

7. Hydrochemische Beurteilung von Grundwässern

Die Hydrochemie ist ein komplexes Wissenschaftsgebiet, in dem sich Erkenntnisse der verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen, so z. B. der Chemie, der Physik, der Mineralogie, der Geologie, der Biologie u. a., vereinen. Das natürliche Wasser ist ein Vielstoffgemisch, das vierdimensional (räumlich und zeitlich) betrachtet werden muß.

Dadurch wird eine Auswertung hydrochemischer Prozesse erschwert.

Die räumlich und zeitlich wechselnde Verteilung der gelösten Stoffe im Wasser ist abhängig von

- geologischen Faktoren, wie Ausbildung und Lagerungsverhältnisse der durch- bzw. umflossenen Gesteine, Einwirkungen fossiler Wässer
- hydrogeologische Faktoren, wie Niederschlag, Zu- und Abfluß
- physikalische Faktoren, wie Temperatur, Druck, Bewegung und evtl. optische Eigenschaften des Wassers, z. B. bei Oberflächenwasser
- chemische Faktoren, wie Lösungsvorgängen, Bildungs- und Fällungsreaktionen sowie Komplexbildungen
- biologische Faktoren, z. B. in Bodenzone und Oberflächenwässern

ALEKIN /1/ gibt nachstehende Übersicht über die wichtigsten physikalischen, chemischen und biochemischen Vorgänge im Gewässer:

physikalisch-chemische Vorgänge

1. Auflösung und Abscheidung fester Stoffe
2. Adsorption und Desorption von Gasen
3. Ionenaustausch an festen Stoffen

chemische Vorgänge

4. Redoxprozesse
5. Lösung unter Komplexbildung
6. Hydrolyse

biochemische Vorgänge

7. Mineralisierung organischer Stoffe
8. Photosynthese
9. biochemische Redoxvorgänge

Die Vielgestaltigkeit der Einflußfaktoren läßt eine umfassende Auswertung nicht zu. Ebenso sind die Darstellungsmöglichkeiten in chemischer Analysen vielseitig. Es kommt deshalb darauf an, die geeignetste Darstellungsform zu finden, die den größten Aussagewert besitzt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, daß Art und Umfang der Auswertung hydrochemischer Daten in Abhängigkeit von dem jeweiligen Untersuchungszweck zu sehen sind. Man kann nach GÄR-LING /5/ ganz allgemein unterscheiden:

1. Auswertung nach regionalen Gesichtspunkten, z. B. regionale Zusammensetzung des Wassers, Herkunft der Inhaltsstoffe usw.
2. Auswertung hinsichtlich störender bzw. schädigender Inhaltsstoffe des Wassers für einen bestimmten Verwendungszweck desselben
3. Auswertung nach speziell aufbereitungstechnischen Gesichtspunkten

Bei der Auswertung nach obengenannten Gesichtspunkten beschränkt sich häufig auf folgende Methoden:

1. Vergleich der Analysenergebnisse mit den jeweiligen Konditionen (Richtwerten usw.)
2. tabellarische, graphische und kartographische Darstellung einzelner bzw. mehrerer Inhaltsstoffe des Wassers
3. genetische Beurteilung des Wassers mittels Klassifizierung bzw. Typisierung
4. mathematische Auswertung

5. Beschreibung der Abweichungen von den Konditionen und deren evtl. Ursachen bzw. Beschreibung der regionalen Verteilung der Inhaltsstoffe des Wassers

Da die Auswertung hydrochemischer Daten i. e. S. in die Hand eines Hydrogeologen gehört, wird im Rahmen dieses Lehrbriefes nur auf die speziell dem Facharbeiter zufallenden Aufgaben eingegangen. Dazu gehören die Analysendarstellung sowie Vorarbeiten für die mathematische Auswertung, die Klassifizierung und die Typisierung, wobei die jeweilige Methodik oft vom hydrogeologischen Bearbeiter entsprechend der Zielstellung vorgegeben wird.

7.1. Methoden der Analysendarstellung

Es soll und kann nicht Aufgabe dieses Lehrbriefes sein, alle tabellarischen, graphischen und kartographischen Darstellungsformen zusammenfassend wiederzugeben.

Es wird nachstehend lediglich eine Auswahl getroffen, wobei z. B. die gebräuchlichsten vorgestellt werden. Dabei werden die im Anhang 4 aufgeführten Analysen zur Demonstration benutzt.

7.1.1. Tabellarische Darstellung

Bei Vorliegen mehrerer Analysen ist eine tabellarische Erfassung in jedem Fall zu empfehlen. Damit wird eine platz- und papiersparende Dokumentation sowie eine bessere Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse erreicht.

Im Kopf der Tabelle sind die einzelnen Analysenangaben nach Eigenschaften sowie Inhaltsstoffen und letztere nach Kationen und Anionen geordnet aufzuführen.

Die Analyseergebnisse sind dann nach Entnahmeteufe bzw. Grundwasserleiter, Bohrungs-Nr. bzw. Entnahmeraum sortiert untereinander anzuordnen.

Neben der Darstellung ganzer Analysen können dem jeweiligen Untersuchungszweck entsprechend einzelne Inhaltsstoffe tabellarisch gesondert erfaßt werden.

7.1.2. Graphische Darstellung

Graphische Darstellungen dienen hauptsächlich der Veranschaulichung und dem Erkennen von Abhängigkeiten. Die Vielzahl der in der Praxis bekannten Darstellungsformen läßt sich grundsätzlich in vier Gruppen zusammenfassen:

- Einzeldiagramme
- Sammeldiagramme
- Trenddiagramme
- Profile

7.1.2.1. Einzeldiagramme

In Einzeldiagrammen sind nur Werte der Analyse einer Wasserprobe darstellbar. Vergleiche mehrerer Proben können deshalb über Nebeneinanderstellung mehrerer Einzeldiagramme erfolgen. Es werden drei Arten von Einzeldiagrammen unterschieden:

- Säulendiagramme
- Kreisdiagramme
- Strahlendiagramme

Säulendiagramme

Es können Einzelwerte verschiedener Analysen, wie z. B. Cl^- oder KH, oder auch ganze Analysen in Säulen dargestellt werden. Letztere Form geht von den anteiligen Gehalten an Kationen und Anionen in absoluten Werten (mval l^{-1}) aus und setzt diese in Beziehung zur Säulenhöhe. Der Maßstab richtet sich dabei nach der Gesamtkonzentration, die das Maß der Gesamthöhe der Säule bestimmt. Bei Auftragung der Anteile in ‰ (mval ‰ oder mg ‰) ist die Säulenlänge verschiedener Analysen einheitlich. Kationen und Anionen werden getrennt nebeneinander dargestellt.

Kreisdiagramme

Neben verschiedenen Möglichkeiten hat sich besonders das Kreisdiagramm nach UDLUFT /17, 18/ durchgesetzt. Dabei werden die einzelnen Ionen als Kreisabschnitt dargestellt, deren Winkel der jeweiligen Konzentration in mval-‰ proportional sind. Im

oberen Halbkreis (100%) werden die Kationen, im unteren Halbkreis (100%) die Anionen dargestellt und durch Flächensignaturen unterschieden. Die Größe des Kreises verdeutlicht die Gesamtmineralisation, wobei der Radius $r = \sqrt{F/\pi}$ und die Fläche (F) proportional der Konzentration in mg l^{-1} sind. Weiterhin können undissoziierte gelöste Bestandteile, wie CO_2 , H_2S , O_2 u. ä., als Innen- und andere Merkmale, wie z. B. Temperatur, als Außenkreis flächentreu aufgetragen werden.

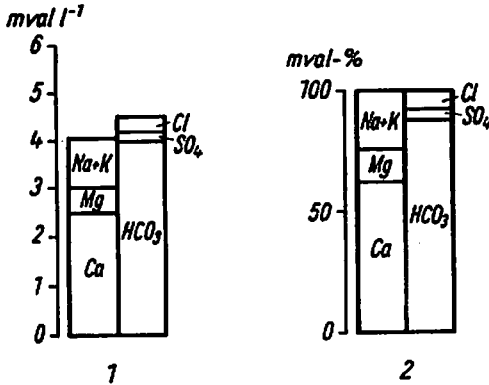


Bild 4. Säulendiagramme
Beispielanalyse 3
1 absolute Werte (Differenz zwischen den Säulenhöhen beruht auf Analysefehlern)
2 prozentuale Anteile

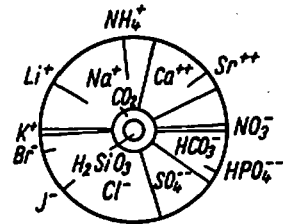


Bild 5. Kreisdiagramm nach UDLUFT
Beispielanalyse:
Johannesquelle - Bad Kösen

Auf Grund des verhältnismäßig hohen Aufwandes wird das UDLUFT-Diagramm in der Erkundung nur selten angewendet. Bei evtl. Bedarf ist die Handhabung der Spezialliteratur zu entnehmen.

Strahlendiagramme

Auf sich kreuzenden Achsen werden, vom Mittelpunkt ausgehend, die Konzentrationen einzelner Inhaltsstoffe bzw. von Ionenpaaren oder bestimmte Merkmale in mg , mval , mg-\% oder mval-\% aufgetragen. Bei mg- und mval- Angaben ist die Achsenlänge von der jeweiligen Konzentration und vom Maßstab abhängig; bei mg-\% bzw. mval-\% -Angaben ist die Achsenlänge einheitlich und entspricht 100%.

Die Strahlen können als Säulen der Vektorpfeile dargestellt werden, oder die geradlinige Verbindung der Endpunkte ergibt charakteristische Polygone. Die Anzahl der Strahlen ist theoretisch nicht begrenzt, liegt aber zwischen 4 und 6 (max. 16).

Im nachfolgenden Beispiel werden zwei brauchbare Arten von Strahlendiagrammen dargestellt, die auf $mval$ -Angaben basieren. Zusätzlich kann nach Bedarf die Größe der Kreisfläche die Gesamtkonzentration in $mval\ l^{-1}$ angeben (Kreisdiagramme) oder, wie im TICKEL-Diagramm, durch einen gesonderten Strahl in $mval\ l^{-1}$ dargestellt werden!

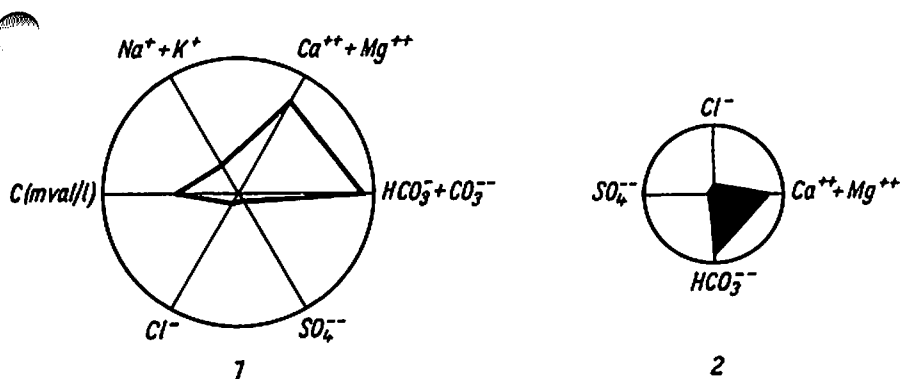


Bild 6. Strahlendiagramme
 Beispielanalyse 3
 1 TICKEL-Diagramm
 2 einfaches Strahlendiagramm
 C Gesamtmineralisation

7.1.2.2. Sammeldiagramme

Alle Analysen lassen sich direkt und schnell in einem Sammeldiagramm in einer Darstellung zusammenfassen und damit gut vergleichen. Diese Form eignet sich besonders für genetische, typisierende oder klassifizierende Aussagen.

Es existiert eine Vielzahl von Sammeldiagrammen, die alle auf die Grundform der

- Dreiecksdiagramme
- Quadratdiagramme
- Paralleldiagramme

zurückzuführen sind und sich oft nur in der Zu- und Anordnung der Koordinaten unterscheiden.

Oft werden auch kombinierte Diagramme verwendet, wodurch eine erhöhte Aussagekraft gewährleistet ist.

Dreiecksdiagramme

Durch den Vergleich zahlreicher Analysen in Dreiecksdiagrammen ist es möglich, "Außenseiter" bzw. den Streubereich zu erkennen. Außerdem gestattet die geradlinige Verbindung zweier Analysen oder Wertegruppen Aussagen über eingetretene Mischungen bzw. den evtl. gemeinsamen Ursprung der Wässer.

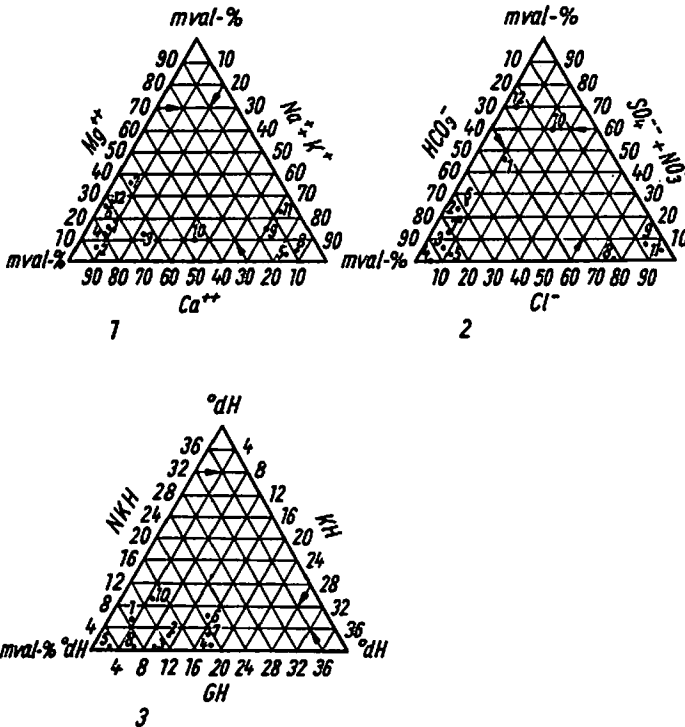


Bild 7. Dreieckdiagramme
Beispielanalysen 1 bis 12

1 Kationendreieck

2 Anionendreieck

3 Härte Dreieck (eventuell vorhandene scheinbare KH nicht darstellen, sondern $KH = GH$ setzen)

Die Darstellung erfolgt in gleichseitigen Dreiecken getrennt nach Anionen und Kationen, wobei die Konzentrationen der Ionen oder auch Ionengruppen in mval-% (seltener in mg-%) der Kationen- oder Anionensumme angegeben werden. Als besondere Darstellungsform kann das Härtedreieck nach SCHWILLE /16/ angesehen werden, wo an den Dreieckseiten die KH, GH und NKH in °dH angegeben werden.

Quadratdiagramme

Die gebräuchlichste Form der Quadratdiagramme geht davon aus, daß die Analysendaten in vier Gruppen geteilt werden:

- a) Alkalkationen (Na⁺, K⁺)
- b) Erdalkalkationen (Ca²⁺, Mg²⁺)
- c) Karbonatanionen (HCO₃⁻, CO₃²⁻)
- d) Nichtkarbonatanionen (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻)

Diese Ionengruppen werden in mval-% der Kationen- oder Anionensumme auf die Koordinaten aufgetragen.

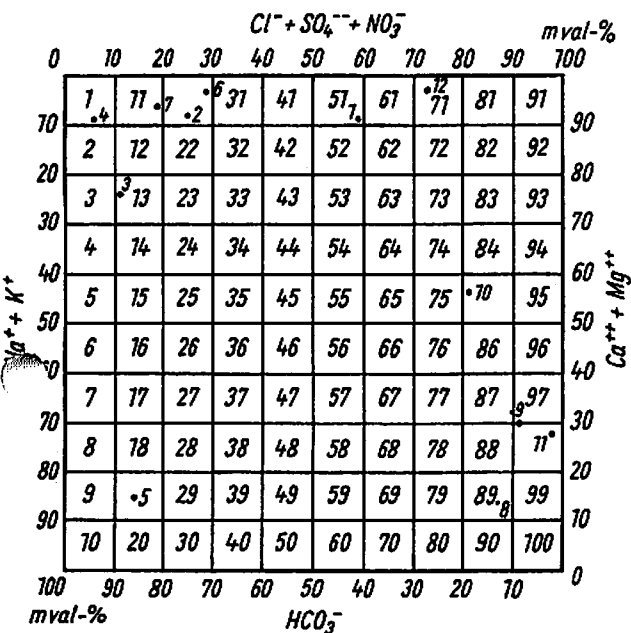


Bild 8
 Quadratdiagramm
 (Numerierung nach
 TOLSTICHIN)
 Beispielanalysen
 1 bis 12

Die prozentualen Anteile der beiden Anionengruppen werden gegenüberliegend angeordnet und senkrecht dazu ebenso die Kationengruppen.

Paralleldiagramme

Bei den Paralleldiagrammen werden Horizontal- und Vertikal-diagramme auf Grund der Anordnung der Achsen unterschieden. Nachstehend wird nur auf das Vertikal-diagramm eingegangen.

Die darzustellenden Analysenangaben werden von Achse zu Achse in gleichen Abständen auf der Abszisse abgetragen. Die Konzentrationsangaben erfolgen auf der Ordinate, wobei bei mval l^{-1} - oder mg l^{-1} -Angaben die Darstellung logarithmisch und bei mval-\% oder mg-\% linear vorzunehmen ist. Der Maßstab der Achsen einzelner Inhaltsstoffe kann unterschiedlich sein, z. B. bei stark voneinander abweichenden Konzentrationen. Die enthaltenen Punkte werden durch Geraden miteinander verbunden. Die Diagramme sind jederzeit um zusätzliche Komponenten erweiterungsfähig.

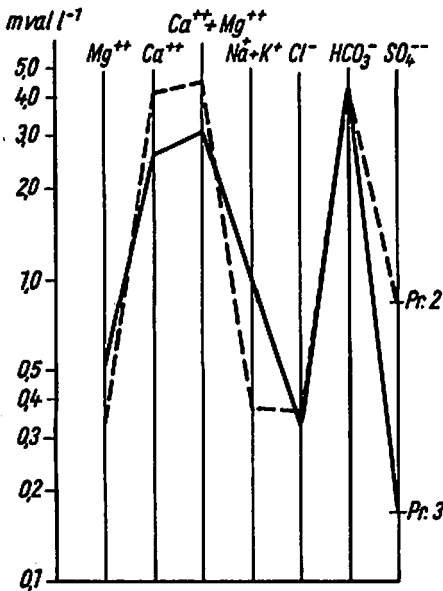


Bild 9
Paralleldiagramm
Beispielanalyse 2, 3

7.1.2.3. Trenddiagramme

Als weitere Gruppe der graphischen Analysendarstellung sind die Trenddiagramme aufzufassen.

In einem rechteckigen Koordinatensystem werden in Form von Ganglinien Zusammenhänge zwischen verschiedenen Größen veranschaulicht. Generell erfolgt die Darstellung linear. Bei großer Streuung der Werte ist allerdings auf eine logarithmische Einteilung zurückzugreifen. Trenddiagramme werden sehr häufig angewandt.

Meist werden ein oder mehrere Inhaltsstoffe in Beziehung zur Entnahmetiefe, zur Fördermenge, zur Entnahmedauer, zum Abfluß, zum Niederschlag oder ähnlichen Einflüssen gebracht.

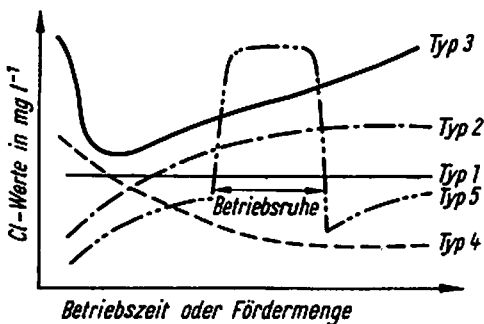


Bild 10
Trenddiagramm
Beispiel nach SCHLINKER
/14/

7.1.2.4. Profile

Eine besondere Form stellt das hydrochemische Profil dar. Neben den Beziehungen zwischen den Ionen in jedem einzelnen Punkt lassen sich auch durch die Kombination des hydrochemischen mit dem hydrogeologischen Profil gut räumliche Veränderungen darstellen.

Auf der Abszisse werden in einem geeigneten Maßstab die Entfernungen zwischen den einzelnen Probeentnahmepunkten abgetragen (statt Entfernung kann auch Tiefe oder Zeit dargestellt werden). Auf der Ordinate wird die Konzentration der Ionen in mval l^{-1} abgetragen. Dabei beginnt man in einer bestimmten

Reihenfolge mit den Anionen, und zwar von Null aus mit:
 $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^- \rightarrow \text{NO}_3^-$.

Die einzelnen Punkte werden durch eine Kurve verbunden. Die Fläche, die durch die Kurve und die Abszisse gebildet wird, schraffiert man einheitlich.

Nachdem im Profil die Anionen dargestellt sind, werden in gleicher Weise die Kationen in folgender Reihenfolge aufgetragen:
 $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{K}^+$.

Dabei werden nur die Flächen der Mg-Ionen schraffiert.

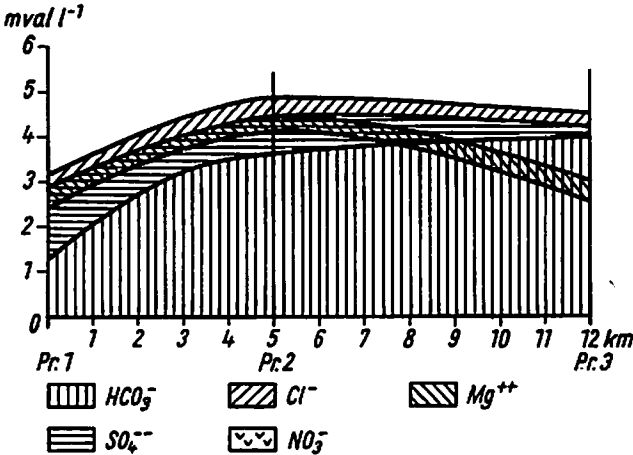


Bild 11
 Hydrochemisches
 Profil
 Reispielanalysen
 1, 2, 3

7.1.2.5. Kombinierte Diagramme

Die vorstehend genannten Diagrammdarstellungen können in vielfältiger Form miteinander kombiniert werden.

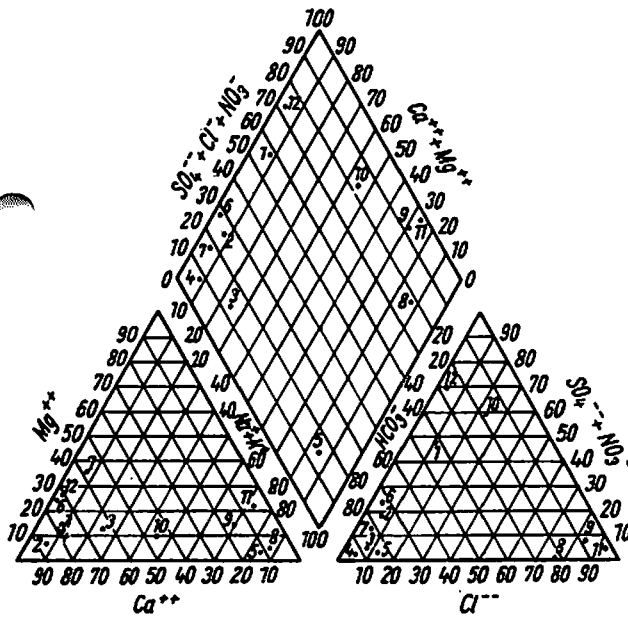
Besonders häufig werden ein oder mehrere Dreiecksdiagramme mit einem oder mehreren Quadratdiagrammen kombiniert. Dabei erhalten die aneinanderliegenden Seiten die gleiche Zuordnung und den gleichen Maßstab.

Eine ideale Kombination liegt in dem sogenannten PIPER-Diagramm vor, wo zwei Dreiecke an ein zu einem Rhombus verformten Vierstoffdiagramm gekoppelt sind (Bild 12, vgl. 7.2.).

Die Kombination von Drei- und Vierecken wird meist für Typisierungen und genetische Beurteilungen verwandt. Im Quadrat

bzw. Rhombus ist die Analyse als Summe mit einem Punkt darstellbar, während die genetisch wichtigen Verhältnisse $Ca^{2+} : Mg^{2+} : Na^+ + K^+$ und $SO_4^{2-} : Cl^- : HCO_3^-$

nur aus dem Dreieck hervorgehen.



(Angaben in mval-%)

Bild 12
Dreilineares
Diagramm
Beispielanalysen
1 bis 12

7.1.3. Kartographische Darstellung

Bei der kartographischen Darstellung können entweder Einzelkomponenten oder mehrere Komponenten sowie Grundwassertypen in punkt- oder flächenförmiger Darstellung aufgetragen werden. Dabei ist grundsätzlich zu beachten, daß die Proben nur einem Grundwasserstockwerk oder einer bestimmten Tiefe zugeordnet werden.

Sollte das nicht möglich sein, ist die Entnahmetiefe anzugeben.

7.1.3.1. Punktdarstellung

Die punktförmige Darstellung von Einzelkomponenten erfolgt am Probenahmepunkt in Form von Zahlen oder Symbolen (Kreise, Dreiecke, Quadrate, Säulen u. ä.), wobei die Größe der Symbole von der jeweiligen Konzentration abhängig ist.

Aus Platzgründen wird bei sehr stark schwankenden Konzentrationen die Symbolgröße mit wechselnder Form (z. B. 0 bis 5 mg l^{-1} Dreieck, 5 bis 10 mg l^{-1} Kreis usw.) gleichbleibend gewählt.

Die punktförmige Darstellung mehrerer Komponenten erfolgt am Probenahmepunkt durch Einzeldiagramme (vgl. 7.1.2.1.). Besonders bewährt hat sich wegen seiner guten Vergleichbarkeit das Strahlendiagramm mit den Hauptlösungsgenossen des Wasser...

7.1.3.2. Flächendarstellung

Bei der flächenmäßigen Darstellung werden Punkte gleicher Konzentration eines Inhaltsstoffes, z. B. Chlorid oder Härte, durch Isolinien verbunden. Dazu ist erforderlich, daß am Probenahmepunkt die Konzentration angegeben wird.

Die Zahlenangabe erfolgt mit Ausnahme von Spezialuntersuchungen auf volle Werte, d. h. ohne Kommastellen, gerundet.

Zwischen diesen Werten wird durch Interpolation der Durchgang der Isolinie ermittelt. Im allgemeinen gehört jedoch die Konstruktion des Isolinienplanes in die Hand eines erfahrenen Hydrogeologen, da eine gründliche Kenntnis der hydrogeologischen Situation (Grundwasserdynamik und -hydraulik, geologische Verhältnisse u. a. m.) und der wirksamen geochemischen Faktoren vorausgesetzt wird.

Zur besseren Anschaulichkeit können die Flächen zwischen den Isolinien farbig angelegt oder durch Schraffur und Signatur hervorgehoben werden.

Flächendarstellungen lassen in Kombination mit anderen Karten, z. B. Grundwasserdynamik, geologische Karte, Mächtigtkeits- oder Teufenkarte, Zusammenhänge besonders anschaulich erkennen.

7.1.4. Mathematische Auswertung

Neben den graphischen Methoden der Auswertung hydrochemischer Daten existieren auch mathematische Verfahren, die zu einer Objektivierung der Aussagen führen.

Auf Grund des Umfanges des Datenmaterials und der erforderlichen Rechenoperationen erfolgt die mathematische Datenverarbeitung weitestgehend mittels der EDVA nach statistischen und Wahrscheinlichkeitstheoretischen Gesichtspunkten.

Folgende statistische Verfahren können u. a. zur Anwendung kommen:

- Häufigkeitsverteilung
- Korrelationsanalyse
- Regressionsanalyse
- Trendanalyse
- Varianzanalyse
- Diskriminanzanalyse

Programme für diese Verfahren sind meist bei den Rechenzentren vorhanden. Die Auswahl der Methode und die Auswertung obliegt dem Hydrogeologen. Die Tätigkeit des Facharbeiters beschränkt sich auf die Zusammenstellung des Datenmaterials und evtl. Ausfüllen der Datenträger. Dabei ist auf peinlichste Beachtung der Ausfüllanweisung Wert zu legen.

Häufig ist auch eine Mittelwertberechnung von hydrochemischen Daten erforderlich, die bei im Rahmen bleibendem Datenanfall mit Hilfe von Rechenschieber, Hand- oder Tischrechnern durch den Facharbeiter vorgenommen werden. Mathematisch gesehen gibt es eine ganze Reihe verschiedener Mittelwertbildungen. Nachgehend sollen nur die beiden gebräuchlichsten genannt werden:

- arithmetisches Mittel
- gewogenes Mittel

Meist wird ein Mittelwert bestimmter Konzentrationen (K), bezogen auf die Anzahl (n) der Analysen und/oder auf bestimmte Geltungsbereiche (b), gefordert.

Die Durchschnittskonzentration kann errechnet werden als:

- arithmetisches Mittel

$$K = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n}{n}$$

- gewogenes Mittel

$$K = \frac{k_1 b_1 + k_2 b_2 + \dots + k_n b_n}{b_1 + b_2 + \dots + b_n}$$

7.2. Klassifizierung und Typisierung

Um die verschiedenen Wässer einordnen zu können, ist es zweckmäßig, sie nach bestimmten Gesichtspunkten einzuteilen, d. h. zu klassifizieren.

Dabei kann die Klassifizierung

- nach der Herkunft
- nach dem Lösungsinhalt
- nach der Nutzungsmöglichkeit

erfolgen.

Durch die Klassifizierung lassen sich genetische, geologische und hydraulische Zusammenhänge besser beschreiben und erkennen. Es werden Klassen, d. h. Gruppen mit gemeinsamen Merkmalen, ausgehalten. Eine weitgehende Klassifikation führt letztlich bei Zuordnung zu einer bestimmten Grundform mit definierten Eigenschaften (Typ) zur Typisierung.

Aus der Literatur sind viele Klassifizierungsmöglichkeiten bekannt, aber nur wenige Typisierungsversuche.

Das resultiert daraus, daß eine rein schematische Einteilung global möglich ist, die Typisierung jedoch meist nur lokalen Charakter haben wird.

Nachfolgend sollen drei Beispiele erläutert werden.

7.2.1. Klassifizierung

Am gebräuchlichsten ist die Einteilung nach der chemischen Zusammenstellung, wobei die Zuordnung schematisch oder nach chemischen Gesichtspunkten erfolgen kann.

Als schematische Klassifizierung ist die Unterteilung der Quadrat- und Dreieckdiagramme oder des Rhombus durch ein Koordinatennetz in gleichgroße Felder zu bezeichnen. Bei der Einteilung nach TOLSTICHIN wird das Quadrat in 100 Felder (10-mval- $\frac{1}{2}$ -Grenze) geteilt und durchnumeriert (Bild 8). Ebenso schematisch ist die Gliederung des Quadrates in 16 Felder (25-mval- $\frac{1}{2}$ -Grenze), was in etwa der Klassifikation nach ŠĆUKAREV /13/ entspricht.

Nach chemischen Gesichtspunkten sind die Klassifikationen nach PALMER /12/, SCHOELLER /15/, ALEKIN /1/ u. a. aufgebaut. Meist werden bestimmte Benennungsschemata oder Formeln aufgestellt. Eine gute Zusammenfassung der einzelnen Methoden geben MATTHESS /10/ und GARLING /5/.

Die einfachste Klassifizierung des Wassers geht von der Gesamtmineralisation aus, wobei es z. Z für die Festlegung der einzelnen Konzentrationsintervalle noch unterschiedliche Auffassungen gibt.

Nachstehend soll die Gliederung nach MÖLLER /11/ wiedergegeben werden.

Konzentration	Bezeichnung
0 ... 1 g l ⁻¹	Süßwasser
1 ... 36 g l ⁻¹	Salzwasser
36 ... 150 g l ⁻¹	geringkonzentrierte Salzlösungen
150 ... 280 g l ⁻¹	konzentrierte Salzlösungen
280 ... 360 g l ⁻¹	hochkonzentrierte Salzlösungen
> 360 g l ⁻¹	sehr hochkonzentrierte Salzlösungen

Nach DAVIS und DE WIEST /3/ werden Konzentrationen von 1 bis 10 g l⁻¹ als Brackwasser und > 10 g l⁻¹ als Sole bezeichnet.

Ein ebenfalls sehr einfaches, aber für Detailfragen wenig aussagekräftiges Klassifizierungsschema gibt ŠĆUKAREV /13/ an:

Von den Ionen Na^+ , (K^+) , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- und HCO_3^- (also den Hauptlösungsgegnossen des Wassers) werden alle die, die in einer Konzentration $> 25 \text{ mval-l}^{-1}$ vorliegen, in abnehmender Reihenfolge der Konzentration im Namen der Grundwasserklasse genannt. Dabei werden zuerst die Kationen und dann die Anionen angeführt. Dadurch entstehen Gruppen mit gemeinsamen Merkmalen - also Klassen.

Beispiel:

Analyse Nr. 1 $\text{Ca} - \text{SO}_4 - \text{HCO}_3^-$ Wasser

Analyse Nr. 5 $\text{Na} - \text{HCO}_3^-$ Wasser

Analyse Nr. 7 $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{HCO}_3^-$ Wasser

Analyse Nr. 8 $\text{Na} - \text{Cl}$ Wasser

7.2.2. Typisierung

Durch verschiedene Autoren werden häufig eine Anzahl bilateraler Relationen und Summenkonzentrationen der chemischen Komponenten zur Charakterisierung der spezifischen Besonderheiten in der chemischen Zusammensetzung sowie zur Klärung der Genese der Wasser angewandt. Die Vielzahl der Möglichkeiten ließ in der bisherigen Form jedoch keine komplexe Betrachtungsweise zu.

Aufbauend auf bekannten Beziehungen, legt H. LÖFFLER /9/ einen Typisierungsvorschlag für Grundwässer im Lockergesteinsbereich des norddeutschen Flachlandes vor, der die aussagekräftigen multilateralen Relationen berücksichtigt. Typisierungsmöglichkeiten für den Festgesteinbereich nach der gleichen Methode werden erkannt, wurden jedoch noch nicht klar abgegrenzt.

LÖFFLER geht von der Darstellung der Analyse im PIPER-Diagramm (vgl. 7.1.2.5. und Bild 12) aus und ordnet bestimmte Bereiche des Rhombus mit definierten Eigenschaften jeweils einem Grundwassertyp zu, der wiederum Aussagen über Genese und Alter des Grundwassers gestattet. Dabei ist zu beachten, daß zur näheren Beurteilung stets die Aussagen der Anionen- und Kationendreiecke mit heranzuziehen sind. Es gilt generell, daß das Anionendreieck Aussagen über die Genese des "oberflächennahen" Grund-

wassers gestattet, während das Kationendreieck eine eingehende Differenzierung der Tiefenwässer erlaubt.

Da die Allgemeingültigkeit dieses Typisierungsvorschlages noch nicht eindeutig nachgewiesen ist, würde eine Wiedergabe zu weit führen.

Eine Auswertung mit Hilfe des PIPER-Diagramms ist jedoch zu empfehlen, wobei der Hydrogeologe objektbezogen die gebiets-spezifischen Grundwassertypen aushalten muß. Dabei ist zu beachten, daß sich die Genauigkeit der Analyse auf die Lage der Analysenpunkte im Diagramm auswirkt. Deshalb sind Aussagen von fehlerhaften Analysen nicht überzubewerten.

Die Universalität der Darstellungsform des PIPER-Diagramms wird dadurch gekennzeichnet, daß fast alle bekannten chemischen Klassifizierungsmethoden, u. a. von TOLSTICHIN, PALMER und auch ŠČUKAREV, darstellbar sind.