18/33	s.o.
U8 554	Altstandort 18/34	s.o.
URP 23	Altablagerung 54 Altstandorte 9 und 30	s.o.
KP 463 H	Altstandort 22/23	s.o.
KP 634 T	Altstandort AS 22/25	s.o.

11 dieser 32 Grundwassermessstellen befinden sich im direkten Abstrom bestätigter Altlasten. Die nachgewiesenen Grundwasserverunreinigungen zeigten ein für die jeweilige altlastrelevante Nutzung charakteristisches Schadstoffinventar. Angesichts der Ergebnisse des GWUES sollen auf 2 Altablagerungen nach Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt repräsentative Grundwasseruntersuchungen veranlaßt werden. Im Abstrom von 6 betroffenen Altlastflächen finden derzeit bereits Maßnahmen zur Grundwasserüberwachung bzw. -sanierung statt.

21 der 32 Grundwassermessstellen liegen im Umgriff nicht verifizierter Altlastverdachtsflächen. In diesen Fällen ist zu klären, inwieweit die Grundwassergüte tatsächlich von der Altlastsituation beeinflusst wird oder ob vielmehr Problembereiche gegenwärtiger gewerblicher Nutzungen die jeweiligen Grundwasserverunreinigungen verursachen. Zur gezielten Bewertung des Wirkungspfad des Boden - Grundwasser werden hierzu systematisch historisch-deskriptive Altlastrecherchen zur Verifizierung der Verdachtsmomente durchgeführt. Anhand dieser Recherchen konnte für 2 Grundstücke eine Grundwasserbeeinträchtigung durch Altlasten ausgeschlossen werden; auf 4 Verdachtsflächen scheinen hingegen orientierende Voruntersuchungen zur Gefährdungsabschätzung angezeigt.

Altlastenverdacht: Altlastrecherche erforderlich/ event. gewerbliche Nutzungen im Umfeld	Altlastverdacht durch Recherche bestätigt; Abstimmung der Maßnahmen mit RGU 133 und Wasserwirtschaft	Altlastverdacht aufgrund von Recherche nicht bestätigt	Altlasten Grundwasser- überwachung ggf. erforderlich (Ab- stimmung mit der Wasserwirtschaft	Altlasten Grundwasser- überwachung/- sanierung läuft
U3 172 NS 973 U3 100  U3 123  U8 39 H U8 533  U8 554 URP 23 KP 436 H KP 634 T DB02227 U8 503 URP 211 U3 10 KP 587	UP 189 U81067 KP 478  U6 9	KPA 166 KP 462	KP 269 KP1182	U1 134 URP 79 U5 664 KP 380 URP 81 URP 83 OGP 10 KPA 461 URP 510

Auf der Grundlage der beprobungslosen Recherchen und hydrogeologischer Daten sollen in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt München und dem Sachgebiet „Wasserrecht“ des RGU die potentielle Altlastproblematik im Hinblick auf die Grundwassersituation bewertet und gegebenenfalls weiterführende lokale Grundwasseruntersuchungen erstellt werden.

Das **Sachgebiet „Wasserrecht“ RGU 133** hat zur Notwendigkeit weitergehender Grundwasseruntersuchungen auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse des GWUES wie folgt Stellung genommen:

*Ziel eines flächendeckenden Grundwassermessprogrammes im Hinblick auf einen effizienten und vorbeugenden Gewässerschutz aus Sicht von RGU 133 ist neben der bereits seit langem durchgeführten Auswertung von Grundwasserganglinien vor allem die Untersuchung des Grundwasserchemismus und die Feststellung von Grundwasserkontaminationen. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Nutzungen und Einflüsse, denen das Grundwasser in einer Großstadt wie München ausgesetzt ist, bleibt die systematische Überwachung des Grundwassers neben anderen Komponenten eine Daueraufgabe, die auch nach Abschluß des EG-Projektes durchzuführen ist, da nur aktuelle Daten eine konkrete Aussage über Grundwasserbelastungen und deren Ursachenerforschung ermöglichen.*

*Die Ergebnisse der bisherigen Grundwassermessprogramme waren in der Vergangenheit bereits Grundlage für gezielte Aktionen des Wasserwirtschaftsamtes sowie des Referates für Gesundheit und Umwelt in seiner Eigenschaft als Wasserrechtsbehörde zur Ermittlung von Schadstoffemittenten aus dem Bereich der chemieverarbeitenden Industrie.*

*Als Belastungsursachen sind in erster Linie wassergefährdende Stoffe zu nennen, die in der Vergangenheit vor allem durch alte Ablagerungen oder sorglosen Umgang in Industrie und Gewerbe in den Untergrund gelangt sind. Die hohe Durchlässigkeit der quartären Kiese und Sande der Münchner Schotterebene begünstigen einen Schadstoffeintrag in das Grundwasser. Aufgrund des Rückhaltevermögens des Bodens, insb. in Bereichen, die eine bindige Bodenmatrix aufweisen und der spezifischen chemischen Eigenschaften der eingetragenen Stoffe ist auch in Zukunft noch ein weiterer Schadstoffinput in das Grundwasser zu erwarten, auch wenn die Ursachen und Zeitpunkte der konkreten Schadensereignisse weit zurück liegen (Depotwirkung).*

Die einzelnen Belastungsursachen werden seit Jahren primär vom Wasserwirtschaftsamt im Rahmen der technischen Gewässeraufsicht nach Art 68 BayWG erkundet. Für den Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser sind in erster Linie sorgloser Umgang beim Lagern und Verwenden und bei der Abfall- und Reststofflagerung sowie mangelhaft abgedichtete Behälter, Abfüll- oder Manipulationsbereiche und Abwasserleitungen in Betrieben mit hohem Gefährdungspotential ursächlich. Die aufgrund der bisherigen Untersuchungen festgestellte Grundbelastung ist aber auch auf die früher weit verbreitete Verwendung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen in Lösungsmitteln, Kaltreinigern in Haushalt und Gewerbe zurückzuführen. Einen weiteren Beitrag verursachen diffuse Belastungsquellen wie z.B. der Eintrag von Streusalz, verkehrsbedingte Schadstoffeinträge, Landwirtschaft, undichte Abwasserleitungen, saurer Regen etc.

Ein wesentlicher Schwerpunkt im Vollzug der Wassergesetze sind neben der Ermittlung und Beseitigung von Schäden auch gezielte Vorsorgemaßnahmen, um neue Schäden zu verhindern. So wurden vom staatlichen Wasserwirtschaftsamt und vom Referat für Gesundheit und Umwelt im Münchner Stadtgebiet in den letzten Jahren bevorzugt Problembetriebe überprüft und Auflagen bezüglich des technischen Sicherheitsstandards durchgesetzt. Für viele Betriebe waren hohe Investitionen in zusätzliche Schutzvorkehrungen und die Sanierung von undichten Abwasserleitungen die Folge. Zahlreiche Betriebe wurden über die Vorsorgemaßnahmen hinaus vom RGU verpflichtet, aufwendige Sanierungsanlagen zur Reinigung des Grundwassers, des Bodens oder der Bodenluft zu betreiben; in vielen Fällen dauern diese Sanierungsverfahren noch an. In einigen Fällen konnten allerdings vom Wasserwirtschaftsamt auch nach umfassenden Ermittlungen aus verschiedenen Gründen keine konkreten Verursacher festgestellt werden.

In Fällen, in denen unabweisbarer Sanierungsbedarf besteht, führt das RGU in seiner Eigenschaft als Wasserrechtsbehörde in Ersatzvornahme die Sanierungsmaßnahmen selbst durch. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt betreibt das RGU in Haidhausen eine Grundwassersanierungsanlage über Aktivkohle zur Elimination von Halogenkohlenwasserstoffen aus den oberen tertiären Schichten.

Aktuelle Grundwasserstände können darüber hinaus auch wertvolle Erkenntnisse in Schadensfällen, insbes. bei der Auswahl von geeigneten Sanierungsverfahren leisten.

Das Sachgebiet **RGU 122** hat zu den ermittelten Grundwasserbelastungen durch **Pflanzenschutzmittel** (PSM) wie folgt Stellung genommen und weitere Aktivitäten angekündigt:

Der Einsatz bzw. ein Verbot von chemischen PSM war in der Vergangenheit in München bereits Gegenstand einiger Stadtratsanfragen und Bezirksausschußanträge. Die Verwendung von PSM zur Unkrautbekämpfung war ebenfalls Thema mehrerer Umfragen bei städtischen Referaten bzw. Hausverwaltungen, Wohngenossenschaften. Sämtliche Umfragen in der Vergangenheit ergaben, dass der Einsatz von PSM grundsätzlich auf das zur gärtnerischen Pflege unbedingt erforderliche Maß beschränkt wird.

Auf nicht gärtnerisch, land- oder forstwirtschaftlich genutzten Freilandflächen werden PSM nur dann verwendet, wenn alternative Methoden nicht zielführend bzw. wirtschaftlich nicht vertretbar sind. Diese Einzelfälle werden allerdings nur ausnahmsweise zugelassen und bedürfen einer vorherigen Genehmigung. Das Referat für Gesundheit und Umweltschutz handhabt diese Möglichkeit sehr restriktiv, so dass in den letzten Jahren nur in einem Fall eine Ausnahmegenehmigung erteilt wurde. Es handelte sich dabei um den PSM-Einsatz zur Unkrautbekämpfung im Randbereich einiger städtischer Kunstrasensportplätze.

Die **aktuellen Ergebnisse des GWUES deuten allerdings darauf hin, dass PSM auf Flächen, wie z. B. Gleisanlagen, Parkplätzen oder im Wege- und Hofbereich von Wohnanlagen ohne die vorgeschriebene Ausnahmegenehmigung eingesetzt werden.** Das Referat für Gesundheit und Umweltschutz wird deshalb durch weitere Maßnahmen den gefundenen Belastungen nachgehen und versuchen, die Verwendung der PSM auf den in Betracht kommenden Flächen zu verifizieren. Flankierend dazu wird das Thema „Einsatz von Pflanzenschutzmitteln“ bei allen in Betracht kommenden städtischen und staatlichen Dienststellen problematisiert. Geplant ist außerdem eine entsprechende Umfrage bei Eigentümern bzw. Verwaltern größerer Wohnanlagen.

Das **Wasserwirtschaftsamt München** gibt eine Zusammenstellung von Maßnahmen, die anhand festgestellter Belastungen von Seiten des Wasserwirtschaftsamtes ergriffen werden bzw. wurden:

1. An Messstellen, an denen für die Untersuchungsparameter LHKW und / oder PAK Gehalte grösser Stufe-1-Wert gemäß Bayerischen Altlastenleitfaden Anhang 10 gemessen wurden, werden gezielt Nachbeprobungen durchgeführt.
2. Bei Belastungen grösser Stufe-2-Wert gem. Altlastenleitfaden werden zusätzlich zu den Nachbeprobungen an den betreffenden Messstellen auch an ausgewählten Pegeln im näheren Umfeld Untersuchungen durchgeführt.
3. Bei Bestätigung der Belastungen erfolgt die Ermittlung der Ursache, soweit nicht schon bekannt durch die technische Gewässeraufsicht. An folgenden Messstellen ist dies der Fall: U1 199, U8 394, U8 554, U3 10, OSA 44H, U8 39H, NS 534 für den Parameter LHKW und DB02227H, U8 503, NS 973, U81067 für den Parameter PAK.
4. Die übermittelten Ergebnisse werden ausserdem für folgende weitere Zwecke verwendet: Beurteilung von Bauwasserhaltungen, Grundwasserentnahmen und bestehende Grundwasserverunreinigungen.

Als konkretes Beispiel ist ein Bauvorhaben in der Waldeckstrasse zu nennen: Hier wird eine zusätzlichen Grundwassermessstelle errichtet, um festzustellen, ob tatsächlich verunreinigtes Bauwasser vorliegt, da die vorliegenden Ergebnisse der GWUES-Analysen in diesem Bereich auf erhöhte Gehalte an PAK und LHKW hinweisen. Analog verhält es sich beispielsweise beim Bebauungsplan Schleissheimer / Neuherberger Strasse (ebenfalls erhöhte PAK- und LHKW-Gehalte im GWUES) sowie beim Bauvorhaben Klärwerk München 1, Großlappen (erhöhte PAK- und Nitratgehalte).

Beispielhaft eine nähere Ausführung zu Nr. 1 (WWA):

Aufgrund der Ergebnisse der 7.EU-Untersuchung wurden durch das WWA München gezielte Nachuntersuchungen durchgeführt.

Bei diesen Nachuntersuchungen durch das WWA im Februar 1998 ergaben sich deutliche Belastungen an den Messstellen DB02227H, NS 973; U8 503 und U81067 für den Parameter PAK.

Daraufhin wurde im Mai 1998 eine zweite Nachuntersuchung an diesen Messstellen, und wenn möglich zusätzlich an benachbarten Messstellen zur Eingrenzung, durchgeführt. Als zusätzlicher chemischer Parameter wurde BTX mit in die Untersuchung aufgenommen.

Die Ergebnisse waren im Frühsommer 1998 aufgrund tiefer Grundwasserstände in der Messstelle DB02227H bei sehr geringer Wasserführung nicht repräsentativ, die benachbarte Messstelle DB12227H zeigte dagegen keine Belastung.

NS 973 : Belastung grösser Stufe-1-Wert, aber sehr geringe Wasserführung und die „benachbarten“ Messstellen NS 806H und NSA 109 zeigten keine Belastung

U8 503 deutliche Belastung grösser Stufe-1-Wert, „benachbarte“ Pegel NS 687 und U8 166 waren jedoch unbelastet

U81067 keine Belastung feststellbar (deutlich kleiner als der Stufe-1-Wert)

Beispiel: Zusatzuntersuchung Taunusstr.

Bei einer der 344 Grundwassermessstellen konnten wiederholt stark erhöhte Werte der Leitfähigkeit (36000 µS/cm) und Chlorid (14740 mg/l) gemessen werden. Hier wurde eine Zusatzbeprobung mit weiteren Pegeln in engem Umgriff dieser Messstelle vorgenommen.

Diese Zusatzbeprobung erfolgte am 13.09.1996 und umfaßte die Messstellen BE 375; URP 530, URP 22 und XP 5 8 1. Analysiert wurde auf die Parameter AOX, CKW, DOC, Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Bor und Leuchtbakterientest. Die Untersuchung konnte jedoch die Ergebnisse der vorangegangenen Beprobungen bezüglich der Leitfähigkeit und des Chloridgehaltes ebensowenig bestätigen, wie im November die dritte Messreihe, bei der wiederum alle vier Pegel einbezogen wurden. Die Untersuchungen zeigen jedoch, daß hier eine punktuelle kurzzeitig aufgetretene Kontamination vorlag, deren Auswirkungen sich in den Messreihen 2 und 3 auch im Grundwasserabstrom nachweisen läßt. Außerdem wurden zusätzlich Hinweise auf eine CKW-Verunreinigung in diesem Bereich gefunden. Die Ergebnisse wurden mit dem Sachgebiet Wasserrecht eingehend besprochen und zur weiteren Bearbeitung übergeben. Der Fall zeigt jedoch, daß Verunreinigungen durchaus auch kurzfristig auftreten können, eine Nachweisbarkeit vor Ort jedoch bereits nach kurzer Zeit nicht mehr bestehen kann.

## VI. Folgerungen

### VI.1 Diskussion und Folgerungen aus der Grundwasserüberwachung

#### Notwendigkeit für die Fortführung des Grundwasserschutzes

Das Grundwasser ist durch das Wasserhaushaltsgesetz flächendeckend gegen vermeidbare Beeinträchtigungen geschützt, und auch andere Gesetze und Verordnungen beinhalten allgemeine Schutzauflagen für das Grundwasser (z.B. bauliche Auflagen bei der Lagerung, dem Transport und dem Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Verbot bestimmter Pflanzenschutzmittel, etc.). Trotzdem gelangen immer wieder anthropogene Schadstoffe aus u.a. Industrie, Landwirtschaft und Verkehr in das Grundwasser.

Ziel des derzeit beendeten Grundwasserüberwachungssystems GWUES (1996-1998) und der bereits vorangegangenen Grundwasseruntersuchungen (vor 1992) war es, Kriterien für ein Grundwasserprogramm zu entwickeln, das es erlaubt, im Zusammenspiel mit weiteren Komponenten (s.u.) einen vorsorgenden, langfristig wirksamen Grundwasserschutz zum flächendeckenden Erhalt der natürlichen Grundwasserqualität zu betreiben.

Auch die Ergebnisse künftiger Überwachungsschritte werden in ein Gesamtkonzept für den Grundwasserschutz einfließen. Das vorstehend beschriebene Untersuchungsprogramm ist ein wesentlicher Baustein für dieses Gesamtkonzept.

Dieses Gesamtkonzept (Grundwasserschutzkonzept) soll neben der Überwachung der Grundwasserqualität (Grundwasseruntersuchungsprogramm) langfristig die Ermittlung der potentiellen Grundwassergefährdung (Grundwassergefährdungspotential) sowie der Grundwasserverschmutzungsempfindlichkeit (Schutzfunktion der Grundwasser-Überdeckung) beinhalten.

Das Grundwasserschutzkonzept umfasst die

- Sicherung des Grundwasserdargebots und der Grundwasserqualität
- Vorsorge  
z.B. im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen,  
Entsiegelung, Förderung der flächigen Niederschlagsversickerung  
Planung (z.B. Verkehr, Industrie- und Gewerbeansiedlung)
- Vermeidung von Emissionen und Immissionen  
diffuse Einträge  
punktuelle Einträge  
lineare Einträge
- Überwachung
- Sanierung

Bisher wird beim Grundwasserschutz viel zu wenig die Bedeutung der bodenkundlichen und geologischen Standortgegebenheiten berücksichtigt, obwohl gerade die Schutzfunktion (Ausbildung und Mächtigkeit) der das Grundwasser überlagernden Deckschichten entscheidend die Gefährdung des Grundwassers durch eindringende Schadstoffe beeinflusst. Daher muss der vorsorgende flächendeckende Schutz der Böden verstärkt beachtet werden und als wichtiger Bestandteil ins Grundwasserschutzkonzept einfließen.

Um einen flächendeckenden bzw. flächigen Grundwasserschutz mittels standortangepasstem Schutzaufwand realisieren zu können, müssen die jeweilige lokale und regionale historische Nutzung sowie etwaige Nutzungsänderungen oder -einschränkungen für künftige grundwasserträgliche Planungen und Flächennutzungen berücksichtigt werden.

Nachdem bisher bei der Behandlung des Grundwasserschutzes das Augenmerk fast ausschließlich unmittelbar auf das Grundwasser selber gelegt wurde, müssen in einem künftigen Konzept auch technische und chemische Fragen z.B. der Verbesserung des sicheren Umganges mit wassergefähr-

denden Stoffen, grundwasserverträgliche Neuansiedlung von Industrie und Gewerbe, Verkehrsführung u.a. berücksichtigt werden.

Das langfristige Ziel dieses Grundwasserschutzkonzeptes ist die Sicherung bzw. Wiederherstellung von „flächendeckend anthropogen möglichst unbelastetem Grundwasser“ (Sicherung der Grundwasserqualität).

Hierfür müssen u.a. auch die Grundlagen geschaffen werden, um durch verstärkte räumliche Planungen, Genehmigungsentscheidungen und wasserrechtliche Fachplanung einerseits negative Einwirkungen aus dem Bereich genehmigungsbedürftiger Planungen und Anlagen und andererseits Anlagen mit hohem Betriebsrisiko zu vermeiden und zu regulieren.

### **Zielsetzung des Messnetzes**

Bei der Einrichtung eines Messnetzes zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:

1. Vorsorgender Grundwasserschutz soll ermöglicht werden bzw. gewährleistet sein (Sicherung der GW-Qualität nicht zuletzt auch im Hinblick auf die GW-Nutzung unterstromiger Gemeinden i.S. der Fürsorgepflicht).
2. Das Messnetz soll kostengünstig im Unterhalt und in der Nutzung sein.
3. Das Messnetz sollte nachvollziehbar in seiner Entwicklung und seinem Aufbau sowie in seinen Ergebnissen anwendungsbezogen und übertragbar sein.

Zielsetzung einer künftigen flächigen Grundwasserüberwachung kann **nicht die Schadensbeweissicherung** und/oder -sanierung sein, sondern die Kontrolle des Grundwassers mit dem Ziel, langfristig die Entwicklung der Grundwasserzusammensetzung bzw. -qualität zu überwachen und Hinweise auf Veränderungen des Grundwasserchemismus oder auf neue Kontaminationen zu erlangen, die dann von den zuständigen Institutionen oder Sachgebieten weiterverarbeitet werden können. Derartige Grundwasserüberwachungen können und sollen **keine Detailuntersuchungen ersetzen**.

Allerdings muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass eine im eigentlichen Sinn "**flächendeckende**" und damit vollständige, lückenlose Überwachung des Grundwassers im gesamten Stadtgebiet **nicht möglich** ist. Eine derartige vollständige Überwachung ist auf Grund der vielschichtigen, verschiedenartigen Ausbildung der Aquifere und deren rasche kleinräumige Veränderungen sowie der z.T. sehr schmal ausgebildeten Schadstoffbahnen, der hieraus resultierenden Notwendigkeit einer großen Messstellendichte und des damit verbundenen Analytikumfangs mit vertretbarem personellen und finanziellen Aufwand nicht realisierbar. Auch ist die hierfür erforderliche Laborkapazität schwerlich bei einer Institution zu erhalten. Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse ist aber eigentlich die Durchführung der Analytik durch ein Labor anzustreben.

Vielmehr liegt es in der Aufgabe der Auswahl der Messstellen, dafür zu sorgen, dass zum einen möglichst alle relevanten Bereiche, von denen eine Grundwassergefährdung auszugehen vermag, erfasst und durch gezielt ausgewählte, unterstromig gelegene Messstellen abgedeckt werden und zum zweiten großräumige, weitgehend ungefährdete Flächen durch repräsentativ ausgewählte Grundwasserpegel qualitativ definiert und auf langfristige Veränderungen hin überwacht werden können.

### **Einrichtung eines Messnetzes**

Unter dem Aspekt einer ökonomisch vertretbaren aber dennoch möglichst effizienten Grundwasserüberwachung muss daher die Vorstellung eines flächendeckenden Messnetzes zugunsten eines effektiven, gezielt ausgewählten flächigen Pegelrasters korrigiert werden, mit dem Bewußtsein, dass in einem derartigen Netz durchaus Bereiche existieren, in denen Grundwasserkontaminationen nicht direkt sofort aufgespürt werden können. Es ist jedoch vor allem erforderlich, diejenigen Bereiche mit dem Messnetz abzudecken, in denen aufgrund der vorgegebenen Situation durchaus die Möglichkeit einer Grundwasserkontamination bestehen könnte.

Großräumige flächige Grundwasserverunreinigungen z.B. durch belastete Niederschläge werden

durch die repräsentativ gesetzten Messstellen belegt, da sie das Stadtgebiet diffus überziehen und langfristig in mehreren Messpegeln nachgewiesen werden können.

Bei der Auswahl von Messstellen für die Überwachung des Grundwasserchemismus sind allgemein vor allem drei Problemkreise zu berücksichtigen:

### 1. Lokales Gefährdungspotential des Grundwassers

Das lokale Gefährdungspotential drückt u.a. die Wahrscheinlichkeit einer Verunreinigung des Grundwassers auf Grund der lokalen geographischen Situation, der Anzahl der möglichen Verschmutzungsquellen und der Bodenreinigungskraft aus. Die Höhe des Gefährdungspotentials läßt sich mit der Beantwortung u.a. folgender Fragen abschätzen:

- Geomorphologische Situation: Ebene Flächen, Mulden und Erhebungen, Hang- oder Terrassenkanten, Flusstäler, u.a.
- Oberflächen-Nutzungsstrukturdaten: Industrie- und Gewerbeansiedlungen, Wohnbereiche, Landwirtschaft, Verkehrsflächen, Tiefbauwerke, Deponien, etc.
- Oberflächen-Versiegelungsgrad

### 2. Hydrogeologische Verhältnisse

Geologische Schichtfolge, Flurabstand (Reinigungskraft des Bodens), Mächtigkeit, Grundwassermenge; Hydraul. Kurzschlüsse (Gefahr der Verschleppung von Verunreinigungen in tiefere Grundwasserschichten); Durchlässigkeit (Strömungs-, Stofftransportgeschwindigkeit); Grundwasserströmungsrichtung (Gefährdung unterstromiger Grundwassernutzer, Ausbreitung einer Verunreinigung (Schadstofffahne)); Infiltrationsbereiche des Vorfluters (Wasser- und Schadstoffaustausch zwischen Fluss- und Grundwasser); Adsorptionsfähigkeit des Bodens für bestimmte Schadstoffe (Schwermetalle etc.)

### 3. Hydrochemische Beschaffenheit

Ist-Zustand, Vorbelastung

Die Messstellen sollten schwerpunktmäßig in Bereichen liegen, die einerseits eine langfristige Beobachtung und Kontrolle der generellen Beschaffenheit des noch relativ „unbelasteten“ Grundwassers, andererseits die Überwachung von Zonen mit einem erhöhten Gefährdungspotential, d.h. von Gewerbe- und Industriezonen, Zonen erhöhter Durchlässigkeit und geringer Flurabstände sowie vorbelasteter Grundwässer, Altlastgebieten, ermöglichen.

Besonders wichtig ist der optimale Kompromiß zwischen den theoretischen Maximalanforderungen aus fachlicher Sicht (Optimum) und der praktischen Umsetzbarkeit unter Einbeziehung bereits vorhandener Bestände und der zur Verfügung stehenden Finanzmittel (Minimalanforderungen).

Das Messstellenraster sollte jedoch nach Abschluss eines jeden Untersuchungsabschnittes und der Auswertung der Analyseergebnisse hinsichtlich seiner Effektivität kontrolliert und ggf. modifiziert werden.

Das ursprüngliche Bestreben zur Schaffung eines möglichst **gleichmäßigen räumlichen** Messstellenrasters kann bei der praktischen Umsetzung nicht realisiert werden, da sich aufgrund der spezifischen örtlichen Anforderungen bei der Zusammenstellung des Messnetzes Abweichungen von einem gleichmäßigen Raster erforderlich sind. Daraus resultiert eine variable Verteilung der Messstellen mit einem engmaschigerem Raster in Bereichen geringer Flurabstände, erhöhter Bodendurchlässigkeit und/oder Zonen verstärkter Industrie- oder Gewerbeansiedlungen.

In einzelnen Bereichen ist (im Nachhinein) eine Unterteilung der erforderlichen Überwachungspegel in Primärpegel, die bei jedem Untersuchungsschritt beprobt werden und weiteren Sekundärpegeln, die nur dann in das Untersuchungsprogramm einfließen, wenn die Primärpegel Auffälligkeiten aufweisen, notwendig.

Insgesamt erweist sich eine aufgrund ausführlicher und umfangreicher Kartenbasis, Vorkenntnissen und praktischen Erfahrungen sowie bereits vorliegenden punktuellen qualitativen Grundwasserdaten getroffene Messstellenauswahl als weitgehend zielführend. Sowohl die Belastungsschwerpunkte als

auch lokale, vorübergehende Verunreinigungen konnten ebenso nachgewiesen werden, wie auch langfristige Beeinflussungen des Grundwassers.

Kaum zu verhindern und nicht berechenbar sind jedoch immer wieder auftretende Beschädigungen der Messstellen und dadurch möglicherweise entstehende Datenlücken.

Pegel auf Firmen- oder Privatgrund stellen sich für eine allgemeine Grundwasserüberwachung als ungünstig heraus, da hier u.U. rechtliche Probleme eines uneingeschränkten Zuganges auftreten kann.

### **Eignungs- und Zustandskontrolle der Pegel**

Die Erfüllung der Mindestanforderungen (s.u.) an die Messstellen sollte **vor der ersten** Probennahme durch eine gesonderte **Vor-Ort-Überprüfung** jeder einzelnen Messstelle sichergestellt werden. Dabei sind die (Sohl-) Tiefe, die aktuelle Wasserführung bzw. der Grundwasserstand, die Lage und Zugänglichkeit, der Pegelabschluss hinsichtlich der „Sollwerte“ zu überprüfen sowie etwaige Beschädigungen festzustellen.

Für die Überprüfung wurde ein Zeit- und Personalaufwand von ca. 10 Pegel pro Tag pro Mann zugrunde gelegt. Für die Untersuchung werden nur wenige, leicht zu transportierende Gerätschaften benötigt: Kalibriersonde für die Querschnittsprüfung, Kabellichtlot zur Messung der Sohlentiefe und des Grundwasserstandes sowie Werkzeug zur Öffnung der Messstellenkappen. Die Ergebnisse der Überprüfungsaktion werden in vorbereiteten Tagesberichten und in einer tabellarischen Pegelliste die Pegelnummer, die Kennzeichnung, ob Ein- oder Mehrfachpegel, Angaben zu verschiedenen Zollgrößen, Zugang, Verkehr, Lage, Zustand, sowie das Datum der Überprüfung aufgeführt. Besonderes Augenmerk ist auch, an Betracht der künftig ständigen Beprobung, auf eine im allgemeinen sichere Wasserführung, leichte und einfache Zugänglichkeit (Auto/GW-Pumpe), sowie auf schwaches Verkehrsaufkommen im Umfeld liegender Straßen gelegt.

### **Probennahme**

Die Probenentnahme, die entsprechend den einschlägigen Richtlinien zu erfolgen hat, sollte in einem möglichst kurzen Zeitraum (z.B. innerhalb einer Woche) erfolgen, um die Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse sicherzustellen. Dabei ist sicherzustellen, dass eine **kontinuierliche** Durchführung der Probennahme über den geplanten Zeitraum gewährleistet ist. Ständiger personeller Wechsel beeinträchtigt eine **vergleichbare Probennahme bei allen Untersuchungsschritten**. Die Durchführung der Probenentnahme sollte daher durch das bzw. in enger Zusammenarbeit mit dem Labor, das mit der Analytik beauftragt wurde, erfolgen, da erstens die Probennahme auf die Analytik abgestimmt sein muss, zweitens das fachlich geschulte Personal zur Verfügung steht, drittens die Gerätschaften und das "Know how" vorhanden sind und letztlich die Mehrkosten für die Probennahme gegenüber den Laborkosten nur geringfügig ausfallen. Außerdem wird hierdurch die Kontinuität der Qualität gewährleistet.

Der erforderliche Aufwand der Probennahme, d.h. die durchschnittliche Probennahmedauer wurde mit ca. 1 Stunde veranschlagt, dies bedeutet ca. 8 Proben pro Tag oder 40 Proben pro Woche pro Entnahmeteam.

Bei der Durchführung der Probennahme trat immer wieder das Problem geringer Wasserführung in den Messstellen auf, das dazu führte, dass lediglich Schöpfproben an den betroffenen Pegeln gezogen werden konnten. Hier galt es letztlich zu entscheiden, ob die ermittelten Grundwasserergebnisse plausibel waren und die Messstelle aus wichtigen Überlegungen - z.B. da sie wegen ihrer geographischen Lage in Bezug auf potentielle Gefahrenquellen für das Grundwasser unverzichtbar erschien und kein Ersatz zur Verfügung stand - weiterhin Bestandteil des Grundwasserüberwachungssystems bleiben sollte oder die Messstelle durch - soweit vorhanden - besser geeignete Pegel ersetzt bzw. ersatzlos aus dem Messraster entfernt werden sollte.

## Qualitätssicherung

Zur Sicherstellung der Qualität der Probennahme ist es erforderlich, zusätzlich zu den laufenden Grundwasserentnahmen von Zeit zu Zeit unangekündigt stichpunktartige, parallellaufende Proben durch den Auftraggeber bzw. eine anerkannte kompetente Institution - z.B. durch ein staatliches Wasserwirtschaftsamt - durchzuführen bzw. durchführen zu lassen. Diese Qualitätssicherung der Probennahme und Analytik sollte vom Umfang der Parameterbestimmung her identisch mit denen des Labors (Auftragnehmer) sein.

Es wurde auch auf die Möglichkeit einer Verschleppung von Verunreinigungen bei der Probennahme aufmerksam gemacht. Pumpenmaterial, das bei einem belasteten Pegel verunreinigt wurde, könnte das Ergebnis eines anderen, unmittelbar danach beprobten unbelasteten Pegels im negativen Sinne verfälschen. Wie jedoch die Praxis zeigt, bewegen sich diese Einflüsse allenfalls im  $\mu\text{g/l}$  - Bereich und sind daher durchaus tolerabel. Eine diesbezügliche Änderung der Probenahmepraxis ist daher nicht erforderlich.

## Ionenbilanz

Um eine Überprüfung der ermittelten Kationen- und Anionenequivalente auf ihre Plausibilität zu ermöglichen, sollte - zumindest stichpunktartig - eine Ionenbilanz durchgeführt werden, wobei die Analytik um die bisher noch nicht erfassten Kationen der Hauptinhaltsstoffe zu erweitern ist.

## Parameterauswahl und Analytik

Gemäß den ursprünglichen, während des GWUES in der Praxis bewährten Überlegungen kann die Analytik ggf. stufenweise durchgeführt werden, um den Umfang der regelmäßigen flächigen Grundwasseruntersuchung zwar einerseits so umfangreich wie notwendig, andererseits aber finanziell auch vertretbar und von der Labor- bzw. Personalkapazität her praktikabel zu gestalten. Dabei könnten in einem ersten Untersuchungsschritt die für eine allgemeine Grundwasserbeurteilung notwendigen Basisparameter sowie die wichtigsten Summenparameter überwacht werden. Auch eine mögliche lokale Aufteilung der Messstellen in Primär- (Mutter-) und Sekundär- (Tochter-) pegel stellt eine weitere Möglichkeit dar, den Untersuchungsaufwand, d.h. in erster Linie die finanziellen Aufwendungen, zu begrenzen.

Im ersten Schritt erfolgte beim GWUES die periodische Untersuchung auf folgende Parameter:

organoleptische Ansprache der Probe (Farbe, Geruch, Trübung),
Vor-Ort-Parameter (Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, O <sub>2</sub> ),
Sulfat (als Bauschuttindikator),
Bor (als Hausmüllindikator),
Chlorid (Salzbelastung),
AOX/LHKW (halogenorganische Belastung),
DOC (organische Belastung),
Nitrat (Hinweis auf Belastung u.a. durch Landwirtschaft).

Bei Verdacht auf Verunreinigungen wurde dann eine weitere Probennahme mit umfangreichere Analytik gemäß Untersuchungsschritt 2 und ggf. zusätzlichen Messstellen durchgeführt.

Daran anschließend, sozusagen als Schritt 3 folgten die Detailuntersuchungen an einem verdichteten Messstellenraster. Diese detaillierten Untersuchungen werden jedoch von den zuständigen Institutionen, Wasserwirtschaftsamt und entsprechenden Sachgebieten (Wasserrecht; Altlasten) weitergeführt werden.

Diese, zwar bewährte Aufteilung der Analytik läßt sich unter Hinzunahme der Messungen „Dritter“ und aufgrund der Ergebnisse des GWUES weiter komprimieren, indem alle auf Schritt 1 folgenden Maßnahmen und Untersuchungen bereits von „Dritten“ übernommen werden (s.u.).

Als Indikatoren für die chemische Qualität des oberflächennahen Grundwassers wurden vor allem die Standardparameter Temperatur, Leitfähigkeit, Chlorid, (Sulfat), Nitrat, Bor sowie die Belastung mit AOX, LHKW (CKW), PAK und Pestiziden erkannt. Um die Auswirkungen organischer Belastungen umfassender zu recherchieren, wurde auch auf Ammonium untersucht.

Bei den bisherigen und auch künftigen Untersuchungen des Grundwassers wurde bzw. wird bewußt auf die labortechnische Analyse auf Kohlenwasserstoffe (KW) verzichtet, da die organoleptische Wahrnehmung der KW bei der Probennahme zur Registrierung relevanter KW-Verunreinigungen ausreicht. Nach Aussage des Wasserwirtschaftsamtes wird derzeit vom Landesamt für Wasserwirtschaft eine neue Analysenmethodik bei KW erarbeitet. Erst wenn diese realisiert worden und anwendbar ist, sollten weitere Überlegungen hinsichtlich einer ggf. flächendeckenden Untersuchung des Grundwassers auf KW angestellt werden.

Zur Beurteilung der PAK-Belastung in Wässern werden verschiedene Verbindungen aus dieser Stoffgruppe herangezogen. Die TVO z.B. definiert 6 Stoffe während nach US-EPA Richtlinien 16 Substanzen zu analysieren sind.

Gemäß einem Bericht des Umweltbundesamtes sind von den 16-EPA-PAK stets die gleichen 8 Substanzen auf den vorderen Positionen zu finden (Naphthalin; Acenaphthen; Phenanthren; Fluoren; Pyren; Fluoranthen; Anthracen; Acenaphthylen). Eine Summierung der prozentualen Anteile ergibt mehr als 90% der Gesamt-PAK-Belastung durch diese 8 Stoffe, deren berechnetes Transferpotential am höchsten ist. Zur Erfassung einer signifikanten PAK-Belastung im Grundwasser ist die Analytik dieser 8 Substanzen als ausreichend anzusehen.

Erfahrungsgemäß sind besonders die polaren polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe mit niedrigem Molekulargewicht (wie Naphthalin, Methylnaphthaline etc.) im System Boden/Wasser besonders mobil. Deshalb sollte bei **Detailuntersuchungen** von Grundwasserbelastungen auf diese Substanzen besonderer Wert gelegt werden. Demzufolge ist die Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe aus Wasserproben mittels Gaschromatographie in Verbindung mit der Massenspektrometrie die Methode der Wahl. Die Massenspektrometrie gewährleistet eine eindeutige Identifizierung der Einzelsubstanzen und minimiert verfahrensbedingte Schwächen der HPLC-Methode.

Obwohl in Vergleich mit der genaueren und aussagekräftigeren, jedoch deutlich teureren Analytik mittels GC/MS bei der HPLC-Methode speziell die Naphthaline nicht erfasst werden können, reicht für einen **ersten generellen Überblick** über mögliche Belastungen des Grundwassers durch PAK's die **HPLC-Methode**, besonders auch unter dem Gesichtspunkt einer effektiven, aber finanziell tragbaren Durchführung der GW-Überwachung, völlig aus, da erfahrungsgemäß sich auch hier bei einer Verunreinigung durch Naphthaline erhöhte PAK-Werte feststellen und sich somit Erkenntnisse auf eine Kontamination und erforderliche Folgemessungen ableiten lassen. Diese Folgeuntersuchungen, speziell wenn es gilt, die Verfolgung konkreter Hinweise auf Grundwasserkontaminationen aufzunehmen, sollten jedoch lokal gezielt, bedarfsorientiert und mit der aufwendigeren GC/MS-Analytik durchgeführt werden.

Es zeigte sich, dass das Grundwasser hinsichtlich der PSM-Einzelparameter noch (?) erheblich beeinträchtigt ist. Der bedeutsamste Einzelparameter davon ist **Simazin**. Simazin wurde bereits an über **40 % der Messstellen** nachgewiesen, demgegenüber wurde der TVO-Grenzwert von 0,1 µg/l lediglich an ca. 16 % der Messstellen überschritten. Weitere relevante Pflanzenschutz-Einzelparameter sind insbesondere Atrazin, Desethylatrazin und Diuron. Während bei Betrachtung nur des Summengrenzwertes nur wenige Messstellen als belastet anzusehen wären, überschreiten bei den Einzelparametern deutlich mehr Pegel den entsprechenden Grenzwert von 0,1 µg/l. Daraus folgt, dass für die Untersuchungen auf PSM in jedem Fall die Analytik und Auswertung der Einzelparameter einer Bewertung des Summenwertes gemäß TVO vorzuziehen ist.,

Da speziell z.B. bei den PAK und PSM kurzfristige, akute Grundwasserverunreinigungen (Unfälle) so gut wie nicht zu erwarten sind und die vorliegenden Grundwasserbelastungen auf langjährig wirkende bzw. lang zurückliegende Ursachen zurückzuführen sind, ist eine generelle Analyse dieser Parameter allenfalls im Abstand von mehreren Jahren ( z.B. 5 Jahre; PSM: ggf. Beprobung nur in längeren Abständen) angemessen und für die angestrebten Ziele genügend aussagekräftig.

Die flächige Erstuntersuchung besonders spezifischer Parameter für den Bereich einer Großstadt (PAK; BTX) und forst- und landwirtschaftlich genutzter Flächen einschließlich städtischer Grün- und Verkehrsbegleitflächen (PSM) im Zuge eines GWUES und die gezielten, an Messstellen mit erhöhten

Konzentrationswerten durchgeführten Folgemessungen führen zu einer Bestandsaufnahme der vorliegenden Grundwasserverunreinigungen durch die entsprechenden Parameter, zum anderen werden die zeitlichen Veränderungen der Konzentrationsverhältnisse in den einzelnen Messstellen aufgezeigt.

## **EDV - Anforderungsprofil**

### **EDV-Pflichtenheft**

Für eine zeitgemäße, anwenderfreundliche und effektive Sicherung, Pflege und Weiterverarbeitung geologischer und hydrochemischer Daten und Ergebnisse des GWUES sowie künftiger Grundwasseruntersuchungen ist ein EDV-System mit leistungsfähigen Hard- und Softwarekomponenten unerlässlich.

Daher war es auch eine Aufgabe dieses Projektes, die Voraussetzungen für eine praktikable und anwendergerechte Ausgestaltung mit der notwendigen DV-Software zur Speicherung, Verarbeitung und Auswertung des Datenmaterials zu definieren.

Als erster Arbeitsschritt hierzu wurde ein Pflichtenheft erstellt, das aus Sicht der Grundwasserüberwachung folgende Grundanforderungen enthält:

Zu einer effektiven DV-Bearbeitung der historischen Grundwasserdaten wie auch der aktuellen GWUES-Daten ist, unter Berücksichtigung der aktuellen Hardwarekonfiguration im Referat, die Nutzung einer Windows-basierten Datenbank, wie z.B. ORACLE, unerlässlich. Die Datenbank muss entsprechend den fachlichen Anforderungen konzipiert, geplant und die dazugehörigen Pflegeprogramme und Masken zur Prüfung auf Richtigkeit, Plausibilität und Vollständigkeit erstellt werden.

Anzustreben ist eine kompakte, maskengesteuerte Systemoberfläche, die es ermöglicht, interaktiv am Bildschirm zu arbeiten, um Pegel, Lokalitäten und/oder Ergebniswerte zu markieren, selektieren, separat abzuspeichern. Z. B. sollte auch die Möglichkeit bestehen, den Informationsgehalt einer Messstelle um bestimmte standortspezifische Daten, Analytik-Werte oder sonstige Attribute am Schirm zu erweitern. Ebenso müssen Auswertungen und Analysen, wie z. B. Verknüpfungen mit zusätzlichen thematischen Aspekten möglich sein oder zeitvergleichende Analysen durchgeführt werden können. Ebenso ist eine weitestgehende Vereinfachung des Datentransfers zwischen Datenerheber und Datenhalter sowie eine effizientere und sichere Prüfung der eingehenden Daten anzustreben.

## **DV-Komponenten - Anforderung und Umsetzungen**

### **Hardware**

Die Hardware-Struktur im Referat für Gesundheit und Umwelt entsprach den Bedürfnissen, die sich für der Bearbeitung des GWUES ergaben. So konnte u. a. auf folgende Ausstattung zurückgegriffen werden:

*Haus-Netz: Ethernet mit ca. 150 PC*

*Server: Alphaserber 2100/4 - 275, mit 20 GB Festplattenspeicher, 2 CPUs und 750 MB RAM mit DEC OSF1*

*Clients für GWUES: 2 PC mit 64 MB RAM und WinNT 4, X-Windows (32-bit server)*

### **Datenbank**

Herzstück der Datenverarbeitung ist eine an den Anwendungsbedürfnissen orientierte und dementsprechend strukturierte Datenbank.

Hier sollen gehalten werden:

#### *Basis Daten*

1. Messstellendaten (Festwerte) mit *Standortdaten Ausbaudaten*
2. Geol. Schichtsäulen

#### *Aktuelle Daten*

1. Hydrogeologische Werte (pro Pegel)
2. chem.-phys. Untersuchungsparameter mit Analyseergebnissen

Dabei sollte ein rascher Zugriff auf die abgespeicherten Daten und auch auf Teildateien möglich sein.

Die Dateneingabe der Festwerte wie auch der variablen Werte muss sowohl manuell über Masken wie auch automatisiert via Band bzw. Disketten erfolgen können.

Dies bedeutet auch, da die Mess- und Analysendaten der Labors übernommen werden sollen, dass verbindliche Datensatzbeschreibungen und Datenträger vorgegeben werden.

Als Datenbanksystem wurde im Projektverlauf ORACLE installiert, die Grundwasserdatenbank eingerichtet und mit den historischen Daten wie auch aktuellen Ergebnissen aus dem Grundwasserüberwachungssystem bestückt.

### **Geographisches Informationssystem**

Mit dem im Hause bereits angewandten GIS *ArcInfo* Vs. 7.2 und *ArcView* liegen zahlreiche Informationsgrundlagen digital aufbereitet vor, z. B. der Umweltatlas der LH München, auf die während der Projektbearbeitung zurückgegriffen wurde.

### **Datenerfassung, Datentransfer, Datenspeicherung**

Die Vor-Ort-Probennahme erfolgt nach einem vom Umweltschutzreferat festgelegten Protokoll. Die vor Ort erfaßten Daten werden von den Probenehmern bzw. vom Labor aufbereitet.

Eine schnelle und kostensparende Ein- und Auslesung der Analysedaten in die Datenbank wurde im ersten Schritt durch Diskettenüberspielung erreicht. Zu diesem Zweck wurde dem ausführenden Analytiklabor das entsprechende Format für den Dateiaufbau vorgegeben, so daß die Analysedaten schon vom Labor EDV-technisch so auf Datenträger aufbereitet wurden, daß eine direkte Einspeisung in die haus eigene EDV-Anlage möglich war.

Die notwendigen Anforderungen an das Datenformat zur Einlesung der Disketten auf die Grundwasser-Datenbank in ORACLE wurden dem Labor vorgegeben. Diese Art der Datenübermittlung hat sich im Laufe der Projektdurchführung bewährt.

Für die Zukunft wird ein direkter online-Datenaustausch zwischen Labor und Auftraggeber angestrebt.

### **Datenbe- und -verarbeitung**

Bevor Daten überhaupt ausgewertet werden können, muss der Datenbestand homogenisiert werden, müssen Plausibilitätskontrollen durchgeführt werden, formelle und sachliche Fehler bearbeitet werden. Diese Aufgaben sollte von DV-Programmen halbautomatisiert übernommen werden, mit der Option auch Korrekturen, Umbenennungen, Ergänzungen zuzulassen. Im Detail müssen die eingespielten Dateien auf Fehler untersucht werden, wobei folgende Fehler häufig auftreten:

*Parameterreihenfolge nicht eingehalten*  
*Datumsangaben falsch*  
*falsche Grundwasserwerte*  
*falsche Messpunkte*  
*Messwerte benachbarter Pegel vertauscht*  
*Angabe falsche GW-Horizonte*  
*Verschiebung der Dezimalstellen (Lf)*  
*leere Datensätze*  
*unvollständige Datensätze (z.B. Werte ohne Datum)*  
*Datensätze nicht einzeilig*  
*Erweiterung der erforderlichen Stellenzahl bei Änderung der Nachweisgrenzen*

Plausibilitätskontrollen sollen bereits durch das Labor auf Grund von älteren Messdaten erfolgen.

Zur Weiterverarbeitung der ermittelten Analysedaten müssen EDV-Programme eingesetzt werden, mit deren Hilfe eine rasche und problemlose Speicherung, Kontrolle und Pflege der Daten erreicht wird.

### **Datenauswertung**

Für die Auswertung und Aufbereitung der Messergebnisse sind folgende **Ausgabemöglichkeiten** zu realisieren:

1. Ausgabe nur der Messstellenverteilung
2. Ausgabe nur der geol. Schichtsäule eines Pegels
3. Ausgabe als Schichtsäulenprofile
4. Ausgabe der Festwerte u./o. variable Werte einer Messstelle
5. Ausgabe der Konzentrationsverteilung eines Parameters (Verteilung der Maxima, Minima, Mittelwerte eines Pegels innerhalb e. Zeitraums)
6. Ausgabe der Gesamtchemismus einer Messstelle
7. Ausgabe von Zeitreihen eines Parameters einer Messstelle mit der Möglichkeit der Kombination mehrerer Pegel und/oder Parameter
8. Ausgabe als Isolinien (Konzentrationsverteilung in 2-D-/3-D-Darstellung)
9. Ausgabe der Ergebnisdaten sowohl für das gesamte Untersuchungsgebiet als auch für beliebige Teilgebiete in jedem gewünschten Maßstab

Die **Auswertung und Interpretation** sollte mit folgenden Arbeitsschritten möglich sein:

1. Abfrage/Wiedergabe der Werte, d. h. Datenabfragen je Einzelparameter und über Tabellen; Abfragen der Werte für mehrere Parameter mit punktuellm Zugriff, differenzierte zeitliche und räumliche Abfragen
2. Aktuelle Grenz- und Richtwerte sollten verfügbar sein und herangezogen werden können wie EG-Richtlinien, TVO-Grenzwerte, WHO-Richtwerte
3. Anwendung univariater Methoden: Häufigkeitsverteilungen, Lageparameter, Streuungsmaße
4. Korrelationsanalyse
5. Multivariate Methoden: Diskriminanzanalyse, Clusteranalyse, Faktoranalyse

### **Graphische Auswertung:**

1. Einzeldiagramm (Schichtsäulen/Profilschnitte)
2. Sammeldiagramm
3. flächige Darstellungen (Isolinien/Konzentrationslinien)
4. zeitliche Darstellungen (Ganglinien)
5. Säulendiagramme
6. Kreisdiagramme
7. Strahlendiagramme
8. Dreiecks- und Vierecks-(Piper-) Diagramme, (Kationen-Anionen Dreiecke)
9. Semilogarithmische Vertikaldiagramme
10. Min-/Max-/Aktuell-Wertangaben in Karten (pro Messpunkt)
11. Variable "Einstellung" der Diagramme (Bezeichnung/Dimensionierung der Achsen)
12. Markierung/Herausstellung v. Grenzwerten bzw. Grenz- o. Richtwertüberschreitungen

Für die DV-gestützte Auswertung des Datenmaterials in zeitlicher wie auch räumlicher Hinsicht, sollten entsprechende masken- bzw. menuegesteuerte Programme geschaffen werden, mit denen auch Normalanwender problemlos arbeiten können. Diese Auswertungsverfahren müssen neben den zwei- und dreidimensionalen grafischen Komponenten (Konzentrationslinien, Ganglinien, Säulen- und Kreisdiagramme ) auch statistische Methoden umfassen.

## Methoden

*Auswertung und Interpretation*

*Verknüpfung der Datenbestände*

*Modellrechnungen*

1. Strömungsmodell
2. Ausbreitungsberechnung v. Schadstoffen (Schadstofftransportmodell)
3. rückschreitende Interpolation; Emittentenermittlung
4. Trendanalyse und Prognosen

### **Situation bei Projektabschluss**

Zeitverzögerungen haben sich bei der Durchführung von DV-Projekten ergeben, die aber ihre Ursache in der verwaltungsinternen Abwicklung haben. Der verspätete Einsatz geeigneter Instrumente, wie z.B. die Verwendung der Datenbank ORACLE läßt erst jetzt den komfortableren Zugriff auf die gesamt verfügbaren geologischen und hydrogeologischen Daten zu und ermöglicht die einfachere Einbindung in das vorhandene GIS ArcInfo und ArcView zur geographischen Auswertung der aus dem GWUES erhaltenen Messergebnisse.

Gegenwärtig noch nicht auf UNIX verfügbar sind die Auswerteprogramme SUBISO, SUBPEG, SUBBOR etc. Diese Bereitstellung ist aber für das 2. Quartal 1999 von der mit der Bearbeitung beauftragten städtischen Stelle, avisiert.

### **Geplante Vorhaben**

Das Softwarepaket "ZEUS", das als Forschungsprojekt zur Grundwassergütemessnetzplanung vom Land Baden-Württemberg in Auftrag gegeben und vom Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung der Universität Ulm entwickelt wurde, ist hinsichtlich seiner Einbindung in das Projekt intensiv diskutiert worden.

Es wurde geprüft, inwieweit dieses bereits auf dem Markt befindliche System das Projekt in geeigneter Weise unterstützen könnte bzw. welche Anpassungen an die im Umweltschutzreferat bestehende Soft- und Hardwareumgebung für den Fall der Beschaffung erforderlich wären.

Eine Nutzung dieses Programmes erschien vorbehaltlich der notwendigen Anpassungen an die Anforderungen des Münchner Untersuchungsprogrammes, denkbar und zweckmäßig. Dennoch gelang es aufgrund hausinterner Klärungsprozesse nicht, rechtzeitig die Software zu beschaffen. Mit der noch in diesem Jahr vorgesehenen Beschaffung steht dem Referat eine Methodenbank zur Verfügung, die einen Großteil der jetzt noch bestehenden Defizite im Bereich der statistischen und geostatistischen Auswertung beseitigen wird.

## VI.2 Weiterführung der Grundwasserüberwachung durch die Landeshauptstadt München

Die Landeshauptstadt München wird mit den Erkenntnissen aus dem GWUES die flächige Grundwasserüberwachung fortführen und versuchen, das vorliegende Wissen zum Grundwasser und zu seiner Beschaffenheit weiter zu verdichten. Wie die Ergebnisse des GWUES gezeigt haben, ist die kontinuierliche und flächige Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit für den nachhaltigen Grundwasserschutz unerlässlich.

Das Konzept dieser weiterzuführenden Grundwasserbeobachtung ergibt sich aus den Projekterkenntnissen hinsichtlich Ziel, Aufbau und Durchführung eines solchen Vorhabens.

Hinzu kommt ein Aspekt, der sich bei der Projektbearbeitung ergeben hat, und der sich auf die zentrale Erfassung von Grundwasserbeschaffenheitsdaten bezieht.

Gegenwärtig ist es so, dass neben den Grundwasseruntersuchungen des GWUES im Stadtgebiet vielfältige lokale Aktivitäten zur Ermittlung der Grundwasserbeschaffenheit bestehen. Es sind dies Untersuchungen, die diskontinuierlich und kleinräumig bzw. lokal durchgeführt werden und z.B. im Zuge von Trinkwasser- und Betriebsüberwachungen, Durchführung von Grundwassersanierungen sowie bei der Ermittlung von Altlastverdachtsflächen veranlasst werden.

Mit Abschluss des GWUES hat sich gezeigt, dass eine Grundwasserüberwachung in der hier durchgeführten Dimensionierung bei den gegenwärtigen finanziellen Nöten der Kommune nicht durchführbar ist. Was liegt also näher, als die Fortführung des GWUES so zu konzipieren und die verschiedenen privaten und behördlichen Aktivitäten im Bereich der Grundwasserüberwachung so zu nutzen, dass diejenigen Komponenten geprüft werden, die geeignet sind, im Zusammenspiel mit dem geplanten Programm zur flächigen Grundwasserbeobachtung der Landeshauptstadt München eine dauerhafte Überwachung des Grundwassers im Stadtgebiet zu ermöglichen.

Insofern kann eine künftige Grundwasserüberwachung nur über eine Zusammenführung der diversen bereits laufenden Grundwasseruntersuchungen mit den stadt eigenen Beprobungen erfolgen. Letztere sind in solchen Bereichen durchzuführen, in denen u.a. keine Untersuchungen durch Dritte stattfinden, die aber entweder auf Grund ihrer Gegebenheiten durchaus Befürchtungen gerechtfertigen, dass es zu Beeinträchtigungen der Grundwasserqualität kommen könnte oder die geeignet sind, die generelle Grundwasserbeschaffenheit außerhalb eigentlicher Kontaminationen langfristig zu beobachten .

Eine wichtige Aufgabe zur Sicherstellung der Grundwasserqualität für die Zukunft wird daher diese zentral durchzuführende und zu steuernde Zusammenführung der bereits laufenden Aktivitäten, die Koordination der durchzuführenden Maßnahmen, die zeitliche Abstimmung der Probenahme sowie die Abstimmung und Optimierung der Parameterauswahl und der Analytikmethoden sein.

Die Aktivitäten der Landeshauptstadt München müssen sich einerseits auf die Kontrolle des in den Münchener Raum zufließenden Grundwassers, das in der Regel eine fast unverfälschte natürliche Zusammensetzung aufweist, andererseits auf diejenigen Gebiete reduzieren, in denen keine spezifischen fall- bzw. ortsbezogenen Untersuchungen der Grundwasserqualität (durch Dritte) durchgeführt werden. In weiten Bereichen, in denen weder wassergefährdende Industrie- und Gewerbeanlagen noch stark frequentierte Verkehrsflächen oder sonstige potentiell risikoreiche Bedingungen für eine Grundwasser- verunreinigung existieren, kann die Überwachung auf wenige allgemeingültige Parameter in einem mehr lockeren Messraster beschränkt werden. Lokale Besonderheiten werden durch die jeweilige Hin- zunahme entsprechend ausgewählter, aussagekräftiger Parameter zum Analysenspektrum berücksichtigt. Die Messungen sollen sich als Ergänzung zu den regelmäßigen, mindestens 1 mal jährlich wiederkehrenden Grundwasserqualitätsanalysen „Dritter“ verstehen.

Das Grundwasseruntersuchungsprogramm muss daher auch ein **offenes System** bleiben, da es sich langfristig gesehen aus einer relativ „*konstanter*“ Komponente der Landeshauptstadt München und einer „*variabler*“ Komponente, die zum Teil auch von dritter Seite (unter fachlicher Begleitung durch das RGU) getragen wird, zusammensetzt. Diese *variable* Komponente ist abhängig vom Auftreten, dem Verlauf und der Sanierung von Grundwasserkontaminationen bzw. Altlastenverdachtsflächen und hat deshalb meist nur mittel- oder gar nur kurzfristigen Charakter, während die von der LH München zu tragende Komponente vorwiegend dauerhaften Charakter hat.

Erst das Zusammenspiel aller Komponenten ermöglicht ein auf die Dauer von der Stadt durchführ- und finanzierbares Instrument zur flächigen Grundwasserüberwachung im gesamten Stadtgebiet

### **Messnetz**

Die beiden wesentlichen Komponenten, aus denen sich das Messnetz zusammensetzen wird, sind also die Messstellen der Landeshauptstadt München und die Messstellen, die von Dritten untersucht werden.

Unter Berücksichtigung vorgenannter Aspekte wurde ein Messnetz für die Fortführung der Überwachung des Grundwasserchemismus vorgeschlagen. Es wurde auch auf Grundlage der Erkenntnisse weiterentwickelt, die mit der Bestandsaufnahme aller diesbezüglich bestehenden Aktivitäten gewonnen wurden. So werden Grundwasseruntersuchungen z.B. vom Wasserwirtschaftsamt München, Baureferat, Kreisverwaltungsreferat, Stadtwerke München GmbH, RGU 15 „Gesundheitsschutz“, RGU 13 „Altlasten, Abfall- und Wasserrecht“ und privaten Firmen, soweit sinnvoll, mit einbezogen. Es wird daher künftig notwendig sein, mit diesen Institutionen verstärkt zu kooperieren und ihre Aktivitäten in die Fortführung des Grundwasserüberwachungssystems koordiniert einzubinden.

Gemäß den bisherigen Recherchen des Referats für Gesundheit und Umwelt werden Grundwasseruntersuchungen bereits an folgenden Messstellen durchgeführt:

- Brunnen
  - Trinkwasserflachbrunnen
  - Trinkwassertiefbrunnen
  - Notbrunnen
- Betriebsüberwachungs- und Sanierungspegel (§19i WHG - Pegel)
  - Sanierungspegel
  - Pegelmessungen des WWA (diverse Überwachungsschwerpunkte)
  - Altlastenüberwachungspegel
- Überwachungspegel wg. städtischer grundwasserrelevanter Einrichtungen (Baureferat)

### **Brunnen** (Abb.: VI.2.1 )

Die Brunnen zur Grundwasserentnahme werden unterteilt nach genehmigungspflichtigen und genehmigungsfreien **Flachbrunnen**, die das Wasser aus dem oberen Grundwasserstockwerk, sowie nach **Tiefbrunnen**, die das Wasser aus den tieferen, tertiären Grundwasserhorizonten fördern. Während Flachbrunnen im allgemeinen nur bis etwa 5 m im Norden und ca. 30 m im Süden abgeteuft sind, können Tiefbrunnen bis ca. 300 m Tiefe erreichen.

Genehmigungspflichtige Flachbrunnen (1998: 535 Brunnen) dürfen nur für Brauchwasserzwecke (Kühlwasser, Wärmepumpenanlagen, Autowäsche, Betonherstellung etc.) verwendet werden. Genehmigungsfreie Flachbrunnen (1998: 80 Brunnen) dürfen zu Trinkwasserzwecken bei Häusern ohne Stadtwasseranschluss (öffentl. Trinkwasserversorgung) und für Gärtnereien verwendet werden, sofern sie die geforderten Qualitätskriterien erfüllen.

#### *Trinkwasserflachbrunnen*

Alle o.g. 80 Trinkwasserflachbrunnen werden regelmäßig, d.h. 1 x jährlich, hinsichtlich der Grundwasserbeschaffenheit und den Anforderungen als Trinkwasser auf die entsprechenden Parameter der Trinkwasserverordnung hin untersucht, wobei ein Schwerpunkt die Beurteilung der LHKW-Gehalte ist. Diese Brunnen liegen vor allem im Nordwesten und, untergeordnet, im Nordosten des Stadtgebietes. Aber auch einige genehmigungspflichtige (Brauchwasser-) Flachbrunnen werden regelmäßig (meist jährlich) untersucht. Davon sind 15 Brunnen an 8 Standorten betroffen, die vorwiegend auf die Parameter gemäß der TVO, aber auch auf LHKW analysiert werden.

Diese Brunnen eignen sich durchaus für eine Einbeziehung in die künftige Grundwasserüberwachung.

# Vorhandene Messstellen zur Grundwasserüberwachung

## Brunnen

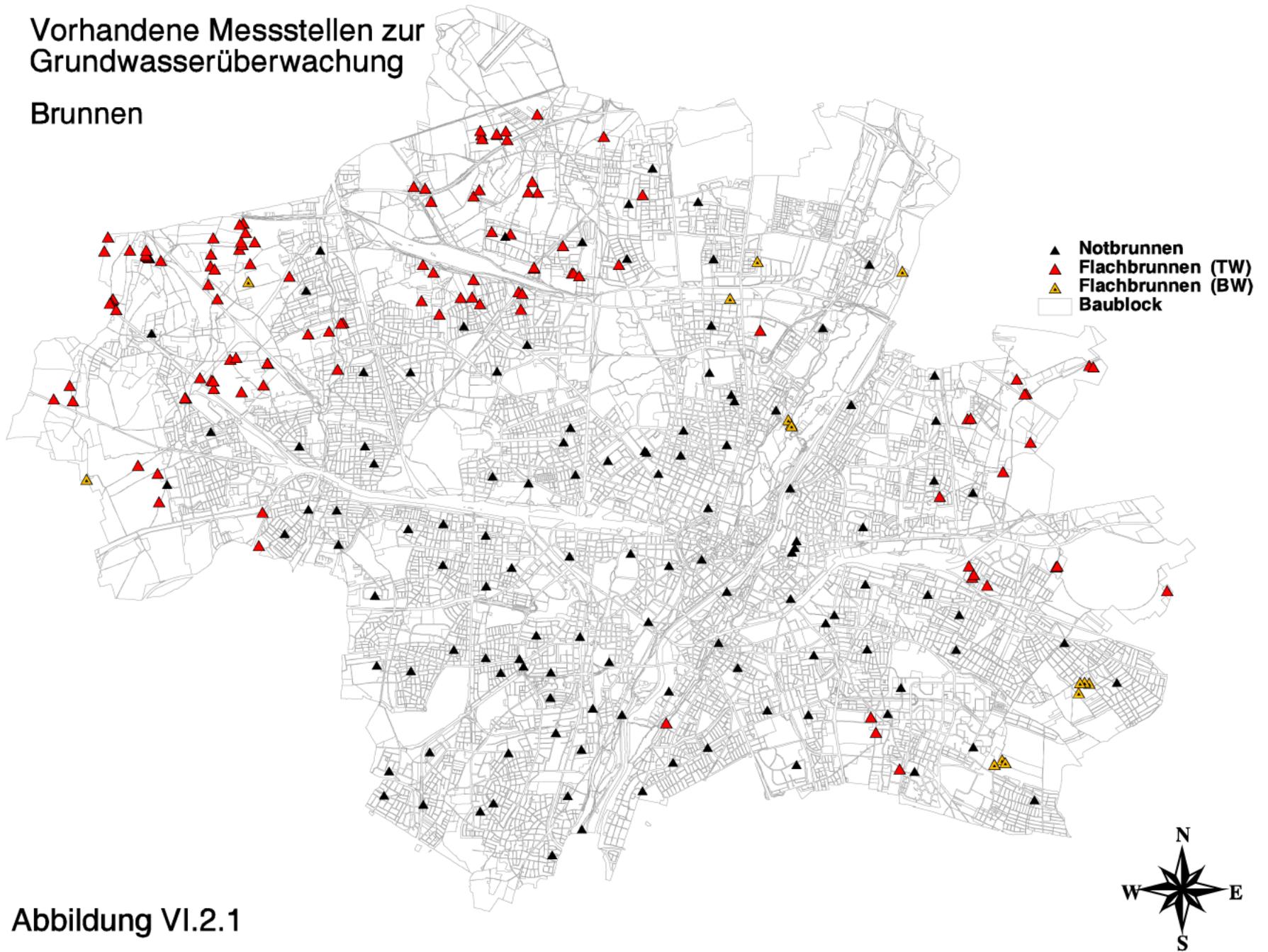


Abbildung VI.2.1

### *Trinkwassertiefbrunnen*

Tiefbrunnen dürfen nur für Trinkwasserzwecke (z.B. Brauereien) und mit wenigen Ausnahmen in begrenzten Einzelfällen auch für Brauchwasserzwecke verwendet werden. Diese ca. 25 Tiefbrunnen im Stadtgebiet werden ebenfalls 1 x jährlich auf die Parameter der Trinkwasserverordnung hin untersucht. Auch diese Tiefbrunnen sollten bei einer künftigen Grundwasserüberwachung Berücksichtigung finden, da sie zusätzlich zur Beobachtung der eigentlichen Wasserbeschaffenheit die Möglichkeit bieten, Verschleppungen oder Versickerungen kontaminierter Grundwässer aus den höheren Schichten in die tieferen Grundwasserleiter nachzuweisen.

### *Notbrunnen*

Für die Sicherstellung der (Trink-) Wasserversorgung der Stadt in Katastrophenfällen werden ca. 115 sog. Notbrunnen vorgehalten. Zur Überprüfung der Grundwasserbeschaffenheit dieser Brunnen werden diese alle fünf Jahre einmal auf die Parameter gemäß der TVO Anlage 2 und einer Auswahl der in Anlage 4, TVO aufgelisteten Parameter hin untersucht. Aufgrund des recht langen Beprobungszyklusses von 1 x in fünf Jahren lassen sich diese Messstellen nur bedingt in eine künftige regelmäßige Grundwasserüberwachung einbinden. Jedoch können sie durch ihre hohe Zahl und die relativ regelmäßige Verteilung im Stadtgebiet, im Zusammenspiel mit den anderen Messnetzkomponenten, wichtige Erkenntnisse bei der Beobachtung der flächigen und langfristigen Veränderungen der Beschaffenheit des Grundwasserchemismus beitragen.

## **Überwachungs- und Sanierungspegel (Abb.: VI.2.2 )**

### *„19i-Pegel“*

Unter §19i - Pegeln werden solche Grundwassermessstellen verstanden, die von Betrieben zur Überwachung ihrer Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen oder Abfall- und Reststoffen freiwillig oder aufgrund behördlicher Verpflichtung untersucht werden. Die Untersuchengehäufigkeit bei diesen Pegeln schwankt zwischen maximal 4 mal jährlich und im Minimum nur 1 Messung alle 4 Jahre.

Beim RGU sind derzeit 340 noch existierende Messstellen, die im Zuge von Untersuchungen aufgrund des § 19i oder bei Schadensverfolgungen beprobt wurden, unabhängig von der Häufigkeit und Aktualität ihrer Untersuchungen bekannt. Viele dieser Messstellen wurden nur zeitweise oder gar nur einmalig beprobt, da entweder eine Schadensverfolgung bzw. -sanierung bereits abgeschlossen ist oder aber das Gelände morphologisch verändert wurde, sodass keine weiteren regelmäßigen Untersuchungen mehr erforderlich waren. Somit verbleiben nur ca. 97 Messstellen, die derzeit und auch in absehbarer Zeit noch regelmäßig beprobt werden. Diese Messstellen konzentrieren sich an ca. 18 Standorten.

Für eine systematische, langfristig angelegte Grundwasserüberwachung sind sie durchaus geeignet (Stand 03.03.1999):

# Vorhandene Messstellen zur Grundwasserüberwachung

## Sanierungs- und Überwachungspegel

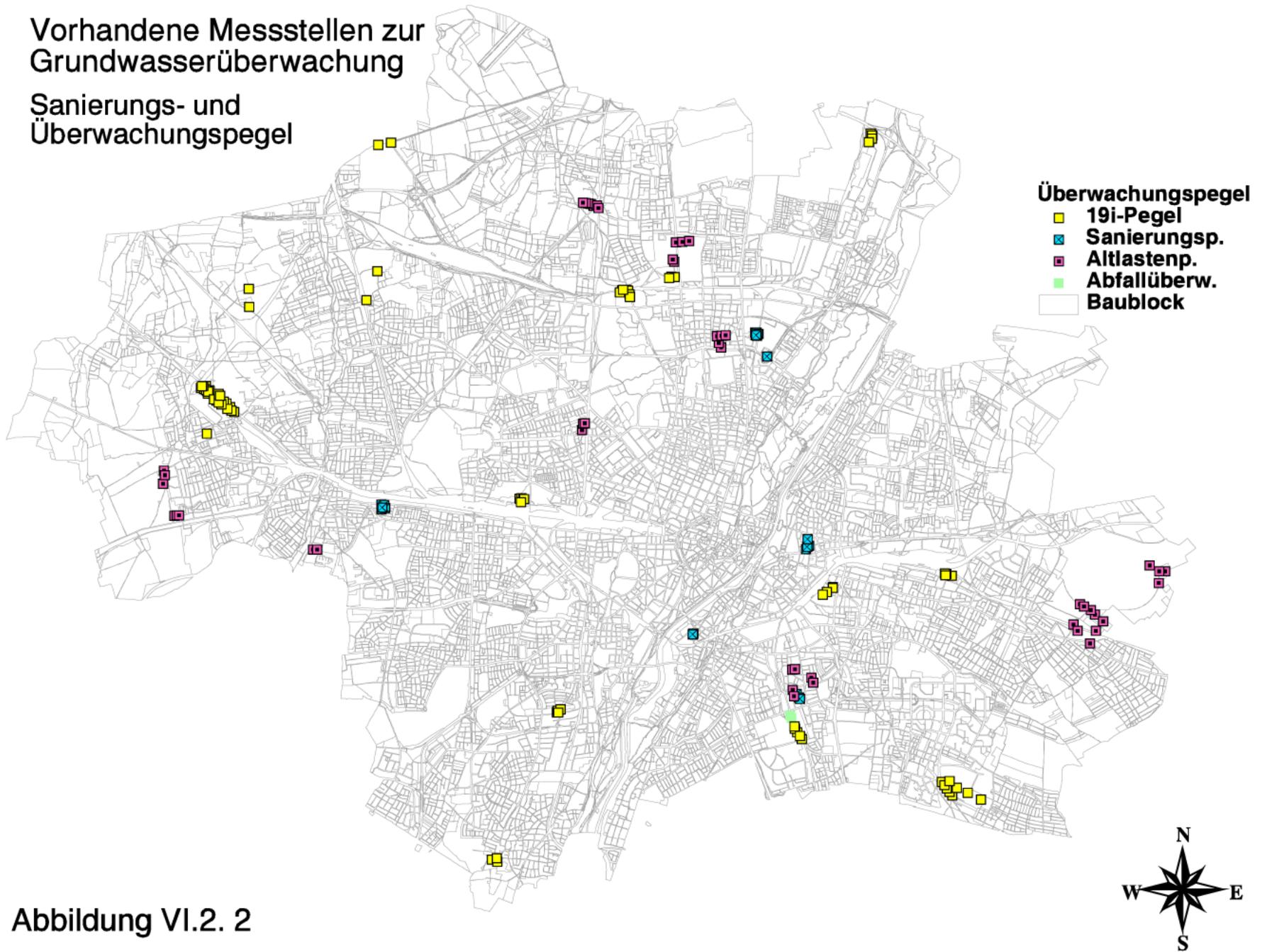


Abbildung VI.2. 2

## § 19i - Pegel

Straße	Objekt	Pegel, Probeturnus *
Gotibold/Wirtshofweg	Kompostieranlage	2 Pegel, j
Truderingerstr.191	Entfettungsanlage	4 Pegel, hj
Otto-Hahn-Ring 6	Lager + Abfall	9 Pegel, j
Birketweg 4	Reststofflagerung	4 Pegel j; 1 Pegel vj
Riesenfeldstr. 87	Tanklager, Abfüllstation	3 Pegel, vj
Burmesterstr.	Abfall+Reststoffe	8 Pegel, j
Dachauerstr. 665	diverse Läger	11 Pegel, hj
Rupert-Bodnerstr. 25	diverse Läger	12 Pegel, hj
Rupert-Bodnerstr. 20	diverse Chemieläger	4 Pegel, hj
Zielstattstr. 20	Lager brennbare Fl.	4 Pegel,j
Herbert-Quandtsr. 15	Schrottverwertung	2 Pegel, j
Detmoldstr.	Lager	3 Pegel, j
Lerchenauerstr. 76	diverse Läger	9 Pegel, j
Morgensternstr. 9	diverse Läger	2 Pegel, hj
Moosacherstr. 80	Entfettungsanlage	7 Pegel, j
Dachauerstr. 667	diverse Läger	9 Pegel,j
Mühdorfstr. 15	Lager	2 Pegel, j
Krauss Maffei Str.2	diverse Läger	4 Brunnen,1 Pegel je j
<b>18 Standorte</b>		<b>ca. 97 Pegel</b>

\* j = jährlich      hj = halbjährlich      vj = vierteljährlich

## Überwachungspegel bei Abfallentsorgungsanlagen (Stand 15.12.1998)

Strasse	Zahl der Pegel	Dauer
Birketweg 4	2 Pegel, hj / 1 Pegel vj	vorläufig
Herbert-Quandt-Str. 1	2 Pegel,	
Herbert-Quandt-Str. 15	2 Pegel, hj	vorläufig
Lindberghstr. 12	3Pegel, ( hj)	
Moosacherstr. 30b	3 Pegel, vj	vorläufig
Rupert-Bodner-Str. 25	12 Pegel, hj	vorläufig
Gotiboldstr. 100	2 Pegel, j	vorläufig
<b>8 Standorte</b>	<b>ca. 27 Pegel</b>	

### Sanierungspegel

Sanierungspegel werden dagegen in der Regel von den Sanierungspflichtigen nur im unbedingt erforderlichen Umfang innerhalb der Sanierungsverfahren beprobt. Nach Abschluss der einzelnen Sanierungsverfahren führt das WWA Nachuntersuchungen in unregelmäßigen Zeitabständen von Fall zu Fall durch, deren Ergebnisse vom WWA direkt abgerufen werden können.

### Sanierungspegel (Stand 01.01.1999)

Sanierungsbereich	Zahl der Pegel	Dauer
Balanstr. 198-202	3 Pegel, hj	vorläufig
Rupert-Bodner Str.25	2 Pegel, hj	vorläufig
Haidhausen	4 Pegel	vorläufig
Leopoldstr. 242	2Pegel hj; 2Pegel m,	vorläufig
Frankfurter Ring 227	2 Pegel hj	vorläufig
Neußler Str. 1	Sanierungsbrunnen, 2 monatlich	vorläufig
Landsbergerstr. 431	2 Pegel	vorläufig
Claude-Lorrainstr.	2 Pegel, monatl.	vorläufig

### Altlastenüberwachungspegel

Im Grundwasserabstrom von Altlasten, die bei den Voruntersuchungen ein hohes, doch zum Untersuchungszeitpunkt nicht grundwasserrelevantes Schadstoffpotential aufweisen, werden in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt München turnusgemäß Grundwasserkontrollen durchgeführt.

Die zu analysierenden Parameter richten sich nach den Ergebnissen der Voruntersuchungen. Die Untersuchungshäufigkeiten variieren zwischen monatlichen bis mehrjährigen Probenahmen, in Einzelfällen werden Messungen auch von den Grundwasserständen (hoch/niedrig) abhängig gemacht.

Sämtliche Überwachungspegel wurden errichtet und beprobt, um bei einer sich abzeichnenden Verschlechterung der Grundwasserqualität umgehend entsprechende Sicherungsmaßnahmen ergreifen zu können. Vor diesem Hintergrund kommt den Pegeln bei der Grundwasserüberwachung der LH München eine besondere Bedeutung zu.

### Altlastenüberwachungspegel

Messstelle	Probenahmeturnus	Beginn	Ende
PB 2	alle 4 Jahre Juli, August, September	2000	offen
URP 184 - URP 1882	alle 4 Jahre Juli, August, September	2000	offen
GW 1-4 OS 115 KP 1135	alle 2 Jahre Februar, August	2000	offen
URP 369 URP 370	alle 3 Jahre Juli, August, September	1998	offen
B 1, B 2, B 3	alle 4 Jahre einmal	1998	offen
P 1, P 2, P 3	alle 2 Jahre Juli, August, September	1999	offen
GW 1-3	alle 2 Jahre Juli, August, September	1999	offen
GW Nord	jährlich Juli, August, September	1998	2001
2 Pegel	jährlich Juli, August	1998	2001
2 Pegel	alle 6 Monate Januar, Februar, März Juli, August, September	1998	offen
URP 58 URP 60	alle 4 Jahre Juli, August, September	2000	offen
3 Pegel			
URP 39-41, URP 43, U1 640, KP 868-870 KP 902, P 1	einmal jährlich	1999	offen
U2/ 228, KP 710, U2/222,URP 331	dreimal jährlich	1999	offen
BP 08.005/GW LA 08/05.009GW GW 08/15.010 GW12/02.010	zweimal jährlich Februar, August	1998	2001

### Künftige Pegel der Landeshauptstadt München (Abb.: VI.2.3 )

Alle bisher bereits bekannten Messstellen zur Grundwasserüberwachung wurden in einem ersten Schritt erfasst und mit den Pegeln des GWUES bzw. deren Analysenergebnisse abgeglichen, sodass Bereiche ermittelt werden konnten, in denen zwar eine Verunreinigung des Grundwassers erkennbar ist, aber bisher keine periodischen Messungen der relevanten Parameter durchgeführt werden. Zusätzlich wurden weitgehend unbeeinflusste Zonen erkannt.

Komponenten aus dem  
Grundwasserprogramm  
(künftige) Pegel der  
LH-München

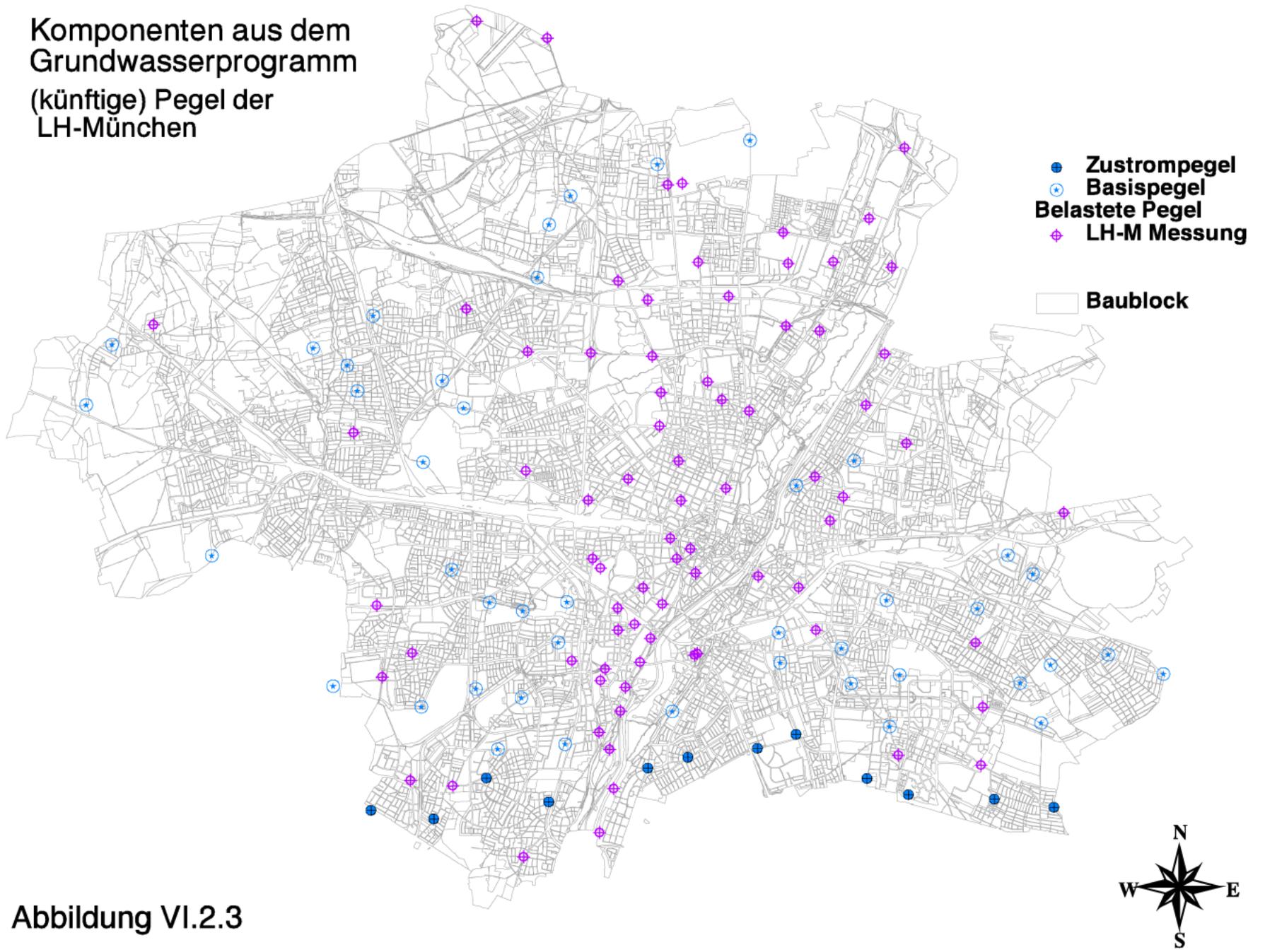


Abbildung VI.2.3

Die oben aufgelisteten und ggf. weitere Messungen „Dritter“ müssen daher ergänzt werden durch folgende, im Zuge des geplanten Überwachungsprogramms von der LH München durchzuführende Untersuchungen an

- belasteten Pegeln außerhalb der eigentlichen Kontaminationen,
- unbelasteten Pegeln und
- Zustrompegeln.

#### *Belastete Pegel*

Die Ermittlung der o.g. belasteten Pegel beruht auf den Ergebnissen, der Auswertung und der Interpretation der acht Messreihen des GWUES vom April 1996 bis Juli 1998, dem Abgleich mit den Grenzwerten und den Auswertungen des RGU und der Ingenieurgruppe München e.G.

Alle bestehenden belasteten Pegel, die in den vergangenen acht Messreihen die Grenzwerte z.B. der TVO bei den einzelnen Parametern überschritten, wurden ebenso ermittelt, wie die Anzahl der Messreihen, in denen die Pegel (122 Stk.) deutlich belastet waren und die wichtigsten Parameter, die für die jeweilige Grundwasserkontamination verantwortlich zeichnen. Hieraus wurde die vorläufige, maximale Anzahl (ca. 78 Pegel) und Verteilung der künftig von der Stadt zu messenden „belasteten“ Pegel ermittelt.

Auffällig ist die Konzentration der „Belasteten Pegel“ vorzugsweise im Bereich der sogenannten „Altstadtstufe“.

#### *Unbelastete Pegel*

Aus der Anzahl der aufgrund des Grundwasserüberwachungssystems ermittelten Pegel mit weitgehend unbeeinflusstem Chemismus ist eine begrenzte Auswahl zu treffen, die geeignet ist, langfristig und grossräumig die allgemeine Grundwasserbeschaffenheit - außerhalb belasteter Bereiche - zu beobachten. Im ersten Vorentwurf wurde die Auswahl auf 44 der sog. Basispegel (Abb. VI.2.4) begrenzt.

#### *Zustrompegel*

Zur weiteren Kontrolle des in den Münchener Raum zufließenden Grundwassers, das in der Regel eine fast unverfälschte natürliche Zusammensetzung aufweist, ist es erforderlich, auch künftig einige Zustrompegel mit in die regelmäßigen Untersuchungen aufzunehmen. Hierfür eignen sich vor allem Messstellen, die im südlichen Stadtbereich am Rande der großen Forste Fürstenrieder Park und Perlacher Forst liegen. Da hier zudem im Osten große (12 - 18 m) und im Westen sehr große (> 18 m) Flurabstände vorherrschen, ist das Grundwasser vor Verunreinigungen relativ gut geschützt. Von den zur Debatte stehenden 12 Messstellen mit entsprechendem Chemismus sollten acht bis zehn Pegel mit in die regelmäßigen Untersuchungen aufgenommen werden. Dies sind die Messstellen: U3 227; U3 168; U3 111; U8 538; (U8 500); U8 675; (UP 15); KP 9; UP 12 und KP1040.

Das künftige Messnetz und vor allem die von der Landeshauptstadt München durchzuführenden und zu finanzierenden Untersuchungen wurden aus der Vielzahl der bereits vorhandenen, beprobten Brunnen und Pegel, die für eine dauerhafte Überwachung geeigneten Messstellen ausgewählt. Außerdem werden standortspezifische Faktoren und große Flurabstände mit berücksichtigt. **Insgesamt wird die Anzahl der vom Referat für Gesundheit und Umwelt künftig regelmäßig zu beprobenden Messstellen nicht mehr als 140 Pegel betragen.**

Ein erster grober Entwurf einer künftigen Messstellenverteilung als Kombination der o.g. Messungen „Dritter“ einerseits und der künftigen Grundwasserüberwachung andererseits zeigt die Abbildung VI.2.4 .

#### **Untersuchungshäufigkeit**

Nach den Erfahrungen des GWUES erscheinen Untersuchungen im April und Oktober, d.h. 2x-jährlich, für die Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit als völlig ausreichend, vor allem auch unter dem Gesichtspunkt, dass alle aktuellen Schäden auch durch eine permanente großräumige flächige Grundwasserbeobachtung, bei vertretbarem technischen und finanziellem Aufwand in der Re-

# Komponenten der künftigen Grundwasserüberwachung

## Gesamtnetz

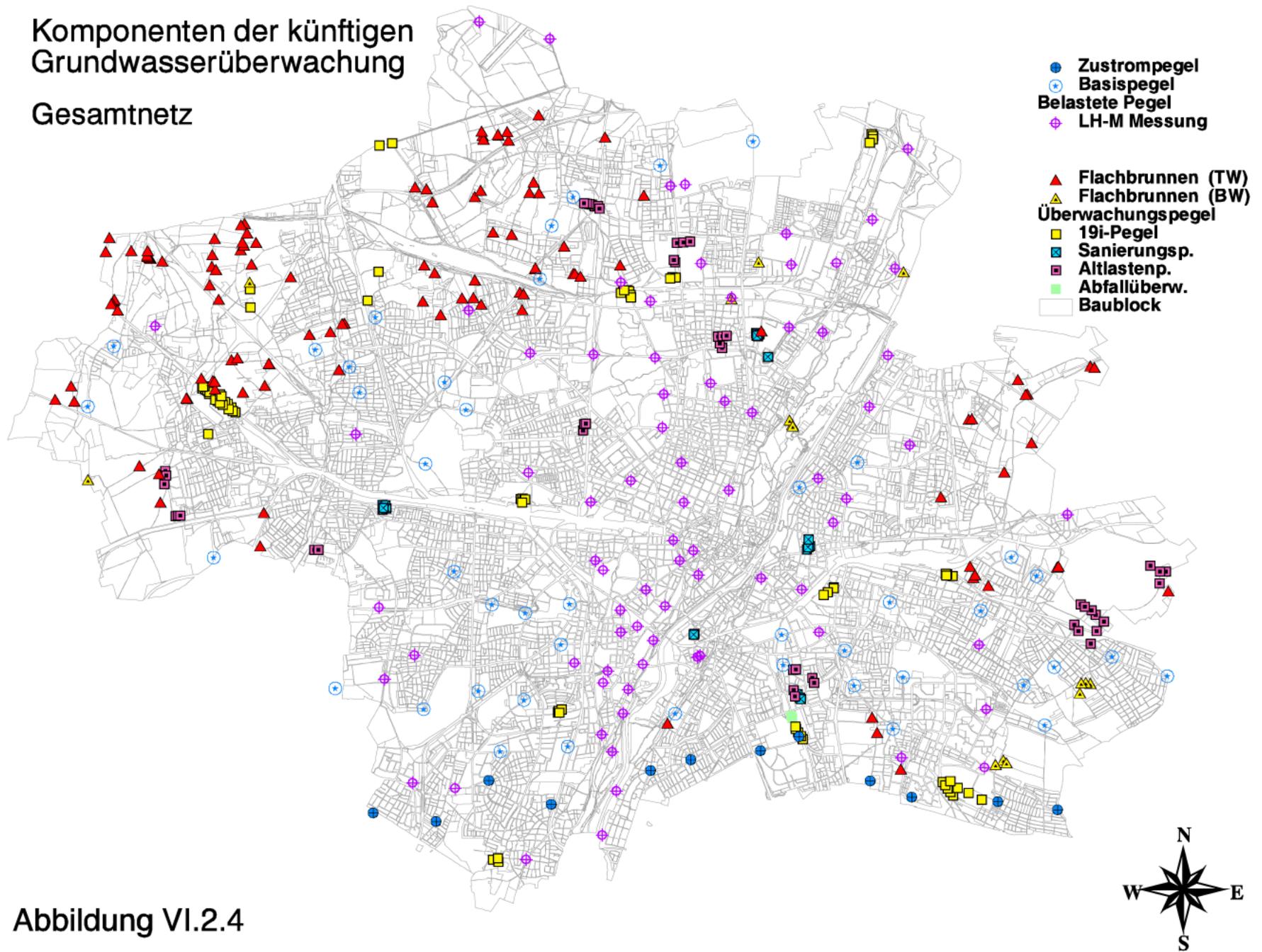


Abbildung VI.2.4

# Meßhäufigkeit

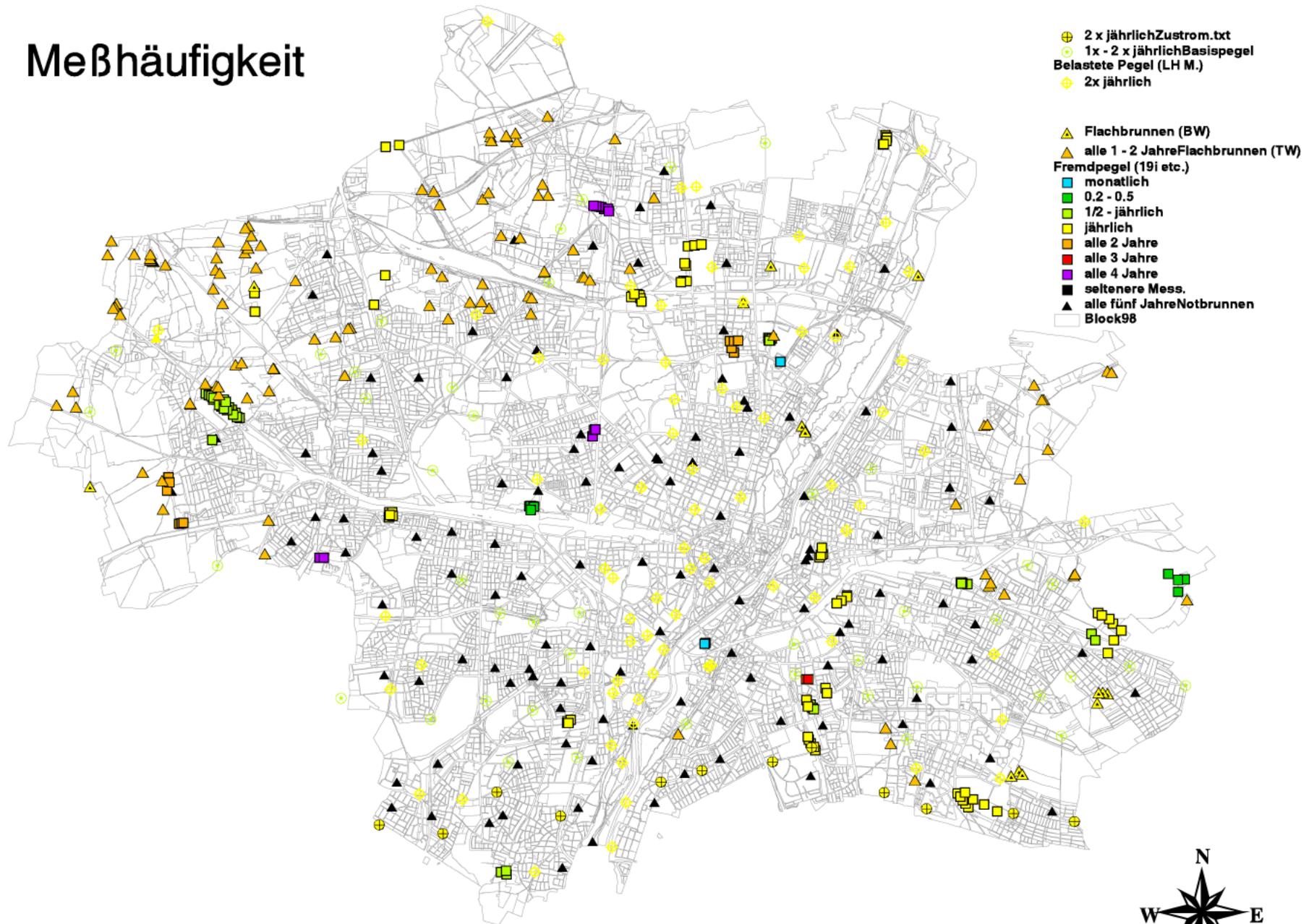


Abbildung VI.2.5



gel nicht erfasst werden können. Die Untersuchungen sollten im Frühjahr, nach Ende der Winterzeit und der Schneeschmelze sowie im Herbst nach Ende der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung durchgeführt werden.

Daneben wird eine lokale bzw. regionale Differenzierung der jährlichen regelmäßigen Untersuchungshäufigkeit angestrebt, die in Bereichen mit **geringer Grundwassergefährdung** eine Reduzierung der regelmäßigen Untersuchungen auf 1x jährlich ermöglicht, um z.B. langzeitige Veränderungen (Trends), sowie die Auswirkungen diffuser Einträge über den Boden (Landwirtschaft) oder die Luft (Niederschlag) feststellen zu können.

In den **sensibleren** Gebieten wird eine höhere regelmäßige Untersuchungsabfolge erforderlich. Diese Variation der Untersuchungshäufigkeit wird z.T. bereits durch die Messungen „Dritter“ realisiert. Dabei sind die regelmäßigen Messungen im Zuge des Grundwasseruntersuchungsprogrammes von denen zu unterscheiden, die aufgrund der jeweiligen lokalen Anforderungen durchgeführt werden. Diese „lokal“ bedingten Messungen können durchaus häufiger oder gleich sein, als die Anzahl der Messungen des GWP, sie sollten in der Regel jedoch nicht seltener sein. Als Ausnahme gelten die Messungen zur generellen langfristigen Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit. In der Abbildung 5 sind die derzeit bekannten Untersuchungshäufigkeiten der „Fremdmessungen“ sowie die der geplanten Messungen der Stadt dargestellt.

### **Parameterauswahl und Analytik**

Die im GWUES praktizierte mehrstufige Analytik mit einer Gesamtuntersuchung aller Pegel auf wenige allgemeingültige Parameter und gezielt ausgewählte Summenparameter, gekoppelt mit speziellen auf die jeweiligen Bedürfnisse bzw. Gegebenheiten abgestimmten Detailuntersuchungen bei konkreten Verdachtsmomenten, bildet auch die Grundlage der künftigen Grundwasserbeobachtung. Aufgrund der Erkenntnisse wurde versucht, das Parameterspektrum zur Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit weiter zu optimieren, d.h. einerseits zu reduzieren sowie wenig aussagekräftige Parameter aus dem Programm zu eliminieren, andererseits aber durch Hinzunahme bzw. Berücksichtigung der in Abhängigkeit von der Problemstellung standortrelevanten Parameter bei den „privaten, auflagenbedingten“ Untersuchungen Dritter zu erweitern.

Aus den gewonnenen Ergebnissen gilt für künftige Grundwasseruntersuchungen, dass diese spezifischen Parameter nur noch bei konkreten Hinweisen oder Verdachtsmomenten fall- bzw. ortsbezogen in die jeweilige lokale Beprobung bzw. Analytik mit aufgenommen werden.

Die künftige Grundwasserüberwachung beinhaltet sowohl die regelmäßige, flächige Erfassung „allgemeingültiger“ Parameter, wie der „Vor-Ort-Parameter“ (Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt), wichtiger „Leitparameter“ (Chlorid, Bor, Nitrat) und stadtspezifischer Einflussfaktoren (z.B. LHKW), sowie die Untersuchung auf jeweils lokal spezifische, charakteristische Parameter in besonders auffälligen Bereichen, als auch wiederkehrende flächige Untersuchungen im Abstand mehrerer Jahre auf ausgesuchte Stoffe bzw. -gruppen (z.B. PAK, PSM; s.u.). Auch die Analyse auf die Parameter AOX und Sulfat erscheint nicht in jeder Untersuchungsreihe erforderlich.

Bei den bisherigen und auch künftigen Untersuchungen des Grundwassers wurde bzw. wird bewusst auf die labortechnische Analyse auf Kohlenwasserstoffe (KW) verzichtet.

Bei den PAK und PSM ist eine generelle Analyse dieser Parameter allenfalls im Abstand von mehreren Jahren (z.B. 5 Jahre) angemessen und für die angestrebten Ziele genügend aussagekräftig.

Dies darf aber nicht ausschließen, dass ggf. auf kurzfristige, akute Grundwasserkontaminationen so rasch wie möglich reagiert werden kann.

Zur Überwachung der Qualität der Probenahme und Analytik wäre in größeren Abständen (Jahre) die Erhebung des Gesamtchemismus ratsam, um eine Ionenbilanz aufstellen zu können.

### **Zentrale Datenhaltung und Koordination der Aktivitäten**

Bisher werden die Ergebnisse der Grundwasseranalysen in der Mehrzahl der Fälle gar nicht oder aber auf recht unterschiedlichen Datenträgern und -systemen abgespeichert, die zudem teilweise nicht kompatibel sind. Die Auswertung erfolgt von den Auftraggebern ebenfalls nur z.T. EDV-gestützt. Über

die jeweilige lokale Situation hinausgehende Betrachtungen bleiben oftmals unberücksichtigt bzw. unbeachtet. Gesamtbetrachtungen für die Grundwasserverhältnisse im gesamten Stadtgebiet stellen eher die Ausnahme dar oder beschränken sich ausschließlich auf die Grundwasserhöhe bzw. den Grundwasserstand.

Ein wichtiger, entscheidender Bestandteil eines künftigen Programms zur Grundwasserüberwachung ist daher eine **zentrale Datenhaltung**. Nur wenn die aus den verschiedenen Aktivitäten resultierenden Ergebnisse der Grundwasseranalytik auch wirklich in einer zentralen Datei erfasst und bereitgestellt werden - wobei die Dateneingabe durchaus dezentral von den eigentlichen Auftraggebern der einzelnen Untersuchungen durchgeführt werden kann -, kann ein langfristiger Überblick und damit eine dauerhafte Überwachung des Grundwasserchemismus sichergestellt werden. Daher ist es ein zentraler Punkt eines künftigen Grundwasserbeobachtungsprogramms, diese zentrale Datenhaltung zu schaffen.

Dazu gehört die Einigung und Bereitschaft aller beteiligten Stellen, auf ein derartiges, einheitliches EDV-System zuzugreifen, bzw. die Voraussetzungen für diese zentrale Datenhaltung zu schaffen. Ebenso ist es erforderlich, für die übergeordneten, regionalen Aspekte, d.h. für die Überwachung der Grundwasserqualität des gesamten Beobachtungsraumes, **eine zentrale Stelle** mit der Koordinierung der Aktivitäten, der Datenpflege, -auswertung und -bereitstellung sowie der Interpretation der Ergebnisse **zu beauftragen und mit entsprechenden Kompetenzen auszustatten**.

Somit muss auch die Aus- und Bewertung der eingehenden Grundwasseruntersuchungsergebnisse einschließlich der daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen für die stadtweite Grundwasserüberwachung sowohl im Hinblick auf die Gesamtsituation als auch zusammenfassend bezogen auf den konkreten Einzelfall zentral von einer Stelle erfolgen, ohne dass jedoch die jeweilige konkrete Einzelfallbeurteilung und -begleitung übernommen werden soll.

Für die Einrichtung einer zentralen Datenhaltung ist Formulierung und Festlegung eines einheitlichen, allgemeingültigen Datenformats für die EDV-technische Einspielung der Analyseergebnisse in die zentrale Datenbank via Diskette, On-Line oder Handeingabe ebenso erforderlich, wie eine zentrale einheitliche Plausibilitätsüberprüfung und Fehlerbearbeitung.

Vorarbeiten und Ansätze zum Aufbau einer künftig zentralen Datenbank laufen in RGU bereits seit einiger Zeit (s.u.).

**Ohne eine funktionierende Datenhaltung und -pflege ist eine Grundwasserüberwachung in der vorgestellten Art nicht zielführend!**

Die Koordination aller Aktivitäten soll dazu beitragen, dass die Untersuchungen nach einheitlichen Kriterien durchgeführt werden, um die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse sicherzustellen. Daher sollten u.a. die Methodik für Probennahme und Analytik vereinheitlicht, Messhäufigkeit bzw. die Messzeitpunkte aller im Zuge des Grundwasseruntersuchungsprogrammes relevanten Grundwasseruntersuchungen und ggf. auch des Untersuchungsumfanges (Parameter) abgestimmt werden.

Durch die Zusammenführung und Koordination aller bereits bestehenden Aktivitäten können wertvolle Analyseergebnisse und lokale Kenntnisse in die Gesamtbetrachtung einfließen und so mit relativ geringem zusätzlichen Aufwand zur Erfassung und Überwachung des Grundwasserchemismus für den gesamten Stadtbereich beitragen, ohne dass die finanziellen Aufwendungen allein von der Landeshauptstadt München zu tragen wären.

### VI.3 Gesamtbewertung im Hinblick auf die gesetzten Ziele

Mit dem Grundwasserüberwachungssystem (GWUES) beabsichtigte die Landeshauptstadt München, Kriterien für eine effektive und ökonomisch vertretbare Grundwasserüberwachung zu entwickeln, die mit der flächendeckenden Kontrolle der Grundwasserbeschaffenheit einen Beitrag liefert, vorsorgenden Grundwasserschutz zur Sicherung von anthropogen möglichst unbeeinträchtigtem Grundwasser zu betreiben. Dieses Projekt beinhaltete

- die Entwicklung, Aufbau und Probetrieb eines Messsystems zur flächendeckenden Grundwasserüberwachung bestehend aus einem Netz von ca. 330 - 350 hydrologisch repräsentativen Grundwasserpegeln
- ein mehrstufiges Analyseprogramm zur Feststellung der Qualität und etwaiger Belastungen des Grundwassers
- die Definition eines anwenderfreundlichen Computerprogrammes zur Speicherung, Verarbeitung und Auswertung des Datenmaterials.

Mit der Planung und Durchführung des Grundwasserüberwachungssystems sammelte die Stadt München Erfahrungen und Erkenntnisse für eine dauerhafte flächige Grundwasserbeobachtung. Sowohl die **anvisierten Ziele** hinsichtlich der Planung und des Betriebs eines Messnetzes, als auch der Analytik konnte im Verlauf der neun Messreihen des GWUES im Generellen **erreicht** und größtenteils hinsichtlich ihrer Effektivität, insbesondere auch für die vorherrschenden naturräumlichen wie auch Siedlungs-Verhältnisse, **getestet werden**.

Mit einem Anforderungsprofil wurden die Ansprüche an eine anwenderfreundliche und bedarfsorientierte DV-Unterstützung formuliert.

Bereits bei der Planung des GWUES war die LH-München davon ausgegangen, dass eine lückenlose **flächendeckende** Überwachung des Grundwassers über ein größeres, zusammenhängendes Areal, wie es z.B. das Stadtgebiet München darstellt, aus sowohl technischen als auch finanziellen Gründen **nicht durchführbar** sein wird. Diese Annahme wurde durch die Untersuchungen und Ergebnisse der neun Messreihen bestätigt. Wie im Kapitel VI.1 ausgeführt, ist es aufgrund der vielschichtigen und kleinräumigen Veränderungen der hydrogeologischen und hydrochemischen nicht möglich, in einem großen, stadtweiten Untersuchungsgebiet **alle** lokalen Kontaminationen mit einem GWUES zu erfassen.

Daher ist schon im Ansatz die Zielsetzung eines derartigen Grundwasserüberwachungsprogrammes auf die Erfassung und Beobachtung der generellen chemischen Veränderungen einerseits, und der relevantesten Kontaminationen des Grundwassers andererseits auszurichten, mit der Option, weitergehende Detailuntersuchungen von den speziellen zuständigen Institutionen bzw. Sachgebieten in eigener Verantwortung ausführen zu lassen, d.h. es kann und darf **keine Detailuntersuchungen ersetzen**.

**Wie die Untersuchungen und Auswertungen gezeigt haben, kann daher eine flächige Grundwasserüberwachung nicht die Schadensbeweissicherung und/oder -sanierung beinhalten, sondern die Kontrolle des Grundwassers zum Ziel haben, um langfristig die Entwicklung der Grundwasserzusammensetzung bzw. -qualität zu überwachen und Hinweise auf Veränderungen des Grundwasserchemismus zu erhalten.**

Bei der Planung und Durchführung ist hierbei ein möglichst optimaler Kompromiß zwischen den theoretischen Maximalanforderungen aus fachlicher Sicht (Optimum) und der praktischen, effektiven Umsetzbarkeit unter Einbeziehung bereits vorhandener Bestände ( Messstellen, Informationsgrundlagen) und der zur Verfügung stehenden Finanzmittel (Minimalanforderungen) anzustreben.

Die Bearbeitung des Projektes orientierte sich daher an einer praxisbezogenen Vorgehensweise. Dies bedeutete, dass der Schwerpunkt der Arbeit im allgemeinen Erkennen von stofflichen Veränderungen des Grundwassers lag. Eine detaillierte Bewertung der Ergebnisse z. B. auf Grundlage von Modell-

vorstellungen hinsichtlich Grundwasserströmung und Stofftransport war nicht Bestandteil dieses Vorhabens, ist aber langfristig anzustreben.

Diese pragmatische Vorgehensweise ist nach Meinung des Referates für Gesundheit und Umwelt vor allem dann sinnvoll und zielführend, wenn eine dauerhafte, flächige Grundwasserüberwachung, z.B. von anderen Kommunen und Städten, erstmalig eingerichtet werden soll.

**Insgesamt konnten aus den vergangenen Ergebnissen des GWUES Voraussetzungen zur Erstellung eines Grundwasserüberwachungssystems sowie nachvollziehbare Kriterien für eine praktisch orientierte, effektive und ökonomische Durchführung, wie sie in Kapitel VI.1 in allgemeinen und VI.2 speziell für München formuliert wurden, erarbeitet werden.**

Grundsätzlich erforderlich für die Erstellung einer zielgerechten Grundwasserüberwachung und eines effektiven Messstellenrasters ist bereits vorhandenes, aussagekräftiges Daten- und Kartenmaterial über die geologischen, hydrogeologischen geographischen und (hydro-) chemischen Verhältnisse sowie über die Oberflächenstrukturen etc.. Bei der Auswahl von Messstellen wurden insbesondere berücksichtigt:

1. Lokales Gefährdungspotential des Grundwassers
2. Hydrogeologische Verhältnisse
3. Hydrochemische Beschaffenheit

Von Vorteil war die Ausgangssituation in München mit der Vielzahl bereits bestehender Messstellen und Pegel, womit das gezielte Niederbringen von neuen Messstellen nicht notwendig war.

Die aufgrund der Vorüberlegungen und Auswertungen des vorhandenen umfangreichen Daten- bzw. Kartenmaterials getroffene ursprüngliche Messstellenauswahl hatte sich weitgehend bewährt und in der angewandten Art und Weise als durchaus zielführend erwiesen. Deshalb haben sich hinsichtlich des Messnetzes im Nachhinein nur noch geringfügige Korrekturen ergeben.

Bei einer längerfristig bzw. auf Dauer ausgelegten Grundwasserüberwachung sind Kontrollen zur **Qualitätssicherung** sowohl vor der ersten Probennahme, als auch während des laufenden Programms, erforderlich, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, so z.B.:

- Nach einer ersten Vorauswahl der Messstellen sollten die Mindestanforderungen an die Messstellen vor der ersten Probennahme durch eine gesonderte Vor-Ort-Überprüfung sichergestellt werden.
- Während der jeweiligen Probennahme sind von fachlich kompetenter und unabhängiger Stelle unangekündigt stichpunktartige, parallellaufende Proben zu entnehmen und auf die gleichen Parameter zu analysieren.
- Um die Analyseergebnisse auf ihre Plausibilität zu überprüfen, sollte - zumindest stichpunktartig - eine Ionenbilanz durchgeführt werden.
- Die Wasserführung sollte bei kritischen, d. h. belasteten Pegeln regelmäßig überprüft werden

In den Kapiteln VI.1 und VI.2 wurden die Erkenntnisse und daraus abzuleitende Folgerungen für laufende bzw. künftige Grundwasserbeobachtungen ausführlich dargelegt, so dass an dieser Stelle nur wenige Ergebnisse nochmals aufgezeigt werden.

In mancher Beziehung ergaben sich durch die Auswertung und Interpretation der GWUES - Daten neue Erkenntnisse, die eine Modifizierung der ursprünglichen Vorgehensweise ratsam erscheinen ließen. So konnten, wie im Kapitel VI beschrieben, sowohl bei der Parameterauswahl, der Messhäufigkeit und der Analytik weitere Vorschläge zur Optimierung einer künftigen Grundwasserüberwachung erarbeitet werden.

Zur Erfassung der PAK- und PSM-Belastung im Grundwasser:

Obwohl im Vergleich mit der genaueren und aussagekräftigeren, jedoch deutlich teureren Analytik mittels GC/MS, bei der HPLC-Methode speziell die Naphthaline nicht erfasst werden können, reicht für einen ersten generellen Überblick über mögliche Belastungen des Grundwassers mit PAK die HPLC-Methode völlig aus, besonders auch unter dem Gesichtspunkt einer effektiven, aber finanziell tragbaren Durchführung der GW-Überwachung.

Zur Verfolgung konkreter Hinweise auf solche Grundwasserkontaminationen sollten jedoch bedarfsorientiert lokal gezielte Untersuchungen mit Einsatz der aufwendigeren GC/MS-Analytik durchgeführt werden.

Aus den Ergebnissen der PSM - Analysen der neunten Messreihe folgt, dass für die Untersuchungen auf PSM in jedem Fall die Analytik und Auswertung der Einzelparameter einer Bewertung des Summenwertes gemäß TVO vorzuziehen ist.

Bei einer künftigen Grundwasserüberwachung ist die generelle, flächige Untersuchung auf die Parameter PAK und PSM, abgesehen von spezifischen Untersuchungen in Bereichen mit Kontaminationen, allenfalls im Abstand von mehreren Jahren ( z.B. 5 Jahre) zu wiederholen.

Messhäufigkeit:

Unter Annahme der hier gestellten Zielvorgaben, reichen 2x-jährlich durchgeführte Untersuchungen im April und Oktober für die generelle Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit aus. Die Messungen bzw. Probennahmen sollten im Frühjahr, nach Ende der Winterzeit und der Schneeschmelze sowie im Herbst nach Ende der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung durchgeführt werden.

Mit Durchführung des Projektes und dessen Auswertung wurden vor allem bei der DV-technischen Be- und Verarbeitung praktische und technische Defizite offenkundig, die es gilt, künftig auszuschließen. Entsprechende Anforderungen an die notwendige und wünschenswerte EDV-Ausstattung wurden formuliert.

## **Bewertung der Ergebnisse des GWUES für die LH München**

- Aufdeckung einer Vielzahl unbekannter Kontaminationen durch das GWUES  
z.B. Deutliche räumliche Konzentration der Kontaminationen treten vor allem westlich der Isar, im Bereich der Schotterterrasse der sog. Altstadtstufe auf
- Erkenntnisse über Parameter, die für das Grundwasser im Stadtgebiet München kennzeichnend sind  
CKW stellen in München die Hauptkontaminanten und damit das größte Gefahrenpotential dar; die Hintergrundbelastung durch CKW beträgt bis zu 10 µg/l; weitere Parameter, die maßgeblich zur Belastung des Grundwassers in München beitragen sind, die PAK und AOX
- Kenntnisse über die flächige Verteilung der Grundwasserqualität, generelle Belastung des oberflächennahen Grundwassers im gesamten Stadtgebiet, unabhängig von einzelnen konkreten Kontaminationsherden
- Vergleichen am natürlichen Grundwasserchemismus weist der obere Grundwasserleiter über große Bereiche erhöhte Konzentrationen bei den meisten der untersuchten Parameter auf. Definition der statistisch ermittelten Eckwerte der sogenannten anthropogen fast unbeeinflussten Messstellen als Vergleichswerte und Beurteilungsbasis
- Es gibt nur wenige Parameter, deren Konzentrationsverteilung relativ kurzfristigen stärkeren Schwankungen unterworfen sind. Die meisten Kontaminationspunkte bleiben über einen längeren Zeitraum bestehen und variieren nur relativ gering in der Höhe ihrer Belastung.

- Die Überlegungen zur mehrstufigen Analytik haben sich in der Praxis des GWUES bewährt; damit konnten der Untersuchungsaufwand und damit die finanziellen Aufwendungen begrenzt werden.  
Diese Analytik läßt sich unter Einbeziehung der Messungen „Dritter“ und auf Grund der Ergebnisse des GWUES weiter komprimieren, indem bereits alle auf Schritt 1 folgenden Maßnahmen und Untersuchungen von den jeweils zuständigen Institutionen (WWA; LfW; eigene Sachgebiete) übernommen werden.
- Im Verlauf des Projektes wurden die Anforderungen für eine praktikable und anwendergerechte Ausgestaltung mit der notwendigen DV-Software zur Speicherung, Verarbeitung und Auswertung des Datenmaterials definiert. Wichtige Erkenntnis ist die Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit einer zentralen Erfassung von Grundwasserbeschaffenhheitsdaten.
- Für München wurde ein Nachfolgeprojekt zur Durchführung einer langfristigen Grundwasserüberwachung, wie mit dem Projekt GWUES angestrebt, formuliert.
- Bei der Auswertung der Ergebnisse des GWUES wurden bisher zusätzliche Informationen zum Grundwasserdargebot, -neubildung, -fließgeschwindigkeit, einfachem Strömungsmodell nicht berücksichtigt und flossen gegebenenfalls erst bei der Detailbearbeitung der Kontaminationen durch die zuständigen Sachgebiete in die Bearbeitung ein.

Insgesamt zeigte sich, dass eine dauerhafte Sicherung des Grundwasserdargebotes und der Grundwasserqualität neben einer effektiven Überwachung des Grundwassers (Grundwasseruntersuchungsprogramm) vor allem auch langfristig die Ermittlung der potentiellen Grundwassergefährdung (Grundwassergefährdungspotential) sowie der Grundwasserverschmutzungsempfindlichkeit (Schutzfunktion der Grundwasser-Überdeckung) in einem Gesamtkonzept (**Grundwasserschutzkonzept**) beinhalten muß.

Dieses **Grundwasserschutzkonzept** umfasst im wesentlichen folgende Handlungsbereiche:

- Sicherung des Grundwasserdargebots und der Grundwasserqualität
- Vorsorge  
z.B. im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen,  
Entsiegelung, Förderung der flächigen Niederschlagsversickerung  
Planung (z.B. Verkehr, Industrie- und Gewerbeansiedlung)
- Vermeidung von Emissionen und Immissionen  
diffuse Einträge  
punktuelle Einträge  
lineare Einträge
- Überwachung
- Sanierung

Bei der notwendigen Forcierung des vorsorgenden Grundwasserschutzes auch auf kommunaler Ebene ist zunächst der Handlungsspielraum vollends auszuloten und auszuschöpfen, der aufgrund der gegenwärtigen Rechtslage gegeben ist. Aber es sind auch Möglichkeiten zu suchen, die das Leitbild einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung des Grundwassers Wirklichkeit werden lassen können. Nur in einem solchen umfassenden Zusammenhang kann eine Grundwasserüberwachung einen zielführenden Beitrag zum Schutz der Ressource Grundwasser beitragen.

## VII. Öffentlichkeitsarbeit

### **Stadtrat der Landeshauptstadt München**

Über die Durchführung des Grundwasserüberwachungssystems, den jeweiligen Sachstand der Projektabwicklung sowie über Zwischenergebnisse wurde der Münchener Stadtrat jährlich in Form von Bekanntgaben unterrichtet. Der erste Bericht erfolgte noch vor Projektbeginn im Frühjahr 1995 gegenüber der Vollversammlung des Stadtrates. Danach wurde der Stadtrat mit den Bekanntgaben vom 25.09.96, vom 08.07.1997 und zuletzt vom 10.11.1998 über den Projektfortschritt informiert.

Über einen Antrag zur Weiterführung der Grundwasserüberwachung wird der Stadtrat im Frühsommer 1999 beschließen. Eine entsprechende Beschlusvorlage wurde bereits vorbereitet. Somit würde das LIFE-Projekt als Initialvorhaben für die Fortsetzung einer kontinuierlichen und langfristigen Grundwasserbeobachtung wirksam werden.

### **Vorträge**

Während der Projektlaufzeit wurde das Projekt und die aktuellen Projektergebnisse des Grundwasserüberwachungssystems der Öffentlichkeit im Rahmen einer gemeinsam von den Stadtwerken München und dem Wasserwirtschaftsamt im Herbst 1997 durchgeführten Ausstellung und Vortragsreihe zum Thema „Unser Trinkwasser - Element zwischen Mythos und Klarheit“ mit zwei Vorträgen am 27.10.1997 und 07.11.1997 vorgestellt. Unter dem Titel „Die Beschaffenheit des oberen Grundwasserleiters“ wurde vom Referat für Gesundheit und Umwelt dabei das Grundwasserüberwachungssystem als ein von der Europäischen Union gefördertes „L I F E“ - Projekt vorgestellt.

Dieser Vortrag mit der Darstellung erster Ergebnisse wird mittelfristig im Umweltinformationssystem des Referates für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München via Internet als ein von der Europäischen Kommission gefördertes LIFE-Projekt präsentiert und abrufbar sein.

### **Projekt-Abschlussbericht**

Der Projekt-Abschlussbericht wird in einer größeren Auflage gedruckt und an Behörden, Forschungseinrichtungen, Universitäten und Bibliotheken versendet.

### **Internet**

Das Referat für Gesundheit und Umwelt beabsichtigt, die wesentlichen Aspekte und Ergebnisse für die Internet-Präsentation mit Hinweis auf den veröffentlichten Abschluss-Bericht aufzubereiten. Die Arbeiten hierzu werden im Sommer 1999 aufgenommen.

Bei der Fortführung der Grundwasserüberwachung ist geplant, die Ergebnisse der jeweiligen aktuellen Messung in das Internet einzustellen.

### **Fachbericht**

Zur weiteren Verbreitung der mit dem LIFE-Projekt gewonnenen Ergebnisse strebt das Referat für Gesundheit und Umwelt die Erstellung eines *Fachberichtes GRUNDWASSER* an, in dem das Thema Grundwasser umfassend aufbereitet wird und auch die Erkenntnisse des Grundwasserüberwachungssystems Eingang finden.

### **Umweltatlas**

Mit der laufenden Aktualisierung und Fortschreibung des Umweltatlases der Landeshauptstadt München werden, sofern noch nicht vorhanden, Bestandsaufnahme- und Auswertekarten auf Grundlage der Ergebnisse des LIFE-Projektes erstellt.

### **Presse**

Nachdem der Stadtrat der Landeshauptstadt München über das weitere Vorgehen bei der Grundwasserüberwachung befunden hat, werden die Ergebnisse des LIFE-Projektes im Rahmen einer Pressekonferenz einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

### **Ausstellung**

Das Referat für Gesundheit und Umwelt zieht auch in Erwägung, eine Ausstellung zum Grundwasserüberwachungssystem zu erarbeiten, die als Wanderausstellung konzipiert sein wird und bei Interesse z. B. auch von anderen Kommunen angemietet werden kann.

## Verzeichnis der Abbildungen

III.1.1	Übersichtskarte Stadtgebiet München
III.1.2	Realnutzung im Stadtgebiet München
III.2.1	Geologisches Blockbild
III.2.2	Geologische Situation
III.2.3	Hydrogeologische Situation
III.2.4	Grundwasserstandsschwankungen
IV.1.1a	Messstellennetz und Pegelnummerierung
IV.1.1	Messstellennetz
V.3.1.1	Temperatur - Prozentwerte
V.3.1.2	Temperatur - Verteilung - Messreihen 1 bis 8
V.3.1.3	Temperatur - Verteilung - Messreihe 04-96 und arithmetisches Mittel
V.3.1.4	Temperatur - Verteilung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.1.5	Temperatur - Verteilung - Messreihe 11-96 und arithmetisches Mittel
V.3.2.1	Leitfähigkeit - Belastungsgrad Prozent aller Messwerte
V.3.2.2	Leitfähigkeit - Verteilung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.2.3	Leitfähigkeit - Verteilung - Messreihen 1 bis 8
V.3.2.4	Leitfähigkeit - Verteilung - Messreihe 11-96 und arithmetisches Mittel
V.3.3.1	Chlorid - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.3.2	Chlorid - Belastungsgrad Prozent aller Messwerte
V.3.3.3	Chlorid - Belastung - Messreihe 04-96 und arithmetisches Mittel
V.3.3.4	Chlorid - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.4.1	Sulfat - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.4.2	Sulfat - Belastung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.4.3	Sulfat - Belastungsgrad Prozent aller Messwerte
V.3.4.4	Sulfat - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.5.1	Nitrat - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.5.2	Nitrat - Belastungsgrad Prozent aller Messwerte
V.3.5.3	Nitrat - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.5.4	Nitrat - Belastung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.6.1	Bor - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.6.2	Bor - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.6.3	Bor - Belastung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.6.4	Bor - Belastungsgrad Prozent aller Messwerte
V.3.7.1	DOC - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.7.2	DOC - Belastung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.7.3	DOC - Belastung - Prozentwerte
V.3.7.4	DOC - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.8.1	AOX - Belastungsgrad Prozent aller Messwerte
V.3.8.2	AOX - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.8.3	AOX - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.8.4	AOX - Belastung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.9.1	CKW - Belastungsgrad Prozent aller Messwerte
V.3.9.2	CKW - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.9.3	CKW - Belastung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.9.4	CKW - Belastung - Juli 98 II
V.3.9.5	CKW - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.10.1	PAK - Belastung - Messreihe 07-97
V.3.10.2	PAK - Belastung - Grenzwertüberschreitungen
V.3.10.3	PAK - Prozentwerte
V.3.10.4	PAK - Belastung - Messreihen 1 bis 8
V.3.11.1	PSM - Belastung - Summenwerte gemäß TVO
V.3.11.2	PSM - Belastung - Summenwerte der F 12 Parameter
V.3.11.3	PSM - Belastung - Atrazin

V.3.11.4	PSM - Belastung - Desethylatrazin
V.3.11.5	PSM - Belastung - Diuron
V.3.11.6	PSM - Belastung - Simazin
V.3.11.7	PSM - Belastung - Verteilung der Grenzwertüberschreitungen
V.3.12.1	O <sub>2</sub> - Verteilung - Grenzwertunterschreitungen
V.3.12.2	O <sub>2</sub> - Verteilung - Messreihe 07-98 und arithmetisches Mittel
V.3.13.1	BTX - Belastung - Messreihe 04-98
V.3.13.2	BTX - Belastung - Prozenuale Zusammensetzung
V.4.1	Belastungsverteilung - Grenzwertüberschreitungen aller relevanter Parameter
V.4.2	Belastungsverteilung - Grenzwertüberschreitungen der Parameter AOX, CKW, PAK
V.4.3	Belastungsverteilung - Grenzwertüberschreitungen anorganischer Parameter
V.4.4	Lage der Profile
VI.2.1	Vorhandene Messstellen zur Grundwasserüberwachung - Brunnen
VI.2.2	Vorhandene Messstellen zur Grundwasserüberwachung - Überwachungspegel
VI.2.3	Komponenten aus dem Grundwasserprogramm - Pegel der LH München
VI.2.4	Komponenten der künftigen Grundwasserüberwachung - künftiges Gesamtnetz
VI.2.5	Messhäufigkeit

## Verzeichnis der Tabellen

II.3.2	Einteilung der Messnetze
III.1	Nutzungsverhältnisse in München
IV.1	Klassifizierung der Messstellen
IV.1	Anzahl der Messstellen pro Messreihe
IV.5	Analytikverfahren
IV.5	Nachweisgrenzen
IV.5	Vertrauensbereiche
V.1	Natürlicher Grundwasserchemismus (nach GERB)
V.1	Statistische Kennwerte unbelasteter Messstellen
V.1	Grenz- und Richtwerte
V.1	Erfahrungswerte
V.1	Klassifizierung der Belastungsbewertung
V.3.1	Grundwassertemperatur - Belastungsbewertung
V.3.2	Leitfähigkeit - Belastungsbewertung
V.3.3	Chlorid - Belastungsbewertung
V.3.4	Sulfat - Belastungsbewertung
V.3.5	Nitrat - Belastungsbewertung
V.3.6	Bor - Belastungsbewertung
V.3.7	DOC - Belastungsbewertung
V.3.8	AOX - Belastungsbewertung
V.3.9	LHKW - Belastungsbewertung
V.3.10	PAK - Belastungsbewertung
V.3.11	PSM - Belastete Messstellen
V.3.11	PSM - Einzelparameter
V.4	Statistische Kennwerte aller Messstellen
V.4	Statistische Kennwerte aller unbelasteten Messstellen
V.4	Anzahl der Grenzwert- bzw. Richtwertüberschreitungen
V.4	Belastungsschwerpunkte
V.4	Bivariate Korrelation
V.4	Statistische Kennwerte der Messstellen im Zustrom
V.4	Statistische Kennwerte der Messstellen im Abstrom
V.5	Messstellen im Bereich von Altlasten
V.5	Messstellen im Bereich mit Altlastenverdacht
VI.2	Überwachungs- und Sanierungs-Messstellen - §19i - Pegel
VI.2	Überwachungs- und Sanierungs-Messstellen - Überwachungspegel
VI.2	Überwachungs- und Sanierungs-Messstellen - Sanierungspegel
VI.2	Überwachungs- und Sanierungs-Messstellen - Altlastenpegel

## Verzeichnis der Diagramme

II.3.2	Planungs- und Durchführungsphasen
II.3.2	Gesamtmessnetz
V.4.1	Vergleich der statistischen Kennwerte von Zustrom- und Abstrom-Messstellen
V.4.2	Arithmetisches Mittel der Messwerte von Zustrom- und Abstrom-Messstellen
V.4.3	Profile

## Literaturverzeichnis

GRIMM-STRELE et al., 1995

Diffuse Schadstoffbelastung des Grundwassers in Stadtgebieten; in: Schadstoffe im Regenabfluß III, Präsentation eines BMBF-Verbundprojektes, 24. - 125.10.1995 in Karlsruhe, S. 29 - 49.

GRIMM-STRELE, 1991

Modellhafte Einrichtung eines Grundwassergüte-Messnetzes in einer ausgewählten Region.

LAWA (1993): Richtlinie für die Beobachtung und Auswertung Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit

RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1998

*Sondergutachten* (1998): Flächendeckend wirksamer Grundwasserschutz.

SCHENK, Dietmar und KAUPE, Martin (1998)

Grundwassererfassungssysteme in Deutschland.

TRAUTH, Roland (1997)

Lokalisierung von Grundwasserschadstoffquellen in urbanen Räumen