

## Hydrochemische Typisierung

Aufbauend auf bekannten Beziehungen erfolgt eine hydrochemische Typisierung für Grundwasser im Lockergesteinsbereich des norddeutschen Flachlandes. Nach multilateralen Relationen werden Grundwassertypen in einem PIPER-Diagramm ausgehalten.

Hinweis: Der folgende Einzelbeitrag ist ein Auszug aus Löffler & Meinert "Ausgewählte Forschungs- und Erkundungsergebnisse auf dem Gebiet der Hydrogeologie in der DDR" in dem 2011 veröffentlichten Teil II der „Geschichte der Geowissenschaften in der DDR“ von M. Guntau, O. Hartmann, W. Pälchen, M. Störr (Schriftenreihe für Geowissenschaften Heft 18/2010).

## **Hydrochemische Typisierung für Grundwasser im Lockergesteinsbereich des norddeutschen Flachlandes**

**Horst Löffler**

### **Zusammenfassung**

Aufbauend auf bekannten bilateralen hydrochemischen Beziehungen erfolgt eine Typisierung für Grundwasser im Lockergesteinsbereich des norddeutschen Flachlandes. Nach multilateralen Relationen werden Grundwassertypen in einem PIPER-Diagramm ausgehalten, die wiederum Aussagen über Genese und Alter des Grundwassers gestatten.

Dieses Diagramm bietet den Vorteil, dass alle Beziehungen zwischen den anorganischen Hauptlösungsgenossen des Wassers dargestellt werden. Entsprechend der Bildungsbedingungen von unmittelbarem Einfluss der Neubildung (Versickerung, Uferfiltrat, Infiltrat), über einen zeitlich sehr langen Fließweg (Abflussbehinderung, Stagnation) bis hin zu „geogenen“ Tiefenwässern wird Grundwasser beziffert in sieben Typen unterschieden.

### **Abstract**

Based on known bilateral relations a standardisation of groundwater types is carried out for the unconsolidated rock area in the Northern German plains. After multilateral relations groundwater types are presented in a PIPER diagram which conclusions allow about the origin and the age of the groundwater. This chart has the advantage that all relations between the main inorganic solute components of the water are presented.

Accordingly the formation conditions varying from direct influence by recharge (seepage, bank filtration, infiltration), a time very long flow path (runoff obstruction, stagnation) to “geogenic” deep waters groundwater is distinguished in seven types.

### **Einleitung**

Den „hydrochemischen Teil“ von hydrogeologischen Berichten bildeten in der DDR in den 50er und 60er Jahren mehr Ausführungen zur Wassergüte (Vergleich mit vorgegebenen Konditionen) als hydrochemische Auswertungen. Die Darstellung der Analyseergebnisse erfolgte nicht einheitlich und in der Regel nur beschreibend in diversen tabellarischen, graphischen und kartographischen Darstellungsformen. Im Rahmen der erforderlichen Verbesserung der Erkundungsmethodik wurde deshalb im VEB Hydrogeologie die Studie „Methodik der hydrochemischen Auswertung“ erstellt.

Nachdem F. GARLING (1970) den Teil I vorgelegt hatte, sollte ein Teil II die Zusammenfassung der wichtigsten hydrochemischen Interpretations- und Auswerteverfahren geben (F. GARLING 1971).

Parallel erarbeitete H. LÖFFLER (1972) eine hydrochemische Typisierung für Grundwasser im Lockergesteinsbereich des norddeutschen Flachlandes (Mecklenburg-Vorpommern). Nach multilateralen Relationen der Hauptlösungsgenossen wurden Bereiche in einem PIPER-Diagramm jeweils einem Grundwassertyp zugeordnet, der wiederum Aussagen über Genese und Alter des Grundwassers gestattet. Eine Bewertung der Typisierung erfolgte in Arbeiten von I. ALBRECHT et al (1974, 1975, 1976, 1978) und wurde in den Methodika für das Festgestein sowie das Lockergestein richtungsweisend fixiert (N. Meinert et al 1974, 1978).

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

- nach Herkunft
- nach dem Lösungsinhalt

- nach der Nutzungsmöglichkeit erfolgen.

Durch die Klassifizierung lassen sich genetische, geologische und hydraulische Zusammenhänge besser erkennen und beschreiben. 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 genetisch bedingt jedoch meist nur lokalen und bedingt regionalen Charakter haben wird.

LÖFFLER legte 1972 eine hydrochemische Typisierung für den „norddeutschen Raum“ vor.

## Hydrochemische Relationen

Veränderungen des nutzbaren Grundwassers gehen von geogenen, marinen oder anthropogenen Einflüssen aus. Sie werden am Besten durch den Gehalt an Chlorid charakterisiert. Bereits Überschreitungen der Konzentration von 30 mg/l Cl<sup>-</sup> lassen im Raum Mecklenburg-Vorpommern den Verdacht auf anomale Veränderung zu. Die Salinität der Tiefenwässer folgt im Gegensatz zum Meerwasser nicht einer linearen Regression.

Herkunftsbedingt und fließwegabhängig sind Art und Konzentration der Inhaltsstoffe modifiziert und variieren in großer Breite.

Hydrochemisch anomale Faktoren sind meist in Lage und Teufe begrenzt. Aus Modifikationen einzelner Inhaltsstoffe, die noch keine Grenzwerte überschritten haben, können jedoch Hinweise auf die Möglichkeit anomaler Einflüsse abgeleitet werden. Aus der Literatur ist die Verwendung von bilateralen Relationen zur Charakterisierung von Abhängigkeiten bekannt. Bedeutungsvoll für deren

	Grundwassertyp „luftbedeckt“ L	Mischtyp „jung, z.T. gespannt“ „einzuggebietnah“ GE	GW-Typ „gespannt“ „altes GW“ G
„hc“	< 0,75 (0,1 - 0,75)	0,65 – 0,85	> 0,7 (0,85 – 1,0)
S(hc)	1,5 - 7,5		2,5 – 7,0
„cl“	< 0,5	0,4 – 0,6	> 0,6
S(cl)	1,5 – 4,0		< 1,5 (2,5 – 0,5)
Hq	< 2,8 (0,1 – 2,8)	> 2,8	> 2,8 (2,8 - ∞)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7 – 65 mval%	65 – 80 mval%	> 80 mval%
Cl <sup>-</sup>	14 – 50 mval%	10 – 20 mval%	8 – 20 mval%
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20 – 60 mval%	< 20 mval%	< 10 mval% SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> fehlt!)

$$\text{„hc“} = \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^- + \text{NO}_3^-}; \quad \text{„cl“} = \frac{\text{Cl}^-}{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^- + \text{NO}_3^-}; \quad \text{S(hc)} = \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^- + \text{NO}_3^- \text{ (mval/l)}; \quad \text{S(cl)} = \text{Cl}^- + \text{SO}_4^- + \text{NO}_3^- \text{ (mval/l)}$$

Abb. 1: Relationen WANDT

Verwendung ist, dass die Werte der Relationen unabhängig vom Konzentrationsgrad erhalten bleiben. In der Praxis als geeignet erwiesen haben sich die Karbonathärte, das MgO/CaO-Verhältnis, der NaHCO<sub>3</sub>-Gehalt und das SO<sub>4</sub>/Cl-Verhältnis.

K. WANDT (1960) baut auf den in der Tabelle (Abb. 1) genannten bi- und multilateralen Relationen eine Klassifizierung von Grundwassertypen in Schleswig-Holstein auf.

Für marine und geogene Versalzung hat P. ROTHER (1966) im Raum Rostock-NE die in Abbildung 2 genannten Verhältnisse vorgefunden. Nach SCHLINKER zeigen Analysen des Nord- und Ostseewassers konstante Relationen: Cl/SO<sub>4</sub> = 1/0,139; CaO/MgO = 1/3,0; Na/K = 1/0,043.

Versalzung	marin	geogen	
SO <sub>4</sub>	80 – 700	0 – 80	mg/l
Cl:SO <sub>4</sub>	1:0,1 bis 1,0	1:0 bis 0,1	
GH	30 – 140	<30	°dH
NKH	15 – 125	0 – 15	°dH
Hq = KH/NKH	0,1 – 1,0	1,0 - ∞	

Abb. 2: Relationen ROTHER

Art der Halinität	Cl:SO <sub>4</sub>	CaO:MgO	Na:K	Cl:NO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>
Marin	1:0,4 bis 1,5	1:<0,2	1:<0,25	1:0	0
Geogen	1:<0,4	1:0,2 bis 0,5	1:>0,25	1:0	Positiv
Anthropogen	1:1,0 bis 1,5	-	-	1:0,3 bis 1,5	0
Ohne (seichtes GW)	1:>1,5	1:<0,2	1:<0,25	1:<0,3	0
Ohne (tiefes GW)	1:1,0	1:<0,2	1:0,25	1:0	0

Abb. 3: Relationen SCHLINKER

K. SCHLINKER (1964) ermittelte aus umfangreichen statistischen Auswertungen für das Territorium des heutigen Mecklenburg-Vorpommern aussagekräftige Relationen (Abb. 3).

Besonders die Karbonathärte lässt Beurteilungen zu über

- Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser
- die Interpretation von Neubildungsflächen und Fließvorgängen
- die qualitative Altersbestimmung des Grundwassers
- die Einflußnahme anthropogen belasteter Wässer

Von SCHLINKER wurde erstmals für Mecklenburg das Verhältnis MgO/CaO untersucht. Diese Relation eignet sich zur Vorhersage geogener Versalzungstendenzen. Markant ist dafür der Relationskoeffizient 0,2 (Abb. 4). Die von LEHMANN (1975) geäußerten Zweifel an der Brauchbarkeit des MgO/CaO-Verhältnisses sind nicht haltbar. Die von ihm genutzten Analyseergebnisse weisen Magnesiumwerte von Null auf, was für Grundwasser des relevanten Raumes nicht möglich ist und damit die MgO/CaO-Berechnungen nicht zulässig sind.

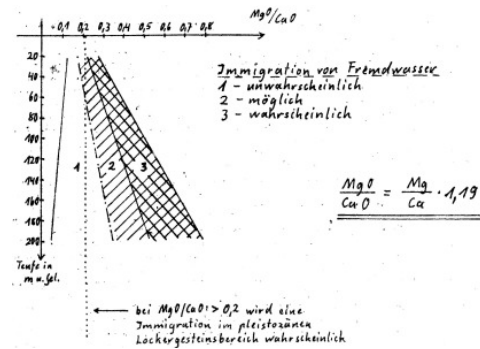


Abb. 4: MgO/CaO-Relation

Bei Vorhandensein einer scheinbaren Karbonathärte ist stets

NaHCO<sub>3</sub> zugegen, was mit einer gewissen Sicherheit auf geogen (hydrochemisch im Sinne von Tiefenwasser) beeinflusste Wässer hinweist und somit eine Versalzungsgefahr vermuten lässt. Die Bildung von NaHCO<sub>3</sub> ist nach SCHWILLE (1953) auf die ionenaustauschenden Eigenschaften von Tonmineralien, glimmerartigen Mineralen, Glaukonit, Feldspäten und Huminstoffen zurückzuführen. Der Ionenaustausch erfolgt nur bei den Kationen. Die Anionen gehen ungehindert durch. Dabei sollen nach SCHWILLE die Umtauschvorgänge rasch, temperaturunabhängig und schon bei geringen Konzentrationen ablaufen.

Da NaHCO<sub>3</sub> keine freie Kohlensäure zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes wie Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> benötigt, wird die freie Kohlensäure nach dem Austausch aggressiv und kann ihrerseits aus dem Gestein Alkalimetall-Ionen lösen und zusätzlich NaHCO<sub>3</sub> liefern. Ein hoher Gehalt an NaHCO<sub>3</sub> weist deshalb auch auf eine gewisse Stagnation der Fließbewegung, da sich bei längerem Kontakt des NaCl-belasteten harten Grundwassers mit der Austauschmasse die Wirkung des Katalysators bedeutend erhöhen muss.

MICHEL (1968) beschreibt ebenfalls den ursächlichen Zusammenhang zwischen NaHCO<sub>3</sub> und halogenen Einfluss. Er differenzierte für das Münstersche Becken nach ihrer vertikalen Verbreitung:

- Ca-HCO<sub>3</sub>-Typ geringe Gesamtkonzentration
- Na-HCO<sub>3</sub>-Typ Ionenaustausch
- Na-HCO<sub>3</sub>-Cl-Typ
- Na-Cl-HCO<sub>3</sub>-Typ hohe Gesamtkonzentration
- NaCl-Typ

Wässer, in denen >1 mval Na<sup>+</sup> an HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> gebunden ist oder die Karbonathärte die Gesamthärte um mindestens 3 °dH übersteigt, nennt LÖHNERT (1970) „Austauschwässer“.

## Hydrochemische Typisierung

Die im VEB Hydrogeologie 1972 entwickelte und später als „Typisierung nach LÖFFLER“ bezeichnete hydrochemische Auswertung baut insbesondere auf den Untersuchungsergebnissen von WANDT (1960), SCHLINKER (1964, 1969) und ROTHER (1966) auf.

Zur Darstellung der Relationen eignete sich besonders das von A. M. PIPER 1944 erstmals in die Hydrogeologie eingeführte dreilineare Diagramm, bestehend aus einem Rhombus und zwei Osannschen Dreiecken. In der Literatur werden diese Diagramme in den verschiedensten Variationen dargestellt (Abb. 5). Die von LÖFFLER gewählte Variante geht auf G. MICHEL (1968) zurück. Bezogen auf eine Altersentwicklung werden für das Lockergestein im NE- bis N-Deutschlands folgende Grundwassertypen ausgehalten:

**Grundwassertyp I:** Dieser Typ weist auf luftbedecktes, ungespanntes, junges Grundwasser, d. h. es ist noch der unmittelbare Einfluss der Neubildung (Versickerung, Uferfiltrat, Infiltrat) zu erkennen.

**Grundwassertyp II:** Das Grundwasser dieses Typs ist z. gr. T. gespannt, jedoch noch relativ jung, d. h. Übergangstyp zwischen luftbedeckten und älteren gespannten Grundwasser (oft an der Basis relativ mächtiger unbedeckter Grundwasserleiter zu finden, die von schluffigen Horizonten durchzogen werden).

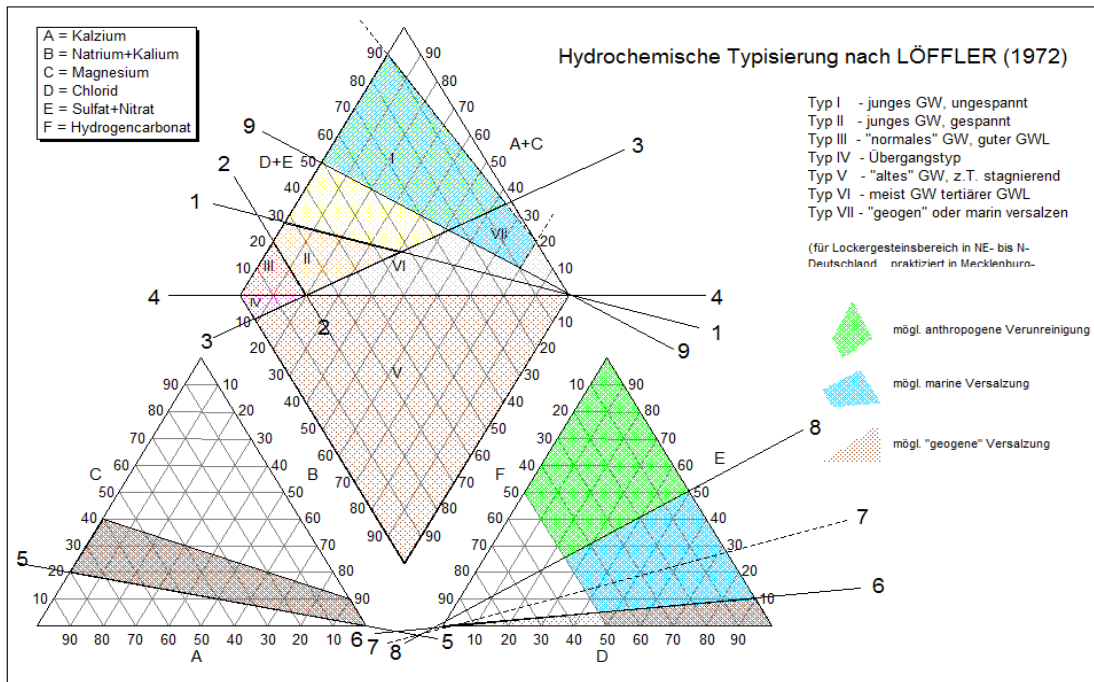


Abb. 5: Typisierung LÖFFLER

**Grundwassertyp III:** Dieses Grundwasser kann als normales gespanntes Grundwasser bezeichnet werden. Es sind noch der Einfluss der Neubildung und gute Durchflussverhältnisse erkennbar, jedoch ist das Wasser schon relativ lange im Boden.

**Grundwassertyp IV:** Übergangstyp vom Typ III zum Typ V.

**Grundwassertyp V:** Zu diesem Typ wird das sehr „alte“ Grundwasser gerechnet, d. h. Grundwasser, das durch einen zeitlich sehr langen Fließweg, durch Abflussbehinderung, Stagnation oder durch den Einfluss von „geogenen“ Tiefenwässern gekennzeichnet ist. Diese Wässer besitzen grundsätzlich unterschiedlich hohe  $\text{NaHCO}_3$ -Gehalte.

**Grundwassertyp VI:** Dieser Bereich ist undefiniert, wird aber meist von Analysen aus tertiären Grundwasserleitern belegt.

**Grundwassertyp VII:** „geogen“ oder marin versalzen.

- Linie 1: Linie des Härtequotienten  $Hq = 2,8$  (nach WANDT liegt oberhalb der Linie das luftbedeckte und unterhalb das gespannte Grundwasser)
- Linie 2: nach WANDT liegt unterhalb (links) der Linie das gespannte Grundwasser und oberhalb (rechts) der Übergangstyp von luftbedeckt zu gespannt
- Linie 3: nach WANDT liegen oberhalb der Linie die Analysen des „normalen“ Grundwassers
- Linie 4: unterhalb dieser Linie besitzt das Grundwasser stets  $\text{NaHCO}_3$ -Gehalt
- Linie 5: Linie der  $\text{MgO}/\text{CaO}$ -Relation von 0,2 (nach SCHLINKER weist  $\text{MgO}/\text{CaO} \Rightarrow 0,2$  auf den Einfluss „geogener“ Tiefenwässer, d. h. oberhalb der Linie ist mit Versalzungsgefahr zu rechnen)
- Linie 6: Linie  $\text{Cl} : \text{SO}_4 = 1 : 0,1$  (nach ROTHER weist  $\text{SO}_4/\text{Cl} \Rightarrow 0,1$  auf marine und  $< 0,1$  auf „geogene“ Versalzungstendenzen. Gleiche Bedeutung wie Linie 7)
- Linie 7: Linie  $\text{Cl} : \text{SO}_4 = 1 : 0,4$  (nach SCHLINKER weist  $\text{SO}_4/\text{Cl} \Rightarrow 0,4$  auf marine und  $< 0,1$  auf „geogene“ Versalzungstendenzen. Gleiche Bedeutung wie Linie 6)
- Linie 8: Linie  $\text{Cl} : \text{SO}_4 = 1 : 1,04$  (nach SCHLINKER ist bei  $\text{SO}_4/\text{Cl} \Rightarrow 1,0$  mit anthropogener Verunreinigung, d. h. also oberhalb der Linie 8, zu rechnen)
- Linie 9: Linie des Härtequotienten  $Hq = 1,0$  (nach ROTHER ist oberhalb dieser Linie mit marinem Einfluss zu rechnen)

Zur Ermittlung des Typs müssen folgende Wasserinhaltsstoffe untersucht sein:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , KH (oder m-Wert bzw.  $\text{CO}_2$  geb.). Die Werte als mval/l werden bezogen auf je 100% der Anionen und Kationen in Prozent angegeben. Die Genauigkeit der Analyse soll  $\leq 5\%$  nach der Formel von G. MATTHES (1975)  $[(\sum \text{Anionen} - \sum \text{Kationen}) / (\sum \text{Anionen} + \sum \text{Kationen}) * 100]$  betragen.

Die Praxis hat gezeigt, dass für eine großräumige Betrachtung vertretbare Ergebnisse auch bei einem Fehler bis 10% erzielt werden. Bei Altanalysen fehlen oft die Komponenten Na und K. Unter Einschränkungen kann dann auch deren Anteil (in mval) als Differenz der Summen Anionen und Kationen ermittelt werden. In diesem Fall sollten aber mindestens folgende Inhaltsstoffe bestimmt sein:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  oder GH,  $\text{NH}_4^+$ , Fe, Mn,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , KH (oder m-Wert bzw.  $\text{CO}_2$  geb.). Probleme bei der Typisierung sind zu erwarten bei außergewöhnlichem Sulfateinfluss, z. B. durch Anhydrit-Ablaugung oder Pyrit-Zerfall. Es gilt für alle Fälle, dass die Kombination der Kriterien hinsichtlich aller Indikatoren zu prüfen und mit den örtlichen (räumlichen) Gegebenheiten abzugleichen ist.

Die im vorliegenden PIPER-Diagramm abgegrenzten Bereiche resultieren aus den Grundlagen der vorgestellten Typisierung. Die Aussagen werden zunächst auf den pleistozänen Bereich des norddeutschen Lockergesteins beschränkt. Die Eingrenzung und Zuordnung von aussagekräftigen Bereichen ist im Detail noch erweiterungsfähig. Das betrifft vor allem die Bewertung der Abhängigkeiten in den Dreiecken. Festgestellt wurde, dass besonders das Kationen-Dreieck geeignet ist Tiefenwässer nach Herkunft und Genese zu erkennen. Eine stärkere Differenzierung des Anionen-Dreiecks ist ebenfalls denkbar, hierfür wären die Ergebnisse der von K. DEIBEL (1995) für den Neubrandenburger Raum veröffentlichten hydrochemischen Relationen zu prüfen. Ebenso ist eine Bewertung der von D. Heeger (1985) im Zusammenhang mit Untersuchungen zum Uferfiltrat getroffenen Feststellungen überlegenswert. Der Vorteil des PIPER-Diagramms liegt gerade darin, dass im Prinzip alle Beziehungen zwischen den anorganischen Hauptlösungsgenossen des Wassers dargestellt werden.

Auf Grund des Rechenaufwandes nahm die Anwendung der vorgestellten Methode erst mit der Entwicklung der Rechentechnik von der manuellen Ermittlung über den Taschenrechner bis hin zur modernen PC-Technik immer mehr zu und hat heute in viele Vorhaben Einzug gehalten (Abb. 6).

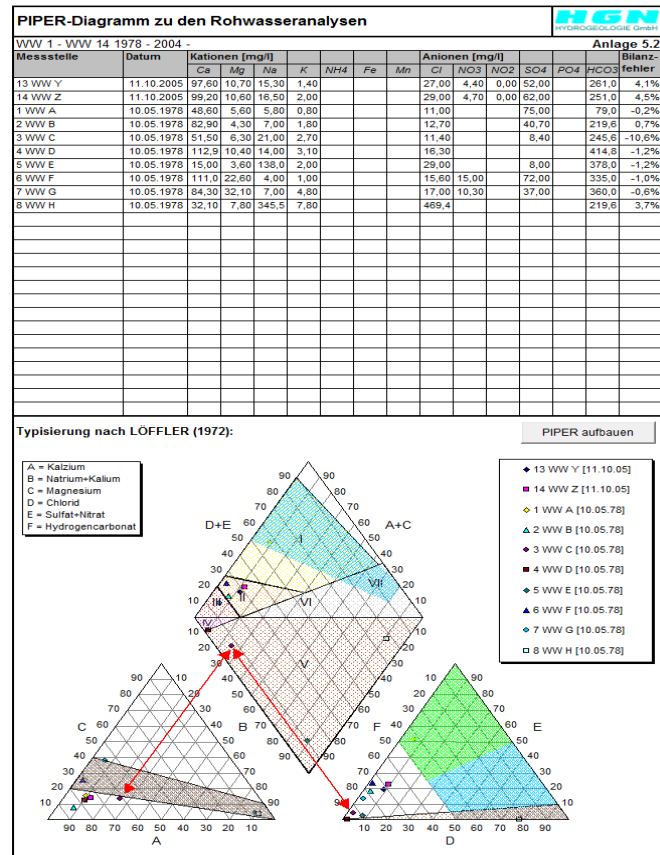


Abb. 6: Anwendungsbeispiel 2004

## Literatur

- ALBRECHT, I., LÖFFLER, H. & ZIERATH, R.: Hydrochemie.- VEB Deutscher Verl. f. Grundstoffindustrie, Leipzig 1978
- ALBRECHT, I.: Hydrochemische Methoden in der hydrogeologischen Erkundung (Die genetische Bewertung in der hydrogeologischen Erkundung).- unveröff., Arbeitsstufen im Plan Wissenschaft und Technik, VEB Hydrogeologie, Nordhausen 1974, 1975, 1976
- DEIBEL, K.: Grundwasserchemismus im Südosten von Mecklenburg-Vorpommern - Unterscheidung anthropogener und geogener Einflüsse (Teile 1 - 5).- Z. Wasserwirtschaft Wassertechnik, Verl. F. Bauwesen, H. 6 - 10, Berlin 1995
- GARLING, F.: Methodik der hydrochemischen Auswertung, Teil I.- unveröff., VEB Hydrogeologie, Dresden, 1970
- GARLING, F.: Methodik der hydrochemischen Auswertung, Teil II.- unveröff., VEB Hydrogeologie, Dresden, 1971
- HEEGER, D.: Bericht zum F/E-Thema Untersuchung der Kolmation von Gewässerbetten an bestehenden Uferfiltratfassungen zur Ermittlung objektiver Kennwerte für die Bemessung neuer Uferfiltratfassungen - Teilthema Fließgewässer.- unveröff., VEB Hydrogeologie Nordhausen, Arbeitsstelle Dresden, Dresden 10.12.1985

- LEHMANN, H.-W.: Zur Diagnostizierung des Einflusses mineralisierter Tiefengewässer auf Süßwasserhorizonte am Beispiel des Salzstockes Sperenberg.- Z. f. Angew. Geol. 21, 168-171, Berlin 1975
- LÖFFLER, H. & MEINERT, N.: Von der Quellenkartierung bis zur dreidimensionalen Simulation - Der Weg der Hydrogeologie 1956 – 1990 in der DDR.- Schriftenreihe für Geowissenschaften Heft 16, 2007
- LÖFFLER, H.: Ein Anwendungsbeispiel für hydrochemische Auswerteverfahren im norddeutschen Raum mit dem Versuch einer Grundwassertypisierung.- unveröff., VEB Hydrogeologie 1972
- LÖHNERT, E.: Grundwasserchemismus und Kationentausch im norddeutschen Flachland.- Zeitschr. d. Dt. Geol. Ges., Sonderheft Hydrogeologie und Hydrochemie, Enke-Verl., Stuttgart 1970
- Matthes, G.: Lehrbuch der Hydrogeologie - Bd.2: Die Beschaffenheit des Grundwassers.- Borntraeger, Berlin/Stuttgart 1973
- MEINERT, N. et altera: Methodik der hydrogeologischen Erkundung von Grundwasserlagerstätten im Lockergestein.- unveröff., VEB Hydrogeologie, Nordhausen, 1978
- MEINERT, N. et altera: Erste Methodik der hydrogeologischen Erkundung von Grundwasserlagerstätten im Festgestein.- unveröff., VEB Hydrogeologie, Nordhausen 1974
- MICHEL, G.: Grundwasser vom Natrium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Typ im Nordosten des Münsterschen Beckens (Nordrhein-Westfalen).- bbr, 19, 1, 1968
- ROTHER, P.: Über subterrane Wechselbeziehungen zwischen Ostsee und Grundwasser im Bereich der Warnow bis zum Fischland.- unveröff., Dipl.-Arb. Im Geol. Inst. d. Humboldt-Univ. Berlin 1966
- SCHLINKER, K.: Beiträge zur wasserwirtschaftlichen Erfassung des Grundwasserangebotes, seines Chemismus und seiner Beziehung zum Oberflächenabfluss im Großeinzugsgebiet Küste-Warnow-Peene.- unveröff., Dissertation TU Dresden 1968
- SCHLINKER, K.: Forschungsstudie - Grundwasserversalzung.- unveröff., Wasserwirtschaftsdirection Stralsund 1964
- SCHLINKER, K.: Komplexmethodik der regionalen Grundwassererkundung im Großeinzugsgebiet Küste-Warnow-Peene.- Wiss. Zeitschr. d. Univ. Rostock, Math.-Nat.-Reihe, 18, 7, 1969
- SCHWILLE, F.: Ionenumtausch und der Chemismus von Grund- und Mineralwasser.- Zeitschr. d. Dtsch. Geol. Ges., 106, 1, 1956
- WANDT, K.: Hydrochemische Untersuchung von Grundwasser diluvialer und tertiärer Schichten in Schleswig-Holstein.- Meyniana, 9, März 1960