

# Handbuch zur Betriebsanalytik auf Kläranlagen

Barbara Cybulski // Gert Schwentner

4. Auflage  
2023

## Impressum

Deutsche Vereinigung für  
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef, Deutschland

Tel.: +49 2242 872-333

Fax: +49 2242 872-100

E-Mail: [info@dwa.de](mailto:info@dwa.de)

Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

### **4. Auflage:**

Juli 2023

### **Satz:**

Inhalt: Dipl. Designer Parys Cybulski ([parys@mac.com](mailto:parys@mac.com)),  
Umschlag: Christiane Krieg, DWA

### **Druck:**

Druckhaus Köthen GmbH & Co KG

### **ISBN:**

978-3-88721-487-6

© 3. Auflage, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2017

© 1.-2. Auflage, F. Hirthammer Verlag GmbH, Oberhaching/München

Alle Rechte, insbesondere die der **Übersetzung** in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

# Vorwort

Die Abwasserbranche insgesamt und besonders die Betreiber von mittleren und kleineren Kläranlagen sind von Fachkräftemangel und zunehmender Arbeitsbelastung betroffen. Zudem werden mit den stetig wachsenden Anforderungen an die Abwasserreinigung und Schlammbehandlung auch die zu bewältigenden Aufgaben in der Abwasseranalytik immer umfangreicher.

Vor diesem Hintergrund ist es besonders wichtig, dass das Betriebspersonal, wo immer möglich, auf Hilfestellung und Unterstützung in seiner täglichen Arbeit zurückgreifen kann. Deshalb wurde im vorliegenden „Handbuch zur Betriebsanalytik auf Kläranlagen“ auf eine übersichtliche und prägnante Beschreibung der wichtigsten Analysemethoden besonders geachtet. Insbesondere den Auszubildenden sowie Neu- und Quereinsteigern wird dadurch ein schneller Zugang zu den Analysemethoden und einer qualitätsgesicherten Eigenkontrolle (nach Arbeitsblatt DWA-A 704) ermöglicht.

Die Analyseergebnisse versetzen das Betriebspersonal erst in die Lage, die Funktionalität der ihnen anvertrauten Anlagen zu beurteilen und diese sowohl verfahrenstechnisch als auch wirtschaftlich optimal zu betreiben. Eine nachvollziehbare Arbeitsweise und die richtige und gleichermaßen gewissenhafte Anwendung der beschriebenen Analysemethoden bilden hierfür eine unverzichtbare Grundlage.

Die verschiedenen Analysemethoden wurden bis heute soweit perfektioniert, dass das Betriebspersonal der Kläranlagen bei der richtigen Durchführung und Anwendung der einschlägigen Qualitätssicherungsmaßnahmen den Vergleich mit den Referenzlaboratorien nicht zu scheuen braucht.

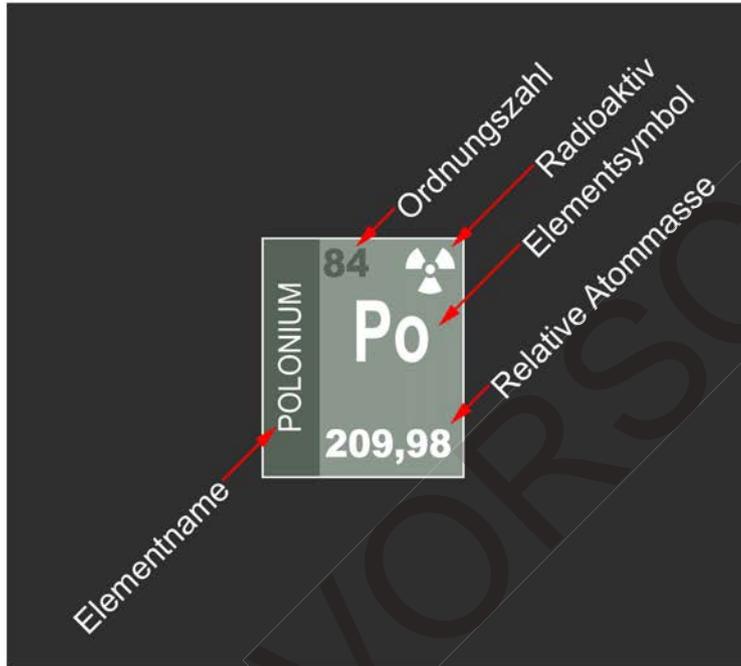
September 2023

**B. Cybulski**

**G. Schwentner**

# Periodensystem der Elemente

002



-  Alkalimetalle
-  Erdalkalimetalle
-  Übergangsmetalle
-  Lanthanoide / Actinoide
-  Metalle
-  Nichtmetalle
-  Halogene
-  Edelgase

| HAUPTGRUPPEN |                           | NEBENGRUPPEN              |                                |                              |                         |                           |                          |                           |                           |                            |                          | HAUPTGRUPPEN                |                             |                          |                         |                          | HELIUM                     | 18<br>0                   |                           |                      |                      |  |           |  |             |           |                         |                           |                          |                         |                          |                         |                        |                          |                         |                       |                    |                       |
|--------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|--|-----------|--|-------------|-----------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 1<br>IA      |                           | 2<br>II A                 |                                | 3<br>III B                   |                         |                           | 4<br>IV B                |                           | 5<br>V B                  |                            | 6<br>VI B                |                             | 7<br>VII B                  |                          | 8<br>VIII B             |                          | 9<br>VIII B                |                           | 10<br>VIII B              |                      | 11<br>IB             |  | 12<br>IIB |  | 13<br>III A | 14<br>IVA | 15<br>VA                | 16<br>VIA                 | 17<br>VII A              | HELIUM                  |                          |                         |                        |                          |                         |                       |                    |                       |
| 1            | WASSERSTOFF<br>H<br>1,008 |                           |                                |                              |                         |                           |                          |                           |                           |                            |                          |                             |                             |                          |                         | BOR<br>B<br>10,811       | KOHLENSTOFF<br>C<br>12,011 | STICKSTOFF<br>N<br>14,007 | SÄUERSTOFF<br>O<br>15,999 | FLUOR<br>F<br>18,998 | NEON<br>Ne<br>20,180 |  |           |  |             |           |                         | ALUMINIUM<br>Al<br>26,982 | SILICIUM<br>Si<br>28,086 | PHOSPHOR<br>P<br>30,974 | SCHWEFEL<br>S<br>32,065  | CHLOR<br>Cl<br>35,453   | ARGON<br>Ar<br>39,948  |                          |                         |                       |                    |                       |
| 2            | LITHIUM<br>Li<br>6,941    | BERYLLIUM<br>Be<br>9,012  |                                |                              |                         |                           |                          |                           |                           |                            |                          |                             |                             |                          |                         |                          |                            |                           |                           |                      |                      |  |           |  |             |           | GALLIUM<br>Ga<br>69,723 | GERMANIUM<br>Ge<br>72,64  | ARSEN<br>As<br>74,922    | SELEN<br>Se<br>78,96    | BROM<br>Br<br>79,904     | KRYPTON<br>Kr<br>83,798 |                        |                          |                         |                       |                    |                       |
| 3            | NATRIUM<br>Na<br>22,990   | MAGNESIUM<br>Mg<br>24,305 |                                |                              |                         |                           |                          |                           |                           |                            |                          |                             |                             |                          |                         |                          |                            |                           |                           |                      |                      |  |           |  |             |           |                         |                           |                          |                         |                          |                         | INDIUM<br>In<br>114,82 | ZINN<br>Sn<br>118,71     | ANTIMON<br>Sb<br>121,76 | TELUR<br>Te<br>127,60 | JOD<br>I<br>126,90 | XENON<br>Xe<br>131,29 |
| 4            | KALIUM<br>K<br>39,098     | CALCIUM<br>Ca<br>40,078   | SCANDIUM<br>Sc<br>44,956       | TITAN<br>Ti<br>47,867        | VANADIUM<br>V<br>50,942 | CHROM<br>Cr<br>51,996     | MANGAN<br>Mn<br>54,938   | EISEN<br>Fe<br>55,845     | COBALT<br>Co<br>58,933    | NICKEL<br>Ni<br>58,693     | KUPFER<br>Cu<br>63,546   | ZINK<br>Zn<br>65,39         | GALLIUM<br>Ga<br>69,723     | GERMANIUM<br>Ge<br>72,64 | ARSEN<br>As<br>74,922   | SELEN<br>Se<br>78,96     | BROM<br>Br<br>79,904       | KRYPTON<br>Kr<br>83,798   |                           |                      |                      |  |           |  |             |           |                         |                           |                          |                         | THALLIUM<br>Tl<br>204,38 | BLEI<br>Pb<br>207,2     | BISMUT<br>Bi<br>208,98 | POLONIUM<br>Po<br>209,98 | ASTAT<br>At<br>209,99   | RADON<br>Rn<br>222,02 |                    |                       |
| 5            | RUBIDIUM<br>Rb<br>85,468  | STRONTIUM<br>Sr<br>87,62  | YTRITIUM<br>Y<br>88,906        | ZIRKONIUM<br>Zr<br>91,224    | NIUBIUM<br>Nb<br>92,906 | MOLYBDÄN<br>Mo<br>95,94   | TECHNETIUM<br>Tc<br>(98) | RUTHENIUM<br>Ru<br>101,07 | RHODIUM<br>Rh<br>102,91   | PALLADIUM<br>Pd<br>106,42  | SILBER<br>Ag<br>107,87   | CADMIUM<br>Cd<br>112,41     | INDIUM<br>In<br>114,82      | ZINN<br>Sn<br>118,71     | ANTIMON<br>Sb<br>121,76 | TELUR<br>Te<br>127,60    | JOD<br>I<br>126,90         | XENON<br>Xe<br>131,29     |                           |                      |                      |  |           |  |             |           |                         |                           |                          |                         |                          |                         |                        |                          |                         |                       |                    |                       |
| 6            | CÄSIUM<br>Cs<br>132,91    | BARIUM<br>Ba<br>137,327   | LANTHANOIDE<br>La-Lu<br>89-103 | HAFNIUM<br>Hf<br>178,49      | TANTAL<br>Ta<br>180,95  | WOLFRÄM<br>W<br>183,84    | RHENIUM<br>Re<br>186,21  | OSMIUM<br>Os<br>190,23    | IRIDIUM<br>Ir<br>192,22   | PLATIN<br>Pt<br>195,08     | GOLD<br>Au<br>196,97     | QUECKSILBER<br>Hg<br>200,59 | THALLIUM<br>Tl<br>204,38    | BLEI<br>Pb<br>207,2      | BISMUT<br>Bi<br>208,98  | POLONIUM<br>Po<br>209,98 | ASTAT<br>At<br>209,99      | RADON<br>Rn<br>222,02     |                           |                      |                      |  |           |  |             |           |                         |                           |                          |                         |                          |                         |                        |                          |                         |                       |                    |                       |
| 7            | FRANCIUM<br>Fr<br>(223)   | RADIUM<br>Ra<br>(226)     | ACTINOIDE<br>Ac-Lr<br>89-103   | RUTHERFORDIUM<br>Rf<br>(261) | DUBNIUM<br>Db<br>(262)  | SEABERGIUM<br>Sg<br>(263) | BOHRNIUM<br>Bh<br>(264)  | HASSIUM<br>Hs<br>(265)    | MEITNERIUM<br>Mt<br>(268) | UNUNNILIUM<br>Uun<br>(281) | UNUNNIUM<br>Uuu<br>(272) | UNUNBIUM<br>Uub<br>(285)    | UNUNQUADIUM<br>Uuq<br>(289) |                          |                         |                          |                            |                           |                           |                      |                      |  |           |  |             |           |                         |                           |                          |                         |                          |                         |                        |                          |                         |                       |                    |                       |

|                         |                         |                              |                        |                           |                          |                          |                            |                          |                            |                            |                        |                            |                          |                           |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 57                      | 58                      | 59                           | 60                     | 61                        | 62                       | 63                       | 64                         | 65                       | 66                         | 67                         | 68                     | 69                         | 70                       | 71                        |
| LANTHAN<br>La<br>138,91 | CER<br>Ce<br>140,12     | PRASEODYM<br>Pr<br>140,91    | NEODYM<br>Nd<br>144,24 | PROMETHIUM<br>Pm<br>(145) | SAMARIUM<br>Sm<br>150,36 | EUROPIUM<br>Eu<br>151,96 | GADOLINIUM<br>Gd<br>157,25 | TERBIUM<br>Tb<br>158,93  | DYSPROSIUM<br>Dy<br>162,50 | HOLMIUM<br>Ho<br>164,93    | ERBIUM<br>Er<br>167,26 | THULIUM<br>Tm<br>168,93    | YTERBIUM<br>Yb<br>173,04 | LUTETIUM<br>Lu<br>174,97  |
| 89                      | 90                      | 91                           | 92                     | 93                        | 94                       | 95                       | 96                         | 97                       | 98                         | 99                         | 100                    | 101                        | 102                      | 103                       |
| ACTINIUM<br>Ac<br>(227) | THORIUM<br>Th<br>232,04 | PROTACTINIUM<br>Pa<br>231,04 | URAN<br>U<br>238,03    | NEPTUNIUM<br>Np<br>(237)  | PLUTONIUM<br>Pu<br>(244) | AMERICIUM<br>Am<br>(243) | CURIUM<br>Cm<br>(247)      | BERKELIUM<br>Bk<br>(247) | CALIFORNIUM<br>Cf<br>(251) | EINSTEINIUM<br>Es<br>(252) | FERMIUM<br>Fm<br>(257) | MENDELEVIUM<br>Md<br>(258) | NOBELIUM<br>No<br>(259)  | LAWRENCIUM<br>Lr<br>(262) |

002 Periodensystem der Elemente

## ▶ 1 Allgemeine Hinweise zu Laborarbeiten

006 1.1 Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln im Labor

008 1.2 Probenahme auf Kläranlagen

016 1.3 Probenvorbehandlung

021 1.4 Pipettieren

025 1.5 Herstellen von Lösungen

028 1.6 Verdünnen von Wasserproben und Lösungen

032 1.7 Stamm- und Standardlösungen

## ▶ 2 Wassermessungen und Untersuchungen

036 2.1 pH-Wert

038 2.2 Elektrische Leitfähigkeit

041 2.3 Absetzbare Stoffe

042 2.4 Abfiltrierbare Stoffe

044 2.5 Sauerstoff gelöst

046 2.6 Wasserhärte

048 2.7 Dichte-Bestimmung mittels Pyknometer \*

050 2.8 Säurekapazität ( $K_{s_{\text{pH}4,3}}$ ) \*

053 2.9 Temperatur

054 2.10 Alkalität in Fällmitteln \*

|  |   |
|--|---|
| 056  | 2.11 Kaliumpermanganat-Verbrauch ( $\text{KMnO}_4$ ) *                                  |
| 059  | 2.12 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)  |
| 062  | 2.13 Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen( $\text{BSB}_5$ ) - Oxi-Top-Methode      |
| 064  | 2.14 Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen( $\text{BSB}_5$ ) - Verdünnungsmethode * |
| 067  | 2.15 Stickstoff gesamt ( $\text{TN}_b$ ) nach der Oxidation                             |
| 070  | 2.16 Nitrat-Stickstoff ( $\text{NO}_3$ -N)  |
| 072  | 2.17 Ammonium-Stickstoff ( $\text{NH}_4$ +N)  |
| 074  | 2.18 Nitrit-Stickstoff ( $\text{NO}_2$ -N)  |
| 076  | 2.19 Phosphor gesamt ( $\text{P}_{\text{ges}}$ )  |
| 078  | 2.20 Aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ )-Bestimmung in Fällmitteln *                         |
| 081  | 2.21 Chlorid( $\text{Cl}$ )-Bestimmung *  |
| 082  | 2.22 Eisen ( $\text{Fe}^{3+}$ )-Bestimmung in Fällmitteln *                             |
| <b>▶ 3 Schlammmessungen und Untersuchungen</b> |   |
| 084  | 3.1 Organische Säuren ( $\text{HAc}_{\text{eq}}$ ) im Schlamm                           |
| 086  | 3.2 Schlammvolumenanteil des Belebtschlammes (SV)                                       |
| 088  | 3.3 Trockensubstanz des Belebtschlammes (TS)  |
| 090  | 3.4 Schlammindex (ISV)  |
| 091  | 3.5 Glühverlust des Belebtschlammes (GV)  |
| 094  | 3.6 Trockenrückstand (TR) eines Schlammes   |
| 096  | 3.7 Glühverlust eines Schlammes (GV)  |
| 100  | * Begriffe (im Text mit * gekennzeichnet)   |
| 104  | Literatur   |

# 1.1 Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln im Labor

006

- Im Labor ist Essen, Trinken und Rauchen verboten.
- Ausgänge und Fluchtwege sind frei zu halten.
- Schutzkleidung (Schuhe, Arbeitsmantel und Schutzbrille) sind beim Arbeiten im Labor ständig zu tragen. Mit Chemikalien verschmutzte Kleidung sofort tauschen.
- Ordnung und Sauberkeit ist am Arbeitsplatz zu halten.
- Verbrauchte Reagenzien sind sachgerecht zu entsorgen.
- Laborabfälle für die Entsorgung in den bereitgestellten Gefäßen getrennt sammeln.
- Kontrolle der Not- und Augenduschen muss regelmäßig durchgeführt und dokumentiert werden.
- Chemikalien dürfen niemals in Behältern für Lebensmittel aufbewahrt werden.
- Um Verwechslungen zu vermeiden, müssen alle Chemikalienbehälter eindeutig beschriftet werden (Bezeichnung des Inhalts, Datum, Gefahrensymbol).
- Beim Verlassen des Labors Hände waschen und desinfizieren.
- Die Gefahrhinweise, Sicherheitsratschläge bei Gefahrstoffen und Betriebsanweisungen sind zu beachten.

## Dipl.-Ing. Chemie Barbara Cybulski

Laborleiterin und Betriebsleiterin im Klärwerk Pforzheim (1984 – 2017).

Lehrerin des DWA-Landesverbands Baden-Württemberg für chemisch ausgebildetes Fachpersonal (1994 – 2019).

Kursleiterin und Referentin: „Aufbaukurs Betriebsanalytik“ (1997 – 2002) und „Workshop-Betriebsanalytik“ (2002 – 2019).

Mitglied der Arbeitsgruppe DWA-A 704 bzw. AG KA-12.1 (2003 bzw. 2009 – 2017).

Gutachterin (DWA-Landesverband Baden-Württemberg) für die Auditierung von Betriebslaboratorien von kommunalen Abwasseranlagen (QE) (2004 – 2018).

Sie bearbeitete die Kapitel 1.4 - 2.11, 2.13 - 2.14, 2.21- 3.5

## Dipl.-Ing. Gert Schwentner

Studium Bauingenieurwesen und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Siedlungswasserbau an der Universität Stuttgart

Leiter der Abteilung Stadtentwässerung beim Bauamt der Stadt Sindelfingen (1993 - 2022)

Lehrer der Kläranlagen-Nachbarschaften des Landesverbands Baden-Württemberg (2000 - 2020)

Technischer Leiter der Kläranlagen-Nachbarschaften des Landesverbands Baden-Württemberg (2005 - 2021)

Er bearbeitete die Kapitel 2.12, 2.15 - 2.19

Gemeinsam wurden verfasst Kapitel 1.1 - 1-3, 3.6 - 4