

**Chemische und physikalische Schadensprozesse an
mineralischen Baustoffen – Untersuchungen an originären
und schutzmittelbehandelten Prüfkörpern**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
des Fachbereichs Chemie
der Universität Hamburg

vorgelegt von
Ulrich Willers
aus Hamburg

Hamburg 2002

1. Gutachter: Prof. Dr. W. Dannecker
2. Gutachter: Prof. Dr. D. Rehder

Tag der letzten mündlichen Prüfung: 20. 02. 2003

Der praktische Teil dieser Arbeit wurde in der Zeit von August 1993 bis August 1998 im Arbeitskreis von Prof. Dr. W. Dannecker am Institut für Anorganische und Angewandte Chemie der Universität Hamburg durchgeführt.

Herrn Prof. Dannecker danke ich für die stets wohlwollende Unterstützung und Förderung während der Anfertigung dieser Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. M. Steiger für konzeptionelle Unterstützung und die kritische Durchsicht der Arbeit.

Gedankt sei auch allen Mitgliedern des Arbeitskreises für eine gute Zusammenarbeit.

Weiterhin danke ich Frau Zeise und ihrem Werkstatt-Team für die Anfertigung zahlreicher Arbeitsmaterialien.

Dem BMBF sei für die finanzielle Förderung dieser Arbeit gedankt.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung und Problemstellung | 1 |
| 2. Schadstoffeintrag und Schadensprozesse am Bauwerk | 8 |
| 2.1 Deposition von Schadstoffen auf Baustoffe | 8 |
| 2.1.1 Schwefelverbindungen | 9 |
| 2.1.2 Stickstoffverbindungen | 10 |
| 2.1.3 Partikuläre Einträge..... | 12 |
| 2.2 Schadensprozesse am Bauwerk..... | 13 |
| 3. Schutzmittelentwicklungen | 16 |
| 3.1 Überblick über die historische Entwicklung..... | 16 |
| 3.2 Hydrophobierungsmittel..... | 17 |
| 3.3 Festiger..... | 19 |
| 3.4 Kombinationsmittel..... | 20 |
| 3.5 Das Aachener Schutzmittelkonzept | 21 |
| 3.6 Verwendete Präparate | 22 |
| 4. Untersuchungen zur trockenen Deposition von SO₂ | 23 |
| 4.1 Die Depositionsgeschwindigkeit als Maß für die Schadstoffaufnahme | 23 |
| 4.2 Messungen der SO ₂ -Depositionsgeschwindigkeit | 25 |
| 4.3 Untersuchungsergebnisse | 28 |
| 5. Ablaufwasserexperimente | 30 |
| 5.1 Die nasse Deposition von Schadstoffen..... | 30 |
| 5.2 Konzeption der Prüffelder und der Probenahme..... | 34 |
| 5.3 Probenvorbereitung und Analytik..... | 37 |
| 5.4 Vorgehensweise bei der Auswertung der Daten | 38 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.5 | Ablaufwasseruntersuchungen an Prüfkörpern | 39 |
| 5.5.1 | Regensituation in Duisburg und Holzkirchen | 39 |
| 5.5.2 | Charakterisierung der Immissionssituationen in Duisburg und Holzkirchen durch die Analyse von Regen- und Gesamtdepositionsproben | 42 |
| 5.5.3 | Referenzprüfkörper | 45 |
| 5.5.4 | Charakterisierung der Ablaufwässer in Duisburg und Holzkirchen | 49 |
| 5.5.5 | Korrosion carbonatischer Sedimentgesteine | 52 |
| 5.6 | Beprobungen der Gesteinsprüfkörper durch Bohrkernentnahmen | 56 |
| 5.7 | Untersuchungen an schutzmittelbehandelten Gesteinsproben in Duisburg | 61 |
| 5.8 | Untersuchungen des Schlagregen-Ablaufs am Gebäude | 67 |
| 6. | Untersuchungen des Einflusses von Salzen und Schutzmittelbehandlungen auf physikalische Eigenschaften der Baustoffe | 74 |
| 6.1 | Experimente zur Dilatation von Prüfkörpern | 74 |
| 6.1.1 | Volumenänderung von Baustoffen unter dem Einfluss von Temperatur- und Feuchtewechseln | 74 |
| 6.1.2 | Möglichkeiten der Dilatationsmessung | 78 |
| 6.1.3 | Messung der Dilatation von Prüfkörpern | 79 |
| 6.2 | Experimente zur Diffusion von Wasserdampf durch poröse Baustoffe | 93 |
| 6.2.1 | Messung der Diffusion von Wasserdampf durch Prüfkörper | 94 |
| 7. | Zusammenfassung | 102 |
| 8. | Summary | 106 |
| 9. | Literatur | 109 |
| 10. | Anhang | 117 |

1. Einleitung und Problemstellung

Baustoffe sind ihrem Wesen und Zweck nach auf Dauerhaftigkeit angelegt. Gleichwohl unterliegen sie in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung und Struktur sowie von äußeren Einwirkungen jeweils ganz spezifischen Verfallsprozessen, die sowohl ihre Funktionalität als auch gegebenenfalls ihre ästhetische Erscheinung beeinträchtigen können.

Besonders augenfällig wird dies auch dem ungeschulten Betrachter an historischen Bauten und anderen historischen Artefakten wie z.B. Skulpturen mit einem entsprechend langen Schadensverlauf. Hier hat der Zerfall von Baumaterialien nicht nur eine materiell-wirtschaftliche, sondern auch eine kulturell-gesellschaftliche Bedeutung, da die Erhaltung von geistigen und materiellen Zeugnissen einer Kultur als eine wichtige Grundlage für die weitere Entwicklung einer Gesellschaft gelten kann. Unbestritten ist zudem die identitätsstiftende Wirkung von Kulturdenkmälern in regionalem, nationalem und übernationalem - z.B. europäischen - Rahmen (siehe hierzu auch die Broschüre des BMFT: „Forschung für den Denkmalschutz“, 1994).

Der hohe Stellenwert des Erhalts von Kulturdenkmälern in Deutschland findet unter anderem seinen Ausdruck in einer Reihe interdisziplinärer Forschungs- und Entwicklungsprojekte des BMBF (früher: BMFT) unter dem Dach der staatlichen Denkmalpflege. Diese Projekte decken im Wesentlichen die Felder der Erforschung der Schadensursachen und der Entwicklung von Vorbeugungs-, Erhaltungs- und Sanierungsstrategien unter Einbeziehung der Entwicklung der hierfür erforderlichen chemischen Formulierungen ab. Hauptgegenstand der Forschung sind wegen ihrer großen Bedeutung im Zusammenhang mit historischen Bauten Baumaterialien aus Naturstein, aber auch Ziegel und Mörtel sind Gegenstand der Untersuchungen.

Die Verwitterungsprozesse lassen sich auf natürliche Ursachen und auf anthropogene Einflüsse zurückführen. Es ist heute unbestritten, dass insbesondere durch die Immission von Schadstoffen, die auf menschliche Produktion zurückgehen, die Verwitterung von Bauwerken stark beschleunigt wird. Lediglich das Maß dieses Beitrags zum Gesamtschadensbild wird unterschiedlich beurteilt (WINKLER 1975, GRIMM 1983).

Natürliche und anthropogen verursachte Schädigungsprozesse lassen sich grob klassifizieren nach physikalischer, chemischer und biologischer Verwitterung. Die Grenzen dieser Zuordnung sind allerdings nicht scharf zu ziehen, in vielen Prozessen fließen physikalische, chemische und biologische Abläufe ineinander, es laufen konzertierte Mechanismen ab und es bestehen enge Wechselbeziehungen zwischen den Vorgängen. Ausführliche Betrachtungen hierzu finden sich z. B. bei NEUMANN (1994).

Zu den explizit physikalischen Verwitterungsprozessen zählen zunächst die mechanische Erosion von Oberflächen durch Wind und Regen sowie die mechanische Beanspruchung des Materials durch thermische Längenänderung, die z.B. durch direkte Sonneneinstrahlung oder bei Frost erheblich sein kann. Durch Temperatur- bzw. Feuchte-Änderung können weitere Prozesse - wie die Gefügelockerung bzw. -zerstörung poröser Materialien durch Frost-Tau-Wechsel und die Salzsprengung der Gefüge – induziert werden. Die Zerstörung des Materialgefüges wird beim Frost-Tau-Wechsel durch den Phasenübergang von flüssigem Wasser zu Eis und die damit verbundene Volumenarbeit ausgelöst. Bei der Salzsprengung führt eine durch die Änderung der Feuchte ausgelöste Salzkristallisation innerhalb des Porenraums zu einer Druckbelastung des Kornverbands, oder es wird bei bereits porenraumfüllenden Salzen durch die Änderung des Kristallwasseranteils eine Volumenänderung der Salzkristalle ausgelöst. Das Quellen und Schrumpfen eines Materials unter dem Einfluss von Feuchtezyklen spielt insbesondere bei tonmineralhaltigen Baumaterialien eine große Rolle, wird aber auch an anderen Materialien beobachtet und führt zu hoher mechanischer Belastung im Material. Der Quellungsprozess kann sowohl durch flüssiges Wasser – wie z.B. aufsteigende Feuchte oder Regen – als auch durch in den Porenraum diffundierenden Wasserdampf ausgelöst werden. In den weiteren Ausführungen dieser Arbeit wird das Quellen unter dem Einfluss flüssigen Wassers als hygrische Dehnung, das Quellen unter dem Einfluss von Wasserdampf als hygroscopische Dehnung bezeichnet. Diese Nomenklatur findet in der Literatur breite Verwendung (SCHUH 1987, WEISS 1992, RUPP 1993). Die Abgrenzung der Wirkursachen ist aufgrund der unterschiedlich starken Wirkung flüssigen Wassers bzw. Wasserdampfs auf den Quellprozess sinnvoll. Einen Überblick über die bisherigen Erkenntnisse zu physikalischen Verwitterungsphänomenen bieten z.B. die Arbeiten von SCHUH (1987), WENDLER *et al.* (1990), NÄGELE (1992) und WEISS (1992).

Der Begriff der chemischen Verwitterung umfasst alle chemischen Umwandlungen an der Oberfläche oder im Inneren eines Materials, die durch den Eintrag reaktionsfähiger Substanzen über die Gasphase, den Regen oder durch aufsteigende Feuchte hervorgerufen werden. Eine besondere Bedeutung kommt dem Angriff saurer Agenzien auf carbonatische Gesteine zu, der durch die Auflösung des basischen Bindemittels zur Lösung des Kornverbands und damit zum direkten Materialzerfall führt. Es sind aber auch Prozesse zu nennen, die ihre Wirkung indirekt durch die Neubildung von Komponenten entfalten, deren physikalische Eigenschaften erheblich von denen der ursprünglichen Material-Komponenten abweichen. Dies ist z.B. der Fall bei der Bildung von Gips durch die Einwirkung von Schwefelsäure auf Calcit. Hierdurch kann das Material einem extremen mechanischen Stress ausgesetzt sein, der ebenfalls in längeren Zeiträumen zur Auflösung des Kornverbands führen kann.

Die verschiedenen chemischen Verwitterungsprozesse sind in zahlreichen Arbeiten untersucht worden. Zu den ersten zählte die Arbeit von LUCKAT (1981), der eine Korrelation zwischen auf exponierten Steinplättchen gefundenem Sulfat und dem mit einer Immissionsraten-Messapparatur (IRMA) ermittelten Sulfateintrag nachweisen konnte. Weitere Arbeiten konnten ebenfalls in Feldexperimenten eine Korrelation der Schwefeldioxid-Immissionskonzentrationen mit dem an Gesteinsoberflächen gefundenen Sulfat nachweisen (CLARK et al. 1987, ZALLMANZIG 1984). Über Erkenntnisse zur Schwefeldioxidimmission, die in Simulationskammer-Experimenten gewonnen wurden, gibt LIPFERT (1989) einen Überblick. Zum Eintrag von Stickstoffverbindungen auf Natursteine hat BEHLEN (1996) umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Auf weitere chemische Verwitterungsprozesse wird in Kapitel 2 eingegangen.

Unter dem Oberbegriff der biologischen Verwitterung werden Prozesse zusammengefasst, die von höheren Pflanzen, Moosen, Flechten, Pilzen und Mikroorganismen hervorgerufen werden. Während bei der Besiedelung von Baumaterialien durch höhere Pflanzen die mechanische Materialschädigung durch das Wurzelwerk die wichtigste Rolle spielt, verläuft die Schädigung bei den anderen Spezies wesentlich über den Abbau des Gesteinsmaterials als Substrat für den Zellaufbau der Organismen oder durch die Einwirkung schädlicher Stoffwechselprodukte. Einen Überblick über die mikrobielle Materialkorrosion geben SAND (1995) sowie URZI und KRUMBEIN (1994).

Phototrophe Organismen wie Flechten, Algen und Cyanobakterien können Biofilme auf mineralischen Baumaterialien bilden, die sehr resistent auch gegen extreme Witterungsbedingungen sind. Sie sind nicht nur ein ästhetisches Problem, sondern schädigen das Material mechanisch und durch die Ausscheidung zum Teil chelatisierender organischer Säuren wie Oxalsäure, Citronensäure etc. Zu den chemolithotrophen Bakterien zählen die Oxidanten von Schwefelverbindungen wie z.B. *Thiobacillus*. Dieser produziert Schwefelsäure, die ihrerseits mit basischen Komponenten der Gesteine reagiert. Ebenfalls chemolithotrophe Organismen sind die nitrifizierenden Mikroorganismen. Diese bilden in mehreren Schritten aus eingetragener Ammonium salpetrige Säure und Salpetersäure, die basische Komponenten wie z.B. Calcit auflösen, was zur Bildung leichtlöslicher Nitrats führt (BOCK *et al.* 1991). Weiterhin sind Eisen- und Mangan-oxidierende Mikroorganismen zu nennen, zu denen Algen, Pilze und Bakterien zählen. Sie führen in eisen- und manganhaltigen Gesteinen durch Bildung der Oxide nicht nur zu Farbveränderungen, sondern auch zu Rissbildungen aufgrund der Volumenexpansion.

Das Gewicht dieser Prozesse in einem Gesamtschadensbild hängt jeweils sehr stark von den klimatischen und sonstigen Umweltbedingungen wie auch vom Eintrag von Fremdsubstanzen ab. Eine Aussage über die Bedeutung der einzelnen Verwitterungsmechanismen lässt sich daher nur treffen, wenn die Randbedingungen sehr detailliert erfasst werden.

Das Problem des Verfalls von Kulturgütern durch Verwitterungsprozesse ist schon sehr lange bekannt. Bereits der griechische Geschichtsschreiber Herodot berichtet von der zerstörenden Wirkung von Salzen auf die ägyptischen Pyramiden (VIESER 1986). Eine Möglichkeit, dem weiteren Verfall zu begegnen, ist der Austausch besonders gefährdeter Bauteile durch originalgetreue Repliken. Diese Variante ist allerdings sehr teuer und nur in Ausnahmefällen möglich und steht zudem der Verpflichtung heutiger Denkmalpflege entgegen, eine möglichst weitgehende Erhaltung der Originalsubstanz zu erreichen. Sie findet daher nur in Fällen irreversibler Schäden für spezielle Problematiken Anwendung (z.B. Repliken figürlicher Darstellungen). Entsprechend wurde schon im 19. Jahrhundert begonnen, Schutzmittelbehandlungen vorgeschädigter Oberflächen durchzuführen, die allerdings langfristig häufig zu negativen Ergebnissen führten, wie z.B. einer verstärkten Schalenbildung mit nachfolgendem flächigen Materialverlust (siehe z.B. FASSINA und BORSELLA 1993).

Eine Darstellung der historischen Entwicklung der Schutzmittelbehandlungen findet sich bei SNETHLAGE (1993). Schutzmittelbehandlungen folgten im Wesentlichen zwei Konzepten, die auch heute noch die Hauptbehandlungsstrategien darstellen: Die Festigung von in ihrem Gefüge geschädigten Oberflächen bzw. die wasserabweisende Imprägnierung von Oberflächen. Die Festigung kann als eine sanierende Maßnahme für bereits geschädigte Oberflächen, aber auch als vorbeugende Behandlung durchgeführt werden. Die Hydrophobierung wird als vorbeugende Maßnahme an neuem Material durchgeführt, aber auch an historischem Material in der Folge einer Festigungsmaßnahme. Die hydrophobierende Behandlung von Baustoffoberflächen trägt der Tatsache Rechnung, dass die meisten Schädigungsmechanismen die Anwesenheit von Wasser erfordern, so dass eine Unterbindung des Wassereintrags zur weitgehenden Hemmung der Schadensprozesse führen sollte.

Die Problematik der Schutzmittelbehandlungen liegt in der Vielzahl der Anforderungen, die neben den eigentlichen Zielmerkmalen an sie gestellt werden (SASSE *et al.* 1993, VON PLEHWE-LEISEN *et al.* 1994 b). Wesentliche Punkte sind:

- Einfache Applikation am Bauwerk
- Unempfindlichkeit der Applikation gegen Bauwerksfeuchte und vorhandene Salze
- Möglichst keine Verwendung toxischer Agentien bzw. Lösungsmittel
- Gutes Eindringverhalten, Tränkung bis zur unverwitterten Zone des Gesteins
- Keine Bildung von Nebenprodukten, die schädliche Auswirkungen auf das Bauwerk haben (z.B. Salze)
- Möglichst geringe Änderung physikalischer Parameter wie thermische/hygroscopische Dehnung, Elastizitätsmodul, Wasserdampfdiffusion etc., um mechanischen Stress im Material durch Zonenbildung zu vermeiden
- Erzeugung eines gleichmäßigen Schutzmittelkonzentrationsprofils im Gestein, um sprunghafte Änderungen von physikalischen Eigenschaften zu vermeiden
- Möglichst keine Veränderung von Farbe und Glanz des Materials, auch nicht nachträglich durch Veränderung des Anschmutzverhaltens
- Langfristige Haltbarkeit
- Möglichkeit der Wiederbehandlung der Oberfläche
- Reduzierung des Eindringens von Wasser und Schadstoffen ohne eine Abdichtung des Porenraums

Für die Untersuchung der Verwitterungsvorgänge an unbehandelten wie an schutzmittelbehandelten Baustoffen, die Aussagen über die Schadstoffpfade, die Schadensprozesse und die Auswirkungen von Behandlungsmaßnahmen liefern können, bieten sich verschiedene Strategien an. Der Schwerpunkt dieser Arbeit sollte in bilanzierenden Untersuchungen der nassen Deposition im Feldexperiment liegen. Der erfolgreiche Einsatz dieser Untersuchungsstrategie wurde bereits von verschiedenen Autoren beschrieben (RÖNICKE und RÖNICKE 1972, REDDY *et al.* 1985, VLEUGELS *et al.* 1988, ROEKENS *et al.* 1989, COOPER *et al.* 1992). Diese Untersuchungen beschränkten sich allerdings weitgehend auf calcitische Gesteine. Weiterhin wurden in der Regel Proben über Zeiträume von wenigen Monaten bis zu maximal 1,5 Jahren gesammelt.

Da bereits WOLF (1991) im Rahmen eines BMBF-Projekts Untersuchungen an exponierten Gesteinsprüfkörpern auf den Prüffeldern Duisburg und Holzkirchen begonnen hatte, sollte in Fortführung dieser Arbeiten die Betrachtung größerer Zeiträume in der Größenordnung mehrerer Jahre genutzt werden. Zudem sollten Fragestellungen aufgegriffen werden, die noch nicht bearbeitet wurden. Neben der Fortführung dieser Forschungen sollten die Prüffelder genutzt werden, um zusätzlich Untersuchungen an bruchfrischen Prüfkörpern durchzuführen, die mit neuen, im Rahmen des Projekts entwickelten Schutzmitteln behandelt wurden, um Erkenntnisse über das kurz- und langfristige Verhalten dieser Schutzmittel zu gewinnen.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die auf den Prüffeldern genutzte Sammlerkonstruktion für Schlagregenablaufwasser in geeigneter Weise zu modifizieren, um sie auch am Gebäude für eine kontrollierte Gewinnung von Ablaufwasser zum Einsatz bringen zu können. Die direkte Probenahme am Gebäude ermöglicht die Einbeziehung von Besonderheiten der Gebäudekonstruktion mit ihren Einflüssen auf die Intensität und Extensität der Schadstoffdeposition (Gebäudegeometrie, Aerodynamik). Ebenso werden die besonderen klimatischen Bedingungen und Umweltbelastungen am Probenahmeort sowie die bereits erfolgten Einträge und Schädigungen am Objekt in den Untersuchungen mit berücksichtigt. In der vorliegenden Arbeit wurde der Eintrag von Seesalz auf ein historisches Gebäude im Bereich mariner Einflüsse untersucht.

Ergänzend zu den Feldexperimenten sollte die Prüfung von Schutzmittelbehandlungen unter idealisierten Bedingungen im Labor erfolgen. Experimente zur trockenen Deposition von Schwefeldioxid auf schutzmittelbehandelte Prüfkörper wurden mit einer von WITTENBURG (1994) konstruierten und von WIESE (2000) weiterentwickelten Simulationskammer durch-

geführt. Die Auswertung der Deposition erfolgte über die Bilanzierung der Schadgaskonzentration am Kammereingang und -ausgang.

Wie bereits oben ausgeführt wurde, sind für die Beurteilung von Schutzmittelbehandlungen eine Reihe physikalischer Parameter von großer Bedeutung. Unbehandelte und behandelte Prüfkörper sollten daher auch auf physikalische Kenngrößen untersucht werden. Für diese Untersuchungen sollten individuell für die verwendeten Proben geeignete Prüfvorrichtungen konstruiert werden. In der vorliegenden Arbeit wurden die hygri-sche und hygroskopische Dehnung unbehauelter und behauelter Prüfkörper untersucht. Um natürliche Belastungen wie Luftfeuchtwechsel oder den wechselnden Einfluss aufsteigender Nässe im Bauwerk zu simulieren, wurden an Prüfkörpern Dilatationsmessungen unter dem Einfluss von Luftfeuchtezyklen bzw. Nass-/Trockenwechseln durchgeführt. Ebenfalls mit selbstkonstruierten Prüfeinrichtungen wurde die Wasserdampfdiffusion an unbehauelten und behauelten Prüfkörpern untersucht. Daneben wurden mit den physikalischen Untersuchungsmethoden auch sogenannte Stuckmarmorrepliken aus einem Denkmalpflege-Projekt der EU auf ihre Eignung für restaurierende Maßnahmen untersucht.

2. Schadstoffeintrag und Schadensprozesse am Bauwerk

2.1 Deposition von Schadstoffen auf Baustoffe

In die Atmosphäre werden aus natürlichen und anthropogenen Quellen eine Vielzahl von Schwefel- und Stickstoffverbindungen emittiert. Diese unterliegen in der Atmosphäre verschiedensten Umwandlungsreaktionen und Transportprozessen. Von diesen atmosphärischen Vorgängen hängen schließlich Art und Umfang der Immissionen von schwefel- und stickstoffhaltigen Schadstoffen und der Grad ihrer Schädigung auf Bauwerke ab.

Für die Geschwindigkeit der Deposition der verschiedenen Spezies ist die Lösung des jeweiligen Stoffs im Feuchtfilm, der sich in der Regel auf einem Bauwerk befindet, von entscheidender Bedeutung. Ein Maß für die Löslichkeit ist die Henry-Konstante, die als stoffspezifische Größe das Verhältnis der Konzentration eines gelösten Gases in Wasser zu seinem Partialdruck in der Atmosphäre bestimmt (HENRY'sches Gesetz):

$$[\text{Gas}]_{\text{aq}} = H \cdot p_{\text{gas}} \quad (2-1)$$

Die Konzentration des gelösten Gases in Wasser $[\text{Gas}]_{\text{aq}}$ ist gleich dem Produkt des Partialdruckes des Gases p_{gas} in der umgebenden Atmosphäre und der Henry-Konstanten H . Die Henry-Konstanten einiger wichtiger Spezies sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tab. 2-1: Henry-Konstanten ausgewählter Gase für die Löslichkeit in Wasser bei 25 °C [$\text{mol L}^{-1} \text{atm}^{-1}$] (nach SEINFELD 1986)

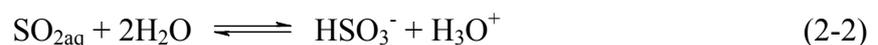
| Gas | Henry-Konstante |
|-------------------------------|----------------------|
| O ₂ | $1,3 \times 10^{-3}$ |
| NO | $1,9 \times 10^{-3}$ |
| NO ₂ | $1,0 \times 10^{-2}$ |
| SO ₂ | 1,24 |
| H ₂ O ₂ | $1,0 \times 10^5$ |
| HNO ₃ | $2,0 \times 10^5$ |
| HO ₂ | $1,0 \times 10^3$ |
| NH ₃ | 62 |

Umfangreiche Untersuchungen zur gasförmigen und partikulären Deposition von schwefel- und stickstoffhaltigen Schadstoffen finden sich bei WITTENBURG (1994) und BEHLEN (1996). In den folgenden Abschnitten soll zusammenfassend auf die wichtigsten eingegangen werden.

2.1.1 Schwefelverbindungen

Schwefelverbindungen in der Atmosphäre entstammen etwa zu gleichen Teilen aus natürlichen und anthropogenen Quellen. Die bei weitem wichtigste anthropogen emittierte Verbindung ist Schwefeldioxid, das anthropogen in einer Größenordnung von ca. 100 Mio. t pro Jahr und natürlich (Vulkanismus) in einem Umfang von ca. 5 Mio. t pro Jahr produziert wird (BARNES *et al.* 1986). Es hat nach bisherigen Erkenntnissen das höchste Schädigungspotential am Bauwerk (NIESEL 1979). Weitere wichtige gasförmige Spezies sind Schwefelwasserstoff (ca. 17 Mio t), Dimethylsulfid (100 - 200 Mio t) und Schwefelkohlenstoff (ca. 3 Mio t), die überwiegend natürlicher Herkunft sind, so dass die Schätzung ihrer Emissionsraten hohe Unsicherheiten aufweist. Für den Bereich der partikulären Spezies ist Sulfat die einzige bedeutende emittierte Schwefelverbindung. Sie wird in einer Größenordnung von ca. 40 Mio t/a aus den Meeren durch den „sea spray“ in die Atmosphäre transportiert.

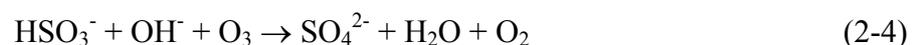
Schwefeldioxid ist sehr gut wasserlöslich (s. Tab. 2-1). Mit atmosphärischen Wassertröpfchen wird es nach Oxidation zu Schwefelsäure als Niederschlag aus der Atmosphäre entfernt. Es kann aber in Quellnähe auch direkt trockener Deposition unterliegen, wobei hier für das Ausmaß der Deposition der Wassergehalt der Senke (Bauwerksfeuchte) ebenfalls eine große Rolle spielt. An die physikalische Lösung schließt sich die Protolyse an (pK_S-Wert der Gleichgewichtsreaktion (2-2): 1,8).



Je nach vorliegendem pH-Wert in der Lösung kann das Hydrogensulfit weiter dissoziieren. Der pK_S-Wert der Gleichgewichtsreaktion (2-3) liegt bei 6,9 (pK_S-Werte aus: HOLLEMAN und WIBERG 1995). Auf carbonatischen Oberflächen wird also eine Dissoziation des Hydrogensulfits stattfinden (2-3).



Hierdurch wird das Hydrogensulfit dem Gleichgewicht (2-2) entzogen, so dass die weitere Lösung von SO₂ begünstigt wird. Eine weitere Senkenreaktion stellt die Oxidation des Hydrogensulfits durch Ozon oder andere Oxidationsmittel dar.



Viele historische Bauten stehen in städtischen Ballungsräumen, so dass sie von den anthropogenen Schwefeldioxidemissionen und den daraus herrührenden Immissionen stark betroffen sind. Insbesondere basische Baustoffe stellen ideale Senken für saure Immissionen

dar. In Deutschland sind die Emissionen von Schwefeldioxid in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen. Untersuchungen zu Depositionsraten zeigen aber, dass die Deposition von Schwefeldioxid nicht linear mit der Konzentrationsabnahme sinkt. Daher wird Schwefeldioxid auch in Zukunft für die Bauwerksverwitterung eine wichtige Rolle spielen. Zudem ist für die Schädigung eines Bauwerks die kumulative Belastung über die gesamte Bauwerksstandzeit ausschlaggebend.

2.1.2 Stickstoffverbindungen

Die globalen Gesamtstickstoffemissionen liegen bei ca. 63 Mio. t/a (BÖTTGER *et al.* 1980). Sie sind also bedeutend geringer als die Schwefelemissionen. Die Entwicklung zeigt allerdings bei den Stickstoffverbindungen – hier im Wesentlichen bei den Stickoxiden – nach wie vor einen Anstieg. Dies ist in erster Linie auf weltweit zunehmenden Kfz-Verkehr zurückzuführen. Die wichtigsten gasförmigen Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre sind die Stickoxide und Ammoniak, daneben salpetrige Säure und Salpetersäure sowie Peroxiacetylnitrat (FINLAYSON-PITTS und PITTS 1986). Ammoniak wird überwiegend aus landwirtschaftlichen Prozessen freigesetzt, während die Stickoxide im Wesentlichen aus Verbrennungsprozessen stammen. Diese sind über vielfältige atmosphärische Umwandlungsreaktionen miteinander verknüpft, aus denen auch salpetrige Säure und Salpetersäure hervorgehen (s.u.). Eine Ausnahme bildet das Distickstoffoxid. Es stammt überwiegend aus natürlichen Quellen (bakterielle Abbauprozesse) und ist mengenmäßig die bedeutendste Stickstoff-Sauerstoff-Verbindung in der Atmosphäre. Allerdings spielt es als Schadgas im Immissionsbereich praktisch keine Rolle, ist aber als Klimagas von großer Bedeutung. Hauptquelle für Stickoxide ist neben Kraftwerken heute zunehmend der Kfz-Verkehr. Das in einer Gasphasenreaktion primär gebildete NO wird zu NO₂ umgewandelt:



Neben Ozon können auch OH- und OH₂-Radikale sowie durch Reaktion mit Kohlenwasserstoffen gebildete organische Radikale NO oxidieren. Das gebildete NO₂ kann mit weiterem Ozon zu NO₃-Radikalen reagieren, die mit NO₂ Distickstoffpentoxid bilden. Hieraus entsteht mit Wasser Salpetersäure. Weiterhin kann das NO₂ direkt mit OH-Radikalen zu Salpetersäure reagieren (Gleichungen 2-6 bis 2-9).

Da die Stickoxide eine schlechte Wasserlöslichkeit aufweisen (s. Tab. 2-1), werden sie überwiegend trocken auf Oberflächen deponiert. Ihre Depositionsrate ist bedeutend geringer als die von Schwefeldioxid (MANGELS 1992, VASSILAKOS *et al.* 1992). Für die Deposition von Stickstoff-Sauerstoffverbindungen spielt die Oxidation der Stickoxide zu salpetriger Säure und Salpetersäure eine große Rolle. Ihre Wasserlöslichkeit ist um den Faktor 10^6 höher als die der Stickoxide. Wegen ihrer hohen Acidität ist auch die direkte trockene Deposition auf basische Gesteine ein wichtiger Eintragsweg.



Ammoniak ist das einzige bedeutende basische Schadgas. Es reagiert in der Atmosphäre relativ schnell mit sauren Komponenten zu Ammonium-Ionen. Daher wird es außer in Quellnähe kaum direkt deponiert. Bei der direkten Deposition zeigt sich eine erheblich höhere Rate für silicatische Gesteine im Vergleich zu carbonatischen Gesteinen (WITTENBURG und DANNECKER 1994). Auf silicatischen Gesteinen hat Ammoniak einen erheblichen Anteil an der gesamten Deposition von Ammonium-Spezies. Der wichtigere Eintragsweg für die meisten anderen Gesteine ist aber die partikuläre oder nasse Deposition von Ammonium-nitrat oder -sulfat auf dem Bauwerk (BEHLEN *et al.* 1997).

Ammoniak kann von nitrifizierenden Bakterien zu Salpetersäure umgewandelt werden (HAUCK 1984, BOCK *et al.* 1991). Dies geschieht in zwei Schritten. Zunächst wird Ammoniak von Ammoniakoxidanten wie z.B. Nitrosomonas zu Nitrit oxidiert. Im zweiten Schritt wird das Nitrit von Nitritoxidanten wie z.B. Nitrobacter weiter zum Nitrat oxidiert. Im ersten Schritt werden dabei pro Ammonium-Ion zwei Protonen freigesetzt. Ammoniak kann damit auf einem carbonatischen Gestein als Säurelieferant fungieren und damit zur Auflösung der carbonatischen Mineralien führen. Die gebildeten Nitrite und Nitrate tragen zur Versalzung des Gesteins bei. Da sie leicht lösliche und zum großen Teil hygroskopische Salze bilden, sind sie im Gestein sehr mobil.

2.1.3 Partikuläre Einträge

Das atmosphärische Aerosol lässt sich grob einteilen in das so genannte primäre Aerosol, das durch direkten Eintrag fester Bestandteile in die Atmosphäre entsteht, und das so genannte sekundäre Aerosol, das durch Umwandlungsreaktionen in der Atmosphäre gebildet wird (WHITBY 1978). Primäres Aerosol wird vorrangig durch Aufwirbeln von Bodestäuben durch den Wind (GILETTE 1980) und die Entstehung von Seesalzpartikeln über den Ozeanen (BLANCHARD und WOODCOCK 1980) erzeugt. Weitere Quellen sind Vulkane und Vegetationsbrände.

Das sekundäre Aerosol besteht neben den genannten wichtigen Umwandlungsprodukten von Schwefel- und Stickstoffverbindungen vor allem aus Produkten gasförmiger organischer Emissionen. Diese können entweder an bereits vorhandene Partikel kondensieren oder auch selbst als Kondensationskeime wirken (TURPIN und HUNTZICKER 1991).

Quellen für die organischen Aerosole sind zum einen natürliche Emissionen durch die Vegetation und durch mikrobielle Prozesse sowie tierische Ausscheidungen (Methanemissionen durch Rinder). Wichtige anthropogene Quellen, die in städtischen Ballungsgebieten weit über 50% der Immissionen ausmachen, sind Betriebe, in denen Mineralölprodukte hergestellt oder verarbeitet werden sowie Verbrennungsprozesse und der Fahrzeugverkehr.

Neben den Auswirkungen auf Klimaprozesse und auf die Gesundheit von Flora und Fauna ist das organische Aerosol ein wichtiger Faktor für die Materialkorrosion. Wird es auf Materialoberflächen deponiert, so kann es dort als Nährstoff für chemotrophe Bakterien zur Produktion von Biofilmen auf Baustoffen führen, die das Milieu für weitere Ansiedlungen von Mikroorganismen bilden und durch Stoffwechselprozesse korrosive Produkte erzeugen (FLEMMING 1995, SAND 1995). Zudem können Staubablagerungen und Einlagerungen von Aerosolpartikeln in oberflächlich verwitterte Materialien den optischen Eindruck eines Bauwerks erheblich beeinträchtigen.

2.2 Schadensprozesse am Bauwerk

Die Einträge von Schadstoffen und die in der Folge ablaufenden Verwitterungsprozesse zeigen eine starke Abhängigkeit vom Gesteinstyp (siehe z.B. NEUMANN 1994). Für Sedimentgesteine gelten die chemische Zusammensetzung des Bindemittels (zur Kornbindung) und des Kornanteils als Klassifikationskriterien. Das Bindemittel eines Gesteins stellt den Hauptangriffspunkt für den chemischen Angriff von Schadstoffen dar.

Für die hier durchgeführten Untersuchungen wurden Vertreter der wichtigsten an historischen Natursteinbauwerken verbauten Gesteinsarten benutzt. Dies waren Obernkirchener Sandstein, Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein. Wichtige Eigenschaften dieser Gesteine sollen hier kurz aufgeführt und die wesentlichen Schadensbilder genannt werden. Die hier gegebenen Informationen sowie auch detailliertere Angaben zur quantitativen Zusammensetzung der Gesteine, zu ihrer Porenraumstruktur und ihrem Wasseraufnahmevermögen finden sich bei GRIMM (1990).

Silicatisch gebundene Gesteine:

Hierzu zählt der Obernkirchener Sandstein. Dieser Sandstein besteht sowohl im Bindemittel als auch im Kornanteil fast ausschließlich aus silicatischem Material. Die Elementanalyse ergibt ca. 95% SiO₂. Durch die geringen tonigen und carbonatischen Anteile im Bindemittel ist dieses Gestein gegen den Angriff von deponierten Säuren relativ unempfindlich. Allgemein gelten kieselig gebundene Sandsteine als gut verwitterungsbeständiges Werksteinmaterial. Allerdings beobachtet man häufig die Bildung von Gipskrusten. Das Calcium, das im Gestein nicht nennenswert vorliegt, wird vermutlich in mineralischen Aerosolen eingetragen, während das Sulfat aus der Umwandlung von Schwefeldioxid am Gestein oder aus sulfathaltigen Aerosolen stammt. Gips ist mäßig schwerlöslich, daher findet man es in regengeschützten Bereichen vorwiegend in einer Tiefe bis 1 cm. Hier wirkt es in erster Linie oberflächenverdichtend. Der Porenraum ist häufig vollständig mit Gips gefüllt, während die Kornkontakte stark abnehmen. In extremen Fällen bildet der Gips ein sekundäres Bindemittel, während der ursprüngliche Verband aufgelöst ist (NEUMANN *et al.* 1992). Dies führt dazu, dass das Material zunächst oberflächlich noch intakt wirkt. Durch eingelagerte Rußpartikel und abgestorbenes biologisches Material werden die Krusten häufig schwarz verfärbt. An wechselfeuchten Stellen kann es infolge von Kristallisationszyklen zur Aufweitung der Kornkontakte im Gefüge des Gesteins kommen, was in der Folge zu schaligen Abplatzungen der Oberflächen oder Absandungen führt.

Tonig gebundene Gesteine:

Hierzu gehört der Sander Sandstein. Der Kornverband aus silicatischem Material wird durch ein Bindemittel aus überwiegend chloritischen Tonmineralen zusammengehalten. Diese Schichtsilicate können in ihre Zwischenschichten und zwischen den Einzelmineralen Wasser einlagern. Dies führt zu einem ausgeprägten hygrischen Quellen und Schrumpfen, so dass der Sander Sandstein bereits ohne weitere Belastungen starken zyklischen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt ist.

Auch die tonig gebundenen Gesteine weisen häufig Gipsanreicherungen auf. Hier zeigt sich oft Schalenbildung, bei der in einigen Zentimetern Tiefe eine Zone entsteht, in der Salze, meist Gips, angereichert sind. Diese Zone besitzt gegenüber dem Originalgestein eine verminderte Festigkeit. Die salzreiche Zone weist eine verzögerte Änderung des Feuchtegehalts beim Einwirken von Feuchtezyklen auf, während die oberflächennäheren Bereiche relativ schnell auf Feuchtwechsel reagieren. Die tieferen Regionen bleiben weitgehend unbeeinflusst, so dass drei Zonen entstehen, die durch unterschiedliche Feuchtezyklen unterschiedliche Dehnungs- und Schrumpfungszyklen aufweisen. Die Wirksamkeit dieses Mechanismus zur Schalenbildung bei tonigen Gesteinen hat WENDLER (1991) durch Modellrechnungen belegt. Langfristig entsteht im Bereich der Salzanreicherung eine Mürbezone, da die Quellungs-vorgänge nach einer bestimmten Zeit irreversibel werden. In der Folge kann das zum Abplatzen der Oberflächenschicht führen.

Carbonatisch gebundene Gesteine:

Wichtige Vertreter carbonatisch gebundener Sandsteine sind der Baumberger Sandstein sowie die Regensburger Grünsandsteine, zu denen der Ihrlersteiner Grünsandstein gehört. Dieser weist überwiegend silicatische Komponenten auf, die weitgehend durch das calcitische Bindemittel umschlossen sind, so dass kaum silicatische Kornkontakte bestehen. Die mechanischen Eigenschaften des Gesteins werden daher hauptsächlich durch die Calcitkristallite bestimmt.

Die Schädigung carbonatisch gebundener Gesteine entsteht in erster Linie durch Lösung des Calcits durch saure Komponenten im Regenwasser. Hier ist zunächst als natürliche Komponente das CO_2 zu nennen. Besonders stark ist die Schädigung von Ihrlersteiner Grünsandstein an hoch mit SO_2 belasteten Standorten. Wie WOLF (1991) nachweisen konnte, ist für Anröchter Dolomit an einem stark mit SO_2 belasteten Standort in Duisburg die Carbonatlöslichkeit zu ca. 90% auf den SO_2 -Angriff und zu ca. 10% auf die natürliche Carbonatlöslichkeit zurückzuführen, während das Verhältnis in ländlichen Regionen ungefähr

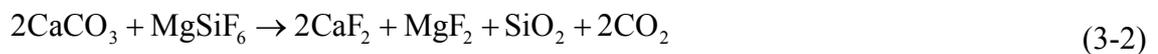
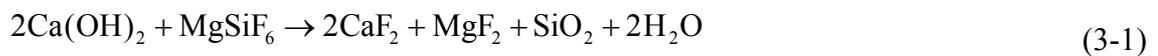
mit 40:60 anzugeben ist. Da der Ihrlersteiner Grünsandstein eine hohe Porosität und verhältnismäßig geringe Festigkeit aufweist, ist er auch gegenüber mechanischen Belastungen recht empfindlich. Frost-Tau-Wechsel, Lösungs-Kristallisationszyklen und mechanische Belastungen durch Bewuchs sind daher wichtige Schädigungsursachen. Allgemein lässt sich sagen, dass carbonatisch gebundene Sandsteine gegenüber Luftschadstoffen am wenigsten resistent sind. Die meisten Fälle, in denen eine starke Zunahme des Verfalls eines Natursteinmauerwerks im Laufe der Industrialisierung zu verzeichnen ist, betreffen carbonatische Gesteine.

3. Schutzmittelentwicklungen

3.1 Überblick über die historische Entwicklung

Bereits im Mittelalter wurden Natursteinfassaden und Skulpturen mit Mitteln wie Leim, Leinöl, Wachsen oder Gelatine behandelt, um ihren Verfall aufzuhalten. Diese ersten Schutzmittel hatten jedoch gravierende Schwächen. Sie hatten erhebliche Auswirkungen auf die ästhetische Erscheinung der Gesteinsoberflächen, die Lebensdauer all dieser Mittel war extrem kurz, und ihre Umwandlungsprodukte führten zum Teil zur Beschleunigung der Schadensprozesse (siehe z.B. KARSTEN 1997). Bei Leinölbehandlungen, die sowohl der Festigung als auch der Imprägnierung von Oberflächen dienten, kam es beispielsweise oft zu Verharzungen, in deren Folge die nun verdichtete Zone sich schalig vom Untergrund löste.

Im 19. Jahrhundert kamen dann im Bereich der Festigung die Fluatierung und die Imprägnierung mit Kaliwasserglas auf. Mit der sogenannten Fluatierung durch Magnesiumhexafluorosilicat und andere Fluorosilicate lassen sich carbonatische Gesteine, aber auch Mörtel und Beton nach folgenden Reaktionsgleichungen festigen:

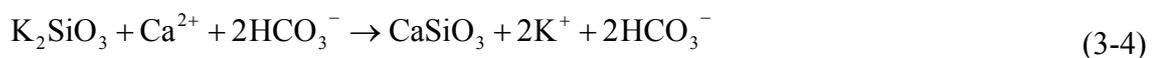


Auch nichtcarbonatische Gesteine, z.B. Sandsteine mit kieseligem Bindemittel, lassen sich fluatieren, wenn man Kaliwasserglaslösung als so genanntes „Avantfluat“ (KARSTEN 1997) aufbringt, das dann mit dem Fluorosilicat entsprechend reagiert:



Alle Reaktionen führen zu praktisch unlöslichen Produkten, die das Gefüge des Gesteins verstärken. Nachteilig ist allerdings, dass die Fluatierung zu einer starken Füllung des Porenraums und damit zu einer Verdichtung der Oberfläche führt.

Die Imprägnierung von Fassaden mit Kaliwasserglas führt zu nachstehender Umsetzung:



Das gebildete Calciumsilicat füllt den Porenraum in der Oberflächenschicht und wirkt festigend und wasserabweisend. Es ist resistent gegen den Angriff verdünnter Säuren. Von Nach-

teil ist hier aber die Bildung des Kaliumhydrogencarbonats, das je nach Feuchte zu Ausblühungen oder feuchten Flecken führt. Zudem hat Wasserglas wegen seiner hohen Viskosität den Nachteil, nur geringfügig in den Werkstein einzudringen.

Moderne, heute gebräuchliche Steinkonservierungsmittel gehören im Wesentlichen den folgenden Kategorien an:

- Hydrophobierungsmittel
- Festiger
- Kombinationspräparate mit festigender und hydrophobierender Wirkung

Daneben gibt es für spezielle Anwendungen einige neuere Entwicklungen:

- Antiquellmittel für tonmineralhaltige Gesteine (Tenside)
- Anti-Graffiti-Mittel (hydrophobierend und oleophobierend)

3.2 Hydrophobierungsmittel

Mit der Unterbindung der Oberflächenbenetzung durch Wasser werden eine Vielzahl an Schadensprozessen verhindert. Die Hydrophobierungsmittel sollen idealerweise den Porenraum der Gesteine auskleiden, jedoch nicht ausfüllen, so dass die Wasserdampfdiffusion nicht behindert wird. Hauptsächlich finden folgende Klassen chemischer Verbindungen hier Anwendung:

Polysiloxane, Siloxane, Silane:

Diese Produkte gehören heute zu den am häufigsten eingesetzten Mitteln. Sie binden über Si-O-Si- oder Si-O-Ca-Bindungen an die mineralische Oberfläche. Die niedermolekularen Silane und Siloxane sind daraufhin konzipiert, dass sie mit im Baustoff vorhandener Feuchte reagieren und dort höhermolekulare, zum Teil vernetzte Polysiloxane bilden, während bereits länger-kettige Produkte lediglich mit einem geeigneten Lösungsmittel in den Porenraum eingebracht werden. Die Auswahl des Produkts richtet sich nach Parametern wie dem mittleren Porenradius in einem Baustoff. Kurzkettige Produkte eignen sich naturgemäß besser, bei einem feinporigen Gestein eine gute Eindringtiefe zu erreichen. Silane sind allerdings aufgrund ihrer Flüchtigkeit problematischer in der Verarbeitung am Bauwerk. Weiterhin entscheiden die Kettenlänge und die Länge der Alkylreste über das Verhältnis von hydrophobierenden Eigenschaften zu den Anbindungskräften über die polaren Hydroxylgruppen.

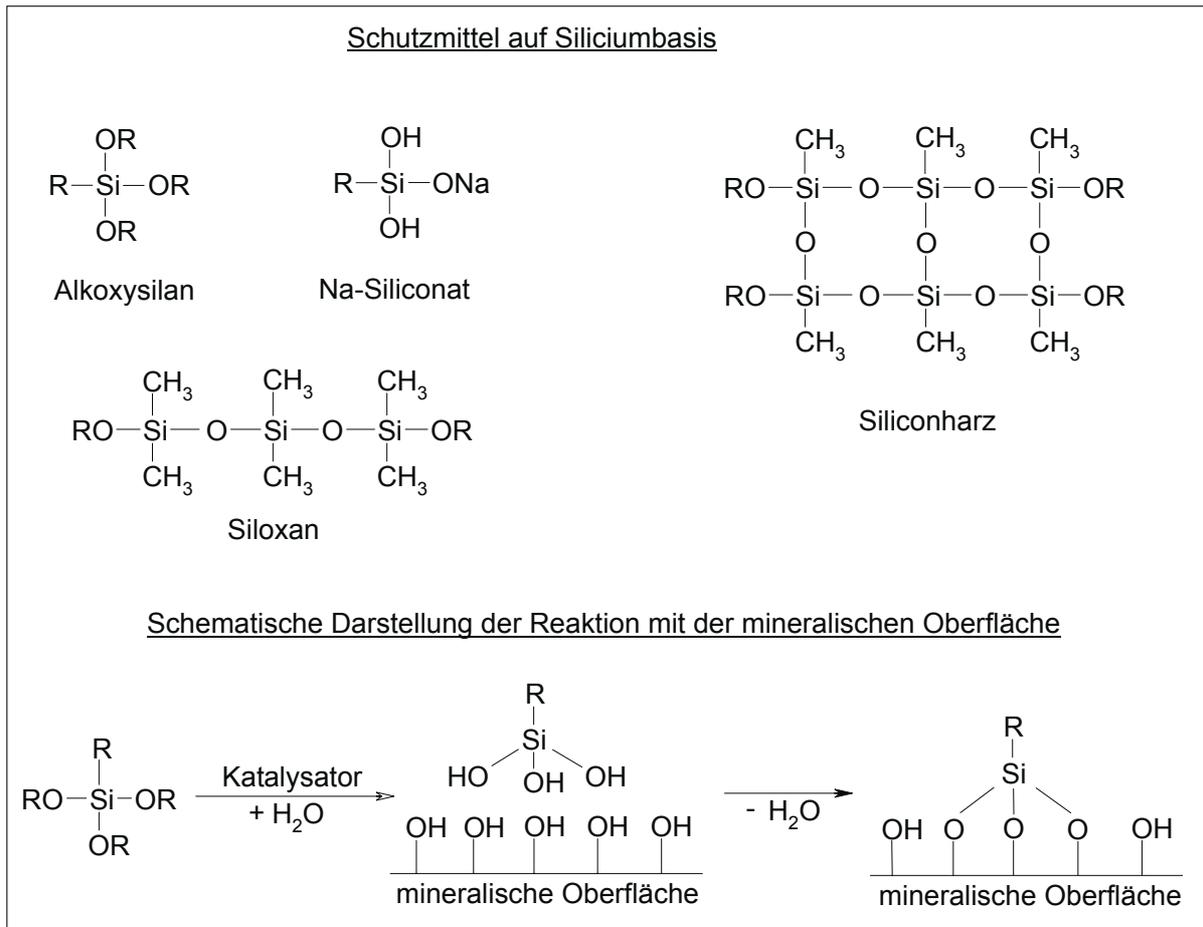


Abb. 3-1: Siliciumbasierte Schutzmittel und ihre Wirkungsweise

Die Molekulargewichte liegen für die monomeren bzw. oligomeren Verbindungen in den folgenden Größenordnungen:

Alkoxysilane: z.B. Butyltrimethoxisilan 178

Siloxane: 400 - 600

Polysiloxane (Siliconharze): 2000 - 3000

Neben den Präparaten, die mit organischen Lösungsmitteln auf den Baustoff aufgebracht werden, werden zunehmend wasserlösliche Produkte bzw. mit Wasser Mikroemulsionen bildende Produkte angeboten. Neben den Vorteilen bezüglich Arbeits- und Umweltschutz bieten z. B. Mikroemulsionen durch eine relativ lange Reaktionsdauer (hohe Eindringtiefe) sehr gute Tränkungseigenschaften (CIABACH und LUKASZEWICZ 1993). Einen ähnlichen Effekt erzielen wasserlösliche Produkte, da die intermediär gebildeten monomeren Silanole eine hohe Mobilität aufweisen (GERDES und WITTMANN 1995).

Perfluoropolyether und Polyfluorourethane:

Diese Stoffgruppe ähnelt im Anwendungsbereich und der Applikation den siliciumorganischen Hydrophobierungsmitteln, wird aber nicht so breit eingesetzt. Sie werden als Kombinationsmittel zum Festigen und Hydrophobieren konzipiert. Auch hier existieren Applikationsformen mit organischen Lösungsmitteln und mit wässrigen Emulsionen, die sich für die Verwendung am Bauwerk eignen. Es gibt eine Reihe von Veröffentlichungen, die sich mit neuen Formulierungen beschäftigen (PIACENTI *et al.* 1993, AURAS 1993, CHIAVARINI *et al.* 1993).

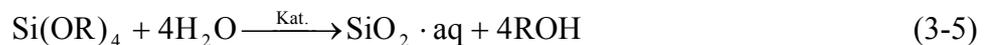
Salze höherer Carbonsäuren:

Calcium-, Aluminium-, Zink- und Titanstearat sowie Kaliumoleat und Triethanolaminsalze von Fettsäuren werden zur inneren Hydrophobierung von mineralischen Baustoffen verwendet, z.B. für Mörtel und Putze (NÄGELE 1985).

3.3 Festiger

Kieselsäureester:

Die Kieselsäureester reagieren mit der Bauwerksfeuchte unter Bildung von Kieselgel im Porenraum:



Gegenüber der Wasserglasbehandlung haben die Kieselsäureester – es wird vorwiegend der Ethylester verwendet – die Vorteile, aufgrund der sehr viel geringeren Viskosität eine bessere Verteilung und höhere Eindringtiefe im Baustoff zu erreichen. Zudem werden keine bauschädlichen Salze gebildet. Nachteilig ist die mögliche Bildung von Schrumpfrissen im abgeschiedenen Kieselgel (HONSINGER 1990). Weitere Festiger beruhen nicht auf der Bildung von festigenden Mineralphasen, sondern auf der Bildung von Polymeren im Porenraum der Baustoffe. Sie sollen aufgrund ihrer Elastizität besser den eventuell im Baustoff auftretenden Spannungen ausweichen können. In diese Reihe gehören:

Epoxidharze:

Diese werden gebildet durch Polyadditionsreaktionen von bifunktionalen Epoxiden (z.B. aus Bisphenol A und Epichlorhydrin) mit aliphatischen oder aromatischen Diaminen oder Diolen. Hier gibt es eine große Bandbreite von Kombinationen, die die Möglichkeit einer variablen Einstellung der gewünschten Eigenschaften bietet (HONSINGER 1990). Epoxidharze werden im Bauwesen im großen Maßstab eingesetzt.

Polymethylmethacrylat:

PMMA wird häufig für Volltränkungen von aus Stein gefertigten Skulpturen verwendet. Es kann durch Copolymerisation mit anderen Komponenten wie die Epoxidharze in weitem Umfang an die Erfordernisse angepasst werden.

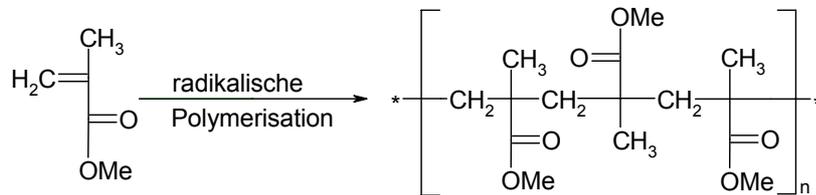


Abb. 3-2: Polymethylmethacrylat

Polyurethane:

Hier handelt es sich um Zweikomponentensysteme aus Diolen und Di- oder Triisocyanaten, die kurz vor dem Aufbringen auf dem Bauwerk miteinander gemischt werden. Auch hier können die Eigenschaften durch Wahl der geeigneten Komponenten weit variiert werden. Ungünstig ist die mögliche Nebenreaktion der Isocyanate mit Bauwerksfeuchtigkeit, die zum Aufschäumen der Polyurethane führen kann.

Polyharnstoffe:

Hier werden Isocyanate als Einkomponentensysteme eingesetzt, die mit Wasser im Baustoff reagieren. Es handelt sich hier meist um sogenannte Präpolymere, d.h. um niedermolekulare Polyurethane (daher werden diese Produkte häufig als Einkomponenten-Polyurethane angesprochen), die Isocyanatendgruppen enthalten, die dann mit Wasser zu vom Harnstoff abgeleiteten Produkten reagieren.

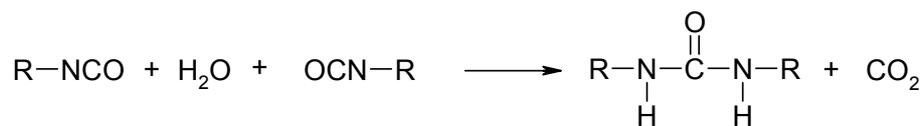


Abb. 3-3: Mechanismus der Polyharnstoffbildung

3.4 Kombinationsmittel

Kombinationspräparate mit festigenden und hydrophobierenden Eigenschaften lassen sich beispielsweise durch Mischungen aus Kieselsäureestern mit Silanen oder Siloxanen erhalten. Neuere Produkte sind z.B. Isocyanate mit eingebauten Siloxanketten. Auch andere Reaktionsharze mit solchen Kettenanteilen sind denkbar.

3.5 Das Aachener Schuttmittelkonzept

Da die bis dahin erhältlichen Schuttmittel häufig zu Sekundärschäden geführt hatten, wurde erstmals von SASSE (1988) ein Konzept vorgestellt, das zur Entwicklung neuartiger Schuttmittel führen sollte. Die dann von HONSINGER (1990) weiter ausgeführte Konzeption sieht vor, durch die Copolymerisation geeigneter Komponenten maßgeschneiderte Schuttmittel zu entwickeln, die bei der Applikation am Baustoff zu einer „filmbildenden stabilisierenden Imprägnierung“ führen. Das Schuttmittel soll den Porenraum in Form einer polymeren Mikroschicht vollständig auskleiden, ohne dass der Porenraum abgedichtet und so die Wasserdampfdiffusion behindert wird. Gelockerte Gefüge sollen stabilisiert werden. Des Weiteren soll der Stoff die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Wasserbeständigkeit, keine Hydroquellung
- Wasser- und weitgehende Gasdichtigkeit
- Weitgehende chemische und biologische Resistenz
- Gummielastizität innerhalb der am Bauwerk zu erwartenden Temperaturen (-30 bis +80 °C)

Die folgende Abbildung zeigt dieses Konzept in Abgrenzung zu bisherigen Vorgehens- und Wirkungsweisen.

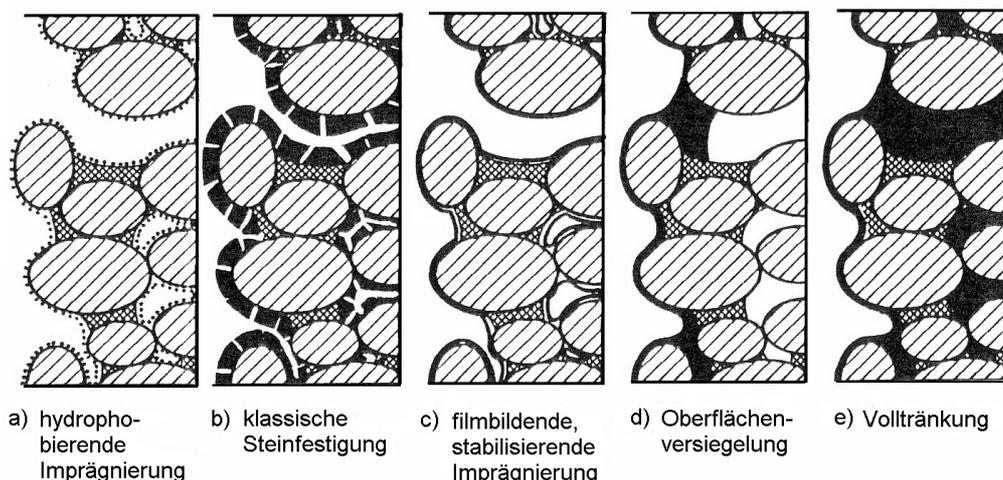


Abb. 3-4: Modellvorstellungen über die Füllung des Porenraums bei verschiedenen Schuttmittelkonzepten (nach HONSINGER 1990)

Die Aachener Arbeitsgruppe setzt als Hauptkomponenten zur Erstellung konfektionierter Schuttmittel aliphatische und cycloaliphatische Diisocyanate sowie Polyether und Siloxane ein (JANSEN *et al.* 1993). Aliphatische und cycloaliphatische Komponenten haben gegenüber aromatischen den Vorteil besserer Photo- und Thermostabilität. Die Komponenten

werden zum Teil vor der Applikation zu sogenannten Prepolymeren verschiedener Länge verarbeitet. Hierdurch lassen sich die Zahl der freien funktionellen Gruppen sowie physikalische Eigenschaften wie die Viskosität beeinflussen. Über die Kettenlängen und den Anteil siliciumorganischer Verbindungen bzw. anderer Komponenten werden Eigenschaften wie Elastizität, Viskosität und Grad der Hydrophobie gesteuert. Durch den Einsatz von Komponenten mit mehr als zwei funktionellen Gruppen kann eine gewünschte Vernetzung gesteuert werden.

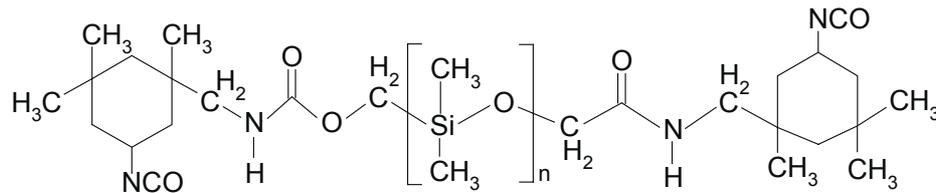


Abb. 3-5: Beispiel eines Copolymers auf der Basis von Siloxanen und Isophorondiisocyanat

3.6 Verwendete Präparate

Im Rahmen dieser Arbeit kamen die Aachener Steinschutzstoffe (SSS) mit den Bezeichnungen „SSS 219“ und „SSS 288“ zum Einsatz. Bei ersterem handelt es sich um ein festigendes und hydrophobierendes Copolymer aus einem Oligodimethylsiloxan-modifizierten Polyurethan und Isophorondiisocyanat. Zusätzlich sind der Applikationslösung Dimere und Trimere des Hexamethylendiisocyanats zugesetzt. Im Baustoff reagieren die freien funktionellen Gruppen mit der Bauwerksfeuchte zu Urethan- und Harnstoffgruppen. Der zweite Schutzstoff ist ein nicht mit hydrophobierenden oder elastifizierenden Anteilen ausgestattetes Polyurethan, das als reiner Festiger konzipiert ist. Diese Schutzstoffe wurden an bruchfrischen Prüfkörpern appliziert, die auf dem Prüffeld Duisburg ausgebracht wurden. Da diese Schutzmittel zu Beginn der hier vorliegenden Untersuchungen noch nicht zur Verfügung standen, wurden für andere Experimente kommerziell erhältliche Präparate eingesetzt. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben:

Funcosil H (REMMERS, Informationen laut Datenblatt): Hydrophobierender Steinfestiger, Kieselsäureethylester mit siliciumorganischen Zusätzen (Polysiloxane), Lösungsmittel Ketone.

Funcosil OH (REMMERS, Informationen laut Datenblatt): Festiger ohne hydrophobierende Eigenschaften, Kieselsäureethylester, Lösungsmittel Ketone.

Dynasytan (HÜLS, Informationen laut Datenblatt): Hydrophobierungsmittel, mit Wasser zu verdünnen, N-Propyltrimethoxysilan (98%), Acrylsäure (1,6%), Maleinsäureanhydrid (0,4%), lösungsmittelfrei.

4. Untersuchungen zur trockenen Deposition von SO₂

Für die Beurteilung des Schädigungspotentials eines in der Atmosphäre vorhandenen Stoffes in Bezug auf einen Baustoff genügt die Kenntnis seiner Immissionskonzentration nicht. Vielmehr benötigt man zusätzlich qualitative und quantitative Informationen über die Transport- und Schädigungsmechanismen. Auf die Schädigungsmechanismen wurde bereits früher eingegangen. Der Transport eines Schadstoffes zu einer Oberfläche und seine Anlagerung an die Oberfläche werden unter dem Begriff Deposition zusammengefasst.

In Abhängigkeit von der deponierten Spezies und den atmosphärischen Bedingungen existieren unterschiedliche Depositionsprozesse, die im Folgenden kurz erläutert werden. Der Begriff trockene Deposition beschreibt den direkten Transport von Gasen und Aerosolen aus der Atmosphäre über die Gasphase an den Depositionsort. Unter nasser Deposition versteht man den Eintrag von Luftinhaltsstoffen auf eine Oberfläche über Niederschläge (Regen, Schnee). Die feuchte Deposition nimmt eine Zwischenstellung zwischen den oben beschriebenen Prozessen ein. Sie umfasst den Stoffeintrag über Nebel, Reif und Tau. Dieser Eintragungsweg spielt besonders in Gebirgen (tiefhängende Wolken, häufige Nebelereignisse) eine Rolle. Er ist insofern bedeutsam, als die Schadstoffkonzentrationen in Nebeltropfen im Vergleich zu anderen Niederschlägen häufig besonders hoch sind.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Benennung dieser Prozesse nur den Transportweg beschreibt, nicht den Zustand der Rezeptoroberfläche. Es gibt also durchaus eine trockene Deposition auf eine nasse Oberfläche. Diese Tatsache hat erhebliche Auswirkungen auf die Depositionsgeschwindigkeit, wie im Weiteren noch näher ausgeführt wird.

4.1 Die Depositionsgeschwindigkeit als Maß für die Schadstoffaufnahme

Die Deposition beschreibt den Massenfluss einer Spezies auf eine definierte Oberfläche in einer definierten Zeitspanne. Sie wird mit F bezeichnet und wird in der Dimension Masse pro Fläche und Zeit angegeben. Der Quotient aus der Deposition F und der Immissionskonzentration c wird als Depositionsgeschwindigkeit v_d bezeichnet.

$$v_d = \frac{F}{c} \quad (4-1)$$

Der Vorgang der trockenen Deposition von Gasen lässt sich in mehrere Teilprozesse gliedern, die in Abhängigkeit von den Randbedingungen einen unterschiedlich großen Einfluss auf die Depositionsgeschwindigkeit haben. Der erste Schritt ist der Transport aus der freien Atmos-

phäre an die laminare Grenzschicht. Er wird beeinflusst von meteorologischen Bedingungen wie der Durchmischung und Turbulenz einer Luftmasse sowie der Windgeschwindigkeit. Hieran schließt sich der Transport durch die laminare Grenzschicht an. Dieser erfolgt ausschließlich durch Diffusion und ist daher nur vom Diffusionskoeffizienten der transportierten Spezies abhängig. Die Dicke der laminaren Grenzschicht ist allerdings abhängig von der Rauigkeit der Rezeptoroberfläche und der Windgeschwindigkeit.

Im dritten Schritt erfolgt der Übertritt des Stoffes aus der Gasphase an die Oberfläche. Da unter normalen atmosphärischen Bedingungen die meisten Oberflächen einen Wasserfilm aufweisen, spielen insbesondere für Gase Lösungsvorgänge hier eine große Rolle, so dass der Phasenübergang auch von chemischen Bedingungen wie z. B. dem pH-Wert abhängt.

Als letzter Schritt ist die chemische Umsetzung der Spezies am Rezeptor bzw. mit dem Rezeptor zu nennen. Dieser Schritt wird neben den chemischen Eigenschaften der Reaktionspartner und der Reaktionsprodukte auch von physikalischen Eigenschaften des Rezeptors – wie z.B. der Porosität – beeinflusst, die für den Stofftransport im Rezeptor verantwortlich sind. In der theoretischen Behandlung werden die beschriebenen Teilprozesse quantitativ gefasst durch die Formulierung des Widerstandes, den sie der Deposition entgegensetzen:

R_A : Atmosphärischer Widerstand

R_D : Diffusionswiderstand

R_P : Phasenübergangswiderstand

R_C : Chemischer Widerstand

Die Summe der Widerstände ist reziprok zur Depositionsgeschwindigkeit:

$$V_d = \frac{1}{R_A + R_D + R_P + R_C} \quad (4-2)$$

Die getrennte Betrachtung von R_A und R_D bzw. R_P und R_C ist wegen der oben beschriebenen Wechselbeziehungen schwierig. Daher werden häufig R_A und R_D zum aerodynamischen Widerstand R_a sowie R_P und R_C zum Oberflächenwiderstand R_s zusammengefasst.

Zur Quantifizierung der Deposition eines Schadstoffes auf eine Oberfläche bieten sich zwei wesentliche Strategien an. Zum einen kann man im Labor- oder Freilandexperiment Prüfkörper über einen definierten Zeitraum exponieren und nach Abschluss der Exposition den Prüfkörper auf die gesuchte Spezies untersuchen. Zum anderen kann man das Gas in einem Reaktor auf Probekörper einwirken lassen und über die kontinuierliche Messung von Konzen-

trationsänderungen die Depositionsgeschwindigkeiten ermitteln. Beide Möglichkeiten fanden in dieser Arbeit Anwendung.

Die Deposition von SO_2 wurde bereits in vielfältigen Versuchsanordnungen und für eine umfangreiche Zahl von Baustoffen untersucht. Exemplarisch seien die Arbeiten von WITTENBURG (1994), BEHLEN (1996) und WIESE (2000) in diesem Arbeitskreis genannt. Als wesentliche Erkenntnisse konnten dabei die folgenden Zusammenhänge herausgearbeitet werden:

Die Depositionsgeschwindigkeit von SO_2 weist eine starke Abhängigkeit von der Immissionskonzentration auf. Diese Abhängigkeit folgt einer e^{-x} -Funktion, d.h. die Depositionsgeschwindigkeit fällt bei zunehmender Immissionskonzentration exponentiell ab. Der Verlauf der Funktion ist dabei stark von der chemischen Zusammensetzung des Rezeptors abhängig. Die Depositionsgeschwindigkeit von SO_2 ist ebenfalls stark abhängig von der relativen Luftfeuchte. Die Depositionsgeschwindigkeit ist zunächst bei geringen Feuchten konstant und steigt dann bei höheren Feuchten exponentiell an. Diese Zusammenhänge sind bei der Konzeption einer Versuchsreihe zu berücksichtigen.

4.2 Messungen der SO_2 -Depositionsgeschwindigkeit

Die Untersuchung der Depositionsgeschwindigkeit eines Gases in einer Reaktionskammer kann über verschiedene Strategien erfolgen. Einfache Varianten sind das Eindosieren einer definierten Menge Schadgas und die Messung der Konzentrationsabnahme über die Zeit bzw. das Dosieren einer konstanten Schadgaskonzentration und die Messung der Konzentrationsabnahme des Gases nach Durchströmen des Reaktors. Diese Varianten haben den Nachteil, dass die tatsächliche Immissionskonzentration sich permanent ändert und zu keinem Zeitpunkt genau bekannt ist bzw. dass die Einstellung der gewünschten Immissionskonzentration stark probenabhängig ist und also nur in mehreren Versuchsschritten iterativ erreicht werden kann. Der in dieser Arbeit gewählte Versuchsaufbau entspricht dem bei WIESE (2000) beschriebenen. Die Reaktoreingangskonzentration wird über eine Regeleinheit so gesteuert (TMDR-Signal), dass die Kammerausgangskonzentration und damit die Immissionskonzentration (c [ppm]) konstant gehalten wird.

Die Depositionsgeschwindigkeit v_d mit der Dimension cm/s ergibt sich dann aus dem folgenden mathematischen Zusammenhang:

$$v_d = \frac{c_E - c_A}{c_A} \cdot \frac{Q}{A} \quad (4-3)$$

Hierbei ist c_E die Konzentration des Schadgases am Kammereingang (ppbV), c_A die Konzentration am Kammerausgang. Q ist der Gasdurchfluss durch die Kammer in der Dimension L/h und A die Prüf­fläche der Probe (Oberfläche einer Seite plus Kantenflächen) in cm^2 .

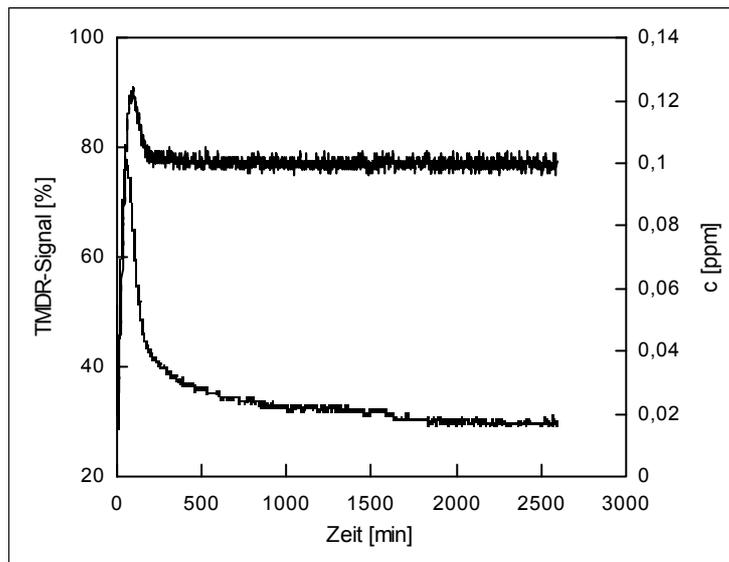


Abb. 4-1: Regelcharakteristik der Reaktionskammer

Als Reaktionskammer wurde die bereits von WITTENBURG (1994) beschriebene Kammer aus Plexiglas verwendet (siehe Abb. 4-2). In diese Kammer wurden jeweils drei Plättchen des Untersuchungsmaterials mit den Abmessungen $5 \cdot 5 \cdot 0,5 \text{ cm}^3$ eingebracht. Als Immissionskonzentration wurde in allen Fällen eine Konzentration von 100 ppb gewählt. Für die Wahl dieser Konzentration gibt es drei wesentliche Gründe: Diese Konzentration liegt noch im Bereich realistischer Umweltbedingungen. Sie ist andererseits so hoch, dass mit den verfügbaren Mitteln eine problemlose Messung und Regelung bei geringen Fehlern erreicht werden konnte. Die Konzentration von 100 ppb liegt für praktisch jeden mineralischen Baustoff weit auf dem rechten Ast der e-Funktion für die Depositionsgeschwindigkeit, so dass Abweichungen bei der Regelung der Konzentration nur zu geringen Fehlern bei der Auswertung führen. Als relative Feuchten wurden 45 und 84% gewählt. Diese Feuchten decken einen weiten Bereich der in der Umwelt anzutreffenden Feuchten ab. Sie wurden gewählt, da die Proben zur Konditionierung jeweils 2 Tage über Salzlösungen bei den entsprechenden Gleichgewichtsfeuchten gelagert wurden. Für die Kammerexperimente wurden schutzmittelbehandelte Proben aus Ihrlener Grünsandstein und Sander Sandstein verwendet. Diese

Gesteine wurden gewählt, da erwartet wurde, dass hier die Schutzmittelbehandlungen zu gut messbaren Unterschieden im Depositionsverhalten führen würden. Zusätzlich konnte auf Datenmaterial von WIESE (2000) zurückgegriffen werden, der diese Gesteinsarten mit der gleichen Versuchsanordnung untersucht hatte.

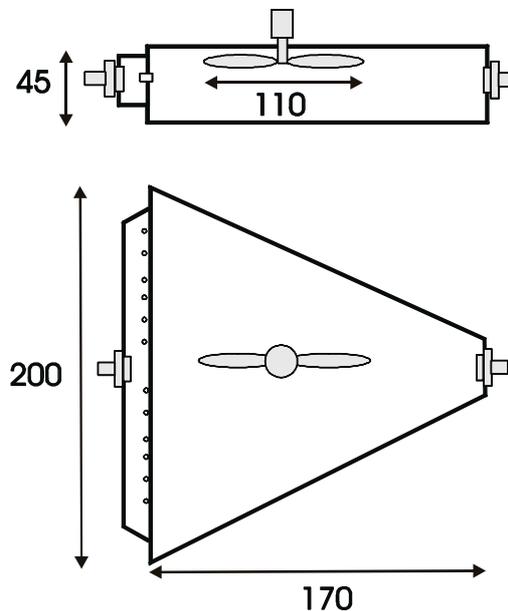


Abb. 4-2: Depositionskammer

Diese Vergleichsdaten sind in der Tabelle 4-1 aufgeführt. Die Daten stimmen in der Größenordnung gut mit früher ermittelten Werten überein. Eine eindeutige Aussage über die Feuchteabhängigkeit der Deposition lässt sich nur für den Ihrlersteiner Grünsandstein machen. Hier zeigt sich eindeutig ein Anstieg der Depositionsgeschwindigkeit mit zunehmender Feuchte, der zwischen 60 und 80 % rF einsetzt. Dies bestätigt die von BEHLEN (1996) ermittelten Werte.

Tab. 4-1: Depositionsdaten für Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein nach WIESE (2000)

| Gesteinsart | Relative Feuchte [%] | SO ₂ Konzentration | v _D [cm/s] |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Sander Sandstein | 45 | 98 | 0,170 |
| | 60 | 98 | 0,165 |
| | 80 | 100 | 0,158 |
| | 95 | 100 | 0,125 |
| Ihrlersteiner Grünsandstein | 45 | 98 | 0,526 |
| | 60 | 98 | 0,511 |
| | 80 | 99 | 0,636 |
| | 95 | 99 | 0,731 |

4.3 Untersuchungsergebnisse

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der Depositionsuntersuchungen an schutzmittelbehandelten Proben wieder. Die Ergebnisse zeigen, dass alle Behandlungsmittel, auch das nicht hydrophobierende, die Depositionsgeschwindigkeit von SO₂ sowohl bei Sander Sandstein als auch bei Ihrlersteiner Grünsandstein deutlich herabsetzen. Besonders stark ist der Effekt beim Ihrlersteiner Grünsandstein. Hier weist allerdings das nicht hydrophobierende Mittel Funcosil OH etwas höhere Werte auf.

Tab. 4-2: Depositionsdaten bei 100 ppb SO₂-Immissionskonzentration für Sander Sandstein nach Schutzmittelbehandlung

| Gesteinsart | Art der Behandlung | Relative Feuchte (%) | v _D (cm/s) |
|------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Sander Sandstein | <i>Dynasytan</i> | 45 | 0,039 |
| | | 84 | 0,092 |
| | <i>Funcosil H</i> | 45 | 0,060 |
| | | 84 | 0,077 |
| | <i>Funcosil OH</i> | 45 | 0,082 |
| | | 84 | 0,103 |
| | <i>Antigraffiti</i> | 45 | 0,097 |
| | | 84 | 0,097 |

Tab. 4-3: Depositionsdaten bei 100 ppb SO₂-Immissionskonzentration für Ihrlersteiner Grünsandstein nach Schutzmittelbehandlung

| Gesteinsart | Art der Behandlung | Relative Feuchte (%) | v _D (cm/s) |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Ihrlersteiner Grünsandstein | <i>Dynasytan</i> | 45 | 0,089 |
| | | 84 | 0,118 |
| | <i>Funcosil H</i> | 45 | 0,098 |
| | | 84 | 0,098 |
| | <i>Funcosil OH</i> | 45 | 0,182 |
| | | 84 | 0,178 |
| | <i>Antigraffiti</i> | 45 | 0,119 |
| | | 84 | 0,131 |

Die Feuchteabhängigkeit zeigt ein uneinheitliches Bild. Für alle Behandlungsmittel ist die Depositionsgeschwindigkeit bei höherer Feuchte gleich oder größer der Geschwindigkeit bei

niedriger Feuchte. Der Effekt ist allerdings durchgehend gering und zeigt für die verschiedenen Behandlungsmittel jeweils unterschiedliche Ausprägungen für die beiden verschiedenartigen Substrate. Eindeutig ist nur das Verhalten von Dynasytan. Dieses zeigt für beide Substrate eine Feuchteabhängigkeit der Deposition, die für den unbehandelten Sander Sandstein nicht festgestellt wird.

Bewertend lässt sich sagen, dass die Wirkung der Steinbehandlungsmittel auf die Deposition offensichtlich nicht ausschließlich auf die Frage der Hydrophobie zurückzuführen ist. Hier spielt sicherlich der Grad der Überdeckung des Substrats mit dem Behandlungsmittelfilm eine Rolle. Aus dem nicht hydrophobierenden Mittel wird Kieselsäure auf dem Substrat abgeschieden. Da diese sauer reagiert, führt auch diese Behandlung dazu, dass die Deposition des sauren Schadgases SO_2 verringert wird. Die Feuchteabhängigkeit der Deposition nach der Behandlung mit Dynasytan könnte darauf zurückzuführen sein, dass auch hydrophobierende Mittel über die Gasphase Wasser aufnehmen können.

5. Ablaufwasserexperimente

5.1 Die nasse Deposition von Schadstoffen

Stofftransportprozesse an und in porösen Bauwerksoberflächen erfolgen in hohem Maße unter dem Einfluss von Niederschlägen, in erster Linie durch Regenwasser. Dieses spielt einerseits durch die in ihm gelösten Stoffe als Quelle für den Stoffeintrag eine Rolle, andererseits als Transportmedium für bereits am oder im Baustoff befindliche wasserlösliche Stoffe. Der Transportprozess wird dabei sowohl durch den Verlauf des Regenereignisses als auch durch die Eigenschaften des Baustoffs wie Porosität und Wasserbindungsvermögen beeinflusst. Weitere Einflüsse sind die aerodynamischen Verhältnisse am Gebäude sowie mikro-klimatische Bedingungen wie Beschattung etc.

Tritt ein Regenereignis ein, so wird der auftreffende Regen durch kapillaren Transport in das poröse Material aufgenommen. Die Verlaufsfunktion $i(t)$ dieses Infiltrationsvorgangs ist dabei proportional zu $t^{-1/2}$, wenn an der Oberfläche ständig genügend Wasser nachgeliefert wird. Die maximale Wasseraufnahme q_0 am Beginn des Regenereignisses wird allerdings begrenzt durch die Regenrate $R(t)$. Wenn die Regenrate im weiteren Verlauf die Infiltrationsrate übersteigt, so tritt eine Sättigung ein, das Überschusswasser läuft ab.

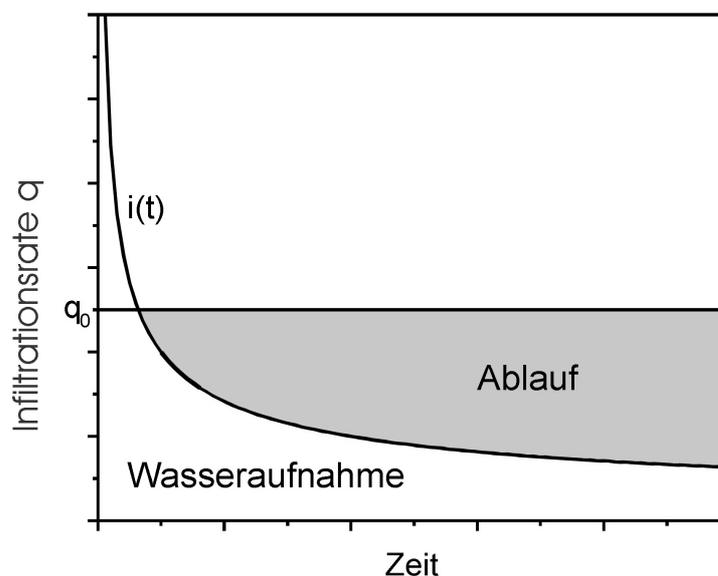


Abb. 4-3: Zeitlicher Verlauf des Wassertransports an einer berechneten Fläche (nach STEIGER und DANNECKER 1994)

Das Regenereignis kann also bezüglich der Transportprozesse in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase werden die durch den Niederschlag aus der Luft ausgewaschenen Substanzen in den Baustoff transportiert. Zusätzlich können bereits an der Oberfläche ange-

reicherte wasserlösliche Verbindungen gelöst und mit dem Wasser ins Innere des Baustoffs transportiert werden. Die Fraktion m_{wc} der gesamten nassen Deposition einer Spezies zu einem Zeitpunkt t , die aufgrund der kapillaren Aufnahme im Baustoff verbleibt, entspricht dann dem Produkt aus aufgenommenem Wasservolumen I (in der Abbildung das Zeitintegral unter der dick durchgezogenen Linie) und der Konzentration c_w dieser Spezies im Regenwasser.

$$m_{wc} = c_w \cdot I = c_w \cdot \int_0^t i(t) dt \quad (4-4)$$

Der Index w steht für nasse Deposition, c für kapillare Aufnahme. In der zweiten Phase sinkt die kapillare Wasseraufnahme unter die Regenrate ab. Mit dem ablaufenden Wasser können an der Oberfläche angereicherte lösliche Verbindungen abgewaschen werden. Das Ablaufwasser fungiert hier als Senke. Wenn dieser Anteil an der gesamten nassen Deposition als m_{wr} (Index r : Ablauf, run-off) bezeichnet wird, so kann der Gesamteintrag durch nasse Deposition auf die Oberfläche entsprechend der folgenden Gleichung ausgedrückt werden:

$$m_w = m_{wc} + m_{wr} \quad (4-5)$$

Zur Erfassung der Gesamtdeposition und Ermittlung der tatsächlich auf eine vertikale Oberfläche treffenden Regenmenge benötigt man nichtporöse inerte Referenzflächen. Das an diesen ermittelte Volumen v_{pc} liefert zusammen mit der im Regen ermittelten Konzentration einer Spezies den Wert m_w :

$$m_w = v_{pc} \cdot c_w \quad (4-6)$$

Gleiches wie für bereits im Regenwasser gelöste Substanzen gilt bezüglich ihres Gesamteintrags auch für trocken deponierte wasserlösliche Aerosolpartikel, die nach dem Lösen den gleichen Transportprozessen unterliegen. Es kann dann die analoge Gleichung aufgestellt werden (Index d für trockene Deposition):

$$m_d = m_{dc} + m_{dr} \quad (4-7)$$

Wenn man annimmt, dass die trockene Deposition auf die Referenzfläche identisch mit der trockenen Deposition auf die Prüffläche ist, dann kann ebenfalls analog zur nassen Deposition die folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$m_d = v_{pc} \cdot (c_{r,pc} - c_w) \quad (4-8)$$

Hierbei ist $c_{r,pc}$ die Konzentration im Ablaufwasser der Referenz.

Insgesamt ergibt sich dann aus trockener und nasser Deposition die Gesamtdeposition $m_{r,pc}$:

$$m_w + m_d = m_{r,pc} = v_{pc} \cdot c_{r,pc} \quad (4-9)$$

In diesen Betrachtungen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass es keinen Beitrag an trockener Deposition gasförmiger Spezies auf die Referenzfläche gibt. Der Nettoeintrag m_j einer Spezies auf eine Prüffläche leitet sich aus der Differenz der Gesamtdeposition $m_{r,pc}$ und dem Austrag m_{rj} durch Ablaufwasser von der Prüffläche ab:

$$m_j = (m_w + m_d) - m_{rj} \quad (4-10)$$

Der Austrag m_{rj} ergibt sich direkt aus dem Ablaufvolumen und der Ablaufkonzentration:

$$m_{rj} = v_j \cdot c_{rj} \quad (4-11)$$

Ist m_j größer Null, dann ergibt sich eine Anreicherung der Spezies im Baustoff. Diese kann direkt auf die trockene bzw. nasse Deposition der Spezies zurückgeführt werden. Ist m_j kleiner Null, gibt es einen Nettoaustrag dieser Spezies aus dem Baustoff. Dieser Nettoaustrag kann auf die Mobilisierung von Inhaltsstoffen aus dem Baumaterial zurückgeführt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden Ablaufwasseruntersuchungen sowohl direkt am Bauwerk als auch an Prüfkörpern durchgeführt. Beide Vorgehensweisen haben Vorzüge und Nachteile in Bezug auf ihre Durchführung und ihre Aussagekraft. Die Untersuchung von Prüfkörpern, in diesem Fall bruchfrischen Gesteinen, an ausgewählten Standorten hat den Vorteil, dass unter standardisierten Bedingungen verschiedenste Gesteine exponiert werden können, die zu Beginn der Exposition keine Vorschädigung aufweisen. Hierdurch ist es möglich, alle Schadensprozesse direkt den bekannten Bedingungen zuzuordnen. Durch geeignete Auswahl der Standorte ist es möglich, ein breites Spektrum an Umweltbedingungen abzudecken. Die Untersuchung am Bauwerk hat den Vorteil, für ein aus denkmalpflegerischer Sicht relevantes Objekt direkte Informationen zu gewinnen, die für eine eventuelle Sanierung wichtig sein können. Für allgemeingültige Aussagen eignen sich direkte Untersuchungen an Bauwerken allerdings nur wenig. Zum einen unterlagen diese bereits zum Teil jahrhundertelangen Schädigungsprozessen, deren Bedingungen weitgehend unbekannt sind. Zum anderen fehlt die Möglichkeit, das Material unter örtlich und damit auch bezüglich der klimatischen und der Immissionssituation verschiedenen Bedingungen zu untersuchen. Ein weiterer Nachteil aus denkmalpflegerischer Sicht ist, dass die Untersuchungen nicht völlig zerstörungsfrei durchführbar sind.

Eine aussagekräftige und bereits bewährte Methode (ROEKENS et al. 1989, RÖNICKE und RÖNICKE 1972, REDDY et al. 1985, COOPER et al. 1992) für die Bewertung der nassen Deposition insbesondere von sauren Schadstoffen auf Baustoffoberflächen ist das Sammeln und Analysieren des Regenablaufwassers von Prüfkörpern. Alle Konzentrationsveränderungen im Ablaufwasser im Vergleich zu den im Regen gefundenen Werten müssen auf die Wechselwirkung der Regeninhaltsstoffe mit der Gesteinsoberfläche zurückzuführen sein. Daher wurden im Rahmen eines BMFT-Projekts an zwei Standorten in Deutschland Freilandversuchsfelder eingerichtet, auf denen entsprechende Prüfkörper aus Gesteinen exponiert wurden, die für historische Bauten in Deutschland repräsentativ sind.



Abb. 5-1: Expositionsorte der Prüfkörper für Freilandexperimente

Die Auswahl dieser Gesteine umfasst solche mit fast ausschließlich silicatischen Komponenten und silicatischem Bindemittel bis zu rein carbonatischen Gesteinen. Die Orte der Exposition sollten hinsichtlich der klimatischen und der Immissionssituation ein möglichst breites Spektrum abdecken, um Aussagen über das jeweils unterschiedliche Verwitterungsverhalten der Gesteine unter den verschiedensten Bedingungen zu erhalten. Als Standort, der typisch für eine stark durch industrielle Immissionen belastete Umgebung ist, wurde ein Gelände in Duisburg gewählt. Dieser Standort ist zusätzlich charakterisiert durch relativ geringe Niederschläge. Weiterhin wurde als ein im ländlichen Raum liegender, durch geringe Luftverschmutzung charakterisierter Expositionsort ein Gelände bei Holzkirchen, ca. 25 km

südlich von München, ausgewählt. Dieser Standort ist zusätzlich charakterisiert durch hohe Niederschlagsmengen.

5.2 Konzeption der Prüffelder und der Probenahme

An den beiden Standorten wurden die Blockprüfkörper, der Referenzprüfkörper sowie Regen- und Totaldepositionssammler in möglichst guter räumlicher Nähe zueinander aufgestellt. Die Blockprüfkörper wurden nach den Himmelsrichtungen ausgerichtet. Abbildung 5-2 zeigt beispielhaft die räumlichen Gegebenheiten auf dem Prüffeld in Duisburg.

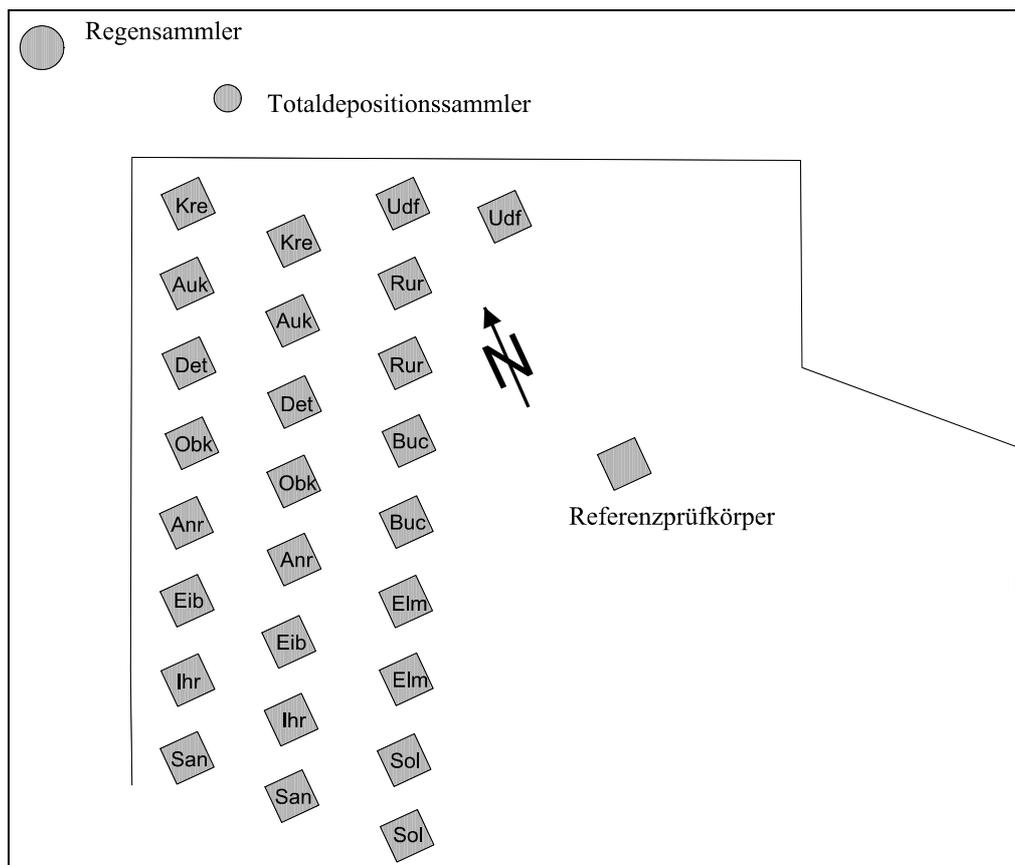


Abb. 5-2: Anordnung und Ausrichtung der Gesteinsprüfkörper auf dem Prüffeld in Duisburg mit den Kurzbezeichnungen der Gesteinstypen

Die exponierten Prüfkörper haben eine Grundfläche von $20 \cdot 30 \text{ cm}^2$ und eine Höhe von 45 cm. Sie stehen auf einem Sockel in ca. 1 m Höhe über dem Boden. Der Sockel lässt die Unterkanten der Prüfkörper frei, so dass hier Ablaufwassersammler angebracht werden können, die mit einer Siliconlippe dicht am Steinblock abschließen (Abb. 5-3). Wie Abbildung 5-2 zeigt, sind von jedem Gesteinstyp zwei Prüfkörper auf dem Prüffeld vorhanden. Der zweite, nicht für Ablaufwasseruntersuchungen eingesetzte Prüfkörper wurde für Bohrkernprobenahmen genutzt. Diese dienen der vollständigen Ermittlung der möglichen Stoffflüsse in das Gestein und aus dem Gestein durch Erfassung der angereicherten Salze in einem Tiefenprofil. Die

Ablaufwassersammler bestehen aus Polycarbonat. Das Wasser wird über einen 20 cm breiten Steg mit Dichtlippe in einer Wanne gesammelt und in eine Flasche aus Polyethylen geleitet, die über ein Gewindestück an den Auslauf der Wanne angeschraubt wird. Die Flasche wird mit einem Aluminiumbecher vor Licht geschützt. Die Wanne ist oben geschlossen, so dass nur ein etwa 1 cm breiter Schlitz zum Prüfkörper frei bleibt. Ein direkter Eintrag von Regen ist dadurch nicht möglich. Als Referenzprüfkörper dient ein geschlossener Kasten aus Polycarbonat mit den gleichen Abmessungen.



Abb. 5-3: Prüfkörper mit Sammlern

Zur Erfassung der Niederschläge wurde ein ereignisgesteuerter automatischer Regensammler mit einem Leitfähigkeitsregensensor eingesetzt. Zusätzlich wurde die Gesamtdeposition mit einem von SCHULZ (1993) entwickelten Sammler bestimmt, der im Unterschied zum üblichen sogenannten Bergerhoff-Sammler (VDI 2119, 1971) durch eine Trichterkonstruktion mit engem Durchlass den Eintrag von größeren Partikeln (wie z.B. auch Blätter oder Insekten) verhindert und gleichzeitig die Verdunstungsverluste minimiert.

Der Wechsel der Probenflaschen erfolgte für alle Prüfkörper, den Regen- und Gesamtdepositionssammler parallel, in der Regel monatlich, nach starken Niederschlagsereignissen aber auch öfter. In die Probenflaschen wurden vor der Ausbringung jeweils einige Körnchen Silberchlorid gegeben, um die Proben zu stabilisieren und Algenwuchs zu unterdrücken. Diese Methode hat sich in einer von BRÜGGEMANN *et al.* (1991) durchgeführten Unter-

suchung verschiedener Stabilisierungsmittel als die geeignetste bezüglich ihrer stabilisierenden Wirkung auf den Protonen-, Ammonium- und Phosphatgehalt in Regenwasserproben erwiesen. Der hieraus herrührende Blindwert der Proben wurde durch Messung des Gehalts an Silberionen ermittelt. Die ausgebrachten Prüfkörper mit dem Beginn ihrer Exposition sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Für die Auswertung der Bohrkernbeprobung der Prüfkörper wurden diese Daten zugrundegelegt.

Tab. 5-2: Zeitlicher Beginn der Exposition von Prüfkörpern

| Sorte | Exposition Duisburg | Exposition Holzkirchen |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Eichenbühler Sandstein | 01.12.1988 | |
| Ebenheider Sandstein | | 01.11. 1988 |
| Ihrlersteiner Grünsandstein | 01.12. 1988 | 01.11. 1988 |
| Dettenhäuser Quarzsandstein | 01.12. 1988 | 01.11. 1988 |
| Anröchter Dolomit (Kalkstein) | 01.12. 1988 | 01.11. 1988 |
| Obernkirchener Sandstein | 01.12. 1988 | 01.11. 1988 |
| Sander Schilfsandstein | 01.12. 1988 | 01.11. 1988 |
| Auerkalk | 01.12. 1988 | 01.11. 1988 |
| Krensheimer Muschelkalk | 13.03. 1990 | 22.03. 1990 |
| Ruhrsandstein | 13.03. 1990 | 22.03. 1990 |
| Udelfanger Sandstein | 13.03. 1990 | 22.03. 1990 |
| Bucher Sandstein | 13.03. 1990 | 22.03. 1990 |
| Elmkalk | 13.03. 1990 | 22.03. 1990 |
| Solinger Buntsandstein | 13.03. 1990 | 22.03. 1990 |

Die Untersuchung der Ablaufwässer begann 1990. Für die vorliegenden Untersuchungen wurde – soweit nicht anders erwähnt – der Zeitraum von November 1993 bis Januar 1997 (Duisburg) bzw. November 1996 (Holzkirchen) ausgewertet. In diesem Zeitraum wurden in Duisburg 60 Probensätze und in Holzkirchen 58 Probensätze erhalten.

5.3 Probenvorbereitung und Analytik

Ablaufwasserproben

Die Proben wurden nach der Volumenbestimmung über ein Membranfilter mit 0,45µm Porendurchmesser filtriert (100 mL). Es wurden 2x 50 mL in je ein PP-Röhrchen abgefüllt. Für einen Satz von 15 filtrierten Proben ist jeweils ein Filterblindwert bestimmt worden, indem man 100 mL Reinstwasser über ein Membranfilter filtrierte. Die auf diese Weise erhaltene Blindprobe wurde den Proben entsprechend weiter bearbeitet. Das zur Bestimmung der Metallionen und des Ammoniums vorgesehene Röhrchen wurde mit 100 µL konz. Salpetersäure angesäuert.

Für die Bestimmung der Kationen Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium wurde ein ICP-AES-Gerät SPECTROFLAME der Firma SPECTRO ANALYTICAL INSTRUMENTS eingesetzt. Für niedrige Konzentrationen wurden für die Kationen Natrium und Kalium die Flammen-AES mit Acetylenflamme, für Calcium und Magnesium die Flammen-AAS verwendet. Die Messung erfolgte an einem PE 5000-Gerät der Firma PERKIN ELMER. Die Bestimmung des Ammoniumgehalts erfolgte nach dem von DRECKMANN (1992) modifizierten DIN-Verfahren 38406-E5-1. Hierbei wird das Ammonium photometrisch nach Umsetzung zu einem blauen Indophenolfarbstoff bestimmt. Zur Messung wurde das Photometer LAMBDA 2 der Firma PERKIN ELMER eingesetzt. Der pH-Wert wurde mittels einer pH-Einstabmesskette bestimmt, das Hydrogencarbonat durch potentiometrische Titration mit 0,1-molarer Salzsäure. Zum Einsatz kam der TITROPROCESSOR mit automatischer Titration und Endpunkterkennung der Firma METROHM. Die Anionen Chlorid, Nitrit, Nitrat und Sulfat wurden ionenchromatographisch bestimmt. Zur Messung wurden Anionenaustauschersäulen (AG9/AS9) und Suppressorsäulen sowie der Leitfähigkeitsdetektor der Firma DIONEX verwendet. Die HPLC-Pumpe und der Autosampler stammten von der Firma THERMO SEPARATION PRODUCTS. Die für die jeweiligen Ionen ermittelten Bestimmungsgrenzen sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tab. 5-1: Bestimmungsgrenzen (Konzentrationen in mg/L):

| Chlorid | Nitrit | Nitrat | Sulfat | Hydrogencarbonat | Ammonium | Natrium | Kalium | Calcium |
|---------|--------|--------|--------|------------------|----------|---------|--------|---------|
| 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,02 |

Bohrkernbeprobung

Um einen Einfluss auf die Salzverteilung im Bohrkern durch den Einsatz einer Wasserkühlung auszuschließen, wurde trocken ein Kern von 3 cm Dicke und einer Länge von maximal 10 cm etwa in der Mitte der vertikalen Prüfkörperoberfläche ausgebohrt. Zur Kühlung wurde Pressluft verwendet. Die Bohrkernkerne wurden oberflächenparallel trocken in Segmente gesägt und die Bohrkernsegmente mit einer Kugelmühle auf eine Korngröße kleiner 120 µm gemahlen. Vom erhaltenen Gesteinsmehl wurden 500 mg mit 25 ml entionisiertem Wasser eluiert und das Eluat über ein Filter mit der Porenweite 0,45 µm filtriert.

5.4 Vorgehensweise bei der Auswertung der Daten

Die analytischen Ergebnisse für einzelne Proben sind durch den Stichprobencharakter der Probenahme und die geringe Kontrollierbarkeit von Störeinflüssen während eines Zyklus, die für Prüfkörper und Referenzprobenahmen unterschiedlich gewichtet sein können, fehlerbehaftet. Daher ist es wichtig, möglichst lange Zeitreihen zu erstellen, die eine zuverlässige Aussage über die Signifikanz der beobachtbaren Phänomene zulassen.

Es wurden auf dem Prüffeld immer jeweils paarweise identische Prüfkörper ausgebracht. Ein langer Probenahmezeitraum bot hierdurch die Möglichkeit, An- oder Abreicherungen in den Prüfkörpern durch eine Probenahme am Parallelprüfkörper zu überprüfen.

Die Auswertung der Daten in Zeitreihen kann naturgemäß nur bei vollständigen Datensätzen erfolgen. Da durch Havarien bei der Probenahme oder beim Probentransport bzw. durch Probleme bei der Analytik der Proben Datenlücken entstehen, müssen diese vor einer Auswertung in sinnvoller Weise gefüllt werden. Zusätzlich muss allen analytischen Ergebnissen unterhalb der Bestimmungsgrenze des jeweiligen Parameters in plausibler Weise ein Zahlenwert zugewiesen werden. Für die Auswertung der Daten in Zeitreihen wurden alle Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze auf den halben Wert der Bestimmungsgrenze gesetzt. Diesem Vorgehen liegt die Überlegung zugrunde, dass die Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze normalverteilt sind, so dass der Mittelwert über alle Gehalte beim halben Wert der Bestimmungsgrenze liegt. Es ist aber auch anzumerken, dass durch die kumulative Auswertung der Daten diese Werte wenig Gewicht haben, so dass ihre Einordnung innerhalb der Spanne von Null bis zum Wert der Bestimmungsgrenze nicht zu nennenswerten Verfälschungen der Daten führen kann. Bei fehlenden Analysenwerten wurde je nach der Zahl der fehlenden Parameter differenziert vorgegangen. Fehlende Einzelwerte wurden entsprechend der aufgestellten Ionenbilanz aufgefüllt. Bei mehreren fehlenden Werten wurde

aus dem übrigen vollständigen Datenbestand des entsprechenden Prüfkörpers bzw. Sammlers ein langjähriges Ionenmuster erstellt. Die hierdurch erhaltene Gewichtung der Ionen diene dann als Grundlage für das Auffüllen der Werte entsprechend der Ionenbilanz. Fehlende Volumenangaben wurden für den Regensammler bzw. den Gesamtdepositionssammler aus dem Wert des jeweils anderen Sammlers durch Umrechnung auf die jeweilige Sammlerfläche berechnet. Dies gilt auch für die Fälle, in denen der Regensammler offensichtlich nicht korrekt funktionierte. Alle korrigierten oder ergänzten Werte des Datensatzes sind im Tabellenanhang kursiv dargestellt.

5.5 Ablaufwasseruntersuchungen an Prüfkörpern

5.5.1 Regensituation in Duisburg und Holzkirchen

Als Referenz zu den eigenen, durch den automatischen Regensammler und den Gesamtdepositionssammler erhaltenen Daten wurden solche aus den DEUTSCHEN METEOROLOGISCHEN JAHRBÜCHERN des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. Diese dienten der Plausibilitätsprüfung der eigenen Daten. Ein direkter Vergleich einzelner Monatsdaten war nicht möglich, da die Probenahmezyklen nur in Ausnahmefällen mit den Ablesezyklen des Wetterdienstes übereinstimmten. Für den Datenvergleich wurde daher jeweils über einen Zeitraum von 6 Monaten integriert. Als Referenzstationen des Wetterdienstes wurden die Station Holzkirchen und die Station Duisburg-Hochfeld gewählt. Die aus dem Zeitraum 1992 bis 1998 erhaltenen durchschnittlichen jährlichen Niederschläge an diesen Stationen betragen:

Duisburg-Hochfeld: 762 mm

Holzkirchen: 1374 mm

Die Graphik zeigt die Jahressgänge der Niederschläge in diesem Zeitraum. Es wird deutlich, dass insbesondere im Sommer die Niederschläge in Holzkirchen weit höher liegen als in Duisburg, während im Winter ähnliche Verhältnisse herrschen. Einzelne Tagesdaten aus dem Sommer zeigen, dass in Holzkirchen häufig Starkregenereignisse mit sehr hohen Niederschlagsmengen in kurzen Zeiträumen auftreten.

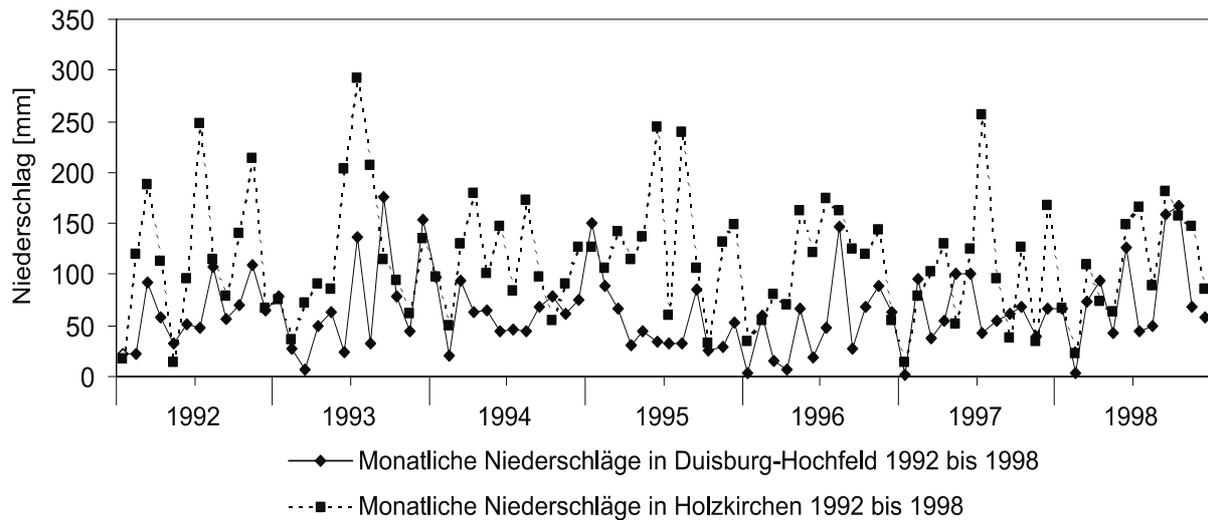


Abb. 5-4: Regendaten des Deutschen Wetterdienstes für Duisburg-Hochfeld und Holzkirchen

Die Vergleichsdaten für den ereignisgesteuerten Regensammler und den Gesamtdepositionssammler sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt.

Tab. 5-3: Vergleich der Regendaten in Holzkirchen, Werte in mm

| Zeitraum | Ref.-Regendaten | Totaldeposition | Regensammler |
|----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| 1. Halbj. 1994 | 705 | 775 | 540 |
| 2. Halbj. 1994 | 624 | 560 | 277 |
| 1. Halbj. 1995 | 871 | 657 | 542 |
| 2. Halbj. 1995 | 717 | 658 | 399 |
| 1. Halbj. 1996 | 524 | 527 | 313 |
| 2. Halbj. 1996 | 779 | 496 | 535 |

Tab. 5-4: Vergleich der Regendaten in Duisburg, Werte in mm

| Zeitraum | Ref.-Regendaten | Totaldeposition | Regensammler |
|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 2. Halbj. 1992 | 508 | 413 | 403 |
| 1. Halbj. 1993 | 249 | 197 | 159 |
| 2. Halbj. 1993 | 622 | 540 | 507 |
| 1. Halbj. 1994 | 386 | 403 | 271 |
| 2. Halbj. 1994 | 373 | 388 | 351 |
| 1. Halbj. 1995 | 416 | 426 | 402 |
| 2. Halbj. 1995 | 258 | 259 | 156 |
| 1. Halbj. 1996 | 205 | 147 | 147 ¹⁾ |
| 2. Halbj. 1996 | 395 | 352 | 352 ¹⁾ |
| 1. Halbj. 1997 | 355 | 293 | 293 ¹⁾ |
| 2. Halbj. 1997 | 369 | 387 | 198 |

¹⁾ korrigiert aus Totaldepositionsdaten

Die Zahlen belegen eine gute Übereinstimmung der Referenzdaten mit den Totaldepositionsdaten sowohl für Duisburg als auch für Holzkirchen. Die hieraus errechneten Jahresmittelwerte stimmen gut mit den Referenzdaten überein.

| | | | |
|--------------------|---------|--------------------------------------|---------|
| Duisburg Hochfeld: | 762 mm | Duisburg Totaldepositionssammler: | 692 mm |
| Holzkirchen: | 1374 mm | Holzkirchen Totaldepositionssammler: | 1224 mm |

Für den automatischen Regensammler sind die Werte fast durchgehend niedriger. Da durch technische Fehler hervorgerufene, offensichtlich falsche Daten bereits eliminiert sind, bieten sich als Erklärung dieses Phänomens nur Vorgänge an, die mit der Konstruktion des Sammlers zusammenhängen. Möglich ist, dass durch den relativ trägen Öffnungsmechanismus des Sammlers bei Starkregenereignissen ein Teil des Regens nicht erfasst wird. Als zweite Erklärung könnten relativ hohe Verdunstungsverluste vom großen Sammeltrichter bei längerer Öffnungsdauer angeführt werden. Auch innerhalb des Regensammlers, dessen Innenraum im Durchschnitt deutlich wärmer ist als die Außenluft, könnte es zu Verdunstungsverlusten gekommen sein.

5.5.2 Charakterisierung der Immissionssituationen in Duisburg und Holzkirchen durch die Analyse von Regen- und Gesamtdepositionsproben

Wie bereits oben erwähnt, wurden als wesentliche Inhaltsstoffe sowohl der Regen- als auch der Gesamtdepositionsproben die Kationen Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Ammonium, der pH-Wert und die Anionen Chlorid, Nitrit, Nitrat, Sulfat und Hydrogencarbonat bestimmt. Zur Überprüfung einer korrekten Analytik und zum Beleg, dass tatsächlich die wesentlichen Ionen erfasst wurden, sind Ionenbilanzen erstellt worden (Abb. 5-5).

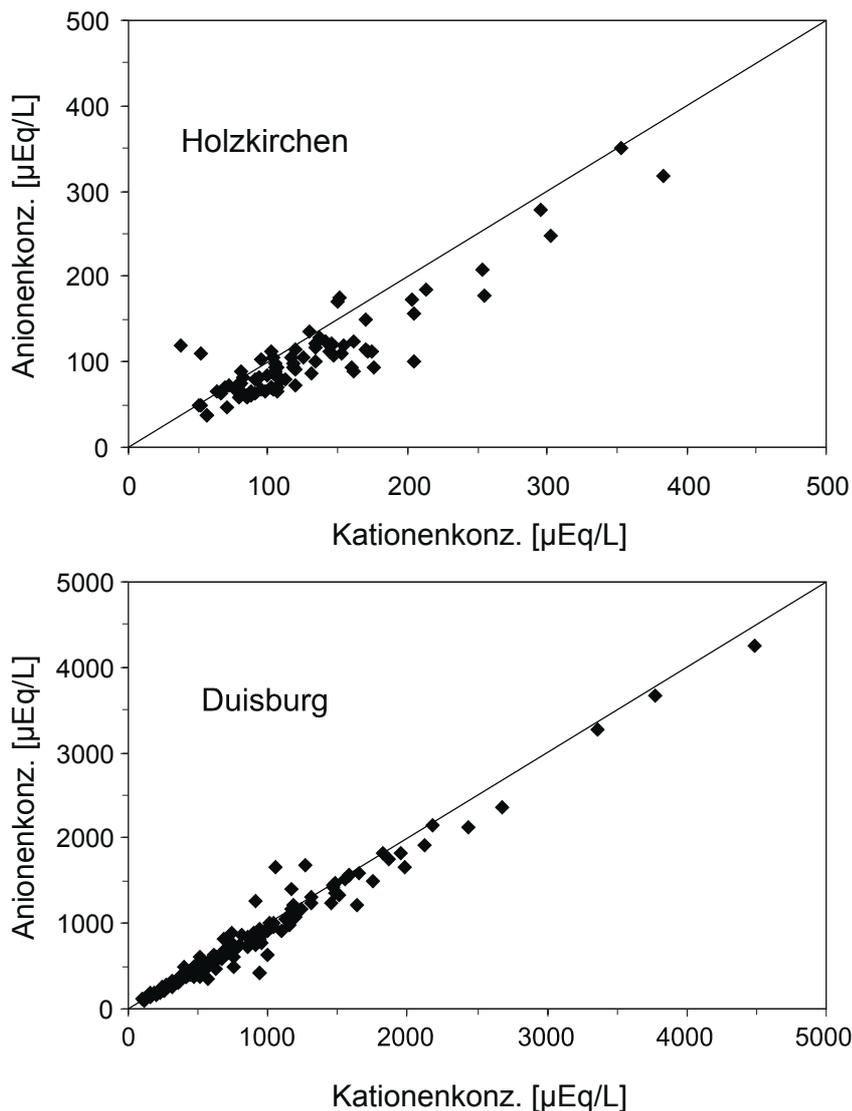


Abb. 5-5: Auftragung der Summen der Äquivalentkonzentrationen von Kationen und Anionen in Regen- und Gesamtdepositionsproben von Holzkirchen und Duisburg

Die Auftragung der Ionenbilanzen zeigt eine ausgewogene Bilanz für beide Orte. Ein geringfügiger Überhang für die Kationen wird in der Ionenbilanz für Holzkirchen deutlich, ist allerdings auch für die Ionenbilanz in Duisburg gültig, wo er durch die insgesamt höheren Konzentrationen überdeckt wird. Dieser ist auf eine Nichterfassung von organischen Anionen zurückzuführen. In der Auswertung wurde dieser Überhang für vernachlässigbar gehalten. Es wird deutlich, dass die Gesamtkonzentrationen der Regeninhaltsstoffe in Duisburg um etwa eine Größenordnung höher liegen als die Konzentrationen in Holzkirchen.

Tab. 5-5 A: Volumengewichtete mittlere Konzentrationen der relevanten Ionen in Regen- und Gesamtdepositionsproben von Duisburg und Holzkirchen in mg/L (außer pH)

| | Duisburg | | Holzkirchen | |
|-------------------------------|----------|------------------|-------------|------------------|
| | Regen | Gesamtdeposition | Regen | Gesamtdeposition |
| Na ⁺ | 1,41 | 1,41 | 0,32 | 0,42 |
| K ⁺ | 0,97 | 1,19 | 0,09 | 0,35 |
| Ca ²⁺ | 5,62 | 9,56 | 0,17 | 0,36 |
| Mg ²⁺ | 1,56 | 2,08 | 0,03 | 0,07 |
| NH ₄ ⁺ | 1,26 | 1,55 | 0,82 | 1,61 |
| pH | 6,30 | 7,21 | 4,65 | 5,09 |
| Cl ⁻ | 2,47 | 3,37 | 0,31 | 0,47 |
| NO ₂ ⁻ | 0,14 | 0,23 | 0,07 | 0,36 |
| NO ₃ ⁻ | 5,24 | 4,04 | 2,44 | 2,56 |
| SO ₄ ²⁻ | 11,71 | 14,86 | 1,50 | 2,02 |
| HCO ₃ ⁻ | 8,04 | 18,68 | 0,62 | 1,99 |

Tab. 5-5 B: Gesamtflüsse der relevanten Ionen in Regen- und Gesamtdepositionsproben von Duisburg und Holzkirchen bezogen auf ein Jahr [mEq·m⁻²·a⁻¹]

| | Duisburg | | Holzkirchen | |
|-------------------------------|----------|------------------|-------------|------------------|
| | Regen | Gesamtdeposition | Regen | Gesamtdeposition |
| Na ⁺ | 27,5 | 41,0 | 9,5 | 16,6 |
| K ⁺ | 11,1 | 20,3 | 1,5 | 8,0 |
| Ca ²⁺ | 125,5 | 318,9 | 5,9 | 16,4 |
| Mg ²⁺ | 57,4 | 114,2 | 1,7 | 5,3 |
| NH ₄ ⁺ | 31,3 | 57,4 | 31,1 | 81,1 |
| H ⁺ | 3,1 | 0,4 | 23,7 | 26,7 |
| Cl ⁻ | 31,1 | 63,5 | 5,9 | 12,0 |
| NO ₂ ⁻ | 1,4 | 3,3 | 1,0 | 7,0 |
| NO ₃ ⁻ | 37,8 | 43,5 | 27,0 | 37,4 |
| SO ₄ ²⁻ | 109,2 | 206,9 | 21,4 | 38,1 |
| HCO ₃ ⁻ | 59,0 | 204,6 | 7,0 | 29,5 |

Zur Auswertung der Analysenergebnisse wurden zwei Wege beschritten. Zum einen wurde über alle Proben eine volumengewichtete mittlere Konzentration berechnet (Tabelle 5-5 A). Zum anderen wurden über den Gesamtzeitraum die Flüsse für alle Ionen berechnet und auf einen Jahreszeitraum bezogen (Tabelle 5-5 B). In der Zusammenschau liefern die beiden Auswertungen ein gutes Bild der Immissionssituation an den beiden Probenahmeorten. Die Bewertung der Ergebnisse muss sowohl die absolute Immission als auch die Relation zwischen nasser und Gesamtdeposition berücksichtigen.

Es fällt zunächst auf, dass einige Spezies abweichend vom Gesamtbild in Duisburg keine oder nur eine geringfügig höhere Immission aufweisen als in Holzkirchen. Dies sind Ammonium, Nitrat und die Protonen, für die in Holzkirchen sogar höhere Konzentrationen gefunden werden. Für diese Spezies sind auch die Unterschiede zwischen Regen und Gesamtdeposition am geringsten. Alle Ionen, die für die beiden Probenahmeorte erhebliche Unterschiede aufweisen, zeigen dagegen auch ausgeprägte Unterschiede bezüglich nasser und trockener Deposition. Besonders starke Unterschiede gibt es bei Calcium (Faktor 2,5) und Hydrogencarbonat (Faktor 3,5). Offensichtlich werden über den Luftstaub hohe Mengen an Calcium und Carbonat trocken deponiert. Bereits KAYSER *et al.* (1974) weisen darauf hin, dass in stark industrialisierten Gebieten im Luftstaub relativ viel Calcium und Carbonat gefunden werden. Diese Tatsache liefert auch die Interpretation für die hohen pH-Werte in den Duisburger Proben. Zunächst wäre in Duisburg ein sehr saurer Regen aufgrund der hohen SO₂-Immissionen zu erwarten. Ein großer Teil des Sulfats in der Gesamtdeposition stammt aus der Immission von SO₂ (WOLF 1991). Ein Beleg dafür, dass der partikuläre Eintrag von Sulfat eine geringe Rolle spielt, sind die geringen Ammonium-Konzentrationen, die sich zudem im Regen und in den Gesamtdepositionsproben kaum unterscheiden. Da Sulfat überwiegend als Ammoniumsulfat deponiert wird, sind Ammonium- und Sulfatkonzentrationen stark miteinander verknüpft. Der pH-Wert-senkende Effekt des SO₂ wird nun offensichtlich durch basische Substanzen, hier hauptsächlich Calciumcarbonat, überkompensiert. Ein Teil des Calciumcarbonats wird bereits durch den Regen aus der Atmosphäre ausgewaschen, wodurch der pH-Wert des Regens auf einen Durchschnittswert von 6,3 ansteigt. Der größere Anteil des Calciumcarbonats sedimentiert und wird trocken deponiert. Dieses Ergebnis wird von anderen Autoren bestätigt (ROEKENS *et al.* 1988, LEYSEN *et al.* 1989).

In Holzkirchen spielen partikuläre Einträge eine wesentlich geringere Rolle. Es wird aber auch hier, allerdings auf niedrigerem Niveau, Calciumcarbonat trocken deponiert. Der Einfluss der sauren Komponenten überwiegt, so dass hier die pH-Werte im Niederschlag und der Gesamtdeposition denen des typischen sauren Regens entsprechen.

An den beiden Standorten unterscheidet sich die Nitratdeposition nur geringfügig. Der Haupteintrag an Nitrat geschieht über die nasse Deposition. Ein geringer Anteil wird trocken deponiert. Dieses Ergebnis entspricht den von WOLF (1991) für die beiden Probenahmeorte ermittelten Werten. Im Vergleich mit Literaturdaten sind die Ergebnisse allerdings ungewöhnlich. Laut FINLAYSON-PITTS und PITTS (1986) liegen die Immissionskonzentrationen für Nitrat und HNO_3 , die für die trockene Deposition wichtigste saure Stickstoff-Spezies (BEHLEN 1996), in der gleichen Größenordnung sowohl in ländlichen wie in stark verschmutzten Gebieten. Die Differenz zwischen den Immissionskonzentrationen in ländlichen und stark verschmutzten Gebieten liegt nach FINLAYSON-PITTS und PITTS (1986) bei etwa einer Größenordnung.

Für Ammonium werden in Duisburg und Holzkirchen gleiche Einträge über den Regen gefunden. Die Gesamtdeposition ist in Duisburg etwa doppelt so hoch wie die nasse Deposition, in Holzkirchen ist sie etwa dreimal so hoch. In Holzkirchen spielt insgesamt die partikuläre Deposition eine geringere Rolle als in Duisburg. Daher ist davon auszugehen, dass ein Teil der Gesamtdeposition auf den gasförmigen Eintrag von Ammoniak zurückzuführen ist. Hierfür spricht auch, dass die trocken deponierten Mengen der in Frage kommenden Gegenionen Chlorid, Nitrat und Sulfat nicht ausreichen, um das gefundene Ammonium vollständig stöchiometrisch auszugleichen. Da die Umgebung von Holzkirchen stark landwirtschaftlich geprägt ist und mithin nahe Ammoniakquellen wahrscheinlich sind, erscheint dieses Ergebnis plausibel.

5.5.3 Referenzprüfkörper

Zur Bilanzierung der Stoffflüsse an den Gesteins-Prüfkörpern wurde ein Referenzprüfkörper mit den gleichen Abmessungen wie die Gesteinsprüfkörper eingesetzt. Dieser sollte ein Maß für das auf die Prüfkörper gelangende Schlagregenwasser geben und bezüglich Schadstoffen inert sein. Als Referenzprüfkörper wurde daher ein geschlossener Kasten aus Polycarbonat verwendet. Die Einhaltung der geforderten Repräsentativität wurde überprüft durch den Vergleich mit den Ablauf-Volumina der Steinprüfkörper. Die geforderte Neutralität bezüglich der Deposition von Schadstoffen wurde durch den Vergleich der analytischen Daten mit

denen des Gesamtdepositionssammlers untersucht. In den Tabellen 5-6 und 5-7 werden für die Probenahmeorte Duisburg und Holzkirchen die mit den Referenzsammlern erhaltenen Volumina mit den an den Prüfkörpern aus Ihrlersteiner Grünsandstein, Sander Sandstein und Obernkirchener Sandstein gefundenen verglichen. Die erzielten Volumina wurden in flächenbezogene Daten umgerechnet, um einen Vergleich mit den Niederschlagsmengen auf horizontale Flächen zu ermöglichen.

Tab. 5-6: Gesamtablaufvolumina in Duisburg (Angaben in $L \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)

| Sorte | Nord | Ost | Süd | West |
|----------------|------|------|------|------|
| Referenz | 14,1 | 37,2 | 21,4 | 17,3 |
| Ihrlersteiner | 4,1 | 7,8 | 17,3 | 22,8 |
| Sander | 6,2 | 14,3 | 19,9 | 16,8 |
| Obernkirchener | 6,5 | 20,9 | 26,5 | 15,8 |

Tab. 5-7: Gesamtablaufvolumina in Holzkirchen (Angaben in $L \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)

| Sorte | Nord | Ost | Süd | West |
|----------------|------|------|-------|-------|
| Referenz | 29,3 | 15,2 | 46,2 | 85,9 |
| Ihrlersteiner | 57,4 | 18,1 | 75,8 | 127,3 |
| Sander | 92,6 | 17,0 | 42,0 | 142,7 |
| Obernkirchener | 57,3 | 38,6 | 114,0 | 152,2 |

Betrachtet man die Einzelwerte aller Prüfkörper, so zeigt sich für die Himmelsrichtungen ein uneinheitliches Verhalten. Um dennoch grundsätzliche Informationen über das Verhalten der Prüfkörper zu erhalten, wurden Durchschnittsmengen berechnet und mit den Niederschlagsmengen verglichen, die mit dem Gesamtdepositionssammler erzielt wurden. Die jährliche Niederschlagsmenge in Duisburg bzw. Holzkirchen, bestimmt aus den Daten des jeweiligen Gesamtdepositionssammlers, betrug 692 bzw. 1224 mm/a ($= L \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$). Die mit dem Referenzsammler erhaltenen Probenvolumina waren an beiden Orten etwa um den Faktor 30 niedriger. Diese ähnliche Verhältnis scheint zunächst auf ein korrektes Sammelverhalten des Referenzprüfkörpers hinzudeuten. Der Vergleich mit den Gesteinsprüfkörpern zeigt jedoch, dass dies nicht der Fall ist. An den Gesteinsblöcken wurde in Duisburg im Durchschnitt ein um den Faktor 45 gegenüber der Gesamtdeposition niedrigeres Volumen gesammelt, in Holzkirchen hatte dieser Faktor den Wert 15. Das bedeutet, dass der Referenzsammler in Holzkirchen nur etwa halb so viel Ablaufwasser gesammelt hat wie die Gesteinsprüfkörper.

Das unterschiedliche Verhalten der Gesteinsprüfkörper an den beiden Probenahmeorten wird plausibel, wenn man die absoluten Niederschlagsvolumina und die zeitliche Niederschlagsverteilung beachtet. In Holzkirchen betragen die Jahresniederschläge nahezu das Doppelte der Duisburger Werte. Zudem ist die Holzkirchener Situation durch häufige Starkregenereignisse geprägt (DEUTSCHES METEOROLOGISCHES JAHRBUCH 1992 - 1998). Entsprechend Abbildung 4-3 führt dies dazu, dass in Holzkirchen an den Prüfkörpern aufgrund von Sättigungseffekten im Porenraum verhältnismäßig viel mehr Wasser abläuft. Die drei Gesteinsarten verhalten sich an den beiden Standorten analog. Das poröseste Gestein, der Ihrlersteiner Grünsandstein, weist in Duisburg und Holzkirchen etwas unterdurchschnittliche Ablaufvolumina auf, der Sander Sandstein liegt etwa beim Durchschnittswert und der Obernkirchener Sandstein als das dichteste Gestein weist etwas überdurchschnittliche Werte auf.

Für die Minderbefunde am Referenzprüfkörper in Holzkirchen konnten Verluste durch technische Mängel als Ursache ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse werden daher so interpretiert, dass die glatte Oberfläche des Referenzprüfkörpers dafür verantwortlich ist, dass ein signifikanter Anteil des Regens abprallt und nicht in den Sammler gelangt. Eine weitere, aber eher nachrangige Einflussgröße könnte die verstärkte Verdunstung von Wasser von den relativ warmen Polycarbonatflächen sein. Für die objektive Abbildung des Regeneintrags an Blockprüfkörpern ist der verwendete Referenzprüfkörper daher unter den gegebenen Bedingungen nicht geeignet.

Der Referenzprüfkörper sollte sich bezüglich des Eintrags von Schadstoffen neutral verhalten, das heißt, dass er die Impaktion von Partikeln und die Deposition von Schadgasen möglichst wenig beeinflussen sollte. Bezüglich der Ionenkonzentrationen im Ablaufwasser ist für eine vertikale Fläche zunächst einmal zu erwarten, dass sie geringere Werte aufweist als der Gesamtdepositionssammler, da insbesondere grobe Partikel hauptsächlich durch Sedimentation deponiert werden. Der beobachtbare Effekt sollte daher in Duisburg größer sein als in Holzkirchen, da Duisburg stärker durch Grobstaubimmissionen geprägt ist. In Tabelle 5-8 A sind die mittleren gewichteten Konzentrationen über alle Proben des Referenz- und des Gesamtdepositionssammlers angegeben. Es zeigt sich, dass entgegen der Erwartung die Konzentrationen in den Referenzsammlerproben überwiegend weit höher liegen als die Konzentrationen in den Gesamtdepositionsproben. Es lassen sich aus dem Datenbestand allerdings keine regelmäßigen Muster oder Gesetzmäßigkeiten gewinnen. Daher wurde zusätzlich eine kumulative Auswertung der Daten vorgenommen (Tabelle 5-8 B). Bei der Auswertung der Gesamteinträge wird deutlich, dass die absoluten Einträge auf den Referenzsammler

deutlich geringer sind als die Einträge in den Gesamtdepositionssammler. Es lässt sich jedoch auch hier kein signifikanter regelmäßiger Zusammenhang zu den Ablaufvolumina oder innerhalb des Datensatzes zwischen den im Allgemeinen gemeinsam deponierten Ionen herstellen.

Tab. 5-8 A: Volumengewichtete mittlere Konzentrationen in Gesamtdepositions- und Referenzproben von Duisburg und Holzkirchen in mg/L (außer pH)

| | Duisburg | | Holzkirchen | |
|-------------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| | Referenzkörper | Gesamtdeposition | Referenzkörper | Gesamtdeposition |
| Na ⁺ | 2,8 | 1,4 | 0,5 | 0,4 |
| K ⁺ | 4,4 | 1,2 | 0,4 | 0,4 |
| Ca ²⁺ | 21,7 | 9,6 | 1,0 | 0,4 |
| Mg ²⁺ | 5,4 | 2,1 | 0,1 | 0,1 |
| NH ₄ ⁺ | 1,4 | 1,6 | 3,1 | 1,6 |
| pH | 6,8 | 7,2 | 5,9 | 5,1 |
| Cl ⁻ | 6,1 | 3,4 | 1,4 | 0,5 |
| NO ₂ ⁻ | 2,2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 |
| NO ₃ ⁻ | 12,3 | 4,0 | 2,9 | 2,6 |
| SO ₄ ²⁻ | 45,4 | 14,9 | 2,5 | 2,0 |
| HCO ₃ ⁻ | 19,7 | 18,7 | 6,3 | 2,0 |

Tab. 5-8 B: Gesamtflüsse der relevanten Ionen am Gesamtdepositions- bzw. Referenzsammler (Mittelwerte der 4 Richtungen) von Duisburg und Holzkirchen bezogen auf ein Jahr [mEq·m⁻²·a⁻¹]

| | Duisburg | | Holzkirchen | |
|-------------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| | Referenzkörper | Gesamtdeposition | Referenzkörper | Gesamtdeposition |
| Na ⁺ | 2,8 | 41,0 | 1,0 | 16,6 |
| K ⁺ | 2,5 | 20,3 | 0,4 | 8,0 |
| Ca ²⁺ | 24,4 | 318,9 | 2,3 | 16,4 |
| Mg ²⁺ | 9,9 | 114,2 | 0,5 | 5,3 |
| NH ₄ ⁺ | 1,8 | 57,4 | 7,7 | 81,1 |
| H ⁺ | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 26,7 |
| Cl ⁻ | 3,9 | 63,5 | 1,7 | 12,0 |
| NO ₂ ⁻ | 1,1 | 3,3 | 0,1 | 7,0 |
| NO ₃ ⁻ | 4,5 | 43,5 | 2,1 | 37,4 |
| SO ₄ ²⁻ | 21,3 | 206,9 | 2,3 | 38,1 |
| HCO ₃ ⁻ | 7,3 | 204,6 | 4,6 | 29,5 |

Aufgrund dieser Ergebnisse und der unplausiblen Probenvolumina wurde bei der Auswertung und Charakterisierung der Ablaufwässer der Gesteinsprüfkörper darauf verzichtet, mit Hilfe der Referenzdaten Nettoflüsse zu berechnen.

5.5.4 Charakterisierung der Ablaufwässer in Duisburg und Holzkirchen

Für die Gesteinstypen Sander Sandstein, Ihrlersteiner Grünsandstein und Obernkirchener Sandstein wurden standortbezogen Profile der Ablaufwasserinhaltsstoffe erstellt. Hierfür wurde eine kumulative Auswertung des gesamten Beprobungszeitraums durchgeführt. Die Stoffflüsse wurden auf einen Zeitraum von einem Jahr bezogen (Abbildung 5-6).

Wie bereits bei den Regen- und Gesamtdepositionsproben zeigt sich hier, dass in Duisburg insgesamt der Eintrag an Salzen erheblich höher ist als in Holzkirchen. Der Schwerpunkt liegt auch hier auf Sulfat und Calcium. Für Sander und Obernkirchener Sandstein sind die Flüsse dieser Ionen in Duisburg etwa gleich groß. Da diese Gesteine vernachlässigbare Gehalte an Calcium und Sulfat aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass diese Gehalte vollständig auf partikuläre bzw. gasförmige Deposition zurückgehen. Der Ihrlersteiner Grünsandstein weist im Vergleich zu den anderen Gesteinen nahezu doppelt so hohe Calcium- und Sulfatwerte im Ablaufwasser auf. Der erhöhte Calciumgehalt in den Ablaufwässern des Ihrlersteiner Grünsandsteins muss weitgehend aus dem calcitischen Gestein stammen, da die partikuläre Immissionssituation für die Prüfkörper weitgehend identisch ist. Aufgrund der basischen Oberfläche des Ihrlersteiner Grünsandsteins deponieren in erhöhtem Maße saure Schadgase, in erster Linie SO_2 , was zu dem erhöhten Sulfatwert im Ablaufwasser führt. Das Carbonat wird dabei weitgehend verdrängt, so dass im Ablaufwasser nur noch geringe Hydrogencarbonatwerte vorliegen. Entsprechend sind die Ammoniumgehalte im Ablaufwasser des Ihrlersteiner Grünsandsteins sehr gering, während der silicatische Obernkirchener Sandstein um etwa eine Größenordnung höhere Werte aufweist. Der tonige Sander Sandstein liegt erwartungsgemäß zwischen diesen Extremwerten.

Die Ammoniumwerte an den Prüfkörpern in Holzkirchen verhalten sich auf etwas höherem Niveau analog zu der Situation in Duisburg. Die Situation in Holzkirchen ist geprägt durch eine weit geringere Deposition von SO_2 und eine entsprechende Verschiebung bei den wichtigsten Ablaufwasserbestandteilen. Der Ihrlersteiner Grünsandstein weist auch in Holzkirchen die höchsten Austräge im Ablaufwasser auf. Neben einem relativ geringen Sulfatgehalt dominiert hier allerdings das Hydrogencarbonat als Gegenion zum Calcium. Geht man davon aus, dass die Calciumgehalte im Ablaufwasser von Sander und Obernkirchener Sandstein der partikulären Deposition auch auf den Ihrlersteiner Sandstein entsprechen, so ist der Calcitabtrag vom Ihrlersteiner Grünsandstein in Holzkirchen nahezu ebenso groß wie in Duisburg.

Die Flüsse der Ionen Chlorid, Nitrit, Nitrat, Natrium und Kalium unterscheiden sich an den beiden Standorten und für die verschiedenen Prüfkörper kaum. Sie sind gegenüber den vorher beschriebenen Austrägen von untergeordneter Bedeutung. Da die Oberflächen der Gesteine sich in Bezug auf gasförmige Immissionen saurer Komponenten sehr unterschiedlich verhalten, ist davon auszugehen, dass die Anionen Chlorid, Nitrit und Nitrat vorwiegend mit partikulären Immissionen eingetragen werden.

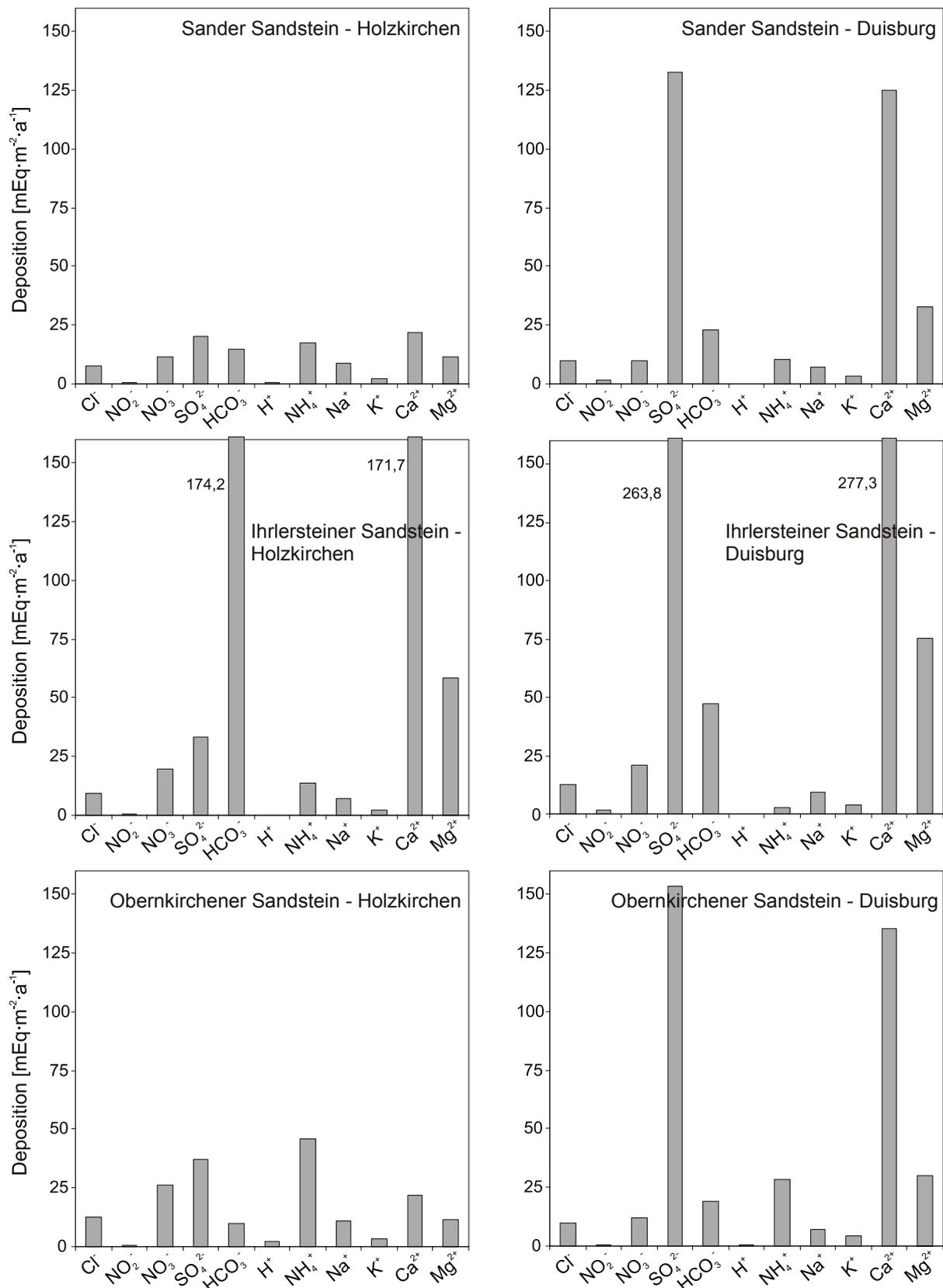


Abb. 5-6: Ionen-Profile der Ablaufwässer ausgewählter Gesteinsexponate in Duisburg und Holzkirchen, kumulative Auswertung der Deposition [mEq·m⁻²·a⁻¹]

5.5.5 Korrosion carbonatischer Sedimentgesteine

Unter den „Denkmalgesteinen“ nehmen die carbonatischen Sedimentgesteine eine Sonderrolle ein, da sie bereits unter natürlichen Umweltbedingungen starker Korrosion unterliegen. Dieser natürliche Prozess wird als Karst-Effekt bezeichnet. Bereits der nicht durch Schadstoffe belastete Regen hat aufgrund seines Gehalts an gelöstem CO_2 einen pH-Wert von etwa 5,6. Die Löslichkeit von Calcit in Regenwasser, das CO_2 in der atmosphärischen Gleichgewichtskonzentration enthält, ist etwa viermal höher als die Löslichkeit in reinem Wasser. Der Lösevorgang ist im oberen Schema der Abbildung 5-7 dargestellt.

Aufgrund anthropogener Einflüsse wird diese natürliche Korrosion überlagert durch den Einfluss sauren Regens (Abb. 5-7, mittleres Schema) und die trockene Deposition von SO_2 , die ebenfalls zur Bildung von freien Protonen führt.

Auf basischen Gesteinen kommen jedoch nicht nur freie Protonen als Quelle für die Calcitauflösung in Frage. Ebenso könnten gebundene Protonen aus undissoziierten organischen Säuren oder aus dem Ammonium freigesetzt werden, die zur Calcitauflösung beitragen.

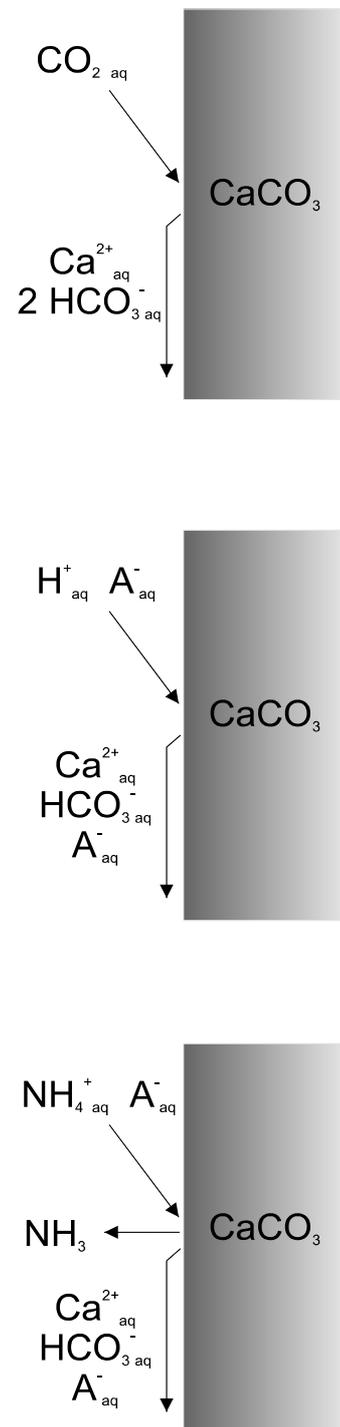


Abb. 5-7: Mechanismen der Korrosion an carbonatischen Gesteinen durch nasse Deposition luftgetragener Schadstoffe

Von STEIGER (2002) wird atmosphärisches Ammonium als Protonenquelle diskutiert. Aufgrund der basischen Eigenschaften carbonatischer Gesteine wirkt Ammonium als Säure (siehe Abbildung 5-7, unteres Schema). Nach der Protonenabgabe wird Ammoniak emittiert, das in der Atmosphäre wieder von sauren Komponenten protoniert werden kann.

Der zweite mögliche Weg ist die biologische Oxidation des Ammoniaks, die sogenannte Nitrifikation (MANSCH und BOCK 1998). Diese führt zur Bildung von zwei Protonen je Ammonium-Ion nach folgender Gleichung:



Für den Prüfkörper aus Auerkalk auf dem Freilandversuchsfeld in Holzkirchen wurden Ionenbilanzen bezüglich der stofflichen Austräge in Ablaufwasser und der Einträge durch Regen bzw. Gesamtdeposition erstellt, um der Frage nachzugehen, in welchem Ausmaß Ammonium zum Abtrag von Calcit beitragen kann. Der Prüfkörper aus Auerkalk bot sich für diese Auswertung an, da aufgrund seiner dichten Struktur davon ausgegangen werden kann, dass das auftreffende Regenwasser vollständig abläuft. Hierdurch konnte auf einen Bezug zum Referenzsammler verzichtet werden. Der Ort Holzkirchen wurde gewählt, da hier aufgrund der ländlichen Struktur der Umgebung tendenziell höhere Ammoniumkonzentrationen vorliegen als in Duisburg, was möglicherweise eine eindeutige Auswertung erleichtert. Ebenso liegen die Schwefeldioxidkonzentrationen deutlich unter denen in Duisburg, so dass die Überlagerung eventuell nur kleiner Effekte des Ammoniums durch sehr große Einflüsse anderer protonenabgebender Spezies in Holzkirchen nicht zu erwarten war.

In der Tabelle 5-9 ist die Deposition (Regen- bzw. Gesamtdepositionssammler) bzw. der Austrag der jeweiligen Ionen in Äquivalentkonzentrationen angegeben, bezogen auf den Zeitraum eines Jahres und auf die Fläche eines Quadratmeters. Es erweist sich, dass die für den Regen- und Gesamtdepositionssammler ermittelten Flüsse für die meisten Ionen weit über den für den Auerkalk ermittelten Flüssen liegen. Berücksichtigt man das Gesamtvolumen der gewonnenen Proben – normiert auf die Fläche –, so entspricht dieses Ergebnis den Erwartungen, da der Regen- und der Gesamtdepositionssammler als Horizontalsammler ein um über eine Größenordnung höheres Volumen aufweisen als die vertikalen Sammlerflächen des Prüfkörpers aus Auerkalk. Eine Ausnahme bilden, ebenfalls erwartungsgemäß, Calcium und Hydrogencarbonat als die wesentlichen Verwitterungsprodukte im Ablaufwasser des Auerkalks. Der gegenüber dem Austrag von Hydrogencarbonat etwa um 5% höhere Austrag von Calcium kann zwei grundsätzliche Ursachen haben. Lediglich bei der Deposition der

sauren Spezies CO_2 und SO_2 liegt kein Gegenion vor, so dass nur hier Calcium und Hydrogencarbonat im Äquivalentverhältnis 1:1 ausgetragen werden. Wirken andere protonenliefernde Spezies wie z.B. HNO_3 oder NH_4^+ auf das Gestein ein, so werden Calcium und Hydrogencarbonat im Äquivalentverhältnis 2:1 ausgetragen (siehe Abb. 5-7). Bildet man nun die Summe der Äquivalente von Hydrogencarbonat und Sulfat, so bleibt noch eine geringe Differenz zu Calcium bestehen, die durch andere Protonenlieferanten verursacht sein könnte. Festzuhalten bleibt aber, dass im Wesentlichen CO_2 und in geringerem Maße SO_2 für die Auflösung des Calcits verantwortlich sind.

Tab. 5-9: Kumulative Auswertung der Regen- und Gesamtdepositionsproben sowie der Ablaufwässer vom Prüfkörper aus Auerkalk; Einträge (Regen, Gesamtdeposition) bzw. Austräge (Auerkalk) der relevanten Ionen bezogen auf einen Jahreszeitraum [$\text{mEq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$]

| | Richt. | Niederschlag [$\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$] | Cl^- | NO_2^- | NO_3^- | SO_4^{2-} | HCO_3^- | H^+ | NH_4^+ | Na^+ | K^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} |
|-----|--------|--|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------|-----------------|---------------|--------------|------------------|------------------|
| AUK | N | 66,6 | 2,1 | 0,1 | 2,8 | 4,6 | 62,4 | 0,0 | 3,3 | 1,30 | 0,4 | 67,3 | 2,1 |
| AUK | O | 48,1 | 1,9 | 0,1 | 2,3 | 6,1 | 56,3 | 0,0 | 3,3 | 1,3 | 0,4 | 63,7 | 1,0 |
| AUK | S | 41,5 | 1,7 | 0,1 | 1,7 | 3,7 | 31,8 | 0,0 | 1,4 | 1,0 | 0,2 | 38,1 | 0,4 |
| AUK | W | 79,6 | 1,7 | 0,1 | 2,7 | 3,7 | 50,6 | 0,0 | 3,3 | 1,4 | 0,3 | 56,7 | 0,5 |
| REG | | 832,8 | 7,9 | 1,2 | 35,2 | 27,1 | 8,4 | 31,4 | 37,4 | 12,9 | 2,0 | 7,7 | 2,3 |
| DEP | | 1144,3 | 16,3 | 9,9 | 49,8 | 49,8 | 37,9 | 36,6 | 106,8 | 22,7 | 10,7 | 21,1 | 7,5 |

Der Calciumüberschuss kann aber auch lediglich dadurch verursacht sein, dass durch Partikel-deposition Calcium auf der Prüfkörperoberfläche abgeschieden wird, das leicht mobilisierbar ist. Hierfür spricht der relativ hohe Calciumgehalt in der Gesamtdeposition. Dagegen steht allerdings, dass in der Gesamtdeposition auch der Hydrogencarbonatgehalt hoch ist, so dass in der Bilanz kein Calciumüberschuss zu erwarten ist.

Für beide Erklärungsansätze gibt es also Anhaltspunkte. Bezüglich der Wirkung von Ammonium als Protonendonator kann man die Aussage treffen, dass im Gegensatz zu den freien Protonen, die offensichtlich vollständig am Calcit umgesetzt werden, das Ammonium allenfalls partiell Protonen abgibt. Für eine weitergehende Aussage ist allerdings die Auswertung der Ionen-Flüsse nicht geeignet.

Es wurden daher die in Tab. 5-9 dargestellten Flüsse durch die in der Tabelle ebenfalls angegebenen Probenvolumina geteilt, wodurch man den Wert für die volumengewichtete mittlere Konzentration der Ionen in den Proben erhält. Die Werte sind in Tab. 5-10 dargestellt. Um den Vergleich der Werte für den Prüfkörper mit denen der Regen- und

Gesamtdepositionsproben zu erleichtern, wurden die richtungsdifferenzierten Werte des Prüfkörpers zu einem Mittelwert zusammengefasst, und durch Differenzbildung jeweils mit den Regen- bzw. den Gesamtdepositionswerten wurde eine Nettokonzentration im Ablaufwasser bestimmt. Die Ergebnisse dieser Auswertung zeigt Tabelle 5-11.

Tab. 5-10: Gewichtete mittlere Konzentrationen der Ionen in den jeweiligen Proben [$\mu\text{Eq}\cdot\text{L}^{-1}$]

| | Richtung | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | H ⁺ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|-----|----------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| AUK | N | 31,9 | 1,3 | 41,6 | 69,1 | 936,6 | 0,03 | 48,9 | 19,5 | 5,3 | 1011,2 | 31,2 |
| AUK | O | 40,3 | 2,4 | 47,7 | 126,7 | 1170,4 | 0,02 | 68,2 | 26,4 | 8,6 | 1323,2 | 20,1 |
| AUK | S | 41,9 | 2,4 | 40,1 | 88,4 | 766,2 | 0,04 | 33,3 | 23,9 | 5,8 | 918,3 | 10,2 |
| AUK | W | 21,2 | 1,4 | 33,9 | 46,3 | 636,0 | 0,04 | 41,2 | 17,9 | 4,1 | 712,0 | 6,7 |
| REG | | 9,5 | 1,5 | 42,3 | 32,5 | 10,1 | 37,7 | 44,9 | 15,5 | 2,4 | 9,2 | 2,8 |
| DEP | | 14,3 | 8,7 | 43,5 | 43,6 | 33,1 | 32,0 | 93,3 | 19,8 | 9,4 | 18,5 | 6,5 |

Die Auswertung weist für das Ammonium keine eindeutige Aussage auf. Da nicht mit Sicherheit entschieden werden kann, wie stark die trockene Deposition im Vergleich zur nas-sen gewichtet ist, ist es nicht möglich, die Frage zu entscheiden, ob Ammonium als Protonen-quelle bei der Auflösung des Calcits eine Rolle spielt. Da die Nettokonzentration im Ablauf-wasser mit dem Bezug zum Regen positiv ist, muss die trockene Deposition hier von Bedeu-tung sein.

Tab. 5-11: Nettokonzentrationen im Ablaufwasser vom Prüfkörper aus Auerkalk [$\mu\text{Eq}\cdot\text{L}^{-1}$]; Bezug: Regen- bzw. Gesamtdepositionsproben

| | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | H ⁺ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|-----|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| REG | 27,9 | -0,7 | 19,4 | 63,6 | 866,5 | -17,4 | 13,4 | 13,1 | 3,0 | 984,3 | 14,7 |
| DEP | 19,6 | -6,8 | -2,7 | 39,1 | 844,2 | -31,9 | -45,4 | 2,1 | -3,4 | 972,7 | 10,5 |

Dies zeigt aber gleichzeitig, wie auch schon aus der kumulativen Auswertung in Tab. 5-9 hervorgeht, dass es keinesfalls zu einer quantitativen Umsetzung von Ammonium kommt. Die Werte in Tab. 5-10 belegen dagegen einen nennenswerten Beitrag des SO₂ zur Gesamtmenge an Sulfat im Ablaufwasser und damit auch zur Calcitauflösung.

5.6 Beprobungen der Gesteinsprüfkörper durch Bohrkernentnahmen

Eine Gesamtbetrachtung der Stoffflüsse an den Prüfkörpern muss die An- und Abreicherungsprozesse in den Gesteinsquadern einschließen. Da für jede Gesteinssorte auf dem Prüffeld zwei Prüfkörper identischer Geometrie ausgebracht wurden, konnten zur Erfassung dieser Prozesse ohne Beschädigung der Ablaufwasserprüfkörper an jeweils anderen Prüfkörper Bohrkernentnahmen entnommen werden. Es wurden jeweils im Zentrum der Seitenflächen Kerne von ca. 10 cm Länge trocken ausgebohrt. Diese wurden der Länge nach aufgesägt, im vorderen Bohrkernbereich in 0,3 cm dicke Segmente und im hinteren Bereich in 0,5 bis 1 cm dicke Scheiben. Diese wurden gemahlen, ein Aliquot eingewogen und eluiert. Die gefundenen Konzentrationen wurden auf die Massenbelastung mg/kg umgerechnet und tiefendifferenziert graphisch aufgetragen.

Aus den Tiefenprofilen der Ionenkonzentrationen in den Bohrkernen wurde danach der Eintrag von Sulfat auf die Fläche errechnet, indem unter Berücksichtigung der Rohdichte des Materials (Daten aus GRIMM 1990) die Belastung über das gesamte Tiefenprofil integriert wurde. Die Flächenbelastungen wurden den flächenbezogenen Sulfatflüssen aus dem Ablaufwasser gegenübergestellt. Die Summe aus der Anreicherung des Sulfats im Gestein und dem Abfluss ergibt dann den flächenbezogenen Gesamteintrag an Sulfat auf den Prüfkörper (Abb. 5-12).

Die Abbildungen 5-8 bis 5-11 zeigen repräsentativ ausgewählte Tiefenprofile von Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein. Für alle Prüfkörper zeigt sich eine Anreicherung von Sulfat und Calcium im Bereich der Oberfläche. Diese Anreicherung liegt aufgrund der geringen Löslichkeit von Calciumsulfat in der Regel im Bereich der ersten Millimeter des Bohrkerns; sie kann allerdings auch geringfügig in den Stein hinein verlagert auftreten. Für die besser löslichen Anteile wie z.B. Nitrat lassen sich keine regelhaften Verteilungen feststellen. Zum Teil tritt ebenfalls eine Anreicherung im Bereich der Oberfläche auf, zum Teil liegen Abreicherungen oder Anreicherungen in tieferen Abschnitten vor. Offensichtlich wirkt sich hier die höhere Mobilität dieser Ionen-Spezies stark aus.

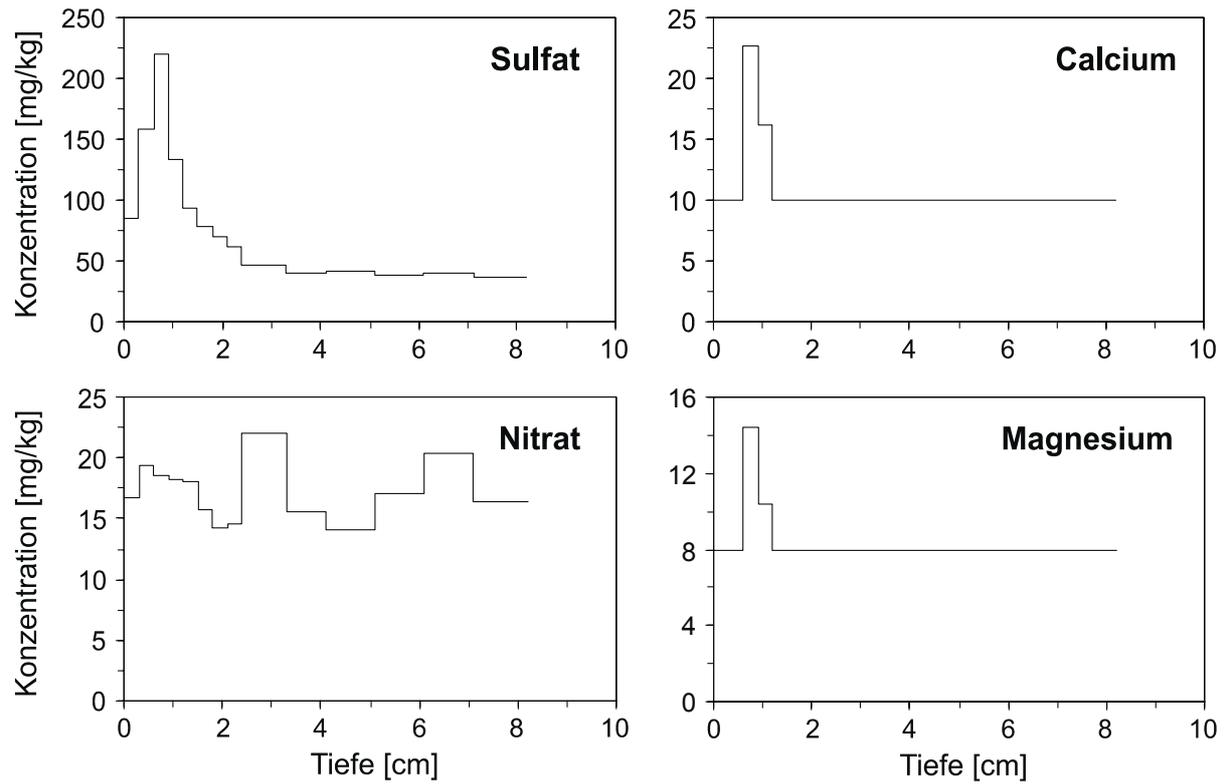


Abb. 5-8: Tiefenprofile der gemessenen Ionenkonzentrationen im Bohrkern Sander Süd

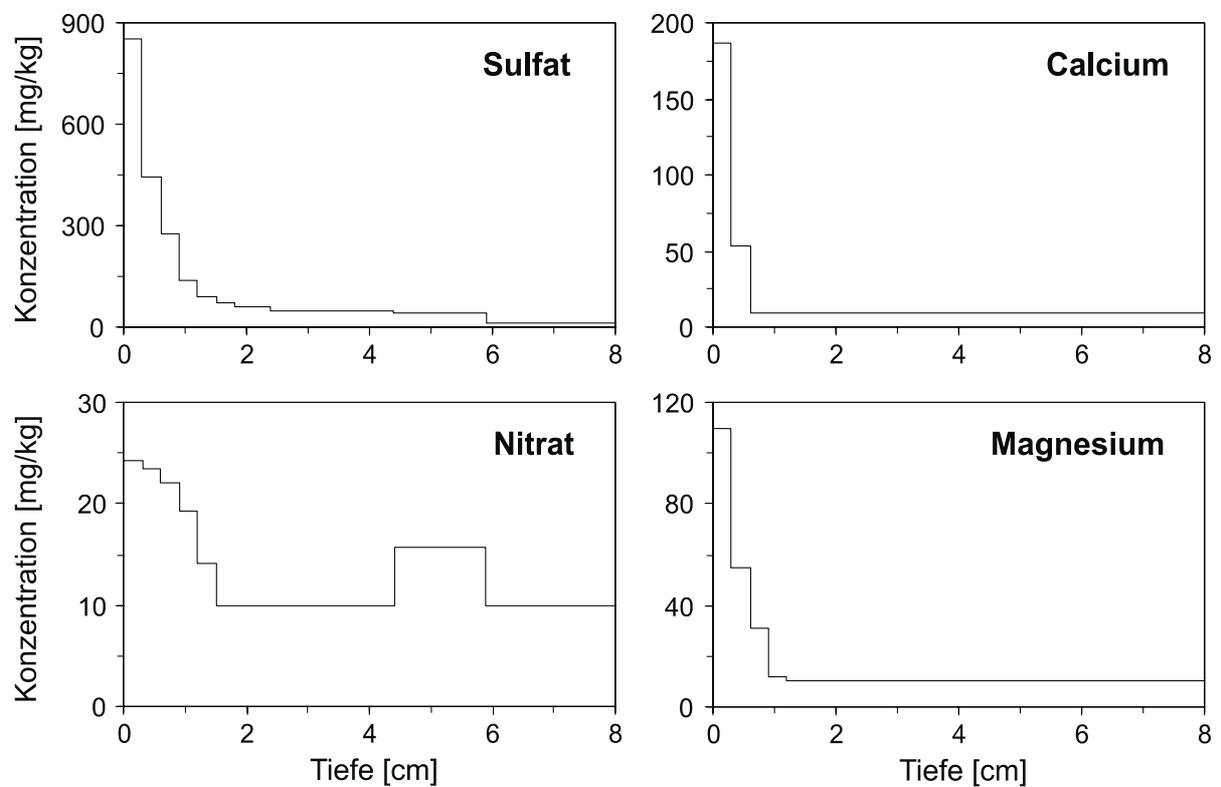


Abb. 5-9: Tiefenprofile der gemessenen Ionenkonzentrationen im Bohrkern Sander West

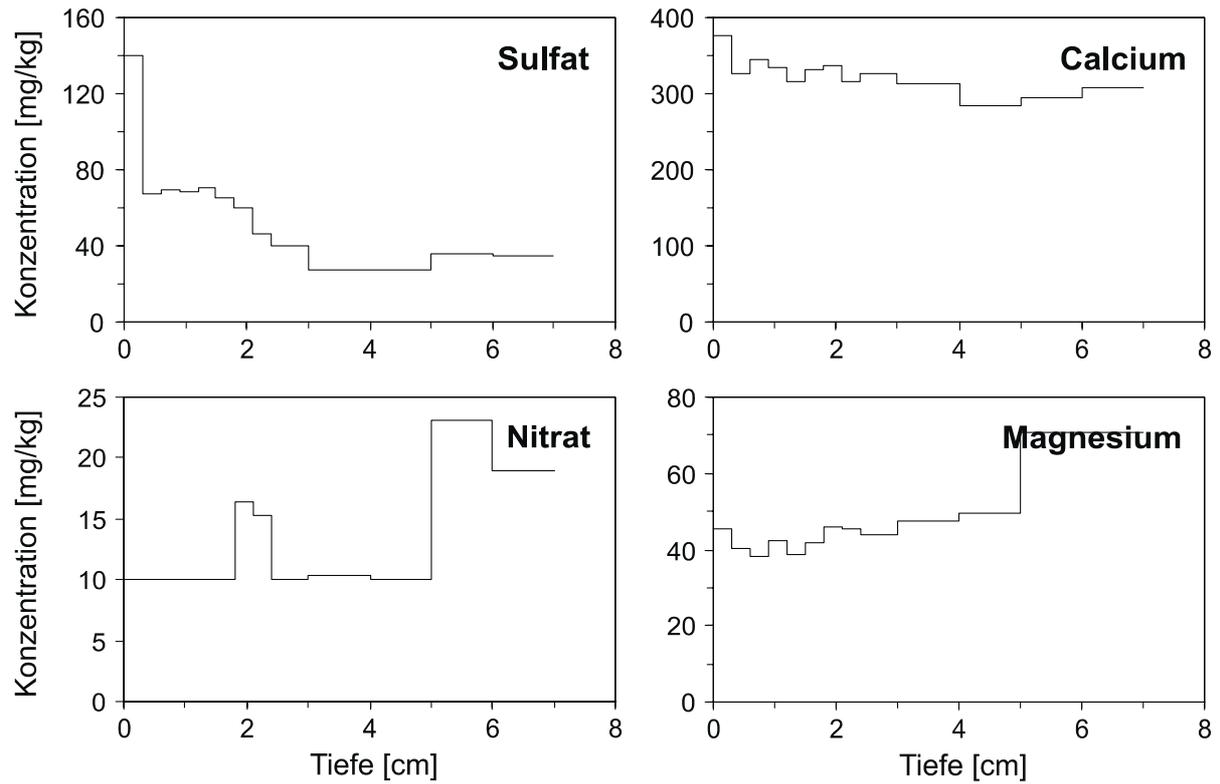


Abb. 5-10: Tiefenprofile der gemessenen Ionenkonzentrationen im Bohrkern Ihlersteiner Süd

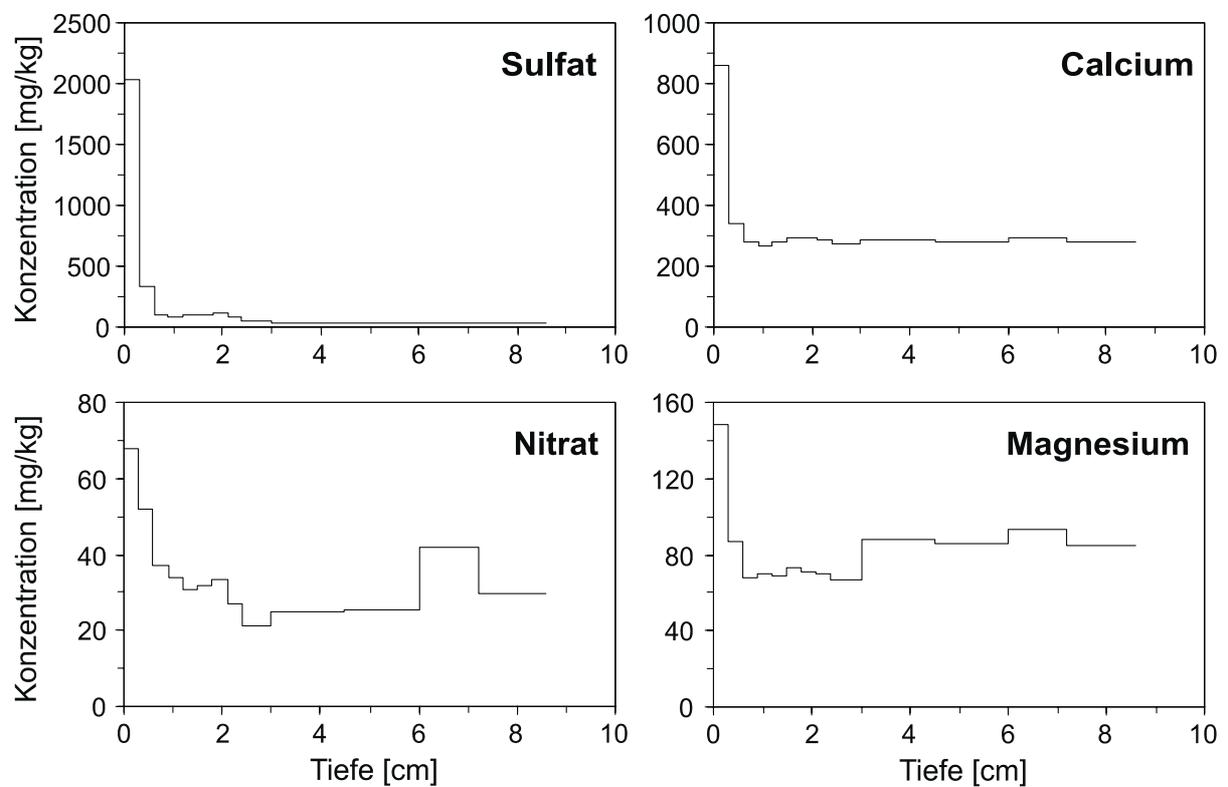


Abb. 5-11: Tiefenprofile der gemessenen Ionenkonzentrationen im Bohrkern Ihlersteiner Ost

Die Bilanzierung der Sulfateinträge über den Ablauf und die Anreicherung im Gestein zeigt für den Expositions-Standort Duisburg für Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein ähnliche Ergebnisse. Die Ost- und Westseite weisen eine gut doppelt so hohe Gesamt-Sulfatdeposition auf wie die Nord- und Südseite. Da angenommen werden kann, dass die trockene Deposition von SO_2 weitgehend richtungsunabhängig ist, müssen diese Unterschiede aus der nassen und der partikulären Deposition stammen.

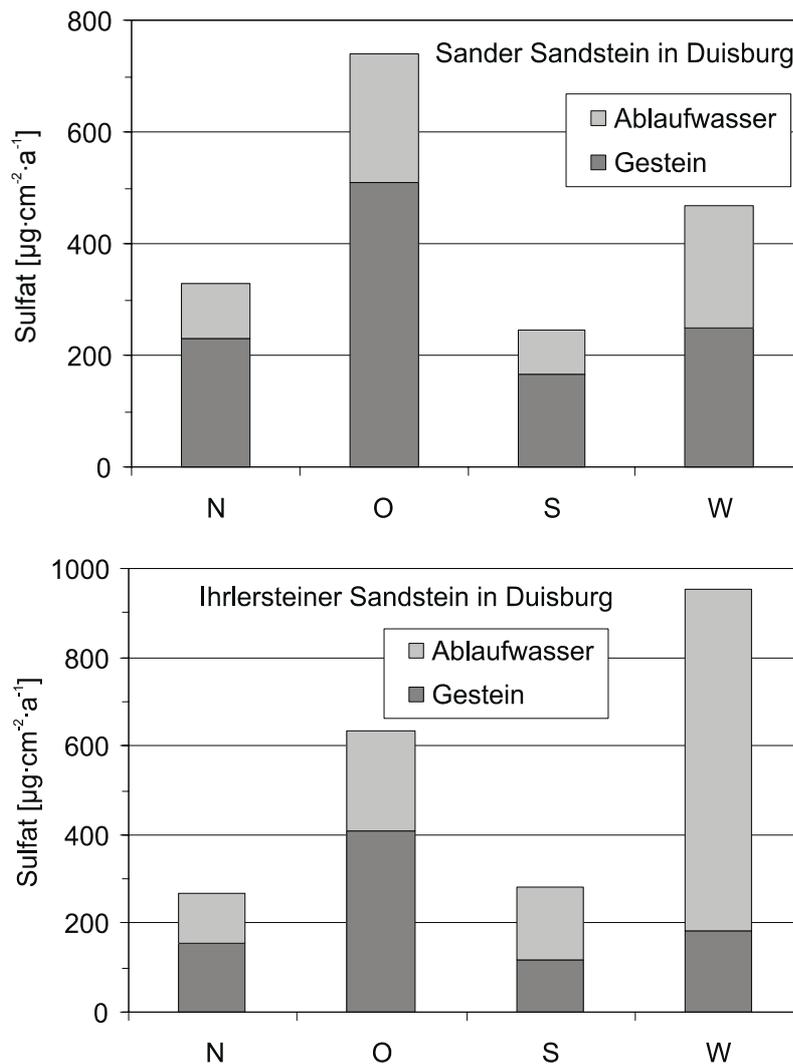


Abb. 5-12: Sulfateinträge an Sander und Ihrlersteiner Sandstein unter Berücksichtigung der Regenrichtung

Im Durchschnitt verbleibt etwa die Hälfte des gesamten deponierten Sulfats im Gestein, die andere Hälfte wird wieder ausgewaschen oder läuft direkt ab. Auffällig ist hier die Westseite des Ihrlersteiner Grünsandsteins. Eine sehr hohe Gesamtdeposition führt hier nur zu einer relativ geringen Anreicherung im Gestein.

Dem im Gestein verbleibenden Sulfatanteil kommt für die Verwitterung des Gesteins eine besondere Bedeutung zu. Neben dem direkten Materialverlust durch die Auflösung strukturbildender Minerale infolge saurer Einträge ist insbesondere die Verwitterung durch die Bildung von Gips mit ihren verschiedenen Verwitterungsphänomenen wie Krusten- und Schalenbildung und anschließend, zum Teil großräumigen Materialverlust nach wie vor eine der wichtigsten Ursachen für die Zerstörung des Mauerwerks historischer Bauwerke (NEUMANN 1994). Die Ablaufwasseruntersuchungen haben gezeigt, dass eine wichtige Quelle für das zur Gipsbildung benötigte Calcium der partikuläre Eintrag auf das Gestein ist. Wie die Ablaufwasseruntersuchungen ebenfalls zeigen, liegt der direkte Materialverlust mit dem ablaufenden Regenwasser am schwach schadstoffbelasteten Standort Holzkirchen in der gleichen Größenordnung wie am stark schadstoffbelasteten Standort Duisburg. Die makroskopisch erkennbaren Schäden an den Prüfkörpern in Duisburg sind aber erheblich größer als in Holzkirchen. Besonders der Ihrlersteiner Grünsandstein wies zum Abschluss der Untersuchungen bereits eine starke Oberflächenrezession auf. Der entscheidende Unterschied zwischen den beiden Standorten ist daher in der Gipsanreicherung in den Gesteinen und den hierdurch auftretenden Folgeprozessen zu sehen. Diese Ergebnisse belegen, dass nur mit einer vollständigen Bilanzierung der Stoffströme durch die Untersuchung der Ablaufwässer und durch die Entnahme und Untersuchung von Bohrkernen eine fundierte Aussage über die Relevanz von Teilprozessen im Verwitterungsgeschehen möglich ist.

5.7 Untersuchungen an schutzmittelbehandelten Gesteinsproben in Duisburg

Im Rahmen der Untersuchungen auf dem Prüffeld Duisburg wurden für einen Zeitraum von etwa einem Jahr je drei Prüfkörper aus Sander Sandstein und aus Ihrlersteiner Grünsandstein ausgebracht, die zum Teil mit Schutzmitteln des Aachener Projekts behandelt wurden. Es wurde jeweils ein bruchfrischer unbehandelter Prüfkörper, ein mit dem Festiger SSS (Steinschutzstoff) 288 behandelter und ein mit dem festigenden Hydrophobierungsmittel SSS (Steinschutzstoff) 219 behandelter Prüfkörper aufgestellt. Die Anordnung der Prüfkörper zeigt der nachfolgende Aufstellungsplan.

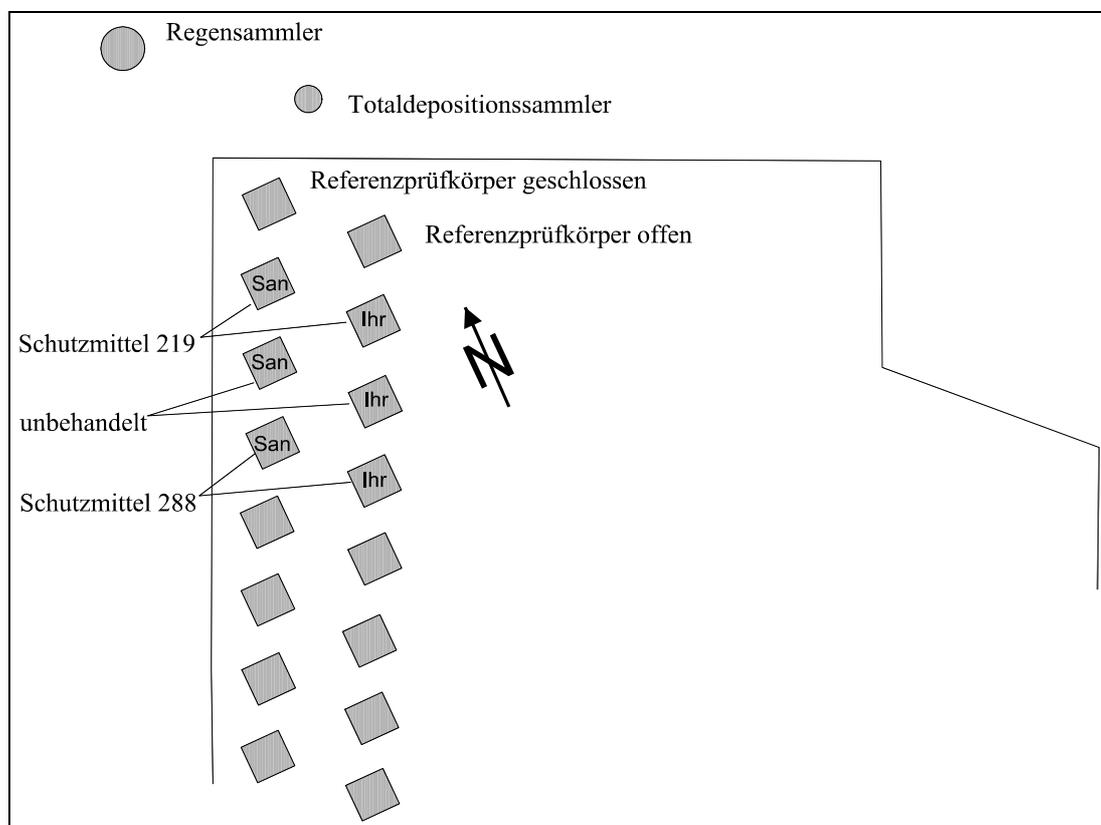


Abb. 5-13: Anordnung der neuen Prüfkörper auf dem Prüffeld Duisburg

Die Gesteinsquader wurden ebenfalls mit Ablaufwassersammlern ausgestattet und über einen Zeitraum von etwa einem Jahr beprobt. Da die Ablaufwassersammelkästen zum Teil sehr ungleichmäßige Abstände zu den Quadern aufwiesen, wurden die Spaltbreiten der Sammlerschlitze mit aufgesetzten PVC-Streifen auf eine gleichmäßige Breite von etwa 0,5 cm gebracht. Als Referenzprüfkörper wurden zwei verschieden konstruierte Polycarbonatkästen eingesetzt. Zum einen wurde der bereits vorher beschriebene Referenzsammler weiter betrieben. Als zweiter Referenzsammler wurde ein oben offener

Polycarbonatkasten verwendet. Dieser wurde eingesetzt, um zu überprüfen, ob eventuell vom Dach des bisher eingesetzten Referenzprüfkörpers ablaufendes Wasser zu erhöhten Ablaufvolumina führt.

Um zu Beginn des Expositionszeitraums Kenntnisse über eventuelle Auswirkungen der Schutzmittelbehandlungen auf den Porenraum der Prüfkörper zu erhalten, wurde auf die Messmethode zur Wasseraufnahme nach KARSTEN zurückgegriffen. Bei dieser Prüfmethode wird ein kreisrundes Glasgefäß mit ringförmig angedrücktem Dichtmaterial am Prüfmaterial (z.B. Gebäudewand) angebracht. An der Oberseite des Glasgefäßes ist ein skaliertes Bürettenrohr angesetzt. Durch dieses wird Wasser in das Gefäß gefüllt. Das nun auftretende kapillare Saugen wird anhand des Sinkens des Meniskus in der Bürette je Zeiteinheit mit Hilfe einer Stoppuhr verfolgt. Der zeitliche Verlauf folgt einem linearen Zusammenhang in Bezug auf die Wurzel der Zeit, wenn sich die Wasserfront im Gestein gleichmäßig in alle Richtungen ausbreitet. Ist dies nicht der Fall und bildet sich beispielsweise ein Hof um das Glasgefäß, so ist dies ein Hinweis auf eine Verdichtung des Gesteins. Die praktische Methodik und die Vorgehensweise bei der Auswertung der erhaltenen Daten werden bei KARSTEN (1997) sowie bei WENDLER und SNETHLAGE (1989), die Frage der Eignung für bestimmte Materialien und Rahmenbedingungen bei KNÖFEL et al. (1995) beschrieben.

Die Tabelle 5-12 zeigt einige ausgewählte Werte für den Wasseraufnahmewert w für in Deutschland als Baumaterial gebräuchliche Sandsteine.

Tab. 5-12: Auswahl typischer Wasseraufnahme-Werte nach SNETHLAGE (1985)

| Sorte | w-Wert [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1/2}$] |
|----------------------------|--|
| Bucher Sandstein | 8,1 |
| Regensburger Grünsandstein | 1,2 |
| Sander Schilfsandstein | 7,8 |
| Obernkirchener Sandstein | 2,4 |
| Burgreppacher Sandstein | 3 |
| Lechbrucker Sandstein | 8,4 |
| Baumberger Sandstein | 2,9 |
| Miltenberger Sandstein | 2,3 |
| Stubensandstein | 2 |
| Udelfanger Sandstein | 15 |

Der Wasseraufnahmekoeffizient w beschreibt im Gültigkeitsbereich des $t^{1/2}$ -Gesetzes des kapillaren Saugvorgangs die Wasseraufnahme gemäß der Gleichung (5-2). Hierin ist $m(\text{H}_2\text{O})$ die auf die Fläche bezogene Wasseraufnahme in der Einheit kg/m^2 . Je höher der w -Wert ist, desto schneller nimmt mithin das poröse Gestein Wasser auf.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = w \cdot t^{1/2} \quad (5-2)$$

Die Prüfung wurde an allen vier Seitenflächen der Gesteinsquader und auf der Oberseite durchgeführt. Aus den Werten wurde ein mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient bestimmt. In Tabelle 5-13 sind die erhaltenen Ergebnisse aufgeführt.

Tab. 5-13: Mittlere w -Werte bei Wasseraufnahmeuntersuchungen nach KARSTEN

| Sorte | w -Wert [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1/2}$] | Bemerkung |
|---------------------------|--|---|
| Sander unbehandelt | 6,6 | |
| Sander mit SSS 288 | – | sofortige Hofbildung |
| Sander mit SSS 219 | 1,5 | |
| Ihrlersteiner unbehandelt | 16,1 | |
| Ihrlersteiner mit SSS 288 | – | sofortige Hofbildung |
| Ihrlersteiner mit SSS 219 | – | sehr geringe Aufnahme, nicht-lineare Funktion |

Der bruchfrische Ihrlersteiner Grünsandstein weist einen gut doppelt so hohen Wasseraufnahmekoeffizienten auf wie der Sander Sandstein. Bei den mit Festiger (SSS 288) behandelten Prüfkörpern dringt das Wasser nicht in den Stein ein, sondern bildet sofort einen Hof. Dies ist ein typisches Verhalten für eine gut benetzbare, verdichtete Oberfläche. Offensichtlich hat die Applikation des Festigers zu einer Verringerung des kapillaren Saugens geführt, was auf ein geringeres Maß an verfügbarem Porenraum schließen lässt. Die hydrophobierten Prüfkörper zeigen eine extrem verringerte Wasseraufnahme. Im Gegensatz zu den gefestigten Oberflächen tritt hier keine Hofbildung auf. Dies entspricht der erwünschten Wirkung der hydrophobierenden Behandlung. Die ausbleibende Hofbildung über eine längere Zeit zeigt die erfolgreiche Herabsetzung der Benetzbarkeit der Oberfläche an. Die geringfügige Wasseraufnahme deutet darauf hin, dass der Porenraum nicht vollständig verschlossen bzw. ausgefüllt wurde, sodass trotz geringer Benetzbarkeit der Gesteinsoberfläche Wasser aufgrund des hydrostatischen Drucks bis zu einem gewissen Grad in den Porenraum eindringen kann.

Ergebnisse der Ablaufwasseruntersuchungen

Die innerhalb des Jahreszeitraums gewonnenen Proben wiesen bezüglich der Verhältnisse der erhaltenen Volumina sehr starke, nicht reproduzierbare Schwankungen auf. Es konnte daher nicht davon ausgegangen werden, dass eine kumulative Auswertung die tatsächlichen Flüsse repräsentiert (siehe Tabellen im Anhang). Diese Probleme wurden darauf zurückgeführt, dass die Sammeleinrichtungen teilweise nicht korrekt an den Prüfkörpern angebracht waren, so dass es zu Minderbefunden infolge von Ablaufwasserverlusten kam. Infolgedessen konnte auch keine Aussage bezüglich der beiden unterschiedlichen Referenzsammler gemacht werden. Es wurde daher auf eine kumulative Auswertung der Daten verzichtet. Da die Wasserverluste die Konzentrationsprofile der Proben nicht verfälscht haben sollten, wurden ersatzweise aus den erhaltenen analytischen Daten volumengewichtete mittlere Konzentrationen berechnet. In Abbildung 5-14 sind die Ergebnisse dieser Auswertung dargestellt.

Die Betrachtung der Ionen-Profile für Regen und Gesamtdeposition weist wiederum aus, dass Calcium, Magnesium, Carbonat und Sulfat zu einem erheblichen Maß über die trockene Deposition eingetragen werden. Noch ausgeprägter ist dies für die beiden Profile der Referenzsammler. Das Konzentrationsniveau ist hier etwa doppelt so hoch wie beim Regen- bzw. Gesamtdepositionssammler. Wie auch bei den vorhergehenden Probenahmeserien mit unbehandelten Prüfkörpern resultieren daraus aber geringere Flüsse. Bei diesen Bezugsproben dominiert im Allgemeinen das Carbonat gegenüber dem Sulfat.

Ein ähnliches Profil wie die Bezugsproben zeigt der unbehandelte Prüfkörper des Sander Sandsteins. Allerdings dominiert hier das Sulfat gegenüber dem Hydrogencarbonat. Es findet also eine verstärkte Deposition von SO_2 statt. Noch stärker ausgeprägt ist dies für den Ihrlersteiner Grünsandstein, der zudem wiederum einen starken Calcitverlust aufweist.

Es zeigt sich, dass für den Ihrlersteiner Grünsandstein zwei deutliche Effekte der Behandlung zu beobachten sind. Sowohl für den mit Festiger behandelten Stein wie auch für den hydrophobierten Stein gehen die Sulfatwerte im Ablaufwasser und damit die SO_2 -Deposition deutlich gegenüber dem unbehandelten Stein zurück. Ebenso vermindert sich der Verlust an Calciumcarbonat signifikant. Der Vergleich mit dem Sander Sandstein zeigt jedoch, dass auch nach der Behandlung der Prüfkörper offensichtlich carbonatisches Material den atmosphärischen Einflüssen zugänglich ist, so dass die Auflösung nicht vollständig unterbunden werden kann. Die Konzentrationsprofile aller Prüfkörper des Ihrlersteiner Grünsandsteins wiesen eine Dominanz des Sulfats gegenüber dem Hydrogencarbonat auf, was auf eine weiterhin basische Gesteinsoberfläche hinweist, die entsprechend zu einer verstärkten SO_2 -Deposition

führt. Die Behandlung des Sander Sandsteins weist keine vergleichbar starken Effekte auf, wie die des Ihrlersteiner Grünsandsteins. Die Unterschiede der Profile bewegen sich weitgehend unterhalb der Signifikanzschwelle. Lediglich für den hydrophobierten Prüfkörper wird eine Dominanz des Hydrogencarbonats gegenüber dem Sulfat gefunden. Dies deutet darauf hin, dass die Hydrophobierung zumindest teilweise zu einer Unterbindung der SO_2 -Deposition führt.

Die Ergebnisse der einjährigen Untersuchungsreihe belegen, dass die entwickelten Stein-
schutzmittel bezüglich ihrer Rezeptur, ihrer Eignung für bestimmte Gesteine und bezüglich der optimalen Applikation am Gestein überprüft und gegebenenfalls verbessert werden müssen. Die Applikation des Steinfestigers auf dem Gestein führt zu einer verringerten Wasser- und Schadstoffaufnahme. Dies wird auf eine Verdichtung der Oberfläche und auf die Überdeckung des Mineralbestands durch die abgeschiedene Kieselsäure zurückgeführt. Für weitergehende Aussagen sind längere Probenahmezeiträume mit einer verbesserten Zuverlässigkeit der Probenahmearrichtungen erforderlich.

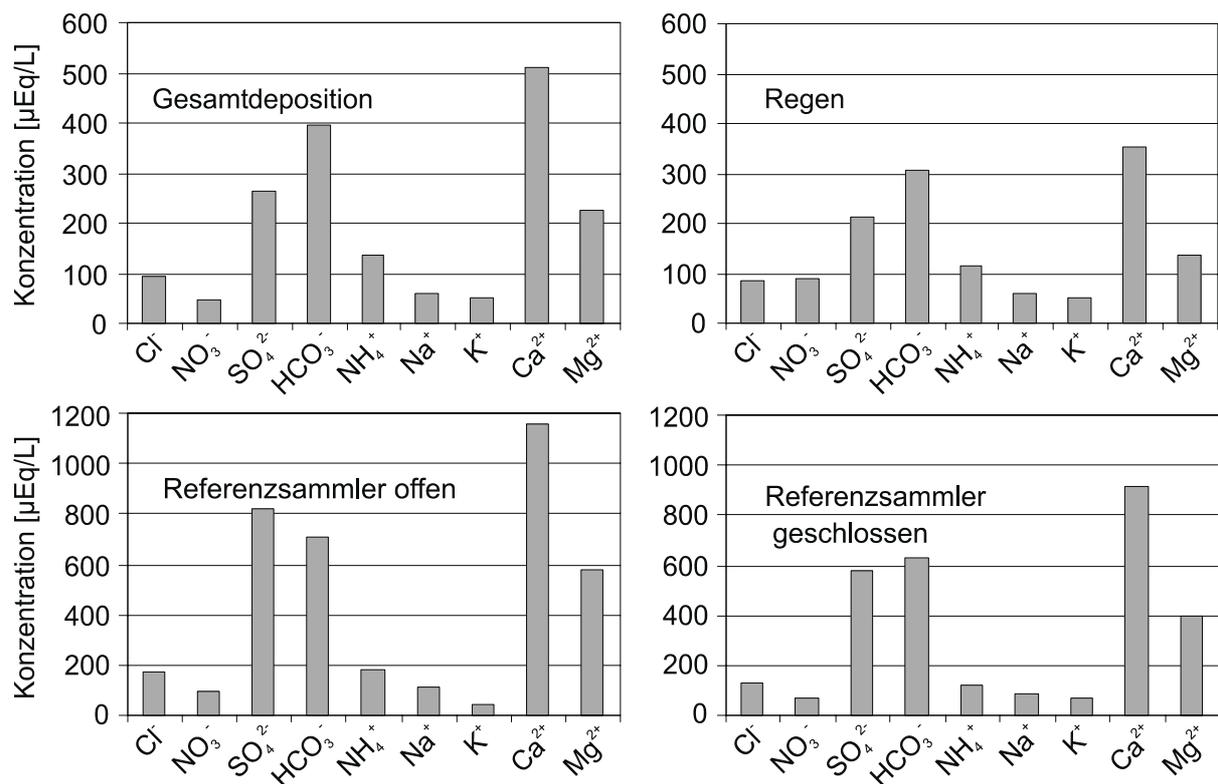


Abb. 5-14: Volumengewichtete mittlere Ionen-Konzentrationen der Ablaufwässer an schutzmittelbehandelten und unbehandelten Gesteinsprüfkörpern auf dem Prüffeld Duisburg; SSS 288: Festiger, SSS 219: Hydrophobierungsmittel

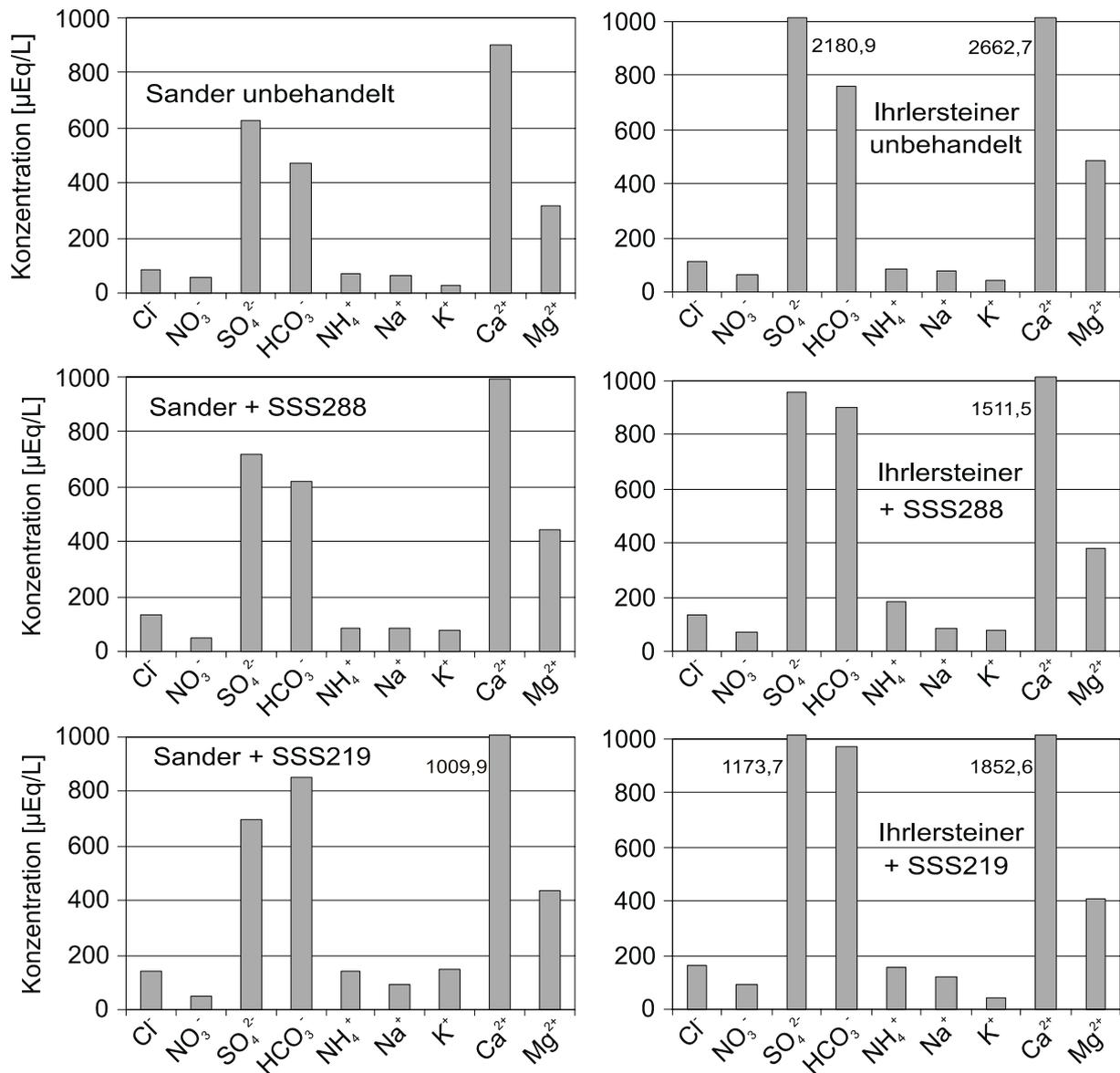


Abb. 5-14 (Fortsetzung): Volumengewichtete mittlere Ionen-Konzentrationen der Ablaufwässer an schutzmittelbehandelten und unbehandelten Gesteinsprüfkörpern auf dem Prüffeld Duisburg; SSS 288: Festiger, SSS 219: Hydrophobierungsmittel

5.8 Untersuchungen des Schlagregen-Ablaufs am Gebäude

Die Probenahme von Ablaufwässern an Prüfkörpern ist geeignet, unter kontrollierten Bedingungen grundsätzliche Informationen über Gesteinsmaterialien und Umwelteinwirkungen zu erhalten. In der Praxis hat man es im Allgemeinen mit bereits erheblich vorbewitterten, ausgedehnten Flächen zu tun, deren Schädigungszustand räumlich stark variiert. Um im konkreten Fall detailliertere Informationen zu erhalten, war es sinnvoll, die Ablaufwasserprobenahme direkt am Bauwerk durchzuführen.

Bei der Probenahme von Schlagregenablaufwässern am Gebäude ist zunächst im Gegensatz zu einer solchen an Prüfkörpern die beprobte Fläche nicht definiert. Zudem sind die aerodynamischen Verhältnisse am Gebäude erheblich komplexer als an einem Prüfkörper begrenzter Größe, so dass mit den üblichen Referenzsammlern, die in einiger Entfernung vom Probenahmeort aufgestellt werden müssten, die Verhältnisse am Gebäude nur ungenügend abgebildet würden. Um dennoch eine äquivalente Beprobung einer Wandfläche und eine aussagefähige Referenzprobe zu erhalten, musste eine neue Sammelvorrichtung entwickelt werden.

Als Bauwerk wurde im Rahmen des Projekts das Pilotobjekt St. Laurentii-Kirche in Süderende/Föhr ausgewählt. Hier handelt es sich um ein Ziegelgebäude, das aufgrund des Standortes starkem Seesalzeinfluss unterliegt. Die Grundlage der Sammelvorrichtung bildet der Ablaufwassersammler, wie er auch an den Prüfkörpern eingesetzt wurde. Die Probenahmefläche am Gebäude wurde durch einen Rahmen aus Polyacryl begrenzt, der an der Wand befestigt und gegen die Wand mit Silikonmaterial abgedichtet wurde.

Der Rahmen ist innen zusätzlich mit einer zwei Zentimeter breiten Kante aus Polyacryl versehen, um einen Einfluss außenliegender Flächen oder des vom Rahmen ablaufenden Wassers zu vermeiden. Die Referenzprobenahme wurde entsprechend konstruiert und mit einer Rückwand aus Polyacryl ausgestattet, so dass eine äquivalente Beprobungsfläche aus Polyacryl zur Verfügung stand. Die Konstruktion der Sammler und ihre Anbringung am Gebäude sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

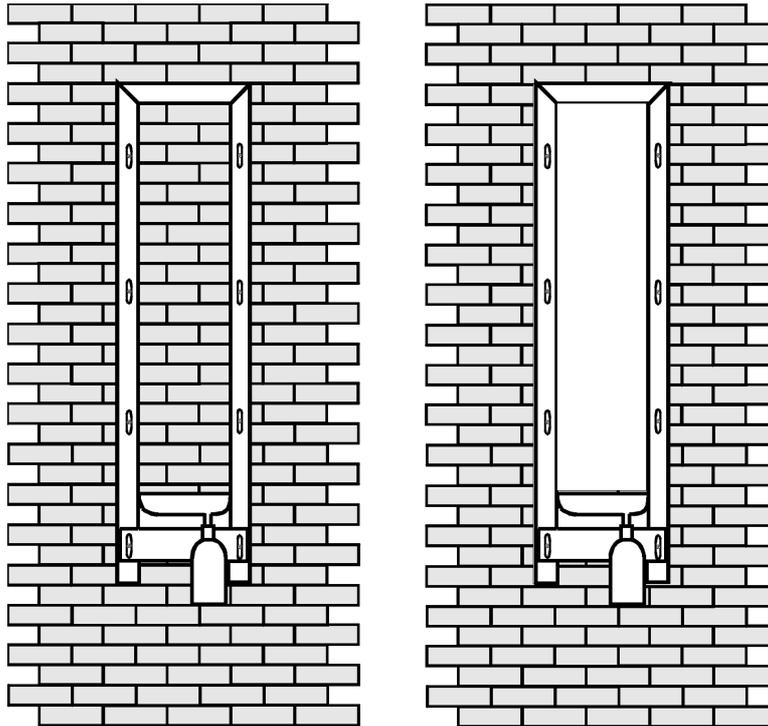


Abb. 5-15: Bauschema der Ablaufwassersammler an der St. Laurentii-Kirche in Süderende/Föhr



Abb. 5-16: Anbringung der Ablaufwassersammler an der St. Laurentii-Kirche in Süderende; Regendach für Ziegel-Plättchen zur Untersuchung der trockenen Deposition

Die Sammler wurden an der Südseite des Gebäudes in ca. 4 m Höhe angebracht und über einen Zeitraum von 16 Monaten genutzt. Aufgrund von Verunreinigungen der Proben durch Fremdeinwirkung mussten zwei Beprobungszeiträume aus der Auswertung herausgenommen werden. Es wurden 6 Probenpaare erhalten, die einen Zeitraum von 309 Tagen abdeckten. Diese Proben wurden analog zu den Ablaufwasserproben von den Prüffeldern filtriert und auf die Anionen Chlorid, Nitrat, Sulfat (mit Ionenchromatographie) und die Kationen Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium (mittels ICP-AES bzw. F-AES) sowie den pH-Wert und Hydrogencarbonat (potentiometrische Titration) untersucht.

Aus den erhaltenen Volumina des Gesamtdepositionssammlers wurde eine Jahresniederschlagsrate von 35 mm bestimmt. Das entspricht weniger als 5% des Gesamtniederschlags auf eine horizontale Fläche für diesen Standort. Der Ablaufwassersammler sammelte im gleichen Zeitraum ca. 30% des Volumens des Gesamtdepositionssammlers. Aus den analytischen Daten wurde die Gesamtdeposition der einzelnen Spezies kumulativ ausgewertet und mit dem Austrag durch das ablaufende Wasser verglichen. Diese Auswertung ist in der Abbildung 5-17 dargestellt.

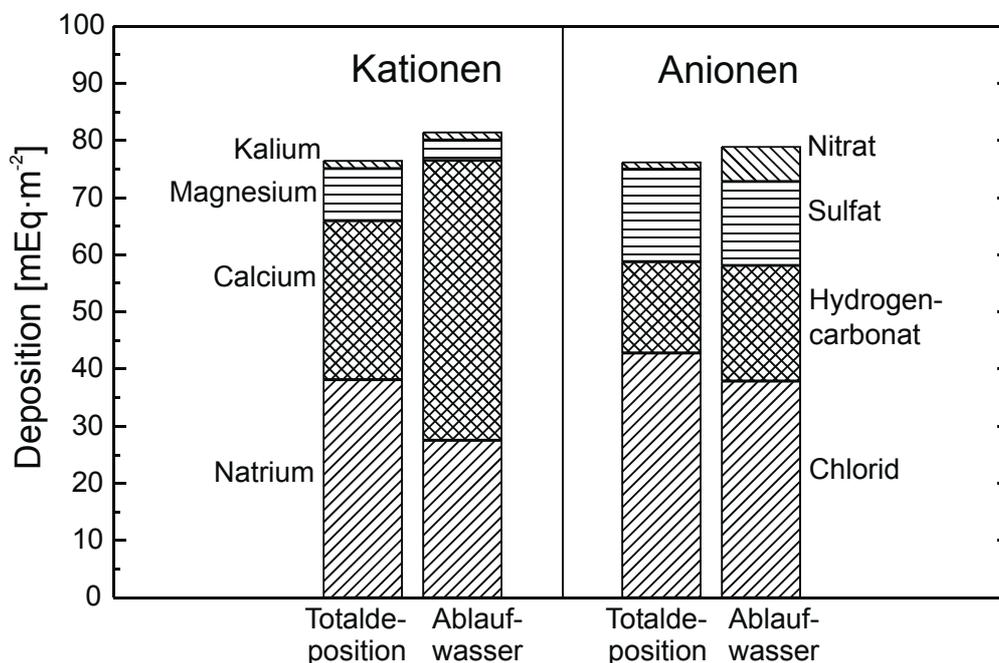


Abb. 5-17: Kumulative Werte der Gesamtdeposition und des Ablaufwassers in Süderende

Es fällt auf, dass der Gesamteintrag und der Gesamtaustrag in Ionenäquivalenten etwa gleich groß sind. Der Nettoeintrag an Salzen in das Gebäude durch nasse Deposition bzw. trockene Deposition von Partikeln ist damit vernachlässigbar, wenn man davon ausgeht, dass die Referenzfläche sich hierbei ähnlich wie die Ziegelwand verhält. Unberücksichtigt bleibt hier allerdings die trockene Deposition von Gasen wie SO_2 , HNO_3 etc. Für die einzelnen Ionen sind Ein- und Austrag deutlich unterschiedlich. Die Salzzusammensetzung der Gesamtdepositionsproben weist auf einen starken Seesalzbeitrag hin. Das Chlorid/Natrium-Verhältnis von 1,12 und das Na/Mg-Verhältnis von 4,18 bezogen auf die Äquivalentkonzentrationen entspricht in etwa den Verhältnissen in Seewasser von 1,16 und 4,40. Die Gesamtdepositionsproben enthalten weiterhin relativ hohe Konzentrationen an Calcium und Hydrogencarbonat, was auf einen starken Beitrag der trockenen Deposition calciumhaltiger Verbindungen hindeutet. Dies ist auch für den relativ hohen pH-Wert von 7 verantwortlich.

Das Ablaufwasser weist eine hohe Anreicherung an Calcium gegenüber den anderen Ionen auf. Quelle hierfür können aus dem Fugenmörtel gelöstes Calcit und auch von der Oberfläche abgewaschener Gips sein, der vorher durch die Reaktion des trocken deponierten Schwefeldioxids mit dem Calcit gebildet wurde. Ähnliches wurde bereits für carbonatische Gesteine in den Ablaufwasserexperimenten auf dem Prüffeld Duisburg gefunden. Für die Ionen Chlorid, Natrium, Kalium und Magnesium übersteigt die Gesamtdeposition den Austrag durch ablaufendes Wasser.

An der Südseite des Gebäudes wurden Bohrkerne entnommen, um mögliche Salzanreicherungen im Mauerwerk zu ermitteln. Es wurden relativ niedrige mittlere Konzentrationen für Chlorid und Natrium von etwa 0,015 Gewichtsprozent und 0,012 Gewichtsprozent gefunden. Aufgrund der jahrhundertelangen Exposition der Ziegelwand des Gebäudes an einem wenig geschützten küstennahen Standort scheinen diese Werte sehr niedrig. Zur Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse wurde daher anhand des Chlorids als Indikator für Seesalz versucht, die Ergebnisse des Ablaufwasserexperiments und der Bohrkernbeprobung zu vergleichen. Anhand der Dicke der Wand von etwa 1,1 m und einer geschätzten Dichte des Mauerwerks von $1,8 \text{ g/cm}^3$ wurde aus den Bohrkerndaten eine Flächenbelastung von 300 g/cm^2 errechnet.

Der aus dem Ablaufwasserexperiment berechnete Chlorid-Nettoeintrag auf das Gebäude ist nur sehr gering. Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Sammler in einer Höhe von etwa 4 m angebracht waren. Es ist daher anzunehmen, dass ein großer Teil des ablaufenden Wassers auf einer Ablaufstrecke von 4 m wieder vom Mauerwerk aufgenommen wird. Der

Nettoeffekt ist dann abhängig von der vertikalen Variabilität des Schlagregens. Für eine Abschätzung des tatsächlichen Netto-Eintrags wurden hier als Grenzfälle die unkorrigierte Gesamtdeposition und die Differenz aus Gesamtdeposition und Ablauf herangezogen. Für diese Grenzfälle wurde der Zeitraum berechnet, der benötigt wird, um die ermittelte Flächenbelastung von 300 g/m^2 zu erreichen. Die berechneten Expositionszeiten betragen 165 bzw. 1430 Jahre. Das tatsächliche Alter des Gebäudes beträgt etwa 750 Jahre. Dies kann natürlich nur eine grobe Abschätzung sein, aber die errechneten Werte deuten darauf hin, dass die Gesamtdeposition aus Regeneintrag und trockener partikulärer Deposition für den Salzgehalt des Mauerwerks verantwortlich ist.

Parallel zu den Ablaufwassersammlern wurde die trockene Deposition am Bauwerk mit regengeschützt angebrachten Ziegelplättchen mit den Maßen $5 \cdot 5 \cdot 0,5 \text{ cm}^3$ untersucht (siehe Abbildung 5-15). Diese wurden über den gleichen Zeitraum an allen vier Seiten des Gebäudes exponiert. Die Salzanreicherung in den Plättchen wurde durch Elution der Plättchen und anschließende Analyse des Eluats ermittelt. Die folgende Tabelle zeigt die Anreicherung für die Anionen Chlorid, Nitrat und Sulfat. Die Werte stellen Mittelwerte (MW) aus Untersuchungen von jeweils 12 Plättchen dar.

Tab. 5-14: Trockene Deposition in $\text{mEq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$

| Windrichtung | MW Chlorid | MW Nitrat | MW Sulfat |
|--------------|------------|-----------|-----------|
| N | 0,36 | 0,03 | 2,90 |
| O | 0,18 | 0,02 | 2,24 |
| S | 0,28 | 0,02 | 2,44 |
| W | 0,22 | 0,03 | 2,32 |

Die Werte zeigen eine relativ ähnliche Situation der trockenen Deposition für alle vier Himmelsrichtungen, wenn man berücksichtigt, dass die aerodynamischen Verhältnisse an den vier Anbringungsorten sehr unterschiedlich waren. Aufgrund der verschachtelten Bauweise des Gebäudes können die Positionen nicht als absolut gleichwertig angesehen werden.

Der auf der Südseite gefundene Chlorid-Wert von $0,28 \text{ meq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ bedeutet für einen Zeitraum von 309 Tagen (Zeitraum der Ablaufwasseruntersuchungen) eine kumulative Deposition von $86,5 \text{ meq/m}^2$. Dieser Wert liegt etwa doppelt so hoch wie der für die Gesamtdeposition mit dem Ablaufwassersammler gefundene Wert. Der höhere Chloridwert deutet darauf hin, dass der Eintrag an Chlorid durch den Gesamtdepositionssammler unterbewertet wird. Möglicherweise ist die Beschaffenheit der Kunststoffoberfläche des Sammlers aufgrund der fehlenden Rauigkeit und Porosität sowie eventuell der

elektrostatischen Eigenschaften in Bezug auf die Partikeldeposition deutlich anders als die der Ziegelwand. Da die Chlorid-deposition partikelgebunden ist, muss man aber davon ausgehen, dass die auftretenden Fehler durch die verschiedenen aerodynamischen Verhältnisse an den Anbringorten der Regendächer relativ groß sind.

Auffällig ist auch der Sulfatwert, der für die Südseite, bezogen auf einen Zeitraum von 309 Tagen, einer Deposition von 753 meq/m^2 entspricht. Die Gesamt-Schwefeldeposition (Sulfat bzw. SO_2) ist also – abweichend von den im Ablaufwasserexperiment gefundenen Verhältnissen – wesentlich höher als die Chlorid-Deposition.

Im Licht dieser Ergebnisse muss die Interpretation der Ablaufwasserwerte modifiziert werden, selbst wenn man berücksichtigt, dass die Windverhältnisse unter den Windschutzdächern anders sind als an der freien Wandfläche. Offensichtlich stammt ein großer Teil des Sulfats aus der trockenen Deposition von gasförmigem SO_2 . Dieses deponiert auf der inerten, nichtporösen Polycarbonat-Oberfläche des Referenzsammlers nicht in gleichem Maße wie auf Ziegelmateriale bzw. insbesondere dem basischen Mörtel. Der geringe Austrag von Sulfat aus dem Mauerwerk mit ablaufendem Wasser bedeutet damit eine erhebliche Nettodeposition von Sulfat.

Für die Deposition von Schwefeldioxid spricht auch ein Vergleich der Werte des Referenzsammlers mit Depositionsdaten von dem vergleichbaren Standort Westerland auf Sylt, die von BEYER und STEIGER (2002) aus vom Umweltbundesamt ermittelten Regendaten berechnet wurden. Für den Vergleich wurde die mit dem Referenzsammler ermittelte kumulative Gesamtdeposition der Ionenäquivalente ($\text{meq}\cdot\text{m}^{-2}$, Abb. 5-16) auf die Massendeposition für einen Jahreszeitraum umgerechnet (Angabe in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$).

Die Tabelle 5-12 zeigt für die Ionen Natrium, Chlorid und Sulfat den Vergleich der Gesamtdeposition auf die Gebäudewand in Süderende mit der nassen Deposition in Westerland. Zunächst wird deutlich, dass bereits die nasse Deposition auf eine horizontale Fläche in diesem Fall etwa um den Faktor 5 höher ist als die Gesamtdeposition auf die vertikale Fläche. Dies wird plausibel, wenn man die flächenbezogenen Niederschläge betrachtet. Hier ist der Unterschied noch erheblich größer. Berücksichtigt man, dass durch die Probenahmetechnik die Verdunstungsverluste am Referenzsammler relativ hoch sind und dass die Konzentrationen in den Referenzsammlerproben aufgrund der Miteinbeziehung der trockenen Deposition bereits höher sind, dann liegen die Werte in einer plausiblen Größenordnung.

Tab. 5-15: Nasse Deposition in Westerland (Regensammler, ereignisabhängig) nach BEYER und STEIGER (2002) und Gesamtdeposition auf die Gebäudewand (Referenzsammler) in Süderende in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$

| | Niederschlag [mm/a] | Natrium | Chlorid | Sulfat-S |
|--|--------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Süderende | 35 | 1037 | 1794 | 305 |
| Westerland | 659 | 5039 | 9289 | 1025 |
| Quotient Westerland/Süderende | 18,8 | 4,86 | 5,18 | 3,35 |

Der Quotient für die Sulfatdeposition ist nun deutlich geringer als für Natrium und Chlorid. Das bedeutet, dass hier die trockene Deposition von SO_2 einen erheblichen Anteil an der Gesamt-Schwefel-Deposition auf den Referenzsammler hat. Es ist davon auszugehen, dass die Deposition von SO_2 auf die teilweise basische Oberfläche des Mauerwerks ein noch stärkeres Gewicht im Bezug auf die Gesamt-Schwefel-Deposition hat.

Die in Süderende zur Anwendung gebrachte neuartige Probenahmevorrichtung hat sich für die bilanzierende Untersuchung von Stoffflüssen an der Gebäudewand bewährt. Zusammen mit flankierenden Probenahmen wie der Untersuchung der trockenen Deposition auf Prüfkörper sowie der Bohrkernentnahme liefert sie viele wertvolle Informationen über die den Schadensprozessen am Bauwerk zu Grunde liegenden stofflichen Ein- und Austräge. Diese Konzeption ließe sich in Zukunft in sinnvoller Weise noch ergänzen um die Erfassung der Immissionskonzentrationen von Schadgasen in unmittelbarer Gebäudenähe.

6. Untersuchungen des Einflusses von Salzen und Schutzmittelbehandlungen auf physikalische Eigenschaften der Baustoffe

6.1 Experimente zur Dilatation von Prüfkörpern

6.1.1 Volumenänderung von Baustoffen unter dem Einfluss von Temperatur- und Feuchtewechseln

Unter dem Einfluss von Temperaturänderungen und durch Einwirkung von flüssigem Wasser bzw. Wasserdampf zeigen mineralische Baustoffe ein unterschiedlich ausgeprägtes Dehnungs- und Schrumpfungsverhalten. Ursächlich hierfür sind verschiedene Mechanismen. Die makroskopisch beobachtbare thermische Ausdehnung der porösen Materialien folgt weitgehend dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Kornmaterialien. Allerdings kann gerade bei Natursteinen aufgrund von Anisotropien, die durch die geologische Schichtung entstanden sind, das Dehnungsverhalten für verschiedene Vorzugsrichtungen unterschiedlich sein. Dies gilt entsprechend auch für die hygrische und hygroskopische Dehnung. Für die Dehnung und Schrumpfung unter Feuchtewechseln sind unterschiedliche Mechanismen verantwortlich. Das ausgeprägteste Quellverhalten zeigen tonmineralhaltige Gesteine. Sie lagern in den Tonmineralien Wasser ein, was zu einer Aufweitung der Schichtabstände in den Mineralphasen führt. Aber auch Gesteine mit rein quarzitischem Bindemittel zeigen eine gewisse Dehnung unter Feuchteinfluss. Eine genaue Kenntnis der für dieses Phänomen verantwortlichen Mechanismen gibt es bisher nicht.

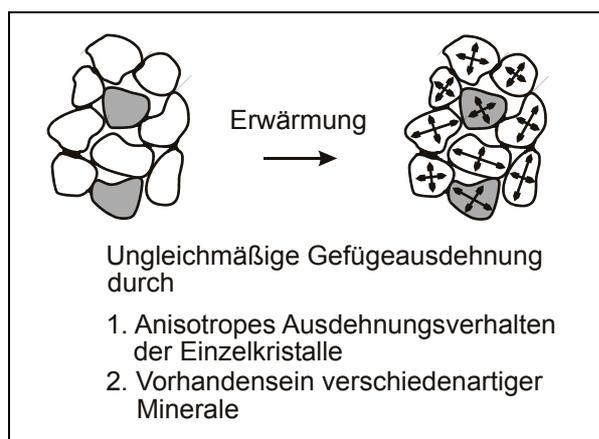


Abb. 6-1: Thermische Gefügeausdehnung durch Ausdehnung der Einzelkristalle (nach SCHIESSL und ALFES 1990)

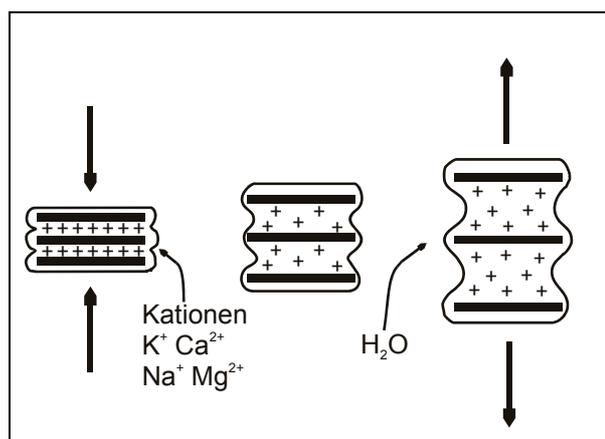


Abb. 6-2: Wirkung von Salz bzw. Wasser auf Tonmineralien (nach SNETHLAGE 1990)

In den Tabellen 6-1 und 6-2 wird ein Überblick über typische Dehnungsmesswerte unter hygri-scher bzw. thermischer Beanspruchung gegeben.

Tab. 6-1: Literaturwerte zur Dehnung von Natursteinen unter Feuchteinfluss

| Gestein | Art der Beanspruchung | Dehnung [mm/m] |
|---|------------------------------------|---------------------------|
| Kalkstein | Wassersättigung, Zyklen | 0,004 ^{a)} |
| Kalkstein | Gipslösung, Zyklen | 0,3 ^{a)} |
| Tuff | Wassersättigung, Zyklen | 0,037 ^{a)} |
| Tuff | Gipslösung, Zyklen | 1,2 ^{a)} |
| Granit | Wassersättigung, Zyklen | 0 ^{a)} |
| Granit, div. | Gipslösung, Zyklen | 0,06 - 1,3 ^{a)} |
| Sandsteine, div., Schweizer Plateau | Wassersättigung | 0,64 - 2,34 ^{b)} |
| | Behandlung mit Steinfestigern | 0,4 - 1,95 (Kontraktion) |
| | Wassersättigung nach Festigung | 0,88 - 2,38 |
| Seifenstein, Brasilien | Wassersättigung | 0,3 - 2,3 ^{c)} |
| Sander Sandstein | Feuchtewechsel (35 - 90% rF) | 0,4 ^{d)} |
| Sander Sandstein | Wassersättigung | 0,9 - 1,2 ^{d)} |
| Sander Sandstein | Gipslösung (Gipsfällung im Gefüge) | 7 ^{e)} |
| Schilfsandstein unverwittert (Schloss Schillingsfürst) | Wassersättigung | 4 - 5 ^{f)} |
| Schilfsandstein verwittert (Schloss Schillingsfürst) | Wassersättigung | 2 - 3 ^{f)} |
| Burgsandstein | Wassersättigung | ca. 2,5 ^{g)} |
| Brittener Buntsandstein | 0 bis 52% rF | 0,05 - 0,2 ^{h)} |
| | 52 - 70% rF | 0,03 - 0,15 |
| | 52 - 95% rF | 0,05 - 0,35 |
| Sandsteine, div. | Wassersättigung | 0,1 - 4 ⁱ⁾ |
| Granit | Wassersättigung | 0,04 - 0,9 ⁱ⁾ |
| Marmor | Wassersättigung | 0,1 - 0,25 ⁱ⁾ |
| Sandstein (Angkor Vat) | Wassersättigung | 0,5 - 3 ^{k)} |

a): PRICK (1995), b): FELIX (1995), c): V. PLEHWE-LEISEN *et al.* (1994 a), d): WENDLER *et al.* (1990), e): SNETHLAGE *et al.* (1994), f): WENDLER und SATTLER (1992), g): KIRCHNER und WORCH (1993), h): RUPP (1993), i): WEISS (1992), k): LEISEN *et al.* (1996)

In der Tabelle 6-2 sind einige typische Werte für die thermische Dehnung von Natursteinen aufgeführt.

Tab. 6-2: Literaturwerte zur thermischen Dehnung von ausgewählten Sandsteinen (WEISS 1992); getrocknete Prüfkörper

| Gestein | Art der Beanspruchung | Dehnung [$\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] |
|-----------------------|------------------------------|---|
| Lindlarer Grauwacke | Temperaturgang -30 bis +20°C | 10,6 |
| Lossburger Sandstein | Temperaturgang -30 bis +20°C | 10,9 |
| Seedorfer Sandstein | Temperaturgang -30 bis +20°C | 11,3 |
| Heilbronner Sandstein | Temperaturgang -30 bis +20°C | 9,5 |
| Velpker Sandstein 1 | Temperaturgang -30 bis +20°C | 11,7 |
| Velpker Sandstein 2 | Temperaturgang -30 bis +20°C | 13,2 |

Die Quelleigenschaften können durch die Anwesenheit von Salzen in hohem Maß verändert werden (SCHUH 1987, RUPP 1993). Hierdurch können auch Gesteine mit primär vernachlässigbarer Dehnung starke Dehnungen unter Feuchteinfluss aufweisen. Dabei wird von den meisten Autoren eine Dehnung des Materials bei der Trocknung beobachtet (WENDLER und RÜCKERT-THÜMLING 1992, KIRCHNER und WORCH 1993). Dies wird auf den Kristallisationsdruck der Salze auf den Kornverband zurückgeführt, der zu einer Aufweitung der Kornabstände führt. Es wird jedoch auch der gegenteilige Effekt gefunden, dass bei hoher Feuchte eine verstärkte Dehnung des salzbelasteten Materials beobachtet wird (RUPP 1993). Verantwortlich für diesen Effekt ist in erster Linie sicherlich, dass durch die erhöhte Hygroskopizität der Wassergehalt im Porenraum erhöht wird.

Die unterschiedlichen Befunde der Autoren sind aber vermutlich auch auf die unterschiedlichen verwendeten Salze, die bei den Versuchskonzepten stark variierenden Salzkonzentrationen - z.B. bei Mehrfachtränkungen - oder auf die abweichenden Vorgehensweisen bei der Trocknung von Proben in den Gesteinen zurückzuführen. Insbesondere bei der schnellen Trocknung im Ofen bei hohen Temperaturen ist davon auszugehen, dass ein hoher Kristallisationsdruck entsteht. Ein Beispiel für eine Vorgehensweise dieser Art ist der Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat nach DIN 52111, an den sich viele Dehnungsexperimente anlehnen (FITZNER und KALDE 1991, KIRCHNER und WORCH 1993, WEISS 1992).

Eine solche Herangehensweise ist allerdings für die Verhältnisse am Bauwerk nicht realistisch und kann allenfalls mit dem Argument des Zeitraffers, also einer Schnellsimulation eines langen Schadensprozesses gerechtfertigt werden. Es ist allerdings dennoch zu bezweifeln, dass so tatsächlich ablaufende Prozesse abgebildet werden. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit mit relativen Feuchten von mindestens 45% gearbeitet, eine Feuchte, die unter normalen klimatischen Bedingungen in Deutschland und Mitteleuropa selten unterschritten wird.

Zyklische Veränderungen der Feuchte an Bauwerken führen zu einer Belastung der Kornkontakte innerhalb des Baumaterials, die über längere Zeiträume zu irreversiblen Aufweiten der Kornbindungen führen kann. Insbesondere bei einer inhomogenen Verteilung von Feuchte und/oder Salzgehalt treten innerhalb eines Materials Spannungen auf, entlang derer sich Schwächungszonen im Baustoff bilden können, die z.B. zur Bildung von Schalen führen (WENDLER 1991; NEUMANN 1994).

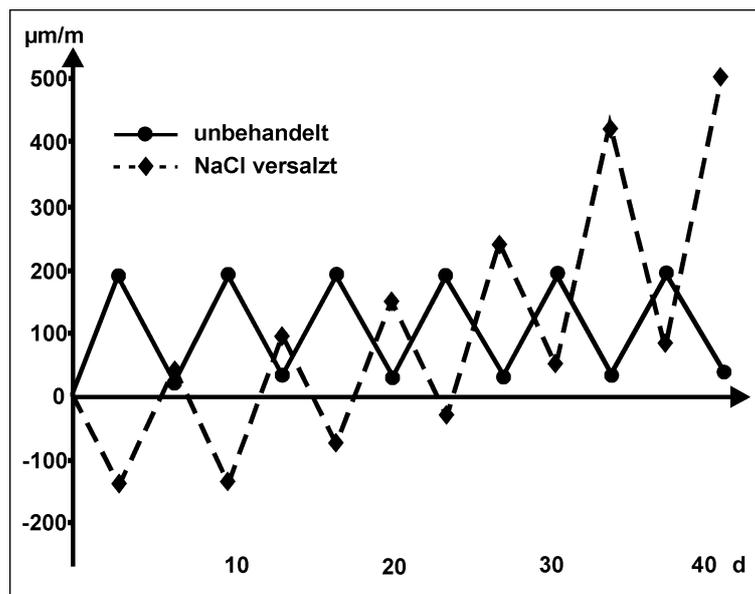


Abb. 6-3: Irreversible Dehnung von Sander Schilfsandstein unter Salzeinfluss bei zyklischer Feuchteänderung (aus WENDLER und RÜCKERT-THÜMLING 1992), Feuchtebereich 34 bis 38% bzw. 80 bis 91% rF

Da Schutzmittelbehandlungen auf den Wasserhaushalt eines Baustoffs Einfluss nehmen, ist ihre Wirkung in Bezug auf die hygrische und hygroscopische Dehnung des Baustoffs ein wichtiges Kriterium für die erfolgreiche Anwendung. Daher wurden sowohl bruchfrische als auch schutzmittelbehandelte Proben unter wechselnden Bedingungen der Luftfeuchte bzw. aufsteigender Nässe untersucht. Für die Untersuchung von Feuchtezyklen an Baumaterial

wurde auf flankenversiegelte Prüfkörper mit offenen Stirnflächen zurückgegriffen. An diesen können die Verhältnisse eines Wandsegments in einem Bauwerk gut simuliert werden.

6.1.2 Möglichkeiten der Dilatationsmessung

Für die Messung thermischer oder hygri-scher Dehnungs- und Schrumpfungsvorgänge gibt es verschiedene experimentelle Ansätze. Diese lassen sich im Wesentlichen in zwei Gruppen einteilen:

- Messverfahren, die die Dehnung eines Materials über die Volumenausdehnung eines Prüfkörpers in einer oder mehreren Messrichtungen erfassen. Zu diesen Verfahren gehört das klassische Verfahren der Dehnungsmessung mit Messuhren an nicht zu ausgedehnten Prüfkörpern (DIN 52450, PRICK 1995).
- Messverfahren, die an Materialoberflächen Dehnungsvorgänge erfassen. Zu diesen Verfahren gehören die Messung mit Dehnungsmessstreifen (MÖLLER *et al.* 1992, RIECKEN und SASSE 1998) und induktiven Wegaufnehmern (MÖLLER *et al.* 1992, KIRCHNER und WORCH 1993). Diese Verfahren können sowohl an Gebäuden als auch an Prüfkörpern zur Anwendung kommen.

Ein Spezialfall der Oberflächenmessverfahren ist die laseroptische Interferenzmessung, mit der sich auch komplexe Oberflächenveränderungen aufnehmen lassen (siehe z.B. GÜLKER *et al.* 1992, GÜLKER 1993). Diese ist allerdings sehr aufwendig und nur für Spezialanwendungen geeignet.

6.1.3 Messung der Dilatation von Prüfkörpern

Die Dehnungsmessung mit mechanischen Wegaufnehmern (Dehnungsmessuhr) hat gegenüber anderen Methoden den Vorteil, dass für fast jede Geometrie und Größe eines Prüfkörpers die Messanordnung entsprechend angepasst werden kann. Dies bot sich für die vorliegenden Untersuchungen an, da mit sehr unterschiedlichen Probenzuschnitten experimentiert wurde. Zudem wird hier eine Dehnung über den gesamten Prüfkörper gemessen, was ein tatsächliches Abbild über die Vorgänge im Inneren eines Objekts liefert, während das Arbeiten mit Dehnungsmessstreifen nur Veränderungen an den Oberflächen der Prüfkörper erfasst. Die in der Abbildung 6-4 dargestellte Messanordnung hat nur schematischen Charakter. Für den jeweiligen Zweck wurden verschiedene Halterungen konzipiert, die in den einzelnen Unterkapiteln näher beschrieben werden. Für eine kontinuierliche Datenerfassung bei der Dehnungsmessung wurden Messuhren der Firma MAHR mit einer seriellen Schnittstelle verwendet, deren Messwerte mit einem PC erfasst wurden.

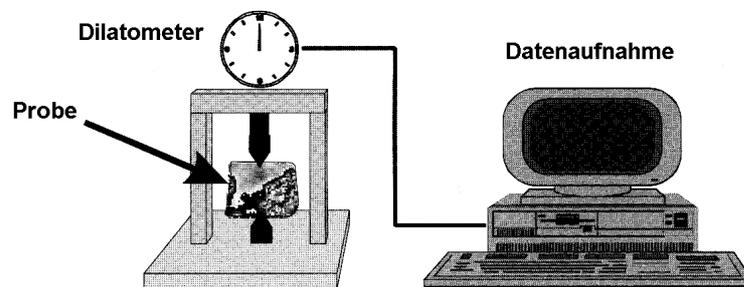


Abb. 6-4: Schematische Darstellung der verwendeten Dilatations-Messvorrichtung

Vorversuche

Zunächst wurden für die Gesteinsarten Sander Sandstein und Ihrlerssteiner Grünsandstein hygri-sche Dehnungen an 30 cm langen bruchfrischen Stäben bestimmt, um ihre Eignung für Dehnungsmessungen an kleineren Proben zu prüfen, und um festzustellen, ob man von einem relativ homogenen Verhalten des Probenmaterials ausgehen kann. Die Stäbe wurden in einer etwa 40 cm hohen Metallkonstruktion aufrecht stehend über die gesamte Länge gemessen. Gehalten wurden sie über seitlich angebrachte verstellbare Winkeleisen. Die gesamte

Konstruktion wurde in ein geeignet konstruiertes Becken gestellt und mit Wasser geflutet. Es wurde bis zur Konstanz der Dehnung gemessen (Abbildung 6-5). Zur Überprüfung der vollständigen Durchtränkung der Prüfkörper wurden nach dem Experiment stichprobenweise Prüfkörper aufgesägt.

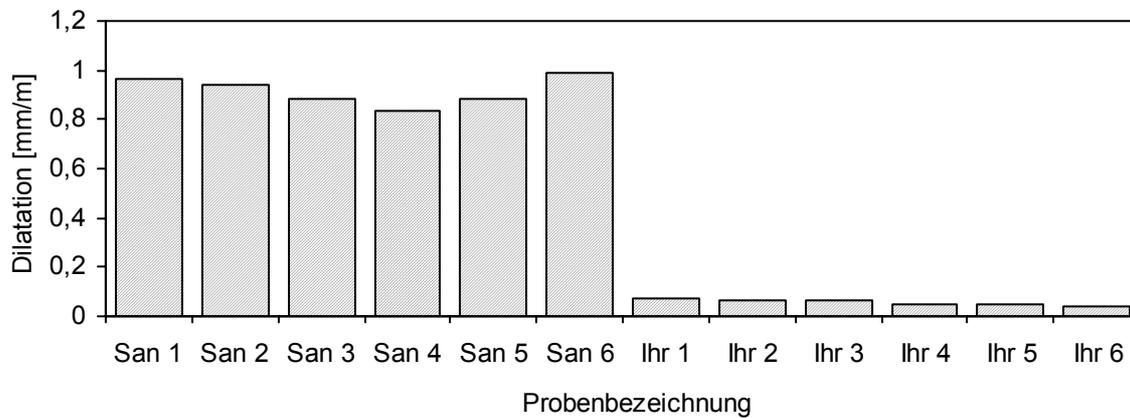


Abb. 6-5: Hygrische Dehnung von Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein, Stablänge jeweils 30 cm

Die Vorversuche zeigen ein sehr homogenes Verhalten für beide Gesteine, was sich allerdings in den weiteren Experimenten so nicht bestätigte. Der Ihrlersteiner Grünsandstein zeigt nur eine geringe hygrische Dehnung, daher wurde zunächst bei den weiteren Experimenten vorwiegend auf den Sander Sandstein zurückgegriffen.

Tiefenabhängige Messungen an ausgedehnten Prüfkörpern

Um ein realistisches Abbild der Verhältnisse am Gebäude zu erzielen, wurden Dehnungsmessungen an flankenversiegelten, 10 cm langen Stäben durchgeführt, deren offene Stirnflächen eine Gebäudehülle repräsentierten, die im Austausch mit der Umgebung unterschiedlichen Luftfeuchten ausgesetzt ist. Die Dehnungsmessungen wurden in einer geschlossenen Kammer durchgeführt, in der verschiedene konstante Luftfeuchten mit Hilfe von gesättigten Salzlösungen und einer Luftumwälzung eingestellt werden konnten. Die Handhabung und Messung der Proben in der Kammer erfolgte nach Art einer Glovebox über Handschuhe, die dicht mit der Kammerwand verbunden waren.

Vor Beginn der Messungen wurde das Flankenversiegelungsmaterial (Epoxidharz) auf seine Eigendehnung hin überprüft. Hierzu wurde die Dehnung eines Kunstharzblocks aus diesem Material bei einem Wechsel von 50% zu 84% relativer Feuchte gemessen. Das Material zeigte auch nach mehrwöchiger Exposition nur eine vernachlässigbare Dehnung.

Zur Messung wurden die Proben auf einer Schlittenkonstruktion befestigt und unter der Messuhr vorbeigeführt. Es wurden jeweils drei gleich behandelte Proben vermessen. Die Vorbehandlung der Proben erfolgte durch Tränkung einer Stirnfläche des Prüfkörpers unter Nutzung des kapillaren Saugens. Hierzu wurde der Prüfkörper aufrecht in eine mit der Tränkungsflüssigkeit gefüllte Schale gestellt. Die Tränkungsflüssigkeit bestand aus 1-molarer Natriumchloridlösung bzw. aus *Funcosil H*. Die Tiefe der Tränkung konnte am Prüfkörper optisch verfolgt werden. Sie lag sowohl bei der Salzlösung als auch beim Schutzmittel bei ca. 1 cm. Nach der erfolgten Tränkung wurden die Proben ca. 1 Woche bei 50% relativer Feuchte gelagert. Diejenigen versalzten Proben, die für eine Schutzmittelbehandlung vorgesehen waren, wurden nun mit Schutzmittel getränkt und ebenfalls unter 50% relativer Feuchte in der Kammer gelagert. Nach einer Anfangsmessung, die nach einigen Tagen noch einmal zur Überprüfung der Konstanz wiederholt wurde, wurde die Feuchte in der Kammer auf 84% eingestellt. Die Messungen wurden nun bis zur Konstanz der Messwerte fortgesetzt. Nun wurde die Feuchte wieder auf 50% eingestellt und bis zur Rückkehr zum Ausgangswert gemessen. Die für die drei Prüfkörper erhaltenen Daten wurden gemittelt. Abb. 6-6 zeigt die Messpunkte auf den Prüfkörpern, Abb. 6-7 die Dilatationswerte der Messzyklen.

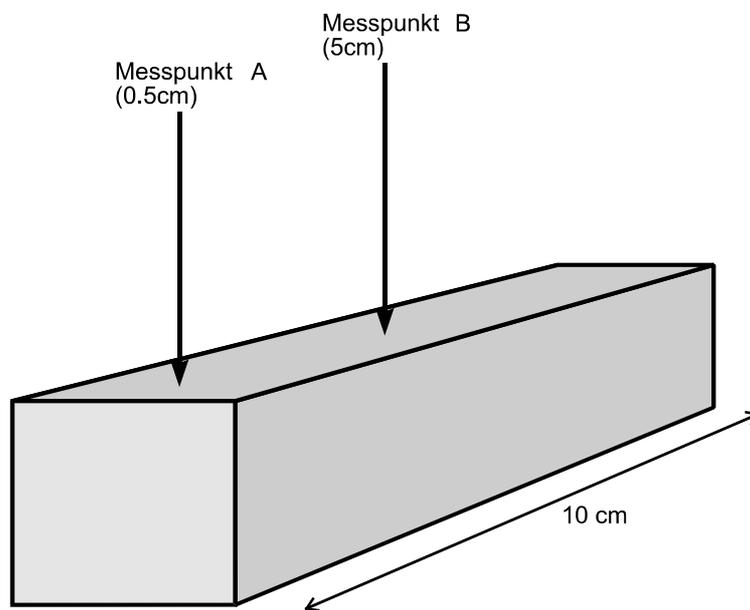


Abb. 6-6: Messpunkte auf den flankenversiegelten Stäben

Die Messergebnisse in 0,5 cm Abstand von der offenen Stirnfläche zeigen, dass die verschiedenen Behandlungen auf die absolute Dehnung des Materials nur geringen Einfluss haben. Negative Werte in den Graphiken sind Artefakte, die auf die Messanordnung zurückzuführen sind. Auch die Zeitdauer bis zum Erreichen der maximalen Dehnung ist vergleichbar. Es ist also davon auszugehen, dass sowohl der Salzeinfluss als auch die Schutzmittelbehandlung bei hygroskopischer Dehnung nur geringe Auswirkungen haben. Auffällige Unterschiede gibt es dagegen in 5 cm Abstand von der Stirnfläche. Hier wirkt sich ganz offensichtlich die unterschiedliche Füllung des Porenraums aus. Die mit Salz behandelten und noch stärker die mit Salz und Schutzmittel behandelten Proben zeigen, dass im Inneren des Materials, in einer Zone, die mit hoher Wahrscheinlichkeit außerhalb des getränkten Bereichs liegt, die maximale Dehnung nicht mehr erreicht wird. Es ist davon auszugehen, dass das Vordringen der Feuchte sowohl durch die Füllung des Porenraums als auch durch die Feuchtebindung des Salzes stark behindert wird.

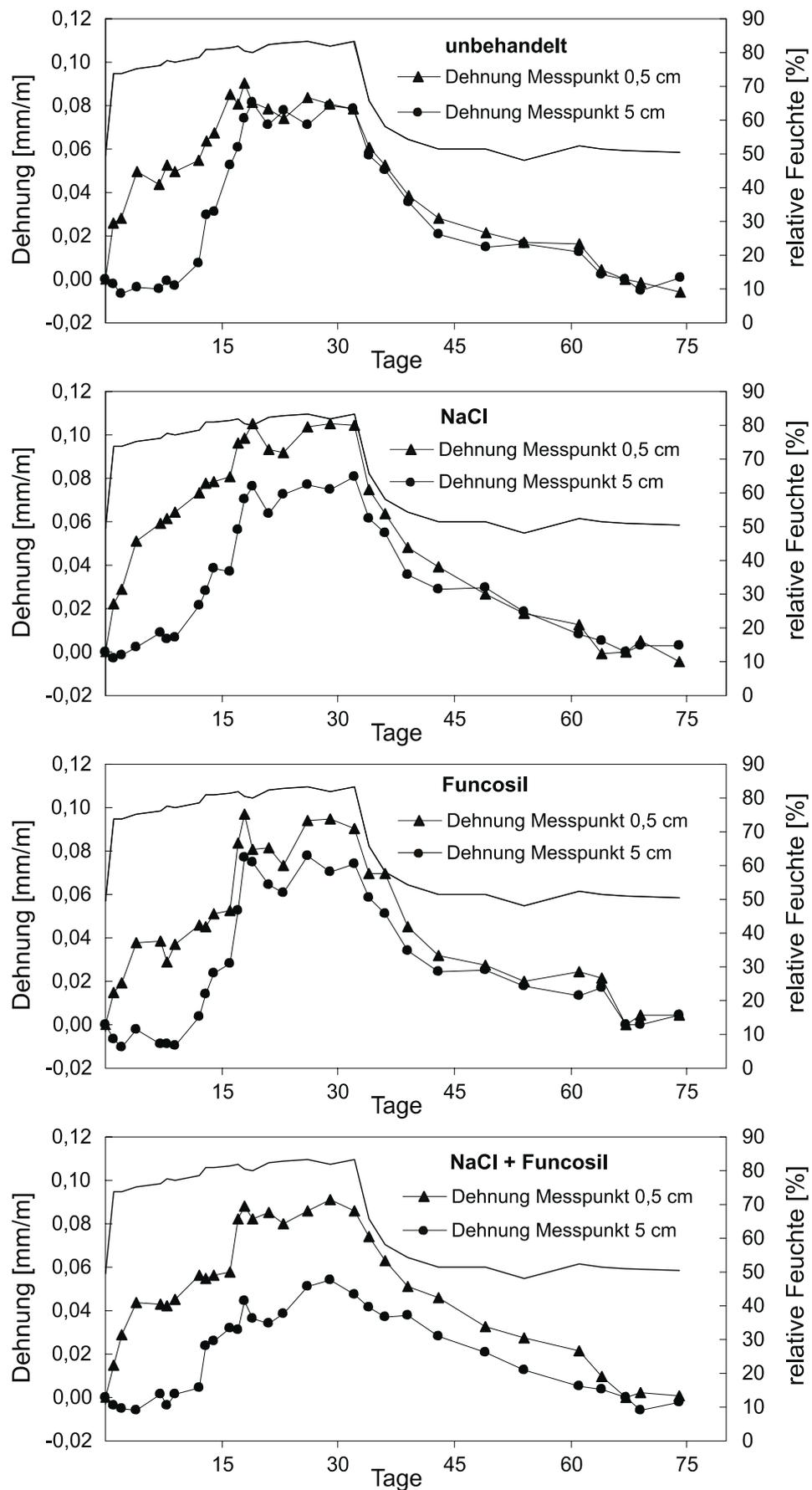


Abb. 6-7: Dehnungsmessungen an flankenversiegelten Gesteinsstäben bei einem einmaligen Feuchtezyklus (50% → 84% → 50% r.F.), Dehnung in 0,5 und 5 cm Abstand von der Stirnfläche

Da der Zeitbedarf für einen Feuchtezyklus bei 67 Tagen lag, war davon auszugehen, dass bis zum Erreichen irreversibler Phänomene ein sehr großer Zeitraum benötigt werden würde. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und der Unwägbarkeiten einer Weiterführung des Experiments wurde entschieden, andere Strategien zur Ermittlung der Dilatationsprozesse zu erproben.

Messungen an Plättchen

Um schnell Informationen über das Dilatationsverhalten eines Materials zu bekommen, bietet es sich an, Proben zu verwenden, die rasch vollständig zu einem Gleichgewicht mit der Umgebungsfeuchte gelangen. Da im Rahmen der Depositionsversuche bereits Gesteinsplättchen der Maße $5 \cdot 5 \cdot 0,5 \text{ cm}^3$ verwendet wurden, konnte auf diese Probenabmessungen zurückgegriffen werden. Es wurde eine Halterung konstruiert, in der mit Hilfe einer Metallklammer die Proben aufrecht stehend vermessen werden konnten (siehe Abb. 6-8). Ein weiterer Vorteil der Plättchen liegt auch im geringen Zeitbedarf bei der Applikation von Salzen und Schutzmitteln. Dies ermöglicht zudem, eine einzelne Probe jeweils unbehandelt und behandelt zu vermessen, anders als bei Proben größerer Dicke, bei denen aus Zeitgründen verschiedene Prüfkörper parallel untersucht werden müssen. Diese Möglichkeit erwies sich für die Bewertung der Ergebnisse als sehr nützlich.

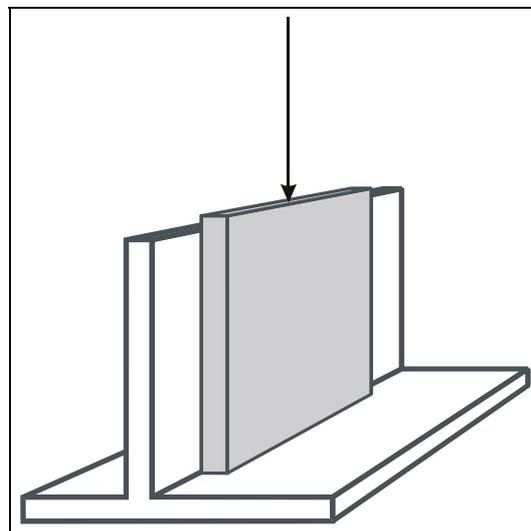


Abb. 6-8: Schema der Messanordnung mit Gesteinsplättchen

Zunächst wurde die Dehnung von Sander Sandstein unter dem Einfluss von Salzen untersucht. Vor der Behandlung der Proben wurde deren hygroskopische Dehnung bei einem Wechsel von 45 auf 84% relativer Feuchte bestimmt. Dann wurde jeweils eine Serie von Plättchen mit 1-molarer Natriumchloridlösung, 1-molarer Natriumnitratlösung bzw. 1-molarer

Natriumsulfatlösung getränkt bis zur völligen Durchdringung der Probe mit Lösung. Die Proben wurden abgetupft und bei 45% relativer Luftfeuchte bis zur Gewichtskonstanz gelagert. Durch Mehrfachmessungen der Ausdehnung der Probe wurde sichergestellt, dass keine Längenänderung infolge der Trocknung mehr auftrat. Nun wurde die Feuchte in den Kammern auf 84% eingestellt und die Längenänderung der Proben erfasst, bis es zum Stillstand der Dehnung kam. Dies war in der Regel nach einem Tag der Fall.

Abbildung 6-9 zeigt die Ergebnisse der Dehnungsmessungen. Auffällig ist zunächst, dass die Proben sich sehr individuell verhalten. Es zeigt sich, dass eine übergreifende Auswertung von Proben hier zu falschen Schlüssen führen könnte. Zum Beispiel zeigt die Probe 2 (NaNO₃-Behandlung, Graphik 2) gegenüber der Probe 1 bereits im unbehandelten Zustand eine höhere Dehnung als die salzbehandelte Probe 1. Die Einzelfallbetrachtung weist jedoch für alle Proben die gleichen Tendenzen auf. Die Salzbehandlung führt in allen Fällen zu mindestens gleicher, meistens zu deutlich größerer hygroskopischer Dehnung als bei unbehandelten Proben.

Der starke Einzelfallbezug führt bedauerlicherweise dazu, dass ein Vergleich der verschiedenen Salzbehandlungen nur halbquantitativ möglich ist, da unterschiedliche Applikationen an der gleichen Probe ja nicht vorgenommen werden können. Die unbehandelten Proben weisen eine hygroskopische Dehnung von ca. 0,1 bis 0,3 mm/m auf. Nach der Salzbehandlung ist für NaCl und NaNO₃ ein ähnliches Verhalten zu beobachten, die Dehnungen sind im Schnitt größer als bei Na₂SO₄, zum Teil dreimal so hoch wie bei den unbehandelten Proben, und streuen stärker. Bestätigt werden hier die Ergebnisse von RUPP (1993), der eine Dehnung unter Salzeinfluss bei der Erhöhung der Feuchte gefunden hat. Da ähnlich wie bei den hier vorgelegten Ergebnissen realistische Feuchtwechsel im Bereich 52% bis 95% relativer Feuchte vorgenommen wurden, ist davon auszugehen, dass dies dem tatsächlichen Geschehen am Bauwerk entspricht.

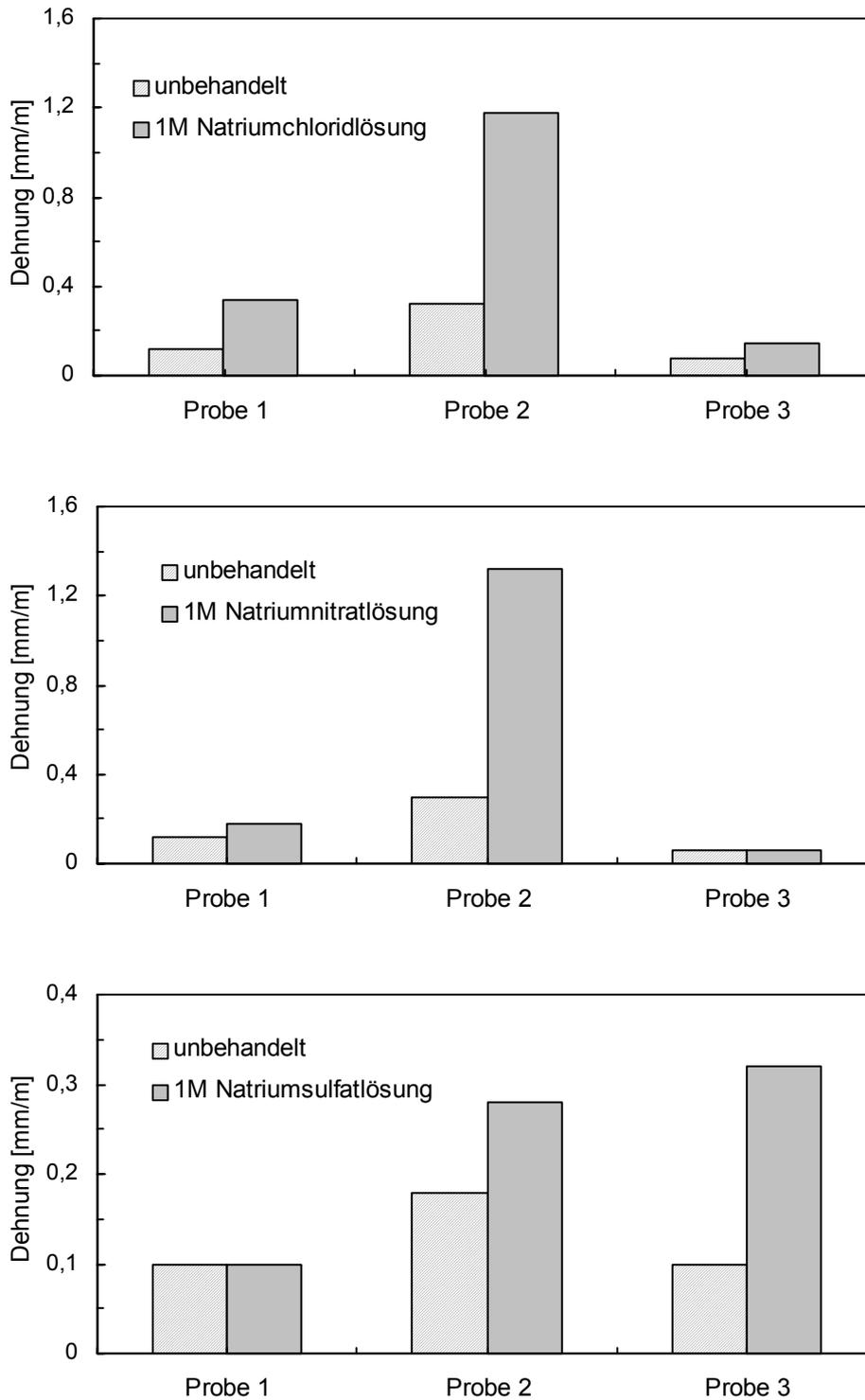


Abb. 6-9: Einfluss von Salzen auf die hygroskopische Dehnung von Plättchen aus Sander Sandstein; Messung der unbehandelten Probe beim Wechsel von 45% rF zu 84% rF; Tränkung mit Natriumchlorid-, Natriumnitrat- bzw. Natriumsulfat-lösung, anschließende Trocknung, Konditionierung bei 45%rF; Wechsel von 45% rF zu 84% rF

Die Messung an Plättchen erwies sich als gut durchführbar und aussagefähig. Daher wurden die Untersuchungen mit dieser Messanordnung auch auf Schutzmittelapplikationen ausgedehnt. Es wurden Proben von Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein jeweils mit *Funcosil H* und *Funcosil OH* sowie mit *Dynasylan* vollgetränkt und identisch wie bei den Salzbehandlungen bei 45% relativer Feuchte gelagert. Um ein vollständiges Durchreagieren der Schutzmittel vor der Messung zu gewährleisten, wurden die Proben vor der Feuchteänderung 2 Wochen gelagert. Die Proben wurden sowohl einer Feuchteänderung von 45% zu 84% relativer Feuchte als auch einer Tränkung mit Wasser ausgesetzt.

Die Ergebnisse zeigen für Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein einige Parallelen des Verhaltens, aber zum Teil auch recht unterschiedliche Auswirkungen der Schutzmittelbehandlung. Gemeinsam ist den beiden Gesteinen das sehr uneinheitliche Verhalten bei der hygroskopischen Dehnung. Da die Dehnungswerte durchgehend niedrig sind, wirken sich die Streuungen dahingehend aus, dass für den Ihrlersteiner Grünsandstein keine Aussagen über den Einfluss der Schutzmittel auf die hygroskopische Dehnung gemacht werden können. Der Sander Sandstein weist keine wesentlichen Änderungen der hygroskopischen Dehnung der Proben vor und nach einer Schutzmittelbehandlung auf. Auch hier liegen die Werte sehr niedrig, sie streuen allerdings nicht so stark wie beim Ihrlersteiner Grünsandstein. Alle Behandlungsmittel zeigen hier gleiches Verhalten, unabhängig davon, ob es sich um hydrophobierende oder nicht hydrophobierende Mittel handelt.

Die Daten für die hygrische Dehnung des Ihrlersteiner Grünsandsteins streuen ebenfalls stärker als die für den Sander Sandstein. Auffallend ist, dass die Hydrophobierungsmittel keine nennenswerte Verringerung der Dehnung hervorrufen, sondern eher leicht erhöhte Werte aufweisen, während die Werte für den mit Festiger behandelten Stein tendenziell niedriger liegen als für den unbehandelten. Hier verhält sich der Sander Sandstein anders. Für alle behandelten Steinproben liegen die Dehnungen niedriger als für den unbehandelten Stein. Am ausgeprägtesten ist dieser Effekt allerdings wieder für den Festiger *Funcosil OH*.

Der Effekt durch den Festiger ist vermutlich auf die Auskleidung des Porenraums mit der relativ inerten Kieselsäure zurückzuführen. Bei den Hydrophobierungsmitteln ist dagegen dieser gewünschte Effekt offensichtlich nicht vollständig, was zu einem unerwünschten Verhalten bezüglich der hygrischen Dilatation führt.

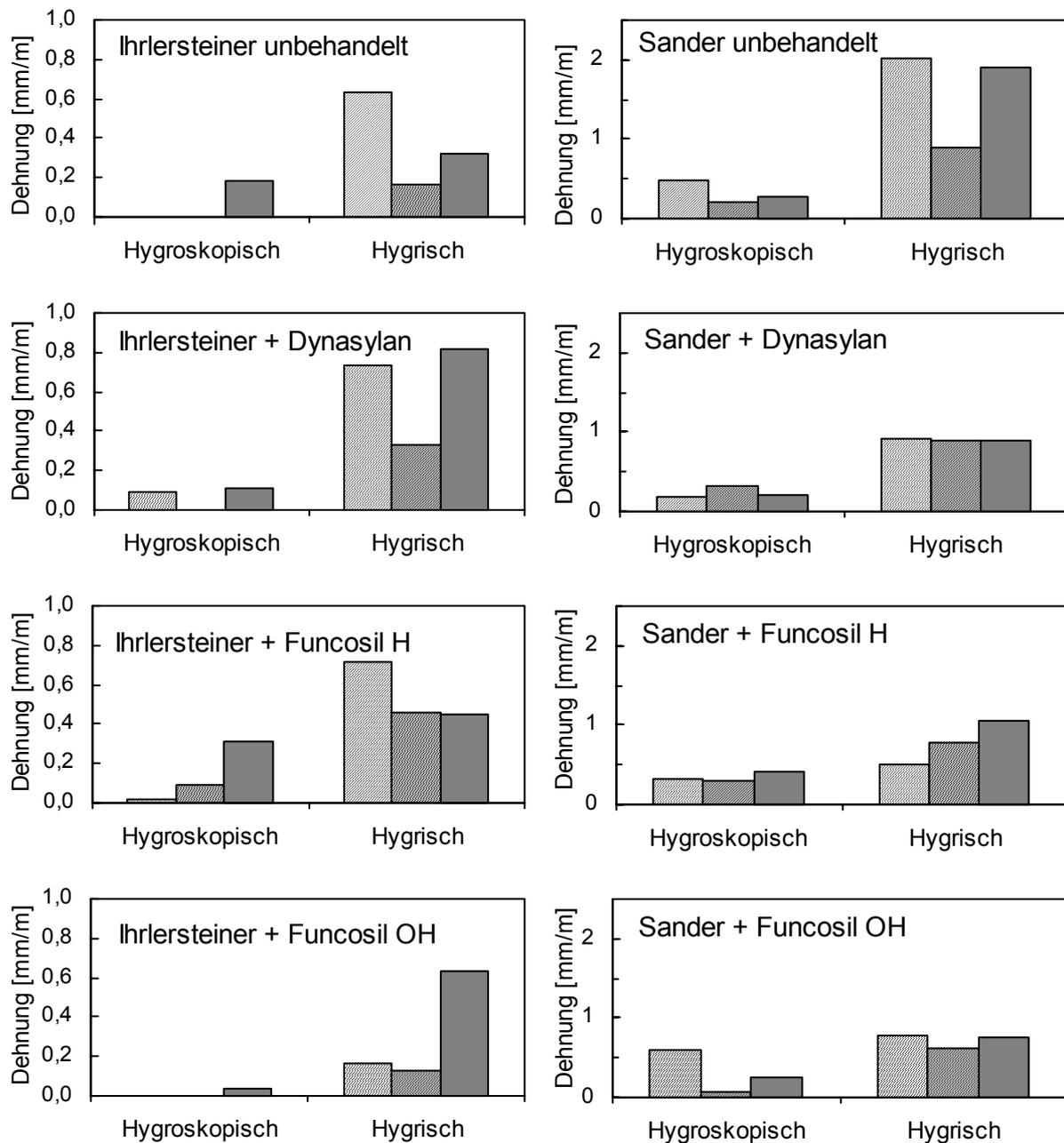


Abb. 6-10: Einfluss von Schutzmitteln auf die hygroskopische Dehnung (Wechsel von 45% zu 84% relativer Feuchte) und hygrische Dehnung (Tränkung mit Wasser) von Gesteinsplättchen aus Ihlersteiner und Sander Sandstein; Messung von jeweils 3 Proben

Messungen an Proben aus Stuckmarmor

Neben den Experimenten mit Natursteinen wurden Untersuchungen an Stuckmarmorrepliken im Rahmen des EU-Projekts „Baroque Artificial Marble - Environmental Impacts, Degradation and Protection“ durchgeführt (WITTENBURG *et al.* 1999). Hierbei handelt es sich um ein Untersuchungs-Projekt an der Fürstenkapelle im polnischen Grüssau. Diese Kapelle wurde im 18. Jahrhundert mit sogenanntem Stuckmarmor ausgeschmückt. Er besteht im Wesentlichen aus Gips, Bindemittel (Leim) und Pigmenten. Die Rezepturen sind allerdings nicht genau bekannt. Dem Stuckmarmor wurde in komplizierten Verfahren das äußere Erscheinungsbild echten Marmors gegeben. Er hatte aus damaligem ästhetischen Empfinden den immensen Vorteil, dass jede Art von Marmorierung und Farbgebung möglich war.

Die Stuckmarmorverzierungen wurden in Form kleiner Platten mit speziellen Zementen auf einen mineralischen Untergrund aufgebracht und die Fugen durch Schlämmen verborgen. Im Laufe der Bauwerksgeschichte stellten sich Probleme mit aufsteigender Feuchte am Bauwerk ein, die zur Zerstörung bestimmter Bereiche der Stuckmarmorverzierungen führten.

Für die Restaurierung nach der Behebung der Feuchteprobleme mussten Repliken entwickelt werden, die möglichst die gleichen physikalischen Eigenschaften haben wie die Originalmaterialien, da es anderenfalls wieder durch mechanischen Stress zwischen alten und neuen Materialien zu Schäden kommen würde. Hierfür bot sich neben der Untersuchung der Wasserdampfdiffusion (s.u.) die vergleichende Messung der hygri-schen Dilatation originärer und neu hergestellter Stuckmarmorproben an.

Zunächst wurden die Dilatationseigenschaften des Originalmaterials erfasst. Wegen der zum Teil ungünstigen Geometrien der Originalausbaumaterialien wurden die Proben auf Stahlzylinder aus Edelstahl mit der Länge 2 cm und dem Durchmesser 1 cm aufgeklebt. An der Oberseite der Proben wurden ebenfalls kleine Zylinder mit der Länge 0,5 cm aufgeklebt. Der Kleber wurde auf sein Dehnungsverhalten unter Feuchteänderung und bei Wassersättigung untersucht. Der untere Metallzylinder konnte in der Messvorrichtung eingespannt werden, der obere Zylinder bot eine gute Auflage für die Messspitze der Dehnungsmessuhr. Die Proben wurden durch Feilen so hergerichtet, dass eine nahezu rechteckige Probe von etwa 5 cm Länge erhalten wurde.

Es wurde sowohl die hygroskopische Dehnung beim Wechsel von 45% auf 85% relativer Feuchte als auch die hygri-sche Dehnung bei Tränkung mit gesättigter Gipslösung untersucht. Für die Untersuchung der hygri-schen Dehnung wurde gesättigte Gipslösung als Tränkungs-mittel verwendet, um zu verhindern, dass der Gips, aus dem die Proben hauptsächlich beste-

hen, in Lösung gehen konnte, was zu einer Schädigung des Gefüges der Proben geführt hätte. Es wurde jeweils bis zum Stillstand der Dehnung gemessen. Die in Abbildung 6-11 dargestellten Ergebnisse zeigen für alle Proben ein recht einheitliches Verhalten. Die hygroskopische Dehnung liegt etwa in der Größenordnung von Sander Sandstein. Im Kontrast dazu steht die sehr viel größere hygrische Dehnung.

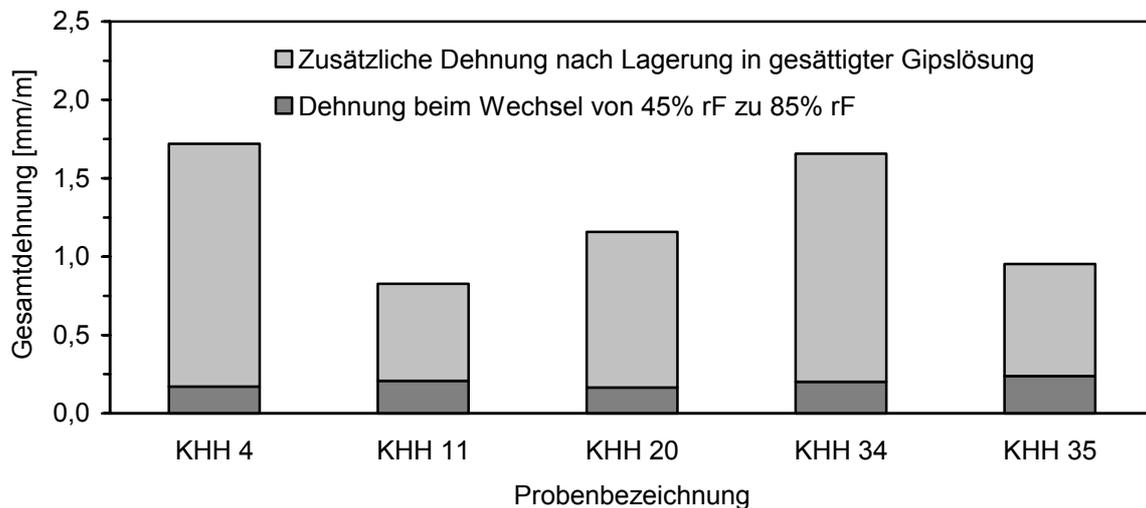


Abb. 6-11: Dehnungsverhalten von Originalproben aus der Fürstenkapelle in Grüssau; Dilatation beim Wechsel von 45% zu 85% relativer Feuchte und zusätzliche Dilatation bei Tränkung der Proben mit gesättigter Gipslösung

Aufgrund dieses Ergebnisses und des Umstands, dass der Stuckmarmor im Sockelbereich Tränkungs-/Trocknungszyklen ausgesetzt ist, wurden zwei Originalproben einer Reihe von Tränkungs-/Trocknungszyklen unterzogen. Die einzelnen Zyklen wurden zeitlich so ausgelegt, dass von einem Stillstand der Dehnung bzw. Schrumpfung an den Umkehrpunkten ausgegangen werden konnte. Die graphische Auswertung der Ergebnisse (Abb. 6-12) verdeutlicht, dass ein Dehnungs-/ Schrumpfungszyklus zu Beginn etwa 20 Tage benötigte und sich diese Zeit im weiteren Verlauf verkürzte. Parallel hierzu kehrte die Ausdehnung der Prüfkörper nicht mehr vollständig zum Anfangspunkt zurück. Die beiden Prüfkörper verhalten sich praktisch identisch. Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Material durch Tränkungs-/ Trocknungszyklen irreversible Veränderungen erfährt.

Zur Beurteilung der Rezepturen für das Austauschmaterial wurden Dehnungsversuche auch an Repliken durchgeführt. Aus Erfahrungswerten der Restauratoren und Literaturangaben war bekannt, dass der Standardleimgehalt der Originalrezepturen bei 3,9% lag. Für die Repliken wurden Anteile von 4 bzw. 25 % Leimlösung – resultierend in 1,3 bzw. 8,24 Gewichts-% Leimgehalt in der Replik – eingesetzt. Es wurden zwei dieser Proben auf ihre hygrische

Dehnung bei Tränkung mit Gipslösung untersucht. Wie die Abbildung zeigt, lag die Dehnung der Repliken um fast eine Größenordnung höher als bei den Originalen. Während der ersten 10 Tage unterscheidet sich die Dehnung der beiden Proben kaum. Hier ist die Dehnung vermutlich noch auf die Dehnung des Gipsanteils zurückzuführen. Im weiteren Verlauf, der für beide Proben keinen Stillstand der Dehnung auch nach 125 Tagen aufweist, zeigt die Probe mit dem höheren Leimgehalt eine auffallend stärkere Dehnung.

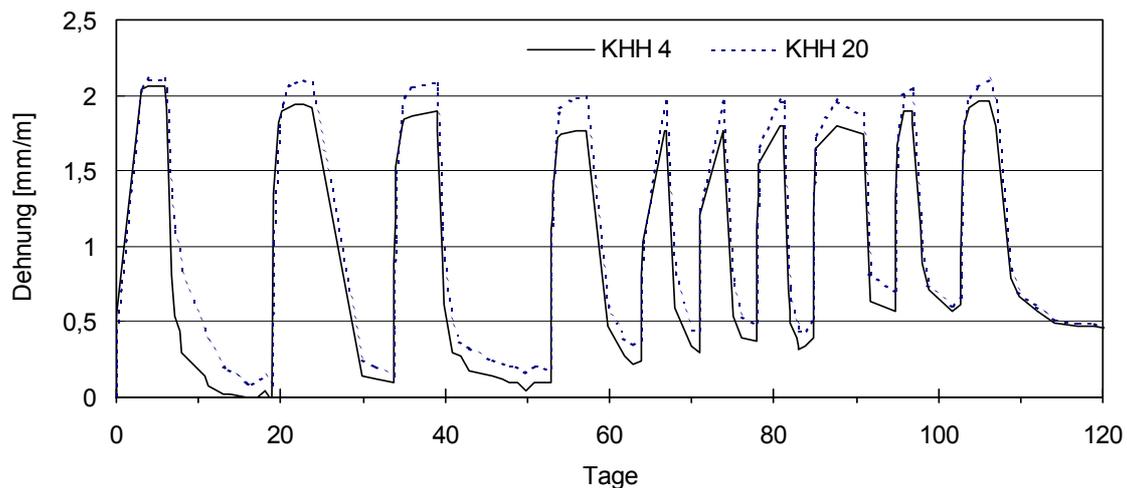


Abb. 6-12: Dilatationsverhalten von Originalproben unter hygrischer Wechselbelastung durch gesättigte Gipslösung

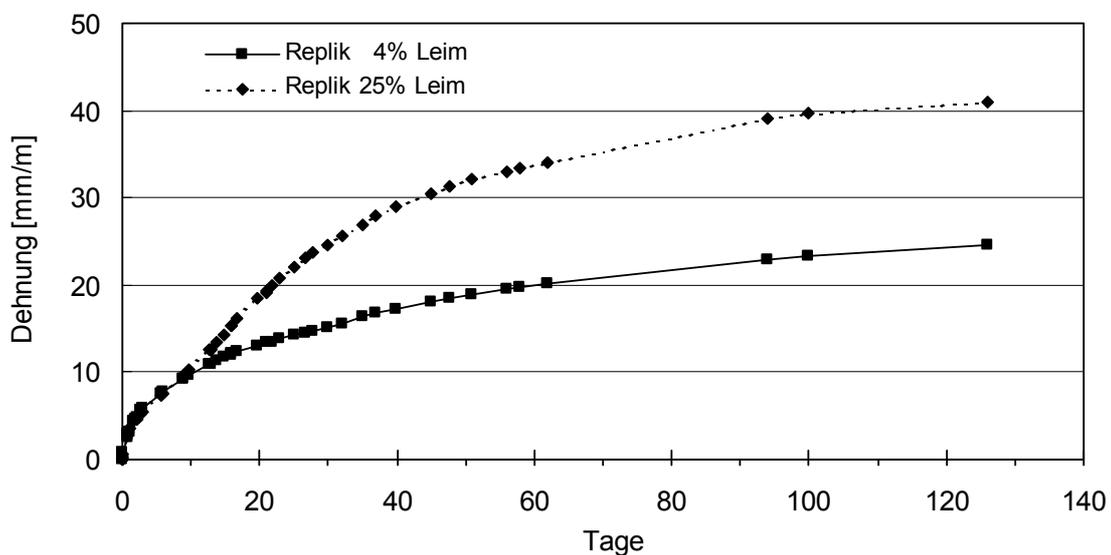


Abb. 6-13: Dilatationsverhalten zweier Proben aus neu hergestelltem Stuckmarmor unter hygrischer Belastung durch gesättigte Gipslösung

Die Untersuchungen an Ausbaumaterial und Repliken belegen, dass die irreversible Dehnung von Stuckmarmor unter dem Einfluss aufsteigender Feuchte ein Faktor von hoher Bedeutung für die Ablösung des Stuckmarmorbelags vom Untergrund und für die Bildung von Rissen und Abplatzungen ist. Für die Präparation von Ersatzmaterial erweist sich der Parameter der hygri-schen Dehnung als entscheidend. Die Experimente an Repliken zeigen deutlich, dass das bisher gefertigte Material die Anforderungen noch nicht erfüllen kann. Selbst Repliken mit geringem Leimgehalt zeigten ein irreversibles Dehnungsverhalten bereits bei einmaliger hygri-scher Belastung.

6.2 Experimente zur Diffusion von Wasserdampf durch poröse Baustoffe

Die Wasserdampfdiffusion ist ein für den Wasserhaushalt eines Baustoffs wichtiger Parameter. Neben dem Transport von flüssigem Wasser, der in boden- bzw. oberflächennahen Bereichen von Gebäuden dominiert, ist der gasförmige Transport von Feuchte für die Geschwindigkeit von Trocknungs- und Durchfeuchtungszyklen im Baustoff entscheidend. Die Trocknungsgeschwindigkeit eines Gebäudes ist zum Beispiel ein entscheidendes Kriterium für die Anfälligkeit gegenüber Frostschäden (WEISS 1992). Auch für die Verteilung von löslichen Salzen in der Gebäudehülle ist sie von Bedeutung.

Die Wasserdampfdiffusion greift ineinander mit dem kapillaren Wassertransport im Bauwerk. Innerhalb einer Trocknungsphase wird zunächst Wasser aus dem Wandmaterial kapillar an die Bauwerksoberfläche transportiert. Ab einer „kritischen“ Feuchte zieht sich die Feuchte in das Bauwerk zurück, der gasförmige Feuchtetransport dominiert (SNETHLAGE 1984). Die Geschwindigkeit dieses Feuchtetransports ist stark materialabhängig. An der Grenzfläche vom Werkstein zum Mörtel oder zu einem anderen Werksteinmaterial kann sie sich in einer Gebäudehülle kleinräumig extrem ändern. Aber auch fehlerhafte Anwendungen von Schutzmitteln können durch eine zonale Veränderung des Materials zur Bildung solcher Grenzflächen führen. In der Folge entstehen an diesen Übergängen durch anstehende Feuchte Staudrücke, die das Bauwerk belasten.

Es existieren zwei Mechanismen der Wasserdampfdiffusion in porösen Materialien, deren Anteil am Gesamtprozess von der Luftfeuchte abhängt (SNETHLAGE 1984, KLOPFER 1985). Ein Mechanismus ist die direkte Diffusion über die Gasphase. Diese wird beeinflusst durch das Gesamtporenvolumen und die Porenradienverteilung im Material. Die Diffusion von Wasserdampf wird umso stärker behindert, je größer der „Umwegfaktor (Tortuosität)“ für die Gasmoleküle im Porenraum ist. Der Porenraum kann bei wechselnder Feuchte in Folge von Lösungs-/Kristallisationsvorgängen an löslichen Salzen und einem hierdurch verursachten Transport der Salze stark verändert werden. Der zweite Mechanismus ist die Oberflächendiffusion. Hier erfolgt der Transport über adsorbiertes Wasser (Kapillarkondensation) in engen Porenübergängen, in denen sich bei höherer Feuchte Wasserinseln bilden. Der Transport geschieht hier also durch das Kondensieren von Wasserdampf an den Wasserfilm auf der einen Seite und den Übertritt von Wassermolekülen in die Gasphase auf der anderen Seite. Dieser Transport läuft erheblich schneller als die Diffusion in der Gasphase. Daher verläuft die Wasserdampfdiffusion bei höheren Feuchten

allgemein schneller als bei niedrigen Feuchten. Die Gewichtung der beiden Mechanismen wird durch das Wasserbindevermögen des Materials beeinflusst. Dieses hängt z.B. vom Tonmineralbestand des Baustoffs und vom Gehalt an hygroskopischen Salzen ab. Abbildung 6-14 zeigt beispielhaft für den Roten Mainsandstein, der eine hohe Variabilität im Tonmineralgehalt aufweist, die Abhängigkeit des Wasserdampfdiffusionswiderstands μ vom Gehalt an Tonmineralien. Mit steigendem Tonmineralgehalt steigt auch der Widerstand, den das Gestein der Diffusion entgegensetzt. SCHUH (1987) belegt einen direkten Zusammenhang zwischen dem Wasserdampfdiffusionswiderstand und der hygroskopischen Wasseraufnahme des Gesteins.

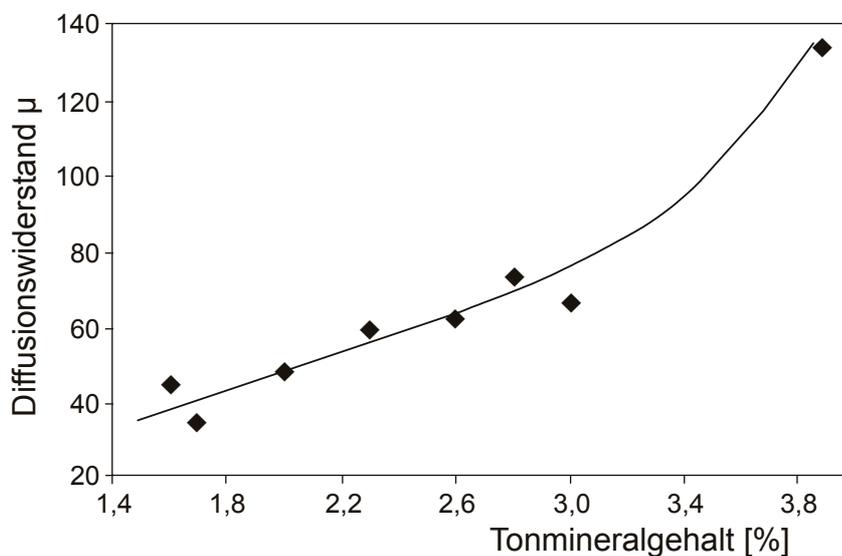


Abb. 6-14: Abhängigkeit des Wasserdampfdiffusionswiderstands μ (dimensionslos, s. unten) vom Tonmineralgehalt (dry cup, 0 / 50% r.F.) im Roten Mainsandstein (aus SCHUH 1987)

6.2.1 Messung der Diffusion von Wasserdampf durch Prüfkörper

Die Wasserdampfdiffusion wird quantifiziert über den Widerstand μ , den ein Material dem Diffusionsstrom des Wasserdampfs entgegensetzt. Dieser Widerstand ist definiert als Quotient aus dem Diffusionskoeffizienten δ für das Prüfmaterial und dem Diffusionskoeffizienten δ_L für unbewegte Luft bei gleicher Temperatur und gleicher Schichtdicke:

$$\mu = \delta / \delta_L \quad (6-1)$$

Die Diffusionskoeffizienten haben die Dimension $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$, μ ist dimensionslos. Der Feuchteabhängigkeit der Diffusion wird bei der praktischen Bestimmung dadurch Rechnung getragen, dass die Messung in zwei Feuchtebereichen durchgeführt wird. Beim sogenannten „dry-cup-Verfahren“ beträgt die relative Feuchte auf der trockenen Seite der Probe 0% und auf der feuchten Seite 50%. Beim sogenannten „wet-cup-Verfahren“ liegt die relative Feuchte auf der trockenen Seite bei 50% und auf der feuchten Seite bei 100%. Wie die Literaturwerte in Tabelle 6-3 zeigen, verhalten sich viele Gesteine in Abhängigkeit von den Feuchtebedingungen sehr unterschiedlich. Alle Gesteine setzen der Diffusion von Wasserdampf im trockenen Bereich (0-50 % r.F.) einen höheren Widerstand entgegen.

Tab. 6-3: Literaturwerte für den Diffusionswiderstand im Trocken- und Feuchtbereich (WEISS 1992)

| Gestein | μ dry-cup | μ wet-cup |
|-----------------------|---------------|---------------|
| Lindlarer Grauwacke | 250 bis 350 | 40 bis 50 |
| Lossburger Sandstein | 65 bis 75 | 20 bis 30 |
| Seedorfer Sandstein | 35 bis 37 | 20 bis 24 |
| Heilbronner Sandstein | 35 bis 40 | 20 bis 24 |
| Velpker Sandstein | 35 bis 40 | 20 bis 30 |

In der vorliegenden Arbeit wurde bei der Bestimmung von μ in Anlehnung an die DIN 52615 gearbeitet. Die Versuchsanordnung ist in Abbildung 6-15 dargestellt. Eine Probe wird mit Hilfe von Dichtmaterial so auf einen geeigneten Behälter aufgesetzt, dass sie diesen dampfdicht verschließt. In dem Behälter wird beim wet-cup-Verfahren Wasser vorgelegt, beim dry-cup-Verfahren trockenes Kieselgel. Der Behälter wird in eine größere Kammer gestellt, in der mit Hilfe einer gesättigten Kaliumcarbonatlösung eine relative Feuchte von 44% aufrechterhalten wird. Durch Wägung der Probengefäße in regelmäßigen Abständen wird die Gewichtszunahme bzw. -abnahme aufgenommen. Nach einer Einlaufphase stellt sich ein Fließgleichgewicht ein, die Gewichtsveränderung wird zeitlich linear. Aus den erhaltenen Daten wird der Wasserdampfdiffusionswiderstand μ nach der folgenden Formel errechnet:

$$\mu = \frac{1}{s} \left(\delta_L \cdot A \cdot \frac{p_1 - p_2}{I} - s_L \right) \quad (6-2)$$

Die für die Berechnung von μ vor der Messung zu bestimmenden Größen sind die Prüffläche der Probe A (Querschnitt), angegeben in m^2 , die durchschnittliche Probendicke s sowie der

durchschnittliche Abstand der Probe zum Sorbens bzw. zum Wasser in m. Für die Berechnung der Wasserdampfpartialdrücke über (p_1) und unter der Probe (p_2) (Einheit: Pa) muss über den Verlauf der Messreihe die Temperatur in der Kammer aufgenommen werden. Die benötigten Dampfdruckdaten für Wasserdampf bei den gemessenen Temperaturen wurden SAUL und WAGNER (1987) entnommen. Der Wasserdampfdiffusionsstrom I mit der Dimension kg/h wird über die lineare Gewichtsveränderung des Probenbehälters bestimmt. Der Diffusionskoeffizient von Wasserdampf in Luft δ_L wird ebenfalls nach DIN 52615 nach der folgenden Formel bestimmt:

$$\delta_L = \frac{0,083}{R_D} \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81} \quad (6-3)$$

Die Gaskonstante des Wasserdampfs R_D hat den Wert $462 \text{ Nm} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Der Atmosphärendruck beim Normzustand p_0 beträgt 1013,25 hPa. Der Druck p in der Messkammer wurde über den gesamten Messverlauf mit einem Barometer aufgenommen.

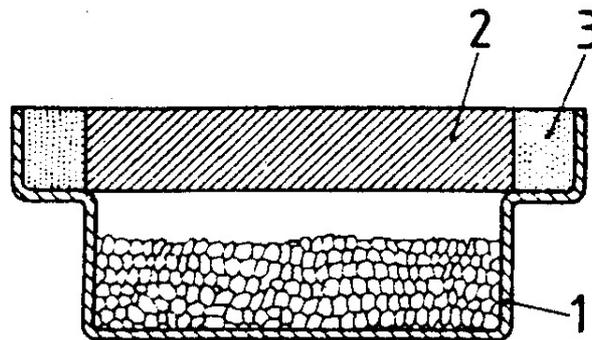


Abb. 6-15: Probengefäß für die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 52615

- (1) Behälter mit Sorbens oder Wasser
- (2) Probe
- (3) Dichtmasse

Es wurden Proben mit den Abmessungen von $5 \cdot 5 \cdot 0,5 \text{ cm}^3$ verwendet. Die Dichtigkeit der Versuchsanordnung wurde geprüft durch die Verwendung einer Blindprobe aus Polyacryl. Die Probenabmessungen wurden mit einer Schieblehre ermittelt. Da das Probengefäß aus transparentem Polyacryl gefertigt wurde, konnte der Abstand des Sorptionsmittels bzw. des Wassers zur Probe von außen gemessen werden, nachdem die Probe dicht auf das Gefäß aufgesetzt worden war. Die Feuchte und Temperatur wurden kontinuierlich mit einem Sensor der Firma TESTO gemessen. Die Einlaufphase betrug in der Regel etwa einen Tag. Die gesamte Messung erstreckte sich über einen Zeitraum von ca. 10 Tagen.

Untersuchungen an schutzmittelbehandelten Proben

Es wurden Proben von Sander Sandstein und Ihrlersteiner Grünsandstein in bruchfrischem Zustand und nach der Tränkung mit Steinschutzmitteln untersucht. Die Maße der Proben wurden vor dem Einsetzen in das Messgefäß mit der Schieblehre aufgenommen. Der Abdruck des Dichtungsmaterials wurde nach der Messung berücksichtigt, indem der Mittelwert der Flächen der Ober- und Unterseite der Probe zur Berechnung von A herangezogen wurde.

Es wurden jeweils Mehrfachbestimmungen für alle Konstellationen durchgeführt. Die Messwerte streuten zum Teil stark (s. Tabellen 6-4 und 6-5). Dies wird im übrigen auch in der Literatur so gefunden (EFES 1980, WEISS 1992). Da für die Messungen Proben mit relativ kleinen Abmessungen verwendet werden, können schon geringe Inhomogenitäten in einer Probe bzw. innerhalb einer Charge von Prüfkörpern zu erheblichen Abweichungen führen. Die Streuung der Werte ist für den Ihrlersteiner Grünsandstein ausgeprägter als für den Sander Sandstein. Der Ihrlersteiner Grünsandstein ist auch makroskopisch erkennbar inhomogener als der Sander Sandstein, was die angeführte Argumentation bezüglich der Streuung der Werte stützt.

Tab. 6-4:
Wasserdampfdiffusionswiderstände
bruchfrischer Sandsteinproben

| Gestein | μ dry-cup | μ wet-cup |
|-----------------------|---------------|---------------|
| Sander Sandstein | 24 bis 26 | 18 bis 19 |
| Ihrlerst. Grünsandst. | 22 bis 34 | 19 bis 21 |

Die für die bruchfrischen Proben ermittelten Werte stimmen bezüglich der Diffusion im Nassbereich 44%/100% rF gut mit den in der Literatur für Sandsteine angegebenen Werten überein. Im Trockenbereich 44%/3% rF liegen die Werte etwas niedriger. Die μ -Werte sind allerdings unerwartet ähnlich für die beiden sehr unterschiedlich beschaffenen Gesteine.

Tab. 6-5: Wasserdampfdiffusionswiderstände
schutzmittelbehandelter Sandsteinproben

| Gestein/Behandlung | μ dry-cup | μ wet-cup |
|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Sander Sandst. + Funcosil H | 34 bis 38 | 30 bis 32 |
| Sander Sandst. + Funcosil OH | 25 bis 28 | 23 bis 24 |
| Sander Sandst. + Dynasytan | 26 bis 28 | 22 bis 26 |
| Ihrlerst. Grünsandst. + Funcosil H | 30 bis 45 | 26 bis 32 |
| Ihrlerst. Grünsandst. + Funcosil OH | 25 bis 27 | 25 bis 28 |
| Ihrlerst. Grünsandst. + Dynasytan | 30 bis 35 | 27 bis 30 |

Die Untersuchung der schutzmittelbehandelten Proben zeigt durchgehend eine Erhöhung des Wasserdampfdiffusionswiderstands der Proben. Diese ist allerdings unterschiedlich ausgeprägt.

Für beide Gesteinsarten wird nach der Behandlung mit den hydrophobierenden Schutzmitteln *Funcosil H* und *Dynasytan* ein stärkerer Anstieg des Diffusionswiderstands gefunden als nach der Behandlung mit dem Festiger *Funcosil OH*. Weiterhin ergibt sich ein überproportionaler Anstieg des Diffusionswiderstandes im Feuchtbereich (44% / 100% rF) gegenüber dem Trockenbereich (3% / 44% rF). Hier wird die Bildung von Wasserinseln in Kornzwickeln und Mikroporen unterbunden, so dass ein schneller Feuchtetransport über die flüssige Phase nicht möglich ist. Die Diffusionsbedingungen im Feucht- und Trockenbereich nähern sich einander an. Dies ist sicherlich auf die hydrophobierende Auskleidung der Porenräume zurückzuführen. Möglich ist aber auch, dass ein Teil der Mikroporen durch das Hydrophobierungsmittel ausgefüllt wird. Hierfür spricht der höhere Diffusionswiderstand im Trockenbereich, da die Hydrophobierung sich eigentlich auf den Transport von Feuchte über die Gasphase kaum auswirken sollte. Erwartet werden könnte sogar eine Verringerung des Widerstandes durch eine verminderte Hygroskopizität des Materials.

Auffällig ist, dass das Mittel *Funcosil H* auf beiden Gesteinen eine sehr ähnliche Wirkung zeigt, während bei *Dynasytan* die Auswirkung auf die Wasserdampfdiffusion für den Sander Sandstein deutlich geringer ist als für den Ihrlerssteiner Grünsandstein. Hier könnte die sehr unterschiedliche Applikation – im Falle des *Funcosil H* in einem organischen Lösungsmittel, im Falle des *Dynasytan* als Mikroemulsion – für die Erreichbarkeit des gesamten Porenraums eine Rolle spielen.

Der Festiger *Funcosil OH* zeigt eine geringere Anhebung des Diffusionswiderstandes für hohe Feuchten und einen in etwa stabilen Diffusionswiderstand für den Trockenbereich. Das Verhalten im Trockenbereich deutet darauf hin, dass der Porenraum durch die Behandlung nicht oder kaum verändert wurde. Die Veränderung des Diffusionswiderstands im Feuchtbereich könnte darauf zurückzuführen sein, dass zum Teil hygroskopische Gesteinskomponenten durch die Abscheidung der relativ inerten Kieselsäure überdeckt werden. Wie bei den Hydrophobierungsmitteln könnte aber auch hier eine Rolle spielen, dass durch die Ausfüllung von Mikroporen und die Auskleidung von Kornzwickeln die Bildung von Wasserinseln unterdrückt wird, die zu einem Feuchtetransport über die flüssige Phase beitragen könnten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Auswirkungen der Schutzmittelbehandlungen auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand der untersuchten Gesteine durchgehend relativ gering sind. Dies entspricht dem gewünschten Ergebnis einer möglichst geringen Veränderung der ursprünglichen physikalischen Parameter.

Untersuchungen an Stuckmarmorproben

Neben den Untersuchungen der Dilatationseigenschaften von Stuckmarmor bei Feuchtewechselzyklen ist aufgrund des plattigen Auftrags des Stuckmarmors auf einen Mörteluntergrund die Frage nach den Wasserdampfdiffusionseigenschaften des Materials wichtig. Es wurden daher Originalproben und Repliken bezüglich ihres Diffusionswiderstands untersucht.

Für die vorliegenden Proben mussten die Prüfbehälter zum Teil individuell an die Geometrien angepasst werden, um optimale Ergebnisse zu erhalten. Es wurden aus den Originalproben zwei Proben, bestehend aus jeweils zwei Teilproben ausgewählt. Das Hauptkriterium für die Auswahl war ein möglichst großer Querschnitt, da bei sehr kleinen Prüfflächen mit einem großen Messfehler zu rechnen ist. Daneben durften die Proben keine Risse oder Löcher aufweisen. Die ausgewählten Proben wiesen Querschnitte von etwa 25 cm^2 auf. Die Repliken wurden in Form $10 \cdot 10 \text{ cm}^2$ großer Platten erhalten, für die entsprechend große Prüfbehälter hergestellt wurden.

Die Repliken wurden in unterschiedlichen Stadien ihrer Fertigstellung untersucht, um Auskunft darüber zu erhalten, wie sich einzelne Arbeitsschritte auf die Eigenschaften des Materials auswirkten. Es wurden unpigmentierte Proben untersucht. Die drei untersuchten Fertigungsstadien waren:

- Probe nach dem Schneiden aus dem gehärteten Block („cut“)
- Probe nach dem mechanischen Glätten der Oberfläche („smooth“)
- Probe nach der Oberflächenbehandlung mit Leinöl („finished“)

Tabelle 6-6 zeigt die Untersuchungsergebnisse. Die Diffusionswiderstände der beiden untersuchten Originalproben unterscheiden sich erheblich. Während die Probe KHH 84 ähnliche Werte liefert wie die Repliken, liegen die μ -Werte für die Probe KHH 11B etwa um eine Größenordnung höher. Auffällig ist auch, dass bei der Probe KHH 11B die beiden Teilproben sich sehr unterschiedlich verhalten. Eine abschließende Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden. Die Frage, ob die Unterschiede zwischen den Proben KHH 11B und KHH 84 auf eine differierende Bearbeitung oder auf Veränderungen im Verlaufe der Bauwerks-

geschichte zurückzuführen sind, ließ sich nicht beantworten. Offensichtlich ist aber das von der Dichtigkeit des Materials ausgehende Schädigungspotential durch anstehende Feuchte sehr unterschiedlich. Die Konsequenz für die Anforderungen an Repliken sollte dann sein, dass deren Diffusionswiderstand eher im unteren Bereich der bei Originalproben gefundenen Werte liegen sollte. Diese Anforderung wird von den vorliegenden Repliken erfüllt.

Tab. 6-6: Wasserdampfdiffusionswiderstand im Trocken- und Feuchtbereich für Stuckmarmorproben

| Probe | μ dry-cup | μ wet-cup |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Originalprobe KHH 11B,1 | 110 | 124 |
| Originalprobe KHH 11B,2 | 224 | 146 |
| Originalprobe KHH 84,1 | 26 | 22 |
| Originalprobe KHH 84,2 | 27 | 26 |
| Replik „cut“ 1 | 29 | 29 |
| Replik „cut“ 2 | 33 | 26 |
| Replik „smooth“ 1 | 26 | 26 |
| Replik „smooth“ 2 | 32 | 25 |
| Replik „finished“ 1 | 41 | 37 |
| Replik „finished“ 2 | 45 | 32 |

Im Vergleich zu den vorher untersuchten Sandsteinen weisen die Repliken etwas höhere μ -Werte auf. Da zum Mörteluntergrund keine entsprechenden Daten vorlagen, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, ob die Dichtigkeit des Materials problematisch werden könnte. Der Vergleich mit in der Literatur angegebenen Werten (s.o.) für andere Werksteine zeigt aber, dass der Wasserdampfdiffusionswiderstand der Stuckmarmorrepliken eher im unteren Bereich der Skala angesiedelt ist. Die gemessenen Diffusionswiderstände der Stuckmarmorproben lassen daher erwarten, dass das Replikmaterial keine wesentliche Barriere für die Verdampfung von Feuchte beim Eindringen aufsteigender Nässe in das Mauerwerk darstellen wird. Die abschließende Oberflächenbehandlung der Repliken mit Leinöl, das zugleich wasserabweisend wirkt und den gewünschten Glanz der Oberflächen erzeugt, erhöht den Diffusionswiderstand der Proben geringfügig. Möglicherweise könnte sich dieser Effekt über einen längeren Zeitraum durch weitere Verharzung des Leinöls verstärken. Dies könnte z.B. eine Ursache der bei der Originalprobe KHH 11B gefundenen erhöhten Dichtigkeit sein.

Insgesamt hat sich die Bestimmung von Diffusionswiderständen mit der dry- und wet-cup-Methode als nützliches Verfahren erwiesen, das wichtige Informationen über Materialeigenschaften liefert und auch einfach und billig in der Anwendung sowie sehr flexibel bezüglich der Anpassung an Probengeometrien ist. Der Einsatz einfacher physikalischer Prüfmethode wie der Messung des Dilatationsverhaltens von Prüfkörpern mit Hilfe von Messuhren und selbst konstruierten, individuell an den Prüfzweck angepassten Messvorrichtungen, der Messung der Wasserdampfdiffusion mit einfachen, ebenfalls individuell anpassbaren Prüfkammern oder der Wasseraufnahme poröser Werkstein-Materialien mit der Messmethode nach KARSTEN liefert in relativ kurzen Zeiträumen wertvolle Erkenntnisse über die Eigenschaften eines Baumaterials und über die durch Umwelteinflüsse bzw. durch Behandlungsmaßnahmen verursachten Veränderungen dieser Eigenschaften. Diese können sowohl für die Entwicklung von Schutzkonzepten für ein Objekt als auch für die Arbeit von Restauratoren hilfreiche Werkzeuge sein, die richtigen Entscheidungen über die zu treffenden Maßnahmen zu fällen.

7. Zusammenfassung

Mineralische Baustoffe sind insbesondere an Gebäudeoberflächen vielfältigen schädigenden Prozessen ausgesetzt, die zum Teil auf die Einwirkung von durch den Menschen erzeugten Schadstoffen zurückzuführen sind. Durch technische Maßnahmen und die Umstellung industrieller Prozesse in den letzten Jahrzehnten sind die atmosphärischen Konzentrationen vieler Luftschadstoffe in Deutschland stark zurückgegangen. Dennoch ist der Eintrag von Schadstoffen auf Bauwerke neben den natürlichen Verwitterungsfaktoren auch heute nicht zu vernachlässigen. Besonders die kulturell bedeutenden historischen Bauten besitzen zudem eine zum Teil jahrhundertelange Schädigungsgeschichte. Eine Prognose für das Fortschreiten hier bereits vorhandener Schäden muss diese Tatsache mit einbeziehen. Es ist zu erwarten, dass auch weiterhin der Verfall von Bausubstanz ein großes Problem darstellen wird. Um hierüber qualitative und quantitative Aussagen zu treffen, ist es sinnvoll, sowohl am Gebäude als auch anhand von Modellsituationen die relevanten Prozesse zu verfolgen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag in bilanzierenden Untersuchungen der Deposition von Schadstoffen auf unbehandelte und schutzmittelbehandelte Prüfkörper im Feldexperiment. Auf Freilandversuchsfeldern in Duisburg und Holzkirchen wurden denkmalrelevante Gesteine in Form bruchfrischer Prüfkörper ausgebracht. Diese wurden mit Sammeleinrichtungen zum Auffangen des Schlagregenablaufs ausgestattet. Parallel hierzu wurden ein Regen- und ein Gesamtdepositionssammler betrieben. Die über einen Zeitraum von mehreren Jahren erhaltenen Proben wurden auf eine Reihe von Anionen und Kationen untersucht. Aus den erhaltenen Werten wurden Zeitreihen erstellt. An Parallelprüfkörpern wurden Bohrkern entnommen, um An- bzw. Abreicherungen von Salzen in den Gesteinen zu quantifizieren.

Die vergleichende Bewertung der Ablaufwasserproben mit den Regen- und Gesamtdepositionsproben zeigte deutlich unterschiedliche Gewichtungen der trockenen und nassen Deposition sowie der Anreicherungsprozesse für Reinluftgebiete (Holzkirchen) und industriell belastete Regionen (Duisburg). Generell ist die Deposition für alle Ionen in Duisburg erheblich höher als in Holzkirchen. Eine Ausnahme bilden das Nitrat, für das nur geringfügig höhere Werte gefunden werden, das Ammonium und die Protonenkonzentration. Die hohe Emission von basischen Partikeln führt in Duisburg zu einem pH-Wert des Regens und der Gesamtdeposition nahe dem Neutralpunkt, während in Holzkirchen der für quellferne Gebiete typische saure Regen angetroffen wird.

Entsprechend der unterschiedlichen Belastung der Gesteine an den beiden Standorten entwickelt sich auch das Schadensbild. In Holzkirchen sind auch nach mehreren Jahren in den Gesteinen keine nennenswerten Anreicherungen von Salzen anzutreffen. Die makroskopisch erkennbaren Schädigungen sind gering. Allerdings zeigen die Bilanzierungen einen sehr hohen Austrag an Calcium und Carbonat aus calcitischen Gesteinen, wie das aufgrund des pH-Werts des Regens zu erwarten ist. In Duisburg sind die Gesteine nach mehrjähriger Exposition zum Teil bereits erkennbar geschädigt. Insbesondere ein calcitisches Gestein wie der Ihrlersteiner Grünsandstein zeigt starkes Absanden und schon erkennbare erhebliche Oberflächenrezession.

Als Anreicherungsprodukte in den Oberflächen dominieren Calcium und Sulfat in den Gesteinen. Dies ist bei den calcitischen Gesteinen besonders ausgeprägt, wird aber auch bei dem ursprünglich calcium- und sulfatfreien Obernkirchener Sandstein gefunden. Dies belegt, dass neben dem Gestein selbst die Deposition auf die Gesteine eine Quelle für Calcium darstellt. Die Auflösung des calcitischen Bindemittels und die Anreicherung von Gips in den Gesteinsporen führt zur Auflösung des Kornverbands im Gestein. Wie die Bilanzierung der Stoffströme zeigt, stammt das Sulfat zum überwiegenden Teil aus der trockenen Deposition von Schwefeldioxid. Weitere Anteile stammen aus Regen und der Partikeldeposition. Der Eintrag von Nitrat und die Bildung von Nitraten aus Salpetersäureeinträgen tritt an beiden Standorten gegenüber der Deposition von Sulfat deutlich zurück.

Die Untersuchungen an mit hydrophobierenden und nicht hydrophobierenden Schutzmitteln behandelten Prüfkörpern lassen noch keine abschließenden Aussagen zu. Die Prüfkörper waren zum Zeitpunkt des Abschlusses der experimentellen Arbeiten ein Jahr exponiert. Die zu Beginn durchgeführten Wasseraufnahmeuntersuchungen zeigten jedoch eine nahezu vollkommene Unterbindung der Wasseraufnahme der Gesteine sowohl bei den hydrophobierten als auch bei den nicht hydrophobierten Prüfkörpern. Die Annahme, dass der Stoffaustausch über die wässrige Phase hierdurch eine geringe Rolle spielt, wurde allerdings nicht völlig bestätigt. Der Ihrlersteiner Grünsandstein zeigte auch nach der Behandlung noch intensive Stoffflüsse. Weitere Erkenntnisse könnten eine langfristige Exposition und spätere Bohrkernbeprobungen bringen.

Neben den Ablaufwasseruntersuchungen an Prüfkörpern wurden auch Schlagregenabläufe vom Gebäude untersucht. In diesem Zusammenhang wurde eine neue Probenahmeverrichtung entwickelt, die eine direkte und kontrollierte Gewinnung von Schlagregenablaufwässern sowie eine aussagekräftige Referenzprobenahme ermöglichen sollte. Als Ort der Probenahme

wurde Süderende (Föhr) ausgewählt. Die aus Ziegeln errichtete Kirche in Süderende war zugleich Pilotobjekt im Denkmalpflegeprojekt des BMBF. Bei diesen Untersuchungen war die Fragestellung gegenüber den Prüffeldern in Duisburg und Holzkirchen deutlich in Richtung des Einflusses der Einträge von Seesalz in den Baustoff ausgerichtet. Dieser Einfluss war bereits aufgrund der im Mauerwerk mit Bohrkernuntersuchungen gefundenen Natrium- und Chloridkonzentrationen und der Na/Mg- bzw. Na/Cl-Verhältnisse belegt worden. Es sollte untersucht werden, ob der über die Schlagregenuntersuchungen berechnete Eintrag von Seesalz in das Mauerwerk zu einer plausiblen Korrelation zur integralen Belastung des Mauerwerks mit Seesalz führt. Die Ergebnisse zeigten im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit eine gute Übereinstimmung. Es ist daher davon auszugehen, dass die Gehalte im Mauerwerk durch die Gesamtdeposition aus Regen und partikulärem Eintrag verursacht werden. Die Probenahmeverrichtung hat sich als geeignetes Mittel erwiesen, auch am Gebäude bilanzierend Stoffeinträge zu ermitteln.

Für eine umfassende Bewertung der Belastung von Gesteinen bzw. der Wirksamkeit von Behandlungsmaßnahmen werden neben den Messungen der Stoffeinträge und der chemischen Veränderungen im Gestein die Kenntnis über Veränderungen physikalischer Kenngrößen wie der hygrischen und hygroskopischen Dehnung sowie der Wasserdampfdiffusion im Porenraum der Gesteine benötigt. Es wurden daher an entsprechend vorbereiteten Prüfkörpern auch Messungen der Dilatation und der Wasserdampfdiffusion durchgeführt, um den negativen Einfluss schädigender Salze bzw. den möglichen positiven Einfluss von Behandlungsmaßnahmen zu ermitteln. Für die Dilatations- und Diffusionsmessungen wurden eigene Prüfvorrichtungen konstruiert. Um natürliche Bedingungen wie Luftfeuchtewechsel oder den wechselnden Einfluss aufsteigender Nässe im Bauwerk zu simulieren, wurden die Dilatationsmessungen zum Teil unter Luftfeuchtezyklen bzw. Nass-/Trockenzyklen in hierfür konstruierten Kammern durchgeführt. Die Diffusionsmessungen haben sich uneingeschränkt als geeignet erwiesen, die Bedingungen im Porenraum der Gesteine abzubilden. Sie liefern gute Hinweise auf die Veränderungen, die durch Salzbelastungen oder Schutzmittelbehandlungen im Porenraum der Gesteine ablaufen.

Dilatationsmessungen wurden sowohl bezüglich hygrischer (Nass-/Trockenzyklen) als auch bezüglich hygroskopischer Dehnung (Feucht-/Trockenzyklen) durchgeführt. Hier erwies sich, dass die Zyklen gut verfolgt werden können. Allerdings gilt für Materialien, die im ursprünglichen Zustand geringe Dehnungen aufweisen, dass die messbaren Unterschiede bei Belastung mit Salzen beziehungsweise bei der Behandlung mit Schutzmitteln zu gering sind, um

Aussagen bezüglich signifikanter Änderungen zu machen. Für Materialien mit relativ großen Dehnungsamplituden gilt diese Einschränkung jedoch nicht. Im Rahmen eines EU-Projekts zur Entwicklung von Stuckmarmorrepliken zur Restaurierung der Innenräume einer Barockkirche in Polen konnten die Dilatationsmessungen erfolgreich für die Qualitätskontrolle der Modellrepliken eingesetzt werden. Hier konnte nachgewiesen werden, dass die bisher entwickelten Rezepturen für Repliken zu einem deutlich anderen Materialverhalten unter Feuchtwechseln führen.

Zur Entwicklung von Strategien zur Erhaltung und Sanierung von historischen Bauten bedarf es einer Vielzahl von Informationen über physikalische und chemische Parameter am Baumaterial und über die Umweltparameter am Standort. Zum Erhalt dieser Informationen steht eine große Palette an Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen die Notwendigkeit, diese Methoden breit zu nutzen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, die einen Weg zu den notwendigen weiteren Schutzmaßnahmen weisen.

8. Summary

Mineral building materials are subject to various degrading processes, the origin of which partly are men-made air pollutants. Due to technical improvements in industrial processes and exhaust cleaning there fortunately could be observed a constant decrease of the atmospheric concentrations of most air pollutants during the last decades. Nevertheless even today the input of air pollutants into building surfaces is not negligible. As particularly historic buildings underwent a century-long exposition to corroding agents and environmental influences, today's research has to take into account the highly individual situation of pre-damages of an object of interest. After the collection of this information, it may be possible to make predictions concerning the further development of degrading processes, and to make qualified proposals for restoring measures.

Two general ways of inquiry are possible and useful for the attainment of information. In order to gain insight into basic processes there should be established well characterized model situations, which allow a precise attribution of cause and effect. The significance and importance of these processes at a certain building then have to be verified at the definite object.

The centre of the here presented investigations lies in field experiments with untreated and pre-treated stone specimens at exposure sites, which were selected due to their highly exemplary environmental conditions representing the two extremes of pollution and climatic situations in Germany. For the exposure programme stone types were chosen which are relevant for historic architecture in Germany. These were equipped with run-off water collectors at the bottom of their vertical surfaces. To obtain reference data about the ambient concentrations of rain and dry deposition there were installed a wet-only sampler and a total deposition sampler. The sampling was performed over a period of several years and relevant anions and cations in the samples were analysed. In addition surface samples and drillcores of parallelly exposed specimens were taken and analysed in order to attain information about background concentrations and later on to collect data about enrichment processes.

The data evaluation showed significantly different balances for the dry and wet deposition of pollutants for the exposure sites at Duisburg, representing highly polluted areas, and Holzkirchen, representing rural environmental situations in Germany. In general the overall salt deposition in Duisburg exceeded that in Holzkirchen by an order of magnitude. An exception were the nitrate and ammonium concentrations being nearly identical, and the proton concentrations. The strong industrial emissions and the resulting immissions of basic particles in

Duisburg lead to pH values near the neutral point, whereas in Holzkirchen the precipitation was acidic, as is typical of immission situations remote from pollutant sources. Corresponding to the immission situations was the different course of degradation processes. In Holzkirchen even after several years of exposition there could not be found significant enrichments of salts in the stone specimens. The macroscopically observable damage was small. Yet the run-off samples from calcitic stones showed a considerable loss of Calcium and Carbonate as could be expected from the rain pH-data. In contrast to Holzkirchen the stone specimens in Duisburg showed obvious degradation phenomena. Particularly the calcitic stone type Ihrlerteiner Grünsandstein showed strong sanding and a quantifiable surface recession. Enrichment products in the stone surfaces were mainly Calcium and Sulphate not only in calcitic stones, but also in specimens which were originally free from these ions. This gives evidence to the presumption, that the particle deposition is an important source for Calcium in stone surfaces. The transformation of the calcitic binding substance into gypsum leads to a disintegration of the supporting structures in the stone through the loss of grain contacts and results in a possibly massive loss of material.

The comparison of material fluxes shows, that the sulphate in the stones mainly originates from the dry deposition of sulphur dioxide. Further deposition takes place through rain and particle input. The deposition of nitrogen species – mainly of nitric acid, nitrates and ammonium – is of less importance at both sites.

Beside the untreated stone specimens there were also exposed pre-treated specimens. The surfaces of these specimens were treated with two different agents, one being a stone consolidant without hydrophobing properties and one being a consolidant with additional hydrophobing qualities. These specimens were exposed for the period of one year. The obtained run-off data does not yet allow statements about the properties of the treated stones concerning the long-term uptake of pollutants or the degrading behaviour. Tests of the water uptake carried out at the beginning of the exposure yet show, that both agents lead to a nearly total blocking of water uptake into the stone. It might be concluded that this will lead to a considerable decrease of material fluxes. On the other hand the results for the Ihrlerteiner Grünsandstein show still significant dissolution of stone contents and uptake of sulphur dioxide even for the hydrophobically equipped specimen. This behaviour gives evidence of an incomplete sheltering of the mineral content by the protective treatment.

In addition to the run-off sampling from test specimens there was also performed the sampling of run-off waters at buildings. For this purpose a new sampling device was constructed, which allowed the simultaneous sampling of surface run-off from the stone wall and from a reference surface with a defined run-off area. It could be shown by comparison with drill core data that the device was suitable to quantify the material fluxes into and from the wall.

The evaluation of the degradation status and the further course of degradation for a certain material as well as the effect of treatments requires not only investigations about material fluxes and chemical reactions but also information about the physical properties of the material such as the dilatation behaviour under varying thermal and hygric conditions or the water vapour diffusion through the material. Suitable measuring devices were constructed and samples were prepared and examined under various conditions, taking into consideration influences of salts, solidifying and hydrophobing agents as well as humidity cycles. The measurement of the water vapour diffusion turned out to be a method fit to describe the changes of the porous system of various materials caused by protective treatments or the influence of salts. The measurement of hygroscopic or hygric dilatation also was useful for various problems. Particularly the measurements with samples of artificial marble turned out to be a useful instrument for the design of suitable substitute material.

The development of strategies for the conservation and restoration of historic monuments requires a wide range of information concerning chemical and physical properties of the building materials and environmental conditions. In the presented work a selection of useful methods for the acquisition of such information was carried out and evidence of their successful performance in practice was given.

9. Literatur

- Auras, M. (1993):** Stone Conservation by Impregnation with Polyurethane, Conservation of stone and other materials, Vol. 2: Prevention and Treatments, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris, 2, 717-724.
- Barnes, I., Bastian, V., Becker, K. H., Wirtz, K. (1986):** Atmospheric Sulfur Compounds: Sources and Tropospheric Oxidation Processes, Formation, Distribution and Chemical Transformation of Air Pollutants, DECHEMA-Monographien 104, Hrsg. R. Zellner.
- Behlen, A. (1996):** Reaktive Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre – Konzentrationsbestimmung und trockene Deposition auf Natursteine, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, Schriftenreihe Angew. Analytik Nr.29.
- Behlen, A., Steiger, M., Dannecker, W. (1997):** Quantification of the Salt Input by Wet and Dry Deposition on a Vertical Masonry, 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodes 6.-11. May 1997, Proceedings Vol. 2, 237-246.
- Beyer, R., Steiger, M. (2002):** Seesalz in atmosphärischen Aerosolen und in Niederschlägen im norddeutschen Raum insbesondere in Schleswig-Holstein, Bericht Inst. f. Anorg. u. Angew. Chemie, Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, 29 Seiten.
- Blanchard, D. C., Woodcock, A. H. (1980):** The Production, Concentration and Vertical Distribution of the Sea Salt Aerosol, Ann. N.Y. Acad. Sci. 338, 330-347.
- BMFT (1994):** Forschung für den Denkmalschutz, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.), Text: Dr. Ludwig Küsten, Druck + Verlagshaus Hermann Daniel, Bonn, 122 S.
- Bock, E., Diercks, M., Krause-Kupsch, Th., Lin, L., Meincke, F., Sameluck, F., Sand, W., Spieck, E. (1991):** Belastung von Natursteinen mit salpetersäurebildenden Bakterien - eine Bewertung am Beispiel von ausgewählten Bauwerken, Jahresberichte Steinzerfall - Steinkonservierung 1989, Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 47-56.
- Böttger, A., Ehhalt, H., Gravenhorst, G. (1980):** Atmosphärische Kreisläufe von Stickoxiden und Ammoniak, Berichte der Kernforschungsanlage Jülich, Nr. 1558.
- Brüggemann, E., Gnauk, T., Rolle, W. (1991):** Stabilitätsverhalten von ausgewählten anorganischen Spurenstoffen in Niederschlagsproben, Z. Umweltchem. Ökotox., 3, 260-265.
- Chiavarini, M., Gaggini, F., Guidetti, V., Massa, V. (1993):** Stone Protection: From Perfluoropolyethers to Polyfluorourethanes, Conservation of stone and other materials, Vol. 2: Prevention and Treatments, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris, 2, 725-732.
- Ciabach, J., Lukaszewicz, J. W. (1993):** Silicone Emulsion Concentrate VP 1311 as a Water Repellent for Natural Stone, Conservation of stone and other materials, Vol. 2: Prevention and Treatments, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris, 2, 697-704.

- Clark, P. A., Fisher, B. E. A., Scriven, R. A. (1987):** The Wet Deposition of Sulphate and its Relationship to Sulphur Dioxide Emissions, *Atmospheric Environment*, 21, 1125-1131.
- Cooper, T. P., O'Brien, P. F., Jeffrey, D. W. (1992):** Rates of Deterioration of Portland Limestone in an Urban Environment, *Studies in Conservation*, 37, 228-238.
- Deutsches Meteorologisches Jahrbuch (1992 – 1998):** Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- DIN 52111 (1990):** Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 52450 (1985):** Prüfung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe: Bestimmung des Schwindens und Quellens von kleinen Probekörpern, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 52615 (1987):** Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen, Beuth Verlag, Berlin.
- Dreckmann, J. (1992):** Entwicklung, Aufbau und Einsatz einer kontinuierlich registrierenden Meßeinrichtung für Ammoniak-Immissionskonzentrationen, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg.
- Efes, Y. (1980):** Wasserdampfdurchlässigkeit von unverwitterten und verwitterten Naturbausteinen, *Bautenschutz und Bausanierung*, 3, 91-96.
- Fassina, V., Borsella, S. (1993):** The Effects of Past Treatments on the Acceleration of Weathering Processes in the Statues on Prato Della Valle, *Conservation of stone and other materials*, Vol. 1: Causes of Disorders and Diagnosis, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris, 1, 129-136.
- Félix, C. (1995):** Peut-on consolider les grès tendre du Plateau suisse avec le silicate d'ethyle, *Preservation and Restoration of cultural Heritage*, Proceedings of the 1995 LCP((Laboratoire de Conservation de la Pierre)) Congress, Montreux 1995, 267-274.
- Félix, C. (1995):** Choix de grès tendre du Plateau suisse pour les travaux de conservation, *Preservation and Restoration of cultural Heritage*, Proceedings of the 1995 LCP((Laboratoire de Conservation de la Pierre)) Congress, Montreux 1995, 45-71.
- Fitzner, B., Kalde, M. (1991):** Standarduntersuchungen und Verwitterungssimulation – Methoden zur Bestimmung des Verwitterungsverhaltens von Natursteinen bei Frost-Tau-Wechsel- und Salzbeanspruchung, *Jahresberichte Steinzerfall – Steinkonservierung* 1989, 147-158, Verlag Ernst und Sohn, Berlin.
- Finlayson-Pitts, B. J., Pitts Jr., J. N. (1986):** *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*, John Wiley and Sons, New York.
- Flemming, H. C. (1995):** Biofilme und mikrobielle Materialzerstörung, in: *Mikrobielle Materialzerstörung und Materialschutz*, H. Brill (Hrsg.), Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 24 - 43.
- Gerdes, A., Wittmann, F. H. (1995):** Charakterisierung einer hydrophobierenden Maßnahme durch Anwendung der FT-IR-Spektroskopie, *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen*, 2, 135-152.
- Gillette, D. (1980):** Major Contributions of Natural Primary Continental Aerosols: Source Mechanism, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 338, 348-358.

- Grimm, W.-D. (1983):** Zum Verwitterungsverhalten von Naturwerksteinen in München, Sitzungsbericht Arbeitskreis „Naturwissenschaftliche Forschung an Kunstgütern aus Stein“, Hannover, 41 S.
- Grimm, W.-D. (1990):** Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland, Arbeitsheft 50, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege München, Karl M. Lipp Verlag, München.
- Gülker, G., Hinsch, K., Hölscher, C. (1992):** Laseroptische Verformungsmessung als Prüfverfahren bei Entwicklung und Test von Steinersatzmassen und Reparaturmörteln, Jahresberichte Steinzerfall - Steinkonservierung 1990, 249-261, Verlag Ernst und Sohn, Berlin.
- Gülker, G. (1993):** Deformations- und Korrelationsmessungen an Denkmalgestein unter Feuchteinfluß mit elektronischer Specklemuster Interferometrie (ESPI), Dissertation Universität Oldenburg.
- Hauck, R. D. (1984):** Atmospheric Nitrogen Chemistry, Nitrification, Denitrification, and their Interrelationship, Handbook of Environmental Chemistry (Ed. O. Hutzinger), Springer Verlag, Vol. 1, Part C, 105-125.
- Holleman, A.F., Wiberg, N. (1995):** Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York, 101. Aufl., 2033 S.
- Honsinger, D. J. (1990):** Strukturmerkmale polymerimprägnierter Sandsteine, Dissertation RWTH Aachen.
- Hüls Aktiengesellschaft:** *Vorläufige Produktinformation:* Natursteinhydrophobierung, GB 4.2 AT-TR, 129/92; *Produktinformation:* Silane/Silicone, 15.13.021/06.94; *Produktinformation:* Dynasytan BSM 100 W (Silane Silicone GB 4.2 AT-TR), 15.13.043/09.94; *EG-Sicherheitsdatenblatt* Dynasytan BSM 100 W, Ref.: DE 100 2710/03, überarbeitet am 2.5.94.
- Jansen, B., Puterman, M., Kober, H. (1993):** Neuartiges Wirkprinzip für den Denkmalschutz – Polysiloxanhaltige Isocyanatprepolymere, Bautenschutz und Bausanierung 16, [1]-[4].
- Karsten, R. (1997):** Bauchemie, Handbuch für Studium und Praxis, C. F. Müller Verlag, Heidelberg (10. Auflage).
- Kayser, K., Jessel, U., Köhler, A., Rönicke, G. (1974):** Die pH-Werte des Niederschlages in der Bundesrepublik Deutschland 1967-1972. Deutsche Forschungsgemeinschaft – Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung, Mitteilung 9, 1-25.
- Kirchner, D., Worch, A. (1993):** Physikalische Vorgänge bei der Salzkristallisation, Bautenschutz und Bausanierung 16, 101-103.
- Klopfer, H. (1985):** Feuchte. In: Lutz, P., Jenisch, R., Klopfer, H. *et al.*: Lehrbuch der Bauphysik, 265-434, Teubner Verlag, Stuttgart.
- Knöfel, D., Henkel, S., Aschhoff, A. (1995):** Ist die Messung der Wasseraufnahme mit dem Karsten'schen Prüfrohr zuverlässig?, Bautenschutz und Bausanierung, 6, 36-41.

- Leisen, H., von Plehwe-Leisen, E., Sattler, L. (1996):** Weathering and Conservation of Apsara Reliefs at Angkor Vat, Cambodia - Project Angkor, 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin 30.9. - 4.10. 96, Proceedings Vol. 2, 1137-1146.
- Leysen, L., Roekens, E., van Grieken, R. (1989):** Air-Pollution-Induced Chemical Decay of a Sandy-Limestone Cathedral in Belgium, *Sci. Total Environ.* 78, 263-287.
- Lipfert, F.W. (1989):** Dry Deposition as an Indicator for SO₂ Damage to Materials, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 39, 446.
- Luckat, S. (1981):** Quantitative Untersuchung des Einflusses von Luftverunreinigungen bei der Zerstörung von Naturstein, *Staub Reinhalt. Luft*, 41, 440-442.
- Mangels, H. (1992):** Konzeption, Aufbau und Betrieb einer Simulationsanlage für komplexe Schadgasatmosphären sowie Untersuchungen zur Verwitterung von Natursteinen, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, Schriftenreihe Angew. Analytik Nr.16.
- Mansch, R., Bock, E. (1998):** Biodeterioration of natural stone with special reference to nitrifying bacteria, *Biodeterioration* 9, 47-64.
- Möller, U., Schuh, H., Wendler, E. (1992):** Längenänderungsverhalten hydrophobierter Sandsteine, *Bautenschutz und Bausanierung* 15, [46]-[51].
- Nägele, E. W. (1985):** Hydrophobierung von Baustoffen, Theorie und Praxis, *Bautenschutz und Bausanierung*, 4.
- Nägele, E. W. (1992):** Die Rolle von Salzen bei der Verwitterung von mineralischen Baustoffen, *Bautenschutz und Bausanierung* 15, [26]-[29].
- Neumann, H. H. (1994):** Aufbau, Ausbildung und Verbreitung schwarzer Gipskrusten, dünner schwarzer Schichten und Schalen sowie damit zusammenhängender Gefügeschäden an Bauwerken aus Naturstein, Dissertation Fachbereich Geowissenschaften, Universität Hamburg, 263 S, Schriftenreihe Angew. Analytik Nr. 24.
- Neumann, H. H., Steiger, M., Waßmann, A., Dannecker, W. (1992):** Aufbau und Ausbildung schwarzer Gipskrusten und damit zusammenhängender Gefügeschäden von Naturwerksteinen am Beispiel des Leineschlusses (Hannover), *Jahresberichte Steinerfall und Steinkonservierung* 1991, 3, 151-167.
- Niesel, K. (1979):** Zur Verwitterung von Baustoffen in schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre – Literaturdiskussion, *Fortschritte der Mineralogie*, 57, 68.
- Piacenti, F., Camaiti, M., Brocchi, T., Scala, A. (1993):** New Developments in Perfluorinated Protective Agents for Stone, *Conservation of stone and other materials*, Vol. 2: Prevention and Treatments, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris, 2, 733-739.
- Prick, A. (1995):** Utilisation de la Méthode Dilatométrique dans l'Étude Expérimentale de l'Altération de Calcaires et de Granites par du Sulfate de Calcium, *Preservation and Restoration of cultural Heritage*, Proceedings of the 1995 LCP (Laboratoire de Conservation de la Pierre) Congress, Montreux 1995, 177-185.

- Reddy, M. M., Sherwood, S., Doe, B. (1985):** Limestone and Marble Dissolution by Acid Rain, 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne September 1985, 517-526.
- Remmers Bauchemie, Löningen:** *Technisches Merkblatt:* Funcosil OH Steinfestiger, Art.-Nr. 0645, TM 0645/6.92; *Sicherheitsdatenblatt:* Funcosil Steinfestiger OH, überarbeitet am 25.10.94; *Technisches Merkblatt:* Funcosil H Steinfestiger, Art.-Nr. 0646, TM 0646/6.92; *Sicherheitsdatenblatt:* Funcosil Steinfestiger H, überarbeitet am 18.10.94
- Rensing, D. (1985):** Ein neuer Weg zur Natursteinkonservierung, Bautenschutz und Bausanierung, 1, 21-25.
- Riecken, B., Sasse, H. R. (1998):** Zeit- und tiefenabhängige Dilatation ungetränkter und getränkter Prismen aus Terrakotta, IBAC, Institut für Bauforschung Aachen, Forschungsbericht F 588, 29 Seiten.
- Riederer, J. (1973):** Die Wirkungslosigkeit von Luftverunreinigungen beim Steinzerfall, Staub Reinhalt. Luft, 33, 15-19.
- Roekens, E., Komy, Z., Leysen, L., Veny, P., van Grieken, R. (1988):** Chemistry of Precipitation near a Limestone Building, Water, Air and Soil Poll. 38, 273-282.
- Roekens, E., Bleyen, C., van Grieken, R. (1989):** Sulphite and Sulphate Concentrations in Weathering Products of Sandy Limestone and in Deposition Samples, Environmental Pollution, 57, 289-298.
- Rönicke, G., Rönicke, R. (1972):** Über den Mechanismus der zerstörenden Wirkung der Luftverunreinigung am Freiburger Münster, Deutsche Kunst- und Denkmalpflege, 30, 57-64.
- Rupp, K. M. (1993):** Der Einfluss bauschädlicher Salze auf die Wirksamkeit moderner Steinkonservierungsmittel, Dissertation Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Sand, W. (1995):** Mineralische Werkstoffe, in: Mikrobielle Materialzerstörung und Materialschutz, H. Brill (Hrsg.), Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 78 - 106.
- Sasse, H. R. (1988):** Neuartiges Konzept für den Schutz gefährdeter Natursteinbauten, in: Symposium über Steinzerfall, Bild der Wissenschaft, Bonn, Heft 8/88, 83 - 106.
- Sasse, H. R., Honsinger, D., Schwamborn, B. (1993):** "PINS" - New Technology in Porous Stone Conservation, Conservation of stone and other materials, Vol. 2: Prevention and Treatments, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris, 2, 705-716.
- Saul, A., Wagner, W. (1987):** International Equations for the Saturation Properties of Ordinary Water Substance, J. Phys. Chem. Ref. Data 16, 893.
- Schießl, P., Alfes, Ch. (1990):** Festigkeit und Verformbarkeit von Sandstein – Bedeutung für die Verwitterungsresistenz und Meßmethoden, Denkmalpflege und Naturwissenschaft im Gespräch, Workshop Fulda 6./7. 3. 1990, Sonderheft Steinzerfall und Steinkonservierung, 10-17, Verlag Ernst und Sohn, Berlin.
- Schuh, H. (1987):** Physikalische Eigenschaften von Sandsteinen und ihren verwitterten Oberflächen, Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe B, Allgemeine und Angewandte Geologie, Dissertation, 6, 1-66.

- Schulz, M. (1993):** Räumliche und zeitliche Verteilung atmosphärischer Einträge von Spurenelementen in die Nordsee, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, 191 S., Schriftenreihe Angew. Analytik Nr. 17.
- Seinfeld, J. H. (1986):** Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Wiley and Sons, New York.
- Snethlage, R. (1984):** Steinkonservierung, Bayer. Landesamt f. Denkmalpflege, Arbeitsheft 22, 203 S.
- Snethlage, R. (1985):** Zum Kenntnisstand von Verwitterungsvorgängen an Natursteinen, Internationales Kolloquium Natursteinkonservierung, München 1984, Bayer. Landesamt f. Denkmalpflege, Arbeitsheft 31, 20.
- Snethlage, R. (1986):** Messungen zur Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungen an Sandsteingebäuden, Bautenschutz und Bausanierung, Sonderausgabe, 1. Statusseminar des Bundesministers für Forschung und Technologie, Mainz, 17./18. 12. 1986, 16-19.
- Snethlage, R. (1990):** Geologische und mineralogische Eigenschaften als Festigkeitsparameter von Gesteinen, Denkmalpflege und Naturwissenschaft im Gespräch, Workshop Fulda 6./7. 3. 1990, Sonderheft Steinzerfall und Steinkonservierung, 18-22, Verlag Ernst und Sohn, Berlin.
- Snethlage, R. (1993):** Methoden der Konservierung von Naturstein, Ber. Dt. Mineralog. Ges., Beih. z. Eur. J. 5, 287.
- Snethlage, R., Wendler, E., Klemm, D. (1994):** Tenside im Gesteinsschutz - bisherige Resultate mit einem neuen Konzept zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein, Jahresberichte Steinzerfall und Steinkonservierung 1992, 127-146, Verlag Ernst und Sohn, Berlin.
- Steiger, M. (2002):** Salts and Crusts, in: Air Pollution Reviews, Vol. 4, The Effects of Air Pollution on the Built Environment, edited by Peter Brimblecombe, Imperial College Press, London, im Druck.
- Steiger, M., Behlen, A., Neumann, H. H., Willers, U., Wittenburg, C., Dannecker, W. (1997):** Sea Salt in Historic Buildings: Deposition, Transport and Accumulation, 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodes 6.-11. May 1997, Proceedings Vol. 1, 325-335.
- Steiger, M., Dannecker, W. (1994):** Determination of Wet and Dry Deposition of Atmospheric Pollutants on Building Stones by Field Exposure Experiments, The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the 3rd International Symposium. Venice, 1994, S. 171-178.
- Torfs, K., van Grieken, R. (1996):** Effect of Stone Thickness on Run-off Water Composition and Derived Damage Functions in Ambient Exposure Experiments, Atmos. Environ., 30, 1-8.
- Turpin, B. J., Huntzicker, J. J. (1991):** Secondary Formation of Organic Aerosol in the Los Angeles Basin: a Descriptive Analysis of Organic and Elemental Carbon Concentrations, Atmos. Environ. 25A, 207-215.

- Urzi, C., Krumbein, W. E. (1994):** Microbiological Impacts on the Cultural Heritage, in: Krumbein, W. E., Brimblecombe, P., Cosgrove, D. E., Staniforth, S. (Hrsg.): Durability and Change, The Science, Responsibility, and Cost of Sustaining Cultural Heritage, Wiley and Sons, London, 307 S.
- Vassilakos, C., Katsanos, N. A., Niotis, A. (1992):** Physicochemical Damage Parameters for the Action of SO₂ and NO₂ on Single Pieces of Marble, *Atmos. Environ.*, 26b, 2, 219.
- Vieser, H. (1986):** Wenn die Steine sterben, *Bild der Wissenschaft*, 12.
- Vleugels, G. J., Roekens, E. J., van Grieken, R. E. (1988):** Micro-Catchment Study of the Weathering of Balegem and Massengis Limestones, *Proceedings of the 4th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Torun 12. - 14. 9. 1988, Institute of conservation and restoration of cultural property (ed.), Torun, 57-65.
- von Plehwe-Leisen, E., Wendler, E., Snethlage, R., Klemm, D., David Castello Branco, H., dos Santos, A. F. (1994 a):** Investigation into Hygric Properties, IDEAS Project, Investigation into Devices against Environmental Attack on Stones, 135-146, Publication of the GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH.
- von Plehwe-Leisen, E., Wendler, E., Snethlage, R., Klemm, D., David Castello Branco, H., dos Santos, A. F. (1994 b):** Conservation and Restoration Procedures, IDEAS Project, Investigation into Devices against Environmental Attack on Stones, 224-237, Publication of the GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH.
- Weiss, G. (1992):** Die Eis- und Salzkristallisation im Porenraum von Sandsteinen und ihre Auswirkungen auf das Gefüge unter besonderer Berücksichtigung gesteinspezifischer Parameter, Dissertation, Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe B, Allgemeine und Angewandte Geologie, 9, 1-118.
- Wendler, E. (1991):** Zum Mechanismus der Schalenbildung bei tonigen Sandsteinen, *Jahresberichte Steinzerfall und Steinkonservierung* 1, 71-76, Verlag Ernst und Sohn 1989, Berlin.
- Wendler, E., Klemm, D., Snethlage, R. (1990):** Consolidation and Hydrophobic Treatment of Natural Stone, *Fifth International Conference on Durability of Building Materials and Components*, 7. - 9. 11. 1990, Proceedings.
- Wendler, E., Rückert-Thümling, R. (1992):** Gefügezerstörendes Verformungsverhalten bei salzbefrachteten Sandsteinen unter hygrischer Wechselbelastung, In: Wittmann F.H. (Hrsg.): *Werkstoffwissenschaften und Bausanierung*, ed. Wittmann F. H. (Expert Verlag, Ehningen, 1992), 1818-1830.
- Wendler, E., Sattler, L. (1992):** Anlage einer Musterfläche zur Steinkonservierung am Schloß Schillingsfürst. Teil 1: Vorbereitende Untersuchungen, *Jahresberichte Steinzerfall und Steinkonservierung* 1991, 187-192.
- Wendler, E., Sattler, L., Klemm, D., Snethlage, R. (1993):** Untersuchungen zur Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit früherer Konservierungsmaßnahmen am Münster Salem, *Jahresberichte Steinzerfall und Steinkonservierung* 1991, 123-132.
- Wendler, E., Snethlage, R. (1989):** Der Wassereindringprüfer nach Karsten - Anwendung und Interpretation der Daten, *Bautenschutz und Bausanierung*, 12, 110-115.

- Whitby, K. T. (1978):** The Physical Characteristics of Sulfur Aerosols, *Atmos. Environ.* 12, 135-159.
- Whitby, K. T., Sverdrup, G. M. (1980):** California Aerosols: Their Physical and Chemical Characteristics, *Adv. Environ. Sci. Technol.* 10, 477.
- Wiese, U. (2000):** Chemisch-physikalische Untersuchungen zur Deposition von Schwefeldioxid auf Gesteinsproben und anderen Absorberoberflächen, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, 129 S, Schriftenreihe Angew. Analytik Nr. 40.
- Winkler, E. M. (1975):** Stone: Properties, Durability in Man's Environment, Springer Verlag Wien, New York, 230 S.
- Wittenburg, C. (1994):** Trockene Schadgas- und Partikeldeposition auf verschiedene Sandsteinvarietäten unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Einflußgrößen, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, Schriftenreihe Angew. Analytik Nr. 22.
- Wittenburg, C., Steiger, M., Dannecker, W., Rabelo de Carvalho, C., Pataca, L. (1994):** Chemical Analysis of Stone Material, IDEAS Project, Investigations into Devices against Environmental Attack on Stones, 191-202, Publication of the GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH.
- Wittenburg, C., Dannecker, W. (1994):** Salt Enrichment in Building Stones by Deposition of Sulphur and Nitrogen Containing Species from Urban Atmospheres, in: The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings 3d International Symposium, Venice, Hrsg.: Fassina, V, Ott, H., Zezza, F., 179-183.
- Wittenburg, C., Dannecker, W. (1992):** Dry Deposition and Deposition Velocity of Airborne Acidic Species upon Different Sandstones, *J. Aerosol Sci.*, 23, Suppl. 1, S869-S872.
- Wittenburg, C., Mangels, H., Wolf, F., Steiger, M., Bothmann, T., Dannecker, W. (1993):** Ein Vergleich von Schwefeldioxid-Depositionsgeschwindigkeiten auf Naturwerksteine aus verschiedenen experimentellen Ansätzen, *VDI-Berichte*, 1060, 383-392.
- Wittenburg, C. (Hrsg.) (1999):** Baroque Artificial Marble: Environmental Impacts, Degradation and Protection, ENVIART, Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report No. 9, European Communities, 144 Seiten.
- Wolf, F. (1991):** Bilanzierende Untersuchungen über den Einfluß reaktiver Luftschadstoffe auf das Verwitterungsverhalten von Natursteinprüfkörpern zweier Freilandversuchsfelder, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg.
- Zallmanzig, J. (1984):** Wirkungsmechanismen saurer Luftverunreinigungen bei Natursteinen am Beispiel des Kölner Doms, Materialkorrosion durch Luftverunreinigungen, Tagung Köln 17. bis 19. Oktober 1984, *VDI-Berichte*, 530, 95-110.

10. Anhang

| | |
|---|---------------|
| A 1: Regendaten Duisburg..... | S. 118 |
| A 2: Regendaten Holzkirchen..... | S. 122 |
| A 3a: Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)..... | S. 124 |
| A 3b: Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper) | S. 136 |
| A 4: Ablaufwasserdaten Holzkirchen | S. 144 |
| A 5: Bohrkerne Duisburg..... | S. 159 |
| A 6: Ablaufwasser- und Depositionsdaten Süderende | S. 161 |

A 1: Regendaten Duisburg

Proben des Regensammlers

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 04.06.1992 | 10.06.1992 | 1665 | 0,40 | <0,1 | 4,20 | 8,92 | <1 | 4,26 | 2,18 | 0,21 | 0,23 | 1,24 | 0,29 |
| 10.06.1992 | 11.08.1992 | 1670 | 0,80 | <0,1 | 4,50 | 12,8 | <1 | 6,27 | 2,44 | 0,49 | 0,42 | 3,47 | 0,87 |
| 11.08.1992 | 17.08.1992 | 1845 | 0,40 | <0,1 | 1,30 | 8,17 | <1 | 5,08 | 1,73 | 0,29 | 0,25 | 1,80 | 0,49 |
| 17.08.1992 | 27.08.1992 | 1835 | 0,39 | 0,13 | 1,50 | 5,60 | 2,18 | 6,41 | 1,24 | 0,29 | 0,23 | 1,90 | 0,60 |
| 27.08.1992 | 08.09.1992 | 2160 | 1,45 | <0,1 | 2,09 | 4,00 | <1 | 4,91 | 1,22 | 0,86 | 0,18 | 1,06 | 0,36 |
| 08.09.1992 | 15.10.1992 | 1660 | 1,25 | 0,29 | 4,95 | 11,2 | <1 | 6,43 | 1,86 | 0,59 | 1,99 | 3,11 | 0,62 |
| 15.10.1992 | 03.11.1992 | 1645 | 2,79 | <0,1 | 2,43 | 14,6 | 8,54 | 6,79 | 1,27 | 1,51 | 1,31 | 5,83 | 1,42 |
| 03.11.1992 | 16.11.1992 | 1575 | 5,85 | 0,50 | 2,99 | 16,2 | 27,5 | 7,66 | 1,15 | 3,34 | 1,25 | 10,9 | 2,82 |
| 16.11.1992 | 23.11.1992 | 1850 | 1,85 | <0,1 | 6,34 | 11,2 | 2,37 | 6,65 | 0,03 | 1,31 | 0,27 | 4,66 | 1,65 |
| 23.11.1992 | 14.12.1992 | 1770 | 2,50 | <0,1 | 6,61 | 12,9 | 5,04 | 7,14 | 0,03 | 1,46 | 0,47 | 5,95 | 1,96 |
| 14.12.1992 | 12.01.1993 | 2135 | 1,95 | <0,1 | 9,51 | 13,4 | <1 | 4,10 | 0,87 | 1,13 | 0,39 | 4,28 | 0,91 |
| 12.01.1993 | 23.02.1993 | 1875 | 11,2 | <0,1 | 13,7 | 32,4 | 17,5 | 7,55 | 0,09 | 8,58 | 1,02 | 17,3 | 5,87 |
| 23.02.1993 | 16.04.1993 | 1970 | 5,33 | <0,1 | 32,2 | 23,0 | <1 | 4,36 | 1,52 | 4,05 | 4,47 | 11,4 | 2,21 |
| 14.06.1993 | 16.07.1993 | 1840 | 0,74 | <0,1 | 3,36 | 8,31 | <1 | 4,52 | 1,79 | 0,50 | 0,26 | 2,37 | 0,44 |
| 16.07.1993 | 20.07.1993 | 1850 | 0,43 | 0,14 | 2,14 | 8,40 | 1,80 | 6,38 | 1,86 | 0,29 | 0,12 | 2,11 | 0,53 |
| 20.07.1993 | 26.07.1993 | 1800 | 0,36 | <0,1 | 2,26 | 4,98 | 1,38 | 5,95 | 1,64 | 0,30 | 0,05 | 1,29 | 0,31 |
| 26.07.1993 | 05.08.1993 | 2010 | 0,79 | <0,1 | 2,53 | 8,58 | <1 | 5,23 | 1,57 | 0,35 | 0,26 | 2,47 | 0,35 |
| 05.08.1993 | 08.09.1993 | 1910 | 1,08 | <0,1 | 3,10 | 12,0 | 1,84 | 5,88 | 2,38 | 0,69 | 0,33 | 2,91 | 0,61 |
| 08.09.1993 | 10.09.1993 | 2155 | 0,22 | <0,1 | 0,79 | 3,24 | 1,57 | 5,98 | 0,99 | 0,27 | 0,22 | 0,64 | 0,01 |
| 10.09.1993 | 16.09.1993 | 2170 | 0,28 | <0,1 | 1,31 | 5,84 | 1,41 | 6,38 | 0,90 | 0,44 | 0,21 | 1,70 | 0,01 |
| 16.09.1993 | 27.09.1993 | 2160 | 0,48 | 0,11 | 1,77 | 5,33 | <1 | 6,00 | 1,01 | 0,31 | 0,23 | 1,44 | 0,24 |
| 27.09.1993 | 06.10.1993 | 1910 | 0,50 | 0,11 | 0,96 | 3,28 | 2,20 | 6,05 | 0,39 | 0,26 | 0,50 | 1,75 | 0,23 |
| 06.10.1993 | 11.11.1993 | 1875 | 1,45 | <0,1 | 0,10 | 5,43 | 9,94 | 6,81 | 0,68 | 0,69 | 3,12 | 3,28 | 0,65 |
| 11.11.1993 | 24.11.1993 | 1160 | 1,20 | <0,1 | 1,92 | 7,63 | 6,00 | 5,33 | 1,01 | 0,73 | 0,94 | 3,27 | 0,80 |
| 25.11.1993 | 15.12.1993 | 2000 | 4,91 | <0,1 | 1,96 | 12,2 | 10,4 | 6,79 | 1,25 | 2,98 | 0,35 | 5,60 | 2,17 |
| 15.12.1993 | 21.12.1993 | 1770 | 1,94 | 0,22 | 1,76 | 9,73 | 4,65 | 7,29 | 1,25 | 0,99 | 0,36 | 4,06 | 1,00 |
| 21.12.1993 | 05.01.1994 | 2125 | 1,79 | <0,1 | 2,12 | 6,77 | 3,17 | 5,88 | 1,45 | 0,93 | 0,34 | 2,26 | 0,58 |
| 05.01.1994 | 24.01.1994 | 1885 | 1,38 | <0,1 | 1,43 | 15,3 | <1 | 5,00 | 1,77 | 0,74 | 0,18 | 3,29 | 0,85 |
| 24.01.1994 | 24.02.1994 | 2000 | 5,25 | <0,1 | 3,40 | 14,0 | 7,96 | 6,93 | 1,46 | 3,04 | 0,33 | 4,99 | 1,66 |
| 24.02.1994 | 01.03.1994 | 200 | 1,25 | <0,1 | 4,52 | 8,48 | 3,07 | 7,48 | 1,20 | 0,90 | 0,21 | 2,92 | 0,71 |
| 01.03.1994 | 18.03.1994 | 2160 | 2,78 | <0,1 | 2,57 | 15,6 | 7,81 | 6,94 | 2,05 | 1,25 | 0,62 | 5,65 | 1,75 |
| 18.03.1994 | 25.03.1994 | 1250 | 1,06 | <0,1 | 2,38 | 12,3 | 4,53 | 6,56 | 1,69 | 0,60 | 0,21 | 4,11 | 1,14 |
| 25.03.1994 | 07.04.1994 | 1852 | 2,93 | 2,84 | 2,42 | 6,19 | 3,93 | 6,74 | 1,77 | 1,42 | 1,17 | 4,03 | 1,43 |
| 07.04.1994 | 22.04.1994 | 100 | 1,29 | <0,1 | 2,18 | 4,78 | 4,85 | 6,54 | 0,98 | 0,47 | 0,42 | 1,93 | 0,65 |
| 22.04.1994 | 24.05.1994 | 2060 | 1,51 | <0,1 | 7,10 | 9,85 | 6,37 | 6,64 | 1,56 | 1,64 | 0,34 | 5,48 | 1,02 |
| 24.05.1994 | 31.05.1994 | 370 | 2,14 | <0,1 | 9,48 | 7,80 | <1 | 4,04 | 3,37 | 1,21 | 0,33 | 1,81 | 0,43 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | 1410 | 1,79 | <0,1 | 4,59 | 10,3 | 10,8 | 6,42 | 2,08 | 0,90 | 0,43 | 5,07 | 0,87 |
| 30.06.1994 | 07.07.1994 | 1998 | 1,02 | <0,1 | 5,41 | 6,58 | 2,50 | 6,10 | 2,74 | 0,49 | 0,32 | 2,50 | 0,52 |
| 07.07.1994 | 29.07.1994 | 300 | 1,75 | <0,1 | 6,30 | 7,96 | 4,87 | 7,71 | 2,69 | 0,81 | 0,39 | 4,88 | 0,90 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | 1060 | 2,15 | <0,1 | 4,07 | 11,6 | 9,66 | 6,90 | 1,99 | 1,18 | 0,67 | 6,55 | 1,38 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | 4500 | 1,06 | <0,1 | 1,87 | 6,27 | 9,21 | 6,78 | 1,02 | 0,36 | 0,65 | 3,85 | 1,14 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | 660 | 6,42 | <0,1 | 2,84 | 28,4 | 44,8 | 7,72 | 3,62 | 2,06 | 9,70 | 16,2 | 2,79 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | 4800 | 6,80 | 0,40 | 16,3 | 32,7 | 18,1 | 7,30 | 0,23 | 2,77 | 2,18 | 15,0 | 6,42 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | 3900 | 1,96 | 0,11 | 1,33 | 10,1 | 14,0 | 6,76 | 1,14 | 1,11 | 0,65 | 5,46 | 2,15 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | 8360 | 3,00 | <0,1 | 1,30 | 7,9 | 11,4 | 6,72 | 0,81 | 1,52 | 0,22 | 5,32 | 1,43 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | 4660 | 2,38 | <0,1 | 2,73 | 18,1 | 24,1 | 7,30 | 1,04 | 1,55 | 0,36 | 11,5 | 2,73 |
| 28.02.1995 | 24.03.1995 | 1820 | 2,81 | <0,1 | 7,29 | 11,8 | 2,63 | 6,43 | 0,01 | 1,98 | 0,26 | 5,73 | 2,09 |
| 24.03.1995 | 03.04.1995 | 1250 | 3,74 | <0,1 | 8,44 | 12,2 | 3,86 | 6,39 | 0,00 | 2,04 | 0,36 | 7,09 | 1,99 |

Proben des Regensammlers Duisburg (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 03.04.1995 | 28.04.1995 | 1160 | 2,08 | <0,1 | 16,8 | 15,0 | <1 | 4,38 | 0,49 | 1,04 | 0,51 | 7,99 | 2,29 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | 1500 | 1,20 | <0,1 | 12,5 | 9,20 | <1 | 4,36 | 0,70 | 1,77 | 1,09 | 5,26 | 1,20 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | 1010 | 1,18 | <0,1 | 7,88 | 10,7 | 1,83 | 6,93 | 2,88 | 6,86 | 0,93 | 5,72 | 2,05 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | 770 | 1,91 | <0,1 | 7,37 | 13,3 | 18,2 | 7,28 | 2,71 | 0,94 | 0,83 | 7,61 | 2,57 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | 1170 | 1,20 | <0,1 | 12,2 | 17,8 | <1 | 4,28 | 2,24 | 0,85 | 0,53 | 3,77 | 1,19 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | 2050 | 2,57 | <0,1 | 8,52 | 13,2 | <1 | 4,30 | 0,30 | 1,31 | 3,25 | 4,37 | 1,38 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | 3450 | 3,21 | <0,1 | 8,35 | 10,7 | <1 | 5,33 | 0,04 | 1,71 | 1,41 | 5,85 | 1,45 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | 110 | 21,7 | 4,04 | 24,4 | 85,3 | 48,8 | 7,51 | 0,23 | 7,16 | 55,3 | 27,6 | 7,97 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | 125 | 4,46 | <0,1 | 22,4 | 32,0 | 10,3 | 6,98 | 0,04 | 1,79 | 3,35 | 20,4 | 3,93 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | 620 | 0,61 | <0,1 | 5,55 | 9,40 | 5,71 | 6,81 | 1,06 | 1,50 | 0,26 | 5,57 | 1,20 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | 500 | 5,23 | <0,1 | 3,62 | 13,9 | 11,9 | 7,08 | 1,79 | 3,13 | 0,24 | 7,11 | 1,98 |
| 01.03.1996 | 28.03.1996 | 85 | 12,9 | <0,1 | 39,7 | 53,7 | <1 | 4,48 | 2,95 | 5,38 | 1,34 | 22,8 | 10,2 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | 150 | 5,26 | <0,1 | 30,5 | 26,6 | 10,2 | 7,06 | 2,42 | 2,18 | 0,81 | 16,7 | 4,84 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | 150 | 4,20 | <0,1 | 18,9 | 13,0 | 4,89 | 6,91 | 0,53 | 1,12 | 0,56 | 13,6 | 2,29 |
| 30.05.1996 | 26.06.1996 | 110 | 9,43 | <0,1 | 20,3 | 21,3 | 11,5 | 6,58 | 0,75 | 1,41 | 3,82 | 16,4 | 3,50 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | 455 | 2,92 | <0,1 | 14,3 | 13,5 | 9,02 | 7,01 | 0,82 | 0,82 | 1,03 | 9,16 | 2,09 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | 845 | 1,39 | <0,1 | 7,93 | 6,88 | 2,95 | 6,20 | 0,99 | 0,35 | 0,55 | 3,94 | 0,89 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | 390 | 6,10 | <0,1 | 11,8 | 15,7 | 14,0 | 6,98 | 1,15 | 2,81 | 1,59 | 12,1 | 1,59 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | 740 | 3,46 | 1,40 | 3,64 | 15,3 | 22,8 | 6,19 | 0,00 | 1,20 | 3,54 | 12,2 | 1,75 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | 50 | 27,1 | <0,1 | 11,1 | 34,6 | 29,0 | 7,21 | 0,36 | 4,32 | 17,1 | 21,1 | 5,82 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | 60 | 18,6 | 0,36 | 8,80 | 45,5 | 17,8 | 7,27 | 1,64 | 9,46 | 2,20 | 18,5 | 7,72 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | 390 | 6,52 | <0,1 | 9,20 | 21,8 | 22,8 | 7,38 | 1,15 | 3,01 | 0,85 | 16,7 | 2,33 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | 40 | 9,99 | 1,41 | 63,3 | 62,1 | 99,1 | 7,97 | 2,97 | 4,14 | 6,81 | 39,9 | 24,0 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | 60 | 18,6 | 0,84 | 31,0 | 49,0 | 74,1 | 7,99 | 0,78 | 9,88 | 9,26 | 32,6 | 12,5 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | 140 | 1,70 | 0,22 | 7,14 | 11,9 | 24,3 | 7,32 | 0,81 | 0,87 | 0,93 | 11,3 | 3,19 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | 220 | 1,90 | 0,05 | 31,4 | 8,04 | 1,80 | 8,82 | 1,75 | 0,89 | 1,97 | 11,1 | 2,10 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | 300 | 2,65 | 0,23 | 4,80 | 15,1 | 61,3 | 7,75 | 3,20 | 0,75 | 1,16 | 21,5 | 2,09 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | 2090 | 1,51 | <0,1 | 3,67 | 8,36 | 17,5 | 7,01 | 3,52 | 0,54 | 1,09 | 5,21 | 1,11 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | 2120 | 1,14 | 0,15 | 6,55 | 7,02 | 7,51 | 6,76 | 3,01 | 0,59 | 0,29 | 4,01 | 0,69 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | 2065 | 3,88 | <0,1 | 2,28 | 13,3 | 28,1 | 6,65 | 1,32 | 1,78 | 4,24 | 6,92 | 1,73 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | 1035 | 3,88 | <0,1 | 8,44 | 8,41 | 25,5 | 7,40 | 1,24 | 1,09 | 5,38 | 9,43 | 2,13 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | 2090 | 3,38 | 0,17 | 2,35 | 7,39 | 10,2 | 7,15 | 0,94 | 2,04 | 0,45 | 4,65 | 1,52 |

Proben des Gesamtdepositionssammlers Duisburg

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 04.06.1992 | 10.06.1992 | 260 | 0,51 | <0,1 | 4,19 | 8,38 | <1 | 4,36 | 1,20 | 0,27 | 0,30 | 2,81 | 0,57 |
| 10.06.1992 | 11.08.1992 | 465 | 1,60 | <0,1 | 0,10 | 17,8 | 23,5 | 7,65 | 0,71 | 0,91 | 1,05 | 11,9 | 2,58 |
| 11.08.1992 | 17.08.1992 | 265 | 0,86 | 0,14 | 1,87 | 12,1 | 5,11 | 7,04 | 1,69 | 0,47 | 0,38 | 4,19 | 1,45 |
| 17.08.1992 | 27.08.1992 | 320 | 0,81 | <0,1 | 2,32 | 8,12 | 10,7 | 7,30 | 1,19 | 0,56 | 0,33 | 4,57 | 1,38 |
| 27.08.1992 | 15.10.1992 | 935 | 1,90 | 0,79 | 0,77 | 11,1 | 18,5 | 7,70 | 2,03 | 1,06 | 0,81 | 6,69 | 1,30 |
| 15.10.1992 | 03.11.1992 | 490 | 2,84 | <0,1 | 2,20 | 19,2 | 9,40 | 6,95 | 1,39 | 2,03 | 1,02 | 7,15 | 2,08 |
| 03.11.1992 | 16.11.1992 | 415 | 5,06 | <0,1 | 2,70 | 18,6 | 42,5 | 7,37 | 1,23 | 2,98 | 0,79 | 8,79 | 3,03 |
| 16.11.1992 | 23.11.1992 | 485 | 1,83 | <0,1 | 6,51 | 12,6 | <1 | 5,31 | 0,11 | 1,26 | 0,25 | 4,35 | 1,76 |
| 23.11.1992 | 14.12.1992 | 250 | 3,08 | <0,1 | 6,83 | 14,6 | 3,72 | 6,89 | 0,03 | 1,85 | 0,49 | 5,94 | 2,37 |
| 14.12.1992 | 12.01.1993 | 700 | 1,74 | <0,1 | 2,08 | 12,8 | 1,29 | 6,26 | 1,87 | 0,98 | 0,25 | 3,05 | 0,72 |
| 12.01.1993 | 23.02.1993 | 530 | 9,78 | <0,1 | 4,11 | 40,4 | 25,0 | 7,75 | 3,42 | 5,12 | 0,69 | 15,5 | 5,46 |
| 23.02.1993 | 16.04.1993 | 515 | 4,89 | <0,1 | 7,54 | 26,6 | 14,6 | 7,57 | 2,63 | 2,62 | 0,53 | 12,5 | 2,72 |
| 14.06.1993 | 16.07.1993 | 445 | 1,47 | <0,1 | 0,10 | 13,2 | 22,8 | 9,85 | 0,03 | 0,66 | 0,93 | 10,5 | 1,40 |
| 16.07.1993 | 20.07.1993 | 410 | 0,53 | 0,26 | 1,88 | 10,2 | 5,45 | 6,93 | 1,95 | 0,41 | 0,17 | 3,29 | 0,93 |
| 20.07.1993 | 26.07.1993 | 380 | 0,45 | 0,13 | 2,18 | 6,55 | 4,90 | 6,47 | 0,73 | 0,35 | 0,05 | 3,33 | 0,75 |
| 26.07.1993 | 05.08.1993 | 460 | 1,10 | <0,1 | 2,66 | 11,5 | 5,72 | 6,64 | 0,58 | 0,62 | 0,74 | 5,39 | 0,87 |
| 05.08.1993 | 08.09.1993 | 430 | 1,62 | <0,1 | 0,10 | 19,3 | 26,7 | 7,53 | 0,78 | 1,03 | 0,56 | 14,3 | 1,24 |
| 08.09.1993 | 10.09.1993 | 530 | 0,21 | <0,1 | 0,78 | 3,05 | <1 | 4,97 | 0,70 | 0,21 | 0,05 | 1,19 | 0,01 |
| 10.09.1993 | 16.09.1993 | 590 | 0,33 | <0,1 | 1,26 | 6,23 | 1,41 | 6,25 | 0,96 | 0,33 | 0,22 | 1,76 | 0,01 |
| 16.09.1993 | 27.09.1993 | 885 | 0,43 | <0,1 | 1,62 | 5,99 | 1,08 | 5,49 | 0,88 | 0,29 | 0,14 | 1,75 | 0,29 |
| 27.09.1993 | 06.10.1993 | 470 | 0,43 | 0,11 | 1,00 | 3,88 | 2,40 | 6,14 | 0,38 | 0,26 | 0,34 | 1,90 | 0,32 |
| 06.10.1993 | 11.11.1993 | 510 | 1,15 | <0,1 | 2,56 | 9,90 | 13,0 | 6,99 | 0,34 | 0,76 | 2,09 | 4,70 | 0,72 |
| 11.11.1993 | 24.11.1993 | 315 | 1,45 | <0,1 | 1,88 | 8,89 | 13,1 | 7,30 | 0,88 | 0,73 | 1,68 | 5,24 | 0,90 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | 1010 | 4,87 | 3,35 | 1,89 | 21,9 | 12,5 | 7,29 | 0,53 | 2,90 | 0,46 | 11,6 | 3,04 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | 950 | 2,39 | <0,1 | 2,14 | 20,2 | 5,22 | 6,91 | 2,11 | 1,04 | 0,28 | 6,41 | 1,59 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | 643 | 7,60 | <0,1 | 4,13 | 29,6 | 18,9 | 8,40 | 8,90 | 3,88 | 0,45 | 13,9 | 3,33 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | 980 | 26,4 | 0,58 | 3,14 | 29,0 | 15,2 | 7,03 | 2,64 | 1,41 | 0,65 | 11,3 | 3,29 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | 740 | 0,71 | 0,15 | 2,35 | 13,9 | 27,8 | 7,09 | 1,78 | 1,23 | 0,96 | 11,2 | 2,47 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | 640 | 3,43 | <0,1 | 2,44 | 13,6 | 36,3 | 7,53 | 0,65 | 1,69 | 0,82 | 14,6 | 2,11 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | 522 | 2,70 | <0,1 | 2,16 | 12,2 | 51,6 | 7,86 | 0,89 | 0,81 | 1,28 | 16,7 | 2,85 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | 545 | 2,66 | <0,1 | 6,23 | 9,1 | 14,2 | 6,71 | 2,62 | 0,47 | 0,51 | 9,12 | 1,41 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | 625 | 2,88 | <0,1 | 4,68 | 13,1 | 18,8 | 7,03 | 1,02 | 0,94 | 0,53 | 11,3 | 2,21 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | 1020 | 1,01 | <0,1 | 18,8 | 14,5 | 5,97 | 6,97 | 0,03 | 1,21 | 3,01 | 10,4 | 2,46 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | 150 | 6,42 | <0,1 | 2,84 | 28,4 | 44,8 | 7,72 | 3,62 | 2,06 | 9,70 | 16,2 | 2,79 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | 1085 | 1,44 | 1,66 | 4,63 | 26,4 | 6,43 | 6,76 | 0,00 | 0,91 | 0,34 | 8,56 | 2,52 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | 880 | 2,15 | <0,1 | 3,02 | 18,6 | 22,6 | 7,34 | 1,33 | 1,24 | 0,43 | 11,1 | 2,58 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | 1890 | 3,00 | <0,1 | 1,30 | 7,94 | 11,4 | 6,72 | 0,81 | 1,52 | 0,22 | 5,32 | 1,43 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | 1055 | 2,38 | <0,1 | 2,73 | 18,1 | 24,1 | 7,30 | 1,04 | 1,55 | 0,36 | 11,5 | 2,73 |
| 24.03.1995 | 03.04.1995 | 730 | 3,57 | <0,1 | 8,79 | 19,1 | 26,4 | 7,63 | 0,01 | 1,92 | 0,38 | 14,7 | 3,92 |

Proben des Gesamtdepositionssammlers Duisburg (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 03.04.1995 | 28.04.1995 | 440 | 2,26 | <0,1 | 9,25 | 17,6 | 67,7 | 7,55 | <0,002 | 1,10 | 0,73 | 18,6 | 3,35 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | 380 | 1,20 | <0,1 | 12,6 | 12,0 | 30,7 | 7,57 | 0,05 | 2,26 | 2,33 | 16,7 | 2,02 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | 230 | 1,18 | <0,1 | 7,88 | 10,7 | 1,83 | 6,93 | 2,88 | 6,86 | 0,93 | 5,72 | 2,05 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | 640 | 4,40 | <0,1 | 0,10 | 16,7 | 26,6 | 7,22 | 0,41 | 1,28 | 2,19 | 13,0 | 2,41 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | 390 | 1,60 | 0,13 | 2,50 | 20,8 | 25,1 | 8,46 | 0,13 | 1,19 | 3,46 | 12,6 | 1,99 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | 440 | 4,03 | <0,1 | 12,4 | 17,3 | 39,2 | 7,40 | 0,06 | 1,92 | 1,49 | 19,0 | 2,84 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | 780 | 3,32 | <0,1 | 11,7 | 16,4 | 4,07 | 6,41 | 0,03 | 1,72 | 1,26 | 10,1 | 1,97 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | 295 | 7,08 | 0,31 | 5,16 | 29,6 | 30,5 | 7,55 | 0,62 | 2,79 | 2,55 | 14,6 | 2,69 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | 330 | 3,04 | <0,1 | 10,6 | 22,1 | 14,4 | 7,20 | 0,02 | 1,33 | 0,55 | 16,3 | 1,91 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | 410 | 3,80 | <0,1 | 2,31 | 12,7 | 3,38 | 6,85 | 0,81 | 2,82 | 0,17 | 7,42 | 1,06 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | 160 | 11,9 | <0,1 | 15,4 | 21,7 | 2,07 | 6,04 | 0,14 | 6,89 | 0,55 | 12,7 | 2,96 |
| 01.03.1996 | 28.03.1996 | 80 | 9,75 | <0,1 | 30,8 | 64,8 | 14,7 | 7,09 | 0,03 | 4,09 | 0,82 | 42,3 | 4,44 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | 330 | 3,06 | <0,1 | 16,6 | 17,5 | 43,4 | 7,56 | 0,06 | 1,32 | 1,34 | 23,3 | 2,58 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | 505 | 2,67 | <0,1 | 4,07 | 10,1 | 23,8 | 7,18 | 1,10 | 0,89 | 1,05 | 9,90 | 1,39 |
| 30.05.1996 | 26.06.1996 | 150 | 10,5 | 0,95 | 6,46 | 21,0 | 54,2 | 7,47 | 2,78 | 1,72 | 13,6 | 21,7 | 2,54 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | 665 | 2,62 | <0,1 | 4,02 | 11,1 | 29,8 | 7,38 | 1,19 | 0,76 | 1,50 | 10,3 | 1,92 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | 1840 | 0,68 | <0,1 | 2,23 | 5,27 | 19,5 | 7,05 | 4,42 | 0,41 | 1,75 | 3,13 | 0,43 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | 240 | 5,70 | <0,1 | 4,97 | 21,0 | 69,1 | 7,66 | 1,58 | 2,21 | 1,65 | 29,0 | 1,87 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | 410 | 5,52 | <0,1 | 10,8 | 21,8 | 18,2 | 7,02 | 0,02 | 2,08 | 3,90 | 15,6 | 2,10 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | 580 | 6,63 | <0,1 | 2,15 | 11,3 | 13,5 | 7,08 | 1,30 | 1,02 | 0,47 | 8,14 | 1,84 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | 170 | 8,20 | <0,1 | 8,92 | 15,0 | 13,5 | 7,08 | 1,94 | 5,15 | 0,48 | 12,2 | 1,76 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | 1240 | 4,20 | <0,1 | 2,00 | 16,0 | 9,54 | 8,00 | 1,35 | 1,41 | 0,25 | 13,1 | 2,45 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | 270 | 3,87 | 0,53 | 8,12 | 29,9 | 57,4 | 7,67 | 3,76 | 1,62 | 1,15 | 25,8 | 4,25 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | 430 | 3,96 | 0,30 | 3,46 | 16,2 | 43,7 | 7,31 | 2,64 | 2,04 | 1,49 | 19,2 | 2,61 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | 130 | 1,71 | <0,1 | 2,30 | 7,05 | 19,9 | 6,86 | 1,57 | 0,58 | 0,83 | 6,93 | 1,65 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | 1180 | 0,75 | <0,1 | 0,44 | 5,15 | 13,5 | 9,72 | 1,41 | 0,59 | 1,24 | 0,76 | 4,90 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | 960 | 1,79 | 0,28 | 5,12 | 12,5 | 21,5 | 7,46 | 2,61 | 1,13 | 0,98 | 7,87 | 1,71 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | 550 | 5,20 | <0,1 | 4,25 | 13,4 | 62,9 | 7,43 | 11,4 | 0,96 | 3,42 | 11,9 | 2,34 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | 660 | 2,82 | 0,22 | 6,03 | 11,9 | 32,4 | 7,28 | 3,42 | 0,82 | 2,59 | 11,6 | 1,89 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | 550 | 3,84 | <0,1 | 1,66 | 12,6 | 26,8 | 7,27 | 0,68 | 1,76 | 2,88 | 9,35 | 2,37 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | 305 | 6,38 | 0,13 | 1,10 | 25,6 | 56,7 | 7,55 | 0,27 | 2,29 | 18,0 | 20,3 | 4,78 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | 1275 | 3,78 | 0,12 | 1,88 | 9,46 | 8,85 | 7,74 | 1,16 | 1,89 | 1,03 | 8,41 | 1,98 |

A 2: Regendaten Holzkirchen

Proben des Regensammlers

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | 2445 | 0,18 | <0,1 | 1,24 | 0,76 | <1 | 4,89 | 0,35 | 0,24 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | 1780 | 0,47 | <0,1 | 2,61 | 1,39 | <1 | 4,07 | 0,55 | 0,87 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | 2055 | 0,40 | <0,1 | 1,39 | 1,04 | <1 | 4,58 | 0,33 | 0,77 | 0,13 | <0,2 | <0,02 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | 4110 | 0,25 | <0,1 | 1,86 | 1,42 | <1 | 5,52 | 1,08 | 0,21 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | 3410 | <0,1 | <0,1 | 1,54 | 1,75 | <1 | 4,52 | 0,58 | 0,22 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | 812 | 0,51 | <0,1 | 5,10 | 3,74 | <1 | 4,61 | 1,97 | 0,94 | 0,14 | 0,68 | <0,02 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | 5500 | 0,23 | <0,1 | 2,25 | 2,18 | <1 | 4,78 | 1,00 | 0,52 | 0,20 | <0,2 | <0,02 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | 3370 | 0,21 | <0,1 | 2,22 | 2,29 | <1 | 5,04 | 1,22 | 0,27 | 0,10 | 0,52 | <0,02 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | 2862 | <0,1 | <0,1 | 2,55 | 2,03 | <1 | 5,54 | 2,45 | 0,17 | <0,1 | 0,54 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | 3200 | 0,12 | <0,1 | 1,30 | 1,19 | <1 | 4,42 | 0,61 | 0,12 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | 2205 | 0,34 | <0,1 | 2,74 | 2,03 | <1 | 4,43 | 0,84 | 0,22 | 0,17 | <0,2 | <0,02 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | 500 | 0,23 | <0,1 | 4,31 | 2,42 | <1 | 5,37 | 1,10 | 0,19 | <0,1 | 1,07 | <0,02 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | 710 | 0,21 | <0,1 | 2,06 | 1,09 | <1 | 4,67 | 0,30 | 0,55 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | 1080 | 0,29 | <0,1 | 1,21 | 0,99 | <1 | 4,39 | 0,24 | 0,17 | 0,10 | 0,25 | 0,03 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | 3045 | 0,28 | <0,1 | 0,83 | 0,74 | <1 | 4,42 | 0,23 | 0,21 | 0,18 | <0,2 | <0,02 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | 3260 | 0,29 | <0,1 | 1,53 | 1,21 | <1 | 4,58 | 0,54 | 0,34 | <0,1 | <0,2 | 0,02 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | 3760 | 0,17 | <0,1 | 2,09 | 1,00 | <1 | 4,52 | 0,38 | 0,38 | <0,1 | <0,2 | 0,03 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | 4510 | 0,34 | <0,1 | 2,24 | 1,59 | 1,44 | 5,59 | 0,96 | 0,52 | <0,1 | 0,23 | 0,04 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | 5300 | <0,1 | <0,1 | 3,07 | 2,48 | <1 | 4,18 | 1,50 | 0,28 | <0,1 | <0,2 | 0,04 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | 4230 | 0,13 | <0,1 | 3,34 | 2,03 | <1 | 4,51 | 0,89 | 0,37 | 0,13 | 0,65 | 0,22 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | 5535 | 0,18 | <0,1 | 3,00 | 2,03 | <1 | 4,84 | 1,34 | 0,38 | 0,12 | <0,2 | 0,04 |
| 23.08.1995 | 11.09.1995 | 3950 | 0,36 | <0,1 | 2,32 | 1,04 | <1 | 4,64 | 0,70 | 0,48 | <0,1 | <0,2 | 0,03 |
| 11.09.1995 | 20.09.1995 | 2710 | 0,55 | <0,1 | 2,95 | 1,04 | <1 | 4,51 | 0,99 | 0,32 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | 2740 | 0,37 | <0,1 | 1,94 | 0,91 | <1 | 4,62 | 0,75 | 0,61 | 0,23 | <0,2 | 0,04 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | 4710 | 0,22 | <0,1 | 2,07 | 0,71 | <1 | 4,36 | 0,53 | 0,26 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | 5500 | 0,56 | <0,1 | 1,42 | 0,88 | <1 | 4,29 | 0,32 | 0,46 | <0,1 | <0,2 | 0,03 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | 1475 | 0,67 | <0,1 | 3,20 | 2,00 | <1 | 4,17 | 0,75 | 0,63 | <0,1 | <0,2 | 0,02 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | 370 | 1,55 | <0,1 | 9,00 | 3,80 | <1 | 3,96 | 1,61 | 1,28 | 0,11 | 0,55 | 0,13 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | 3330 | 0,53 | <0,1 | 4,48 | 2,87 | <1 | 4,18 | 1,84 | 0,48 | <0,1 | 0,23 | 0,03 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | 1020 | 0,43 | <0,1 | 6,84 | 3,69 | <1 | 4,33 | 2,93 | 0,36 | <0,1 | 0,45 | 0,06 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | 4480 | 0,37 | <0,1 | 2,21 | 2,36 | <1 | 4,36 | 0,91 | 0,47 | 0,11 | <0,2 | 0,03 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | 4670 | 0,28 | 0,55 | 3,80 | 1,85 | <1 | 4,84 | 1,60 | 0,12 | 0,31 | 0,30 | 0,06 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | 5560 | 0,49 | <0,1 | 3,10 | 1,36 | <1 | 4,13 | 0,43 | 0,28 | 0,17 | 0,32 | 0,04 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | 6220 | 0,47 | <0,1 | 3,99 | 1,47 | <1 | 4,15 | 0,60 | 0,28 | <0,1 | 0,26 | 0,04 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | 5415 | 0,63 | <0,1 | 3,89 | 1,40 | <1 | 5,34 | 0,19 | 0,29 | <0,1 | <0,2 | 0,04 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | 3420 | 0,54 | <0,1 | 3,83 | 1,56 | <1 | 3,93 | 0,16 | 0,24 | <0,1 | <0,2 | 0,02 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | 4450 | 0,53 | <0,1 | 2,52 | 0,65 | <1 | 4,08 | 0,10 | 0,26 | <0,1 | <0,2 | 0,03 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | 1210 | 0,76 | <0,1 | 3,73 | 1,36 | <1 | 4,03 | 0,36 | 0,58 | 0,23 | <0,2 | 0,06 |

Proben des Gesamtdepositionssammlers Holzkirchen

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | 670 | 0,33 | <0,1 | 1,49 | 1,38 | <1 | 4,71 | 0,58 | 0,29 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | 543 | 0,48 | <0,1 | 2,07 | 1,46 | <1 | 4,21 | 0,54 | 0,75 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | 465 | 0,72 | <0,1 | 1,87 | 2,32 | <1 | 4,50 | 0,49 | 0,99 | 0,13 | 0,83 | <0,02 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | 1452 | 0,33 | <0,1 | 2,09 | 1,52 | <1 | 4,44 | 0,90 | 0,26 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | 1256 | 0,16 | <0,1 | 2,69 | 2,76 | <1 | 3,98 | 0,84 | 0,26 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | 1780 | 0,25 | <0,1 | 2,58 | 2,56 | <1 | 4,11 | 0,69 | 0,53 | 0,20 | 0,60 | <0,02 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | 687 | 0,88 | <0,1 | 2,65 | 3,12 | 12,1 | 7,38 | 6,29 | 0,67 | 2,14 | 0,88 | 0,22 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | 898 | <0,1 | <0,1 | 2,78 | 2,20 | <1 | 4,52 | 2,01 | 0,20 | 0,18 | 0,96 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | 970 | 0,14 | <0,1 | 1,72 | 1,42 | <1 | 4,17 | 0,38 | 0,15 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | 1150 | 0,36 | <0,1 | 2,90 | 2,26 | <1 | 4,44 | 0,80 | 0,24 | 0,20 | <0,2 | <0,02 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | 450 | 0,20 | <0,1 | 2,56 | 3,21 | <1 | 5,00 | 1,46 | <0,1 | <0,1 | 0,92 | <0,02 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | 1275 | 0,26 | <0,1 | 1,68 | 2,18 | <1 | 4,54 | 0,36 | 0,57 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | 658 | 0,27 | <0,1 | 1,95 | 1,47 | <1 | 4,55 | 0,55 | 0,22 | 0,13 | 0,33 | 0,05 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | 813 | 0,44 | <0,1 | 1,18 | 1,24 | <1 | 4,36 | 0,49 | 0,34 | 0,22 | 0,24 | 0,04 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | 1000 | 0,14 | <0,1 | 1,20 | 2,40 | <1 | 4,45 | 0,32 | 0,47 | <0,1 | <0,2 | 0,03 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | 820 | 0,30 | <0,1 | 1,93 | 1,51 | <1 | 4,40 | 0,69 | 0,31 | <0,1 | 0,32 | 0,05 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | 890 | 0,50 | <0,1 | 3,25 | 2,23 | 3,78 | 6,08 | 1,36 | 1,03 | <0,1 | 0,45 | 0,08 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | 1230 | 0,23 | <0,1 | 2,79 | 2,96 | 3,58 | 6,30 | 2,85 | 0,30 | 0,36 | 0,35 | 0,06 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | 2170 | <0,1 | <0,1 | 1,91 | 1,90 | <1 | 4,54 | 0,67 | 0,24 | 0,12 | 0,21 | 0,04 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | 1180 | 0,84 | 0,29 | 2,16 | 3,90 | 27,3 | 8,84 | 11,35 | 1,04 | 2,35 | 0,56 | 0,26 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | 3620 | 0,39 | <0,1 | 2,40 | 1,20 | 2,29 | 5,86 | 1,43 | 0,46 | 0,13 | 0,21 | 0,07 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | 950 | 0,39 | <0,1 | 2,44 | 1,43 | <1 | 4,73 | 0,61 | 0,56 | 0,13 | 0,38 | 0,07 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | 1090 | 0,25 | <0,1 | 1,86 | 1,17 | <1 | 4,47 | 0,61 | 0,37 | <0,1 | 0,26 | 0,05 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | 1360 | 0,89 | <0,1 | 2,31 | 2,54 | <1 | 4,80 | 1,35 | 0,63 | <0,1 | 0,61 | 0,14 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | 280 | 1,63 | <0,1 | 5,50 | 5,00 | <1 | 4,04 | 2,06 | 1,06 | <0,1 | 0,77 | 0,14 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | 70 | 7,16 | <0,1 | 10,0 | 7,60 | 5,70 | 6,00 | 2,31 | 2,47 | 0,17 | 1,63 | 0,24 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | 795 | 0,76 | <0,1 | 4,28 | 3,72 | <1 | 4,93 | 2,75 | 0,65 | 0,34 | 0,76 | 0,18 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | 510 | 0,68 | <0,1 | 5,88 | 3,67 | <1 | 3,87 | 3,05 | 0,35 | 0,16 | 0,99 | 0,15 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | 1600 | 0,30 | <0,1 | 1,99 | 2,10 | <1 | 4,42 | 0,88 | 0,33 | 0,12 | 0,21 | 0,04 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | 1300 | 0,94 | <0,1 | 2,83 | 1,93 | <1 | 5,56 | 1,19 | 0,40 | 0,56 | 0,48 | 0,11 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | 1570 | 1,31 | 8,68 | 1,74 | 2,97 | 2,10 | 6,86 | 3,60 | 0,79 | 2,49 | 0,49 | 0,37 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | 1670 | 1,02 | <0,1 | 11,7 | 2,18 | 3,32 | 5,96 | 4,76 | 0,62 | 1,09 | 0,92 | 0,22 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | 1360 | 0,48 | <0,1 | 2,19 | 1,49 | <1 | 4,05 | 0,70 | 0,30 | <0,1 | 0,28 | 0,06 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | 855 | 1,04 | <0,1 | 2,32 | 1,72 | <1 | 4,07 | 0,65 | 0,30 | <0,1 | <0,2 | 0,04 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | 1200 | 0,69 | <0,1 | 1,58 | 0,90 | <1 | 4,28 | 0,60 | 0,29 | <0,1 | 0,28 | 0,06 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | 420 | 1,37 | <0,1 | 2,64 | 2,84 | <1 | 4,60 | 1,67 | 0,72 | 0,15 | 0,26 | 0,04 |

A 3a: Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)**Referenzsammler Polycarbonat**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|-------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | N | 260 | 14,9 | <0,1 | 22,6 | 96,1 | 11,9 | 7,66 | 0,10 | 6,46 | 1,33 | 36,8 | 10,2 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | O | 60 | 15,8 | <0,1 | 22,7 | 121 | 5,11 | 7,16 | 0,16 | 7,54 | 2,22 | 44,4 | 10,3 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | S | 295 | 13,0 | <0,1 | 20,2 | 82,8 | 21,2 | 7,89 | 0,06 | 6,34 | 1,50 | 37,0 | 8,83 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | W | 75 | 8,84 | 1,21 | 5,24 | 77,1 | 24,2 | 7,86 | 3,62 | 4,50 | 0,85 | 30,6 | 6,75 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | N | 35 | 7,56 | 1,47 | 4,78 | 134 | 14,0 | 7,42 | 3,25 | 4,60 | 0,76 | 40,7 | 15,7 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | O | 170 | 10,5 | 1,38 | 4,31 | 88,1 | 7,50 | 7,06 | 3,00 | 4,79 | 1,18 | 26,2 | 9,42 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | S | 200 | 8,06 | <0,1 | 16,0 | 82,2 | 7,83 | 7,05 | 0,30 | 3,66 | 0,97 | 30,0 | 9,79 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | W | 50 | 3,67 | 1,48 | 2,61 | 75,7 | 19,6 | 6,31 | 1,16 | 2,65 | 0,36 | 23,4 | 9,83 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | N | 42,5 | 42,9 | 2,31 | 12,3 | 127 | 35,0 | 7,30 | 1,75 | 14,8 | 1,18 | 37,0 | 13,9 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | O | 190 | 17,1 | 0,45 | 8,50 | 81,7 | 10,4 | 6,94 | 4,11 | 8,75 | 1,10 | 29,2 | 7,31 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | S | 62 | 24,7 | 2,39 | 10,6 | 163 | 64,6 | 7,80 | 1,58 | 12,50 | 1,67 | 63,0 | 21,0 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | W | 530 | 9,25 | 1,45 | 6,47 | 116 | 48,9 | 7,52 | 1,78 | 4,79 | 0,73 | 42,9 | 16,4 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | N | 260 | 6,55 | 5,25 | 4,36 | 46,4 | 5,49 | 6,94 | 0,27 | 2,61 | 0,89 | 17,9 | 5,08 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | O | 268 | 6,35 | 0,50 | 8,25 | 54,7 | 5,63 | 6,13 | 1,40 | 2,75 | 1,11 | 18,5 | 4,79 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | S | 110 | 9,61 | 1,04 | 2,82 | 123 | 12,4 | 7,97 | 0,12 | 4,02 | 1,17 | 46,9 | 13,8 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | W | 392 | 5,02 | 4,12 | 3,30 | 42,4 | 7,09 | 6,33 | 0,66 | 2,18 | 0,83 | 15,9 | 4,09 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | N | 685 | <0,1 | <0,1 | 18,9 | 16,0 | 8,33 | 6,71 | 0,05 | 1,61 | 5,89 | 8,9 | 3,37 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | O | 335 | 4,79 | <0,1 | 16,0 | 26,8 | 13,3 | 6,93 | <0,002 | 2,23 | 6,22 | 12,4 | 4,33 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | S | 405 | 5,29 | 48,4 | 4,17 | 25,3 | 13,9 | 6,79 | 3,25 | 2,62 | 24,9 | 13,5 | 6,33 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | W | 335 | 4,14 | <0,1 | 2,81 | 20,2 | 35,3 | 7,42 | 3,09 | 1,78 | 2,65 | 10,4 | 4,39 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | N | 120 | 9,73 | 9,83 | 22,5 | 48,9 | 8,71 | 6,48 | <0,002 | 3,31 | 6,45 | 30,3 | 7,99 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | O | 210 | 10,8 | <0,1 | 16,0 | 51,9 | 25,2 | 7,13 | <0,002 | 3,68 | 13,0 | 24,1 | 8,34 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | S | 67 | 22,2 | <0,1 | 0,10 | 95,8 | 61,7 | 7,59 | 0,13 | 5,39 | 21,6 | 36,2 | 17,6 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | W | 195 | 7,10 | <0,1 | 50,4 | 48,2 | <1 | 6,09 | 1,12 | 3,11 | 7,61 | 24,7 | 7,69 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | N | 59 | 8,25 | <0,1 | 7,19 | 46,0 | 89,9 | 8,08 | 2,08 | 2,37 | 14,8 | 37,2 | 6,79 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | O | 312 | 4,59 | 2,08 | 3,07 | 32,5 | 57,4 | 8,02 | 10,8 | 1,53 | 17,2 | 15,5 | 3,97 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | S | 32 | 15,0 | <0,1 | 1,65 | 153 | 114 | 7,99 | 0,76 | 3,98 | 36,9 | 43,9 | 16,0 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | W | 64 | 12,4 | <0,1 | 5,54 | 52,2 | 59,9 | 7,53 | 5,63 | 2,55 | 8,70 | 30,3 | 7,12 |
| 330.06.1994 | 29.07.1994 | N | 155 | 2,92 | <0,1 | 9,48 | 16,4 | 18,0 | 7,40 | 3,13 | 0,58 | 1,16 | 12,6 | 2,37 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | O | 195 | 3,02 | <0,1 | 13,8 | 27,2 | 7,15 | 6,86 | 0,13 | 0,90 | 2,99 | 16,7 | 3,46 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | S | 58 | 6,69 | <0,1 | 18,9 | 36,1 | 45,3 | 7,66 | 3,29 | 1,35 | 3,90 | 25,9 | 6,63 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | W | 205 | 2,11 | 0,23 | 7,52 | 12,3 | 25,2 | 7,35 | 3,90 | 0,51 | 0,83 | 10,4 | 2,87 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | N | 120 | 3,06 | <0,1 | 13,7 | 41,4 | 28,9 | 7,37 | 1,73 | 1,43 | 1,95 | 24,4 | 5,48 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | O | 295 | 3,77 | <0,1 | 12,8 | 36,8 | 16,0 | 6,68 | 4,76 | 1,60 | 2,44 | 19,8 | 4,47 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | S | 55 | 1,93 | <0,1 | 44,2 | 117 | 29,9 | 7,10 | 0,87 | 1,99 | 5,47 | 53,6 | 13,28 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | W | 100 | 3,91 | <0,1 | 11,8 | 47,4 | 32,9 | 7,42 | 4,85 | 1,73 | 1,85 | 24,2 | 6,14 |
| 31.08.1994 | 20.10.1994 | N | 230 | 4,53 | <0,1 | 2,40 | 53,7 | 34,5 | 7,24 | <0,002 | 2,09 | 2,51 | 25,2 | 7,91 |
| 31.08.1994 | 20.10.1994 | O | 280 | 3,65 | <0,1 | 5,02 | 41,4 | 21,6 | 6,59 | 1,42 | 1,66 | 4,70 | 17,7 | 5,21 |
| 31.08.1994 | 20.10.1994 | S | 140 | 6,87 | 1,06 | 7,81 | 126 | 66,2 | 6,75 | <0,002 | 4,36 | 9,09 | 46,4 | 13,8 |
| 31.08.1994 | 20.10.1994 | W | 220 | 3,85 | <0,1 | 5,32 | 36,0 | 43,2 | 6,74 | <0,002 | 1,98 | 2,32 | 21,2 | 8,01 |
| 20.10.1994 | 28.10.1994 | N | 14 | 8,20 | 1,80 | 18,8 | 163 | 40,2 | 6,70 | 0,79 | 7,21 | 12,4 | 62,5 | 10,0 |
| 20.10.1994 | 28.10.1994 | O | 205 | 6,18 | <0,1 | 15,5 | 47,2 | 4,40 | 6,70 | 0,51 | 2,48 | 7,12 | 18,7 | 2,81 |
| 20.10.1994 | 28.10.1994 | S | 110 | 9,41 | <0,1 | 21,1 | 80,5 | 1,86 | 5,78 | 0,15 | 4,45 | 11,0 | 33,2 | 5,23 |
| 20.10.1994 | 28.10.1994 | W | 17 | 15,2 | 4,56 | 26,7 | 115,4 | 27,5 | 7,00 | 1,70 | 6,63 | 24,4 | 44,6 | 7,04 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | N | 88 | 3,51 | 15,7 | 20,0 | 133,1 | 4,42 | 9,29 | <0,002 | 3,37 | 2,02 | 39,9 | 12,00 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | O | 872 | 1,27 | 4,80 | 9,10 | 35,9 | <1 | 4,42 | 0,65 | 1,15 | 1,38 | 13,1 | 3,12 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | S | 225 | 1,92 | 11,8 | 26,7 | 89,9 | 3,38 | 6,63 | <0,002 | 3,32 | 3,27 | 29,5 | 8,30 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | W | 126 | 2,49 | 11,6 | 16,1 | 54,3 | 9,59 | 6,73 | <0,002 | 2,61 | 2,01 | 24,7 | 6,16 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)**Referenzsammler Polycarbonat (Fortsetzung)**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|-------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | N | 103 | 8,39 | <0,1 | 6,59 | 65,9 | 28,6 | 7,53 | 3,84 | 3,61 | 1,25 | 29,0 | 6,51 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | O | 450 | 6,54 | <0,1 | 14,1 | 57,3 | <1 | 4,53 | 0,84 | 3,22 | 1,61 | 22,7 | 4,72 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | S | 270 | 6,22 | <0,1 | 26,4 | 50,1 | <1 | 5,26 | 0,06 | 2,96 | 2,30 | 26,6 | 5,98 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | W | 50 | 1,99 | <0,1 | 14,1 | 84,7 | 31,9 | 7,14 | 0,02 | 3,17 | 1,74 | 51,3 | 12,0 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | N | 320 | 3,31 | <0,1 | 2,93 | 34,8 | 23,6 | 7,36 | 0,45 | 3,05 | 0,44 | 17,1 | 4,66 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | O | 360 | 3,31 | <0,1 | 3,06 | 34,4 | 10,0 | 6,57 | 1,93 | 3,51 | 0,91 | 15,1 | 2,88 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | S | 440 | 3,31 | <0,1 | 3,07 | 31,5 | 23,9 | 6,73 | 1,22 | 3,22 | 0,80 | 18,2 | 4,33 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | W | 200 | 5,24 | <0,1 | 2,16 | 30,9 | 25,9 | 7,25 | 0,90 | 2,02 | 0,42 | 16,1 | 5,34 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | N | 235 | 4,68 | <0,1 | 4,70 | 45,5 | 51,2 | 7,55 | 2,46 | 1,95 | 0,61 | 22,5 | 8,77 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | O | 110 | 6,61 | <0,1 | 5,80 | 56,1 | 37,3 | 7,42 | 1,17 | 3,25 | 1,40 | 26,4 | 8,48 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | S | 160 | 8,23 | <0,1 | 13,6 | 73,2 | 60,1 | 7,49 | 0,04 | 4,05 | 1,05 | 45,6 | 12,6 |
| 331.01.1995 | 28.02.1995 | W | 100 | 5,46 | <0,1 | 9,20 | 35,4 | 49,1 | 7,71 | 0,03 | 2,20 | 0,55 | 23,3 | 8,53 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | N | 410 | 9,51 | <0,1 | 8,92 | 34,9 | 76,7 | 8,83 | <0,002 | 5,09 | 0,82 | 24,4 | 5,61 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | O | 330 | 7,94 | <0,1 | 9,45 | 45,2 | 16,5 | 7,48 | 0,01 | 4,17 | 0,52 | 24,8 | 4,71 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | S | 1180 | 4,10 | <0,1 | 8,83 | 23,3 | 7,20 | 7,08 | <0,002 | 2,22 | 0,40 | 13,9 | 2,76 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | W | 340 | 4,43 | <0,1 | 10,8 | 30,4 | 14,0 | 7,33 | <0,002 | 2,33 | 0,55 | 17,6 | 4,51 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | N | 150 | 5,85 | 1,83 | 8,79 | 51,9 | 76,0 | 7,93 | 8,83 | 2,95 | 2,68 | 33,2 | 6,89 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | O | 210 | 9,26 | <0,1 | 38,1 | 58,8 | 2,74 | 5,71 | 0,46 | 5,53 | 3,74 | 30,4 | 6,98 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | S | 565 | 4,66 | <0,1 | 16,2 | 31,4 | 2,73 | 5,91 | 0,04 | 2,68 | 2,27 | 15,6 | 3,56 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | W | 130 | 3,08 | <0,1 | 21,5 | 33,3 | 5,70 | 6,47 | 0,80 | 1,78 | 1,27 | 18,0 | 5,03 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | N | 120 | 4,82 | <0,1 | 46,7 | 57,0 | 14,6 | 7,30 | 0,11 | 2,18 | 8,02 | 40,0 | 8,43 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | O | 290 | 2,82 | <0,1 | 29,7 | 37,8 | <1 | 6,64 | 0,12 | 1,64 | 6,50 | 23,1 | 4,94 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | S | 270 | 3,80 | <0,1 | 29,5 | 37,8 | <1 | 6,74 | 0,26 | 1,73 | 7,18 | 22,5 | 5,44 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | W | 145 | 3,98 | <0,1 | 19,1 | 30,0 | 29,8 | 7,22 | 0,19 | 1,83 | 6,37 | 21,9 | 5,70 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | N | 44 | 8,06 | <0,1 | 9,78 | 72,8 | 43,3 | 7,24 | 8,05 | 1,96 | 12,3 | 34,1 | 5,46 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | O | 470 | 3,16 | <0,1 | 16,5 | 37,0 | 7,41 | 6,57 | 0,08 | 1,33 | 10,9 | 18,8 | 2,85 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | S | 48 | 12,5 | 0,52 | 1,25 | 59,9 | 99,8 | 7,80 | 19,5 | 2,69 | 26,8 | 27,5 | 5,68 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | W | 90 | 7,73 | <0,1 | 6,05 | 32,0 | 37,6 | 7,36 | 12,0 | 1,22 | 8,80 | 14,7 | 3,02 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | N | 32 | 10,8 | <0,1 | 30,6 | 64,3 | 6,65 | 7,50 | 0,20 | 3,55 | 15,6 | 53,4 | 9,04 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | O | 210 | 4,49 | <0,1 | 11,2 | 34,0 | 35,1 | 7,34 | <0,002 | 2,10 | 8,55 | 20,8 | 3,63 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | S | 35 | 12,0 | <0,1 | 49,3 | 117 | 46,1 | 7,49 | 0,34 | 3,80 | 22,5 | 56,3 | 14,6 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | W | 80 | 62,9 | <0,1 | 18,3 | 2,02 | 112 | 7,98 | 4,41 | 2,50 | 5,98 | 24,5 | 4,98 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | N | 100 | 4,15 | <0,1 | 40,9 | 42,5 | 5,70 | 5,65 | 2,32 | 1,33 | 2,65 | 21,4 | 3,49 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | O | 230 | 2,75 | <0,1 | 10,8 | 29,5 | 18,9 | 7,07 | 6,29 | 1,41 | 3,26 | 11,7 | 2,16 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | S | 15 | 8,63 | <0,1 | 46,9 | 69,3 | <1 | 4,67 | 2,58 | 3,81 | 8,72 | 35,6 | 10,2 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | W | 100 | 2,60 | <0,1 | 25,5 | 17,9 | 5,36 | 5,56 | 1,32 | 1,44 | 2,38 | 12,3 | 2,86 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | N | 55 | 8,76 | <0,1 | 4,37 | 28,0 | 37,7 | 7,11 | 1,40 | 4,23 | 2,39 | 19,0 | 3,03 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | O | 250 | 3,54 | <0,1 | 14,2 | 43,7 | 4,30 | 6,14 | 0,16 | 1,94 | 5,67 | 19,4 | 3,10 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | S | 8 | 14,9 | <0,1 | 22,1 | 161 | <1 | 6,86 | 1,06 | 6,75 | 12,5 | 75,0 | 17,0 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | W | 32 | 10,1 | <0,1 | 23,9 | 44,5 | 13,0 | 6,73 | 0,17 | 4,27 | 3,32 | 26,0 | 4,61 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | N | 28 | 16,6 | <0,1 | 39,2 | 123 | 26,5 | 7,13 | 0,10 | 5,98 | 6,04 | 51,6 | 12,80 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | O | 600 | 5,40 | <0,1 | 14,3 | 53,5 | 3,10 | 6,50 | 0,05 | 2,67 | 6,76 | 20,0 | 3,07 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | S | 16 | 15,3 | 2,20 | 22,5 | 153 | 20,3 | 7,35 | 2,80 | 5,64 | 15,3 | 146 | 26,2 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | W | 78 | 9,53 | <0,1 | 12,6 | 52,5 | 30,4 | 7,62 | 2,64 | 4,27 | 2,67 | 23,6 | 6,72 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | N | 12,5 | 28,4 | <0,1 | 41,0 | 238 | 48,4 | 7,00 | 0,07 | 11,6 | 6,06 | 101 | 25,2 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | O | 140 | 6,33 | <0,1 | 9,05 | 55,7 | 5,91 | 6,77 | <0,002 | 3,19 | 2,30 | 23,6 | 4,35 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | S | 32 | 18,3 | <0,1 | 22,6 | 150 | 10,0 | 6,67 | 0,51 | 6,44 | 6,49 | 52,6 | 16,5 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | W | 50 | 10,2 | <0,1 | 19,1 | 75,1 | 10,8 | 6,86 | 0,07 | 5,49 | 2,40 | 33,5 | 8,61 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)
Referenzsammler Polycarbonat (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | N | 15 | 19,6 | 1,10 | 9,90 | 115 | 46,2 | 7,30 | 4,11 | 9,20 | 2,66 | 50,5 | 8,07 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | O | 220 | 2,53 | 0,29 | 2,87 | 27,4 | 7,24 | 6,77 | 2,19 | 1,64 | 1,36 | 10,8 | 1,37 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | S | 10 | 36,5 | <0,1 | 42,3 | 439 | 77,8 | 7,90 | 1,13 | 17,6 | 9,74 | 140 | 49,4 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | W | 7,5 | 33,7 | 7,54 | 29,1 | 385 | 68,9 | 7,50 | 6,00 | 17,5 | 5,86 | 143 | 36,8 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | O | 450 | 5,41 | <0,1 | 1,80 | 18,4 | <1 | 5,42 | 1,00 | 3,69 | 0,74 | 6,97 | 0,98 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | S | 23 | 16,0 | <0,1 | 8,70 | 86,1 | 14,9 | 7,37 | 0,17 | 9,67 | 2,12 | 39,6 | 9,57 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | W | 6 | 42,5 | <0,1 | 33,3 | 201 | 32,4 | 4,44 | 0,00 | 21,1 | 2,38 | 78,9 | 14,0 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | N | 50 | 9,02 | 6,70 | 10,9 | 41,6 | <1 | 6,00 | 1,38 | 3,74 | 0,68 | 22,3 | 4,03 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | O | 130 | 11,3 | <0,1 | 5,78 | 30,7 | <1 | 5,75 | 1,79 | 5,79 | 0,75 | 13,7 | 2,88 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | S | 45 | 15,5 | <0,1 | 12,6 | 56,9 | <1 | 5,70 | 10,4 | 7,37 | 1,24 | 25,3 | 5,04 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | W | 37 | 32,5 | 0,41 | 18,8 | 128 | <1 | 3,34 | 1,78 | 17,6 | 1,12 | 61,4 | 10,2 |
| 01.03.1996 | 28.03.1996 | S | 15 | 32,0 | 7,20 | 54,0 | 214 | <1 | 4,40 | 25,0 | 13,0 | 3,44 | 77,6 | 11,3 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | N | 12 | 28,9 | <0,1 | 29,4 | 195 | 43,5 | 7,54 | 3,50 | 9,20 | 9,70 | 72,7 | 19,0 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | O | 340 | 3,29 | <0,1 | 32,9 | 22,1 | <1 | 5,50 | 0,34 | 1,40 | 5,54 | 16,3 | 2,12 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | S | 50 | 13,0 | <0,1 | 69,3 | 95,3 | <1 | 5,14 | 0,13 | 4,86 | 8,25 | 56,0 | 8,06 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | W | 55 | 9,90 | 42,0 | 12,2 | 100 | <1 | 4,85 | 2,92 | 5,13 | 10,9 | 47,5 | 7,60 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | O | 275 | 8,84 | <0,1 | 0,44 | 37,0 | 32,0 | 6,97 | 0,67 | 2,37 | 8,65 | 21,9 | 3,25 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | S | 95 | 10,2 | <0,1 | <0,2 | 51,3 | 56,5 | 7,29 | 1,79 | 3,74 | 15,2 | 34,1 | 6,05 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | W | 50 | 21,3 | 5,50 | 1,76 | 52,0 | 73,2 | 7,50 | 35,9 | 3,42 | 14,1 | 28,4 | 6,54 |
| 30.05.1996 | 26.06.1996 | O | 125 | 8,76 | 46,6 | 3,55 | 34,1 | 108 | 7,34 | 20,1 | 2,31 | 12,2 | 24,4 | 3,58 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | O | 540 | 4,30 | <0,1 | 6,63 | 29,0 | 34,0 | 7,48 | 1,75 | 1,59 | 6,36 | 21,2 | 3,35 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | S | 110 | 8,97 | <0,1 | 17,1 | 50,4 | 39,4 | 6,86 | 1,89 | 2,95 | 10,3 | 35,2 | 8,17 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | W | 160 | 4,52 | 7,14 | 6,60 | 19,2 | 31,7 | 7,09 | 2,80 | 1,17 | 3,12 | 15,1 | 3,37 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | N | 7,5 | 12,6 | 0,25 | 19,9 | 128 | 110 | 7,45 | 2,63 | 8,25 | 12,8 | 66,5 | 20,3 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | O | 670 | 1,93 | <0,1 | 11,8 | 17,3 | 14,4 | 6,91 | 0,04 | 0,64 | 4,93 | 11,9 | 2,23 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | S | 540 | 1,82 | 9,87 | 9,82 | 18,0 | 24,1 | 7,19 | 0,02 | 0,75 | 4,67 | 14,8 | 3,45 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | W | 505 | 1,19 | <0,1 | 9,87 | 12,7 | 14,9 | 6,87 | 0,03 | 0,52 | 2,60 | 10,0 | 2,06 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | O | 5 | 58,9 | 0,50 | <0,2 | 169 | <1 | 4,77 | 0,76 | 20,3 | 21,2 | 80,5 | 16,2 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | S | 10 | 33,4 | 0,25 | 10,7 | 133 | 55,2 | 6,87 | 4,50 | 15,6 | 30,0 | 57,3 | 15,6 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | W | 15 | 35,0 | 0,10 | 11,0 | 48,6 | <1 | 3,65 | 3,73 | 8,38 | 5,31 | 25,3 | 5,60 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | N | 10 | 61,2 | 0,25 | 29,1 | 344 | 69,0 | 6,83 | 1,23 | 18,8 | 30,8 | 148 | 30,5 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | O | 140 | 25,6 | <0,1 | 6,14 | 84,0 | 27,6 | 6,87 | 1,53 | 9,52 | 11,7 | 37,3 | 6,72 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | S | 50 | 14,6 | <0,1 | 9,22 | 104 | 38,5 | 7,26 | 2,49 | 6,12 | 9,87 | 43,5 | 10,6 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | W | 30 | 22,4 | <0,1 | 7,28 | 64,4 | 21,2 | 6,99 | 6,86 | 4,01 | 6,30 | 27,4 | 7,05 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | N | 15 | 17,6 | 0,20 | 7,84 | 169 | 81,9 | 7,81 | <0,002 | 8,98 | 4,92 | 69,0 | 21,6 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | O | 80 | 14,8 | <0,1 | 12,1 | 90,9 | 23,0 | 7,11 | 0,06 | 6,46 | 4,50 | 40,4 | 10,4 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | S | 20 | 13,2 | 0,20 | 6,31 | 95,7 | 55,6 | 7,76 | <0,002 | 8,92 | 15,5 | 48,9 | 13,4 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | W | 80 | 3,58 | 0,10 | 5,98 | 18,3 | 10,1 | 6,79 | <0,002 | 1,93 | 0,89 | 9,88 | 2,82 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper) Ihrlersteiner Grünsandstein

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | N | 39 | 40,8 | 2,09 | 59,7 | 379 | 40,9 | 6,89 | 0,29 | 12,1 | 2,13 | 160 | 32,3 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | O | 16 | 23,4 | 4,68 | 27,4 | 251 | 41,9 | 7,07 | 0,89 | 10,0 | 1,66 | 107 | 28,6 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | S | 126 | 4,95 | 5,50 | 8,45 | 151 | 50,6 | 7,69 | 0,11 | 3,71 | 1,08 | 65,2 | 11,6 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | W | 620 | 8,94 | 2,46 | 21,4 | 466 | 73,2 | 8,19 | 0,12 | 6,52 | 1,87 | 178 | 23,5 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | N | 23 | 9,67 | <0,1 | 11,4 | 244 | 40,7 | 7,18 | 0,82 | 4,01 | 0,84 | 87,2 | 18,2 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | O | 15 | 16,8 | 4,44 | 20,3 | 306 | 40,5 | 7,18 | 1,31 | 7,03 | 1,47 | 104 | 29,7 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | S | 100 | 6,09 | 2,23 | 5,21 | 168 | 54,3 | 8,06 | 1,36 | 2,10 | 0,84 | 53,7 | 13,7 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | W | 555 | 10,7 | 1,02 | 23,5 | 604 | 50,9 | 8,60 | 1,19 | 6,32 | 1,99 | 237 | 29,9 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | N | 30 | 80,8 | 4,40 | 101 | 625 | 23,1 | 7,76 | 7,37 | 18,5 | 1,70 | 199 | 44,7 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | O | 5 | 10,0 | 1,10 | 36,2 | 204 | 40,0 | 7,60 | 0,65 | 9,12 | 3,26 | 71,6 | 23,7 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | S | 32 | 19,4 | 4,30 | 11,7 | 184 | 48,7 | 7,70 | 1,50 | 8,96 | 1,19 | 52,2 | 9,10 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | W | 240 | 16,8 | <0,1 | 32,0 | 544 | 59,4 | 7,65 | 1,93 | 9,74 | 2,06 | 187 | 37,9 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | N | 60 | 32,9 | 1,30 | 48,8 | 327 | 44,3 | 7,50 | 0,16 | 6,47 | 1,85 | 150 | 21,1 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | O | 10 | 43,1 | 2,29 | 66,2 | 942 | 121 | 8,00 | 0,51 | 16,8 | 3,81 | 341 | 73,8 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | S | 180 | 5,00 | <0,1 | 6,63 | 91,7 | 48,5 | 7,66 | 1,36 | 2,22 | 0,95 | 47,3 | 7,68 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | W | 47 | 13,9 | 3,09 | 24,2 | 721 | 49,5 | 7,21 | 0,23 | 6,84 | 2,11 | 291 | 32,6 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | N | 13 | 55,1 | <0,1 | 64,7 | 258 | 79,2 | 7,80 | 0,74 | 10,4 | 3,30 | 117 | 37,7 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | O | 37 | 34,2 | 21,8 | 41,5 | 45,8 | 114 | 7,92 | 2,98 | 12,0 | 31,7 | 88,9 | 39,8 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | S | 100 | 6,16 | 87,5 | 13,8 | 57,0 | 7,29 | 6,13 | 2,17 | 2,70 | 3,10 | 51,1 | 8,90 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | W | 144 | 18,1 | <0,1 | 39,4 | 593 | 58,0 | 7,49 | 0,09 | 9,56 | 2,34 | 255 | 38,6 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | O | 23 | 19,4 | 1,97 | 22,8 | 159 | <1 | 0,00 | 5,92 | 8,73 | 16,6 | 63,1 | 21,3 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | S | 120 | 7,33 | <0,1 | 11,6 | 96,2 | 69,1 | 7,79 | 0,05 | 3,27 | 10,7 | 41,6 | 14,7 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | W | 37 | 19,1 | 0,36 | 33,4 | 584 | 69,3 | 7,73 | 6,48 | 5,42 | 4,35 | 222 | 36,0 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | S | 55 | 7,88 | <0,1 | 8,23 | 43,0 | 85,5 | 7,79 | 4,64 | 1,68 | 4,95 | 33,0 | 8,48 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | W | 25 | 11,0 | 1,05 | 34,0 | 507 | 76,4 | 7,70 | 95,8 | 3,41 | 7,50 | 109 | 19,6 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | N | 100 | 6,18 | <0,1 | 5,55 | 148 | 58,9 | 7,71 | 7,23 | 1,25 | 2,39 | 72,1 | 6,01 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | O | 70 | 12,5 | 20,7 | 24,4 | 119 | 58,8 | 7,71 | 0,69 | 2,56 | 5,92 | 64,6 | 13,5 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | S | 108 | 3,96 | <0,1 | 13,1 | 97,5 | 40,2 | 7,69 | 3,45 | 1,03 | 2,01 | 44,8 | 7,01 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | W | 312 | 2,25 | 0,99 | 8,40 | 48,5 | 53,7 | 7,75 | 1,68 | 1,09 | 5,21 | 35,9 | 5,67 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | N | 133 | 4,27 | <0,1 | 9,79 | 14,5 | 70,4 | 7,95 | 2,65 | 1,72 | 4,62 | 60,8 | 8,06 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | O | 137 | 5,24 | <0,1 | 11,8 | 116 | 73,3 | 7,88 | 3,26 | 1,87 | 2,79 | 57,7 | 10,6 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | S | 143 | 5,42 | <0,1 | 12,8 | 151 | 52,4 | 7,73 | 3,06 | 2,01 | 2,26 | 62,2 | 11,4 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | W | 133 | 4,57 | <0,1 | 9,56 | 102 | 66,3 | 7,87 | 2,69 | 1,93 | 2,70 | 52,5 | 9,07 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | N | 125 | 5,89 | <0,1 | 16,2 | 122 | 57,7 | 8,72 | <0,002 | 2,57 | 2,23 | 76,0 | 14,1 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | O | 70 | 0,78 | <0,1 | 16,1 | 227 | 130 | 8,09 | 0,04 | 3,76 | 13,8 | 99,8 | 23,8 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | S | 230 | 2,72 | <0,1 | 11,3 | 87,2 | 60,9 | 8,06 | <0,002 | 1,76 | 1,54 | 44,4 | 10,7 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | W | 310 | 3,27 | <0,1 | 10,6 | 147 | 79,5 | 7,85 | <0,002 | 2,40 | 1,50 | 73,2 | 11,6 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | O | 45 | 26,6 | <0,1 | 62,0 | 593 | 77,4 | 7,96 | 0,03 | 8,17 | 17,1 | 218 | 24,0 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | S | 49 | 14,3 | <0,1 | 11,1 | 96,6 | 45,0 | 7,60 | 1,40 | 3,89 | 23,7 | 42,8 | 6,13 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | W | 22 | 15,6 | 16,5 | 37,8 | 690 | 60,6 | 7,15 | 6,09 | 6,43 | 4,51 | 259 | 23,4 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | N | 40 | 11,8 | 19,3 | 20,8 | 644 | 60,4 | 7,50 | <0,002 | 7,13 | 2,66 | 233 | 34,8 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | O | 175 | 11,0 | <0,1 | 42,9 | 232 | 58,6 | 7,83 | <0,002 | 7,43 | 2,24 | 87,0 | 30,6 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | S | 230 | 4,02 | <0,1 | 4,85 | 123 | 52,6 | 8,83 | <0,002 | 2,34 | 12,9 | 52,0 | 9,67 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | W | 435 | 5,77 | <0,1 | 22,7 | 543 | 44,1 | 7,66 | <0,002 | 5,32 | 1,99 | 194 | 27,2 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)
Ihrlersteiner Grünsandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | N | 45 | 9,78 | <0,1 | 33,5 | 348 | 22,1 | 7,33 | 1,26 | 5,32 | 1,65 | 115 | 15,8 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | O | 153 | 9,70 | <0,1 | 75,3 | 728 | 48,2 | 7,56 | 0,08 | 9,18 | 3,03 | 301 | 36,4 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | S | 540 | 2,63 | <0,1 | 10,1 | 93,2 | 40,5 | 7,89 | 0,08 | 1,80 | 1,25 | 45,2 | 6,43 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | W | 105 | 8,66 | <0,1 | 29,6 | 897 | 53,4 | 7,65 | 0,05 | 6,67 | 3,10 | 365 | 30,0 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | N | 60 | 15,1 | 2,73 | 16,5 | 160 | 63,8 | 7,59 | 1,23 | 4,66 | 0,96 | 73,0 | 13,0 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | O | 60 | 31,7 | 4,81 | 55,5 | 197 | 73,0 | 7,52 | 0,22 | 8,10 | 1,69 | 90,0 | 28,2 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | S | 245 | 4,94 | <0,1 | 11,1 | 37,0 | 47,7 | 7,42 | 0,18 | 2,59 | 0,78 | 29,9 | 5,56 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | W | 90 | 3,18 | <0,1 | 8,49 | 38,1 | 53,8 | 7,59 | 0,65 | 3,11 | 1,05 | 14,9 | 11,2 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | N | 26 | 41,5 | <0,1 | 78,6 | 20,3 | 67,4 | 7,79 | 0,24 | 10,7 | 2,35 | 146 | 37,4 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | O | 73 | 27,2 | <0,1 | 75,8 | 601 | 64,5 | 7,48 | <0,002 | 12,0 | 2,85 | 237 | 52,8 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | S | 55 | 9,45 | <0,1 | 41,0 | 20,0 | 109 | 7,63 | <0,002 | 3,47 | 2,72 | 73,6 | 23,4 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | W | 55 | 1,57 | <0,1 | 104 | 21,7 | 56,7 | 7,20 | <0,002 | 17,9 | 3,03 | 35,0 | 7,72 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | N | 130 | 21,7 | 2,51 | 60,1 | 305 | 87,6 | 7,66 | 0,04 | 7,97 | 2,07 | 146 | 28,2 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | O | 110 | 0,88 | 2,94 | 75,7 | 562 | 75,1 | 7,81 | 0,05 | 11,80 | 2,73 | 219 | 54,0 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | S | 360 | 2,88 | <0,1 | 8,66 | 76,9 | 53,7 | 7,56 | 0,02 | 2,05 | 0,94 | 47,8 | 7,79 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | W | 260 | 5,30 | <0,1 | 18,3 | 247 | 67,1 | 7,74 | 0,03 | 4,35 | 1,40 | 105 | 19,6 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | N | 56 | 6,94 | <0,1 | 3,47 | 87,3 | 80,7 | 7,67 | 0,04 | 3,27 | 2,32 | 51,1 | 10,9 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | O | 26 | 12,5 | <0,1 | 1,17 | 146 | 120 | 7,57 | 0,11 | 5,14 | 6,08 | 75,6 | 19,8 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | S | 175 | 3,75 | <0,1 | 27,1 | 46,9 | 41,7 | 7,30 | 0,03 | 2,17 | 1,21 | 34,6 | 7,44 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | W | 120 | 7,87 | <0,1 | 28,4 | 302 | 70,5 | 7,74 | 0,05 | 6,12 | 2,18 | 60,2 | 25,6 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | N | 15 | 14,3 | 0,56 | 12,5 | 49,7 | 55,4 | 7,29 | 3,55 | 2,49 | 5,00 | 34,3 | 8,57 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | O | 75 | 4,33 | <0,1 | 23,8 | 70,5 | 93,6 | 8,07 | 0,09 | 2,17 | 4,28 | 52,4 | 13,0 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | S | 140 | 3,81 | 0,80 | 5,21 | 78,5 | 61,1 | 7,92 | 3,03 | 1,59 | 3,98 | 44,2 | 8,45 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | W | 36 | 8,20 | <0,1 | 27,0 | 215 | 89,9 | 7,75 | 0,31 | 3,93 | 4,15 | 94,0 | 21,8 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | O | 104 | 11,9 | <0,1 | 31,6 | 140 | 56,5 | 7,71 | 5,45 | 4,96 | 2,19 | 32,0 | 16,5 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | S | 24 | 9,47 | 1,04 | 10,8 | 45,0 | 49,0 | 6,95 | 3,06 | 2,03 | 2,45 | 36,4 | 5,23 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | W | 61 | 5,65 | <0,1 | 8,65 | 101 | 42,3 | 7,71 | 1,24 | 2,03 | 1,63 | 47,4 | 10,1 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | S | 24,5 | 3,97 | <0,1 | 32,1 | 257 | 64,8 | 7,22 | 0,18 | 2,36 | 5,48 | 110 | 12,7 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | N | 67 | 3,50 | <0,1 | 47,9 | 269 | 37,1 | 7,25 | 0,14 | 2,23 | 3,31 | 130 | 12,1 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | O | 55 | 1,36 | <0,1 | 23,4 | 3,32 | 36,0 | 6,85 | 0,11 | 1,21 | 2,38 | 25,7 | 4,19 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | S | 64 | 2,55 | <0,1 | 32,0 | 135 | 19,0 | 7,00 | 0,14 | 1,46 | 2,59 | 65,4 | 8,63 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | W | 180 | 1,67 | <0,1 | 39,8 | 141 | 31,6 | 7,32 | 0,11 | 1,38 | 2,17 | 65,6 | 10,7 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | N | 18 | 12,0 | <0,1 | 24,9 | 179 | <1 | 7,04 | 0,25 | 5,69 | 2,32 | 120 | 29,9 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | O | 17,5 | 7,06 | 0,75 | 4,80 | 40,2 | <1 | 6,75 | 1,65 | 3,28 | 0,91 | 26,5 | 2,65 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | S | 140 | 3,50 | <0,1 | 25,3 | 66,7 | 43,8 | 7,45 | 0,13 | 1,71 | 1,53 | 33,6 | 6,50 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | W | 140 | 3,33 | <0,1 | 15,7 | 151 | 58,3 | 7,66 | 0,19 | 2,43 | 2,39 | 94,2 | 13,1 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | N | 5 | 17,8 | <0,1 | 46,1 | 102 | 7,16 | 6,39 | 1,53 | 2,90 | 1,20 | 51,2 | 8,35 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | O | 28 | 12,0 | 0,18 | 13,5 | 74,9 | 29,3 | 7,01 | 3,25 | 3,07 | 1,50 | 38,1 | 6,78 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | S | 90 | 6,83 | <0,1 | 27,1 | 102 | 48,3 | 7,45 | 1,55 | 2,88 | 2,16 | 92,8 | 15,0 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | W | 250 | 6,70 | <0,1 | 24,1 | 227 | 52,9 | 7,88 | 0,07 | 4,02 | 2,36 | 159 | 20,4 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | O | 20 | 51,7 | <0,1 | 128 | 1417 | 28,8 | 7,45 | 0,06 | 15,3 | 28,5 | 511 | 94,2 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | W | 120 | 10,5 | <0,1 | 36,3 | 514 | 45,8 | 7,65 | 0,03 | 5,70 | 4,47 | 232 | 28,9 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)
Ihrlersteiner Grünsandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | O | 128 | 8,15 | <0,1 | 31,7 | 442 | 47,9 | 7,77 | 0,06 | 6,54 | 2,66 | 177 | 25,2 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | S | 235 | 1,97 | <0,1 | 5,40 | 93,3 | 52,4 | 7,70 | 1,72 | 1,70 | 1,36 | 49,6 | 7,09 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | W | 32 | 9,80 | <0,1 | 20,0 | 509 | 60,5 | 7,63 | 1,74 | 6,88 | 2,75 | 187 | 35,8 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | O | 48 | 11,9 | 0,60 | 16,9 | 126 | 63,1 | 7,79 | 0,45 | 7,01 | 4,05 | 62,2 | 15,0 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | S | 6 | 18,5 | 13,3 | 22,0 | 155 | 61,0 | 7,47 | 6,44 | 6,19 | 3,13 | 5,02 | 1,24 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | W | 180 | 0,82 | 1,51 | 5,44 | 110 | 56,6 | 7,74 | 0,19 | 2,19 | 1,49 | 53,8 | 13,3 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | N | 10 | 24,3 | <0,1 | 12,2 | 195 | 33,5 | 7,56 | 2,66 | 15,0 | 1,88 | 72,6 | 13,1 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | O | 34 | 42,7 | 1,16 | 98,7 | 834 | 40,5 | 6,78 | 3,16 | 20,2 | 3,67 | 317 | 70,8 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | S | 280 | 5,35 | 0,58 | 5,01 | 119 | 39,1 | 7,58 | 1,74 | 3,67 | 1,35 | 57,8 | 5,7 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | W | 10 | 42,6 | <0,1 | 39,0 | 754 | 181 | 8,69 | 42,3 | 36,4 | 9,86 | 264 | 63,4 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | N | 8 | 29,8 | <0,1 | 33,0 | 375 | <1 | 6,95 | 0,99 | 11,6 | 4,32 | 161 | 18,6 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | O | 12 | 20,2 | <0,1 | 51,9 | 362 | 43,0 | 7,53 | 0,73 | 8,75 | 5,04 | 276 | 22,5 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | S | 5 | 46,8 | 15,3 | 65,0 | 210 | 34,7 | 6,67 | 1,68 | 14,6 | 19,2 | 145 | 17,2 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | W | 23 | 41,5 | <0,1 | 73,5 | 870 | 40,0 | 7,51 | 23,8 | 9,89 | 6,14 | 570 | 84,3 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | S | 50 | 23,0 | <0,1 | 12,0 | 90,0 | 33,0 | 7,17 | 2,35 | 3,12 | 8,28 | 49,2 | 9,00 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | W | 22 | 38,1 | <0,1 | 21,5 | 750 | 45,2 | 7,45 | 5,45 | 6,35 | 6,60 | 301 | 26,8 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | N | 18 | 19,0 | <0,1 | 24,3 | 453 | 64,8 | 7,56 | 2,68 | 6,46 | 5,31 | 177 | 25,8 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | S | 85 | 6,87 | 0,62 | 15,9 | 107 | 57,5 | 7,43 | 1,99 | 2,61 | 4,72 | 49,5 | 10,3 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | W | 250 | 3,23 | 3,40 | 10,2 | 403 | 50,9 | 7,35 | 1,44 | 2,48 | 2,45 | 183 | 14,9 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | N | 45 | 9,96 | <0,1 | 28,2 | 435 | 318 | 7,68 | 0,90 | 5,70 | 3,40 | 191 | 31,5 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | O | 140 | 2,75 | <0,1 | 16,4 | 73,8 | 38,3 | 7,31 | 0,03 | 1,27 | 1,82 | 39,6 | 7,47 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | S | 400 | 1,61 | 0,23 | 14,0 | 30,2 | 50,3 | 7,45 | 0,08 | 0,82 | 1,79 | 26,7 | 5,45 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | W | 1070 | 1,77 | <0,1 | 13,8 | 92,0 | 53,3 | 7,84 | 0,03 | 1,25 | 2,18 | 54,2 | 6,49 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | S | 17 | 14,8 | <0,1 | 28,6 | 342 | 78,8 | 7,64 | 7,86 | 5,88 | 12,9 | 150 | 21,5 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | O | 100 | 25,5 | <0,1 | 87,7 | 257 | 36,8 | 7,29 | 1,55 | 8,33 | 3,38 | 126 | 37,2 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | S | 120 | 11,5 | <0,1 | 30,0 | 275 | 73,7 | 7,60 | 1,48 | 5,14 | 3,66 | 126 | 18,8 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | W | 130 | 44,6 | <0,1 | 83,5 | 954 | 42,6 | 7,58 | 1,29 | 10,9 | 3,36 | 409 | 53,4 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | N | 50 | 41,8 | <0,1 | 121 | 985 | 64,2 | 7,74 | 0,01 | 18,2 | 7,80 | 378 | 78,3 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | O | 310 | 26,3 | <0,1 | 96,2 | 182 | 32,1 | 7,34 | 0,01 | 7,74 | 1,85 | 86,5 | 29,5 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | S | 120 | 8,20 | <0,1 | 13,2 | 148 | 74,2 | 7,56 | 0,03 | 3,88 | 3,28 | 68,4 | 14,4 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | W | 130 | 19,2 | <0,1 | 71,0 | 400 | 53,4 | 7,66 | 0,01 | 9,05 | 2,20 | 163 | 37,5 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)**Sander Sandstein**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | N | 50 | 200 | 2,62 | 208 | 856 | 19,6 | 7,06 | 21,8 | 31,40 | 5,09 | 323 | 117 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | O | 125 | 5,81 | 0,89 | 6,59 | 245 | 12,2 | 7,02 | 6,61 | 2,89 | 1,50 | 97,1 | 5,97 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | S | 335 | 5,51 | <0,1 | 22,6 | 59,2 | 4,26 | 6,30 | 0,24 | 2,97 | 1,68 | 25,8 | 5,16 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | W | 215 | 4,55 | 0,54 | 17,3 | 398 | <1 | 5,28 | 1,37 | 2,44 | 1,29 | 94,2 | 9,42 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | N | 100 | 115 | <0,1 | 102 | 312 | 5,21 | 6,29 | 12,0 | 23,3 | 3,29 | 98,0 | 68,8 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | O | 60 | 5,29 | <0,1 | 4,58 | 717 | <1 | 5,11 | 10,9 | 3,95 | 2,87 | 272 | 13,6 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | S | 422 | 4,21 | 0,67 | 3,50 | 73,1 | 11,8 | 7,07 | 6,95 | 3,06 | 1,24 | 19,5 | 5,85 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | W | 58 | 11,3 | 2,14 | 14,2 | 359 | 17,4 | 7,09 | 3,99 | 6,48 | 1,07 | 104 | 21,9 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | N | 100 | 13,7 | 0,93 | 8,84 | 643 | 19,2 | 6,87 | 7,58 | 8,21 | 1,90 | 206 | 16,5 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | O | 70 | 14,1 | <0,1 | 10,3 | 1066 | <1 | 5,21 | 14,6 | 8,26 | 3,29 | 323 | 21,1 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | S | 120 | 8,04 | 1,43 | 5,01 | 105 | 41,6 | 6,91 | 9,38 | 5,72 | 1,26 | 33,7 | 9,84 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | W | 20 | 10,3 | 1,77 | 8,04 | 256 | 27,0 | 6,76 | 11,9 | 5,64 | 1,16 | 80,4 | 13,3 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | N | 130 | 15,9 | 1,03 | 17,2 | 404 | 15,5 | 7,09 | 5,58 | 4,54 | 2,23 | 147 | 17,6 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | O | 91 | 5,75 | 1,04 | 4,12 | 698 | 3,56 | 6,38 | 7,10 | 2,47 | 2,41 | 269 | 8,88 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | S | 130 | 4,03 | 0,28 | 7,02 | 57,2 | 29,0 | 7,31 | 2,84 | 1,58 | 0,89 | 22,7 | 6,02 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | W | 67 | 4,03 | 0,87 | 2,65 | 183 | 23,1 | 6,89 | 3,13 | 1,26 | 1,08 | 65,3 | 5,83 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | N | 16 | 4,90 | 6,87 | 46,5 | 263 | 159 | 7,80 | 0,56 | 7,82 | 2,89 | 112 | 37,1 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | O | 48 | 8,51 | <0,1 | 5,02 | 219 | 40,8 | 7,36 | 5,45 | 2,92 | 5,13 | 89,6 | 9,14 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | S | 142 | 6,25 | 62,1 | 17,4 | 36,2 | 70,3 | 7,48 | 18,3 | 3,17 | 40,9 | 19,4 | 9,85 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | W | 37 | 5,89 | <0,1 | 7,29 | 101 | 29,3 | 6,98 | 0,04 | 1,87 | 2,30 | 43,6 | 8,24 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | N | 14 | 10,7 | 1,66 | 12,7 | 85,3 | 122,5 | 7,60 | 16,4 | 4,82 | 6,52 | 45,5 | 10,4 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | O | 44 | 13,8 | 0,98 | 13,5 | 97,3 | 71,8 | 7,72 | 6,98 | 3,34 | 5,01 | 48,3 | 12,1 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | S | 118 | 6,64 | <0,1 | 0,91 | 42,8 | 52,3 | 7,78 | 1,24 | 2,03 | 7,39 | 22,7 | 10,3 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | W | 47 | 8,44 | <0,1 | 9,92 | 178 | 62,6 | 7,61 | 6,58 | 2,89 | 2,65 | 73,8 | 14,3 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | N | 17 | 24,3 | 0,55 | 4,11 | 25,5 | 283,3 | 8,15 | 68,3 | 2,00 | 15,2 | 24,7 | 5,27 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | O | 58 | 4,97 | 0,82 | 3,96 | 97,2 | 54,0 | 7,96 | 8,90 | 1,29 | 1,27 | 50,5 | 5,24 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | S | 143 | 3,53 | 0,58 | 3,91 | 26,7 | 50,7 | 6,98 | 1,36 | 1,25 | 1,74 | 21,1 | 6,02 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | W | 36 | 8,55 | 0,28 | 4,17 | 27,2 | 43,8 | 7,46 | 1,63 | 1,33 | 2,06 | 23,8 | 5,60 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | N | 68 | 11,3 | <0,1 | 8,74 | 40,8 | 22,3 | 7,07 | 3,24 | 0,96 | 1,64 | 27,5 | 3,71 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | O | 155 | 2,41 | <0,1 | 8,54 | 152,4 | 18,2 | 7,12 | 5,36 | 1,03 | 1,68 | 67,2 | 3,97 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | S | 168 | 2,37 | <0,1 | 9,49 | 15,8 | 24,1 | 7,12 | 5,21 | 0,75 | 1,22 | 12,1 | 3,52 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | W | 95 | 4,07 | <0,1 | 9,48 | 52,5 | 28,3 | 7,30 | 4,39 | 0,91 | 1,53 | 28,3 | 5,41 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | N | 100 | 3,44 | <0,1 | 3,40 | 49,8 | 68,4 | 7,78 | 9,86 | 1,32 | 2,41 | 25,1 | 6,18 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | O | 85 | 3,52 | <0,1 | 5,66 | 48,4 | 35,4 | 7,55 | 8,62 | 1,02 | 1,92 | 19,5 | 3,77 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | S | 100 | 4,84 | <0,1 | 9,38 | 48,9 | 47,4 | 7,57 | 5,31 | 1,66 | 1,30 | 25,2 | 7,11 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | W | 32 | 5,50 | <0,1 | 12,6 | 87,5 | 59,7 | 7,45 | 4,47 | 2,36 | 1,87 | 39,4 | 12,2 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | N | 130 | 3,72 | <0,1 | 5,18 | 47,6 | 45,5 | 7,83 | <0,002 | 1,80 | 4,30 | 26,6 | 6,41 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | O | 160 | 3,23 | 0,15 | 22,1 | 52,9 | 4,42 | 5,87 | 0,09 | 1,55 | 1,27 | 21,6 | 7,41 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | S | 270 | 2,96 | 0,22 | 13,2 | 34,2 | 21,3 | 6,72 | <0,002 | 1,64 | 1,07 | 17,6 | 6,32 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | W | 65 | 3,75 | 0,29 | 6,54 | 55,6 | 43,3 | 7,28 | <0,002 | 1,74 | 0,88 | 25,9 | 10,4 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | N | 12 | 2,72 | <0,1 | 2,26 | 44,0 | 50,5 | 7,50 | 1,54 | 3,05 | 7,91 | 24,6 | 2,61 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | O | 60 | 1,56 | <0,1 | 2,40 | 31,7 | 23,2 | 7,59 | 2,02 | 1,80 | 2,58 | 15,9 | 2,19 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | S | 54 | 4,72 | <0,1 | 2,85 | 28,7 | 8,53 | 6,17 | 4,02 | 2,40 | 6,37 | 12,2 | 1,98 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | W | 30 | 5,76 | <0,1 | 2,97 | 42,9 | 10,7 | 7,38 | 1,34 | 2,65 | 2,99 | 21,2 | 2,50 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | N | 85 | 0,64 | 7,02 | 6,84 | 52,0 | 30,7 | 7,30 | <0,002 | 1,75 | 3,96 | 26,6 | 5,66 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | O | 250 | 0,73 | 4,36 | 15,5 | 63,9 | <1 | 5,05 | 0,08 | 1,42 | 1,10 | 26,2 | 4,45 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | S | 430 | 0,76 | 2,58 | 14,5 | 28,0 | <1 | 4,67 | 0,26 | 1,03 | 2,06 | 11,3 | 3,22 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | W | 240 | 0,45 | 4,58 | 16,0 | 164 | <1 | 5,98 | 0,01 | 1,45 | 1,66 | 50,3 | 5,55 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper) Sander Sandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | N | 118 | 3,08 | <0,1 | 3,96 | 56,6 | 24,2 | 7,38 | 1,40 | 2,07 | 1,05 | 24,9 | 3,51 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | O | 96 | 3,03 | <0,1 | 3,93 | 296 | 25,8 | 7,52 | 4,76 | 2,45 | 1,71 | 115 | 6,83 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | S | 350 | 2,16 | <0,1 | 14,2 | 33,7 | <1 | 4,48 | 1,08 | 1,63 | 1,14 | 12,4 | 2,83 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | W | 250 | 1,31 | <0,1 | 2,21 | 342 | 11,9 | 7,05 | 5,06 | 1,40 | 1,52 | 131 | 5,31 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | N | 175 | 3,20 | <0,1 | 5,40 | 24,0 | 25,2 | 7,19 | 2,01 | 4,14 | 0,94 | 43,6 | 6,08 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | O | 560 | 4,78 | <0,1 | 5,05 | 262 | 3,05 | 5,94 | 8,30 | 3,83 | 1,83 | 86,4 | 9,52 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | S | 1060 | 3,36 | <0,1 | 2,11 | 24,2 | 16,9 | 7,24 | 3,75 | 1,94 | 0,75 | 10,6 | 2,36 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | W | 1345 | 8,39 | <0,1 | 0,96 | 128 | 23,3 | 6,93 | 3,33 | 4,58 | 0,82 | 46,0 | 4,24 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | N | 80 | 10,1 | <0,1 | 11,7 | 123 | 59,6 | 7,59 | 2,51 | 3,60 | 1,36 | 59,8 | 13,1 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | O | 140 | 16,4 | <0,1 | 2,28 | 588 | 22,6 | 7,13 | 9,00 | 9,41 | 2,62 | 208 | 31,4 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | S | 470 | 2,38 | <0,1 | 18,2 | 49,5 | 19,3 | 6,98 | <0,002 | 1,82 | 0,91 | 25,4 | 6,43 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | W | 105 | 5,98 | <0,1 | 2,05 | 287 | 48,6 | 7,43 | <0,002 | 2,57 | 1,33 | 111 | 11,3 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | N | 140 | 6,27 | <0,1 | 15,6 | 81,1 | 38,2 | 7,55 | 0,03 | 3,90 | 1,38 | 52,6 | 11,4 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | O | 53 | 14,6 | <0,1 | 43,9 | 230 | 21,5 | 6,85 | 0,11 | 6,10 | 1,97 | 91,0 | 21,1 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | S | 260 | 2,57 | <0,1 | 9,25 | 20,1 | 36,6 | 7,41 | 0,01 | 1,77 | 0,60 | 20,9 | 5,74 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | W | 150 | 2,17 | <0,1 | 9,81 | 90,9 | 26,8 | 7,15 | <0,002 | 1,65 | 0,71 | 31,5 | 8,88 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | N | 65 | 4,00 | <0,1 | 40,6 | 41,5 | 39,4 | 7,49 | 0,04 | 2,34 | 2,29 | 37,1 | 7,20 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | O | 35 | 7,74 | <0,1 | 37,1 | 101 | 42,9 | 7,09 | 0,22 | 4,03 | 2,86 | 46,1 | 16,7 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | S | 86 | 2,60 | <0,1 | 32,0 | 34,5 | 33,7 | 7,16 | 0,03 | 1,60 | 2,38 | 27,0 | 7,83 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | W | 63 | 3,34 | <0,1 | 19,7 | 40,8 | 32,5 | 7,32 | 0,05 | 1,73 | 1,32 | 27,3 | 6,99 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | N | 50 | 6,05 | 0,68 | 9,18 | 46,5 | 137 | 7,83 | 3,17 | 2,85 | 6,72 | 30,9 | 7,25 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | O | 145 | 8,50 | <0,1 | 47,8 | 78,9 | 170 | 8,20 | 0,10 | 6,24 | 4,00 | 36,8 | 20,0 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | S | 160 | 6,00 | <0,1 | 1,96 | 33,3 | 103 | 7,87 | 0,12 | 3,39 | 4,71 | 33,8 | 9,08 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | W | 102 | 5,40 | <0,1 | 41,6 | 38,8 | 87,1 | 7,92 | 0,11 | 3,33 | 4,80 | 40,2 | 10,7 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | S | 52 | 3,70 | 0,28 | 4,45 | 19,8 | 17,1 | 6,85 | 2,37 | 2,95 | 0,95 | 13,1 | 2,07 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | W | 14 | 14,2 | <0,1 | 4,75 | 83,5 | 41,7 | 7,01 | 21,7 | 2,07 | 4,49 | 30,3 | 4,35 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | S | 14 | 7,72 | <0,1 | 16,2 | 89,9 | 47,1 | 7,08 | 6,88 | 3,28 | 6,33 | 40,5 | 10,1 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | W | 25 | 13,57 | <0,1 | 13,2 | 118 | 56,5 | 7,06 | 10,3 | 2,77 | 3,52 | 50,6 | 10,1 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | N | 5 | 69,9 | <0,1 | 26,9 | 134 | 39,0 | 7,00 | 6,00 | 4,53 | 8,93 | 60,0 | 9,89 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | O | 125 | 1,02 | <0,1 | 17,3 | 49,9 | <1 | 4,81 | 5,63 | 0,78 | 1,55 | 18,0 | 2,36 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | S | 12 | 36,9 | 1,73 | 19,2 | 76,1 | 40,4 | 6,89 | 0,00 | 3,60 | 6,44 | 40,5 | 10,2 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | W | 27 | 14,0 | <0,1 | 7,67 | 120 | 27,9 | 7,35 | 10,5 | 1,57 | 2,70 | 44,4 | 7,55 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | O | 8 | 5,81 | <0,1 | 4,21 | 135 | <1 | 6,13 | 7,90 | 2,89 | 2,26 | 43,2 | 5,63 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | S | 30 | 7,45 | <0,1 | 9,66 | 63,4 | 65,5 | 6,98 | 1,05 | 2,77 | 3,60 | 35,8 | 8,55 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | O | 15 | 5,00 | <0,1 | 27,2 | 104 | <1 | 5,21 | 1,43 | 2,58 | 2,20 | 36,4 | 9,27 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | S | 32,5 | 5,26 | <0,1 | 14,4 | 67,8 | 38,0 | 7,27 | 0,12 | 2,71 | 3,79 | 31,3 | 8,29 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | W | 34 | 6,00 | <0,1 | 23,3 | 68,5 | 2,14 | 5,86 | 0,96 | 2,17 | 1,49 | 21,9 | 7,51 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | N | 34 | 10,4 | <0,1 | 11,8 | 109 | 23,9 | 7,17 | 0,07 | 3,95 | 9,42 | 45,5 | 6,01 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | O | 12,5 | 16,9 | 1,00 | 14,7 | 144 | 28,0 | 6,80 | 5,06 | 6,73 | 8,18 | 63,2 | 10,6 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | S | 7,5 | 19,4 | 1,20 | 17,3 | 163 | <1 | 6,38 | 2,34 | 7,03 | 3,82 | 66,3 | 10,6 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | W | 40 | 7,45 | <0,1 | 3,77 | 76,8 | 27,8 | 7,21 | 4,76 | 2,41 | 3,08 | 26,5 | 5,96 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)**Sander Sandstein (Fortsetzung)**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | N | 7,5 | 14,0 | 0,60 | 7,40 | 82,9 | 54,3 | 7,50 | 2,46 | 3,89 | 1,97 | 44,3 | 7,02 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | O | 27,5 | 7,90 | 0,29 | 16,4 | 88,1 | 16,9 | 7,08 | 2,85 | 3,89 | 2,74 | 39,2 | 6,63 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | S | 33 | 5,30 | <0,1 | 20,7 | 85,2 | 8,4 | 6,71 | 0,06 | 3,99 | 1,20 | 37,8 | 7,70 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | W | 10 | 13,3 | 2,29 | 9,75 | 134 | 87,0 | 7,90 | 2,46 | 6,42 | 5,69 | 65,0 | 12,3 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | O | 48 | 7,44 | <0,1 | 8,12 | 66,1 | 26,1 | 7,60 | 11,0 | 4,22 | 1,63 | 21,5 | 3,70 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | S | 23 | 20,6 | 0,48 | 5,14 | 59,7 | 59,0 | 7,60 | 17,7 | 8,89 | 1,99 | 19,6 | 4,07 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | W | 75 | 2,30 | 5,90 | 4,27 | 72,5 | 7,02 | 7,13 | 5,92 | 1,22 | 1,00 | 26,7 | 3,88 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | N | 8 | 33,5 | <0,1 | 16,8 | 403 | 25,4 | 6,61 | 13,2 | 22,0 | 4,02 | 137 | 22,5 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | O | 12 | 26,1 | <0,1 | 6,10 | 176 | 17,4 | 5,56 | 9,35 | 11,0 | 1,77 | 66,8 | 6,23 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | S | 50 | 14,3 | 0,45 | 2,12 | 98,5 | 52,3 | 7,61 | 11,7 | 9,18 | 2,15 | 33,3 | 5,95 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | W | 24 | 30,9 | 1,15 | 11,0 | 182 | 27,1 | 7,20 | 4,45 | 13,9 | 1,53 | 65,9 | 11,2 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | N | 5 | 18,0 | 22,3 | 62,5 | 199 | <1 | 3,41 | 9,83 | 6,79 | 5,50 | 79,1 | 7,60 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | O | 6 | 22,5 | <0,1 | 54,0 | 108 | 85,1 | 7,64 | <0,002 | 8,69 | 30,40 | 57,6 | 13,7 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | W | 12 | 17,6 | <0,1 | 60,6 | 404 | <1 | 4,03 | 4,71 | 6,84 | 6,15 | 183 | 12,1 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | N | 17 | 7,80 | <0,1 | <0,2 | 27,7 | 45,8 | 7,02 | 6,04 | 4,02 | 2,43 | 20,3 | 2,34 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | S | 18 | 9,40 | <0,1 | <0,2 | 55,1 | 43,7 | 6,94 | 3,62 | 4,72 | 10,8 | 30,4 | 5,78 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | W | 18 | 20,0 | <0,1 | <0,2 | 46,4 | 28,0 | 6,39 | 0,41 | 4,59 | 4,46 | 35,2 | 5,84 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | O | 6 | 19,7 | <0,1 | 12,6 | 91,6 | 33,3 | 7,11 | 3,03 | 8,30 | 12,0 | 40,8 | 9,85 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | S | 46 | 6,25 | <0,1 | 7,70 | 32,1 | 26,6 | 7,23 | 3,47 | 2,17 | 2,74 | 15,9 | 3,83 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | W | 140 | 3,04 | 0,65 | 6,01 | 131 | 51,2 | 7,51 | 5,44 | 1,71 | 2,35 | 53,0 | 8,60 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | N | 40 | 3,87 | 0,45 | 7,92 | 36,4 | 233 | 7,42 | 2,16 | 2,07 | 5,30 | 23,7 | 4,88 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | O | 1170 | 0,86 | 3,43 | 3,25 | 22,7 | <1 | 4,96 | 1,28 | 0,64 | 0,74 | 11,2 | 1,31 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | S | 175 | 1,63 | <0,1 | 16,2 | 17,7 | 24,5 | 6,96 | 0,04 | 0,78 | 1,89 | 14,0 | 4,78 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | W | 920 | 0,60 | <0,1 | 8,51 | 28,8 | 9,44 | 6,50 | 0,04 | 0,45 | 1,02 | 18,0 | 2,70 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | N | 10 | 13,6 | 0,80 | 10,4 | 66,8 | 74,7 | 7,44 | 5,57 | 7,19 | 4,15 | 45,9 | 4,82 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | O | 17 | 20,8 | 0,10 | 19,5 | 118 | 58,7 | 7,41 | 1,79 | 8,81 | 11,1 | 57,6 | 15,4 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | W | 25 | 14,6 | 1,00 | 12,3 | 76,1 | 50,8 | 7,42 | 2,50 | 5,95 | 2,70 | 46,3 | 6,75 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | N | 30 | 11,3 | <0,1 | 8,36 | 124 | 70,1 | 7,43 | 0,02 | 5,85 | 5,70 | 67,5 | 8,40 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | O | 120 | 5,56 | <0,1 | 6,66 | 91,9 | 45,0 | 7,64 | 2,49 | 2,68 | 2,29 | 42,6 | 5,72 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | S | 20 | 11,6 | <0,1 | 32,1 | 149 | 34,9 | 7,35 | 0,68 | 5,95 | 10,6 | 56,0 | 16,8 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | W | 100 | 5,64 | <0,1 | 7,19 | 80,3 | 38,5 | 7,26 | 1,51 | 2,72 | 2,28 | 38,4 | 5,46 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | N | 50 | 6,69 | <0,1 | 8,90 | 77,8 | 23,6 | 7,66 | 0,03 | 3,90 | 3,09 | 42,6 | 7,47 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | O | 50 | 7,10 | <0,1 | 8,06 | 100 | 51,6 | 7,63 | 0,09 | 3,78 | 8,76 | 47,4 | 9,75 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | S | 15 | 9,32 | 0,20 | 20,0 | 107 | 48,4 | 7,54 | 0,10 | 6,67 | 4,94 | 49,8 | 15,3 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | W | 100 | 6,08 | <0,1 | 9,44 | 122 | 70,6 | 7,89 | 0,04 | 2,50 | 9,64 | 63,8 | 8,88 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)**Obernkirchener Sandstein**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | N | 19 | 16,6 | 3,14 | 8,59 | 209 | 14,8 | 7,02 | 0,52 | 10,3 | 1,87 | 91,5 | 14,2 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | O | 100 | 8,16 | 0,82 | 9,16 | 428 | 15,6 | 7,20 | 16,0 | 4,76 | 2,17 | 167 | 6,63 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | S | 240 | 4,79 | 0,49 | 1,37 | 75,0 | 50,0 | 7,62 | 6,83 | 3,63 | 0,90 | 36,9 | 5,53 |
| 25.11.1993 | 21.12.1993 | W | 175 | 3,00 | 2,56 | 5,79 | 318 | 19,4 | 7,11 | 7,44 | 1,82 | 1,85 | 130 | 3,95 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | N | 18 | 11,1 | <0,1 | 9,95 | 178 | 40,3 | 6,97 | 6,12 | 5,54 | 1,34 | 53,8 | 17,7 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | O | 110 | 20,6 | <0,1 | 20,2 | 344 | <1 | 4,53 | 41,9 | 8,42 | 4,59 | 86,2 | 11,1 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | S | 100 | 7,03 | 1,22 | 4,10 | 163 | 15,8 | 7,16 | 9,03 | 4,75 | 1,53 | 47,3 | 11,6 |
| 21.12.1993 | 24.01.1994 | W | 125 | 4,97 | 0,48 | 4,43 | 277 | 11,2 | 7,11 | 11,0 | 2,33 | 1,67 | 94,5 | 6,71 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | N | 75 | 17,1 | 0,92 | 9,47 | 220 | 18,2 | 6,85 | 8,12 | 10,3 | 1,31 | 70,1 | 7,52 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | O | 95 | 36,2 | <0,1 | 39,8 | 599 | <1 | 4,59 | 103 | 15,4 | 6,99 | 122 | 18,1 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | S | 80 | 15,4 | 2,65 | 3,19 | 223 | 62,0 | 7,38 | 20,9 | 11,8 | 2,78 | 66,5 | 15,0 |
| 24.01.1994 | 01.03.1994 | W | 40 | 14,0 | 1,85 | 5,23 | 336 | 52,3 | 5,40 | 30,0 | 5,55 | 1,82 | 80,4 | 14,6 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | N | 92 | 10,2 | 1,09 | 8,65 | 209 | 11,4 | 7,17 | 13,2 | 3,72 | 2,66 | 67,0 | 8,17 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | O | 162 | 7,30 | 0,33 | 6,73 | 236 | 2,94 | 6,20 | 11,2 | 1,87 | 1,47 | 88,8 | 3,39 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | S | 285 | 3,01 | <0,1 | 3,62 | 56,8 | 24,6 | 7,13 | 3,97 | 1,16 | 0,48 | 22,1 | 3,92 |
| 01.03.1994 | 25.03.1994 | W | 158 | 3,39 | 0,31 | 3,18 | 102 | 21,2 | 7,53 | 1,65 | 1,70 | 1,45 | 41,2 | 4,40 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | N | 61 | 30,0 | 0,98 | 36,8 | 568 | 7,63 | 6,35 | 86,9 | 18,0 | 6,56 | 74,5 | 70,0 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | O | 55 | 13,2 | <0,1 | 92,9 | 246 | <1 | 3,97 | 5,98 | 3,94 | 34,4 | 94,5 | 12,9 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | S | 193 | 5,22 | <0,1 | 1,16 | 31,2 | 58,0 | 7,79 | 4,94 | 1,87 | 7,33 | 15,2 | 6,60 |
| 25.03.1994 | 22.04.1994 | W | 59 | 4,90 | <0,1 | 0,81 | 66,2 | 70,7 | 7,48 | 1,59 | 1,77 | 4,13 | 35,3 | 8,76 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | N | 86 | 8,07 | <0,1 | 28,9 | 193 | 3,31 | 6,40 | 0,06 | 3,87 | 2,77 | 52,7 | 25,4 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | O | 111 | 14,4 | <0,1 | 45,9 | 245 | <1 | 5,02 | 13,5 | 4,73 | 5,07 | 91,7 | 10,3 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | S | 118 | 5,13 | <0,1 | 16,3 | 40,5 | 28,4 | 7,53 | 4,55 | 1,67 | 3,95 | 20,3 | 6,61 |
| 22.04.1994 | 31.05.1994 | W | 75 | 10,0 | <0,1 | 30,9 | 98,7 | 32,2 | 7,47 | 0,10 | 3,18 | 2,99 | 49,4 | 12,4 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | N | 65 | 9,80 | 0,37 | 3,51 | 51,7 | 77,8 | 7,65 | 10,1 | 2,14 | 2,58 | 36,9 | 6,08 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | O | 67 | 6,19 | <0,1 | 4,29 | 73,0 | 33,0 | 7,65 | 5,18 | 1,50 | 4,89 | 35,7 | 4,37 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | S | 220 | 3,50 | <0,1 | 3,13 | 21,8 | 38,3 | 7,98 | 1,90 | 0,98 | 1,20 | 17,1 | 4,51 |
| 31.05.1994 | 30.06.1994 | W | 43 | 5,56 | 0,33 | 4,44 | 35,5 | 65,0 | 6,77 | 5,92 | 1,46 | 2,63 | 30,0 | 5,89 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | N | 100 | 4,54 | <0,1 | 9,58 | 40,9 | 33,6 | 7,37 | 4,48 | 1,09 | 2,23 | 27,9 | 4,32 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | O | 248 | 2,22 | <0,1 | 8,30 | 52,8 | 14,0 | 6,79 | 7,04 | 1,05 | 2,01 | 23,4 | 1,91 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | S | 220 | 2,24 | 0,53 | 6,66 | 16,9 | 33,3 | 7,13 | 7,53 | 1,12 | 1,59 | 11,4 | 3,24 |
| 30.06.1994 | 29.07.1994 | W | 125 | 3,26 | <0,1 | 7,52 | 40,5 | 15,3 | 7,08 | 4,57 | 0,62 | 0,89 | 21,8 | 2,71 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | N | 183 | 3,35 | <0,1 | 8,55 | 46,5 | 51,6 | 7,62 | 4,44 | 1,43 | 4,30 | 26,2 | 5,10 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | O | 350 | 2,37 | <0,1 | 6,35 | 44,2 | 21,5 | 7,27 | 6,14 | 0,89 | 2,39 | 18,1 | 2,66 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | S | 150 | 5,45 | <0,1 | 3,60 | 39,5 | 64,9 | 7,74 | 11,8 | 1,49 | 2,33 | 20,3 | 5,79 |
| 29.07.1994 | 31.08.1994 | W | 67 | 21,9 | <0,1 | 17,5 | 81,8 | 57,7 | 7,66 | 6,60 | 12,7 | 12,3 | 36,7 | 8,11 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | N | 190 | 4,40 | <0,1 | 23,0 | 80,0 | 8,87 | 6,97 | <0,002 | 2,04 | 1,93 | 33,6 | 7,45 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | O | 300 | 5,01 | <0,1 | 19,1 | 80,8 | <1 | 4,41 | 2,45 | 2,50 | 1,18 | 27,6 | 5,60 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | S | 430 | 2,17 | <0,1 | 22,1 | 28,3 | 41,2 | 6,53 | 0,05 | 0,98 | 1,17 | 14,3 | 4,46 |
| 31.08.1994 | 04.10.1994 | W | 110 | 2,74 | <0,1 | 10,1 | 71,4 | 55,6 | 7,68 | <0,002 | 1,39 | 1,04 | 34,1 | 10,6 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | O | 26 | 2,85 | <0,1 | 0,10 | 59,1 | 33,0 | 6,04 | 0,05 | 2,07 | 2,46 | 28,8 | 2,36 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | S | 120 | 10,0 | <0,1 | 0,10 | 51,8 | 10,4 | 7,55 | <0,002 | 3,20 | 37,0 | 19,2 | 3,29 |
| 04.10.1994 | 28.10.1994 | W | 8 | 9,06 | <0,1 | 2,23 | 43,5 | 5,40 | 5,00 | 2,10 | 0,70 | 0,60 | 16,2 | 1,70 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | N | 55 | 6,33 | <0,1 | 19,9 | 317 | 53,8 | 7,63 | <0,002 | 2,92 | 5,47 | 146 | 9,71 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | O | 280 | 4,30 | <0,1 | 7,52 | 119 | <1 | 6,24 | 7,99 | 2,42 | 1,15 | 43,9 | 3,81 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | S | 670 | 1,24 | <0,1 | 7,53 | 25,9 | 8,44 | 6,68 | 1,10 | 0,90 | 5,03 | 10,0 | 2,08 |
| 28.10.1994 | 30.11.1994 | W | 210 | 2,35 | <0,1 | 3,81 | 327 | 15,7 | 7,16 | 3,66 | 0,93 | 1,77 | 137 | 2,81 |

**Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)
Obernkirchener Sandstein (Fortsetzung)**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | N | 171 | 5,48 | <0,1 | 8,10 | 260 | 30,7 | 7,64 | 10,5 | 2,79 | 3,22 | 100 | 5,28 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | O | 175 | 7,35 | <0,1 | 11,3 | 332 | 4,62 | 6,32 | 15,4 | 3,38 | 2,13 | 131 | 5,00 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | S | 365 | 2,15 | <0,1 | 1,90 | 33,5 | 17,04 | 7,17 | 3,31 | 1,41 | 0,72 | 15,4 | 2,20 |
| 30.11.1994 | 30.12.1994 | W | 107 | 1,83 | <0,1 | 2,17 | 348 | 17,5 | 7,29 | 2,83 | 1,24 | 0,90 | 142 | 3,13 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | N | 145 | 3,19 | <0,1 | 9,48 | 68,8 | 25,5 | 7,35 | 11,5 | 6,30 | 1,86 | 71,4 | 7,33 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | O | 605 | 11,3 | 1,12 | 11,8 | 276 | <1 | 4,82 | 28,3 | 4,64 | 2,65 | 83,4 | 4,64 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | S | 530 | 3,55 | <0,1 | 1,89 | 33,1 | 22,5 | 7,25 | 4,38 | 1,83 | 0,65 | 16,1 | 2,77 |
| 30.12.1994 | 31.01.1995 | W | 1330 | 1,96 | <0,1 | 1,11 | 34,4 | 13,4 | 6,58 | 1,60 | 1,00 | 0,39 | 11,5 | 1,96 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | N | 110 | 1,32 | <0,1 | 87,5 | 630 | <1 | 4,83 | 86,2 | 19,20 | 6,39 | 105 | 69,5 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | O | 270 | 27,0 | <0,1 | 25,6 | 547 | <1 | 5,31 | 46,9 | 10,60 | 5,58 | 124 | 12,9 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | S | 235 | 4,09 | 0,31 | 3,00 | 73,6 | 36,2 | 7,39 | 4,45 | 1,61 | 0,94 | 30,8 | 6,24 |
| 31.01.1995 | 28.02.1995 | W | 60 | 11,0 | 1,53 | 11,5 | 450 | 36,7 | 7,27 | 28,8 | 4,62 | 3,42 | 154 | 14,5 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | N | 245 | 14,0 | <0,1 | 52,0 | 202 | <1 | 3,96 | 27,8 | 7,89 | 2,83 | 41,4 | 24,2 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | O | 200 | 8,41 | 1,97 | 14,4 | 152 | 9,80 | 6,89 | 18,58 | 3,53 | 2,13 | 54,4 | 7,06 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | S | 420 | 1,83 | <0,1 | 18,0 | 40,6 | 3,20 | 5,97 | 0,03 | 1,10 | 0,77 | 22,5 | 3,80 |
| 28.02.1995 | 30.03.1995 | W | 210 | 2,51 | <0,1 | 22,9 | 82,2 | <1 | 4,56 | 0,47 | 1,33 | 1,33 | 46,5 | 4,61 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | N | 38 | 4,32 | <0,1 | 24,4 | 38,2 | 63,6 | 7,35 | 0,08 | 2,04 | 2,17 | 37,4 | 6,63 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | O | 45 | 5,27 | <0,1 | 37,0 | 107 | 7,02 | 6,17 | 0,07 | 2,25 | 1,76 | 54,1 | 6,98 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | S | 75 | 3,87 | <0,1 | 8,84 | 26,1 | 37,7 | 7,28 | 1,41 | 1,22 | 0,76 | 21,6 | 5,61 |
| 30.03.1995 | 28.04.1995 | W | 45 | 4,90 | <0,1 | 26,6 | 98,6 | 34,0 | 7,16 | 0,05 | 2,56 | 2,53 | 54,6 | 9,39 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | N | 45 | 7,20 | <0,1 | 90,5 | 54,3 | 101 | 8,05 | 0,19 | 2,47 | 13,0 | 55,2 | 17,2 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | O | 75 | 5,32 | <0,1 | 49,5 | 126 | <1 | 4,36 | 4,70 | 2,18 | 4,98 | 51,6 | 7,34 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | S | 135 | 2,20 | <0,1 | 21,6 | 37,1 | 5,32 | 7,24 | 0,11 | 1,12 | 3,91 | 25,3 | 6,11 |
| 28.04.1995 | 30.05.1995 | W | 40 | 6,22 | 3,70 | 15,7 | 61,6 | 60,5 | 6,38 | 1,88 | 2,31 | 6,11 | 37,7 | 10,5 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | O | 52 | 3,77 | <0,1 | 4,32 | 83,2 | <1 | 5,83 | 6,17 | 1,20 | 1,27 | 35,4 | 1,53 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | S | 78 | 3,21 | <0,1 | 3,50 | 15,5 | 41,0 | 7,14 | 3,18 | 6,27 | 1,04 | 10,7 | 1,64 |
| 30.05.1995 | 30.06.1995 | W | 12 | 13,5 | <0,1 | 4,13 | 111 | <1 | 5,59 | 10,6 | 1,48 | 2,29 | 45,5 | 1,00 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | O | 8 | 13,4 | <0,1 | 17,1 | 137 | 4,30 | 5,00 | 14,4 | 2,50 | 2,60 | 42,8 | 3,80 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | S | 40 | 13,0 | <0,1 | 10,9 | 50,3 | 35,2 | 6,99 | 6,25 | 2,31 | 4,92 | 25,1 | 7,03 |
| 30.06.1995 | 27.07.1995 | W | 15 | 19,4 | <0,1 | 12,3 | 175 | 61,6 | 7,18 | 10,7 | 2,95 | 4,18 | 81,6 | 8,66 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | N | 22 | 7,84 | <0,1 | 57,2 | 142 | 6,56 | 5,78 | 0,28 | 4,31 | 5,12 | 61,0 | 9,14 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | O | 180 | 0,63 | <0,1 | 22,7 | 34,2 | <1 | 3,93 | 2,78 | 0,61 | 1,19 | 15,1 | 1,22 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | S | 48 | 1,99 | <0,1 | 15,0 | 30,4 | <1 | 4,95 | 0,99 | 1,23 | 1,55 | 14,3 | 3,47 |
| 27.07.1995 | 28.08.1995 | W | 18 | 2,37 | <0,1 | 10,0 | 144 | 46,9 | 6,93 | 4,53 | 1,85 | 2,33 | 59,8 | 5,55 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | N | 5 | 29,0 | <0,1 | 5,53 | 126 | 2,30 | 5,00 | 2,32 | 36,70 | 50,1 | 6,90 | 1,80 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | O | 100 | 2,14 | 3,65 | 8,55 | 65,5 | <1 | 4,83 | 3,58 | 1,34 | 0,77 | 23,3 | 1,55 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | S | 140 | 1,26 | <0,1 | 11,0 | 20,6 | <1 | 4,64 | 1,13 | 0,85 | 0,78 | 8,00 | 2,07 |
| 28.08.1995 | 22.09.1995 | W | 7,5 | 7,24 | <0,1 | 8,41 | 152 | 14,3 | 6,00 | 2,04 | 11,17 | 5,88 | 50,0 | 4,60 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | O | 180 | 1,95 | <0,1 | 2,66 | 68,1 | 6,97 | 6,70 | 4,69 | 1,00 | 0,87 | 32,7 | 1,40 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | S | 60 | 4,14 | 0,69 | 8,26 | 64,8 | 31,3 | 7,28 | 6,89 | 1,92 | 1,41 | 24,4 | 6,79 |
| 22.09.1995 | 31.10.1995 | W | 18 | 7,80 | 0,74 | 3,46 | 128 | 34,1 | 6,87 | 3,81 | 2,85 | 2,43 | 60,8 | 7,40 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | N | 17,5 | 16,5 | 0,86 | 17,9 | 345 | 10,3 | 6,82 | 19,9 | 7,31 | 6,71 | 119 | 8,99 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | O | 48 | 6,83 | <0,1 | 8,40 | 99,3 | 8,63 | 6,99 | 5,89 | 3,02 | 1,93 | 37,4 | 3,63 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | S | 17,5 | 8,75 | <0,1 | 8,50 | 115 | <1 | 6,36 | 5,93 | 4,17 | 3,03 | 38,4 | 7,09 |
| 31.10.1995 | 27.11.1995 | W | 14 | 8,40 | <0,1 | 6,50 | 129 | 12,8 | 6,36 | 7,08 | 3,48 | 3,95 | 46,0 | 4,74 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (unbehandelte Prüfkörper)
Obernkirchener Sandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | |
|------------|------------|-------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | O | 65 | 4,80 | 0,30 | 4,66 | 96,2 | 8,83 | 6,96 | 5,59 | 2,09 | 1,29 | 38,7 | 2,66 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | S | 97,5 | 3,34 | 0,61 | 2,87 | 42,1 | 16,5 | 7,16 | 4,19 | 1,68 | 0,69 | 17,6 | 3,55 |
| 27.11.1995 | 22.12.1995 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | O | 20 | 8,65 | <0,1 | 6,00 | 69,5 | 17,9 | 7,13 | 6,07 | 4,78 | 1,12 | 28,2 | 3,44 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | S | 85 | 1,26 | <0,1 | 1,97 | 8,00 | 10,2 | 6,58 | 1,92 | 0,96 | 0,46 | 3,92 | 1,02 |
| 22.12.1995 | 05.02.1996 | W | 37 | 4,60 | 0,47 | 2,83 | 167 | 8,72 | 6,75 | 2,95 | 3,20 | 0,99 | 73,8 | 2,30 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | O | 31 | 9,14 | 0,47 | 1,54 | 231 | 24,8 | 7,08 | 11,8 | 5,21 | 1,55 | 90,0 | 2,52 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | S | 155 | 6,61 | 0,20 | 2,50 | 55,6 | 12,9 | 7,01 | 2,92 | 4,55 | 0,77 | 22,9 | 2,72 |
| 05.02.1996 | 01.03.1996 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | N | 10 | 48,3 | <0,1 | 46,0 | 334 | <1 | 4,04 | 20,4 | 12,1 | 5,39 | 105 | 20,2 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | O | 10 | 51,8 | <0,1 | 28,0 | 195 | <1 | 3,74 | 2,90 | 9,14 | 16,3 | 76,0 | 12,5 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | S | 4 | 51,5 | <0,1 | 72,0 | 217 | <1 | 3,41 | 0,00 | 15,6 | 20,3 | 86,5 | 15,1 |
| 28.03.1996 | 03.05.1996 | W | 20 | 37,5 | <0,1 | 42,3 | 953 | <1 | 6,35 | 97,3 | 18,1 | 9,38 | 224 | 48,7 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | O | 33 | 42,0 | <0,1 | 5,65 | 127 | 6,59 | 5,01 | 6,04 | 3,02 | 2,15 | 42,4 | 3,54 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | S | 55 | 16,4 | <0,1 | 4,70 | 50,7 | 31,3 | 7,18 | 3,91 | 2,12 | 2,80 | 31,0 | 5,14 |
| 03.05.1996 | 30.05.1996 | W | 7 | 53,6 | <0,1 | 7,90 | 78,2 | <1 | 3,95 | 4,75 | 6,01 | 3,96 | 49,5 | 8,03 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | O | 29 | 6,54 | 16,2 | 10,8 | 96,1 | <1 | 5,04 | 6,18 | 3,23 | 5,15 | 39,5 | 6,40 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | S | 160 | 2,16 | 10,8 | 4,66 | 33,3 | 16,5 | 7,24 | 4,82 | 1,10 | 2,73 | 16,6 | 3,67 |
| 26.06.1996 | 30.07.1996 | W | 115 | 3,40 | 0,52 | 6,38 | 135 | 54,2 | 7,34 | 7,28 | 1,75 | 3,80 | 63,4 | 5,59 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | O | 1170 | 0,81 | <0,1 | 7,68 | 29,0 | <1 | 4,96 | 2,02 | 0,53 | 1,30 | 15,3 | 0,96 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | S | 1175 | 0,56 | <0,1 | 7,01 | 6,34 | 4,04 | 6,13 | 0,03 | 0,37 | 1,02 | 4,94 | 1,16 |
| 30.07.1996 | 30.08.1996 | W | 570 | 0,74 | <0,1 | 12,1 | 67,7 | 10,9 | 6,62 | 0,03 | 0,46 | 1,40 | 37,2 | 2,40 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | O | 32 | 14,9 | 0,50 | 4,49 | 113 | 46,9 | 7,34 | 3,17 | 5,10 | 7,25 | 56,0 | 8,05 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | S | 13 | 13,3 | 0,10 | 15,9 | 123 | 25,6 | 6,81 | 3,84 | 5,46 | 3,98 | 60,7 | 11,7 |
| 30.08.1996 | 30.09.1996 | W | 12 | 19,0 | 0,10 | 13,8 | 134 | 71,0 | 7,58 | 2,11 | 7,36 | 4,62 | 75,8 | 10,3 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | O | 270 | 7,50 | 0,28 | 7,08 | 134 | 18,8 | 7,02 | 10,0 | 2,80 | 2,85 | 46,0 | 4,13 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | S | 300 | 3,00 | 0,17 | 8,30 | 51,3 | 28,7 | 7,00 | 3,10 | 1,70 | 0,80 | 23,0 | 4,40 |
| 30.09.1996 | 04.11.1996 | W | 300 | 3,47 | <0,1 | 3,48 | 132 | 23,1 | 7,03 | 4,26 | 1,41 | 1,91 | 58,2 | 3,28 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | O | 120 | 9,39 | 0,42 | 12,3 | 126 | 23,2 | 7,34 | 6,77 | 4,08 | 2,85 | 54,0 | 6,22 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | S | 120 | 3,89 | <0,1 | 15,8 | 85,6 | 6,68 | 6,59 | <0,002 | 1,69 | 1,83 | 38,1 | 5,55 |
| 04.11.1996 | 21.11.1996 | W | 130 | 2,73 | <0,1 | 9,64 | 159 | 10,5 | 6,78 | 0,04 | 2,62 | 3,66 | 66,0 | 5,58 |

A 3b: Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)**Referenzsammler Polycarbonat (offen)**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 10 | 17,6 | <0,1 | 14,7 | 94,6 | 44,0 | 7,55 | 11,0 | 9,76 | 1,84 | 41,4 | 6,53 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 80 | 11,4 | 0,38 | 7,60 | 50,6 | 12,2 | 6,97 | 3,86 | 6,64 | 0,83 | 21,2 | 3,20 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 100 | 16,7 | 0,78 | 8,80 | 109 | 53,6 | 7,69 | 7,11 | 6,97 | 1,74 | 50,2 | 8,60 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 380 | 9,2 | 0,54 | 5,93 | 64,0 | 48,5 | 7,70 | 5,76 | 4,53 | 0,88 | 30,3 | 5,24 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 980 | 6,6 | 0,55 | 3,54 | 38,8 | 30,9 | 7,38 | 2,05 | 3,31 | 0,55 | 26,3 | 5,31 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 490 | 5,16 | 0,37 | 2,64 | 32,4 | 33,4 | 7,63 | 3,87 | 2,53 | 0,33 | 17,4 | 4,43 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 60 | 10,1 | 0,56 | 9,30 | 72,5 | 48,9 | 7,59 | 7,04 | 4,12 | 2,78 | 34,8 | 8,72 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 30 | 24,1 | 1,50 | 37,2 | 258 | 93,2 | 7,88 | 17,1 | 9,95 | 5,55 | 110 | 35,0 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 140 | 7,13 | 1,84 | 14,6 | 80,3 | 68,1 | 7,53 | 8,31 | 3,51 | 2,45 | 41,2 | 13,2 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 110 | 3,53 | 0,57 | 6,32 | 42,4 | 47,4 | 7,62 | 5,87 | 1,97 | 0,82 | 23,3 | 6,40 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 40 | 38,0 | 0,54 | 9,81 | 103 | 88,5 | 7,62 | 12,9 | 12,3 | 5,31 | 57,3 | 11,9 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 70 | 25,0 | 0,72 | 13,3 | 92,2 | 68,3 | 7,26 | 5,34 | 6,38 | 3,94 | 52,4 | 13,4 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 120 | 11,7 | 0,87 | 11,0 | 60,5 | 73,6 | 7,34 | 4,36 | 4,31 | 3,27 | 36,6 | 11,7 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 100 | 9,80 | 0,32 | 5,37 | 40,7 | 40,5 | 7,75 | 4,49 | 2,48 | 1,02 | 23,5 | 6,54 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 150 | 1,77 | 0,37 | 4,70 | 22,8 | 45,0 | 7,83 | 2,66 | 0,97 | 1,05 | 16,3 | 4,50 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 420 | 2,36 | 1,05 | 3,94 | 35,0 | 56,5 | 7,50 | 3,69 | 1,01 | 2,75 | 20,0 | 6,83 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 620 | 1,70 | 5,01 | 3,94 | 25,0 | 22,3 | 7,74 | 2,03 | 0,99 | 2,01 | 15,1 | 6,81 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 320 | 1,14 | 5,01 | 3,24 | 15,2 | 38,9 | 7,37 | 2,76 | 0,76 | 0,63 | 11,9 | 4,00 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 70 | 6,26 | 1,34 | 9,46 | 38,1 | 58,5 | 7,68 | 2,00 | 1,88 | 2,16 | 27,0 | 8,60 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 160 | 3,39 | 0,52 | 8,33 | 25,0 | 38,1 | 7,52 | 1,48 | 1,26 | 2,48 | 16,4 | 5,69 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 480 | 1,85 | 0,55 | 2,45 | 12,9 | 55,8 | 7,58 | 2,52 | 1,13 | 2,33 | 13,5 | 5,58 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 300 | 1,95 | 0,26 | 3,96 | 12,7 | 29,7 | 7,32 | 1,62 | 0,78 | 0,97 | 10,4 | 2,78 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 30 | 6,50 | <0,1 | 12,8 | 41,1 | 48,4 | 7,80 | 3,95 | 2,61 | 2,03 | 24,6 | 7,20 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 20 | 12,0 | <0,1 | 26,9 | 66,4 | 50,5 | 7,84 | 3,60 | 3,31 | 3,16 | 37,1 | 11,4 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 50 | 4,77 | 0,66 | 16,3 | 36,5 | 49,6 | 7,93 | 2,73 | 1,96 | 2,86 | 21,9 | 8,52 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 30 | 7,50 | <0,1 | 11,9 | 39,1 | 58,1 | 7,95 | 4,35 | 2,82 | 7,70 | 28,8 | 7,30 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 70 | 6,17 | 0,84 | 17,7 | 51,0 | 42,1 | 7,52 | 4,90 | 1,32 | 3,10 | 27,5 | 8,90 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 85 | 10,6 | 0,48 | 15,9 | 41,5 | 73,1 | 7,73 | 3,38 | 1,20 | 3,64 | 31,7 | 14,4 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 20 | 13,6 | <0,1 | 16,3 | 50,8 | 36,8 | 7,63 | 5,05 | 2,47 | 2,13 | 33,6 | 11,9 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 185 | 1,63 | 0,17 | 3,94 | 11,4 | 40,1 | 7,57 | 1,86 | 1,87 | 3,15 | 14,7 | 3,07 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 120 | 3,18 | 0,63 | 11,2 | 29,0 | 17,3 | 7,44 | 3,20 | 1,68 | 1,97 | 20,0 | 5,90 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 95 | 8,42 | 2,17 | 20,4 | 74,7 | 72,6 | 7,65 | 4,59 | 3,54 | 3,18 | 39,9 | 13,2 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 60 | 18,5 | <0,1 | 13,2 | 51,3 | 37,0 | 7,52 | 4,04 | 2,58 | 1,51 | 32,6 | 9,44 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 40 | 13,0 | 2,40 | 10,8 | 86,3 | 64,8 | 7,45 | 0,66 | 4,95 | 6,03 | 43,8 | 17,3 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 60 | 10,9 | 2,10 | 9,52 | 82,5 | 119 | 7,55 | 0,62 | 4,80 | 5,08 | 46,6 | 21,8 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 5 | 34,0 | 1,80 | 30,8 | 220 | 85,4 | 7,22 | 22,4 | 13,9 | 11,00 | 63,6 | 32,8 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 45 | 9,42 | 2,40 | 11,3 | 73,2 | 19,9 | 7,70 | 2,54 | 3,06 | 2,74 | 31,6 | 14,6 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 130 | 11,2 | 1,27 | 11,4 | 58,9 | 69,2 | 7,50 | 2,57 | 3,58 | 3,21 | 31,5 | 18,8 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 30 | 16,4 | 1,53 | 6,81 | 85,1 | 88,0 | 7,55 | 2,49 | 7,41 | 1,74 | 44,1 | 17,5 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 300 | 5,39 | 0,72 | 3,41 | 29,9 | 25,2 | 7,26 | 2,04 | 2,23 | 0,87 | 14,5 | 4,03 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 390 | 7,20 | 1,08 | 4,84 | 37,7 | 45,3 | 7,58 | 1,84 | 3,83 | 1,21 | 21,4 | 8,65 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 80 | 7,26 | 0,72 | 4,28 | 33,6 | 82,3 | 7,91 | 2,78 | 3,43 | 1,25 | 26,6 | 11,4 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)**Referenzsammler Polycarbonat (geschlossen)**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 250 | 18,6 | 0,32 | 7,14 | 65,9 | 5,03 | 6,30 | 6,89 | 10,7 | 0,85 | 21,6 | 3,32 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 210 | 4,75 | 0,25 | 3,90 | 28,6 | 11,0 | 6,80 | 1,88 | 2,74 | 0,49 | 14,3 | 1,78 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 590 | 4,60 | 0,40 | 2,80 | 31,3 | 23,8 | 7,29 | 2,11 | 2,16 | 0,44 | 17,4 | 3,20 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 1320 | 3,56 | 0,33 | 2,48 | 22,9 | 30,8 | 7,13 | 1,53 | 1,81 | 0,39 | 16,0 | 3,05 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 470 | 5,31 | <0,1 | 2,16 | 24,6 | 40,1 | 7,49 | 2,03 | 2,23 | 0,40 | 17,7 | 4,14 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 10 | 63,0 | <0,1 | 23,2 | 243 | 65,5 | 7,49 | 1,80 | 10,6 | 5,74 | 82,1 | 52,2 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 60 | 12,6 | 1,54 | 22,4 | 151 | 71,4 | 7,75 | 6,54 | 4,90 | 3,34 | 74,0 | 16,8 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 110 | 7,40 | 5,00 | 6,41 | 74,5 | 88,7 | 7,73 | 8,65 | 2,73 | 2,75 | 37,8 | 15,1 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 80 | 5,92 | 0,94 | 9,28 | 60,8 | 64,0 | 7,84 | 4,08 | 2,42 | 1,40 | 34,8 | 10,6 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 220 | 7,40 | 1,03 | 7,61 | 52,3 | 33,3 | 9,68 | 0,45 | 3,42 | 1,60 | 30,1 | 4,91 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 80 | 10,8 | 3,50 | 10,7 | 71,3 | 65,9 | 7,52 | 4,00 | 5,16 | 2,38 | 36,6 | 12,1 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 50 | 12,0 | 0,87 | 4,29 | 83,4 | 58,9 | 9,33 | 0,30 | 5,34 | 1,78 | 39,3 | 13,7 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 890 | 1,33 | 0,34 | 3,90 | 24,9 | 23,3 | 7,06 | 2,42 | 0,87 | 1,03 | 11,7 | 3,02 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 320 | 1,83 | 0,31 | 3,80 | 23,1 | 23,3 | 7,92 | 2,35 | 0,99 | 1,64 | 14,3 | 7,65 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 310 | 4,80 | 0,30 | 4,00 | 16,6 | 45,0 | 7,15 | 2,16 | 1,09 | 1,62 | 14,9 | 5,81 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 760 | 1,48 | 0,29 | 3,40 | 11,5 | 20,3 | 7,29 | 1,69 | 0,67 | 1,06 | 8,04 | 2,39 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 310 | 3,45 | 0,37 | 4,32 | 14,0 | 49,8 | 7,85 | 1,15 | 1,08 | 1,75 | 12,8 | 5,15 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 290 | 4,05 | 0,42 | 3,95 | 13,1 | 44,5 | 7,91 | 3,39 | 0,91 | 1,40 | 12,9 | 4,48 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 140 | 0,64 | 0,51 | 10,0 | 35,7 | 47,3 | 7,55 | 3,98 | 1,33 | 1,44 | 24,4 | 4,45 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 30 | 12,0 | 1,95 | 16,7 | 54,3 | 75,8 | 8,07 | 12,00 | 3,74 | 7,53 | 26,6 | 12,4 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 25 | 14,2 | 2,28 | 4,56 | 39,6 | 121 | 8,30 | 9,90 | 4,04 | 10,6 | 33,5 | 12,0 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 580 | 2,18 | 0,31 | 5,81 | 20,7 | 28,6 | 7,24 | 2,15 | 0,78 | 1,54 | 15,9 | 3,77 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 55 | 10,0 | 1,15 | 11,6 | 38,9 | 57,1 | 7,58 | 3,38 | 1,15 | 3,54 | 26,3 | 11,8 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 38 | 49,7 | <0,1 | 16,8 | 48,4 | 7,90 | 6,74 | 6,78 | 1,90 | 3,08 | 38,4 | 12,5 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 190 | 3,42 | 0,27 | 5,09 | 19,1 | 36,6 | 7,49 | 1,41 | 0,65 | 0,48 | 17,9 | 4,91 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 630 | 2,17 | 0,45 | 10,0 | 22,4 | 14,4 | 7,14 | 3,94 | 0,78 | 0,61 | 17,7 | 2,86 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 40 | 12,2 | 0,84 | 11,2 | 37,2 | 66,3 | 7,86 | 3,09 | 3,06 | 2,02 | 37,8 | 11,1 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 960 | 4,38 | <0,1 | <0,2 | 15,8 | 74,0 | 7,15 | 0,03 | 2,93 | 11,7 | 20,8 | 5,28 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 120 | 6,46 | 0,52 | 1,83 | 39,6 | 81,9 | 7,85 | 0,01 | 3,39 | 1,33 | 30,8 | 10,5 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 5 | 44,8 | 4,20 | 31,6 | 291 | 130 | 7,53 | <0,002 | 17,7 | 13,6 | 99,3 | 54,3 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 590 | 4,36 | 0,17 | 1,36 | 19,2 | 60,2 | 7,58 | 0,29 | 1,78 | 9,68 | 17,7 | 3,36 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 35 | 6,63 | 0,66 | 2,61 | 44,0 | 94,6 | 7,83 | 11,2 | 2,95 | 4,65 | 21,7 | 11,5 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 10 | 26,3 | 1,70 | 18,7 | 220 | 96,1 | 7,28 | 3,30 | 12,2 | 6,40 | 78,4 | 34,7 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 45 | 17,5 | 2,84 | 10,0 | 91,7 | 80,0 | 7,91 | 2,00 | 9,34 | 2,76 | 57,2 | 23,8 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 120 | 9,20 | <0,1 | 7,50 | 86,0 | 40,9 | 7,10 | 1,41 | 4,19 | 1,18 | 39,7 | 9,96 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 50 | 10,7 | 0,68 | 3,20 | 47,8 | 52,4 | 6,90 | 1,14 | 3,94 | 1,07 | 29,8 | 9,90 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 270 | 6,31 | 0,52 | 2,38 | 33,6 | 53,1 | 7,86 | 1,68 | 2,62 | 1,04 | 20,5 | 7,36 |

**Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)
Ihrlersteiner Grünsandstein (unbehandelt)**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 20 | 5,55 | <0,1 | 3,65 | 17,3 | 13,5 | 6,96 | 0,60 | 4,64 | 1,36 | 13,0 | 1,50 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 20 | 8,75 | <0,1 | 4,40 | 34,0 | 45,6 | 7,64 | 0,95 | 3,10 | 0,63 | 29,8 | 3,77 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 40 | 12,0 | <0,1 | 3,63 | 36,4 | 25,8 | 7,44 | 0,87 | 6,21 | 0,58 | 23,5 | 2,48 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 290 | 7,64 | 0,32 | 4,36 | 215 | 49,5 | 7,50 | 0,89 | 3,84 | 1,04 | 85,5 | 8,34 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 30 | 16,7 | 1,10 | 8,60 | 298 | 68,7 | 7,93 | 1,15 | 10,1 | 1,63 | 119 | 22,1 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 370 | 3,41 | 0,36 | 1,73 | 27,0 | 54,5 | 8,12 | 0,93 | 1,99 | 0,41 | 24,3 | 4,97 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 50 | 9,90 | 0,66 | 3,30 | 460 | 69,3 | 7,92 | 1,20 | 6,96 | 1,34 | 191 | 22,4 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 70 | 3,20 | 0,54 | 10,0 | 30,3 | 27,5 | 7,39 | 1,94 | 1,71 | 0,90 | 25,8 | 2,20 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 180 | 4,21 | 0,90 | 8,80 | 34,5 | 41,9 | 7,64 | 2,04 | 1,60 | 1,88 | 26,4 | 3,99 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 190 | 2,85 | <0,1 | 3,84 | 20,9 | 41,8 | 7,42 | 0,79 | 1,68 | 0,80 | 19,8 | 2,10 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 220 | 3,32 | <0,1 | 3,22 | 21,9 | 52,2 | 7,21 | 1,73 | 1,94 | 2,50 | 20,3 | 3,41 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 310 | 1,70 | 0,21 | 2,70 | 38,3 | 56,8 | 7,79 | 0,65 | 1,13 | 0,97 | 30,6 | 4,13 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 30 | 18,7 | 0,90 | 9,00 | 356 | 86,0 | 7,62 | 1,75 | 5,46 | 4,58 | 140 | 28,2 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 590 | 1,45 | <0,1 | 2,32 | 34,5 | 29,3 | 7,92 | 1,63 | 1,00 | 1,93 | 23,6 | 5,15 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 60 | 5,82 | 0,60 | 4,46 | 566 | 38,9 | 7,79 | 6,48 | 5,12 | 2,82 | 196 | 25,8 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 250 | 3,27 | 0,44 | 3,10 | 51,3 | 54,8 | 7,57 | 2,61 | 1,23 | 1,57 | 30,1 | 4,32 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 15 | 51,0 | 2,60 | 12,7 | 453 | 253 | 8,51 | 29,2 | 10,6 | 55,2 | 175 | 49,8 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 490 | 1,55 | 0,49 | 3,37 | 27,5 | 55,6 | 7,59 | 1,03 | 0,82 | 1,78 | 20,4 | 4,31 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 110 | 3,25 | <0,1 | 2,35 | 386 | 58,0 | 7,03 | 3,41 | 1,89 | 1,95 | 178 | 11,5 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 20 | 5,00 | <0,1 | 4,30 | 19,9 | 42,7 | 7,66 | 2,85 | 2,19 | 1,42 | 22,4 | 2,21 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 100 | 5,01 | 0,40 | 9,20 | 32,0 | 39,8 | 7,68 | 1,56 | 1,16 | 1,67 | 24,0 | 2,81 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 11 | 2,43 | <0,1 | 0,72 | 2,86 | 0,50 | 6,56 | 0,06 | 0,42 | 0,23 | 3,34 | 0,43 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 200 | 7,62 | 0,26 | 7,01 | 36,7 | 47,9 | 7,59 | 2,40 | 1,20 | 2,29 | 26,0 | 6,65 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 915 | 0,90 | 0,18 | 3,35 | 207 | 44,8 | 7,72 | 1,42 | 0,68 | 0,79 | 101 | 3,04 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 140 | 4,02 | 0,32 | 6,68 | 413 | 40,7 | 7,61 | 1,61 | 1,45 | 2,38 | 207 | 10,3 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 120 | 7,51 | 0,29 | 13,2 | 38,2 | 38,6 | 7,53 | 4,16 | 1,59 | 1,44 | 27,1 | 5,81 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 10 | 7,90 | <0,1 | <0,2 | 14,0 | 79,7 | 7,73 | 0,20 | 6,65 | 4,09 | 30,6 | 5,43 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 190 | 3,73 | 0,26 | 2,00 | 24,5 | 48,5 | 7,23 | 0,40 | 1,93 | 0,47 | 19,2 | 3,56 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 5 | 23,8 | 0,20 | 1,60 | 140 | 82,6 | 7,91 | 0,20 | 9,14 | 8,52 | 58,6 | 22,8 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 220 | 3,40 | 0,96 | 3,22 | 39,2 | 39,5 | 7,75 | 0,53 | 1,43 | 1,65 | 21,3 | 5,99 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 33 | 25,0 | 1,41 | 20,8 | 334 | 67,6 | 7,46 | 1,74 | 12,1 | 3,21 | 137 | 30,3 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 50 | 15,9 | 3,86 | 11,0 | 167 | 27,3 | 7,80 | 0,58 | 7,18 | 3,98 | 71,0 | 19,6 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 350 | 5,31 | 1,03 | 2,81 | 42,1 | 41,4 | 7,63 | 0,90 | 2,61 | 0,91 | 25,4 | 5,78 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 15 | 21,4 | 2,17 | 11,7 | 727 | 83,0 | 7,26 | 0,98 | 14,1 | 6,10 | 274 | 48,0 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)
Ihrlersteiner Grünsandstein (Schutzmittel 219)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 120 | 23,2 | 0,43 | 6,54 | 68,2 | 26,2 | 7,36 | 3,57 | 12,7 | 1,03 | 35,1 | 3,34 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 170 | 4,80 | 0,64 | 4,00 | 57,4 | 39,2 | 7,67 | 1,62 | 2,16 | 0,96 | 36,9 | 2,55 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 100 | 29,0 | 0,83 | 9,18 | 140 | 48,1 | 7,60 | 1,65 | 15,5 | 2,02 | 72,8 | 6,56 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 15 | 20,0 | <0,1 | <0,2 | 155 | 81,3 | 7,86 | 0,80 | 9,82 | 2,12 | 92,9 | 7,53 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 70 | 12,1 | 0,90 | 5,36 | 110 | 58,6 | 7,83 | 2,38 | 5,42 | 1,31 | 58,2 | 8,42 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 980 | 3,65 | 0,51 | 2,71 | 38,7 | 37,9 | 7,40 | 2,12 | 2,00 | 0,80 | 26,5 | 2,21 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 1390 | 6,20 | 0,80 | 3,70 | 56,3 | 47,7 | 7,32 | 1,71 | 3,03 | 0,86 | 34,8 | 4,17 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 730 | 38,1 | 4,20 | 20,7 | 366 | 330 | 8,44 | 13,2 | 19,4 | 7,21 | 235 | 23,2 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 15 | 16,4 | <0,1 | 17,0 | 199 | 94,4 | 7,98 | 5,60 | 8,09 | 5,10 | 95,9 | 22,4 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 210 | 3,80 | 1,11 | 9,10 | 64,8 | 48,9 | 7,50 | 5,37 | 1,60 | 1,45 | 37,3 | 4,87 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 210 | 7,51 | 1,54 | 15,0 | 115 | 75,7 | 7,70 | 4,87 | 3,00 | 1,88 | 60,2 | 12,0 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 470 | 4,50 | 1,00 | 8,03 | 74,5 | 52,2 | 7,72 | 3,65 | 1,77 | 1,66 | 42,5 | 5,65 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 580 | 3,94 | 0,67 | 5,87 | 45,0 | 55,6 | 7,36 | 3,93 | 2,41 | 1,34 | 30,4 | 3,42 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 130 | 13,1 | 1,95 | 14,0 | 104 | 101 | 7,68 | 4,98 | 6,07 | 2,92 | 58,5 | 13,8 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 190 | 5,97 | 1,52 | 6,04 | 71,7 | 67,0 | 7,66 | 4,28 | 2,61 | 1,74 | 43,6 | 5,84 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 30 | 7,50 | 1,85 | 11,2 | 151 | 140 | 7,63 | 2,80 | 4,76 | 5,04 | 73,5 | 24,3 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 1000 | 0,98 | 0,31 | 3,35 | 20,4 | 38,3 | 7,41 | 1,30 | 0,71 | 0,95 | 17,7 | 2,57 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 680 | 1,26 | 0,39 | 4,26 | 29,7 | 47,1 | 7,48 | 1,07 | 0,84 | 1,31 | 19,9 | 5,51 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 320 | 1,88 | 0,49 | 4,67 | 34,6 | 62,8 | 7,38 | 1,67 | 1,01 | 1,11 | 25,6 | 6,09 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 40 | 38,7 | <0,1 | <0,2 | 86,4 | 239 | 8,34 | 64,1 | 3,78 | 10,4 | 39,0 | 13,9 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 1150 | 1,32 | 0,36 | 4,18 | 17,4 | 36,7 | 7,57 | 1,79 | 0,57 | 1,26 | 16,1 | 1,89 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 860 | 1,63 | <0,1 | 4,81 | 16,5 | 38,0 | 7,81 | 0,71 | 0,78 | 1,49 | 14,5 | 3,61 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 400 | 2,50 | <0,1 | 4,75 | 20,5 | 43,1 | 7,82 | 1,22 | 0,81 | 0,88 | 18,3 | 3,94 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 10 | 12,0 | <0,1 | 16,7 | 85,5 | 111 | 8,23 | 1,95 | 6,50 | 3,33 | 44,6 | 23,3 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 310 | 2,52 | 0,34 | 6,42 | 25,2 | 34,7 | 7,66 | 1,15 | 0,66 | 1,12 | 18,8 | 2,11 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 140 | 4,83 | 0,55 | 16,7 | 54,0 | 38,2 | 7,58 | 1,85 | 1,13 | 2,08 | 37,8 | 5,02 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 25 | 8,70 | <0,1 | 16,9 | 78,0 | 42,1 | 7,81 | 1,20 | 2,90 | 2,06 | 50,5 | 6,96 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 430 | 2,10 | 0,32 | 8,79 | 28,1 | 40,0 | 7,48 | 2,80 | 0,63 | 1,70 | 23,0 | 2,74 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 220 | 3,48 | 0,41 | 11,6 | 42,2 | 41,1 | 7,52 | 3,04 | 0,94 | 2,07 | 26,7 | 5,09 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 60 | 6,11 | 0,30 | 13,2 | 68,3 | 46,4 | 7,58 | 3,31 | 1,11 | 1,84 | 40,2 | 7,19 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 410 | 1,12 | 0,24 | 2,92 | 11,6 | 60,0 | 7,57 | 1,76 | 0,30 | 0,35 | 18,8 | 2,79 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 500 | 1,94 | 0,29 | 8,41 | 21,3 | 45,5 | 7,41 | 3,48 | 0,50 | 0,69 | 18,6 | 1,91 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 310 | 3,09 | 0,25 | 5,91 | 24,5 | 12,2 | 7,62 | 2,61 | 0,79 | 0,81 | 19,7 | 2,34 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 75 | 4,45 | 0,72 | 12,0 | 52,2 | 68,5 | 7,76 | 3,02 | 1,58 | 2,39 | 45,5 | 6,49 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 520 | 2,86 | 0,34 | 2,34 | 32,0 | 44,2 | 7,11 | 1,26 | 1,67 | 1,99 | 23,7 | 2,95 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 450 | 4,39 | 0,24 | 2,04 | 25,9 | 43,3 | 7,02 | 0,91 | 1,38 | 1,80 | 19,4 | 3,36 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 35 | 12,7 | 0,36 | 2,85 | 118 | 113 | 8,00 | 0,24 | 5,51 | 2,66 | 63,0 | 14,8 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 265 | 2,61 | 0,73 | 4,14 | 61,1 | 44,9 | 7,66 | 2,84 | 1,93 | 3,10 | 34,4 | 4,44 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 20 | 9,20 | 0,95 | 6,80 | 108 | 34,8 | 7,99 | 2,95 | 4,83 | 3,55 | 50,0 | 16,0 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 4 | 22,3 | 0,25 | 2,00 | 274 | 143 | 8,24 | <0,002 | 14,1 | 24,5 | 117 | 35,5 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 45 | 13,4 | 1,06 | 5,72 | 87,0 | 88,3 | 8,46 | 2,96 | 5,60 | 1,79 | 46,2 | 15,7 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 860 | 4,50 | 0,63 | 2,48 | 43,1 | 45,1 | 7,76 | 2,17 | 2,26 | 0,88 | 29,1 | 2,62 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 530 | 8,42 | 0,56 | 2,49 | 51,2 | 38,5 | 8,04 | 1,75 | 3,73 | 0,95 | 30,6 | 7,02 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 280 | 6,28 | 0,65 | 2,83 | 65,6 | 60,6 | 7,89 | 1,51 | 2,73 | 1,05 | 35,2 | 7,19 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)
Ihrlersteiner Grünsandstein (Schutzmittel 288)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 15 | 42,0 | <0,1 | 12,0 | 166 | 84,1 | 8,01 | 3,40 | 25,5 | 2,07 | 94,7 | 8,79 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 80 | 10,4 | 1,02 | 6,00 | 131 | 48,8 | 7,69 | 2,84 | 4,62 | 1,24 | 67,6 | 5,86 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 760 | 2,97 | 0,42 | 1,70 | 31,4 | 44,6 | 7,49 | 1,01 | 1,72 | 0,55 | 23,5 | 3,40 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 90 | 6,92 | 0,66 | 2,40 | 54,5 | 64,0 | 7,82 | 1,26 | 3,58 | 0,86 | 34,2 | 8,42 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 15 | 48,1 | <0,1 | 28,5 | 422 | 62,9 | 7,67 | 7,20 | 10,4 | 2,78 | 189 | 27,0 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 10 | 44,0 | <0,1 | 32,3 | 385 | 44,5 | 7,28 | 3,90 | 11,2 | 3,55 | 163 | 33,0 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 70 | 9,40 | 1,72 | 9,94 | 119 | 78,6 | 7,33 | 4,12 | 3,34 | 4,82 | 60,2 | 13,6 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 15 | 26,1 | <0,1 | 22,4 | 314 | 125,8 | 7,63 | 5,50 | 22,2 | 6,78 | 148 | 24,9 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 120 | 7,43 | 3,35 | 2,50 | 63,8 | 77,1 | 7,76 | 1,56 | 2,60 | 1,64 | 37,4 | 9,68 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 130 | 5,23 | 0,55 | 8,97 | 62,2 | 52,2 | 7,56 | 2,03 | 1,35 | 1,17 | 41,6 | 5,73 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 720 | 2,78 | 0,70 | 3,65 | 38,7 | 56,6 | 7,31 | 3,34 | 1,43 | 1,77 | 24,3 | 5,68 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 180 | 6,30 | 0,29 | 2,13 | 51,9 | 73,0 | 7,70 | 5,57 | 1,73 | 2,20 | 30,2 | 7,87 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 860 | 3,93 | 2,90 | 3,19 | 42,5 | 77,4 | 7,70 | 8,58 | 1,40 | 12,3 | 28,0 | 3,08 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 640 | 2,90 | 0,28 | 1,26 | 22,8 | 59,8 | 7,52 | 7,40 | 0,94 | 2,14 | 16,8 | 3,82 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 300 | 2,90 | 0,24 | 3,50 | 24,0 | 49,8 | 7,49 | 2,54 | 0,98 | 1,05 | 20,1 | 3,52 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 30 | 12,2 | 4,70 | 9,60 | 83,5 | 93,0 | 7,95 | 17,5 | 3,87 | 5,18 | 54,5 | 5,40 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 10 | 17,9 | <0,1 | 22,5 | 366 | 9,45 | 8,00 | 3,60 | 6,81 | 4,89 | 73,2 | 17,7 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 10 | 30,0 | <0,1 | 22,2 | 314 | 0,50 | 7,89 | 3,45 | 7,92 | 4,83 | 68,4 | 14,3 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 380 | 2,34 | 0,27 | 6,03 | 25,2 | 49,3 | 7,55 | 1,17 | 0,90 | 1,45 | 26,4 | 2,38 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 80 | 5,69 | 0,52 | 10,4 | 43,9 | 56,7 | 7,74 | 1,70 | 2,14 | 4,78 | 32,4 | 9,78 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 23 | 24,8 | <0,1 | 19,0 | 72,4 | 42,9 | 7,63 | 4,38 | 3,25 | 3,43 | 50,9 | 11,1 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 60 | 8,72 | <0,1 | 5,36 | 22,2 | 67,5 | 7,46 | 1,14 | 0,46 | 0,30 | 20,8 | 4,48 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 360 | 2,23 | 0,13 | 4,74 | 16,8 | 35,2 | 7,44 | 1,40 | 0,38 | 0,55 | 18,3 | 1,14 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 105 | 7,63 | 0,72 | 11,8 | 74,1 | 50,4 | 7,59 | 2,99 | 5,55 | 9,80 | 48,1 | 8,63 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 35 | 6,27 | 0,30 | 5,52 | 20,6 | 49,1 | 7,80 | 2,79 | 1,75 | 2,28 | 28,0 | 5,82 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 15 | 8,33 | 9,87 | 12,7 | 87,9 | 80,9 | 7,45 | 4,55 | 5,22 | 3,53 | 64,1 | 9,52 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 370 | 2,72 | 0,17 | 0,95 | 24,3 | 44,8 | 7,11 | 0,32 | 1,55 | 0,85 | 21,1 | 3,41 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 5 | 14,2 | 2,20 | 28,0 | 213 | 151 | 7,73 | <0,002 | 9,88 | 4,12 | 131 | 20,6 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 90 | 2,98 | 0,40 | 2,40 | 28,3 | 18,5 | 7,67 | 0,08 | 1,65 | 4,45 | 18,6 | 4,97 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 6 | 54,9 | 3,75 | 60,9 | 577 | 99,6 | 7,39 | 2,85 | 18,3 | 4,19 | 182 | 42,3 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 385 | 8,37 | 0,78 | 10,9 | 96,8 | 58,2 | 7,56 | 1,52 | 3,49 | 1,32 | 61,2 | 3,86 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 800 | 5,00 | 0,47 | 3,30 | 38,1 | 42,2 | 7,63 | 0,96 | 2,26 | 0,95 | 26,9 | 3,52 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 180 | 12,8 | 1,30 | 11,2 | 101 | 60,5 | 7,96 | 1,59 | 3,71 | 1,14 | 56,4 | 8,51 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)
Sander Sandstein (unbehandelt)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 80 | 3,40 | <0,1 | 2,86 | 14,3 | <1 | 5,51 | 0,74 | 1,82 | 0,38 | 7,14 | 1,30 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 950 | 2,74 | 0,32 | 1,94 | 23,7 | 24,1 | 7,31 | 0,80 | 1,59 | 0,34 | 15,8 | 1,54 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 30 | 17,7 | <0,1 | 8,50 | 202 | 119 | 8,12 | 1,05 | 10,3 | 1,93 | 84,0 | 31,1 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 440 | 2,95 | 0,40 | 2,02 | 20,0 | 30,1 | 7,43 | 1,07 | 1,58 | 0,29 | 15,4 | 2,38 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 230 | 4,22 | 1,10 | 9,05 | 42,1 | 39,5 | 7,59 | 2,79 | 1,96 | 2,30 | 27,8 | 4,92 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 540 | 2,65 | 0,31 | 3,94 | 19,9 | 27,2 | 7,25 | 1,09 | 1,60 | 0,93 | 13,6 | 2,01 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 120 | 3,56 | 0,48 | 2,44 | 22,3 | 35,2 | 7,53 | 1,31 | 1,73 | 0,95 | 16,5 | 2,78 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 1070 | 0,91 | 0,20 | 2,50 | 14,2 | 18,2 | 6,81 | 0,99 | 0,69 | 0,66 | 9,24 | 2,33 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 70 | 5,14 | 0,64 | 1,26 | 60,4 | 146 | 7,79 | 5,46 | 2,10 | 4,92 | 27,0 | 25,2 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 150 | 1,76 | 0,45 | 3,04 | 47,5 | 39,4 | 7,30 | 1,87 | 1,33 | 1,39 | 23,7 | 7,21 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 990 | 1,43 | 0,26 | 3,30 | 10,1 | 18,1 | 6,78 | 1,25 | 0,60 | 1,18 | 7,28 | 1,82 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 180 | 4,34 | 0,65 | 2,11 | 31,4 | 80,2 | 7,77 | 1,60 | 1,12 | 4,03 | 19,3 | 10,6 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 430 | 2,13 | 0,35 | 3,50 | 15,7 | 27,6 | 7,35 | 1,20 | 0,74 | 1,04 | 11,1 | 3,36 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 140 | 2,73 | 0,28 | 4,90 | 18,2 | 29,8 | 7,59 | 1,35 | 0,70 | 1,02 | 16,8 | 1,45 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 150 | 4,73 | 0,46 | 7,77 | 25,2 | 38,7 | 7,72 | 1,42 | 0,96 | 1,66 | 23,2 | 2,66 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 310 | 3,13 | 0,23 | 4,77 | 17,1 | 20,0 | 7,13 | 1,44 | 0,85 | 1,37 | 13,3 | 2,63 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 13 | 22,3 | <0,1 | 15,2 | 88,3 | 52,1 | 8,02 | 4,29 | 4,59 | 5,59 | 37,2 | 27,8 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 110 | 6,91 | 0,17 | 6,05 | 23,1 | 18,9 | 7,20 | 0,95 | 1,02 | 1,86 | 16,0 | 3,92 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 330 | 1,83 | 0,14 | 3,57 | 67,1 | 39,7 | 7,68 | 1,69 | 0,64 | 0,92 | 46,2 | 4,20 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 390 | 2,60 | 0,45 | 9,12 | 19,8 | 24,4 | 7,35 | 2,65 | 1,17 | 0,77 | 14,8 | 2,62 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 120 | 3,57 | 0,66 | 6,53 | 20,9 | 28,9 | 7,49 | 1,68 | 1,36 | 1,33 | 14,5 | 4,38 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 140 | 4,82 | 0,57 | 2,37 | 26,4 | 36,8 | 7,48 | 0,18 | 1,25 | 1,90 | 15,7 | 3,43 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 25 | 3,52 | <0,1 | 2,16 | 41,0 | 31,1 | 7,88 | <0,002 | 2,10 | 2,46 | 27,0 | 12,6 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 5 | 12,6 | <0,1 | 0,10 | 122 | 187 | 8,32 | 4,80 | 11,0 | 7,26 | 62,8 | 36,6 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 85 | 7,19 | 1,12 | 4,47 | 68,8 | 43,2 | 7,68 | 0,48 | 2,01 | 3,76 | 36,0 | 6,73 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 10 | 16,1 | 5,20 | 11,0 | 199 | 70,8 | 8,39 | 0,10 | 13,3 | 29,2 | 49,5 | 65,0 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 50 | 17,9 | 2,54 | 9,42 | 286 | 104 | 8,03 | 1,88 | 7,74 | 5,76 | 119 | 33,4 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 950 | 3,06 | 0,47 | 1,93 | 48,4 | 20,1 | 7,57 | 1,02 | 1,98 | 0,64 | 24,1 | 3,14 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 120 | 5,31 | 2,38 | 2,85 | 63,3 | 62,9 | 7,98 | 0,94 | 3,16 | 2,01 | 28,5 | 14,3 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 40 | 12,4 | 4,32 | 7,89 | 244 | 32,0 | 8,17 | 1,47 | 7,68 | 5,28 | 102 | 35,1 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)
Sander Sandstein (Schutzmittel 219)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 20 | 32,2 | <0,1 | 11,6 | 126 | 69,1 | 7,80 | 28,5 | 19,9 | 9,05 | 47,9 | 8,20 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 170 | 3,91 | 0,70 | 3,23 | 61,8 | 29,9 | 7,47 | 1,53 | 3,25 | 1,99 | 30,4 | 4,92 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 100 | 11,4 | 0,98 | 7,16 | 101 | 22,8 | 7,40 | 4,23 | 6,71 | 2,13 | 39,2 | 9,33 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 40 | 7,95 | 0,69 | 5,58 | 64,2 | 17,4 | 7,37 | 3,27 | 3,99 | 1,47 | 27,6 | 6,24 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 1170 | 3,38 | 0,56 | 2,78 | 38,6 | 25,1 | 7,14 | 2,93 | 2,36 | 1,31 | 19,1 | 3,27 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 540 | 5,96 | 0,54 | 3,70 | 54,1 | 52,8 | 7,89 | 3,09 | 3,13 | 0,94 | 27,4 | 7,29 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 880 | 3,55 | 0,32 | 2,20 | 35,5 | 23,1 | 7,22 | 4,20 | 2,04 | 0,68 | 13,9 | 3,96 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 80 | 4,80 | 0,62 | 5,12 | 65,2 | 48,0 | 7,68 | 5,88 | 2,74 | 2,98 | 33,8 | 8,46 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 140 | 6,50 | 1,06 | 13,6 | 103 | 56,1 | 7,96 | 9,20 | 3,48 | 2,33 | 49,0 | 13,5 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 160 | 3,81 | 0,58 | 6,10 | 52,3 | 40,5 | 7,62 | 6,49 | 1,80 | 4,85 | 19,5 | 5,30 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 20 | 12,8 | <0,1 | <0,2 | 116 | 102 | 7,96 | 7,84 | 7,39 | 10,3 | 52,7 | 15,2 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 140 | 8,93 | 0,65 | 6,30 | 53,4 | 46,4 | 7,89 | 6,66 | 5,54 | 1,68 | 26,5 | 5,81 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 150 | 7,20 | 0,97 | 8,96 | 64,5 | 58,0 | 7,56 | 6,99 | 3,44 | 1,64 | 30,7 | 8,35 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 200 | 4,90 | 0,94 | 5,40 | 54,8 | 43,9 | 7,59 | 6,79 | 2,64 | 1,40 | 23,4 | 6,16 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 70 | 1,68 | 0,38 | 2,20 | 19,3 | 22,9 | 7,33 | 1,28 | 1,19 | 1,40 | 15,8 | 4,28 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 240 | 1,54 | 0,40 | 3,73 | 24,5 | 14,7 | 7,47 | 1,56 | 0,89 | 1,01 | 14,7 | 5,43 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 410 | 1,78 | 0,34 | 5,07 | 33,8 | 38,9 | 7,65 | 2,49 | 0,85 | 1,32 | 17,7 | 6,68 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 510 | 1,36 | 0,37 | 3,25 | 23,2 | 37,6 | 7,47 | 3,58 | 0,72 | 1,04 | 13,0 | 4,92 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 30 | 14,1 | 2,45 | 19,5 | 175 | 94,8 | 7,88 | 5,70 | 5,48 | 8,24 | 67,5 | 27,0 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 140 | 3,66 | 0,33 | 8,88 | 34,7 | 32,7 | 7,30 | 2,61 | 1,30 | 2,03 | 16,9 | 6,23 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 500 | 2,73 | 0,73 | 5,37 | 26,2 | 38,7 | 7,25 | 3,79 | 1,12 | 1,87 | 14,4 | 5,14 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 540 | 2,29 | <0,1 | 4,35 | 13,6 | 27,5 | 7,08 | 4,71 | 0,86 | 1,13 | 8,15 | 2,64 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 10 | 11,6 | <0,1 | 11,6 | 66,9 | 141 | 8,38 | 9,90 | 6,02 | 4,97 | 40,2 | 20,4 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 30 | 7,25 | <0,1 | 15,0 | 63,1 | 29,9 | 7,37 | 2,50 | 2,81 | 1,92 | 28,3 | 8,30 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 100 | 5,03 | 0,77 | 8,48 | 52,5 | 59,9 | 7,69 | 10,2 | 1,53 | 2,25 | 26,3 | 7,60 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 70 | 4,44 | 0,40 | 14,8 | 46,6 | 26,9 | 7,59 | 5,50 | 1,74 | 1,70 | 21,2 | 5,36 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 70 | 3,49 | 0,23 | 13,0 | 38,7 | 23,5 | 7,33 | 3,36 | 1,18 | 1,60 | 21,8 | 4,66 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 125 | 9,60 | 0,10 | 9,04 | 41,6 | 30,1 | 7,35 | 2,70 | 1,40 | 1,86 | 29,8 | 7,92 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 110 | 14,4 | <0,1 | 13,0 | 33,8 | 20,9 | 7,13 | 5,89 | 1,31 | 2,00 | 21,5 | 6,39 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 580 | 2,39 | 0,27 | 8,65 | 19,0 | 24,2 | 7,41 | 2,75 | 0,94 | 0,81 | 14,9 | 2,77 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 130 | 5,18 | 0,14 | 10,7 | 24,7 | 23,3 | 7,28 | 3,51 | 1,64 | 1,28 | 17,7 | 3,33 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 40 | 10,0 | 0,48 | 10,3 | 40,6 | 52,5 | 7,60 | 8,64 | 2,77 | 2,70 | 27,2 | 6,66 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 330 | 2,93 | 0,23 | 6,48 | 18,7 | 23,4 | 7,20 | 3,59 | 1,00 | 0,80 | 11,1 | 2,70 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 790 | 5,30 | <0,1 | <0,2 | 23,4 | 85,9 | 8,04 | 0,28 | 1,35 | 19,0 | 18,0 | 5,06 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 950 | 4,02 | 0,14 | 1,12 | 15,7 | 52,8 | 7,25 | 0,37 | 1,76 | 2,55 | 14,9 | 3,70 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 1020 | 5,14 | <0,1 | <0,2 | 16,8 | 79,5 | 7,05 | <0,00 | 2,03 | 9,92 | 19,2 | 4,58 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 980 | 5,26 | <0,1 | <0,2 | 15,6 | 78,8 | 7,14 | 0,03 | 1,39 | 10,4 | 19,6 | 4,76 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 340 | 10,9 | <0,1 | <0,2 | 33,7 | 92,0 | 7,47 | 0,05 | 4,13 | 22,5 | 26,1 | 6,15 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 540 | 9,15 | <0,1 | <0,2 | 42,6 | 110 | 7,48 | 0,18 | 2,39 | 36,2 | 26,7 | 6,08 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 580 | 8,45 | <0,1 | <0,2 | 43,9 | 88,2 | 7,25 | 0,01 | 3,20 | 5,40 | 31,6 | 9,06 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 530 | 6,31 | <0,1 | 0,24 | 20,4 | 78,9 | 7,38 | 0,23 | 1,36 | 11,4 | 23,5 | 4,14 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 55 | 12,7 | 1,38 | 6,84 | 73,4 | 65,1 | 8,26 | 2,22 | 5,44 | 2,04 | 35,8 | 15,3 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 180 | 4,55 | 0,48 | 4,32 | 47,3 | 27,5 | 7,48 | 3,87 | 1,91 | 1,07 | 20,4 | 4,34 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 290 | 11,0 | 0,70 | 4,88 | 84,8 | 54,5 | 8,10 | 3,04 | 5,30 | 1,70 | 35,4 | 12,0 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 590 | 4,82 | 0,40 | 2,81 | 31,5 | 35,7 | 7,74 | 4,91 | 2,10 | 0,72 | 16,5 | 5,52 |

Ablaufwasserdaten Duisburg (schutzmittelbehandelte Prüfkörper)
Sander Sandstein (Schutzmittel 288)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | O | 110 | 6,50 | 0,26 | 2,90 | 23,8 | 2,24 | 6,41 | 0,73 | 3,58 | 0,49 | 11,3 | 1,35 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | S | 120 | 16,9 | 0,32 | 5,90 | 49,3 | 5,74 | 6,73 | 5,94 | 9,34 | 1,62 | 14,2 | 3,35 |
| 17.12.1996 | 27.01.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | O | 890 | 1,94 | 0,26 | 1,52 | 18,3 | 17,5 | 7,20 | 1,22 | 1,20 | 0,50 | 10,9 | 1,56 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | S | 510 | 3,30 | 0,40 | 1,73 | 44,0 | 35,5 | 7,88 | 1,86 | 1,94 | 0,92 | 21,8 | 5,64 |
| 27.01.1997 | 03.03.1997 | W | 360 | 3,47 | 0,47 | 1,89 | 55,7 | 45,1 | 7,80 | 0,81 | 2,66 | 1,37 | 30,4 | 6,35 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | O | 60 | 9,60 | 0,46 | 18,0 | 42,1 | 32,1 | 7,47 | 3,26 | 2,40 | 2,06 | 39,2 | 5,16 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | S | 40 | 5,13 | 0,84 | 4,71 | 68,4 | 37,4 | 7,59 | 3,63 | 3,00 | 1,43 | 28,5 | 10,7 |
| 03.03.1997 | 01.04.1997 | W | 20 | 17,7 | 2,00 | 12,8 | 236 | 135 | 8,17 | 0,56 | 7,14 | 15,3 | 89,6 | 40,3 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | O | 200 | 2,87 | 0,30 | 4,01 | 22,0 | 27,8 | 7,51 | 1,12 | 1,57 | 1,02 | 15,3 | 2,40 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | S | 80 | 2,58 | <0,1 | <0,2 | 25,5 | 72,4 | 7,22 | 12,1 | 2,22 | 2,78 | 11,7 | 6,06 |
| 01.04.1997 | 29.04.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | O | 440 | 0,99 | 0,28 | 2,64 | 22,5 | 21,9 | 7,11 | 1,13 | 0,83 | 0,88 | 12,3 | 3,58 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | S | 500 | 1,04 | 0,19 | 2,58 | 29,0 | 24,7 | 7,37 | 1,87 | 1,25 | 1,10 | 12,2 | 4,97 |
| 29.04.1997 | 02.06.1997 | W | 220 | 16,6 | 2,03 | 6,01 | 192 | 77,1 | 7,46 | 4,44 | 3,95 | 2,37 | 86,4 | 26,2 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | O | 410 | 10,6 | <0,1 | 3,36 | 16,5 | 7,51 | 6,47 | 1,86 | 0,67 | 1,24 | 9,69 | 3,03 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | S | 450 | 1,25 | 0,25 | 2,90 | 15,7 | 24,4 | 7,30 | 1,68 | 0,87 | 0,93 | 7,79 | 3,98 |
| 02.06.1997 | 07.07.1997 | W | 330 | 3,25 | 0,37 | 3,90 | 36,6 | 37,8 | 7,59 | 1,18 | 1,34 | 1,50 | 18,3 | 7,10 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | O | 130 | 3,12 | 0,62 | 7,16 | 27,9 | 38,0 | 7,67 | 1,56 | 0,86 | 1,18 | 22,3 | 2,51 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | S | 30 | 2,65 | <0,1 | 5,50 | 21,2 | 28,5 | 7,67 | 2,40 | 1,89 | 1,38 | 13,2 | 5,35 |
| 07.07.1997 | 28.07.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | O | 170 | 3,84 | 0,23 | 3,85 | 19,8 | 20,8 | 7,25 | 1,12 | 0,66 | 1,01 | 15,2 | 3,10 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | S | 100 | 29,8 | 0,14 | 1,29 | 14,6 | 23,1 | 7,17 | 12,0 | 2,30 | 5,41 | 10,2 | 4,76 |
| 28.07.1997 | 28.08.1997 | W | 23 | 18,5 | <0,1 | 9,48 | 46,4 | 41,9 | 7,56 | 2,70 | 2,74 | 2,27 | 26,8 | 11,6 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | N | 440 | 0,74 | <0,1 | 10,4 | 27,0 | 13,0 | 6,75 | 0,03 | 0,60 | 0,64 | 18,1 | 2,68 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | O | 160 | 0,99 | <0,1 | 8,67 | 17,1 | 6,19 | 6,60 | 0,01 | 0,69 | 0,60 | 10,3 | 1,97 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | S | 60 | 1,97 | 0,54 | 13,1 | 15,9 | 9,21 | 6,74 | 0,09 | 3,30 | 5,50 | 13,5 | 4,97 |
| 28.08.1997 | 02.10.1997 | W | 125 | 1,18 | <0,1 | 10,9 | 34,0 | 25,7 | 7,12 | 0,04 | 0,82 | 0,68 | 19,1 | 5,27 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | O | 10 | 9,00 | <0,1 | <0,2 | 70,1 | 58,1 | 7,76 | 0,80 | 7,20 | 3,71 | 27,8 | 10,7 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | S | 970 | 4,93 | <0,1 | <0,2 | 17,5 | 67,9 | 7,11 | 0,21 | 2,13 | 7,61 | 17,0 | 4,09 |
| 02.10.1997 | 31.10.1997 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | N | 370 | 6,40 | <0,1 | <0,2 | 26,9 | 75,1 | 7,54 | 0,02 | 2,08 | 18,90 | 21,2 | 4,62 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | O | 5 | 19,6 | 114 | 7,60 | 119 | 102 | 7,91 | 17,00 | 9,26 | 4,60 | 52,0 | 20,4 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | S | 540 | 10,1 | <0,1 | <0,2 | 38,1 | 114 | 7,30 | 0,03 | 4,65 | 6,98 | 33,7 | 10,7 |
| 31.10.1997 | 02.12.1997 | W | 20 | 9,20 | 1,40 | 5,25 | 36,4 | 59,1 | 7,82 | 2,40 | 3,33 | 3,01 | 17,0 | 9,95 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | N | 25 | 30,0 | 1,84 | 41,9 | 339 | 63,4 | 7,73 | 2,92 | 11,0 | 2,66 | 194 | 46,8 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | S | 570 | 2,79 | 0,48 | 2,01 | 32,0 | 10,6 | 7,30 | 2,63 | 2,04 | 0,88 | 14,7 | 5,40 |
| 02.12.1997 | 08.01.1998 | W | 45 | 11,5 | 1,04 | 6,64 | 238 | 29,3 | 7,67 | 1,32 | 6,42 | 3,02 | 100 | 20,8 |

A 4: Ablaufwasserdaten Holzkirchen

Referenzsammler Polycarbonat

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | N | 220 | 2,44 | 0,45 | 9,00 | 13,0 | 2,14 | 6,06 | 6,53 | 1,70 | 0,26 | 1,86 | <0,02 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | O | 57 | 3,80 | 0,24 | 10,1 | 15,4 | 6,70 | 6,36 | 9,96 | 3,21 | 0,35 | 2,21 | 0,23 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | S | 520 | 0,35 | 0,48 | 2,31 | 1,42 | 0,50 | 5,06 | 0,10 | 0,45 | 0,14 | 1,02 | <0,02 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | W | 690 | <0,1 | <0,1 | 0,69 | 0,61 | 1,82 | 6,06 | 0,51 | 0,48 | <0,1 | 0,56 | <0,02 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | N | 80 | 2,97 | <0,1 | 2,26 | 2,53 | <1 | 4,60 | 1,39 | 0,66 | 0,16 | 0,43 | 0,22 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | O | 30 | 5,35 | 0,34 | 9,80 | 9,70 | <1 | 3,80 | 3,43 | 0,91 | 0,17 | 2,27 | 0,24 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | S | 280 | 1,19 | <0,1 | 1,29 | 3,20 | <1 | 5,03 | 0,95 | 0,39 | <0,1 | 0,98 | <0,02 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | W | 500 | 0,93 | <0,1 | 2,69 | 1,46 | 1,71 | 6,31 | 1,13 | 0,42 | 0,10 | 0,89 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 01.02.1994 | S | 987 | 0,79 | <0,1 | 0,94 | <0,2 | 3,37 | 6,14 | 0,34 | 0,84 | <0,1 | 0,62 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | N | 200 | 4,62 | <0,1 | 6,13 | 5,13 | 4,36 | 6,25 | 3,05 | 2,61 | 0,16 | 3,16 | 0,29 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | O | 16 | 36,1 | <0,1 | 22,4 | 17,8 | 12,0 | 6,0 | 0,10 | 7,95 | 0,44 | 7,92 | 0,97 |
| 01.02.1994 | 16.02.1994 | S | 29 | 7,87 | <0,1 | 9,67 | 8,05 | 27,5 | 7,43 | 2,72 | 2,83 | 0,10 | 4,19 | 0,50 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | W | 348 | 3,50 | <0,1 | 2,66 | 2,15 | <1 | 5,00 | 0,20 | 1,97 | 0,16 | 1,66 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | N | 15 | 23,9 | <0,1 | 9,17 | 9,17 | 4,20 | 5,20 | 2,90 | 5,19 | 1,14 | 9,44 | 0,64 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | S | 135 | 3,07 | <0,1 | 2,59 | 2,53 | <1 | 5,41 | 1,29 | 0,80 | 0,59 | 1,24 | 0,01 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | W | 70 | 2,56 | <0,1 | 0,97 | 0,82 | 6,01 | 6,45 | 0,66 | 0,39 | 0,14 | 2,43 | 0,25 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | N | 145 | 3,86 | <0,1 | 5,51 | 3,84 | 7,45 | 6,77 | 3,29 | 0,84 | 0,33 | 3,78 | 0,58 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | S | 980 | 1,43 | <0,1 | 1,77 | 1,06 | 5,54 | 6,58 | 2,03 | 0,34 | 0,14 | 0,92 | <0,02 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | W | 1060 | 0,78 | <0,1 | 1,47 | 0,77 | <1 | 6,12 | 0,79 | 0,27 | <0,1 | 0,94 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | S | 1054 | 0,54 | <0,1 | 1,17 | 1,01 | <1 | 5,08 | 0,44 | 0,10 | <0,1 | 0,87 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | W | 812 | 0,58 | <0,1 | 2,68 | 1,66 | <1 | 4,52 | 0,75 | <0,1 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | S | 59 | 10,4 | <0,1 | 2,58 | 5,85 | 46,7 | 7,92 | 18,0 | 3,08 | 1,74 | 1,32 | 0,35 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | W | 28 | 8,58 | <0,1 | 7,78 | 4,69 | <1 | 4,50 | 4,98 | 0,48 | 0,20 | 2,11 | 0,37 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | N | 245 | 1,52 | <0,1 | 2,58 | 2,18 | <1 | 5,95 | 1,09 | 0,65 | 0,13 | 1,82 | 0,22 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | O | 31 | 17,4 | <0,1 | 1,87 | 3,50 | 89,0 | 8,00 | 29,7 | 5,68 | 2,40 | 1,28 | 0,48 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | N | 118 | 11,1 | <0,1 | 1,41 | 3,80 | 5,0 | 6,10 | 0,79 | 0,79 | 0,76 | 3,82 | 0,59 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | S | 705 | 1,40 | <0,1 | 0,70 | 1,11 | <1 | 5,45 | 0,52 | 0,51 | 0,15 | 0,84 | <0,02 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | W | 395 | 1,24 | <0,1 | 1,65 | 2,24 | 8,58 | 6,34 | 4,43 | 0,38 | 0,35 | 1,20 | 0,23 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | N | 195 | 5,62 | <0,1 | <0,2 | 7,40 | 109 | 7,52 | 42,7 | 2,21 | 4,15 | 3,08 | 0,79 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | O | 80 | 4,36 | <0,1 | 8,75 | 5,90 | 5,63 | 6,20 | 6,90 | 0,53 | 1,10 | 3,56 | 0,68 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | S | 410 | 1,98 | <0,1 | 1,41 | 4,42 | 36,8 | 7,05 | 14,4 | 0,79 | 1,24 | 1,73 | 0,38 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | W | 230 | 1,18 | 0,46 | 2,44 | 3,22 | 37,0 | 7,14 | 6,53 | 0,47 | 0,69 | 1,35 | 0,24 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | N | 450 | 1,41 | <0,1 | 4,26 | 3,08 | 5,06 | 6,61 | 3,13 | 0,12 | 0,82 | 1,37 | 0,21 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | O | 235 | 1,90 | <0,1 | 5,49 | 3,26 | 2,15 | 5,70 | 2,60 | 0,16 | 0,49 | 1,59 | 0,29 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | S | 330 | 1,89 | 10,6 | 4,93 | 3,51 | 6,20 | 6,40 | 6,96 | 1,02 | 2,12 | 1,01 | <0,02 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | W | 1010 | 0,21 | <0,1 | 2,52 | 2,21 | 3,81 | 6,28 | 2,02 | 0,12 | 0,22 | 0,65 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | N | 150 | 6,08 | <0,1 | 1,57 | 2,42 | 34,7 | 7,36 | 12,2 | 0,86 | 1,38 | 2,32 | 0,56 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | O | 48 | 6,56 | <0,1 | 6,58 | 1,96 | 5,78 | 6,30 | 7,71 | 0,36 | 0,90 | 2,82 | 0,77 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | S | 245 | 5,45 | <0,1 | <0,2 | 3,35 | 74,1 | 8,34 | 3,48 | 1,85 | 3,69 | 1,46 | 0,57 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | W | 605 | 0,75 | <0,1 | 1,98 | 1,46 | 1,90 | 6,09 | 1,31 | 0,23 | 0,31 | 0,81 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | N | 82 | 3,23 | <0,1 | 3,22 | 2,79 | <1 | 4,88 | 1,69 | 0,25 | 0,30 | 2,20 | 0,30 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | O | 60 | 6,40 | <0,1 | 5,52 | 4,04 | 13,8 | 6,71 | 9,15 | 0,39 | 0,63 | 2,45 | 0,56 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | S | 370 | 2,21 | <0,1 | 0,36 | 3,36 | 63,4 | 9,28 | 24,0 | 0,65 | 2,14 | 1,00 | 0,46 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | W | 575 | 0,59 | <0,1 | 3,03 | 2,09 | 3,42 | 6,19 | 2,05 | 0,16 | 0,24 | 0,78 | <0,02 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen Referenzsammler Polycarbonat (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | N | 13 | 6,38 | <0,1 | 5,79 | 5,82 | 1,10 | 5,00 | 0,80 | 0,98 | 0,56 | 4,42 | 0,66 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | S | 148 | 5,88 | 0,14 | 0,73 | 4,92 | 37,4 | 7,42 | 14,3 | 0,57 | 1,81 | 0,96 | 0,35 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | W | 130 | 2,04 | <0,1 | <0,2 | 5,24 | 83,3 | 7,74 | 23,5 | 0,67 | 2,43 | 0,60 | 0,28 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | N | 37 | 3,64 | <0,1 | 4,01 | 4,76 | 0,50 | 4,75 | 0,68 | 0,47 | 0,44 | 3,28 | 0,47 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | O | 39 | 4,22 | <0,1 | 5,21 | 7,73 | 0,50 | 4,99 | 3,46 | 0,40 | 0,36 | 3,01 | 0,52 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | S | 200 | 1,23 | <0,1 | 2,44 | 2,25 | 2,70 | 6,38 | 2,39 | 0,19 | 0,31 | 0,58 | 0,11 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | W | 77 | 1,77 | <0,1 | 1,86 | 2,17 | 6,96 | 6,72 | 2,80 | 0,20 | 0,44 | 1,12 | 0,20 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | N | 43 | 2,41 | <0,1 | 3,99 | 4,12 | 0,50 | 4,64 | 1,55 | 0,52 | 0,20 | 1,89 | 0,28 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | O | 27 | 4,29 | <0,1 | 8,59 | 7,22 | 0,50 | 4,86 | 3,52 | 0,81 | 0,28 | 5,22 | 0,76 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | S | 147 | 1,67 | <0,1 | 2,87 | 2,88 | 6,53 | 6,77 | 4,29 | 0,47 | 0,51 | 0,68 | 0,17 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | W | 125 | 1,28 | <0,1 | 3,67 | 3,07 | 0,50 | 4,98 | 1,91 | 0,39 | 0,12 | 0,91 | 0,12 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | N | 24 | 3,19 | <0,1 | 5,16 | 6,97 | 72,6 | 7,45 | 2,98 | 1,47 | 0,51 | 4,41 | 0,82 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | O | 70 | 2,46 | <0,1 | 3,31 | 3,84 | 0,50 | 5,07 | 2,09 | 1,16 | 0,22 | 1,12 | 0,32 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | S | 280 | 1,56 | <0,1 | 2,11 | 2,37 | 0,50 | 5,00 | 1,48 | 0,72 | 0,13 | 0,75 | 0,12 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | W | 250 | 1,07 | <0,1 | 1,72 | 1,78 | 0,50 | 4,87 | 0,81 | 0,60 | 0,14 | 0,71 | 0,08 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | N | 80 | 1,92 | <0,1 | 3,05 | 3,02 | 32,9 | 7,70 | 0,91 | 0,96 | 0,22 | 13,9 | 0,25 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | O | 50 | 5,78 | <0,1 | 5,95 | 6,51 | 16,8 | 6,63 | 3,44 | 2,09 | 0,21 | 9,66 | 0,45 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | S | 210 | 1,70 | <0,1 | 3,98 | 2,33 | 7,95 | 6,63 | 1,80 | 0,79 | 0,14 | 2,95 | 0,19 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | W | 120 | 1,30 | <0,1 | 1,45 | 1,11 | 15,1 | 7,13 | 0,81 | 0,61 | 0,14 | 9,56 | 0,13 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | N | 35,5 | 3,80 | <0,1 | 8,09 | 7,87 | 18,3 | 7,11 | 2,63 | 1,27 | 0,41 | 16,3 | 0,39 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | O | 67,5 | 3,47 | <0,1 | 3,72 | 3,40 | 2,17 | 5,73 | 1,74 | 1,15 | 0,26 | 2,72 | 0,26 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | S | 90 | 3,61 | <0,1 | 5,94 | 5,30 | 4,64 | 6,63 | 3,85 | 0,89 | 0,20 | 3,17 | 0,30 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | W | 190 | 1,11 | <0,1 | <0,2 | 0,62 | 7,00 | 6,32 | 0,08 | 0,62 | 0,12 | 3,04 | 0,11 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | N | 1100 | 0,65 | <0,1 | 3,54 | 2,77 | 5,19 | 6,80 | 2,53 | 0,46 | 0,17 | 1,56 | 0,13 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | O | 70 | 4,03 | <0,1 | 7,31 | 4,68 | 10,2 | 6,88 | 6,13 | 1,23 | 0,26 | 4,80 | 0,52 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | S | 140 | 1,70 | <0,1 | 5,20 | 3,40 | 7,82 | 6,88 | 2,03 | 0,77 | 0,16 | 3,91 | 0,40 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | W | 720 | 1,12 | <0,1 | 5,39 | 3,39 | 7,60 | 6,91 | 3,56 | 0,84 | 0,23 | 1,87 | 0,21 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | N | 1155 | 0,29 | 0,43 | 2,52 | 2,92 | 2,77 | 6,24 | 2,01 | 0,26 | 0,29 | 0,90 | 0,11 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | O | 108 | 0,46 | <0,1 | 0,32 | 7,75 | 90,3 | 8,61 | 45,1 | 1,88 | 5,29 | 2,86 | 0,66 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | S | 102 | 2,36 | 2,22 | 1,60 | 7,02 | 98,3 | 7,24 | 19,0 | 0,98 | 2,63 | 2,86 | 0,66 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | W | 1150 | 0,25 | <0,1 | 3,08 | 2,90 | 1,47 | 5,41 | 0,65 | 0,40 | 0,24 | 0,75 | 0,10 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | N | 1165 | 0,26 | <0,1 | 3,40 | 2,62 | 0,50 | 5,04 | 1,82 | 0,32 | 0,26 | 0,43 | 0,07 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | O | 210 | 2,36 | 0,30 | 4,70 | 5,42 | 42,6 | 7,34 | 13,7 | 0,82 | 2,63 | 1,59 | 0,48 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | S | 740 | 0,50 | <0,1 | 1,71 | 2,08 | 0,50 | 4,70 | 0,79 | 0,64 | 0,35 | 0,44 | 0,09 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | W | 1150 | 0,21 | <0,1 | 1,91 | 2,12 | 0,50 | 5,23 | 1,27 | 0,74 | 0,17 | 0,30 | 0,05 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | N | 820 | 1,16 | <0,1 | 3,53 | 3,03 | 0,50 | 5,30 | 2,06 | 0,34 | 0,37 | 0,99 | 0,16 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | O | 1015 | 0,82 | <0,1 | 3,60 | 1,73 | 14,8 | 6,90 | 4,84 | 0,38 | 0,56 | 0,90 | 0,18 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | S | 300 | 1,47 | <0,1 | 4,82 | 3,21 | 3,91 | 6,22 | 3,88 | 0,51 | 0,58 | 1,31 | 0,25 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | W | 2030 | 0,59 | <0,1 | 2,58 | 2,10 | 0,50 | 5,27 | 1,50 | 0,32 | 0,14 | 0,45 | 0,06 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | N | 320 | 1,35 | <0,1 | 5,40 | 2,40 | 4,49 | 6,01 | <0,002 | 0,49 | 0,20 | 0,93 | 0,23 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | O | 340 | 0,98 | <0,1 | 4,06 | 2,40 | 16,7 | 6,95 | 7,37 | 0,53 | 0,70 | 0,71 | 0,24 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | S | 580 | 1,05 | <0,1 | 3,70 | 2,12 | 3,92 | 5,90 | 2,73 | 0,50 | 0,22 | 0,58 | 0,15 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | W | 1580 | 1,06 | <0,1 | 2,70 | 1,12 | 0,50 | 5,53 | 1,38 | 0,39 | <0,1 | 0,28 | 0,07 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | N | 85 | 2,96 | <0,1 | 3,70 | 1,93 | 0,50 | 6,11 | 1,82 | 0,50 | 0,20 | 1,16 | 0,21 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | O | 65 | 1,90 | <0,1 | 7,13 | 3,70 | 0,50 | 4,94 | 7,25 | 0,89 | 0,39 | 1,31 | 0,38 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | S | 305 | 1,75 | <0,1 | 3,56 | 1,41 | 0,50 | 5,10 | 2,78 | 0,43 | <0,1 | 0,62 | 0,17 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | W | 675 | 0,75 | <0,1 | 6,30 | 1,34 | 4,07 | 6,41 | 1,52 | 0,40 | <0,1 | 0,41 | 0,07 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen Referenzsammler Polycarbonat (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | N | 95 | 2,52 | <0,1 | 3,21 | 2,50 | <1 | 5,92 | 0,79 | 0,54 | 0,16 | 2,96 | 0,36 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | O | 112 | 3,33 | <0,1 | 5,90 | 5,80 | 3,23 | 5,93 | 6,92 | 0,92 | 0,24 | 1,13 | 0,26 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | S | 650 | 1,17 | <0,1 | 3,31 | 2,20 | <1 | 5,38 | 1,90 | 0,57 | <0,1 | 0,77 | 0,10 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | W | 1095 | 0,38 | <0,1 | 1,30 | 0,67 | <1 | 5,38 | 0,90 | 0,24 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | N | 70 | 2,00 | <0,1 | 1,41 | 2,70 | <1 | 5,35 | 0,86 | 0,74 | <0,1 | 1,30 | 0,18 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | O | 175 | 2,90 | <0,1 | 4,80 | 6,62 | <1 | 5,75 | 4,76 | 1,64 | 0,14 | 0,76 | 0,15 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | S | 910 | 0,34 | <0,1 | 0,91 | 0,94 | <1 | 5,75 | 0,93 | 0,41 | <0,1 | 0,24 | 0,03 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | W | 1122 | 0,36 | <0,1 | 0,82 | 0,71 | <1 | 5,19 | 0,42 | 0,36 | <0,1 | 0,23 | 0,02 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | O | 45 | 6,64 | <0,1 | 10,5 | 18,5 | <1 | 4,91 | 6,51 | 3,41 | 0,36 | 3,91 | 0,49 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | S | 355 | 0,97 | <0,1 | 2,54 | 2,10 | <1 | 5,59 | 1,23 | 0,63 | <0,1 | 0,73 | 0,05 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | W | 165 | 4,24 | <0,1 | 10,3 | 8,10 | <1 | 4,63 | 4,51 | 2,61 | <0,1 | 2,24 | 0,26 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | N | 130 | 7,30 | <0,1 | 8,60 | 6,95 | <1 | 4,52 | 4,35 | 2,91 | 0,59 | 3,76 | 0,43 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | O | 27 | 7,10 | <0,1 | 40,0 | 25,3 | <1 | 5,76 | 22,6 | 7,38 | 0,71 | 5,22 | 0,64 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | S | 110 | 9,75 | <0,1 | 6,05 | 5,42 | <1 | 4,22 | 4,91 | 2,98 | 0,36 | 2,17 | 0,24 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | N | 70 | 7,38 | <0,1 | 10,9 | 12,1 | 4,74 | 6,19 | 6,26 | 3,33 | 1,56 | 5,35 | 0,48 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | O | 120 | 1,84 | <0,1 | 7,28 | 6,56 | <1 | 6,05 | 5,45 | 1,02 | 0,16 | 1,65 | 0,31 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | S | 38 | 6,66 | <0,1 | 10,6 | 18,8 | 68,7 | 7,31 | 35,3 | 2,81 | 1,79 | 1,77 | 0,47 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | W | 1200 | 0,81 | <0,1 | 4,80 | 3,84 | 3,20 | 6,23 | 3,26 | 0,72 | 0,11 | 0,91 | 0,10 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | N | 340 | 0,63 | <0,1 | 6,56 | 4,25 | <1 | 3,90 | 1,97 | 0,43 | 0,12 | 0,81 | 0,09 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | O | 60 | 5,00 | <0,1 | 15,4 | 11,9 | <1 | 4,95 | 11,5 | 0,85 | 0,41 | 3,19 | 0,68 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | S | 72 | 3,85 | <0,1 | 14,4 | 8,83 | 11,5 | 6,19 | 12,8 | 0,88 | 0,71 | 2,59 | 0,42 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | W | 730 | 0,67 | <0,1 | 4,70 | 2,84 | <1 | 5,82 | 2,74 | 0,39 | 0,18 | 1,07 | 0,11 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | N | 135 | 1,57 | <0,1 | 6,34 | 5,44 | <1 | 4,58 | 2,98 | 0,33 | 0,28 | 1,88 | 0,28 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | O | 90 | 3,34 | <0,1 | 9,43 | 5,60 | <1 | 5,26 | 5,67 | 0,34 | 0,25 | 2,69 | 0,25 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | S | 63 | 1,10 | <0,1 | 1,23 | 0,80 | <1 | 4,57 | 0,76 | 0,33 | 0,22 | 0,32 | 0,22 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | W | 1475 | 0,55 | <0,1 | 2,18 | 2,27 | <1 | 4,73 | 1,25 | 0,33 | <0,1 | 0,33 | 0,04 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | N | 220 | 1,52 | <0,1 | 5,08 | 3,65 | 8,56 | 6,51 | 3,42 | 0,31 | 0,60 | 2,81 | 0,38 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | O | 305 | 1,40 | 0,42 | 3,93 | 3,54 | 9,93 | 6,64 | 6,59 | 0,37 | 0,28 | 0,80 | 0,22 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | S | 395 | 1,61 | <0,1 | 3,74 | 2,40 | 3,67 | 6,07 | 3,26 | 0,27 | <0,1 | 1,09 | 0,21 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | W | 445 | 1,53 | <0,1 | 3,84 | 2,90 | 4,58 | 6,63 | 3,44 | 0,29 | 0,41 | 1,10 | 0,18 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | N | 200 | 1,82 | <0,1 | 2,90 | 3,14 | 10,7 | 6,68 | 4,23 | 0,34 | 1,52 | 1,87 | 0,35 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | O | 95 | 8,80 | 2,56 | 1,55 | 4,78 | 44,6 | 6,97 | 19,6 | 0,81 | 3,02 | 2,07 | 0,62 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | S | 545 | 2,20 | 0,10 | 3,14 | 2,63 | 6,66 | 6,72 | 6,57 | 0,46 | 0,93 | 1,16 | 0,24 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | W | 695 | 1,73 | <0,1 | 2,28 | 1,84 | <1 | 5,84 | 1,78 | 0,25 | 0,35 | 1,08 | 0,15 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | N | 185 | 2,78 | <0,1 | 3,34 | 2,55 | 2,49 | 6,01 | 1,95 | 0,36 | 0,54 | 1,31 | 0,21 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | O | 275 | 2,52 | 0,10 | 4,96 | 4,24 | 19,0 | 6,89 | 8,89 | 0,56 | 1,52 | 1,44 | 0,38 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | S | 600 | 1,32 | 0,22 | 1,70 | 2,53 | 23,7 | 6,91 | 8,64 | 0,29 | 1,42 | 0,65 | 0,22 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | W | 1290 | 1,09 | <0,1 | 2,38 | 1,81 | 5,60 | 6,45 | 2,14 | 0,32 | 0,35 | 0,44 | 0,10 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | N | 17 | 19,5 | 0,10 | <0,2 | 5,43 | <1 | 3,49 | 1,98 | 1,82 | 0,70 | 4,45 | 0,37 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | O | 240 | 2,52 | <0,1 | 1,34 | 4,41 | 36,7 | 7,17 | 10,4 | 0,71 | 1,86 | 1,12 | 0,31 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | S | 170 | 1,90 | <0,1 | 3,29 | 2,39 | <1 | 5,78 | 2,46 | 0,49 | 0,26 | 0,70 | 0,20 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | W | 565 | 1,53 | <0,1 | 2,18 | 1,45 | <1 | 5,47 | 1,40 | 0,58 | 0,23 | 0,36 | 0,09 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | O | 30 | 12,2 | <0,1 | 7,16 | 5,71 | <1 | 3,24 | 1,93 | 0,85 | 0,15 | 3,51 | 0,55 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | S | 320 | 3,99 | <0,1 | 0,44 | 2,50 | 25,3 | 6,72 | 9,40 | 0,76 | 1,96 | 0,59 | 0,25 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | W | 590 | 1,34 | <0,1 | 3,60 | 2,53 | <1 | 4,25 | 1,96 | 0,18 | <0,1 | 0,31 | 0,07 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | N | 10 | 14,5 | <0,1 | 5,09 | 8,27 | <1 | 3,84 | 0,80 | 2,90 | 0,47 | 6,72 | 0,68 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | O | 50 | 5,26 | <0,1 | 2,50 | 2,68 | <1 | 4,23 | 1,52 | 1,12 | 0,19 | 2,24 | 0,35 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | S | 350 | 1,08 | <0,1 | 2,08 | 1,10 | <1 | 5,69 | 1,00 | 0,48 | 0,14 | 0,59 | 0,11 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | W | 170 | 1,57 | <0,1 | 1,41 | 1,27 | 1,39 | 5,69 | 0,95 | 0,65 | <0,1 | 0,67 | 0,13 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | O | 30 | 12,9 | <0,1 | 6,65 | 10,9 | <1 | 4,27 | 4,10 | 5,59 | 0,59 | 6,85 | 0,80 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | S | 80 | 4,02 | <0,1 | 1,62 | 3,44 | <1 | 4,16 | 1,48 | 1,41 | 0,24 | 0,86 | 0,17 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | W | 130 | 3,50 | <0,1 | 2,06 | 3,55 | <1 | 4,62 | 1,67 | 0,77 | 0,16 | 1,61 | 0,20 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen Ihrlersteiner Grünsandstein

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | N | 250 | 1,67 | <0,1 | 6,36 | 15,2 | 29,4 | 6,94 | 2,28 | 1,29 | 0,36 | 11,4 | 2,31 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | O | 35 | 11,5 | 0,48 | 54,2 | 61,2 | 50,7 | 7,15 | 1,80 | 5,15 | 1,08 | 30,4 | 17,4 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | S | 1015 | 0,53 | <0,1 | 2,15 | 5,92 | 43,9 | 7,44 | 0,46 | 0,51 | 0,27 | 13,4 | 3,03 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | W | 1020 | 0,59 | <0,1 | 2,41 | 4,29 | 44,2 | 7,37 | 0,35 | 0,43 | 0,13 | 15,1 | 1,97 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | N | 75 | 1,31 | <0,1 | 1,99 | 6,21 | 46,1 | 7,40 | 0,65 | 0,56 | 0,21 | 14,5 | 2,01 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | S | 430 | 1,00 | <0,1 | 2,59 | 6,36 | 49,0 | 7,50 | 0,47 | 0,46 | 0,22 | 14,3 | 3,11 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | W | 905 | 0,58 | <0,1 | 1,60 | 2,64 | 47,4 | 8,46 | 0,24 | 0,30 | 0,10 | 13,5 | 1,72 |
| 18.01.1994 | 01.02.1994 | S | 800 | 1,65 | <0,1 | 2,57 | 7,64 | 39,7 | 7,95 | 0,29 | 1,20 | 0,14 | 13,5 | 2,31 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | N | 263 | 1,78 | <0,1 | 2,22 | 8,43 | 12,2 | 8,05 | 0,29 | 0,84 | 0,16 | 16,5 | 2,57 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.02.1994 | 16.02.1994 | S | 115 | 2,12 | 0,76 | 3,64 | 10,4 | 54,1 | 7,81 | 0,83 | 1,22 | 0,48 | 20,0 | 3,35 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | W | 252 | 1,17 | <0,1 | 2,50 | 3,87 | 44,5 | 8,03 | 0,25 | 0,67 | 0,10 | 16,2 | 1,61 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | N | 40 | 3,08 | <0,1 | 6,48 | 16,8 | 67,0 | 7,60 | 0,46 | 3,32 | 0,28 | 23,0 | 3,93 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | S | 265 | 1,54 | <0,1 | 5,39 | 12,6 | 47,4 | 7,80 | 0,29 | 1,43 | 0,19 | 16,1 | 3,35 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | W | 100 | 0,68 | <0,1 | 1,65 | 3,01 | 61,8 | 7,92 | 0,13 | 0,83 | 0,10 | 19,4 | 1,33 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | N | 574 | 0,79 | <0,1 | 1,96 | 2,71 | 49,3 | 7,15 | 0,72 | 0,41 | 0,27 | 11,6 | 2,35 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | O | 24 | 49,0 | <0,1 | 161 | 364 | 139 | 8,00 | 3,95 | 16,00 | 1,70 | 128 | 78,8 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | S | 1040 | 1,18 | <0,1 | 3,17 | 4,67 | 50,3 | 7,49 | 1,01 | 0,55 | 0,44 | 12,8 | 2,35 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | W | 565 | 1,09 | <0,1 | 2,75 | 2,67 | 43,4 | 6,82 | 0,99 | 0,32 | 0,24 | 11,9 | 1,39 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | N | 828 | 0,61 | <0,1 | 2,05 | 1,81 | 37,2 | 7,71 | 0,45 | 0,21 | 0,35 | 8,57 | 2,41 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | S | 1050 | 0,35 | <0,1 | 1,81 | 3,43 | 34,0 | 7,17 | 0,30 | 0,29 | 0,14 | 12,1 | 1,42 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | N | 140 | 3,76 | <0,1 | 9,10 | 9,66 | 21,4 | 9,55 | 1,41 | 0,60 | 0,47 | 17,7 | 3,54 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | S | 181 | 1,75 | <0,1 | 6,34 | 7,90 | 41,4 | 7,77 | 0,40 | 0,36 | 0,39 | 13,1 | 3,04 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | O | 15 | 39,4 | 2,81 | 3,56 | 61,9 | 394 | 8,00 | 103 | 7,36 | 10,10 | 30,3 | 14,2 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | W | 560 | 0,75 | <0,1 | 3,86 | 2,93 | 36,6 | 7,61 | 0,53 | 0,30 | 0,15 | 11,8 | 1,26 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | N | 1015 | 0,73 | <0,1 | 2,70 | 3,55 | 41,8 | 7,66 | 0,31 | 0,61 | 0,33 | 10,7 | 2,94 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | O | 100 | 19,1 | <0,1 | 72,4 | 128 | 169 | 8,01 | 3,08 | 8,76 | 1,47 | 75,5 | 34,0 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | S | 340 | 1,24 | <0,1 | 3,47 | 5,12 | 50,4 | 7,71 | 2,54 | 0,51 | 0,55 | 14,0 | 3,76 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | W | 1020 | 0,71 | <0,1 | 2,26 | 1,85 | 35,9 | 7,66 | 0,54 | 0,34 | 0,19 | 13,4 | 1,59 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | N | 518 | 1,35 | <0,1 | 3,55 | 4,45 | 28,6 | 7,31 | 0,97 | 0,49 | 0,46 | 8,78 | 2,19 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | O | 78 | 4,84 | <0,1 | 2,14 | 24,7 | 122 | 7,75 | 13,7 | 3,20 | 2,80 | 22,5 | 12,9 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | S | 987 | 0,71 | <0,1 | 3,40 | 3,50 | 32,4 | 7,22 | 1,11 | 0,44 | 0,46 | 11,8 | 2,82 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | W | 1015 | 0,51 | <0,1 | 2,64 | 2,30 | 26,2 | 7,29 | 0,85 | 0,33 | 0,23 | 9,46 | 1,07 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | N | 230 | 1,27 | <0,1 | 3,70 | 2,85 | 23,0 | 7,23 | 2,77 | 0,32 | 0,40 | 7,23 | 1,34 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | O | 330 | 6,31 | 1,70 | 12,4 | 11,2 | 99,8 | 8,05 | 3,29 | 1,29 | 1,68 | 27,8 | 7,46 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | S | 540 | 1,13 | <0,1 | 3,77 | 3,16 | 41,9 | 7,58 | 4,09 | 0,29 | 0,62 | 11,5 | 2,33 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | W | 1025 | 0,36 | <0,1 | 2,60 | 2,00 | 20,1 | 7,19 | 2,02 | 0,18 | 0,20 | 7,59 | 0,81 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | N | 810 | 0,61 | <0,1 | 2,05 | 1,81 | 37,2 | 7,71 | 0,45 | 0,21 | 0,35 | 8,57 | 2,41 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | O | 75 | 3,28 | <0,1 | 4,33 | 8,88 | 94,9 | 7,99 | 1,49 | 1,69 | 1,37 | 21,0 | 8,07 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | S | 805 | 0,83 | <0,1 | 2,20 | 1,83 | 47,4 | 7,79 | 0,83 | 0,25 | 0,52 | 11,4 | 2,65 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | W | 1010 | 0,55 | <0,1 | 1,78 | 1,43 | 36,1 | 7,64 | 0,35 | 0,17 | 0,22 | 10,5 | 1,10 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | N | 160 | 2,27 | <0,1 | 4,19 | 4,64 | 35,7 | 7,53 | 4,78 | 0,64 | 0,72 | 7,59 | 2,44 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | O | 47 | 7,92 | 0,61 | 11,5 | 27,9 | 119 | 8,01 | 5,82 | 3,66 | 1,33 | 29,1 | 14,5 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | S | 125 | 0,83 | <0,1 | 3,20 | 2,32 | 50,4 | 7,65 | 0,68 | 0,45 | 0,36 | 12,4 | 3,20 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | W | 1005 | 0,60 | <0,1 | 2,86 | 1,84 | 36,2 | 7,42 | 0,37 | 0,30 | 0,11 | 11,3 | 1,26 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen Ihrlersteiner Grünsandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | N | 210 | 1,09 | 0,31 | 3,66 | 3,97 | 51,4 | 7,51 | 1,77 | 0,49 | 1,09 | 11,3 | 3,51 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | S | 590 | 0,43 | 0,34 | 1,81 | 1,43 | 65,9 | 7,79 | 2,56 | 0,31 | 0,34 | 13,3 | 3,47 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | W | 840 | 0,45 | 0,34 | 1,05 | 1,50 | 44,8 | 7,26 | 1,36 | 0,24 | 0,52 | 10,7 | 1,38 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | N | 100 | 3,47 | <0,1 | 3,42 | 5,45 | 45,1 | 7,61 | 1,00 | 0,70 | 0,40 | 12,9 | 3,30 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | O | 9 | 10,0 | <0,1 | 5,61 | 7,94 | 105 | 8,00 | 2,94 | 2,84 | 2,10 | 24,4 | 13,7 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | S | 1160 | 0,35 | <0,1 | 2,56 | 2,31 | 56,6 | 7,72 | 0,42 | 0,54 | 0,43 | 15,1 | 3,45 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | W | 1160 | 0,39 | <0,1 | 1,69 | 1,41 | 40,8 | 7,65 | 0,13 | 0,59 | 0,17 | 12,2 | 1,33 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | N | 310 | 0,59 | <0,1 | 2,66 | 5,07 | 35,5 | 7,55 | 0,43 | 0,37 | 0,26 | 10,9 | 2,69 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | O | 82 | 11,3 | <0,1 | 54,8 | 171 | 86,2 | 7,84 | 0,18 | 5,03 | 1,41 | 74,0 | 30,8 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | S | 1110 | 0,34 | <0,1 | 2,67 | 4,15 | 54,3 | 7,75 | 0,22 | 0,31 | 0,38 | 15,6 | 3,58 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | W | 1154 | 0,58 | <0,1 | 3,76 | 1,69 | 29,7 | 7,32 | 0,21 | 0,76 | 0,17 | 10,1 | 1,04 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | N | 310 | 0,91 | <0,1 | 3,65 | 11,8 | 32,3 | 7,55 | 0,47 | 0,48 | 0,33 | 12,2 | 3,11 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | O | 235 | 2,30 | <0,1 | 11,9 | 11,1 | 14,6 | 7,08 | 0,85 | 0,86 | 0,35 | 9,57 | 2,63 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | S | 1080 | <0,1 | <0,1 | 0,50 | 3,16 | 41,2 | 7,64 | 0,25 | 0,22 | 0,27 | 11,9 | 1,75 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | W | 1075 | <0,1 | <0,1 | 0,50 | 1,84 | 26,3 | 7,07 | 0,08 | 0,16 | 0,15 | 8,60 | 0,66 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | N | 60 | 3,31 | <0,1 | 6,74 | 22,0 | 39,7 | 7,34 | 0,56 | 1,29 | 0,39 | 19,0 | 5,11 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | O | 280 | 3,28 | <0,1 | 14,8 | 30,2 | 21,2 | 6,92 | 0,27 | 1,18 | 0,23 | 18,5 | 5,06 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | S | 710 | 0,82 | <0,1 | 2,22 | 8,16 | 50,2 | 7,49 | 1,48 | 0,60 | 0,34 | 14,8 | 3,24 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | W | 1030 | 0,55 | <0,1 | 1,71 | 2,46 | 31,7 | 7,35 | 0,39 | 0,48 | 0,14 | 10,1 | 1,26 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | N | 50 | 4,70 | <0,1 | 5,02 | 8,17 | 38,3 | 7,19 | 0,68 | 0,90 | 0,36 | 16,1 | 2,57 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | S | 110 | 2,90 | <0,1 | 7,18 | 10,4 | 40,3 | 7,68 | 0,58 | 0,88 | 0,34 | 16,5 | 3,57 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | W | 500 | 0,68 | <0,1 | 1,85 | 2,02 | 44,0 | 7,74 | 0,29 | 0,51 | 0,12 | 14,2 | 1,56 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | N | 670 | 1,32 | <0,1 | 9,45 | 9,10 | 43,0 | 7,27 | 0,52 | 0,82 | 0,39 | 14,1 | 4,42 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | O | 100 | 14,9 | <0,1 | 72,8 | 139 | 65,4 | 7,66 | 0,75 | 4,31 | 1,49 | 78,0 | 28,2 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | S | 690 | 1,03 | <0,1 | 3,44 | 5,04 | 47,3 | 7,57 | 0,72 | 0,66 | 0,35 | 13,6 | 2,98 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | W | 1670 | 1,55 | <0,1 | 9,92 | 7,83 | 30,9 | 7,29 | 2,21 | 0,84 | 0,22 | 12,7 | 1,50 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | N | 335 | 0,87 | 0,17 | 7,28 | 11,6 | 52,5 | 7,63 | 0,48 | 0,80 | 0,63 | 14,2 | 6,47 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | O | 72 | 28,9 | 1,33 | 154 | 187 | 91,4 | 8,03 | 0,36 | 7,57 | 2,15 | 104 | 49,2 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | S | 930 | 0,50 | 0,18 | 4,19 | 5,26 | 40,1 | 7,71 | 0,70 | 0,42 | 0,36 | 13,0 | 2,32 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | W | 1160 | 0,38 | <0,1 | 3,36 | 3,68 | 37,9 | 7,25 | 0,79 | 0,39 | 0,16 | 12,7 | 1,38 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | N | 1160 | 0,23 | <0,1 | 2,73 | 4,92 | 49,0 | 7,35 | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 11,3 | 5,28 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | O | 540 | 8,82 | 0,10 | 5,50 | 53,8 | 94,2 | 7,96 | 0,61 | 4,35 | 1,46 | 39,2 | 21,8 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | S | 1160 | 0,28 | <0,1 | 4,40 | 5,34 | 45,0 | 7,63 | 0,45 | 0,43 | 0,35 | 15,4 | 2,91 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | W | 1160 | 3,39 | 0,13 | 1,97 | 0,42 | 34,5 | 7,47 | 0,57 | 0,82 | 0,22 | 12,3 | 1,11 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | N | 950 | 0,55 | <0,1 | 2,97 | 2,82 | 35,5 | 7,26 | 1,21 | 0,39 | 0,46 | 8,70 | 2,32 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | O | 890 | 2,53 | <0,1 | 16,3 | 11,3 | 48,1 | 7,15 | 0,91 | 1,45 | 0,88 | 14,8 | 6,47 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | S | 760 | 0,81 | <0,1 | 2,98 | 3,51 | 41,6 | 7,15 | 1,08 | 0,50 | 0,51 | 11,9 | 2,08 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | W | 2210 | 0,39 | <0,1 | 2,45 | 2,18 | 34,2 | 6,92 | 0,67 | 0,36 | 0,21 | 10,3 | 0,96 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | N | 1050 | 0,59 | 0,11 | 2,27 | 1,70 | 31,8 | 7,35 | 1,30 | 0,50 | 0,16 | 8,39 | 1,53 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | O | 370 | 1,89 | <0,1 | 8,80 | 7,90 | 74,6 | 7,87 | 1,25 | 1,95 | 0,65 | 15,5 | 8,31 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | S | 640 | 0,71 | <0,1 | 3,84 | 2,22 | 26,7 | 7,09 | 0,83 | 0,44 | 0,26 | 8,02 | 1,39 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | W | 1610 | 0,65 | <0,1 | 3,02 | 1,42 | 27,8 | 7,11 | 0,46 | 0,39 | <0,1 | 8,78 | 0,84 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | N | 280 | 0,87 | <0,1 | 2,06 | 1,51 | 32,5 | 7,28 | 0,40 | 0,44 | 0,23 | 9,69 | 2,28 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | O | 32 | 16,3 | <0,1 | 33,8 | 13,6 | 53,4 | 6,96 | 2,18 | 2,87 | 1,02 | 23,0 | 10,7 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | S | 170 | 1,32 | <0,1 | 5,66 | 2,70 | 18,9 | 7,58 | 2,60 | 0,79 | 0,79 | 13,8 | 2,69 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | W | 935 | 0,76 | <0,1 | 2,02 | 0,94 | 33,7 | 7,49 | 0,22 | 0,38 | 0,10 | 11,5 | 1,03 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen Ihrlersteiner Grünsandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | N | 550 | 0,59 | <0,1 | 2,15 | 2,35 | 43,4 | 7,66 | 0,12 | 0,34 | 0,15 | 12,5 | 2,22 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | O | 235 | 1,23 | <0,1 | 4,21 | 3,20 | 87,9 | 8,04 | 0,25 | 1,93 | 0,68 | 15,6 | 11,1 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | S | 350 | 1,93 | <0,1 | 36,8 | 3,42 | 77,3 | 7,68 | 11,4 | 0,96 | 1,68 | 11,8 | 2,42 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | N | 990 | 0,41 | <0,1 | 1,32 | 3,86 | 34,8 | 7,38 | 0,17 | 0,44 | 0,13 | 11,2 | 1,98 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | O | 74 | 7,00 | 0,36 | 25,7 | 41,5 | 96,0 | 8,05 | 0,71 | 4,55 | 0,62 | 31,7 | 19,9 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | S | 425 | 1,17 | 0,25 | 4,97 | 10,6 | 37,0 | 7,87 | 0,62 | 0,60 | 0,32 | 16,1 | 3,18 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | W | 560 | 1,10 | <0,1 | 3,60 | 4,12 | 42,8 | 7,90 | 0,41 | 0,68 | <0,1 | 16,2 | 1,45 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | N | 110 | 1,20 | <0,1 | 3,10 | 11,6 | 34,3 | 7,65 | 0,46 | 0,76 | 0,16 | 16,6 | 1,48 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | S | 100 | 8,40 | <0,1 | 39,7 | 143 | 30,7 | 7,33 | 2,37 | 1,85 | 0,70 | 76,1 | 12,1 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | W | 68 | 5,00 | 0,39 | 17,4 | 52,7 | 32,9 | 7,56 | 0,79 | 1,17 | 0,14 | 37,4 | 3,62 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | N | 7,5 | 19,0 | <0,1 | 20,5 | 35,0 | 34,6 | 6,20 | 2,18 | 6,21 | 0,87 | 30,0 | 3,12 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | O | 17,5 | 17,7 | <0,1 | 38,0 | 98,6 | 40,1 | 7,50 | 2,18 | 4,36 | 1,37 | 56,6 | 13,6 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | S | 5 | 30,0 | <0,1 | 27,0 | 33,0 | 71,6 | 7,51 | <0,002 | 6,79 | 0,78 | 34,6 | 6,52 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | N | 380 | 1,94 | 0,50 | 11,2 | 29,5 | 47,9 | 7,49 | 1,36 | 0,81 | 0,27 | 26,4 | 5,81 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | O | 80 | 11,0 | <0,1 | 57,6 | 78,7 | 89,7 | 7,78 | 3,12 | 4,65 | 1,01 | 52,6 | 22,2 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | S | 170 | 4,80 | <0,1 | 17,4 | 39,2 | 36,7 | 7,38 | 2,56 | 1,24 | 0,54 | 27,8 | 5,00 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | W | 325 | 2,79 | <0,1 | 14,0 | 15,4 | 47,6 | 7,92 | 2,39 | 0,98 | 0,24 | 21,7 | 2,86 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | N | 58 | 6,07 | 10,0 | 6,52 | 25,6 | 77,5 | 7,69 | 11,5 | 1,55 | 1,77 | 24,8 | 5,91 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | O | 27 | 18,2 | <0,1 | 91,1 | 68,1 | 72,7 | 7,82 | 4,22 | 5,32 | 1,88 | 46,7 | 23,0 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | S | 100 | 4,47 | <0,1 | 21,8 | 18,6 | 34,5 | 7,52 | 2,11 | 0,97 | 1,05 | 20,6 | 4,27 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | W | 260 | 1,35 | 0,68 | 9,55 | 6,62 | 51,7 | 7,32 | 4,65 | 1,01 | 0,67 | 16,4 | 2,14 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | N | 550 | 0,81 | <0,1 | 5,56 | 7,60 | 40,3 | 7,39 | 0,22 | 0,55 | 0,23 | 12,8 | 3,57 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | O | 170 | 5,00 | 2,34 | 24,6 | 33,2 | 106 | 7,56 | 2,69 | 3,56 | 1,32 | 29,3 | 17,0 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | S | 280 | 4,73 | <0,1 | 8,12 | 9,80 | 33,4 | 7,19 | 0,70 | 0,54 | 0,51 | 15,2 | 3,39 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | W | 1180 | 0,66 | <0,1 | 4,44 | 3,50 | 30,8 | 7,24 | 0,55 | 0,37 | 0,21 | 11,1 | 1,24 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | N | 1120 | 0,47 | <0,1 | 6,27 | 2,92 | 19,0 | 7,00 | 1,62 | 0,34 | 0,32 | 5,34 | 1,32 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | O | 370 | 3,65 | <0,1 | 21,1 | 15,4 | 48,0 | 7,24 | 1,04 | 1,48 | 0,69 | 16,0 | 8,02 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | S | 495 | 0,66 | <0,1 | 4,48 | 4,33 | 18,1 | 7,36 | 1,68 | 0,39 | 0,41 | 9,72 | 1,77 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | W | 1165 | 0,52 | <0,1 | 2,35 | 2,71 | 25,9 | 7,37 | 0,56 | 0,33 | 0,15 | 8,24 | 0,89 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | N | 1400 | 0,74 | <0,1 | 1,89 | 1,97 | 16,4 | 6,67 | 0,54 | 0,25 | 0,26 | 4,99 | 1,11 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | O | 120 | 5,48 | <0,1 | 15,3 | 18,3 | 24,3 | 7,30 | 1,34 | 2,04 | 1,50 | 19,9 | 10,1 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | S | 655 | 2,41 | <0,1 | 2,00 | 2,12 | 28,9 | 7,06 | 2,45 | 0,32 | 0,61 | 7,37 | 1,28 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | W | 2110 | 0,59 | <0,1 | 1,46 | 1,60 | 22,2 | 7,02 | 0,70 | 0,26 | 0,21 | 6,63 | 0,59 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | N | 300 | 2,74 | <0,1 | 4,98 | 3,90 | 27,4 | 7,13 | 1,86 | 0,37 | 1,12 | 8,26 | 1,87 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | O | 620 | 2,38 | <0,1 | 7,13 | 4,27 | 46,7 | 7,62 | 1,39 | 0,72 | 1,06 | 12,0 | 4,07 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | S | 880 | 1,41 | <0,1 | 2,82 | 1,66 | 29,6 | 7,10 | 0,82 | 0,30 | 0,37 | 8,52 | 1,38 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | W | 2120 | 0,50 | <0,1 | 1,78 | 1,13 | 20,2 | 7,36 | 0,53 | 0,27 | 0,12 | 6,56 | 0,65 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | N | 31 | 5,08 | 0,10 | 7,11 | 6,64 | 30,0 | 7,09 | 3,53 | 1,37 | 0,97 | 7,90 | 2,38 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | O | 45 | 6,49 | 0,25 | 18,1 | 17,2 | 105 | 7,82 | 2,79 | 3,38 | 1,06 | 25,2 | 12,6 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | S | 210 | 2,06 | <0,1 | 3,18 | 2,63 | 49,9 | 7,25 | 0,42 | 0,52 | 0,25 | 14,8 | 2,59 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | W | 2210 | 0,52 | <0,1 | 1,31 | 1,35 | 36,6 | 7,43 | 0,26 | 0,34 | <0,1 | 11,2 | 0,98 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | N | 15 | 18,5 | 0,10 | 5,13 | 10,5 | <1 | 3,66 | 0,24 | 2,24 | 1,23 | 9,06 | 2,34 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | S | 575 | 1,27 | <0,1 | 3,34 | 3,75 | 45,8 | 7,44 | 0,26 | 0,32 | 0,23 | 12,5 | 2,25 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | W | 1590 | 0,78 | <0,1 | 1,68 | 1,65 | 31,4 | 7,84 | 0,11 | 0,27 | 0,13 | 10,7 | 0,90 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | N | 150 | 2,91 | <0,1 | 4,00 | 3,86 | 24,9 | 7,21 | 0,59 | 0,43 | 0,27 | 8,15 | 2,08 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | O | 20 | 16,2 | <0,1 | 7,22 | 7,70 | 41,2 | 7,18 | 0,17 | 2,33 | 0,30 | 14,5 | 5,79 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | S | 220 | 2,67 | <0,1 | 6,45 | 8,35 | 43,1 | 7,60 | 0,59 | 0,63 | 0,44 | 14,9 | 2,95 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | W | 1070 | 0,63 | <0,1 | 1,48 | 1,07 | 13,7 | 7,63 | 0,19 | 0,22 | <0,1 | 8,31 | 0,59 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | N | 120 | 2,80 | 0,10 | 3,73 | 5,56 | 3,84 | 6,61 | 0,95 | 0,99 | 0,11 | 5,33 | 1,01 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | S | 80 | 3,92 | 0,20 | 7,42 | 13,0 | 58,1 | 7,62 | 0,62 | 1,09 | 0,56 | 21,6 | 4,58 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | W | 210 | 2,27 | 0,22 | 6,35 | 5,79 | 42,9 | 7,88 | 0,29 | 0,58 | 0,11 | 16,2 | 2,32 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen**Sander Sandstein**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | N | 1060 | 1,54 | <0,1 | 3,95 | 8,44 | 1,51 | 5,72 | 1,48 | 1,15 | 0,42 | 2,54 | 1,04 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | O | 50 | 1,97 | <0,1 | 3,68 | 10,0 | 6,90 | 6,23 | 2,50 | 2,03 | 0,45 | 3,16 | 0,91 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | S | 262 | 0,47 | <0,1 | 1,47 | 2,11 | <1 | 4,85 | 0,82 | 0,65 | 0,19 | 0,77 | 0,25 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | W | 1160 | 1,30 | <0,1 | 5,13 | 2,13 | 1,99 | 6,23 | 0,46 | 0,66 | 0,20 | 1,69 | 0,99 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | N | 370 | 1,22 | <0,1 | 1,61 | 4,08 | <1 | 5,93 | 1,05 | 0,67 | 0,19 | 1,57 | 0,59 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | O | 15 | 8,15 | 0,14 | 8,70 | 26,3 | <1 | 6,39 | 2,02 | 3,51 | 0,75 | 9,06 | 2,32 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | S | 150 | 1,36 | <0,1 | 1,73 | 1,47 | <1 | 5,26 | 0,97 | 0,45 | 0,14 | 0,64 | 0,24 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | W | 835 | 0,84 | <0,1 | 2,88 | 2,51 | 1,84 | 5,70 | 0,50 | 0,41 | 0,16 | 1,19 | 0,64 |
| 18.01.1994 | 01.02.1994 | N | 890 | 1,07 | <0,1 | 2,38 | 4,19 | 3,83 | 5,97 | 0,37 | 1,04 | 0,14 | 2,15 | 0,79 |
| 01.02.1994 | 16.02.1994 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | O | 14 | 47,6 | <0,1 | 26,2 | 35,9 | 9,00 | 6,00 | 0,58 | 6,93 | 0,95 | 6,45 | 1,63 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | S | 135 | 1,85 | <0,1 | 1,74 | 1,46 | 1,79 | 5,38 | 0,41 | 1,16 | 0,19 | 0,96 | 0,31 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | W | 130 | 3,29 | <0,1 | 10,3 | 5,72 | <1 | 5,70 | 1,00 | 1,17 | 0,38 | 3,04 | 1,64 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | N | 218 | 1,45 | <0,1 | 2,08 | 5,49 | 4,02 | 5,89 | 0,39 | 1,08 | 0,26 | 1,74 | 0,68 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | S | 125 | 2,50 | <0,1 | 2,23 | 2,26 | 8,94 | 6,63 | 1,95 | 1,71 | 1,18 | 0,76 | 0,24 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | W | 685 | 0,79 | <0,1 | 1,56 | 0,92 | 1,40 | 5,21 | 0,08 | 0,76 | 0,20 | <0,2 | 0,26 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | N | 1500 | 0,70 | <0,1 | 1,07 | 1,27 | 3,60 | 5,99 | 0,55 | 0,59 | 0,17 | 0,77 | 0,28 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | O | 27 | 11,4 | <0,1 | 13,1 | 67,6 | 20,0 | 7,00 | 4,86 | 3,39 | 0,55 | 28,4 | 5,22 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | S | 287 | 2,89 | <0,1 | 2,36 | 1,70 | 7,66 | 6,43 | 3,04 | 0,80 | 0,40 | 1,12 | 0,37 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | W | 695 | 1,25 | <0,1 | 3,11 | 1,57 | 3,60 | 5,79 | 0,81 | 0,55 | 0,23 | 1,12 | 0,55 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | N | 1051 | 0,28 | <0,1 | 0,59 | 1,47 | 2,65 | 6,05 | 0,37 | 0,28 | 0,22 | 0,51 | <0,02 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | N | 120 | 4,26 | <0,1 | 8,73 | 5,71 | 1,51 | 5,52 | 1,73 | 0,95 | 0,43 | 3,14 | 1,29 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | O | 36 | 9,17 | 0,32 | 1,61 | 11,1 | 48,4 | 7,40 | 15,3 | 5,24 | 0,93 | 4,22 | 1,16 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | S | 615 | 0,96 | <0,1 | 0,97 | 1,36 | 7,66 | 6,76 | 2,02 | 1,39 | 0,51 | <0,2 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | W | 500 | 1,66 | <0,1 | 4,50 | 3,22 | 1,84 | 5,96 | 1,03 | 0,81 | 0,32 | 1,29 | 0,70 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | N | 1020 | 0,67 | <0,1 | 1,22 | 1,90 | 2,85 | 6,42 | 0,83 | 1,15 | 0,51 | 1,04 | 0,39 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | O | 77 | 10,2 | <0,1 | 4,60 | 159 | 16,1 | 6,28 | 9,25 | 3,60 | 1,32 | 59,3 | 6,50 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | S | 240 | 4,56 | <0,1 | 2,50 | 2,20 | 6,29 | 6,28 | 2,01 | 0,52 | 0,37 | 2,52 | 0,62 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | W | 1010 | 0,49 | <0,1 | 1,88 | 1,56 | 4,05 | 6,30 | 0,65 | 0,47 | 0,20 | 0,76 | 0,34 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | N | 642 | 0,91 | <0,1 | 2,48 | 2,13 | 4,30 | 6,35 | 1,36 | 0,58 | 0,45 | 1,75 | 0,45 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | O | 138 | 2,28 | <0,1 | 3,05 | 4,07 | 5,19 | 6,64 | 1,99 | 1,48 | 0,81 | 2,70 | 0,78 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | S | 828 | 0,69 | <0,1 | 2,15 | 2,18 | 2,03 | 6,06 | 1,31 | 0,43 | 0,32 | 0,90 | 0,24 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | W | 1015 | 0,67 | <0,1 | 2,76 | 2,28 | 2,52 | 6,16 | 1,21 | 0,44 | 0,35 | 1,17 | 0,48 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | N | 1020 | 3,04 | <0,1 | 2,33 | 6,02 | 5,50 | 6,50 | 3,15 | 0,31 | 0,36 | 1,46 | 0,41 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | O | 400 | 1,43 | <0,1 | 3,41 | 19,8 | 40,1 | 7,58 | 11,6 | 1,61 | 2,20 | 8,15 | 1,30 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | S | 592 | 0,98 | <0,1 | 2,86 | 2,19 | 4,46 | 6,39 | 3,41 | 0,38 | 0,39 | 1,08 | 0,33 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | W | 1020 | 0,18 | <0,1 | 2,40 | 1,71 | 1,96 | 5,89 | 2,19 | 0,21 | 0,26 | 0,81 | 0,26 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | N | 518 | 0,96 | <0,1 | 2,15 | 1,44 | 2,60 | 6,13 | 1,20 | 0,34 | 0,36 | 0,83 | 0,22 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | O | 180 | 2,61 | <0,1 | 1,86 | 2,62 | 20,3 | 7,17 | 4,69 | 1,60 | 1,50 | 1,61 | 0,50 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | S | 550 | 1,14 | <0,1 | 1,53 | 1,41 | 8,39 | 6,85 | 3,83 | 0,46 | 0,47 | 0,91 | 0,32 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | W | 1020 | 0,48 | <0,1 | 1,30 | 1,01 | 2,43 | 6,23 | 1,20 | 0,22 | 0,23 | 0,63 | 0,24 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | N | 680 | 0,92 | <0,1 | 1,68 | 1,73 | 2,91 | 6,41 | 1,46 | 0,52 | 0,41 | 0,92 | 0,31 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | O | 100 | 3,41 | <0,1 | 3,29 | 0,10 | 25,9 | 7,36 | 10,6 | 1,49 | 2,37 | 1,84 | 0,64 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | S | 780 | 0,91 | <0,1 | 2,04 | 0,10 | 1,83 | 5,60 | 1,07 | 0,45 | 0,23 | 0,58 | 0,22 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | W | 960 | 0,47 | <0,1 | 2,16 | 0,10 | 1,82 | 5,79 | 0,85 | 0,32 | 0,19 | 0,59 | 0,30 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | N | 320 | 0,65 | <0,1 | 2,09 | 2,00 | 2,39 | 6,13 | 1,01 | 0,36 | 0,11 | 0,94 | 0,24 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | O | 15 | 3,00 | 1,13 | 10,2 | 9,52 | 60,0 | 7,80 | 17,4 | 1,47 | 1,38 | 5,41 | 1,43 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | S | 350 | 0,68 | <0,1 | 2,03 | 1,02 | 2,67 | 6,12 | 0,96 | 0,47 | 0,21 | 0,67 | 0,01 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | W | 1025 | 0,56 | <0,1 | 0,91 | 0,36 | 2,41 | 6,08 | 0,56 | 0,28 | 0,63 | 0,10 | 0,01 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen, Sander Sandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|-------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | N | 1160 | 0,30 | <0,1 | 0,94 | 1,27 | 2,29 | 6,33 | 0,57 | 0,72 | 0,17 | 0,55 | 0,01 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | O | 30 | 1,89 | <0,1 | 2,97 | 3,16 | 22,4 | 7,0 | 4,75 | 1,44 | 0,41 | 2,69 | 0,79 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | S | 470 | 0,53 | <0,1 | 1,18 | 0,99 | 3,01 | 6,36 | 0,85 | 0,83 | 0,27 | <0,2 | <0,02 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | W | 1150 | 0,31 | <0,1 | 1,15 | 0,74 | 1,45 | 5,69 | 0,28 | 0,64 | 0,16 | <0,2 | <0,02 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | N | 310 | 0,94 | <0,1 | 2,65 | 3,60 | 2,12 | 6,28 | 0,58 | 0,82 | 0,23 | 1,70 | 0,67 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | O | 100 | 0,98 | <0,1 | 2,40 | 36,1 | 8,43 | 6,86 | 1,22 | 2,32 | 0,37 | 11,9 | 3,25 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | S | 610 | 0,56 | <0,1 | 1,61 | 1,48 | 2,57 | 6,28 | 0,85 | 0,71 | 0,27 | 0,53 | 0,24 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | W | 705 | 0,61 | <0,1 | 2,48 | 2,18 | 2,20 | 5,81 | 0,38 | 0,59 | 0,20 | 0,94 | 0,54 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | N | 1060 | 0,95 | <0,1 | 3,24 | 3,79 | <1 | 5,09 | 0,58 | 0,54 | 0,22 | 1,47 | 0,56 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | O | 95 | 2,04 | <0,1 | 3,75 | 14,9 | 5,33 | 6,34 | 1,12 | 0,90 | 0,35 | 6,50 | 1,48 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | S | 1010 | 0,42 | <0,1 | 0,77 | 0,96 | <1 | 5,96 | 0,52 | 0,37 | 0,28 | 0,28 | 0,14 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | W | 275 | 1,11 | <0,1 | 1,63 | 1,49 | <1 | 4,90 | 0,46 | 0,43 | 0,25 | 0,51 | 0,23 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | N | 160 | 2,16 | <0,1 | 4,84 | 8,26 | 2,33 | 5,98 | 0,96 | 1,12 | 0,35 | 3,61 | 1,30 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | O | 275 | 1,14 | <0,1 | 1,91 | 25,2 | 13,7 | 8,22 | 0,45 | 0,95 | 0,28 | 11,3 | 1,32 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | S | 80 | 1,94 | <0,1 | 7,23 | 3,61 | <1 | 4,40 | 1,05 | 1,17 | 0,46 | 1,84 | 1,11 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | W | 480 | 0,83 | <0,1 | 2,76 | <0,2 | <1 | 5,29 | 0,24 | 0,51 | 0,11 | 0,79 | 0,46 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | N | 340 | 1,72 | <0,1 | 6,35 | 6,12 | 2,51 | 5,93 | 1,18 | 1,10 | 0,34 | 2,72 | 1,14 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | O | 18,75 | 7,72 | <0,1 | 2,96 | 4,32 | 1,60 | 5,91 | 2,36 | 0,70 | 0,30 | 3,20 | 0,63 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | S | 420 | 1,00 | <0,1 | 1,24 | 0,77 | 1,73 | 5,38 | 0,52 | 0,73 | 0,33 | 0,26 | 0,15 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | W | 285 | 1,11 | <0,1 | 1,97 | 0,86 | 1,51 | 5,84 | 0,45 | 1,23 | 0,33 | 0,68 | 0,39 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | N | 1400 | 1,05 | <0,1 | 3,76 | 3,09 | 3,11 | 6,56 | 1,38 | 0,83 | 0,28 | 1,53 | 0,71 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | O | 170 | 2,29 | <0,1 | 5,79 | 45,8 | 4,47 | 6,65 | 1,38 | 2,05 | 0,53 | 18,0 | 3,55 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | S | 530 | 0,56 | <0,1 | 1,60 | 1,40 | 1,92 | 6,27 | 0,63 | 0,55 | 0,20 | 0,98 | 0,21 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | W | 1880 | 0,82 | <0,1 | 4,70 | 2,53 | 3,61 | 6,60 | 1,83 | 0,59 | 0,27 | 1,22 | 0,63 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | N | 765 | 0,52 | <0,1 | 2,79 | 3,78 | 2,76 | 6,27 | 0,49 | 0,83 | 0,36 | 1,75 | 0,72 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | O | 114 | 5,54 | 1,18 | 26,3 | 77,1 | 6,06 | 6,58 | 0,16 | 3,03 | 1,14 | 34,7 | 7,69 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | S | 115 | 0,73 | 0,10 | 2,37 | 4,65 | 4,92 | 6,48 | 1,62 | 0,81 | 0,37 | 1,81 | 0,59 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | W | 1160 | 0,24 | <0,1 | 2,28 | 2,26 | 1,52 | 5,97 | 0,63 | 0,45 | 0,22 | 0,82 | 0,45 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | N | 1170 | 1,02 | <0,1 | 2,27 | 2,13 | 3,33 | 6,18 | 0,52 | 1,68 | 0,22 | 0,88 | 0,42 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | O | 700 | 0,76 | <0,1 | 2,55 | 21,7 | 4,64 | 6,44 | 0,57 | 2,61 | 0,47 | 10,1 | 1,25 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | S | 840 | 0,87 | <0,1 | 2,45 | 2,32 | <1 | 5,31 | 0,52 | 1,59 | 0,26 | 0,61 | 0,22 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | W | 1150 | 0,90 | <0,1 | 5,11 | 3,67 | <1 | 5,56 | 0,44 | 1,16 | 0,24 | 1,86 | 1,03 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | N | 1160 | 0,44 | <0,1 | 2,00 | 2,03 | 11,9 | 6,55 | 1,61 | 0,81 | 0,48 | 2,12 | 0,50 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | O | 420 | 2,64 | <0,1 | 9,04 | 57,4 | 16,0 | 7,07 | 3,44 | 1,99 | 1,09 | 25,9 | 3,44 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | S | 480 | 0,78 | <0,1 | 2,51 | 2,65 | 6,31 | 6,49 | 1,73 | 0,87 | 0,51 | 1,60 | 0,40 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | W | 2280 | 0,61 | <0,1 | 1,48 | 1,81 | 4,30 | 6,20 | 1,15 | 0,50 | 0,37 | 1,12 | 0,39 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | N | 1230 | 0,52 | <0,1 | 1,20 | 1,03 | 6,64 | 6,47 | 1,54 | 0,62 | 0,23 | 0,65 | 0,20 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | O | 260 | 0,71 | <0,1 | 1,30 | 2,74 | 14,1 | 6,82 | 2,93 | 1,82 | 0,51 | 1,30 | 0,47 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | S | 160 | 1,71 | <0,1 | 3,05 | 2,00 | 3,03 | 5,89 | 1,13 | 0,60 | 0,29 | 1,39 | 0,34 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | W | 1650 | 0,56 | <0,1 | 2,23 | 1,03 | 1,84 | 5,57 | 0,36 | 0,47 | 0,16 | 0,61 | 0,30 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | N | 215 | 1,15 | <0,1 | 2,17 | 1,07 | 3,91 | 6,41 | 1,26 | 0,77 | 0,31 | 1,07 | 0,41 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | O | 23 | 9,68 | <0,1 | 8,17 | 23,2 | <1 | 5,63 | 3,02 | 3,21 | 1,43 | 9,79 | 3,49 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | S | 46 | 6,17 | <0,1 | 1,88 | 0,97 | <1 | 4,45 | 1,19 | 0,70 | 0,36 | 1,15 | 0,31 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | W | 1390 | 0,78 | <0,1 | 1,73 | 0,64 | 1,89 | 5,64 | 0,35 | 0,46 | 0,15 | 0,42 | 0,24 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | N | 300 | 1,40 | <0,1 | 2,20 | 0,98 | <1 | 5,73 | 0,53 | 0,66 | 0,23 | 1,14 | 0,30 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | O | 60 | 3,44 | <0,1 | 1,16 | 1,34 | <1 | 5,37 | 0,21 | 1,59 | 0,32 | 2,27 | 0,48 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | S | 73 | 4,60 | <0,1 | 2,55 | 2,33 | <1 | 4,01 | 0,98 | 0,85 | 0,40 | 1,80 | 0,43 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | W | 1090 | 0,28 | <0,1 | 0,73 | 0,43 | <1 | 5,53 | 0,27 | 0,38 | <0,1 | 0,23 | 0,10 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | N | 820 | 0,35 | <0,1 | 0,46 | 1,18 | 1,06 | 6,27 | 0,52 | 0,59 | 0,18 | 0,67 | 0,21 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | O | 72,5 | 1,80 | <0,1 | 2,04 | 4,70 | <1 | 6,36 | 0,41 | 2,00 | 0,58 | 2,91 | 0,70 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | S | 77 | 1,97 | <0,1 | 2,05 | 3,45 | <1 | 5,51 | 1,27 | 0,74 | 0,22 | 1,35 | 0,36 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | W | 1150 | 0,37 | <0,1 | 1,18 | 0,96 | <1 | 5,75 | 0,30 | 0,38 | 0,14 | 0,51 | 0,21 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen Sander Sandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | N | 75 | 1,75 | <0,1 | 3,40 | 7,60 | <1 | 5,35 | 1,32 | 0,91 | 0,36 | 2,66 | 0,84 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | O | 100 | 3,60 | <0,1 | 6,70 | 17,4 | <1 | 4,56 | 1,60 | 2,27 | 0,52 | 5,71 | 1,91 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | S | 56 | 2,93 | <0,1 | 11,8 | 26,6 | <1 | 5,65 | 2,47 | 1,40 | 0,50 | 8,64 | 3,48 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | W | 1140 | 0,86 | <0,1 | 3,35 | 3,04 | <1 | 5,41 | 0,37 | 0,45 | 0,11 | 1,60 | 0,66 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | N | 47 | 14,0 | <0,1 | 15,0 | 18,8 | <1 | 3,88 | 3,22 | 2,92 | 0,95 | 8,25 | 2,47 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | W | 15 | 9,80 | <0,1 | <0,2 | <0,2 | <1 | 4,00 | 0,24 | 0,98 | 0,23 | 0,90 | 0,21 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | N | 495 | 0,94 | <0,1 | 4,26 | 8,74 | 5,51 | 6,58 | 2,39 | 1,08 | 0,36 | 3,06 | 1,09 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | O | 12 | 9,70 | <0,1 | 12,3 | 28,7 | 5,00 | 5,06 | 5,58 | 3,91 | 1,17 | 10,5 | 3,40 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | S | 14 | 10,6 | <0,1 | 11,4 | 27,1 | 5,00 | 4,98 | 7,71 | 4,74 | 2,24 | 7,88 | 2,55 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | W | 780 | 0,79 | <0,1 | 5,10 | 4,67 | 4,87 | 6,35 | 2,60 | 0,79 | 0,31 | 1,72 | 0,96 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | N | 77 | 1,83 | <0,1 | 8,73 | 8,65 | <1 | 5,24 | 1,67 | 1,20 | 0,57 | 3,26 | 1,25 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | O | 7 | 20,8 | <0,1 | 18,5 | 81,3 | <1 | 3,87 | 7,49 | 8,08 | 1,55 | 15,6 | 4,10 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | S | 30 | 2,85 | <0,1 | 8,65 | 9,00 | <1 | 4,86 | 4,30 | 1,36 | 1,15 | 2,95 | 0,94 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | W | 520 | 0,37 | <0,1 | 4,58 | 2,76 | 2,97 | 6,15 | 1,94 | 0,68 | 0,32 | 1,04 | 0,59 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | N | 400 | 0,99 | <0,1 | 3,35 | 2,63 | 3,85 | 6,51 | 1,50 | 0,70 | 0,42 | 1,32 | 0,55 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | O | 110 | 3,14 | <0,1 | 3,10 | 2,97 | 5,27 | 6,60 | 1,36 | 1,73 | 0,47 | 2,11 | 0,78 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | S | 12,5 | 14,9 | <0,1 | <0,2 | 6,20 | <1 | 4,14 | 1,33 | 3,85 | 3,18 | 5,47 | 0,88 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | W | 2355 | <0,1 | <0,1 | 2,06 | 1,64 | 1,39 | 5,69 | 0,70 | 0,38 | 0,29 | 0,53 | 0,32 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | N | 1050 | 0,53 | <0,1 | 1,94 | 1,92 | 4,41 | 6,15 | 1,40 | 0,57 | 0,32 | 0,95 | 0,34 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | O | 465 | 1,98 | <0,1 | 8,40 | 14,9 | 5,24 | 6,47 | 1,68 | 1,85 | 0,66 | 5,68 | 2,35 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | S | 450 | 0,94 | <0,1 | 2,72 | 2,14 | 4,46 | 5,91 | 1,40 | 0,49 | 0,35 | 1,14 | 0,42 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | W | 1165 | 0,46 | <0,1 | 2,27 | 1,59 | <1 | 5,75 | 1,00 | 0,37 | 0,27 | 0,64 | 0,32 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | N | 1650 | 0,64 | <0,1 | 1,32 | 1,34 | 2,25 | 6,15 | 0,82 | 0,49 | 0,28 | 0,75 | 0,25 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | O | 110 | 2,72 | <0,1 | 4,91 | 14,5 | 5,22 | 6,28 | 1,25 | 1,79 | 0,86 | 6,02 | 1,82 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | S | 320 | 1,66 | <0,1 | 1,88 | 1,72 | 2,65 | 6,05 | 1,45 | 0,50 | 0,41 | 1,04 | 0,35 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | W | 2340 | 0,40 | <0,1 | 1,36 | 1,08 | <1 | 5,64 | 0,70 | 0,12 | 0,06 | 0,19 | 0,10 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | N | 965 | 0,70 | <0,1 | 2,71 | 1,76 | 3,98 | 6,09 | 1,17 | 0,53 | 0,29 | 1,12 | 0,41 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | O | 395 | 2,45 | <0,1 | 7,54 | 6,51 | 10,3 | 6,55 | 2,92 | 1,33 | 1,15 | 3,65 | 1,54 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | S | 470 | 1,53 | <0,1 | 1,83 | 1,43 | <1 | 5,93 | 1,01 | 0,44 | 0,24 | 0,81 | 0,28 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | W | 2365 | 0,47 | <0,1 | 1,73 | 1,09 | <1 | 5,48 | 0,65 | 0,34 | 0,20 | 0,36 | 0,18 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | N | 810 | 0,90 | <0,1 | 1,64 | 1,16 | 1,34 | 5,91 | 0,47 | 0,54 | 0,17 | 0,66 | 0,26 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | O | 120 | 2,67 | <0,1 | 1,21 | 1,03 | 5,08 | 6,21 | 0,67 | 1,43 | 0,28 | 1,45 | 0,50 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | S | 150 | 1,70 | <0,1 | 1,66 | 1,15 | <1 | 5,66 | 0,78 | 0,71 | 0,32 | 0,73 | 0,24 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | W | 2095 | 0,68 | <0,1 | 1,53 | 1,21 | 1,42 | 5,88 | 0,52 | 0,47 | 0,21 | 0,39 | 0,26 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | N | 420 | 1,87 | <0,1 | 5,87 | 6,46 | 2,48 | 6,07 | 0,85 | 0,87 | 0,27 | 3,35 | 1,28 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | O | 50 | 1,84 | <0,1 | 3,06 | 10,7 | <1 | 5,61 | 0,32 | 1,02 | 0,20 | 3,86 | 1,34 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | S | 300 | 3,35 | 0,28 | 1,35 | 1,76 | 6,57 | 6,25 | 3,37 | 0,80 | 0,61 | 0,52 | 0,32 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | W | 1430 | 0,70 | <0,1 | 1,20 | 0,90 | <1 | 5,61 | 0,26 | 0,44 | 0,12 | 0,30 | 0,19 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | N | 590 | 1,58 | <0,1 | 4,23 | 3,83 | 2,30 | 6,23 | 0,90 | 0,60 | 0,21 | 2,26 | 0,91 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | O | 30 | 6,00 | <0,1 | 9,09 | 33,9 | <1 | 4,76 | 1,15 | 2,43 | 0,44 | 12,6 | 3,27 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | S | 170 | 2,06 | <0,1 | 3,78 | 2,75 | 1,43 | 5,66 | 0,86 | 0,86 | 0,25 | 1,47 | 0,70 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | W | 1060 | 0,62 | <0,1 | 1,93 | 1,01 | 2,14 | 5,79 | 0,54 | 0,34 | 0,13 | 0,57 | 0,32 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | N | 10 | 15,5 | 0,50 | <0,2 | 30,2 | <1 | 3,64 | 0,30 | 7,52 | 0,99 | 12,2 | 3,39 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | S | 30 | 5,96 | 0,25 | 1,15 | 12,8 | <1 | 4,26 | 0,45 | 4,04 | 0,71 | 4,63 | 2,46 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | W | 220 | 1,69 | <0,1 | 2,36 | 2,49 | <1 | 5,06 | 0,39 | 0,97 | 0,29 | 1,13 | 0,57 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen, Obernkirchener Sandstein

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | N | 340 | 6,53 | <0,1 | 35,2 | 22,7 | <1 | 4,75 | 9,91 | 4,16 | 1,25 | 5,78 | 3,34 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | O | 220 | 4,22 | <0,1 | 15,3 | 27,3 | 1,81 | 5,53 | 6,47 | 2,97 | 1,00 | 7,92 | 1,27 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | S | 1120 | 1,34 | <0,1 | 9,42 | 12,1 | <1 | 5,10 | 4,13 | 0,78 | 0,51 | 2,98 | 0,36 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | W | 1160 | 0,26 | <0,1 | 0,94 | 0,99 | <1 | 4,79 | 0,64 | 0,32 | <0,1 | <0,2 | 0,01 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | N | 180 | 4,75 | <0,1 | 16,6 | 31,0 | 1,76 | 6,12 | 7,92 | 2,40 | 1,01 | 7,95 | 1,73 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | O | 150 | 2,95 | <0,1 | 5,91 | 28,6 | <1 | 5,56 | 3,79 | 1,39 | 0,73 | 9,65 | 0,72 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | S | 460 | 1,40 | <0,1 | 5,41 | 8,06 | <1 | 5,21 | 3,14 | 0,46 | 0,37 | 1,97 | 0,23 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | W | 962 | 0,94 | <0,1 | 1,06 | <0,2 | <1 | 6,01 | 0,82 | 0,16 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 01.02.1994 | W | 1040 | 0,70 | <0,1 | 0,85 | 2,20 | <1 | 4,73 | 0,49 | 0,83 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | N | 133 | 12,4 | <0,1 | 45,9 | 35,6 | <1 | 4,50 | 17,6 | 6,09 | 1,90 | 7,56 | 5,66 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | O | 25 | 23,3 | <0,1 | 30,5 | 56,3 | <1 | 4,20 | 11,7 | 7,29 | 1,67 | 14,10 | 3,79 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | S | 615 | 1,93 | <0,1 | 3,07 | 5,66 | <1 | 4,07 | 2,18 | 0,83 | 0,23 | 1,43 | <0,02 |
| 01.02.1994 | 16.02.1994 | W | 160 | 1,23 | <0,1 | 2,89 | 3,08 | <1 | 4,23 | 1,67 | 0,67 | <0,1 | 0,52 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | N | 32 | 10,3 | <0,1 | 19,9 | 21,5 | 5,30 | 6,30 | 8,30 | 4,44 | 1,06 | 6,19 | 1,91 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | O | 77 | 9,25 | 1,53 | 22,7 | 104 | 5,88 | 6,67 | 9,97 | 10,1 | 1,78 | 35,0 | 3,58 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | S | 390 | 0,84 | <0,1 | 1,92 | 7,66 | 1,80 | 5,27 | 2,12 | 0,75 | 0,31 | 1,46 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | W | 1060 | 0,58 | <0,1 | 1,13 | 1,11 | <1 | 5,06 | 0,71 | 0,56 | 0,12 | <0,2 | <0,02 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | N | 292 | 2,50 | <0,1 | 10,3 | 8,50 | 1,70 | 5,80 | 3,55 | 1,31 | 0,45 | 2,13 | 0,95 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | O | 169 | 5,33 | <0,1 | 3,27 | 107 | 7,40 | 6,15 | 6,84 | 2,53 | 1,84 | 36,6 | 2,04 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | S | 1120 | 0,84 | <0,1 | 2,12 | 2,60 | 2,60 | 5,76 | 1,86 | 0,45 | 0,16 | 0,53 | <0,02 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | W | 1300 | 0,62 | <0,1 | 1,26 | 1,00 | 1,20 | 5,49 | 1,01 | 0,29 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | S | 1056 | 0,47 | <0,1 | 1,26 | 1,36 | <1 | 5,08 | 0,81 | 0,23 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | W | 1066 | 0,47 | <0,1 | 1,78 | 2,67 | <1 | 4,97 | 1,22 | 0,25 | <0,1 | <0,2 | <0,02 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | S | 215 | 2,07 | <0,1 | 8,12 | 7,12 | <1 | 5,31 | 4,40 | 0,52 | 0,46 | 1,32 | 0,30 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | W | 218 | 1,23 | 0,63 | 2,54 | 2,18 | 7,21 | 6,80 | 3,99 | 0,32 | 0,41 | <0,2 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | N | 145 | 3,33 | 0,92 | 8,37 | 13,0 | 12,1 | 7,46 | 7,26 | 2,94 | 0,67 | 3,50 | 0,88 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | O | 550 | 1,53 | <0,1 | 2,27 | 14,9 | <1 | 4,68 | 1,60 | 0,80 | 0,47 | 5,19 | 0,22 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | N | 230 | 4,39 | <0,1 | 11,1 | 14,5 | 2,53 | 6,13 | 5,40 | 1,59 | 0,96 | 4,77 | 1,39 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | O | 225 | 5,67 | <0,1 | 21,9 | 42,5 | 5,07 | 6,67 | 9,59 | 2,89 | 2,40 | 15,6 | 2,89 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | S | 1020 | 0,86 | <0,1 | 2,75 | 2,46 | 1,84 | 5,50 | 1,75 | 1,02 | 0,57 | 0,65 | <0,02 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | W | 1020 | 0,58 | <0,1 | 1,57 | 1,52 | <1 | 4,85 | 1,07 | 0,45 | 0,21 | <0,2 | <0,02 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | N | 380 | 1,93 | <0,1 | 8,34 | 5,48 | 3,09 | 6,18 | 3,72 | 1,03 | 0,71 | 2,01 | 0,71 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | O | 173 | 2,32 | <0,1 | 5,74 | 8,08 | 2,19 | 5,56 | 3,05 | 0,70 | 0,94 | 3,05 | 0,72 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | S | 1020 | 0,64 | <0,1 | 2,15 | 2,42 | 2,37 | 5,75 | 2,09 | 0,36 | 0,35 | 0,66 | <0,02 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | W | 1020 | 0,59 | <0,1 | 2,28 | 2,16 | 1,37 | 5,41 | 1,48 | 0,29 | 0,19 | 0,58 | <0,02 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | N | 565 | 0,82 | <0,1 | 4,11 | 2,79 | 5,08 | 6,36 | 3,70 | 0,34 | 0,52 | 1,29 | 0,29 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | O | 250 | 1,94 | <0,1 | 3,92 | 4,29 | 3,06 | 6,08 | 3,99 | 0,58 | 0,81 | 1,64 | 0,25 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | S | 870 | 0,76 | <0,1 | 2,41 | 1,99 | 3,88 | 6,42 | 3,58 | 0,29 | 0,45 | 0,66 | <0,02 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | W | 1020 | 0,18 | <0,1 | 2,44 | 1,79 | 2,18 | 5,96 | 2,54 | 0,16 | 0,20 | 0,58 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | N | 928 | 0,43 | <0,1 | 1,61 | 1,31 | 1,76 | 5,60 | 0,90 | 0,19 | 0,19 | <0,2 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | O | 105 | 2,83 | <0,1 | 2,03 | 1,32 | <1 | 4,62 | 1,09 | 0,45 | 0,61 | 0,90 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | S | 515 | 0,86 | <0,1 | 1,74 | 1,31 | 3,73 | 6,28 | 1,78 | 0,26 | 0,25 | <0,2 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | W | 1020 | 0,54 | <0,1 | 0,69 | 1,15 | 5,32 | 6,53 | 2,70 | 0,19 | 0,27 | <0,2 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | N | 850 | 1,24 | <0,1 | 5,25 | 2,77 | 2,49 | 6,06 | 1,85 | 0,65 | 0,24 | 1,21 | 0,48 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | O | 65 | 5,02 | <0,1 | 4,22 | 3,38 | 2,21 | 5,96 | 5,22 | 0,60 | 0,57 | 1,78 | 0,43 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | S | 1000 | 0,69 | <0,1 | 1,94 | <0,2 | <1 | 5,26 | 1,42 | 0,28 | 0,13 | <0,2 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | W | 1010 | 0,49 | <0,1 | 1,88 | <0,2 | <1 | 5,04 | 1,20 | 0,19 | 0,05 | <0,2 | <0,02 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | N | 280 | 1,59 | <0,1 | 4,53 | 2,35 | <1 | 4,62 | 1,35 | 0,50 | 0,23 | 0,81 | 0,24 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | O | 93 | 1,92 | <0,1 | 5,15 | 3,07 | <1 | 4,38 | 1,42 | 0,48 | 0,24 | 1,41 | 0,33 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | S | 290 | 0,82 | <0,1 | 2,08 | 1,31 | <1 | 5,22 | 1,12 | 0,26 | 0,17 | <0,2 | <0,02 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | W | 680 | 0,54 | <0,1 | 1,37 | 0,78 | <1 | 4,85 | 0,67 | 0,17 | 0,05 | <0,2 | <0,02 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen, Obernkirchener Sandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|-------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | N | 930 | 1,38 | <0,1 | 5,99 | 6,41 | <1 | 5,27 | 1,86 | 1,20 | 0,29 | 1,44 | 0,93 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | O | 14 | 16,2 | <0,1 | 24,2 | 15,9 | 4,80 | 5,50 | 7,31 | 2,27 | 1,50 | 6,17 | 2,80 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | S | 700 | 0,54 | <0,1 | 1,25 | 1,34 | <1 | 5,63 | 1,02 | 0,59 | 0,16 | <0,2 | <0,02 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | W | 1160 | 0,25 | <0,1 | 1,05 | 0,95 | 1,74 | 5,52 | 0,60 | 0,47 | 0,12 | <0,2 | <0,02 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | N | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | O | 505 | 2,88 | <0,1 | 11,1 | 45,8 | <1 | 4,84 | 4,15 | 1,23 | 1,23 | 16,8 | 1,58 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | S | 670 | 0,86 | <0,1 | 4,11 | 5,27 | 1,46 | 5,89 | 2,67 | 0,67 | 0,29 | 0,80 | 0,16 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | W | 1290 | 0,44 | <0,1 | 1,54 | 1,83 | <1 | 5,25 | 0,84 | 0,36 | <0,1 | 0,22 | 0,06 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | N | 1065 | 1,76 | <0,1 | 7,31 | 6,70 | <1 | 4,66 | 2,31 | 0,97 | 0,37 | 1,05 | 1,04 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | O | 400 | 2,40 | <0,1 | 10,4 | 12,0 | <1 | 4,55 | 2,56 | 1,10 | 0,35 | 4,19 | 1,09 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | S | 800 | 1,36 | <0,1 | 1,80 | 2,42 | <1 | 5,36 | 1,30 | 0,30 | 0,24 | 0,22 | 0,05 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | W | 1085 | 0,92 | <0,1 | 3,26 | 3,89 | <1 | 5,20 | 0,31 | 0,12 | 0,15 | <0,2 | <0,02 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | N | 290 | 5,87 | <0,1 | 25,6 | 17,3 | <1 | 4,71 | 6,34 | 2,83 | 0,82 | 2,81 | 4,22 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | O | 600 | 2,36 | <0,1 | 9,35 | 19,2 | 7,73 | 7,30 | 2,16 | 1,46 | 0,54 | 7,19 | 1,44 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | S | 460 | 1,86 | <0,1 | 6,94 | 7,77 | 1,81 | 5,29 | 3,66 | 0,34 | 0,36 | 1,48 | 0,31 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | W | 820 | 0,48 | <0,1 | 1,64 | 1,03 | 5,53 | 6,60 | 0,81 | 0,34 | <0,1 | <0,2 | 0,04 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | N | 415 | 5,78 | <0,1 | 27,5 | 13,5 | 1,83 | 5,82 | 6,88 | 2,78 | 1,06 | 2,06 | 3,98 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | O | 19,75 | 16,0 | 0,72 | 53,0 | 35,0 | <1 | 4,87 | 9,73 | 4,90 | 3,00 | 18,3 | 3,60 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | S | 675 | 0,86 | <0,1 | 2,53 | 2,54 | 1,45 | 5,55 | 1,52 | 0,75 | 0,30 | 0,34 | 0,13 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | W | 1305 | 0,63 | <0,1 | 1,37 | 0,94 | 1,78 | 5,87 | 0,71 | 0,62 | 0,20 | <0,2 | 0,04 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | N | 780 | 2,76 | <0,1 | 12,6 | 7,09 | <1 | 6,16 | 3,90 | 1,65 | 0,49 | 1,34 | 1,74 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | O | 210 | 4,78 | <0,1 | 18,6 | 27,3 | <1 | 5,83 | 5,19 | 2,22 | 1,24 | 10,5 | 2,17 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | S | 1150 | 0,68 | <0,1 | 1,61 | 2,31 | <1 | 5,55 | 1,38 | 0,55 | 0,14 | 0,32 | 0,07 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | W | 970 | 0,69 | <0,1 | 2,89 | 2,05 | 1,00 | 6,03 | 1,71 | 0,63 | 0,11 | 0,41 | 0,12 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | N | 960 | 1,13 | <0,1 | 6,44 | 5,41 | <1 | 5,17 | 2,79 | 0,81 | 0,38 | 0,97 | 0,58 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | O | 180 | 8,97 | <0,1 | 43,0 | 48,6 | <1 | 4,91 | 9,80 | 3,99 | 2,28 | 18,4 | 4,86 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | S | 1150 | 0,54 | <0,1 | 3,26 | 4,14 | 2,36 | 6,23 | 2,00 | 0,52 | 0,34 | 0,77 | 0,22 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | W | 1130 | 0,30 | <0,1 | 2,19 | 2,66 | 2,95 | 6,24 | 2,18 | 0,34 | 0,27 | 0,34 | 0,12 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | N | 1150 | 3,70 | <0,1 | 18,2 | 10,8 | <1 | 5,10 | 4,98 | 2,56 | 0,79 | 2,19 | 2,71 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | O | 980 | 2,44 | <0,1 | 9,70 | 10,7 | 2,46 | 5,91 | 3,67 | 1,85 | 0,99 | 3,20 | 0,97 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | S | 1100 | 1,05 | <0,1 | 6,05 | 4,33 | 2,64 | 6,01 | 1,95 | 2,40 | 0,63 | 0,64 | 0,20 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | W | 1160 | 0,35 | <0,1 | 2,88 | 2,27 | <1 | 4,94 | 1,10 | 0,90 | 1,15 | 0,25 | 0,09 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | N | 510 | 2,54 | <0,1 | 13,9 | 6,85 | 3,03 | 6,15 | 4,69 | 1,75 | 0,87 | 2,18 | 1,76 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | O | 1030 | 1,68 | <0,1 | 8,26 | 6,26 | 4,30 | 6,24 | 4,12 | 1,29 | 0,94 | 1,91 | 0,80 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | S | 1170 | 0,51 | <0,1 | 3,43 | 2,77 | 10,1 | 6,66 | 3,67 | 0,55 | 0,45 | 1,03 | 0,12 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | W | 2330 | 0,36 | <0,1 | 2,10 | 1,98 | 2,41 | 5,88 | 1,53 | 0,33 | 0,19 | 0,46 | 0,07 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | N | 560 | 2,60 | <0,1 | 9,50 | 6,20 | 4,34 | 6,27 | 3,22 | 1,13 | 0,40 | 0,88 | 1,36 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | O | 750 | 1,22 | <0,1 | 4,44 | 3,66 | 2,72 | 5,79 | 2,15 | 0,72 | 0,57 | 0,96 | 0,30 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | S | 1500 | 0,76 | <0,1 | 3,13 | 1,96 | 2,23 | 5,81 | 1,85 | 0,49 | 0,21 | 0,38 | 0,06 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | W | 1420 | 0,50 | <0,1 | 3,01 | 1,91 | <1 | 5,10 | 1,15 | 0,44 | <0,1 | 0,35 | 0,09 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | N | 180 | 2,48 | <0,1 | 6,86 | 7,42 | <1 | 4,70 | 2,68 | 1,64 | 0,52 | 2,25 | 1,98 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | O | 130 | 8,70 | <0,1 | 26,9 | 11,7 | 5,39 | 6,55 | 7,48 | 2,71 | 1,80 | 5,51 | 3,31 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | S | 840 | 0,73 | <0,1 | 2,20 | 1,35 | <1 | 5,42 | 1,45 | 0,46 | 0,15 | <0,2 | 0,06 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | W | 1240 | 0,78 | <0,1 | 2,47 | 0,93 | <1 | 4,90 | 0,75 | 0,45 | <0,1 | <0,2 | 0,05 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | N | 350 | 1,66 | <0,1 | 4,05 | 5,64 | <1 | 5,09 | 2,27 | 0,81 | 0,31 | 1,11 | 0,58 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | O | 248 | 2,40 | <0,1 | 8,70 | 13,2 | <1 | 4,84 | 3,52 | 1,06 | 0,61 | 4,07 | 1,03 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | S | 1095 | 0,55 | <0,1 | 2,27 | 1,39 | <1 | 5,47 | 1,27 | 0,35 | 0,12 | <0,2 | 0,03 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | W | 1090 | 0,31 | <0,1 | 1,03 | 0,63 | <1 | 4,99 | 0,53 | 0,23 | <0,1 | <0,2 | 0,02 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | N | 365 | 1,20 | <0,1 | 7,25 | 12,6 | <1 | 5,44 | 4,21 | 1,35 | 0,49 | 1,77 | 1,66 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | O | 920 | 1,98 | <0,1 | 6,60 | 10,8 | <1 | 5,02 | 3,32 | 1,32 | 0,46 | 2,73 | 0,73 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | S | 1127 | 1,47 | <0,1 | 6,30 | 6,34 | <1 | 5,80 | 3,36 | 0,76 | 0,31 | 1,11 | 0,27 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | W | 1117 | 0,29 | <0,1 | 0,46 | 0,62 | <1 | 5,21 | 0,43 | 0,23 | <0,1 | <0,2 | 0,02 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen Obernkirchener Sandstein (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | N | 78 | 6,50 | <0,1 | 17,9 | 17,3 | <1 | 4,15 | 5,19 | 3,72 | 0,50 | 4,19 | 2,49 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | O | 170 | 3,94 | <0,1 | 9,70 | 12,1 | <1 | 4,50 | 3,63 | 2,15 | 0,57 | 2,86 | 1,16 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | S | 410 | 3,90 | <0,1 | 21,5 | 25,3 | <1 | 5,02 | 7,05 | 1,76 | 0,65 | 9,31 | 1,72 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | W | 630 | 0,91 | <0,1 | 2,74 | 3,10 | <1 | 4,79 | 1,48 | 0,55 | <0,1 | 0,50 | 0,14 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | N | 32 | 14,9 | <0,1 | 37,0 | 26,1 | <1 | 4,21 | 12,1 | 4,95 | 1,49 | 6,10 | 4,02 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | O | 9 | 16,8 | <0,1 | 1,20 | 2,10 | <1 | 4,00 | 1,83 | 3,17 | 0,47 | 2,15 | 0,55 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | S | 6 | 13,5 | <0,1 | <0,2 | 14,0 | <1 | 3,32 | 2,71 | 4,27 | 0,43 | 2,95 | 0,55 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | W | 10 | 8,70 | <0,1 | 3,30 | 2,85 | <1 | 4,00 | 1,48 | 2,48 | 0,20 | 1,59 | 0,24 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | N | 240 | 2,70 | <0,1 | 11,3 | 10,8 | 4,77 | 6,39 | 6,47 | 1,57 | 0,64 | 2,00 | 1,17 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | O | 280 | 2,16 | <0,1 | 8,34 | 11,1 | <1 | 4,41 | 3,68 | 1,27 | 0,42 | 2,87 | 0,53 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | S | 330 | 1,80 | <0,1 | 9,67 | 16,6 | <1 | 5,91 | 6,78 | 1,17 | 0,62 | 4,02 | 0,43 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | W | 600 | 0,92 | <0,1 | 5,40 | 4,83 | <1 | 5,76 | 3,19 | 0,72 | <0,1 | 0,74 | 0,24 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | N | 30 | 6,25 | <0,1 | 27,1 | 30,4 | <1 | 4,29 | 12,8 | 2,96 | 1,70 | 5,47 | 2,89 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | O | 360 | 1,75 | <0,1 | 7,40 | 5,37 | <1 | 4,62 | 3,16 | 0,70 | 0,37 | 1,94 | 0,25 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | S | 220 | 1,32 | <0,1 | 7,46 | 5,74 | <1 | 5,76 | 5,08 | 0,83 | 0,45 | 0,65 | 0,14 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | W | 395 | 0,74 | 0,49 | 3,84 | 3,09 | <1 | 6,09 | 1,74 | 0,59 | 0,45 | 0,53 | 0,18 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | N | 365 | 2,26 | <0,1 | 11,9 | 11,3 | <1 | 5,39 | 5,58 | 1,19 | 0,66 | 1,48 | 0,92 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | O | 430 | 2,35 | <0,1 | 6,33 | 8,86 | <1 | 5,08 | 3,79 | 0,68 | 0,55 | 2,24 | 0,33 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | S | 1040 | 1,04 | <0,1 | 3,74 | 3,80 | 1,31 | 5,42 | 2,54 | 0,25 | 0,29 | 0,39 | 0,10 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | W | 2325 | 0,65 | <0,1 | 1,52 | 1,68 | <1 | 5,08 | 1,07 | 0,34 | 0,14 | <0,2 | 0,04 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | N | 475 | 1,64 | <0,1 | 5,16 | 5,50 | 2,59 | 6,15 | 3,51 | 0,61 | 0,41 | 1,04 | 0,40 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | O | 380 | 2,02 | <0,1 | 7,25 | 11,2 | 8,47 | 6,61 | 6,30 | 1,12 | 1,17 | 2,85 | 0,62 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | S | 1180 | 0,77 | <0,1 | 3,60 | 2,61 | 2,34 | 5,94 | 2,43 | 0,41 | 0,30 | 0,44 | 0,12 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | W | 1175 | 0,05 | <0,1 | 2,16 | 2,06 | 2,17 | 6,06 | 1,74 | 0,31 | 0,16 | 0,38 | 0,10 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | N | 1060 | 1,25 | <0,1 | 2,53 | 3,15 | <1 | 5,82 | 1,86 | 0,43 | 0,34 | 0,90 | 0,29 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | O | 95 | 8,52 | <0,1 | 22,1 | 19,1 | 4,06 | 5,68 | 8,12 | 2,35 | 2,80 | 7,14 | 2,91 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | S | 1180 | 1,27 | <0,1 | 2,06 | 2,18 | 2,77 | 5,80 | 2,01 | 0,41 | 0,29 | 0,38 | 0,07 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | W | 2225 | 0,53 | <0,1 | 1,53 | 1,47 | <1 | 5,81 | 1,12 | 0,17 | 0,16 | 0,34 | 0,07 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | N | 560 | 1,75 | <0,1 | 4,79 | 4,18 | 5,73 | 6,21 | 3,39 | 0,69 | 0,52 | 1,29 | 0,46 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | O | 875 | 3,47 | 0,22 | 12,8 | 9,66 | 7,51 | 6,33 | 5,25 | 1,16 | 1,48 | 3,89 | 1,19 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | S | 1855 | 0,88 | <0,1 | 1,94 | 1,61 | 2,31 | 5,94 | 1,69 | 0,34 | 0,19 | 0,35 | 0,08 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | W | 2265 | 0,62 | <0,1 | 1,93 | 1,39 | 1,36 | 5,35 | 1,11 | 0,29 | 0,13 | 0,30 | 0,07 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | N | 720 | 1,21 | <0,1 | 2,22 | 3,86 | <1 | 5,53 | 1,57 | 0,42 | 0,20 | 0,44 | 0,22 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | O | 100 | 7,24 | <0,1 | 7,74 | 15,3 | 8,52 | 6,48 | 8,06 | 1,55 | 1,37 | 4,51 | 1,28 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | S | 1020 | 0,64 | <0,1 | 1,58 | 2,57 | 3,00 | 6,24 | 1,67 | 0,38 | 0,24 | 0,23 | 0,05 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | W | 1950 | 0,60 | <0,1 | 1,75 | 1,49 | <1 | 5,48 | 0,93 | 0,30 | <0,1 | <0,2 | 0,05 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | N | 240 | 7,91 | <0,1 | 30,1 | 31,7 | <1 | 4,94 | 14,7 | 4,19 | 1,69 | 5,80 | 5,39 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | O | 30 | 16,4 | <0,1 | 14,9 | 20,6 | <1 | 3,41 | 3,93 | 3,32 | 1,40 | 8,50 | 3,57 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | S | 1900 | 0,87 | <0,1 | 1,96 | 3,39 | <1 | 5,83 | 2,12 | 0,41 | 0,26 | 0,32 | 0,07 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | W | 1160 | 0,61 | <0,1 | 1,05 | 1,05 | <1 | 5,24 | 0,67 | 0,23 | <0,1 | 0,21 | 0,05 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | N | 340 | 1,81 | <0,1 | 3,65 | 9,67 | 1,34 | 5,68 | 4,63 | 0,74 | 0,48 | 0,98 | 0,50 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | O | 50 | 18,4 | <0,1 | 61,4 | 89,0 | <1 | 4,05 | 15,4 | 7,20 | 3,24 | 39,0 | 12,9 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | S | 690 | 1,99 | <0,1 | 4,67 | 6,29 | <1 | 5,27 | 3,74 | 0,70 | 0,26 | 0,86 | 0,25 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | W | 1080 | 0,63 | <0,1 | 1,50 | 1,15 | <1 | 5,65 | 0,99 | 0,27 | <0,1 | 0,23 | 0,07 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | N | 80 | 6,59 | <0,1 | 18,2 | 42,5 | <1 | 4,96 | 15,7 | 3,08 | 2,18 | 6,18 | 2,88 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | O | 10 | 49,1 | <0,1 | 144 | 149 | <1 | 3,45 | 31,1 | 17,7 | 4,86 | 51,6 | 26,3 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | S | 140 | 5,57 | <0,1 | 15,8 | 21,0 | <1 | 4,49 | 10,5 | 1,94 | 1,10 | 3,19 | 1,17 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | W | 200 | 1,49 | <0,1 | 0,66 | 1,87 | <1 | 4,76 | 1,12 | 0,84 | 0,12 | 0,40 | 0,12 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen, Auerkalk

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | N | 470 | 1,69 | 0,19 | 3,22 | 5,03 | 78,9 | 7,91 | 0,04 | 1,26 | 0,26 | 30,3 | 0,44 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | O | 150 | 2,45 | 0,05 | 5,88 | 21,9 | 82,3 | 7,94 | 0,85 | 1,66 | 0,46 | 37,6 | 0,27 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | S | 540 | 0,68 | 0,81 | 1,86 | 10,6 | 73,4 | 7,96 | 0,06 | 0,40 | 0,13 | 31,1 | <0,02 |
| 23.11.1993 | 21.12.1993 | W | 290 | 0,92 | 0,37 | 2,52 | 3,89 | 86,8 | 8,06 | 1,22 | 0,72 | 0,17 | 32,4 | <0,02 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | N | 200 | 1,37 | <0,1 | 1,16 | 1,92 | 66,0 | 7,96 | 0,37 | 0,31 | 0,15 | 22,9 | <0,02 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | O | 37,5 | 7,19 | <0,1 | 2,07 | 6,58 | 78,3 | 7,67 | 1,04 | 0,72 | 0,22 | 32,2 | 0,30 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | S | 376 | 1,05 | <0,1 | 1,02 | 1,86 | 58,5 | 7,89 | 0,48 | 0,31 | 0,19 | 19,5 | <0,02 |
| 21.12.1993 | 18.01.1994 | W | 113 | 1,82 | <0,1 | 1,09 | <0,2 | 52,0 | 7,80 | 0,59 | 0,28 | 0,13 | 20,3 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 01.02.1994 | S | 1020 | 1,16 | <0,1 | 1,19 | 3,89 | 41,1 | 7,75 | 0,16 | 0,66 | <0,1 | 15,7 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | N | 558 | 1,42 | <0,1 | 0,85 | 2,57 | 47,9 | 8,11 | 0,24 | 0,60 | 0,10 | 17,1 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 01.02.1994 | 16.02.1994 | S | 165 | 2,55 | <0,1 | 2,89 | 7,96 | 40,4 | 7,67 | 0,32 | 0,74 | <0,1 | 18,6 | <0,02 |
| 18.01.1994 | 16.02.1994 | W | 132 | 3,19 | <0,1 | 2,71 | 2,05 | 46,3 | 8,06 | 0,01 | 0,65 | 0,11 | 18,4 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | N | 175 | 1,45 | <0,1 | 1,62 | 4,40 | 72,7 | 8,04 | 0,10 | 0,67 | 0,12 | 26,3 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | S | 423 | 1,40 | <0,1 | 1,92 | 5,62 | 58,6 | 7,86 | 0,06 | 0,70 | 0,14 | 20,9 | <0,02 |
| 16.02.1994 | 10.03.1994 | W | 42 | 4,20 | 0,40 | 1,30 | 3,70 | 113 | 8,04 | 0,83 | 1,21 | 1,68 | 36,7 | 0,24 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | N | 868 | 1,40 | <0,1 | 3,10 | 4,00 | 69,6 | 7,70 | 0,45 | 0,37 | <0,1 | 25,5 | <0,02 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | O | 10 | 24,3 | <0,1 | 0,89 | 9,35 | 145 | 8,00 | 2,73 | 2,34 | 0,99 | 59,2 | 0,61 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | S | 87 | 4,59 | <0,1 | 3,89 | 3,44 | 76,2 | 7,34 | 0,81 | 0,58 | 0,23 | 32,7 | <0,02 |
| 10.03.1994 | 12.04.1994 | W | 1295 | 0,99 | <0,1 | 1,39 | 3,01 | 61,9 | 7,38 | 1,16 | 0,37 | 0,19 | 20,7 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | N | 810 | 0,37 | <0,1 | 1,03 | 1,01 | 45,8 | 7,36 | 0,05 | 0,12 | <0,1 | 16,3 | <0,02 |
| 12.04.1994 | 19.04.1994 | S | 1164 | 0,28 | <0,1 | 1,18 | 1,45 | 48,2 | 7,30 | 0,09 | 0,92 | <0,1 | 15,4 | <0,02 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | N | 30 | 15,7 | 0,78 | 7,68 | 12,0 | 111 | 8,00 | 1,20 | 0,46 | 0,27 | 50,7 | 0,39 |
| 19.04.1994 | 10.05.1994 | S | 160 | 4,27 | 0,85 | 5,01 | 5,92 | 82,9 | 7,79 | 2,34 | 1,59 | 0,57 | 28,1 | 0,24 |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 12.04.1994 | 10.05.1994 | W | 125 | 2,01 | 0,41 | <0,2 | 2,04 | 63,1 | 7,99 | 2,08 | 0,76 | 0,34 | 21,9 | <0,02 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | N | 720 | 0,82 | <0,1 | 1,86 | 2,33 | 66,9 | 7,14 | 0,44 | 0,32 | 0,16 | 22,1 | <0,02 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | S | 545 | 1,84 | <0,1 | 3,81 | 4,63 | 57,9 | 7,02 | 0,45 | 0,52 | 0,20 | 20,9 | 0,22 |
| 10.05.1994 | 14.06.1994 | W | 295 | 3,32 | <0,1 | 2,07 | 1,99 | 31,0 | 7,51 | 0,44 | 0,31 | 0,16 | 12,3 | 0,26 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | N | 650 | 1,02 | <0,1 | 3,71 | 4,27 | 37,1 | 7,50 | 0,73 | 0,31 | 0,26 | 18,6 | <0,02 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | O | 110 | 3,39 | <0,1 | 2,65 | 5,31 | 40,3 | 7,80 | 0,79 | 0,44 | 0,33 | 25,4 | 0,25 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | S | 258 | 1,90 | <0,1 | 4,46 | 4,44 | 6,86 | 6,98 | 1,17 | 0,33 | 0,34 | 12,1 | 0,22 |
| 14.06.1994 | 08.07.1994 | W | 1045 | 0,79 | <0,1 | 3,31 | 3,39 | 25,9 | 7,44 | 0,81 | 0,28 | 0,17 | 14,4 | <0,02 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | N | 940 | 0,68 | <0,1 | 3,58 | 2,67 | 32,2 | 7,62 | 3,05 | 0,20 | 0,26 | 12,5 | 0,23 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | O | 250 | 3,25 | <0,1 | 5,50 | 9,19 | 123 | 8,03 | 15,3 | 1,42 | 3,30 | 26,6 | 0,83 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | S | 185 | 1,83 | <0,1 | 3,80 | 2,78 | 18,0 | 7,07 | 2,42 | 0,22 | 0,35 | 8,10 | 0,27 |
| 08.07.1994 | 02.08.1994 | W | 1020 | 0,70 | 0,23 | 2,18 | 2,36 | 27,6 | 7,39 | 3,29 | 0,18 | 0,33 | 8,83 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | N | 652 | 0,72 | <0,1 | 2,81 | 2,34 | 35,2 | 7,48 | 0,29 | 0,15 | 0,16 | 14,7 | <0,02 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | O | 330 | 1,03 | <0,1 | 2,77 | 3,93 | 67,0 | 7,94 | 0,78 | 0,34 | 0,37 | 27,6 | 0,26 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | S | 35 | 6,42 | <0,1 | 5,39 | 2,90 | 14,7 | 6,68 | 1,78 | 0,51 | 1,30 | 8,78 | 0,41 |
| 02.08.1994 | 30.08.1994 | W | 1015 | 0,46 | <0,1 | 2,06 | 1,78 | 35,5 | 7,48 | 0,42 | 0,38 | 0,11 | 14,1 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | N | 790 | 0,84 | <0,1 | 2,04 | 2,15 | 41,2 | 7,67 | 0,43 | 0,12 | 0,10 | 14,9 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | O | 450 | 1,84 | <0,1 | 1,98 | 4,98 | 78,6 | 7,98 | 1,09 | 0,32 | 0,21 | 27,2 | 0,24 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | S | 65 | 4,15 | 0,40 | 2,21 | 2,16 | 15,8 | 6,98 | 3,60 | 0,32 | 0,31 | 6,75 | <0,02 |
| 30.08.1994 | 03.10.1994 | W | 1010 | 0,64 | <0,1 | 2,80 | 2,24 | 36,1 | 7,59 | 0,49 | 0,22 | <0,1 | 13,5 | <0,02 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | N | 280 | 0,50 | 0,15 | 3,25 | 5,81 | 61,3 | 7,84 | 1,41 | 0,24 | 0,31 | 20,8 | 0,20 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | O | 65 | 2,98 | 0,33 | 6,12 | 22,7 | 94,1 | 8,13 | 4,48 | 0,75 | 1,78 | 36,7 | 0,50 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | S | 15 | 12,4 | <0,1 | 1,90 | 9,28 | 105 | 8,00 | 24,9 | 1,57 | 4,42 | 13,4 | 0,81 |
| 03.10.1994 | 26.10.1994 | W | 1000 | 0,39 | <0,1 | 1,83 | 1,46 | 36,8 | 7,70 | 0,24 | 0,17 | 0,13 | 12,3 | <0,02 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen, Auerkalk (Fortsetzung)

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | N | 1100 | 1,86 | <0,1 | 1,27 | 1,86 | 61,7 | 7,74 | 1,33 | 0,89 | 0,48 | 10,3 | 4,37 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | O | 180 | 1,46 | 1,32 | 1,78 | 5,06 | 69,0 | 7,90 | 0,13 | 0,64 | 0,29 | 25,40 | 0,27 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | S | 45 | 3,19 | <0,1 | 2,36 | 2,92 | 15,0 | 6,77 | 0,32 | 0,65 | 0,47 | 6,57 | <0,02 |
| 26.10.1994 | 23.11.1994 | W | 1145 | 0,32 | <0,1 | 1,39 | 1,50 | 48,7 | 7,70 | 0,11 | 0,51 | 0,13 | 15,2 | <0,02 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | N | 440 | 1,34 | <0,1 | 1,95 | 2,76 | 53,7 | 7,72 | 0,27 | 0,55 | 0,12 | 20,5 | 0,19 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | O | 230 | 0,60 | <0,1 | 1,79 | 2,85 | 53,1 | 7,79 | 0,11 | 0,31 | <0,1 | 19,8 | 0,12 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | S | 40 | 1,52 | <0,1 | 1,96 | 3,07 | 17,0 | 5,83 | 0,29 | 0,40 | 0,11 | 7,41 | 0,14 |
| 23.11.1994 | 19.12.1994 | W | 270 | 0,67 | <0,1 | 2,01 | 2,85 | 44,0 | 7,72 | 0,20 | 0,34 | <0,1 | 16,9 | 0,11 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | N | 820 | 0,62 | <0,1 | 2,81 | 3,30 | 34,3 | 7,51 | 0,54 | 0,40 | 0,17 | 13,1 | 0,08 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | O | 210 | 1,01 | <0,1 | 1,89 | 7,46 | 44,2 | 7,55 | 0,37 | 0,26 | 0,23 | 20,0 | 0,11 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | S | 20 | 6,60 | 1,51 | 2,23 | 2,30 | 80,8 | 7,70 | 0,31 | 1,03 | 0,59 | 30,6 | 0,29 |
| 19.12.1994 | 18.01.1995 | W | 665 | 0,83 | <0,1 | 1,07 | 1,49 | 24,7 | 7,14 | 0,29 | 0,39 | 0,14 | 9,17 | 0,07 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | N | 640 | 0,84 | <0,1 | 1,79 | 3,06 | 83,0 | 8,12 | 0,26 | 0,39 | 0,11 | 29,5 | 0,17 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | O | 375 | 1,10 | <0,1 | 0,53 | 1,97 | 18,6 | 7,09 | 0,08 | 0,39 | 0,12 | 8,19 | 0,08 |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 18.01.1995 | 14.02.1995 | W | 330 | 0,66 | <0,1 | 1,12 | 1,00 | 47,8 | 7,68 | 0,24 | 0,38 | <0,1 | 17,0 | 0,08 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | N | 560 | 0,59 | <0,1 | 2,02 | 1,80 | 82,2 | 8,00 | 0,37 | 0,23 | 0,17 | 27,7 | 0,14 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | O | 41 | 7,93 | <0,1 | 3,46 | 12,2 | 86,7 | 7,67 | 0,43 | 0,83 | 0,55 | 37,2 | 0,30 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | S | 70 | 2,96 | <0,1 | <0,2 | 2,54 | 71,9 | 7,39 | 0,03 | 0,49 | 0,27 | 27,2 | 0,16 |
| 14.02.1995 | 16.03.1995 | W | 555 | 0,66 | <0,1 | 1,14 | 1,12 | 89,0 | 7,89 | 1,11 | 0,23 | 0,35 | 27,6 | 0,14 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | N | 1050 | 0,49 | <0,1 | 4,83 | 3,74 | 84,2 | 8,04 | 0,09 | 0,49 | 0,10 | 31,2 | 0,19 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | O | 760 | 0,91 | <0,1 | 10,7 | 7,32 | 86,6 | 7,93 | 0,04 | 0,75 | 0,30 | 34,2 | 0,27 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | S | 410 | 1,12 | <0,1 | 3,46 | 5,04 | 57,7 | 7,74 | 1,15 | 0,51 | 0,26 | 21,3 | 0,17 |
| 16.03.1995 | 12.04.1995 | W | 1520 | 0,53 | <0,1 | 2,63 | 2,45 | 37,5 | 7,65 | 0,76 | 0,39 | 0,10 | 13,9 | 0,13 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | N | 157 | 0,66 | 0,24 | 9,79 | 10,9 | 75,9 | 7,58 | 1,30 | 0,80 | 0,30 | 29,8 | 0,56 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | O | 740 | 0,25 | 0,12 | 5,62 | 8,76 | 88,0 | 8,15 | 0,45 | 0,52 | 0,25 | 38,1 | 0,30 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | S | 1145 | 0,31 | 0,13 | 2,43 | 5,46 | 31,5 | 7,45 | 0,02 | 0,34 | 0,21 | 18,5 | 0,14 |
| 12.04.1995 | 17.05.1995 | W | 1150 | 0,29 | <0,1 | 0,30 | 2,79 | 38,7 | 7,64 | 0,45 | 0,26 | 0,17 | 14,5 | 0,14 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | N | 570 | 1,31 | <0,1 | 2,90 | 3,70 | 62,8 | 7,89 | 4,22 | 1,13 | 0,65 | 19,8 | 0,24 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | O | 1160 | 0,92 | <0,1 | 2,30 | 3,94 | 79,2 | 8,07 | 0,28 | 0,76 | 0,17 | 29,4 | 0,19 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | S | 280 | 0,49 | <0,1 | 2,98 | 3,00 | 34,1 | 7,47 | 0,35 | 0,86 | 0,45 | 13,1 | 0,21 |
| 17.05.1995 | 19.06.1995 | W | 1170 | 0,94 | <0,1 | 2,67 | 2,34 | 42,3 | 7,75 | 0,26 | 0,76 | 0,15 | 15,7 | 0,11 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | N | 680 | 0,85 | <0,1 | 3,60 | 4,52 | 53,8 | 7,34 | 0,46 | 0,41 | 0,23 | 21,2 | 0,19 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | O | 540 | 1,33 | <0,1 | <0,2 | 6,21 | 55,3 | 7,72 | 0,08 | 0,57 | 0,65 | 20,9 | 0,18 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | S | 310 | 0,79 | <0,1 | 1,63 | 3,55 | 51,6 | 7,58 | 0,04 | 0,39 | 0,20 | 19,5 | 0,17 |
| 19.06.1995 | 23.08.1995 | W | 1820 | 0,54 | <0,1 | 2,11 | 2,48 | 25,1 | 7,06 | 0,63 | 0,36 | 0,22 | 9,38 | 0,16 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | N | 410 | 0,94 | <0,1 | 2,36 | 2,34 | 55,7 | 7,65 | 0,85 | 0,50 | 0,13 | 18,5 | 0,16 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | O | 290 | 1,40 | <0,1 | 2,62 | 3,98 | 66,3 | 7,55 | 3,02 | 0,72 | 0,50 | 20,8 | 0,27 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | S | 470 | 0,71 | <0,1 | 2,21 | 1,63 | 31,9 | 6,88 | 0,85 | 0,38 | 0,12 | 10,7 | 0,15 |
| 23.08.1995 | 20.09.1995 | W | 1280 | 0,56 | <0,1 | 2,38 | 1,29 | 14,6 | 6,98 | 0,62 | 0,23 | 0,05 | 5,40 | 0,09 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | N | 540 | 0,54 | <0,1 | 1,71 | 1,66 | 64,4 | 7,87 | 0,32 | 0,39 | 0,05 | 22,3 | 0,13 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | O | 150 | 3,10 | <0,1 | 3,34 | 5,64 | 69,0 | 7,82 | 0,69 | 0,58 | 0,29 | 26,4 | 0,29 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | S | 45 | 8,63 | <0,1 | 8,04 | 4,40 | 27,8 | 7,45 | 2,36 | 0,68 | 0,77 | 24,6 | 0,27 |
| 20.09.1995 | 24.10.1995 | W | 330 | 1,36 | <0,1 | 4,65 | 2,50 | 58,9 | 7,88 | 0,93 | 0,40 | 0,12 | 22,6 | 0,16 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | N | 350 | 0,84 | <0,1 | 2,17 | 2,45 | 46,0 | 7,83 | 0,19 | 0,35 | <0,1 | 18,4 | 0,12 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | O | 780 | 0,53 | <0,1 | 0,92 | 2,14 | 58,5 | 7,81 | 0,17 | 0,35 | <0,1 | 21,2 | 0,17 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | S | 63 | 3,35 | <0,1 | 4,54 | 4,40 | 71,6 | 7,85 | 0,63 | 0,65 | 0,25 | 29,2 | 0,24 |
| 24.10.1995 | 23.11.1995 | W | 300 | 0,92 | <0,1 | 2,85 | 2,40 | 57,4 | 7,81 | 0,66 | 0,27 | <0,1 | 22,3 | 0,15 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | N | 190 | 1,15 | <0,1 | 2,07 | 4,67 | 56,6 | 7,91 | 0,29 | 0,56 | 0,11 | 22,4 | 0,14 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | O | 850 | 0,40 | <0,1 | 0,46 | 2,02 | 47,3 | 7,96 | 0,10 | 0,42 | <0,1 | 16,4 | 0,17 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | S | 50 | 2,90 | <0,1 | <0,2 | 9,70 | 37,9 | 7,72 | 0,43 | 0,79 | 0,23 | 25,5 | 0,20 |
| 23.11.1995 | 18.01.1996 | W | 260 | 0,59 | <0,1 | 1,70 | 1,82 | 53,5 | 7,95 | 0,25 | 0,41 | <0,1 | 18,1 | 0,11 |

Ablaufwasserdaten Holzkirchen**Auerkalk (Fortsetzung)**

Volumen in mL, Konzentrationen der Ionen in mg/L, kursive Werte: korrigiert oder ergänzt

| START | STOP | RICHT. | VOL. | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | pH | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------------|------------|--------|------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | N | 12 | 11,0 | <0,1 | 12,0 | 132 | 48,4 | 7,54 | 2,42 | 3,60 | 0,51 | 80,8 | 0,57 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | O | 200 | 4,14 | <0,1 | 7,01 | 38,6 | 29,0 | 7,48 | 1,47 | 2,33 | 0,15 | 36,6 | 0,22 |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 18.01.1996 | 19.02.1996 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | N | 8 | 25,8 | <0,1 | 13,5 | 60,5 | 77,5 | 7,76 | 1,00 | 5,24 | 0,66 | 69,0 | 0,62 |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | O | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | S | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 19.02.1996 | 13.03.1996 | W | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | N | 98 | 3,30 | <0,1 | 11,6 | 25,5 | 81,1 | 7,67 | 3,89 | 1,64 | 0,40 | 40,7 | 0,34 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | O | 360 | 2,72 | 0,97 | 5,25 | 21,7 | 125 | 7,71 | 4,91 | 1,68 | 0,59 | 47,4 | 0,42 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | S | 50 | 9,83 | <0,1 | 8,81 | 21,9 | 47,2 | 7,49 | 2,19 | 3,67 | 2,32 | 24,5 | 0,41 |
| 13.03.1996 | 10.04.1996 | W | 130 | 2,54 | <0,1 | 10,3 | 13,0 | 75,0 | 7,64 | 2,48 | 1,13 | 0,18 | 32,2 | 0,26 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | N | 17 | 6,20 | <0,1 | 18,2 | 22,2 | 64,3 | 7,45 | 2,26 | 1,63 | 1,04 | 35,8 | 0,37 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | O | 300 | 7,49 | <0,1 | 11,9 | 12,6 | 79,5 | 7,69 | 2,06 | 0,81 | 0,26 | 36,6 | 0,36 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | S | 100 | 1,71 | <0,1 | 6,60 | 6,34 | 81,2 | 7,66 | 7,13 | 0,65 | 0,78 | 24,0 | 0,27 |
| 10.04.1996 | 06.05.1996 | W | 15 | 10,0 | <0,1 | 11,6 | 20,6 | 63,4 | 7,48 | 3,32 | 1,58 | 1,02 | 34,7 | 0,41 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | N | 95 | 4,15 | <0,1 | 7,86 | 9,82 | 94,1 | 7,75 | 0,95 | 0,63 | 0,41 | 37,8 | 0,24 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | O | 725 | 0,62 | <0,1 | 2,80 | 5,70 | 76,9 | 7,86 | 0,59 | 0,43 | 0,19 | 27,8 | 0,18 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | S | 50 | 7,35 | <0,1 | 2,50 | 4,50 | 78,6 | 7,72 | 0,18 | 1,33 | 1,11 | 32,2 | 0,16 |
| 06.05.1996 | 29.05.1996 | W | 570 | 0,05 | <0,1 | 1,95 | 1,90 | 38,1 | 7,19 | 0,60 | 0,32 | 0,21 | 17,6 | 0,09 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | N | 700 | 1,61 | <0,1 | 4,45 | 4,82 | 57,8 | 7,50 | 2,93 | 0,43 | 0,39 | 20,3 | 0,18 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | O | 900 | 1,38 | <0,1 | 3,10 | 5,00 | 85,0 | 7,60 | 3,94 | 0,96 | 0,73 | 26,1 | 0,36 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | S | 800 | 0,99 | <0,1 | 3,64 | 2,97 | 35,0 | 7,45 | 0,81 | 0,32 | 0,21 | 13,8 | 0,13 |
| 29.05.1996 | 04.07.1996 | W | 1185 | 0,54 | <0,1 | 2,56 | 2,16 | 34,7 | 7,33 | 0,74 | 1,34 | 0,15 | 13,7 | 0,11 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | N | 850 | 1,42 | <0,1 | 2,11 | 2,70 | 57,9 | 7,69 | 1,75 | 0,36 | 0,52 | 19,0 | 0,17 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | O | 510 | 1,77 | <0,1 | 1,49 | 4,22 | 78,1 | 7,44 | 1,55 | 0,44 | 0,43 | 26,4 | 0,38 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | S | 300 | 3,09 | <0,1 | 1,86 | 1,53 | 16,2 | 7,22 | 0,43 | 0,23 | 0,31 | 9,96 | 0,13 |
| 04.07.1996 | 05.08.1996 | W | 715 | 0,52 | <0,1 | 1,74 | 1,95 | 37,6 | 7,13 | 1,30 | 0,29 | 0,33 | 12,0 | 0,11 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | N | 630 | 1,45 | <0,1 | 1,93 | 3,15 | 48,3 | 7,65 | 0,93 | 0,31 | 0,21 | 17,3 | 0,14 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | O | 1090 | 0,97 | 0,15 | 1,98 | 3,08 | 60,3 | 7,52 | 1,21 | 0,33 | 0,38 | 20,6 | 0,19 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | S | 365 | 2,62 | <0,1 | 4,37 | 5,62 | 49,6 | 7,76 | 1,04 | 0,35 | 0,31 | 19,5 | 0,19 |
| 05.08.1996 | 12.09.1996 | W | 885 | 0,68 | <0,1 | 2,09 | 1,58 | 21,9 | 7,34 | 0,65 | 0,26 | 0,13 | 8,39 | 0,08 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | N | 860 | 1,01 | <0,1 | 0,77 | 2,25 | 60,1 | 7,20 | 0,44 | 0,47 | 0,13 | 20,6 | 0,16 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | O | 860 | 0,93 | <0,1 | 0,56 | 3,42 | 76,4 | 7,71 | 0,59 | 0,30 | 0,10 | 25,4 | 0,19 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | S | 510 | 1,42 | 0,10 | 2,19 | 4,54 | 59,4 | 7,67 | 0,24 | 0,44 | 0,19 | 21,4 | 0,18 |
| 12.09.1996 | 09.10.1996 | W | 330 | 0,89 | <0,1 | 1,47 | 1,42 | 30,7 | 7,49 | 0,30 | 0,28 | 0,15 | 11,4 | 0,09 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | N | 480 | 1,66 | <0,1 | 0,93 | 2,45 | 56,4 | 7,76 | 0,14 | 0,21 | <0,1 | 20,5 | 0,11 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | O | 430 | 1,99 | <0,1 | 1,24 | 5,29 | 71,0 | 7,81 | 0,12 | 0,26 | <0,1 | 27,4 | 0,18 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | S | 500 | 2,27 | <0,1 | 3,01 | 5,28 | 62,4 | 7,64 | 1,32 | 0,42 | 0,50 | 22,6 | 0,21 |
| 09.10.1996 | 04.11.1996 | W | 250 | 2,71 | <0,1 | 1,67 | 2,04 | 51,6 | 7,76 | 0,32 | 0,21 | 0,13 | 19,4 | 0,16 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | N | 340 | 1,58 | <0,1 | 1,08 | 1,52 | 31,4 | 7,46 | 0,15 | 0,42 | 0,11 | 15,0 | 0,13 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | O | 290 | 1,96 | 0,27 | 1,63 | 5,72 | 59,4 | 7,83 | 0,13 | 0,33 | <0,1 | 24,0 | 0,21 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | S | 700 | 2,12 | <0,1 | 2,09 | 3,45 | 55,3 | 7,79 | 0,45 | 0,50 | 0,18 | 20,5 | 0,17 |
| 04.11.1996 | 03.12.1996 | W | 140 | 3,43 | <0,1 | 1,98 | 1,63 | 49,3 | 7,72 | 0,52 | 0,72 | 0,18 | 18,3 | 0,23 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | N | 10 | 19,9 | 0,50 | <0,2 | 29,7 | 77,4 | 7,16 | 0,30 | 4,75 | 0,30 | 51,5 | 0,53 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | O | 180 | 2,07 | 0,20 | 1,52 | 4,52 | 75,7 | 7,97 | 0,27 | 1,05 | 0,14 | 28,9 | 0,23 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | S | 310 | 1,87 | <0,1 | 1,59 | 4,03 | 42,7 | 8,04 | 0,10 | 0,82 | <0,1 | 17,8 | 0,19 |
| 03.12.1996 | 08.01.1997 | W | 10 | 17,4 | <0,1 | <0,2 | 6,91 | 69,5 | 7,58 | 0,10 | 4,85 | 0,52 | 34,6 | 0,40 |

A 5: Bohrkerne Duisburg

Alle Werte in mg/kg

Bestimmungsgrenzen:

| | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--|
| | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | | | | |
| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl⁻ | NO₃⁻ | SO₄²⁻ | NH₄⁺ | Na⁺ | K⁺ | Mg²⁺ | Ca²⁺ | |
| Sander Süd | cm | cm | cm | | | | | | | | | |
| 4290/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 29 | 17 | 84 | <10 | 34 | 57 | <10 | <10 | |
| 4290/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 32 | 19 | 159 | <10 | 36 | 69 | <10 | <10 | |
| 4290/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 31 | 19 | 220 | <10 | 37 | 74 | 14 | 23 | |
| 4290/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 29 | 18 | 133 | <10 | 35 | 65 | 10 | 16 | |
| 4290/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 33 | 18 | 94 | <10 | 38 | 63 | <10 | <10 | |
| 4290/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 29 | 16 | 78 | <10 | 34 | 56 | <10 | <10 | |
| 4290/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | 27 | 14 | 69 | <10 | 31 | 53 | <10 | <10 | |
| 4290/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 26 | 14 | 62 | <10 | 29 | 47 | <10 | <10 | |
| 4290/9 | 2,4 | 3,3 | 2,85 | 51 | 22 | 47 | <10 | 58 | 91 | <10 | <10 | |
| 4290/10 | 3,3 | 4,1 | 3,7 | 49 | 16 | 41 | <10 | 56 | 83 | <10 | <10 | |
| 4290/11 | 4,1 | 5,1 | 4,6 | 42 | 14 | 41 | <10 | 48 | 68 | <10 | <10 | |
| 4290/12 | 5,1 | 6,1 | 5,6 | 46 | 17 | 38 | <10 | 53 | 75 | <10 | <10 | |
| 4290/13 | 6,1 | 7,1 | 6,6 | 49 | 20 | 39 | <10 | 58 | 76 | <10 | <10 | |
| 4290/14 | 7,1 | 8,2 | 7,65 | 42 | 16 | 37 | <10 | 48 | 68 | <10 | <10 | |
| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl⁻ | NO₃⁻ | SO₄²⁻ | NH₄⁺ | Na⁺ | K⁺ | Mg²⁺ | Ca²⁺ | |
| Sander Ost | cm | cm | cm | | | | | | | | | |
| 4291/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 79 | 81 | 1215 | 58 | 75 | 93 | 221 | 213 | |
| 4291/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 68 | 64 | 537 | 45 | 58 | 75 | 74 | 51 | |
| 4291/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 56 | 47 | 207 | 29 | 59 | 65 | 22 | <10 | |
| 4291/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 38 | 28 | 133 | 20 | 44 | 34 | <10 | <10 | |
| 4291/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 31 | 15 | 144 | 15 | 45 | 49 | 11 | <10 | |
| 4291/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 26 | <10 | 537 | 16 | 50 | 48 | 43 | 85 | |
| 4291/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | 26 | <10 | 497 | 12 | 51 | 76 | 32 | 76 | |
| 4291/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 26 | <10 | 719 | 11 | 47 | 57 | 57 | 173 | |
| 4291/9 | 2,4 | 3,9 | 3,15 | 40 | <10 | 105 | <10 | 45 | 75 | 12 | <10 | |
| 4291/10 | 3,9 | 5,4 | 4,65 | 44 | <10 | 48 | <10 | 46 | 63 | <10 | <10 | |
| 4291/11 | 5,4 | 6,9 | 6,15 | 45 | <10 | 44 | <10 | 46 | 64 | 10 | <10 | |
| 4291/12 | 6,9 | 8,4 | 7,65 | 39 | <10 | 39 | <10 | 39 | 32 | <10 | <10 | |
| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl⁻ | NO₃⁻ | SO₄²⁻ | NH₄⁺ | Na⁺ | K⁺ | Mg²⁺ | Ca²⁺ | |
| Sander Nord | cm | cm | cm | | | | | | | | | |
| 4292/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 42 | 38 | 548 | <10 | 47 | 99 | 55 | 59 | |
| 4292/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 41 | 33 | 353 | <10 | 45 | 77 | 31 | 29 | |
| 4292/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 38 | 28 | 204 | <10 | 44 | 68 | 15 | 13 | |
| 4292/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 34 | 24 | 117 | <10 | 42 | 58 | <10 | <10 | |
| 4292/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 31 | 18 | 83 | <10 | 37 | 49 | <10 | <10 | |
| 4292/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 27 | 17 | 74 | <10 | 34 | 39 | <10 | <10 | |
| 4292/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | 27 | 13 | 64 | <10 | 32 | 39 | <10 | <10 | |
| 4292/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 29 | 14 | 59 | <10 | 34 | 44 | <10 | <10 | |
| 4292/9 | 2,4 | 3,4 | 2,9 | 45 | <10 | 49 | <10 | 51 | 67 | <10 | <10 | |
| 4292/10 | 3,4 | 4,4 | 3,9 | 50 | 19 | 46 | <10 | 55 | 67 | <10 | <10 | |
| 4292/11 | 4,4 | 5,4 | 4,9 | 49 | 16 | 44 | <10 | 47 | 58 | <10 | <10 | |
| 4292/12 | 5,4 | 6,4 | 5,9 | 43 | 15 | 37 | <10 | 42 | 58 | <10 | <10 | |
| 4292/13 | 6,4 | 7,9 | 7,15 | 46 | 19 | 44 | <10 | 50 | 62 | <10 | <10 | |
| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl⁻ | NO₃⁻ | SO₄²⁻ | NH₄⁺ | Na⁺ | K⁺ | Mg²⁺ | Ca²⁺ | |
| Sander West | cm | cm | cm | | | | | | | | | |
| 4293/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 38 | 24 | 854 | 55 | 48 | 67 | 110 | 187 | |
| 4293/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 35 | 23 | 447 | 45 | 42 | 46 | 55 | 54 | |
| 4293/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 34 | 22 | 278 | 36 | 44 | 40 | 31 | <10 | |
| 4293/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 35 | 19 | 136 | 24 | 46 | 44 | 12 | <10 | |
| 4293/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 27 | 14 | 92 | 17 | 38 | 28 | <10 | <10 | |
| 4293/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 25 | <10 | 73 | 12 | 34 | 56 | <10 | <10 | |
| 4293/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | 24 | <10 | 62 | <10 | 38 | 49 | <10 | <10 | |
| 4293/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 21 | <10 | 59 | <10 | 33 | 36 | <10 | <10 | |
| 4293/9 | 2,4 | 2,9 | 2,65 | 20 | <10 | 49 | <10 | 28 | 17 | <10 | <10 | |
| 4293/10 | 2,9 | 4,4 | 3,65 | 48 | <10 | 46 | 17 | 54 | 58 | <10 | <10 | |
| 4293/11 | 4,4 | 5,9 | 5,15 | 47 | 16 | 43 | <10 | 50 | 52 | <10 | <10 | |

Bohrkerne Duisburg (Fortsetzung)

Alle Werte in mg/kg

| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
|---------------|-----|-----|-------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| Ihrler Süd | cm | cm | cm | | | | | | | | |
| 4294/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 11 | <10 | 139 | <10 | 11 | 70 | 45 | 376 |
| 4294/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 10 | <10 | 67 | <10 | <10 | 48 | 40 | 326 |
| 4294/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 11 | <10 | 70 | <10 | <10 | 64 | 38 | 345 |
| 4294/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 12 | <10 | 68 | <10 | 10 | 43 | 42 | 333 |
| 4294/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 12 | <10 | 71 | <10 | <10 | 40 | 39 | 316 |
| 4294/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 12 | <10 | 65 | <10 | <10 | 63 | 42 | 331 |
| 4294/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | 14 | 16 | 60 | <10 | 10 | 41 | 46 | 336 |
| 4294/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 14 | 15 | 46 | <10 | <10 | 57 | 45 | 317 |
| 4294/9 | 2,4 | 3 | 2,7 | 13 | <10 | 40 | <10 | <10 | 65 | 44 | 326 |
| 4294/10 | 3 | 4 | 3,5 | <10 | 10 | 28 | <10 | <10 | 32 | 48 | 313 |
| 4294/11 | 4 | 5 | 4,5 | 10 | <10 | 27 | <10 | <10 | 29 | 50 | 285 |
| 4294/12 | 5 | 6 | 5,5 | 33 | 23 | 36 | <10 | 12 | 170 | 71 | 294 |
| 4294/13 | 6 | 7 | 6,5 | 29 | 19 | 35 | <10 | 12 | 228 | 71 | 309 |

| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
|---------------|-----|-----|-------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| Ihrler Ost | cm | cm | cm | | | | | | | | |
| 4295/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 24 | 68 | 2034 | <10 | 20 | 79 | 148 | 860 |
| 4295/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 23 | 52 | 332 | <10 | 17 | 64 | 86 | 340 |
| 4295/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 16 | 37 | 104 | <10 | 16 | 55 | 68 | 278 |
| 4295/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 12 | 34 | 88 | <10 | 14 | 65 | 70 | 268 |
| 4295/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 13 | 31 | 96 | <10 | 13 | 61 | 69 | 283 |
| 4295/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 12 | 32 | 94 | <10 | 14 | 63 | 74 | 295 |
| 4295/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | 15 | 33 | 112 | <10 | 14 | 61 | 71 | 294 |
| 4295/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 13 | 27 | 75 | <10 | 12 | 57 | 69 | 287 |
| 4295/9 | 2,4 | 3 | 2,7 | 14 | 21 | 51 | <10 | 12 | 50 | 67 | 274 |
| 4295/10 | 3 | 4,5 | 3,75 | 27 | 25 | 40 | <10 | 16 | 347 | 88 | 288 |
| 4295/11 | 4,5 | 6 | 5,25 | 28 | 26 | 36 | <10 | 16 | 335 | 86 | 280 |
| 4295/12 | 6 | 7,2 | 6,6 | 41 | 42 | 40 | <10 | 23 | 440 | 94 | 294 |
| 4295/13 | 7,2 | 8,6 | 7,9 | 25 | 29 | 39 | <10 | 16 | 367 | 84 | 282 |

| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
|---------------|-----|-----|-------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| Ihrler Nord | cm | cm | cm | | | | | | | | |
| 4296/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 32 | 58 | 567 | <10 | 22 | 67 | 128 | 434 |
| 4296/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 28 | 47 | 108 | <10 | 21 | 60 | 102 | 320 |
| 4296/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 24 | 33 | 88 | <10 | 19 | 65 | 94 | 314 |
| 4296/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 23 | 30 | 77 | <10 | 17 | 61 | 91 | 306 |
| 4296/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 19 | <10 | 57 | <10 | 15 | 61 | 84 | 300 |
| 4296/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 15 | 16 | 43 | <10 | 12 | 52 | 75 | 294 |
| 4296/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | <10 | 10 | 38 | <10 | 17 | 65 | 74 | 286 |
| 4296/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | <10 | 10 | 36 | <10 | 13 | 59 | 72 | 296 |
| 4296/9 | 2,4 | 3,4 | 2,9 | 28 | 21 | 44 | <10 | 21 | 515 | 80 | 301 |
| 4296/10 | 3,4 | 4,4 | 3,9 | 28 | 20 | 41 | <10 | 20 | 519 | 76 | 304 |
| 4296/11 | 4,4 | 5,4 | 4,9 | 41 | 38 | 42 | <10 | 23 | 682 | 80 | 287 |
| 4296/12 | 5,4 | 7,4 | 6,4 | 29 | 28 | <10 | <10 | 21 | 409 | 75 | 301 |

| Probe/Scheibe | von | bis | Tiefe | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
|---------------|-----|-----|-------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| Ihrler West | cm | cm | cm | | | | | | | | |
| 4297/1 | 0 | 0,3 | 0,15 | 16 | 33 | 618 | <10 | <10 | <10 | 74 | 517 |
| 4297/2 | 0,3 | 0,6 | 0,45 | 16 | 31 | 137 | <10 | <10 | <10 | 63 | 356 |
| 4297/3 | 0,6 | 0,9 | 0,75 | 14 | 28 | 94 | <10 | <10 | 76 | 63 | 343 |
| 4297/4 | 0,9 | 1,2 | 1,05 | 25 | 29 | 92 | <10 | 15 | 43 | 64 | 334 |
| 4297/5 | 1,2 | 1,5 | 1,35 | 12 | 24 | 72 | <10 | <10 | 50 | 62 | 321 |
| 4297/6 | 1,5 | 1,8 | 1,65 | 13 | 19 | 54 | <10 | <10 | <10 | 59 | 319 |
| 4297/7 | 1,8 | 2,1 | 1,95 | 11 | 15 | 46 | <10 | <10 | <10 | 61 | 323 |
| 4297/8 | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 9 | 13 | 47 | <10 | <10 | <10 | 63 | 316 |
| 4297/9 | 2,4 | 3,5 | 2,95 | 22 | 13 | 43 | <10 | 11 | 327 | 85 | 333 |
| 4297/10 | 3,5 | 5 | 4,25 | 18 | 11 | 36 | <10 | <10 | 314 | 87 | 315 |
| 4297/11 | 5 | 6,5 | 5,75 | 22 | 17 | 36 | <10 | 11 | 317 | 99 | 343 |

A 6: Ablaufwasser- und Depositionsdaten Süderende**Ablaufwasserdaten**

WND: Beprobung der Ziegelwand, REF: Referenzprobennehmer aus PMMA

| Bez. | Start | Stop | Vol. mL | Cl ⁻ mg/L | NO ₃ ⁻ mg/L | SO ₄ ²⁻ mg/L | HCO ₃ ⁻ mg/L | Na ⁺ mg/L | K ⁺ mg/L | Ca ²⁺ mg/L | Mg ²⁺ mg/L |
|------|----------|----------|------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| WND | 18.03.94 | 13.04.94 | 113 | 107,7 | 7,5 | 38,0 | 127,1 | 52,6 | 3,1 | 72,6 | 4,1 |
| REF | 18.03.94 | 13.04.94 | 465 | 52,6 | 5,8 | 15,7 | 5,9 | 28,5 | 1,3 | 5,6 | 3,6 |
| WND | 05.08.94 | 15.09.94 | 730 | 120,8 | 48,1 | 72,2 | 152,3 | 55,2 | 6,6 | 117,6 | 3,5 |
| REF | 05.08.94 | 15.09.94 | 1045 | 35,5 | 1,6 | 69,4 | 74,1 | 22,1 | 3,3 | 49,4 | 2,7 |
| WND | 15.09.94 | 23.11.94 | 355 | 112,4 | 31,2 | 64,2 | 145,7 | 53,6 | 4,7 | 97,0 | 3,8 |
| REF | 15.09.94 | 23.11.94 | 1050 | 55,4 | 0,05 | 14,7 | 42,7 | 32,2 | 1,7 | 15,1 | 4,1 |
| WND | 23.11.94 | 15.12.94 | 310 | 106,8 | 39,5 | 65,4 | 91,7 | 55,3 | 3,6 | 76,2 | 3,8 |
| REF | 23.11.94 | 15.12.94 | 1050 | 40,3 | 5,7 | 10,8 | 13,7 | 23,3 | 1,0 | 9,1 | 3,0 |
| WND | 21.02.95 | 16.03.95 | 200 | 155,2 | 51,3 | 62,1 | 34,1 | 69,2 | 3,9 | 69,4 | 4,4 |
| REF | 21.02.95 | 16.03.95 | 1115 | 54,3 | 4,0 | 12,8 | 3,2 | 30,0 | 1,4 | 3,8 | 4,0 |
| WND | 16.03.95 | 21.07.95 | 70 | 574,9 | 1,7 | 224,2 | 183,3 | 273,8 | 20,7 | 180,0 | 20,1 |
| REF | 16.03.95 | 21.07.95 | 725 | 74,2 | 0,05 | 28,1 | 47,8 | 43,7 | 2,3 | 24,2 | 5,2 |

Depositionsdaten

Ziegel neu, voreluiert, Steine eluiert mit je 25mL deionisiertem Wasser, Werte in mg/L

| Start | Stop | Richtung | Nr. | Chlorid | Nitrat | Sulfat |
|----------|----------|----------|-----|---------|--------|--------|
| 09.05.94 | 23.11.94 | N | 1 | 7,9 | 8,4 | 41,0 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | N | 2 | 133,0 | 21,1 | 75,8 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | N | 3 | 468,4 | 110,1 | 207,2 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | N | 4 | 57,4 | 11,0 | 40,2 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | W | 1 | 152,5 | 24,3 | 107,4 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | W | 2 | 27,8 | 10,2 | 48,2 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | W | 3 | 275,1 | 86,5 | 118,3 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | W | 4 | 51,6 | 16,2 | 66,9 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | S | 1 | 87,8 | 15,5 | 61,9 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | S | 2 | 184,7 | 27,9 | 92,5 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | S | 3 | 102,7 | 17,7 | 57,8 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | S | 4 | 221,7 | 31,0 | 107,9 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | E | 1 | 66,5 | 19,3 | 44,3 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | E | 2 | 8,5 | 6,5 | 25,7 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | E | 3 | 25,1 | 12,8 | 45,5 |
| 09.05.94 | 23.11.94 | E | 4 | 34,5 | 13,4 | 41,2 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | N | 1 | 239,2 | 30,0 | 103,6 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | N | 2 | 284,9 | 28,4 | 125,2 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | N | 3 | 512,2 | 55,3 | 192,4 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | N | 4 | 99,5 | 15,0 | 76,0 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | W | 1 | 226,0 | 33,0 | 127,5 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | W | 2 | 228,9 | 66,4 | 156,41 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | W | 3 | 362,4 | 52,4 | 178,9 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | W | 4 | 455,0 | 59,0 | 221,1 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | S | 1 | 175,5 | 20,8 | 97,8 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | S | 2 | 215,2 | 23,1 | 105,8 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | S | 3 | 396,4 | 50,3 | 168,2 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | S | 4 | 162,4 | 24,0 | 89,6 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | E | 1 | --- | --- | --- |
| 09.05.94 | 23.02.95 | E | 2 | 28,7 | 10,3 | 54,9 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | E | 3 | 154,3 | 22,0 | 90,6 |
| 09.05.94 | 23.02.95 | E | 4 | 92,4 | 17,9 | 65,9 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | N | 1 | 1004,8 | 77,8 | 309,1 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | N | 2 | 356,3 | 31,8 | 135,8 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | N | 3 | 492,0 | 48,2 | 164,9 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | N | 4 | 1070,8 | 68,1 | 330,6 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | W | 1 | 96,0 | 19,6 | 90,5 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | W | 2 | 243,2 | 68,8 | 138,4 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | W | 3 | 130,2 | 26,1 | 114,4 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | W | 4 | 104,1 | 21,8 | 98,6 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | S | 1 | 408,4 | 47,0 | 172,1 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | S | 2 | 214,7 | 29,6 | 127,9 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | S | 3 | 799,6 | 66,3 | 278,0 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | S | 4 | 455,9 | 49,7 | 175,9 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | E | 1 | 985,2 | 102,4 | 374,3 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | E | 2 | 193,4 | 37,5 | 153,2 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | E | 3 | 721,0 | 78,9 | 315,8 |
| 09.05.94 | 21.07.95 | E | 4 | 207,4 | 40,9 | 141,2 |

Bereits erschienen:

- Bd. 1 - 3 Dannecker, W.; Düwel, U. (1986):** Schadstoffbilanzierung an Müllverbrennungsanlagen mit Abgasreinigungen, 693 Seiten.
- Bd. 4 Sperling, M. (1986):** Optimierung der Anregungsbedingungen in einem induktiv gekoppelten Plasma für die Atomemissionsspektrometrie, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 235 Seiten.
- Bd. 5 Meyberg, F.-B. (1986):** Anwendung der Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma zur Elementbestimmung in umweltrelevanten Proben, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 138 Seiten.
- Bd. 6 Thalmann, B. (1987):** Untersuchungen zur Verbesserung der Emissionsmeßtechnik von Gasen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 177 Seiten.
- Bd. 7 Dannecker, W.; Berger, K.; Steimle, K.; Thalmann, B. (1988):** Abscheidung von PCDD, PCDF, PAH sowie von ökotoxischen Elementen und Verbindungen aus Reingasen von Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe aktivierter Kokse, 238 Seiten.
- Bd. 8 Dannecker, W.; Au, M.; Stechmann, H. (1988):** Bilanzierung des Eintrags von Schadelementen aus der Luft und durch den Kraftfahrzeugverkehr über die Straßen in das Sielsystem von Hamburg, 184 Seiten.
- Bd. 9 Berger, K. (1990):** Untersuchungen zur Probenahme von ökotoxischen Metallen und Halbmetallen aus Rauchgasen unter besonderer Berücksichtigung des filtergängigen Anteils, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 193 Seiten.
- Bd. 10 Bochert, U.-K. (1991):** Echtzeit-Elementanalytik von Aerosolen mittels ICP-angeregter Atomemissionsspektrometrie und ihre Anwendung auf arbeitsschutzrelevante Stäube und Rauche, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 132 Seiten.
- Bd. 11 Steiger, M. (1991):** Die anthropogenen und natürlichen Quellen urbaner und mariner Aerosole, charakterisiert und quantifiziert durch Multielementanalyse und chemische Receptormodelle, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 249 Seiten.
- Bd. 12 Schwikowski-Gigar, M. (1991):** Untersuchungen der Konzentrationen von Spurenstoffen - insbesondere Stickstoffverbindungen - in der Atmosphäre und im Niederschlag zur Abschätzung des Eintrags in die Nordsee, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 138 Seiten.
- Bd. 13 Stoffregen, J. (1991):** Charakterisierung der Immissionsituationen von Kulturbauten und Gesteinsprüfkörpern in verschiedenen Orten Deutschlands mit Hilfe mobiler und stationärer Meßstationen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 123 Seiten.
- Bd. 14 Schröder, B. (1991):** Organische Spurenstoffe in Immissionen sowie in Gesteinsproben historischer Natursteinbauten, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 161 Seiten.
- Bd. 15 Kriews, M. (1992):** Charakterisierung mariner Aerosole in der Deutschen Bucht sowie Prozeßstudien zum Verhalten von Spurenmetallen beim Übergang Atmosphäre/Meerwasser, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 236 Seiten.
- Bd. 16 Mangels, H. (1992):** Konzeption, Aufbau und Betrieb einer Simulationsanlage für komplexe Schadgasatmosphären sowie Untersuchungen zur Verwitterung von Naturwerksteinen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 186 Seiten.
- Bd. 17 Schulz, M. (1993):** Räumliche und zeitliche Verteilung atmosphärischer Einträge von Spurenelementen in die Nordsee, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 191 Seiten.
- Bd. 18 Krause, P. (1993):** Entwicklung von Anwendungsmöglichkeiten der ICP-MS und der Laser ICP-MS in der Umweltanalytik, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 157 Seiten.

- Bd. 19** **Hamester, M. (1993):** Minimierung von Störeinflüssen bei der Anwendung der ICP-Atommassenspektrometrie in der Spurenanalytik, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 128 Seiten.
- Bd. 20** **Stechmann, H. (1993):** Charakterisierung kraftfahrzeugspezifischer partikelförmiger Emissionen und Quantifizierung ihrer Beiträge zu Aerosolen und Gewässerverunreinigungen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 191 Seiten.
- Bd. 21** **Selke, K. (1994):** Untersuchung des atmosphärischen Eintrages organischer Spurenstoffe in die Nordsee am Beispiel polychlorierter Biphenyle und Hexachlorcyclohexane, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 150 Seiten.
- Bd. 22** **Wittenburg, C. (1994):** Trockene Schadgas- und Partikeldeposition auf verschiedene Sandsteinvarietäten unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Einflußgrößen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 137 Seiten.
- Bd. 23** **Schmolke, S. (1994):** Der Einfluß physikalischer und chemischer Randbedingungen auf die Variabilität von atmosphärischen Partikelgrößenverteilungen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 134 Seiten.
- Bd. 24** **Neumann, H.-H. (1994):** Aufbau, Ausbildung und Verbreitung schwarzer Gipskrusten, dünner schwarzer Schichten und Schalen sowie damit zusammenhängender Gefügeschäden an Bauwerken aus Naturstein, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 263 Seiten.
- Bd. 25** **Ulrich, A. (1994):** Elektrothermische Verflüchtigungseinheit zur Analyse flüssiger und fester Stoffe mit der ICP-MS, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 253 Seiten.
- Bd. 26** **Waßmann, A. (1995):** Charakterisierung der organischen, elementaren und carbonatischen Kohlenstoffkomponenten im urbanen Aerosol sowie in Gesteins- und Krustenproben von Kulturbauten, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 144 Seiten.
- Bd. 27** **Schmidt, D. (1995):** Untersuchungen zu einer weitergehenden Rauchgasreinigung mit Braunkohlen-Aktivkoksen an Abfallverbrennungsanlagen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 151 Seiten.
- Bd. 28** **Grodten, T. (1995):** Minderung monoaromatischer und chloriert monoaromatischer Kohlenwasserstoffemissionen an Abfallverbrennungsanlagen durch Einsatz der Aktivkokstechnik, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 149 Seiten.
- Bd. 29** **Behlen, A. (1996):** Reaktive Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre - Konzentrationsbestimmung und trockene Deposition auf Natursteine, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 207 Seiten.
- Bd. 30** **Bredthauer, U. (1996):** Einsatz der Fließinjektionsanalyse in Verbindung mit der GFAAS zur Schwermetallbestimmung im Spuren- und Ultraspurenbereich in umweltrelevanten Proben, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 198 Seiten.
- Bd. 31** **Rebers, A. (1997):** Deposition von luftgetragenen Schadstoffen über See sowie Entwicklung eines Sammel- und Analysengerätes für marine Naßdeposition, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 209 Seiten.
- Bd. 32** **Kerl, W. (1998):** Ultraspuren- und Isotopenanalyse langlebiger Radionuklide mittels doppelfokussierender Sektorfeld-ICP-Massenspektrometrie, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 122 Seiten.
- Bd. 33** **Richter, U. (1998):** Entwicklung von Anwendungsmöglichkeiten der Slurry-GFAAS und Slurry-ETV-ICP-MS in der Umwelttechnik, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 126 Seiten.
- Bd. 34** **Haupt, O. (1999):** Röntgenfluoreszenzanalyse von Aerosolen und Entwicklung eines automatisierten Probenahme- und Analysensystems, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 237 Seiten.

- Bd. 35** Dannecker, W., Haupt, O. (1999): Entwicklung eines Direktanalysensystems für Stäube auf Filtern, *Abschlußbericht über FE-Vorhaben Nr.01 VQ 9512 des BMBF*, 123 Seiten.
- Bd. 36** Giehning, S. (1999): Aufbau und Einsatz eines Formaldehyd-Meßsystems zur kontinuierlichen Bestimmung von Immissionskonzentrationen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 167 Seiten.
- Bd. 37** Plate, E. (2000): Variabilität der Zusammensetzung anorganischer Aerosole – insbesondere der reaktiven Stickstoffverbindungen – in küstennahen Gebieten der Nordsee und Ostsee, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 215 Seiten.
- Bd. 38** Gerwig, H. (2000): Austausch und Transport luftgetragener schwerflüchtiger chlororganischer Verbindungen in Norddeutschland und über See, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 148 Seiten.
- Bd. 39** Zeunert, A. (2000): Feuchtekontrollierte Röntgendiffraktometrie – Entwicklung und Anwendung zur Untersuchung verwitterungsrelevanter Salze und Salzsyste-me, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 131 Seiten.
- Bd. 40** Wiese, U. (2000): Chemisch-physikalische Untersuchungen zur Deposition von Schwefeldioxid auf Gesteinsproben und anderen Absorberoberflächen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 129 Seiten.
- Bd. 41** Schäfer, C. (1999): Untersuchungen der Elementgehalte luftgetragener Stäube mittels Röntgenfluoreszenzspektrometrie, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 123 Seiten.
- Bd. 42** Röhrli, A. (2000): Vorkommen und Entstehung von Dicarbonsäuren in troposphärischen Aerosolen unterschiedlicher Prägung, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 131 Seiten.
- Bd. 43** Klaue, B. (2001): Charakterisierung und Quantifizierung kristalliner Phasen in urbanen Aerosolen unter besonderer Berücksichtigung der Hygroskopizität sekundärer Ammoniumsalze, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 276 Seiten.
- Bd. 44** Beyer, R. (2001): Charakterisierung von binären und ternären Elektrolytsystemen mit Anionen organischer Säuren – Wasseraktivitätsmessungen und thermodynamische Modellierung, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 140 Seiten.
- Bd. 45** Wieberneit, N. (2001): Einsatz der ICP-Massenspektrometrie zur Multielementbestimmung in biologischen Proben, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 132 Seiten.
- Bd. 46** Harmel, R. (2001): Einsatz der energiedispersiven Röntgenfluoreszenzspektrometrie zur Untersuchung kleiner Substanzmengen staubförmiger Proben, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 149 Seiten.
- Bd. 47** Tamm, S. (2002): Bestimmung der räumlichen und zeitlichen Variabilität reaktiver Stickstoffverbindungen im marinen Aerosol küstenferner Gebiete der Nordsee, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 178 Seiten.
- Bd. 48** Schäfer, M. (2002): Entwicklungen und Modifizierungen von Methoden zur Bestimmung von Element-Tiefenprofilen in Sedimentgesteinen, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 244 Seiten.
- Bd. 49** Willers, U. (2002): Chemische und physikalische Schadensprozesse an mineralischen Baustoffen – Untersuchungen an originären und schutzmittelbehandelten Prüfkörpern, *Diss. Fachbereich Chemie der Universität Hamburg*, 161 Seiten.