

## Hydrogeologische und hydrochemische Besonderheiten der Grundwässer im Mündungsbereich der Ahr

GEORG WIEBER & RAINER HART

**Zusammenfassung:** Die Niederterrassenaquifere der „Goldenen Meile“ und des Unteren Ahrtales zwischen Bad Breisig, Sinzig und Bad Neuenahr stellen ergiebige Porengrundwasserleiter dar. Mehrere unterschiedliche Grundwassertypen sind verbreitet. Die physiko-chemischen Eigenschaften der Grundwässer unterscheiden sich im südlichen Bereich der Goldenen Meile deutlich von denjenigen im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Die Grundwasserhydraulik wird maßgeblich durch den ergiebigen ahrbegleitenden West-Ost gerichteten Grundwasserstrom aus dem Ahrtal bestimmt. Die Grundwässer des Unteren Ahrtales sind durch Mineralwasserzutritte verändert.

**Abstract:** The aquifers of the „Goldene Meile“ and of the Lower Ahr between Bad Breisig, Sinzig and Bad Neuenahr abound in water. Several types of groundwater are found. The physical and chemical qualities of ground waters differ between south and north part of the investigated area. The hydraulic system is dominated by the groundwaters of der Ahr Valley. The chemical differences are caused by ascent of acid mineralwaters, in the Ahr Valley. In the south part of the „Goldene Meile“ there is no recognizable change of ground water quality caused by acid mineral water.

### Inhalt

1. Einleitung
2. Geologisch-geographische Übersicht
3. Hydrogeologie
  - 3.1. Grundwasserhydraulik
  - 3.2. Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer
    - 3.2.1. Grundwässer der „Goldenen Meile“
    - 3.2.2. Grundwässer der Ahrniederterrasse
    - 3.2.3. Grundwässer der Ost-Eifel
    - 3.2.4. Tiefenwässer
    - 3.2.5. Mischwässer der Niederterrasse
4. Schlussfolgerungen

Schriften

### 1. Einleitung

Das nördlichen Rheinland-Pfalz wird vorwiegend aus devonischen Sedimentgesteinen aufgebaut. Die geringe Grundwasserneubildung und Ergiebigkeit dieses Kluftaquifers führt regional häufig zu Engpässen der Wasserversorgung. Ergiebige Grundwasservorkommen mit überregionaler Bedeutung für die Trinkwassergewinnung befinden sich nahe der großen Vorfluter Rhein, Mosel, Lahn sowie Ahr und zwar dort, wo die grund-

wassererfüllte Niederterrasse durch Talweitungen eine größere Ausdehnung erreicht. Der Rhein hat auf seinem Weg durch das Rheinische Schiefergebirge meist nur ein schmales, steil eingeschnittenes Tal ausgebildet. Im Einmündungsbereich der nahezu senkrecht zufließenden Ahr verbreitert sich der Einschnitt beckenartig zum Gebiet der sogenannten „Goldenen Meile“. Hier sind mächtige kiesig-sandige Terrassensedimente abgelagert, die einen ergiebigen Kiesaquifer und eine wichtige Kieslagerstätte darstellen.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse im Bereich der Rheinniederterrasse zwischen Bad Breisig und Sinzig, der sogenannten „Goldenen Meile“ sowie des Unteren Ahrtales dargestellt (Abb. 1). Ausgangspunkt stellen Gefahrerforschungsmaßnahmen dar, die im Rahmen dieser Arbeit weitergehend interpretiert und bewertet werden. Datengrundlage bilden hydrochemische Analysen und mehrjährige Grundwasserbeobachtungen. Zur hydrochemischen Interpretation werden außerdem ältere Untersuchungen der Grundwässer der Ahrtales und der Osteifel herangezogen.

## 2. Geologisch-geographische Verhältnisse

Das Gebiet der „Goldenen Meile“ liegt im unteren Mittelrheintal zwischen Bad Breisig und Remagen. Im zentralen Bereich fließt die Ahr in Ost-West-Richtung dem nahezu Nord-Süd orientierten Rhein zu. Zu beiden Seiten der Ahrmündung haben sich fruchtbare Weitungen gebildet. Die westliche Begrenzung dieser Niederterrassenebene bilden die Höhenzüge der Eifel. Auf der gegenüber liegenden östlichen Rheinseite liegt Linz am Fuße des Steilanstiegs zum Westerwald. Der Rhein hat sich hier ungefähr 150 m tief in das Schiefergebirge eingeschnitten. Während das Rheintal ober- und unterhalb der „Goldenen Meile“ Breiten von jeweils ca. einem Kilometer aufweist, verbreitert es sich im Bearbeitungsgebiet auf bis 2,5 km. Die geographische Situation ist der Abb. 1 zu entnehmen.

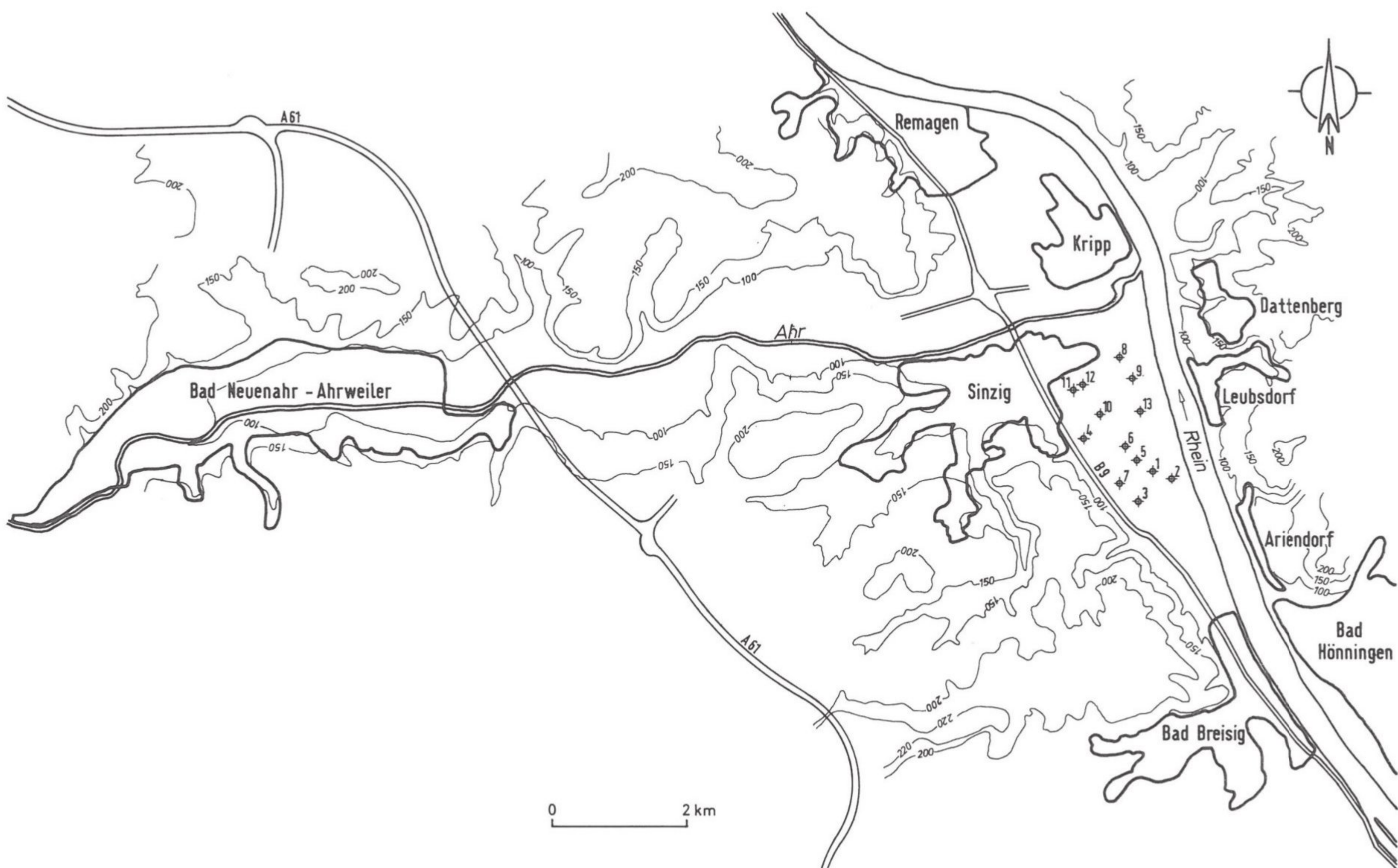
Der tiefe Untergrund wird gemäß der geologischen Karte 1:25000, Blatt 5409 Linz (KAISER & HOFFMANN 1937) aus devonischen Sedimentgesteinen der Siegenstufe gebildet, die auf Grund petrographischer Unterschiede in die Unteren, Mittleren und Oberen Schichten des Siegen dreigeteilt werden (KAISER & HOFFMANN 1937; MEYER & PAHL 1960). Petrographisch stellen sich die Schichten wie folgt dar:

- Obere Siegener Schichten: Grauwacken, Sandsteine und Tonschiefer.
- Mittlere Siegener Schichten: flaserige Bänderschiefer und Quarzitsandsteine.
- Untere Siegener Schichten: Tonschiefer.

Schichten des Unteren Siegenium sind in der Nähe des Bearbeitungsgebietes nicht kartiert.

Tektonisch ist das Grundgebirge stark gefaltet und gestört. Nördlich von Sinzig verläuft der Ahrsattel mit seiner überkippten Nordflanke in ENE-WSW-Richtung. Die Südflanke fällt nach Südosten ein. Parallel verläuft auf der Höhe Bad Hönningen-Bad Breisig der Sattel von Hönningen-Seifen. Zwischen den beiden Sätteln befindet sich eine tektonische Mulde. Rheinparallel verläuft ein System von Störungen in NNW-SSE-Richtung. Die Ahr folgt der Schwächezone der Ost-West-streichenden Ahrtalstörung.

In der Zentralen und Ost-Eifel kam es seit dem Eozän zu einem vorwiegend basaltischem Vulkanismus (MEYER 1986). Im Umfeld des Bearbeitungsgebietes befinden sich verstreut zahlreiche tertiäre Basalte. Zu Anhäufungen kommt es besonders nördlich des Ahrtales. Sie stellen Übergänge zu den Vulkangebieten des nördlichen Westerwaldes und des Siebengebirges dar. Den bisherigen Abschluss des vulkanischen Geschehens der Ost-Eifel stellt der Ausbruch des Laacher-See-Vulkans vor ca. 13000 Jahren dar.



219 Abb. 1: Übersichtskarte der „Goldenen Meile“ (Unterer Mittelrhein) und des Unteren Ahrtales (♦ = Grundwassermeßstelle).

Überlagert werden die devonischen Festgesteine im Gebiet der „Goldenen Meile“ von Lockersedimenten des Quartär, die Mächtigkeiten bis über 20 m aufweisen und in mehreren Kiesgruben aufgeschlossen sind. Zunächst folgen die Kiese und Sande der Ahr- und Rheinniederterrasse, die ihrerseits durch die tonig-siltig-sandigen Auesedimente überlagert werden. Während die Niederterrassensedimente des Rheins mächtige Sandlagen aufweisen, fehlen diese in der Ahrterrasse (AHRENS, 1939). Die Sedimente der Ahrniederterrasse bestehen vorwiegend aus plattigen Kiesen. Der Sandkornanteil liegt unterhalb 15%. Eine Feinfraktion fehlt nahezu ganz (HART 1984). Allerdings verzahnen sich in der Rheinniederterrasse sowohl in horizontaler wie auch in vertikaler Richtung gröbere Schotterlagen mit sandigen Lockersedimenten. Ein schematisiertes Querprofil ist in Abb. 2 dargestellt.

Zu den jüngeren fluviatilen Sedimenten gehören die sandig-kiesigen Sedimente der lokal ausgebildeten Inselterrasse mit Bimsablagerungen. Diese liegt den Niederterrassensedimenten direkt auf und befindet sich oberhalb der Überschwemmungslinie. Die Kiese der Inselterrasse zeigen ein weites Korngrößenspektrum mit maßgeblichen Schluff- und Sandanteilen.

Den oberen Abschluss der Schichtenfolge bilden die feinkörnigen Auesedimente mit Mächtigkeiten bis 5 m. Bei Rheinhochwasser kommt es im Überschwemmungsbereich auch aktuell noch zur Ablagerung von humosen, lehmigen Hochflutsedimenten.

### 3. Hydrogeologie

Die geologischen und morphologischen Gegebenheiten bestimmen die Grundwasserhältnisse. Die Morphologie hat entscheidenden Einfluss auf die Niederschläge und das oberirdische Abflussverhalten. Die Grundwasserneubildung und -speicherung wird maßgeblich durch die Böden und den geologischen Aufbau des Untergrundes bestimmt.

Vom Deutschen Wetterdienst (1957) wird der durchschnittliche Jahresniederschlag im Unteren Mittelrheingebiet mit ca. 600 bis 650 mm angegeben. Oberflächengewässer sind der Rhein und die Ahr (Abb.1).

Die holozänen Deckschichten weisen nur eine geringe Durchlässigkeit auf und verhindern eine rasche Versickerung der Niederschläge. Sie besitzen gute Filtereigenschaften, woraus ein hohes Reinigungsvermögen resultiert.

Die unterlagernden Sande und Kiese der Niederterrasse bilden einen ergiebigen Porengrundwasserleiter. Die kiesigen Profilabschnitte besitzen gute Durchlässigkeiten. In Abschnitten mit einem höheren Sand- und Schluffanteil können die Durchlässigkeiten um ein bis zwei Zehnerpotenzen tiefer liegen. Die Mächtigkeit des grundwassererfüllten Bereichs beträgt 10 bis 12 m, wobei der Schwankungsbereich bei Extremwasserständen des Rheins 5 bis 6 m betragen kann. Bei Mittelwasser weist der Rhein einen Wasserstand von 51,50 m ü.NN (Flusskilometer 626,0) bzw. 50,90 m ü.NN (Flußkilometer 629,0) auf.

Die im Liegenden anstehenden devonischen Sedimentgesteine bilden einen Kluftgrundwasserleiter. Die Wasserbewegung erfolgt hier über die Trennflächen. Die Gesteine selbst besitzen eine zu vernachlässigende Durchlässigkeit. Ein gut wasserweges Trennflächensystem kann sich in bankigen Sandsteinlagen, im Bereich von Störungen sowie in Umbiegungsbereichen von Sattel- und Muldenstrukturen ausbilden. HART (1984) weist auf hohe Ergiebigkeiten im Bereich oberflächennaher Auflockerungshorizonte hin.

Bevorzugte Aufstiegswege für kohlenensäurehaltige Mineralwässer in diesem Raum sind häufig an Spalten, Klüfte und Zerrüttungszonen von Sätteln gebunden (HEYL 1972).

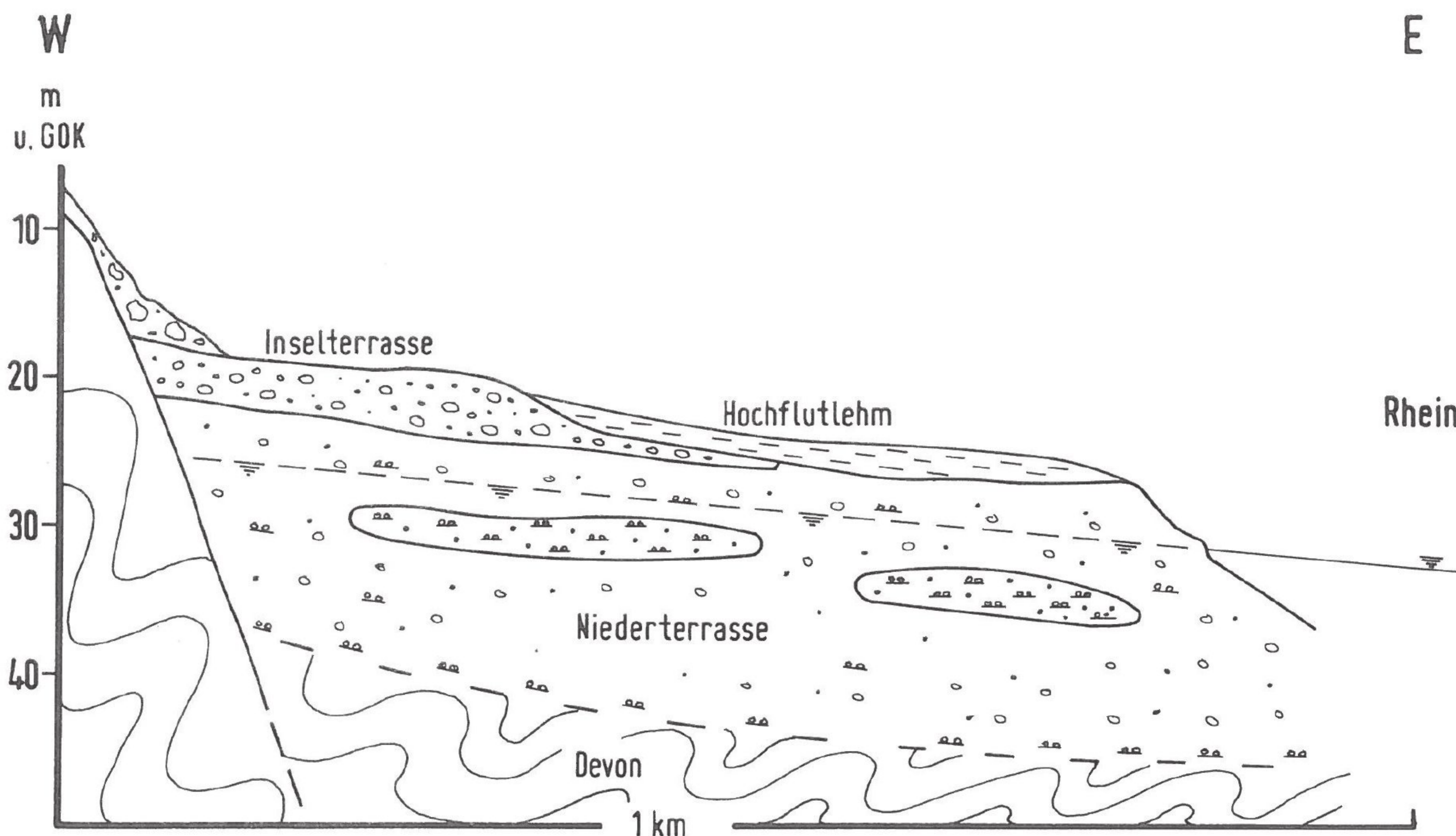


Abb.2: Querprofil „Goldene Meile“ (schematisiert, überhöht).

So steigen die Mineralwässer von Bad Breisig in der Achse des Sattels von Bad Hönningen-Seifen auf. Hier befinden sich die staatlich anerkannten Heilquellen Geiersprudel, Gertrudis-Quelle, Ludgerus-Sprudel, Mariensprudel, Deutschland-Sprudel, Hönninger Sprudel und Michaelisquelle. Im Bereich des Ahrtalsattels kommt es ebenfalls zum Aufstieg kohlenstoffhaltiger Mineralwässer. In Remagen-Kripp fördert die Maria-Luisen-Quelle. Im Bereich Sinzig-Bodendorf befinden sich weitere Mineralwasserbrunnen (z. B. Sinziger Mineralbrunnen, St. Josefs-Sprudel).

Tab. 1: Datum der Stichtagsmessungen, Rheinwasserstände und hydraulische Gradienten.

| Stichtagsmessung | Rheinwasserstand<br>Pegel | Hydraulischer Gradient |                   |
|------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|
|                  |                           | Nördlicher Bereich     | Südlicher Bereich |
| 17.03.1994       | 51,67 m ü.NN              | 0,00099                | 0,00062           |
| 01.06.1994       | 52,35 m ü.NN              | 0,00049                | 0,00037           |
| 02.09.1994       | 50,04 m ü.NN              | 0,00111                | 0,00074           |
| 09.11.1994       | 49,82 m ü.NN              | 0,00138                | 0,00074           |
| 26.06.1995       | 52,19 m ü.NN              | 0,00133                | 0,00092           |
| 08.01.1996       | 51,12 m ü.NN              | 0,0011                 | 0,00071           |

### 3.1. Grundwasserhydraulik

Die Grundwasserstände wurden in den Jahren 1994 bis 1996 an sechs Stichtagen in bis 13 Grundwassermessstellen eingemessen und in Form von Grundwassergleichenplänen ausgewertet. Außerdem wurden an den Stichtagsmessungen die Wasserstände des Rheins und der Ahr an jeweils 2 Pegeln abgelesen. Bei Normal- und Niedrigwasser ist der Niederterrassenaquifer hydraulisch an den Rhein angebunden. Die Fließrichtung ist im zentralen Teil der Goldenen Meile von Westen in Richtung Osten gerichtet. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes biegen die Grundwassergleichen in einem weichen

Bogen in Südsüdost-Nordnordwest-Richtung um. Die hydraulischen Gradienten weisen im mittleren Teil der Goldenen Meile ein stärkeres Grundwassergefälle auf als im südlichen Teil. In der nachfolgenden Tab. 1 sind die ermittelten Werte bei unterschiedlichen Rheinwasserständen zusammengestellt.

Das Geologische Landesamt hat aus Pumpversuchen kf-Werte von  $2 \cdot 10^{-2}$  bis  $4 \cdot 10^{-2}$  m/s ermittelt (Dr. DREHER mdl. Mitt.).

Unter Annahme eines nutzbaren Porenraumes ( $p^*$ ) von ca. 20% lassen sich die mittleren Abstandsgeschwindigkeiten nach der Formel  $v_a = v_f/p^*$  wie folgt (Tab. 2) abschätzen:

Tab.2: Abgeschätzte mittlere Abstandsgeschwindigkeiten der Grundwässer im Bereich der „Goldenen Meile“.

| kf-Wert (m/s):     | Hydraulischer Gradient (J) | Nutzbarer Porenraum ( $p^*$ ): | Filtergeschwindigkeit (m/s): | Abstandsgeschwindigkeit (m/s): |
|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| $3 \times 10^{-2}$ | 0,001                      | 0,2                            | $3 \times 10^{-5}$           | $1,5 \times 10^{-4}$           |
| $3 \times 10^{-2}$ | 0,0007                     | 0,2                            | $2,1 \times 10^{-5}$         | $1,05 \times 10^{-4}$          |

Das Geologische Landesamt hat eine Abstandsgeschwindigkeit im Nahbereich betriebener Brunnen von  $0,9 \cdot 10^{-3}$  m/s aus Tracerversuchen ermittelt (Dr. DREHER mdl. Mitt.).

Bei der Stichtagsmessung am 09.06.1995, bei der die höchsten Grundwasserstände festgestellt wurden, lagen die Piezometerhöhen gegenüber der Stichtagsmessung mit den niedrigsten gemessenen Grundwasserständen um bis 2,88 m höher. Der Verlauf der Grundwassergleichen zeigt auch bei den höheren gemessenen Rheinwasserständen hinsichtlich der Fließrichtung ein ähnliches Bild wie bei Normalwasserständen. Bei Rheinhochwässern infiltriert Rheinwasser in den Niederterrassenaquifer. Dies führt in Verbindung mit einem verminderten Grundwasserabfluss in den Rhein zu einem Grundwasseranstieg. Die Ahr ist hydraulisch nicht an das Grundwasser angebunden. Es handelt sich um ein infiltrierendes Oberflächengewässer, das bei Normalwasser bis 3 m oberhalb des in der Niederterrasse zirkulierenden Grundwassers fließt. Die hydraulische Situation ist beispielhaft in den Abb. 3a und b dargestellt.

### 3.2 Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer

Im Bearbeitungsgebiet lassen sich verschiedene Grundwässer differenzieren. Dies sind die Grundwässer der Ahr- und der Rheinniederterrasse, oberflächennah zirkulierende Wässer des Schiefergebirges sowie die Mineralwasservorkommen in tiefen Zonen des Grundgebirges. Nachfolgend werden diese Wässer hydrochemisch charakterisiert und darauf aufbauend ein hydrogeologisches Modell für die Grundwässer der „Goldenen Meile“ aufgestellt. Für den Zeitraum von 1994 bis 1996 stehen Analysenergebnisse für den südlichen und mittleren Bereich der Goldenen Meile zur Verfügung. Die im Ahrtal verbreiteten Grundwässer wurden von HART (1984) und PLUM (1989) erfasst und hydrochemisch ausgewertet.

#### 3.2.1. Grundwässer der Rheinniederterrasse

In Verbindung mit den durchgeführten Stichtagsmessungen der Piezometerhöhen wurden an drei Stichtagen Wasserproben für chemische Untersuchungen entnommen. Die Probenahme erfolgte unter Messung der Vor-Ort-Parameter nach Messwertkonstanz mit einer Unterwasserpumpe. Die chemische Analytik erfolgte entsprechend den einschlägigen Vorschriften.

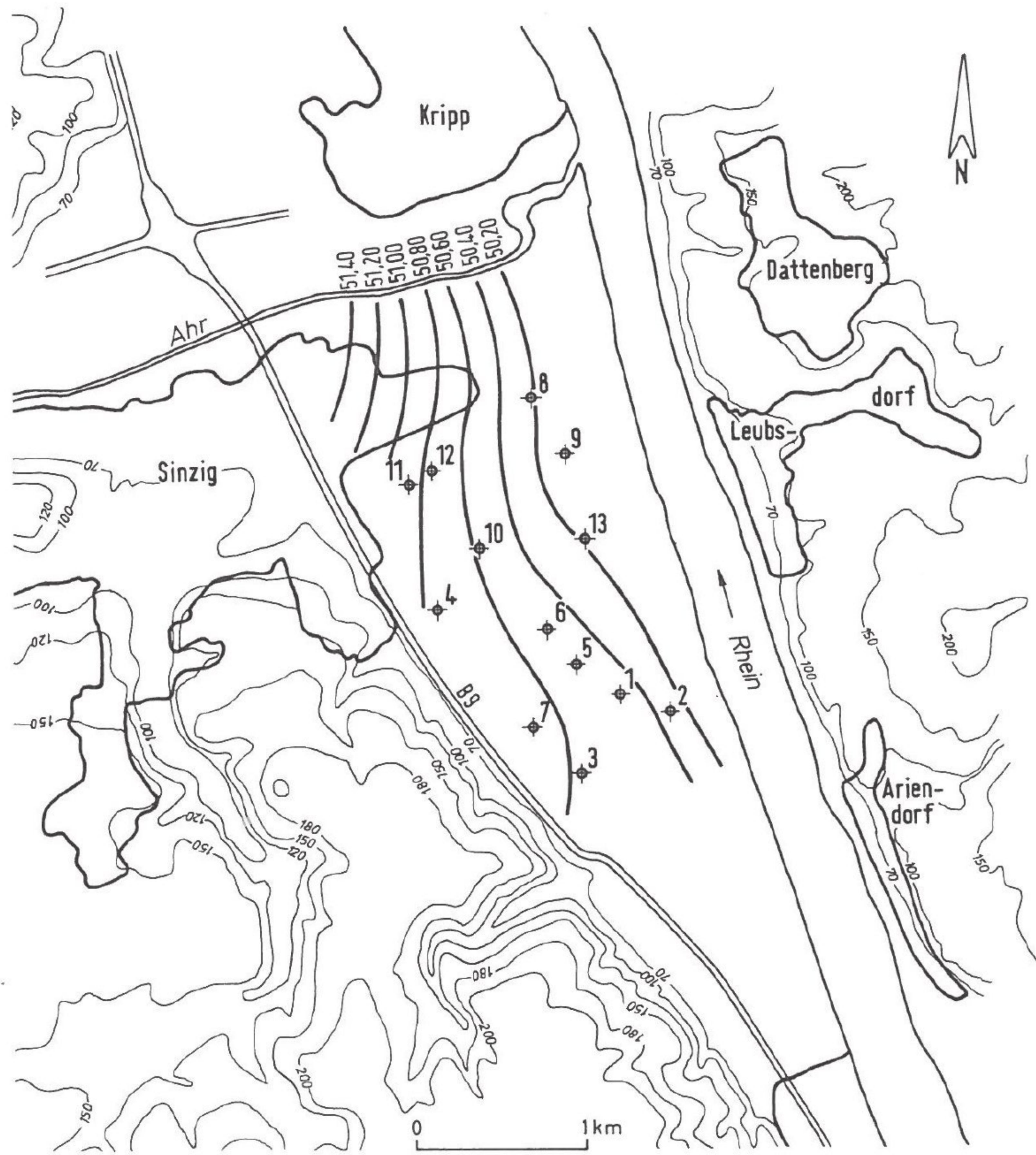


Abb.3a: Grundwassergleichenplan (Stichtagsmessung 17.03. 1994).



Abb. 3b: Grundwassergleichenplan (Stichtagsmessung 09.11. 1994).

Die Grundwassertemperaturen lagen zwischen 10°C und 13,2°C. Die Grundwässer weisen meist pH-Werte im (schwach) sauren Bereich auf. Die elektrischen Leitfähigkeiten wurden mit Werten zwischen 430 µS/cm und 1100 µS/cm bestimmt.

Die hydrochemischen Analysergebnisse der Hauptanionen und -kationen sowie ausgewählter Spurenelemente der Grundwässer sind für die drei Stichtagsmessungen in der Tab. 3 sowie in Abb. 4 als PIPER- und SCHOELLER-Diagramm dargestellt.

Nitrat wurde mit Gehalten von 13 bis 25 mg/l analysiert. Die Ammoniumkonzentrationen liegen zwischen < 0,01 und 0,23 mg/l und damit unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung. Eisen und Mangan wurden in einigen Messstellen mit erhöhten Konzentrationen bis 0,94 mg Fe/l bzw. bis 0,65 mg Mn/l festgestellt.

Die Konzentrationen an Buntmetallen und organischen Problemstoffen (z. B. PAK, Phenole, LHKW, KW DIN 38409-H18) liegen meist unterhalb, selten gering oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. Auf eine tabellarische Darstellung kann daher verzichtet werden.

Tab. 3: Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer im Bereich der „Goldenen Meile“, Probenahmen November 1994, Juni 1995, Januar 1996 (Angaben in mg/l, soweit nicht anders angegeben).

| Messstelle:         | Br.1 | Br.1 | Br.1 | Br.2  | Br.2  | Br.2 | Br.3 | Br.3 | Br.4 | Br.4 | Br.5  | Br.5 | Br.6 | Br.6 | Br.7 | Br.7 |
|---------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Probenahmedatum:    | 94   | 95   | 96   | 94    | 95    | 96   | 94   | 96   | 94   | 96   | 94    | 96   | 95   | 96   | 95   | 96   |
| El. Leitf. [µS/cm]: | 832  | 811  | 870  | 811   | 638   | 790  | 995  | 981  | 800  | 800  | 958   | 930  | 828  | 800  | 1070 | 1080 |
| pH-Wert:            | 7,4  | 7,7  | 7,1  | 7,1   | 7,3   | 6,9  | 6,8  | 6,9  | 6,2  | 6,2  | 6,8   | 6,8  | 6,8  | 6,9  | 6,7  | 6,7  |
| Temperatur [°C]:    | 12,8 | 10,0 | 10,3 | 11,4  | 8,6   | 11,0 | 13,2 | 10,7 | 12,5 | 11,6 | 12,4  | 9,8  | 13,2 | 12,7 | 12,8 | 12,0 |
| Calcium:            | 80   | 79   | 86   | 86    | 71    | 78   | 119  | 95   | 80   | 83   | 100   | 85   | 98   | 68   | 136  | 137  |
| Magnesium:          | 33   | 32   | 21   | 24    | 16    | 20   | 37   | 33   | 29   | 30   | 36    | 29   | 27   | 24   | 39   | 38   |
| Natrium:            | 42   | 40   | 50   | 43    | 31    | 29   | 35   | 36   | 40   | 35   | 48    | 54   | 41   | 50   | 41   | 36   |
| Kalium:             | 11   | 9,3  | 9,2  | 7,8   | 4,9   | 5,9  | 9,5  | 7,8  | 14   | 14   | 12    | 12   | 7,3  | 13   | 9,1  | 8,7  |
| Eisen, ges.:        | 0,94 | 0,23 | 0,06 | 0,09  | 0,03  | 0,2  | 0,66 | 0,12 | 0,14 | 0,09 | n.n.  | n.n. | 0,29 | 0,18 | 0,2  | 0,09 |
| Mangan:             | 0,06 | 0,03 | n.n. | 0,004 | 0,003 | n.n. | 0,03 | n.n. | 0,02 | n.n. | n.n.  | n.n. | 0,28 | 0,09 | 2,11 | 0,65 |
| Aluminium:          | 1,44 | 1,57 | n.n. | 0,28  | 0,13  | n.n. | 1,49 | n.n. | 0,27 | n.n. | 0,004 | n.n. | 0,66 | n.n. | 0,66 | n.n. |
| Chlorid:            | 68   | 73   | 66   | 86    | 71    | 92   | 66   | 69   | 52   | 56   | 51    | 51   | 48   | 49   | 58   | 63   |
| Sulfat:             | 97   | 90   | 90   | 90    | 63    | 81   | 85   | 83   | 65   | 64   | 89    | 88   | 91   | 73   | 112  | 105  |
| Hydrogenarbonat:    | 270  | 258  | 290  | 215   | 168   | 190  | 401  | 370  | 309  | 330  | 408   | 360  | 322  | 310  | 445  | 420  |

| Messstelle:         | Br.8 | Br.8 | Br.9  | Br.9 | Br.10 | Br.10 | Br.11 | Br.11 | Br.11 | Br.12 | Br.12 | Br.13 | Br.13 |
|---------------------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Probenahmedatum:    | 94   | 96   | 94    | 96   | 94    | 96    | 94    | 95    | 96    | 95    | 96    | 94    | 96    |
| El. Leitf. [µS/cm]: | 476  | 500  | 492   | 510  | 569   | 540   | 481   | 452   | 470   | 464   | 430   | 688   | 700   |
| pH-Wert:            | 6,6  | 6,3  | 6,4   | 6,4  | 6,2   | 6,2   | 6,3   | 6,4   | 6,3   | 6,4   | 6,3   | 6,1   | 6,2   |
| Temperatur [°C]:    | 11,8 | 11,1 | 11,5  | 11,5 | 11,8  | 11,9  | 11,8  | 11,6  | 11,3  | 11,6  | 11,8  | 11,8  | 11,9  |
| Calcium:            | 51   | 53   | 48    | 48   | 55    | 48    | 49    | 45    | 77    | 45    | 38    | 65    | 60    |
| Magnesium:          | 15   | 13   | 18    | 11   | 21    | 11    | 17    | 15    | 24    | 18    | 17    | 26    | 28    |
| Natrium:            | 23   | 23   | 25    | 26   | 30    | 26    | 23    | 24    | 25    | 23    | 23    | 36    | 28    |
| Kalium:             | 4,3  | 3,9  | 4,2   | 4,6  | 4,4   | 4,6   | 3,9   | 4,3   | 2,2   | 4,6   | 4,3   | 8,2   | 9,1   |
| Eisen, ges.:        | n.n. | n.n. | n.n.  | n.n. | n.n.  | n.n.  | 0,22  | 0,05  | 0,08  | 0,09  | 0,19  | n.n.  | n.n.  |
| Mangan:             | n.n. | n.n. | n.n.  | n.n. | 0,001 | n.n.  | 0,02  | 0,01  | n.n.  | 0,38  | 0,05  | n.n.  | n.n.  |
| Aluminium:          | 0,01 | n.n. | 0,003 | n.n. | 0,01  | n.n.  | 0,33  | 0,17  | n.n.  | 0,12  | n.n.  | 0,008 | n.n.  |
| Chlorid:            | 26   | 28   | 27    | 29   | 35    | 32    | 28    | 25    | 26    | 25    | 25    | 41    | 41    |
| Sulfat:             | 39   | 39   | 41    | 43   | 50    | 46    | 41    | 45    | 37    | 37    | 33    | 50    | 54    |
| Hydrogenarbonat:    | 168  | 180  | 178   | 180  | 198   | 200   | 175   | 163   | 170   | 183   | 160   | 265   | 270   |

n.n.: nicht nachgewiesen



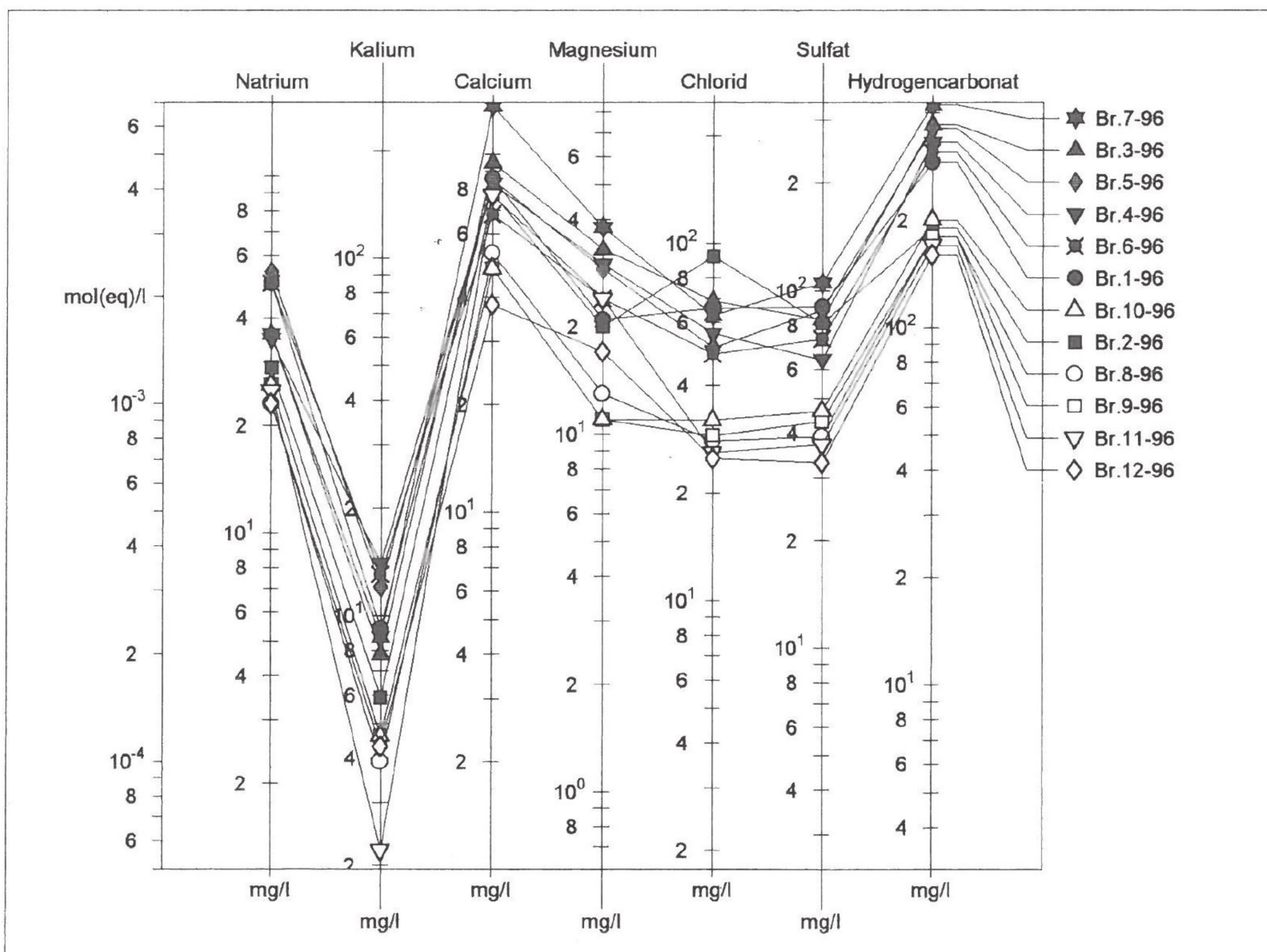
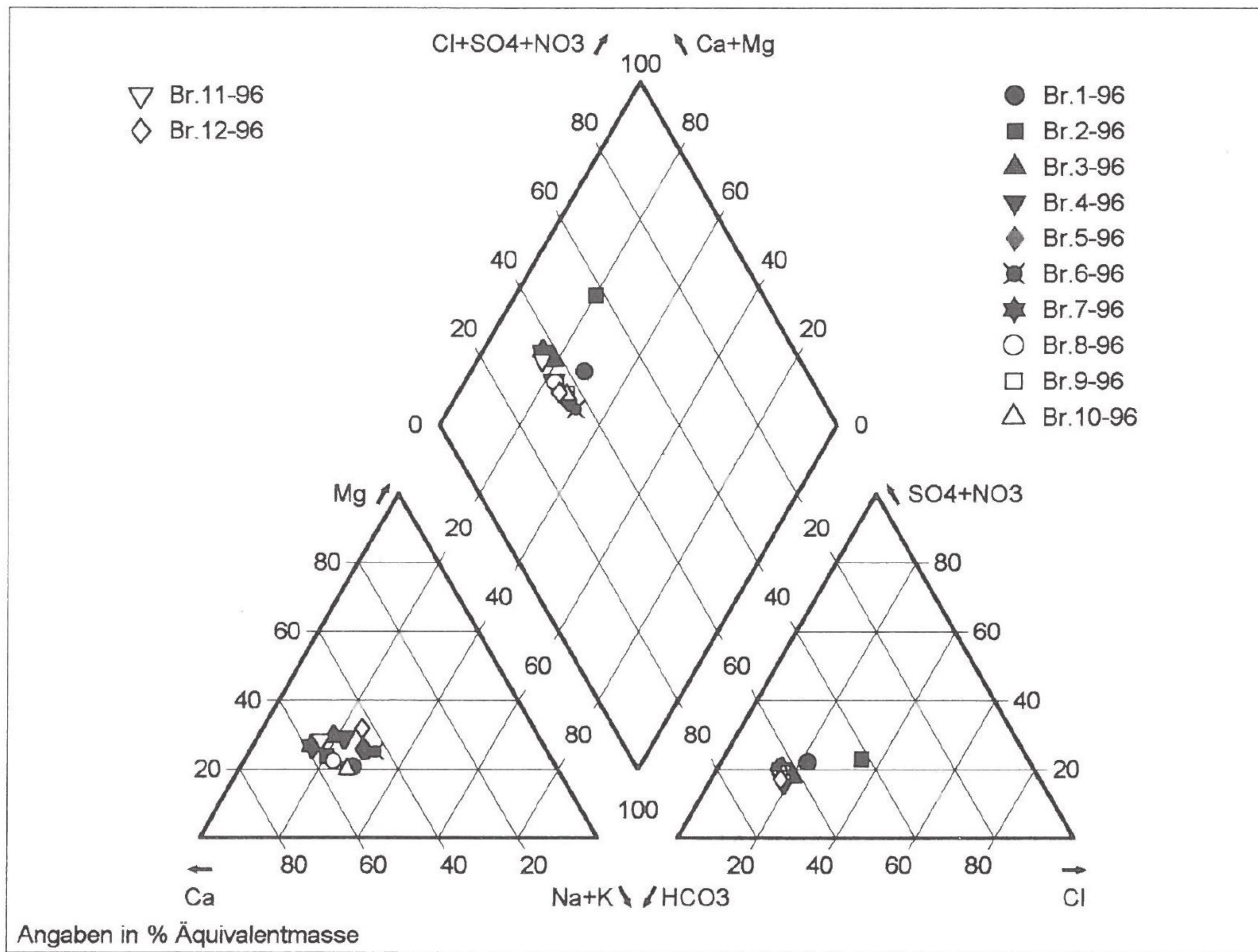


Abb. 4: PIPER- und SCHOELLER-Diagramme der Grundwässer der „Goldenen Meile“ (Probenahme und Analytik: Januar 1996).

Tab. 4: Variationsbreiten und Mittelwerte der differenzierten Grundwässer der „Goldenen Meile“ (Angaben in mg/l, soweit nicht anders angegeben).

| Parameter   | Jahr | Südlicher Bereich |            | Nördlicher Bereich |            |
|---|------|-------------------|------------|--------------------|------------|
|   |      | Variationsbreite  | Mittelwert | Variationsbreite   | Mittelwert |
| Anzahl der Proben                                     | 94   | 5                 |            | 5                  |            |
|   | 95   | 4                 |            | 2                  |            |
|   | 96   | 7                 |            | 6                  |            |
| pH-Wert   | 94   | 6,2 – 7,4         | 6,9        | 6,2–6,6            | 6,4        |
|   | 95   | 6,2 – 7,7         | 7,1        | 6,4                | 6,4        |
|   | 96   | 6,2 – 7,7         | 6,9        | 6,2–6,6            | 6,4        |
| Elektrische Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | 94   | 800– 995          | 879        | 476–564            | 504        |
|   | 95   | 638–1070          | 837        | 452–464            | 458        |
|   | 96   | 638–1080          | 875        | 430–510            | 484        |
| Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]                     | 94   | 11,4–13,2         | 12,5       | 11,5–11,8          | 11,7       |
|   | 95   | 8,6–13,2          | 11,2       | 11,6               | 11,6       |
|   | 96   | 8,6–12,7          | 11,2       | 11,1–11,9          | 11,6       |
| Calcium   | 94   | 80–119            | 93         | 48–55              | 51         |
|   | 95   | 71–136            | 96         | 45                 | 45         |
|   | 96   | 68–137            | 93         | 38–77              | 51         |
| Magnesium   | 94   | 24–37             | 32         | 15–21              | 18         |
|   | 95   | 16–41             | 29         | 15–18              | 17         |
|   | 96   | 16–39             | 29         | 11–24              | 16         |
| Natrium   | 94   | 35–48             | 42         | 23–30              | 25         |
|   | 95   | 31–48             | 38         | 23–24              | 24         |
|   | 96   | 29–54             | 41         | 23–30              | 25         |
| Kalium  | 94   | 7,8–14            | 11         | 3,9–4,4            | 4,2        |
|   | 95   | 4,9–9,3           | 7,7        | 4,3–4,6            | 4,5        |
|   | 96   | 4,9–14            | 9,7        | 2,2–4,6            | 4,1        |
| Chlorid   | 94   | 51–86             | 65         | 26–35              | 29         |
|   | 95   | 48–73             | 63         | 25                 | 25         |
|   | 96   | 48–86             | 64         | 25–35              | 29         |
| Sulfat  | 94   | 65–97             | 85         | 39–50              | 43         |
|   | 95   | 63–112            | 89         | 37–45              | 41         |
|   | 96   | 63–112            | 85         | 33–50              | 41         |
| Hydrogenkarbonat                                      | 94   | 215–408           | 321        | 168–198            | 180        |
|   | 95   | 168–445           | 298        | 163–183            | 173        |
|   | 96   | 168–445           | 317        | 160–200            | 178        |

Auf Grundlage der physiko-chemischen Grundwasserbeschaffenheit lässt sich das Untersuchungsgebiet in einen nördlichen und einen südlichen Bereich teilen (Tab. 4). Der südliche Teil mit den Grundwassermessstellen Br. 1 bis Br. 7 weist einen deutlich höheren Lösungsinhalt auf. Gegenüber den neutralen Wässern im südlichen Teil der „Goldenen Meile“ herrschen im nördlichen Teil saure pH-Werte vor. Die Grenze zwischen diesen Wässern verläuft vom Br. 13 in Richtung Westen, wobei die Grundwässer des Br. 10 dem Ahrgrundwasser und die des Br. 4 dem südlichen Teil der „Goldenen Meile“ zuzurechnen sind (Abb.1).

Die Verteilung von Eisen, Mangan und Aluminium in den Grundwässern zeigt nicht die genannte Differenzierung. Im südlichen Teilbereich weisen alle beprobten Grundwässer bei mindestens einer Analysenserie erhöhte Gehalte auf. Im nördlichen Teil wur-

den bei den Messstellen Br. 11 und Br. 12 erhöhte Konzentrationen festgestellt. Bei den Untersuchungen im Januar 1996 wurden bei allen beprobten Grundwässern gegenüber den Untersuchungen vom November 1994 deutlich geringere Gehalte, meist unterhalb der Nachweisgrenze analysiert. Eine generelle Abnahme lässt sich auf Grundlage der vorliegenden Messreihe jedoch ausreichend abgesichert nicht herleiten. Es sind weitere Untersuchungen erforderlich. Im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes liegen die Grundwässer mit erhöhten Spurenelementgehalten nahe dem Steilanstieg zur Eifel. Weiter in Richtung Rhein gehen die Konzentrationen an Eisen, Mangan und Aluminium wieder auf Werte unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze zurück.

Gemäß der Einteilung nach FURTAK & LANGGUTH (1967) sind die Wässer als überwiegend hydrogenkarbonatische erdalkalische Wässer mit hohem Alkaligehalt zu klassifizieren.

### 3.2.2. Grundwässer der Ahrniederterrasse zwischen Bad Neuenahr und Bad Bodendorf

Durch HART (1984) wurden 23 Grundwasserproben aus dem Niederterrassenaquifer der Ahr im Bereich Bad Neuenahr/Bad Bodendorf entnommen, hydrochemisch analysiert und ausgewertet. Durch geostatistische Auswertungen (Faktorenanalyse) stellte er fest, dass es bei einigen Wasserproben zu Veränderungen durch Zumischung von Mineralwässern kommt. Der Zutritt macht sich durch erhöhte Natrium-, Kalium-, Magnesium- Hydrogenkarbonat- und CO<sub>2</sub>-Gehalte bemerkbar. Die Analyseergebnisse ohne festgestellten Zutritt von Mineralwässern sind in Tab. 5 zusammengefasst.

Gemäß FURTAK & LANGGUTH (1967) sind die Grundwässer als überwiegend hydrogenkarbonatisch zu klassifizieren. Bei den Kationen dominieren meist die Alkalien, bei wenigen Proben ist der Erdalkalienanteil vorherrschend.

Tab. 5: Hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer der Ahrniederterrasse ohne erkennbare Mineralwasserzutritte im Bereich Bad Neuenahr/Bad Bodendorf (Datengrundlage: HART 1984; Angaben in mg/l soweit nicht anders angegeben).

| Parameter              | Variationsbreiten | Mittelwerte | Anmerkungen      |
|------------------------|-------------------|-------------|------------------|
| Anzahl der Proben      | 14                |             |                  |
| pH-Wert                | 6,4–8,3           | 7,0         |                  |
| Temperatur [°C]        | 8,9–13,4          | 11,7        |                  |
| Elektr. Leitf. [µS/cm] | 441–798           | 531         |                  |
| Redox-Potential [mV]   | 7–600             | 218         |                  |
| Calcium                | 44–73             | 55          |                  |
| Magnesium              | 12–27             | 18          |                  |
| Natrium                | n.n.–49           | 25          |                  |
| Kalium                 | n.n.–13,4         | 4,8         |                  |
| Chlorid                | 23–65             | 38          |                  |
| Sulfat                 | 26–91             | 47          |                  |
| Hydrogenkarbonat       | 157–211           | 182         |                  |
| SiO <sub>2</sub>       | 4,1–11            | 7,7         |                  |
| Eisen (gesamt)         | n.n.–3,6          | 0,42        | einige Ausreißer |
| Mangan                 | n.n.–0,35         | 0,05        |                  |
| Kohlendioxid           | n.n.–110          | 42          |                  |

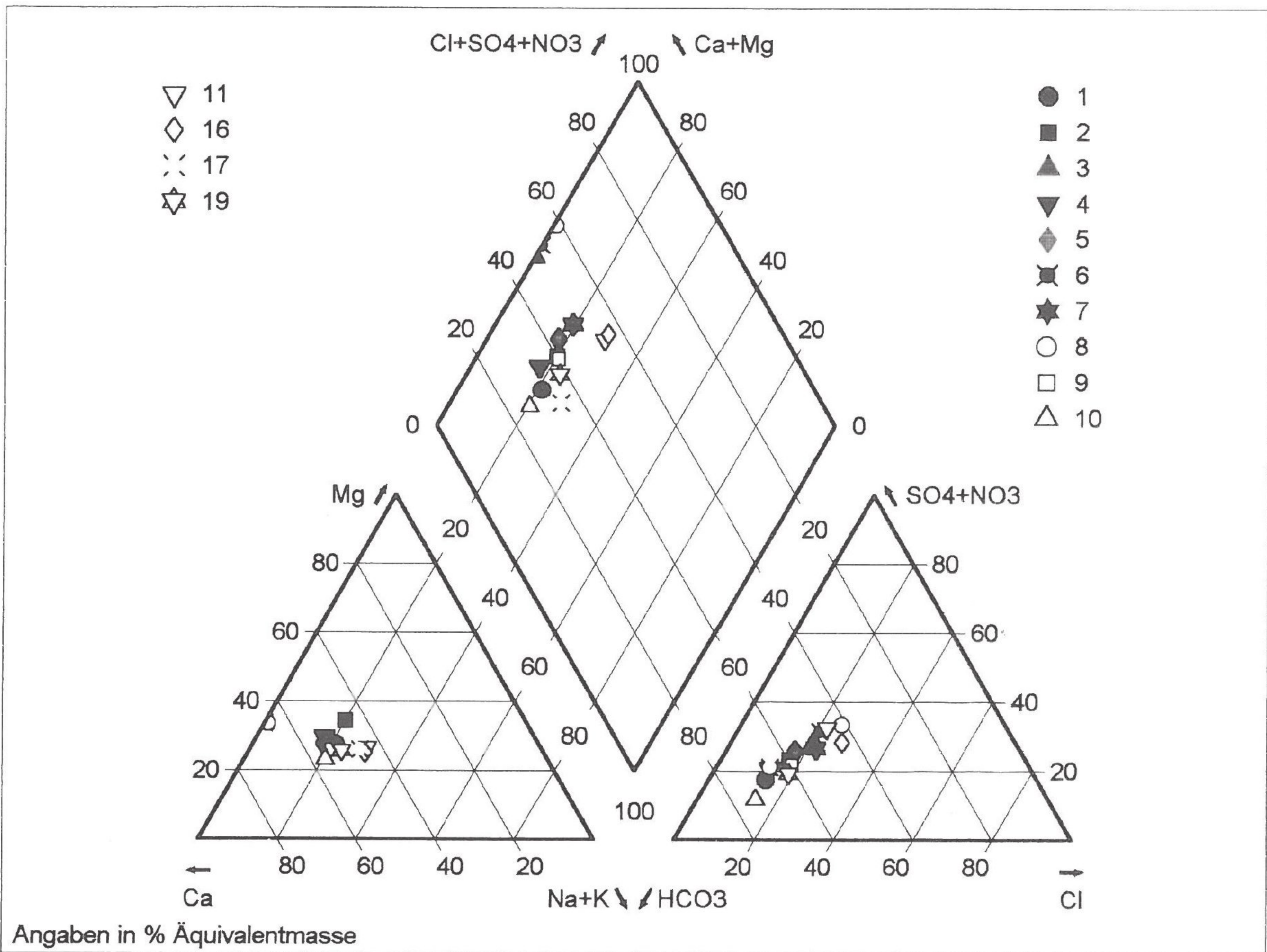


Abb. 5: PIPER-Diagramm der Grundwässer der Ahrniederterrasse ohne Mineralwasserzutritte im Bereich Bad Neuenahr/Bad Bodendorf (HART 1984).

### 3.2.3. Grundwässer der Ost-Eifel

Weiterhin hat HART (1984) 16 Quellen und Brunnen flach zirkulierender Grundwässer außerhalb der Ahrniederung untersucht. Auch hier stellte er auf Grundlage geostatistischer Auswertungen fest, dass es zu Veränderungen der Wässer durch  $\text{CO}_2$ -Zutritte kommt. Außerdem wurde eine Unterscheidung dahingehend notwendig, ob eine Lößüberdeckung vorhanden ist oder fehlt. In Tab. 6 sind die Analysenergebnisse zusammengefasst.

In Abb. 6 sind die Grundwasseranalysenergebnisse in Form von PIPER-Diagrammen dargestellt. Die Grundwässer in Bereichen mit Lößüberdeckung sind gegenüber denjenigen ohne Lößüberdeckung durch einen höheren Lösungsinhalt charakterisiert. Außerdem lassen sich die Wässer auf Grundlage der Ionenanteile unterscheiden (Abb. 6). Die Grundwässer mit Lößüberdeckung weisen bei den Kationen über 80% der Äquivalentmasse als Erdalkalien auf. Demgegenüber ist in Bereichen ohne Lößüberdeckung ein Anteil zwischen meist 20 bis 40% von Alkalien vorhanden. Gemäß der Klassifikation von FURTAK & LANGGUTH (1967) sind die Grundwässer im Bereich mit Lößüberdeckung meist als überwiegend hydrogencarbonatische normal erdalkalische Wässer einzustufen.

Tab. 6: Hydrochemische Beschaffenheit der flach zirkulierenden Grundgebirgswässer der Ost-Eifel (Datengrundlage: HART 1984; Angaben in mg/l soweit nicht anders angegeben).

| Parameter                     | Ohne Lößüberdeckung |             | Mit Lößüberdeckung |             |
|-------------------------------|---------------------|-------------|--------------------|-------------|
|                               | Variationsbreiten   | Mittelwerte | Variationsbreiten  | Mittelwerte |
| Anzahl der Proben             | 5                   |             | 7                  |             |
| pH-Wert                       | 6,6–7,5             | 7,1         | 6,7–7,2            | 7,1         |
| Temperatur [°C]               | 6,8–11,5            | 8,9         | 3,3–11,3           | 9,0         |
| Elektr. Leitfähigkeit [µS/cm] | 122–250             | 214         | 472–751            | 640         |
| Redox-Potential [mV]          | 99–289              | 191         | 209–680            | 325         |
| Calcium                       | 6,9–20              | 14          | 56–102             | 81          |
| Magnesium                     | 3,1–13              | 8,5         | 16–29              | 22          |
| Natrium                       | 7,8–14              | 9,8         | 10–19              | 13          |
| Kalium                        | 1,6–2,2             | 1,9         | 1,3–5,4            | 3,2         |
| Chlorid                       | 9–55                | 22          | 15–77              | 37          |
| Sulfat                        | 10–19               | 15          | 38–63              | 52          |
| Hydrogenkarbonat              | 24–122              | 66          | 140–314            | 235         |
| SiO <sub>2</sub>              | 6,6–8,6             | 7,9         | 3,1–10,4           | 7,8         |
| Eisen (gesamt)                | Sp.–0,12            | 0,22        | n.n.–0,19          | 0,06        |
| Mangan                        | n.n.–0,48           | 0,14        | n.n.–0,02          | Spuren      |
| Kohlendioxid                  | 10–71               | 35          | n.n.–42            | 13          |

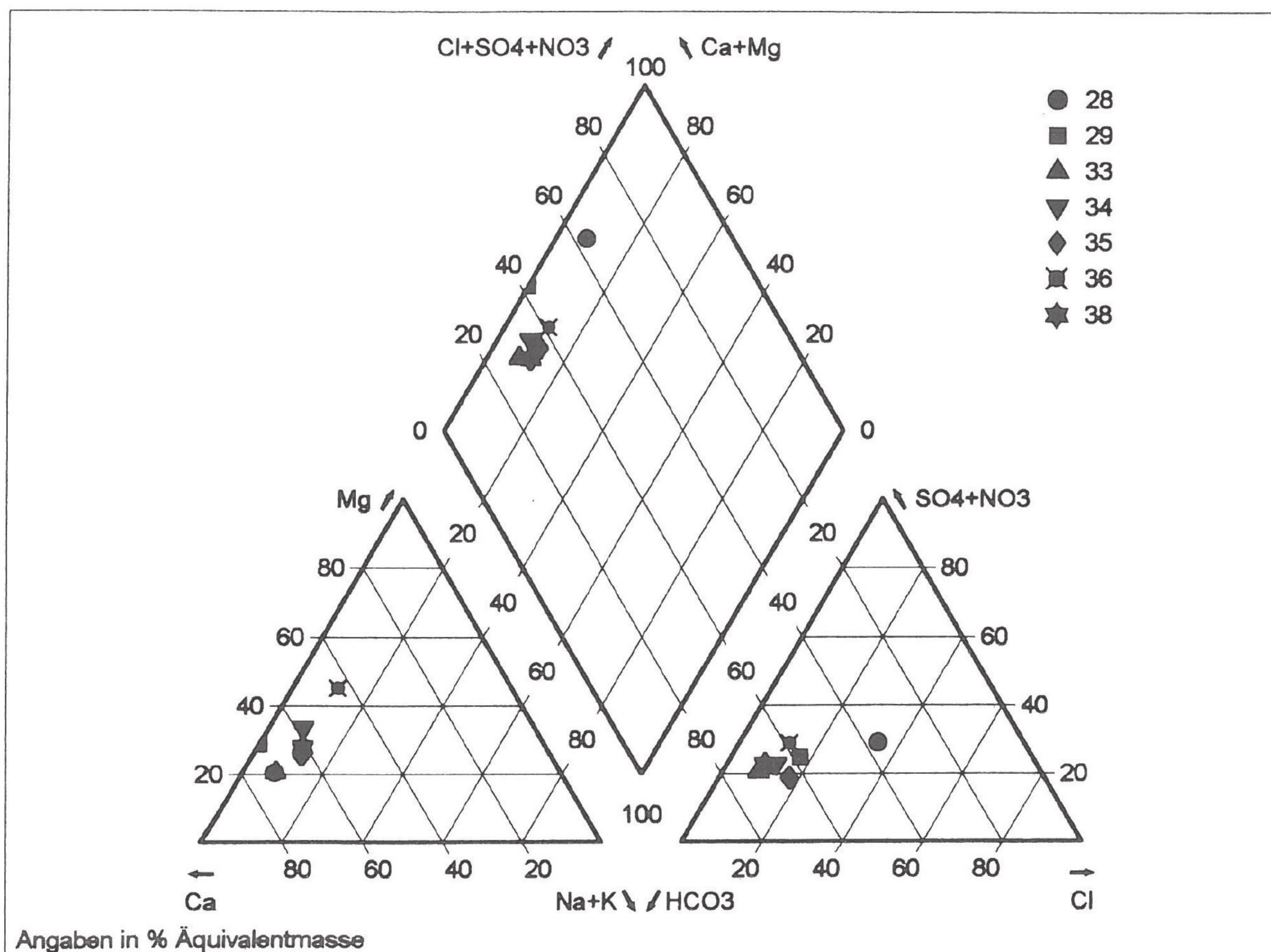


Abb. 6a: PIPER-Diagramm der flach zirkulierenden Grundwässer des Grundgebirges der Ost-Eifel mit Lößüberdeckung.

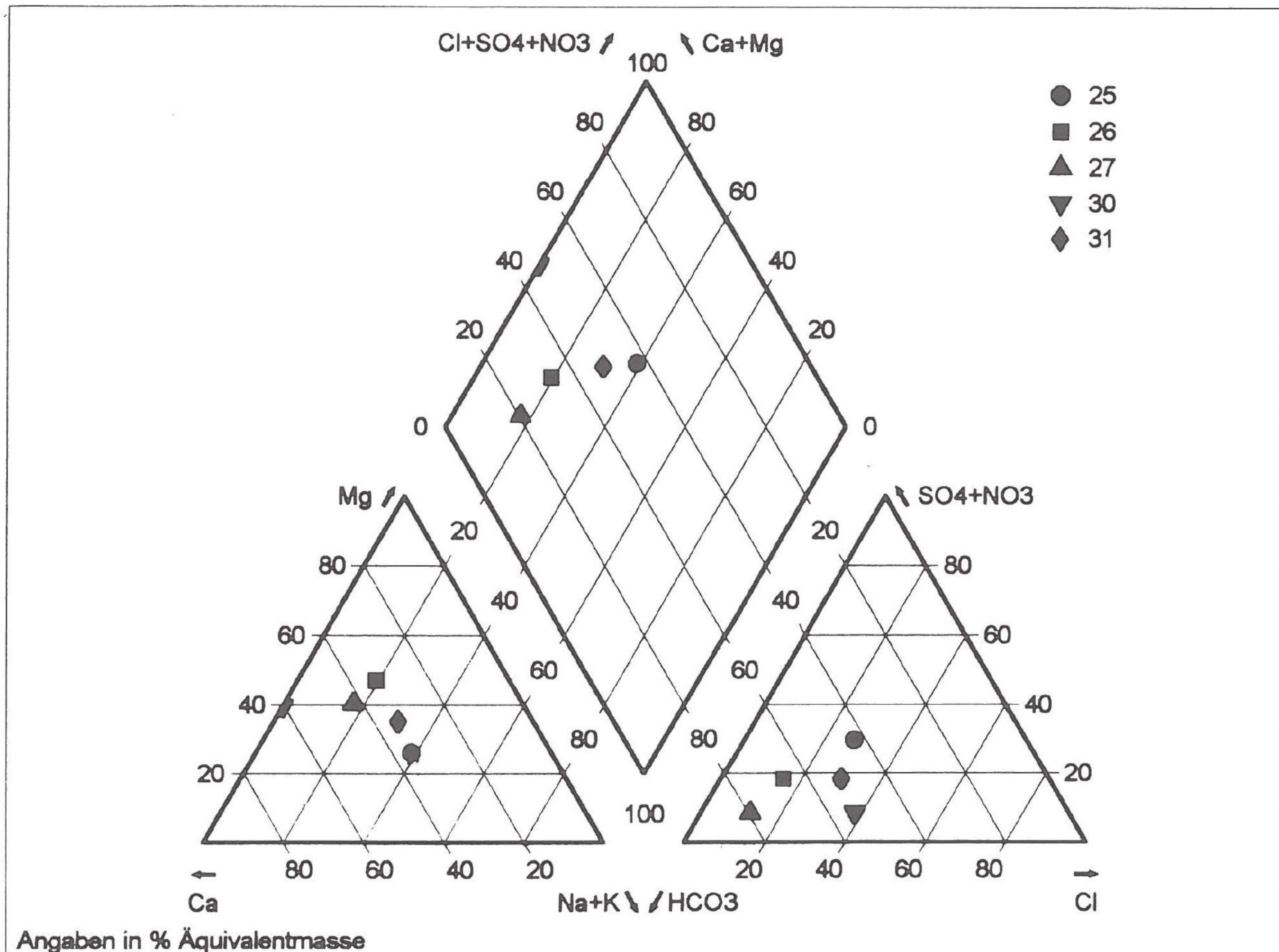


Abb. 6b: PIPER-Diagramm der flach zirkulierenden Grundwässer des Grundgebirges der Ost-Eifel ohne Lößüberdeckung.

### 3.2.4. Tiefenwässer

Die Tiefenwässer des Unteren Ahrtales gehören zu der Grundwasserprovinz „Osteifel–Rheintal“ (LANGGUTH & PLUM 1984). Nach der Einteilung von CARLÉ (1975) sind die Tiefenwässer des Mittelrheines und Unteren Ahrtales als Thermalsäuerlinge zu klassifizieren. Charakteristisches Merkmal dieser Wässer ist der hohe Gehalt an freiem  $\text{CO}_2$ . Das Auftreten der Mineralwässer der Osteifel beschränkt sich auf Gebiete mit jungem Vulkanismus (LANGGUTH & PLUM 1984). Daher ist es naheliegend, die Herkunft des  $\text{CO}_2$  hiermit in Verbindung zu bringen. Isotopenuntersuchungen von PUCHELT & HUBBERTEN (1980) deuten ebenfalls auf die magmatische Herkunft des Kohlendioxids hin.

Nach LANGGUTH & PLUM (1984) sind die hohen Austrittstemperaturen (Tab. 7) Ausdruck einer hohen Zirkulationstiefe und geringer Abkühlungsverluste beim Aufstieg. Die Zumischung von aufsteigendem  $\text{CO}_2$ -Gas zum Grundwasser führt zu einer Verringerung des spezifischen Gewichts und damit zu einem raschen Aufstieg (MICHEL 1997). Andererseits erhöht sich durch die Einwirkungen seiner Lösungen auf das Kontaktgestein die Gesamtmineralisation. Die teilweise erhöhten Cl-Gehalte können durch den Aufstieg NaCl-haltiger Solen erklärt werden.

Nach HART (1984) sind die Lokalitäten der Mineral- und Thermalbrunnen der Osteifel an drei Kriterien gebunden:

1. Tiefes topographisches Niveau, welches meist in Tälern gegeben ist,
2. Nachbarschaft zu tektonischen Sätteln,
3. Bereiche jüngerer Bruchtektonik.

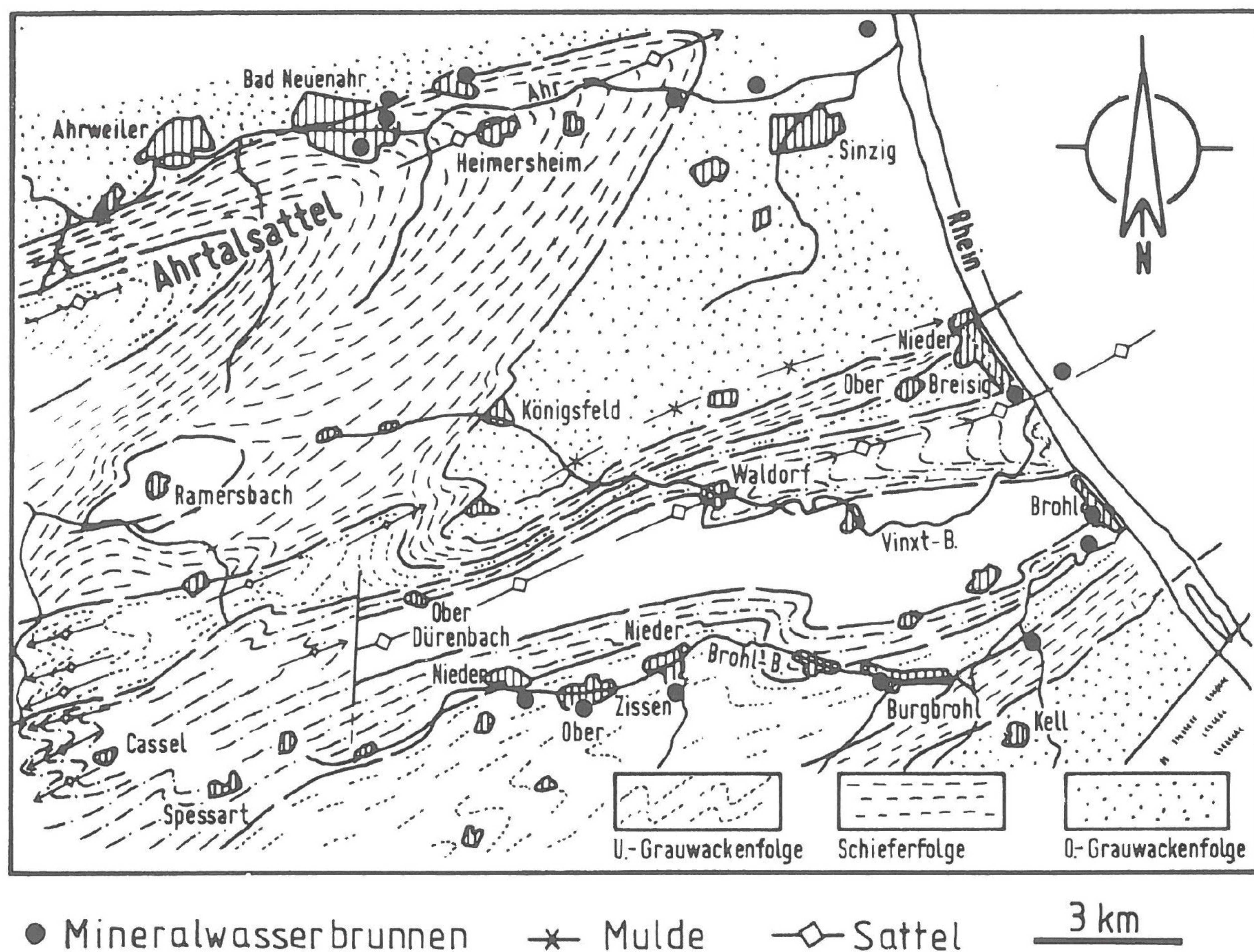


Abb. 7: Übersichtskarte der Mineralwasservorkommen im Bereich der Unteren Ahr und „Goldenen Meile“ (abgeändert in Anlehnung an MEYER 1957).

Die Mineralwasservorkommen im Bereich Bad Neuenahr/Bodendorf unterscheiden sich hinsichtlich ihrer hydrochemischen Beschaffenheit. HART (1984) führt eine Differenzierung in 2 Gruppen durch, deren geographische Trennung durch die Ahrtalstörung gegeben ist. Allerdings ist zwischen den Gruppen ein kontinuierlicher Übergang vorhanden. Dies wird als Mischungsreihe interpretiert.

Die Mineralwässer südlich der Ahrtalstörung sind durch höhere Hydrogenkarbonatgehalte und z.T. erhöhte Temperaturen gekennzeichnet. Nördlich der Störung weisen die Mineralwässer erhöhte Konzentrationen an freier Kohlensäure, Alkalien, Chlorid und Sulfat auf.

In Tab. 7 ist die chemische Beschaffenheit der Mineralwässer des Unteren Ahrtales zusammengefasst. Die chemische Zusammensetzung des Maria-Luisen-Sprudels in Remagen-Kripp ist gesondert dargestellt.

Die chemischen Parameter lassen eine weite Streuung erkennen. HART (1984) interpretiert die Unterschiede dahingehend, dass mehrere Grundgesamtheiten erfasst sind. Die Mineralwässer des Unteren Ahrtales sind Mischwässer aus einem langsam zirkulierenden, störungsgebundenen Tiefenwasser und einem höher temperierten Säuerling, dessen Mineralisation von Temperatureffekten und aggressiver Kohlensäure gesteuert wird. Die Mineral- und Thermalwässer nördlich der nordeinfließenden Ahrtalstörung zeigen deutliche Tiefenwassereinflüsse, was sich insbesondere durch erhöhte Chloridgehalte äußert (HART 1984).

Tab. 7: Hydrochemische Beschaffenheit der Mineralwässer des Unteren Ahrtales (HART 1984; HEYL 1972; Angaben in mg/l soweit nicht anders angegeben).

| Parameter                    | Variationsbreiten | Mittelwert | Standardabweichung | Maria-Luisen-Quelle (HEYL 1972) |
|------------------------------|-------------------|------------|--------------------|---------------------------------|
| Anzahl der Proben            | 11                |            |                    | 1                               |
| pH-Wert                      | 5,7–6,3           | 6,0        | 0,2                | 6,2                             |
| Temperatur [°C]              | 13,7–43           | 27,7       | 7,5                | 18,3                            |
| Elektrische Lf [ $\mu$ S/cm] | 891–5324          | 2738       | 1471               | nicht angegeben                 |
| Calcium                      | 53–128            | 87         | 21                 | 83                              |
| Magnesium                    | 39–157            | 106        | 41                 | 82                              |
| Natrium                      | 75–1262           | 486        | 348                | 703                             |
| Kalium                       | 16–61             | 30         | 15                 | 14                              |
| Chlorid                      | 36–508            | 163        | 136                | 539                             |
| Sulfat                       | 30–317            | 127        | 80                 | 122                             |
| Hydrogenkarbonat             | 434–3322          | 1718       | 891                | 1476                            |
| SiO <sub>2</sub>             | 3–32              | 18         | 8,9                | 16                              |
| Eisen                        | 0,22–11           | 3,7        | 3,8                | 2,9                             |
| Mangan                       | 0,11–1,7          | 0,63       | 0,53               | 0,32                            |
| Kohlendioxid                 | 1266–4042         | 2132       | 779                | 1826                            |

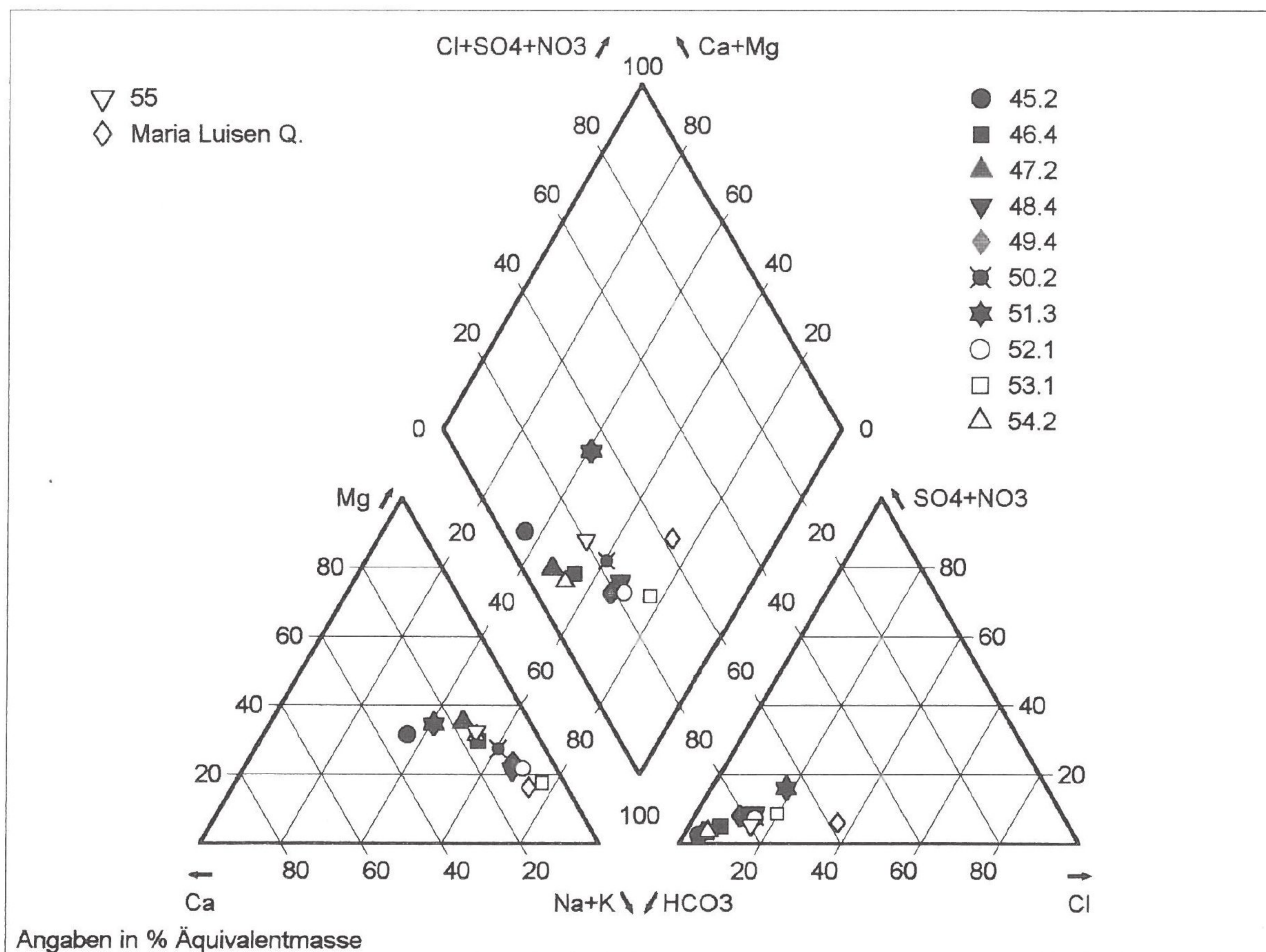


Abb. 8: PIPER-Diagramm der Mineralwässer des Unteren Ahrtales zwischen Bad Neuenahr und Bad Bodendorf und der Maria-Luisen Quelle in Remagen–Kripp (Datengrundlage: HART 1984 und HEYL 1972).



Der überwiegende Anteil der von HART (1984) untersuchten Tiefenwässer gehört gemäß der Einteilung von LANGGUTH & FURTAK (1967) in die Gruppe der alkalischen überwiegend hydrogenkarbonatischen Wässer. Gegenüber dieser Charakterisierung sind bei einigen Tiefenwässern erhöhte Konzentrationen an Erdalkalien vorhanden. Die Wässer der Maria-Luisen-Quelle fallen durch erhöhte Chloridgehalte auf.

### 3.2.5. Mischwässer der Niederterrassen

Im Bereich der Ahrniederterrasse wurde von HART (1984) bei acht beprobten Grundwassermeßstellen die Zumischung von Mineralwässern nachgewiesen. In Tab. 8 sind die Analyseergebnisse von Grundwässern der Ahrniederterrasse mit Zutritten von Mineralwässern denjenigen ohne Tiefenwasserbeeinflussung gegenübergestellt.

Der nachgewiesene Mineralwasserzutritt ist dort am signifikantesten, wo das Ahrtal den Ahrsattel quert. Der Einfluss der Mineralwässer führt zu einer deutlichen Erhöhung von freiem Kohlenstoffdioxid sowie von Natrium, Magnesium und Hydrogenkarbonat. Die pH-Werte liegen um 6 gegenüber den neutralen Grundwässern, bei denen keine Tiefenwässer zutreten.

Tab. 8: Grundwässer der Ahrniederterrasse zwischen Bad Neuenahr und Bad Bodendorf (Datengrundlage: HART 1984; Angaben in mg/l soweit nicht anders angegeben).

| Parameter                              | Nicht mineralwasserbeeinflusste Grundwässer |                    | Mineralwasserbeeinflusste Grundwässer |                    |
|--|---|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
|  | Mittelwert                                  | Standardabweichung | Mittelwert                            | Standardabweichung |
| Anzahl der Proben                      | 14  |                    | 8                                     |                    |
| pH-Wert                                | 7,06  | 0,50               | 6,15                                  | 0,19               |
| Temperatur [°C]                        | 11,7  | 1,40               | 12,2                                  | 0,73               |
| El. Leitf. [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | 531   | 98,5               | 711                                   | 179                |
| Calcium                                | 54  | 11                 | 51                                    | 8,9                |
| Magnesium                              | 18  | 3,8                | 25                                    | 6,4                |
| Natrium                                | 25  | 11                 | 49                                    | 25                 |
| Kalium                                 | 4,8   | 1,6                | 9,6                                   | 6,1                |
| Chlorid                                | 38  | 15                 | 48                                    | 11                 |
| Sulfat                                 | 46  | 18                 | 57                                    | 13                 |
| Hydrogenkarbonat                       | 180   | 19                 | 271                                   | 86                 |
| Kohlendioxid                           | 42  | 26                 | 390                                   | 195                |

## 4. Schlußfolgerungen

Die nahezu rechtwinklig dem Rhein zuströmenden Grundwässer der Ahrniederterrasse dominieren auch im Bereich der Rheinniederterrasse die Grundwasserhydraulik. Die Grundwasserfließrichtung wird nicht durch den wesentlich stärkeren Strom Rhein sondern durch die Ahr bestimmt, denn bis in die Einmündungszone fließt das Grundwasser auch in der Rheinniederterrasse – selbst bei hohen und niedrigen Grundwasserständen – ahrparallel.

Die im Mündungsbereich der Ahr, z.T. quer zur Fließrichtung des Rheins, durchströmte Niederterrasse hebt sich im hydrochemischen Befund erheblich vom rheinoberstromigen Bereich ab. Denn hier dominiert der Chemismus der Niederterrassenwässer des Ahrtales, ergänzt um infiltrierendes Ahrwasser und einen geringen Anteil Grundwasserneubildung. Die Grundwässer der Ahrniederterrasse zeigen einen signifikanten

Mineralwasseranteil, der als Tiefenwasser im Ahrtal zugemischt wird und zu einem sauren Grundwasser mit erhöhtem Gehalt an Kohlensäure führt.

Im südlichen Bereich der „Goldenen Meile“ kommen im Gegensatz dazu neutrale Grundwässer ohne erkennbare Zumischung von Tiefenwässern vor. Die Grundwasserfließrichtung erfolgt stumpfwinklig zum Rhein. Diese Grundwässer setzen sich aus der Grundwasserneubildung, Zuflüssen aus dem Schiefergebirge sowie dem Grundwasserzustrom des weiter rheinaufwärts gelegenen Teils der Niederterrasse zusammen. Die hydraulischen Gradienten und der damit verbundene Grundwasserabfluss reduzieren sich.

### Schriften

- AHRENS, A. (1939): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen 1:25 000, Blatt 5409 Linz (Nr. 3157), 47 S., Berlin.
- CARLÉ, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa: Geologie, Chemismus, Genese. 643 S., 1402 Tab., 15 Kart., Stuttgart.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1957): Klima-Atlas von Rheinland-Pfalz. 77 Ktn., 38 S. Erl., Bad Kissingen.
- FURTA, H. & LANGGUTH, H. R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. — Mem. JAH-Congress, 1965, VII, S. 89–96, 5 Abb., Hannover.
- HART, R. (1984): Eine genetische Klassifikation der Mineral- und Süßwässer im Unteren Ahrtal zur Erfassung oberflächennaher Mischvorgänge. Diplomarbeit Univ. Aachen 95 S., 38 Abb., 16 Tab., Anh., Aachen. — [unveröff.].
- HEYL, K. E. (1972): Bäderbuch Rheinland-Pfalz. 178 S., 28 Tab., 19 Abb., Mainz.
- KAISER, E. & HOFFMANN, A. (1937): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25 000, Blatt 5409 Linz (Nr. 3157), Berlin.
- LANGGUTH, H. R. & PLUM, H. (1984): Untersuchung der Mineral- und Thermalquellen der Eifel auf geothermische Indikatoren. 176 S., Aachen.
- MEYER, W. (1957): Geologie der Siegener Schichten zwischen Ahr und Nette. — Z. deutsch. geol. Ges., **109**, S. 452–462, Hannover.
- MEYER, W. & PAHL, A. (1960): Zur Geologie der Siegener Schichten in der Osteifel und im Westerwald. — Z. deutsch. geol. Ges., **112**, S. 278–291, Hannover.
- MEYER, W. (1986): Die Geologie der Eifel. 614 S., 153 Abb., 13 Tab., 1 Beil., Stuttgart.
- MICHEL, G. (1997): Mineral- und Thermalwässer — Allgemeine Balneologie. 398 S., 104 Abb., 72 Tab., Stuttgart.
- PLUM, H. (1989): Genetische Klassifikation und geochemische Interpretation der Mineral- und Thermalwässer der Eifel und Ardennen. — Mitt. zur Ingenieurgeologie und Hydrogeologie, **34**, 170 S., 55 Abb., 20 Tab., Aachen.
- PUCHELT, H. & HUBBERTEN, H.W. (1980): Vulkanogenes Kohlendioxid: Aussagen zur Herkunft aufgrund von Isotopenuntersuchungen. — Mitt. Zentralinst. Isotopengeochemie, **30**, S. 198–210, 3 Abb., Leipzig.

Anschriften der Autoren:

Dr. GEORG WIEBER, Bezirksregierung Koblenz, Stresemannstraße 3–5, D-56068 Koblenz.  
Diplom-Geologe RAINER HART, Chemisch-technisches Laboratorium H. Hart, Auf dem Rheinblick 1, D-56581 Melsbach.

Manuskript eingegangen am 1. 4. 1998