

4.3 Hauptinhaltsstoffe

Das Vorkommen von **Nitrat** im Grundwasser kann verschiedene Ursachen haben. So führt zum Beispiel die Zersetzung pflanzlichen Materials zur Freisetzung von Nitraten, die mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen können. Diese natürliche Hintergrundbelastung mit Nitraten beträgt standortbezogen bis zu etwa 15 mg/l. Aber auch über die Niederschläge („Saurer Regen“) werden Stickoxide und damit Nitrate in das Grundwasser eingetragen. Hauptursache für das Vorkommen erhöhter Nitratwerte ist jedoch nach wie vor der Düngemiteinsatz in der Landwirtschaft. Nitrathaltige Gesteine als mögliche geogene Nitratquellen finden sich in Rheinland-Pfalz nicht.

Von den 1578 im Zeitraum 1995 – 1999 untersuchten Grundwassermessstellen weisen 23 % Nitratwerte über 25 mg/l auf, bei nahezu jeder zehnten Messstelle werden 50 mg/l überschritten. Dabei sind jedoch regional deutliche Unterschiede festzustellen.

Die höchsten Nitratkonzentrationen des oberflächennahen Grundwassers finden sich in Rheinhessen, im unteren Nahetal, in der Vorhaardt, auf den Hochflächen des Pfälzer Westrich, im Saargau, im Zentralteil des Bitburger Landes, im Taleinschnitt der Mittelmosel, im Maifeld, im Pellenzer Feld und im Neuwieder Becken. Hier werden häufig Konzentrationen von mehr als 50 mg/l erreicht. In der Rheinebene zwischen Mainz und Bingen liegen die Nitratgehalte verbreitet bei mehr als 100 mg/l. Die erhöhten Einträge kommen durch den Anbau von Obst- und Sonderkulturen in Verbindung mit einem geringen Rückhaltevermögen der meist sandigen Böden zu Stande. Ähnliches gilt auch für die Gemüseanbaugebiete im Raum Lambsheim – Maxdorf. Darüber hinaus finden sich im Bereich der südlichen Vorderpfalz (Hochterrasse) unter den landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen stark erhöhte Nitratwerte im Grundwasser.

Mittlere Nitratgehalte (25 - 50 mg/l) sind in den Höhenlagen von Eifel, Westerwald, Hunsrück und Taunus sowie im Nordpfälzer Bergland anzutreffen, sofern die Böden landwirtschaftlich genutzt werden. Eine Besonderheit kann an exponierten Oberhangquellen der Mittelgebirge festgestellt werden. Hier wurden als Folge des Sauren Regens und von Windwürfen zeitweise Nitratwerte über 25 mg/l gemessen, die aktuell jedoch rückläufig sind.

Im Gebiet des Eicher Rheinbogens und der Niederterrasse der südlichen Vorderpfalz liegen verbreitet reduzierende Grundwasserverhältnisse vor. Hier kommt es durch das Vorhandensein von organischem Material im Grundwasserleiter zu einem natürlichen mikrobiellen Nitratabbau. Trotz eines zweifellos stattfindenden Nitratintrages ist das Grundwasser nitratfrei.

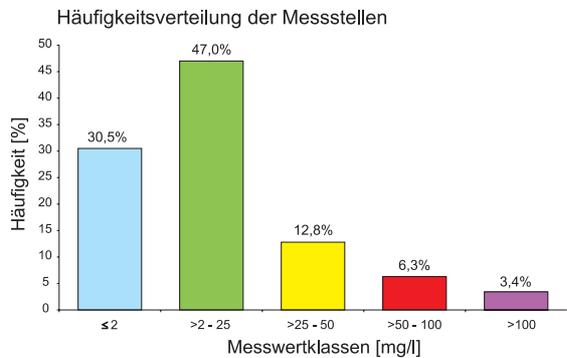
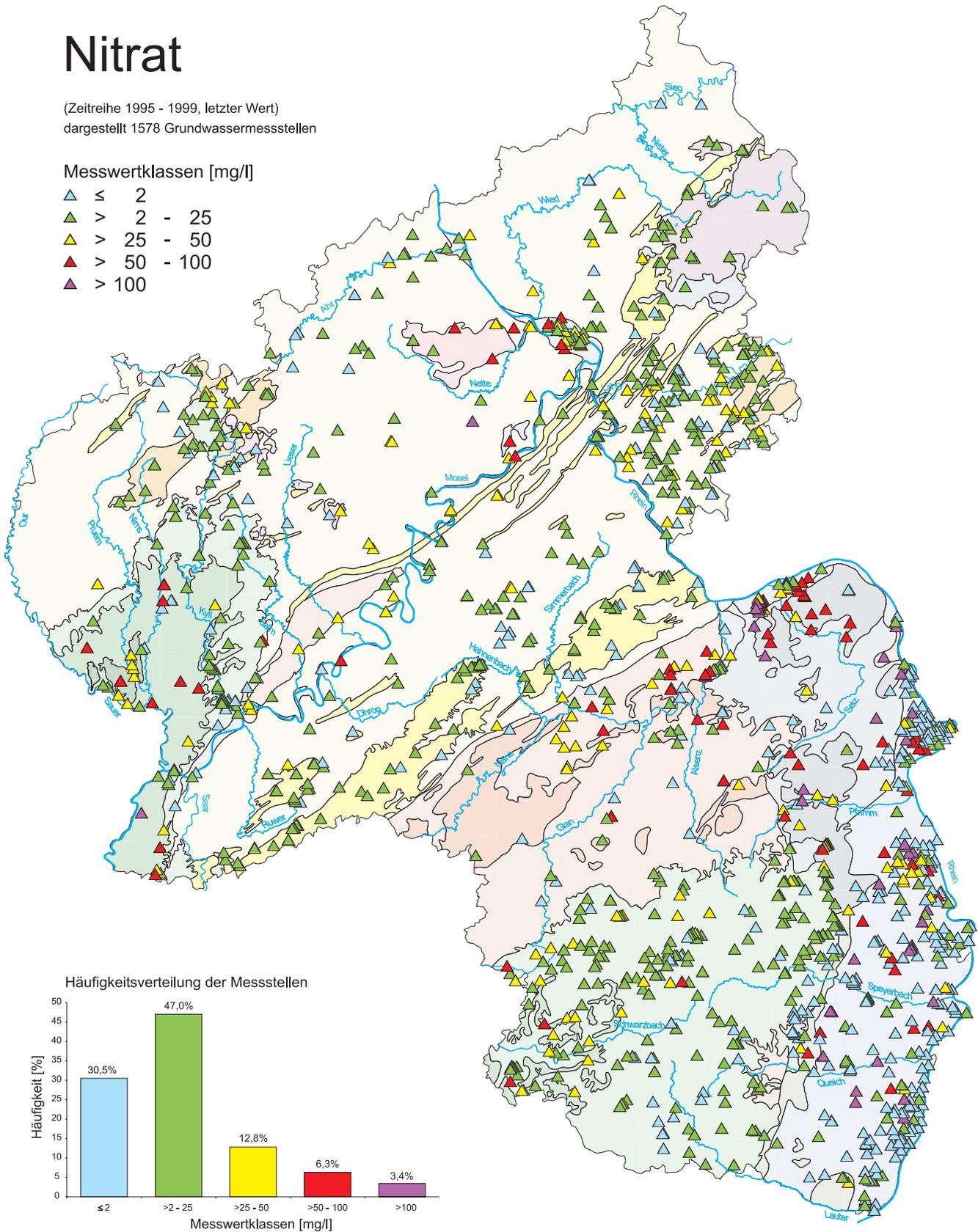
Die Rangstatistik aller Nitratwerte zeigt bezogen auf die einzelnen Grundwasserlandschaften signifikante Unterschiede. In Grundwasserlandschaften mit basen- bzw.

Nitrat

(Zeitreihe 1995 - 1999, letzter Wert)
dargestellt 1578 Grundwassermessstellen

Messwertklassen [mg/l]

- △ ≤ 2
- ▲ > 2 - 25
- ▲ > 25 - 50
- ▲ > 50 - 100
- ▲ > 100



Rangstatistik aller Nitratwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften (GWL); 14.613 Analysen an 2.246 Messstellen

| Grundwasserlandschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | <0,1 | 0 | 2 | 37 | 113 |
| 2 | 1 | 10 | 21 | 31 | 77 |
| 3 | 8 | 18 | 50 | 68 | 99 |
| 4 | <0,1 | 0 | 38 | 85 | 94 |
| 5 | 2 | 19 | 42 | 78 | 105 |
| 6 | 5 | 7 | 10 | 13 | 15 |
| 7 | 29 | 50 | 62 | 66 | 70 |
| 8 | <1 | 8 | 27 | 48 | 59 |
| 9 | 1 | 2 | 5 | 11 | 24 |
| 10 | 0 | 3 | 20 | 51 | 88 |
| 11 | 1 | 7 | 10 | 14 | 16 |
| 12 | 3 | 6 | 10 | 18 | 25 |
| 13 | 1 | 2 | 4 | 6 | 14 |
| 14 | <5 | 2 | 8 | 24 | 34 |

nährstoffreichen Böden und Gesteinen liegt der Median der Messwerte über 25 mg/l. Für die **Quartären Sedimente** (GWL 1) gilt die Besonderheit, dass einem Median von 2 mg/l ein Mittelwert von 33 mg/l gegenübersteht. Bei oxidierendem Grundwassermilieu finden sich unter landwirtschaftlichen Nutzflächen erhöhte Werte, während bei reduzierendem Milieu praktisch Nitratfreiheit vorliegt.

Obwohl bereits seit vielen Jahren der Düngemiteleinsatz zurückgeht, liegen weiterhin sehr hohe Nitrat-

belastungen des oberflächennahen Grundwassers vor. Beim Wechsel der Anbaukultur, (z. B. Umstellung auf Gemüseanbau, Schwarzbrache) kann es darüber hinaus zu punktuell hohen Nitratbelastungen des Grundwassers kommen. Die Stoffeinträge unterliegen saisonalen Schwankungen. Die höchste Grundwasserneubildung findet während des hydrologischen Winterhalbjahres (November-April) statt. In dieser Zeit gelangt der Reststickstoff, welcher nach der Ernte noch im Oberboden bevorratet ist, mit dem Sickerwasser ins Grundwasser. Daneben spielen aber auch der Wassertransport über Makroporen sowie Stoffumsatzprozesse und vielfältige Wechselwirkungen mit Böden und Gesteinen eine bedeutende Rolle.

Zur Beschreibung von **Nitrattrends** im Grundwasser wird eine unter landwirtschaftlichen Nutzflächen landesweit verteilte, konsistente Messstellengruppe (Anzahl 57) herangezogen, welche seit Mitte der 80er-Jahre beobachtet wird. Sämtliche Messstellen gehören der NO_3 -Klasse $> 25\text{mg/l}$ an. Dabei kommen Messstellen mit fallenden und solche mit steigenden Trends gleich häufig vor (Anzahl jeweils 10). Diese Tatsache deutet darauf hin, dass der Nitratreintrag nach wie vor auf zu hohem Niveau stattfindet. Die ermittelten Nitrattrends betragen dabei über die Beobachtungsdauer meist nur wenige $\text{mg/l} \times \text{a}$, wobei die saisonalen Schwankungsbreiten der Nitratkonzentrationen - insbesondere bei Beobachtungsrohren - wesentlich höher liegen können (Abb. 14).

Sehr hohe Schwankungen bzw. Änderungen des Nitratgehaltes sind im Grundwasser des Raumes Heidesheim - Bingen festzustellen, da verlagerte Rohwasserentnahmen zu veränderten Zustromverhältnissen geführt haben. Seit Anfang der 90er-Jahre sind in diesem Raum meist fallende Nitratwerte zu messen, die jedoch bereichsweise nach wie vor deutlich über 100 mg/l liegen können (Abb. 15).

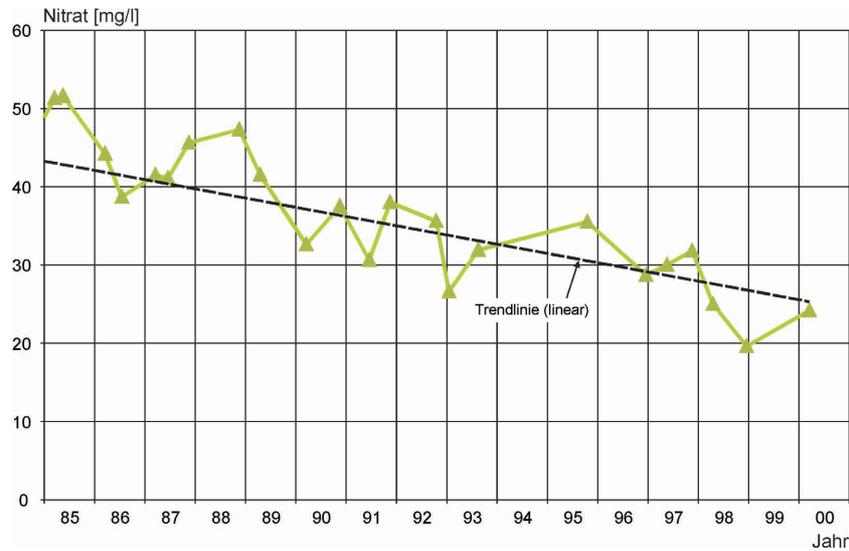


Abb. 14: Nitratentwicklung des Grundwassers am Beobachtungsrohr 6058 Neuwied

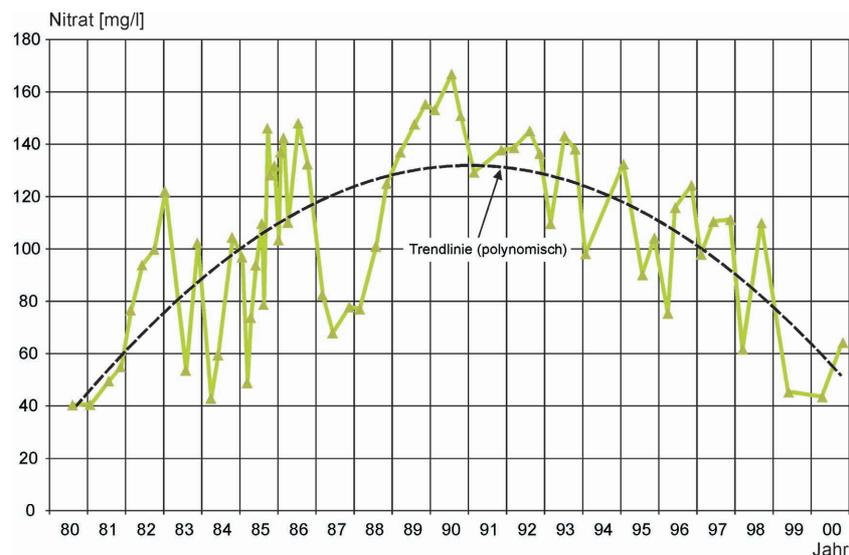


Abb. 15: Nitratentwicklung des Grundwassers am Beobachtungsrohr 2057A Ingelheim

Während die Messergebnisse an Beobachtungsrohren nur eine sehr begrenzte, lokale Aussagekraft besitzen, eignen sich Schichtquellen, welche als „Naturlysimeter“ fungieren, besonders gut zur Beobachtung vieljähriger Tendenzen. In ihrer Wasserbeschaffenheit zeigen sie ein Integral über das gesamte Einzugsgebiet und egalisieren saisonale Einflüsse. Die festgestellten Trends belegen, dass es auch bei zurückgehendem Düngemiteleinsatz viele Jahre dauern wird, bis signifikante Besserungen hinsichtlich der Nitratbelastungen des Grundwassers zu erwarten sind (Abb. 16).

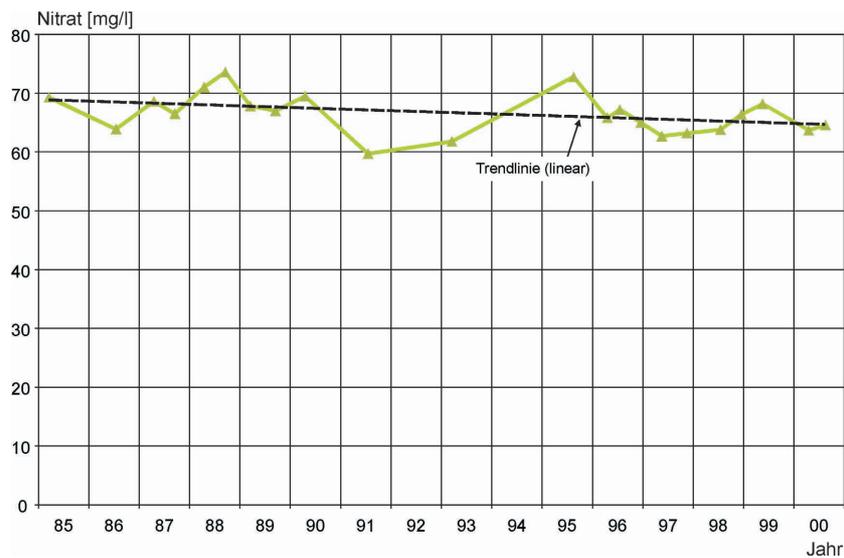


Abb. 16: Nitratentwicklung des Grundwassers an der Quelle 4503 Ferschweiler

Erhebliche Nitratmengen können z. B. auch durch Grünlandumbruch in das Grundwasser eingetragen werden. An einer Vorfeldmessstelle (2140 Nackenheim) wurde ein kurzzeitiger Nitratanstieg von etwa 60 auf 340 mg/l gemessen (Abb. 17).

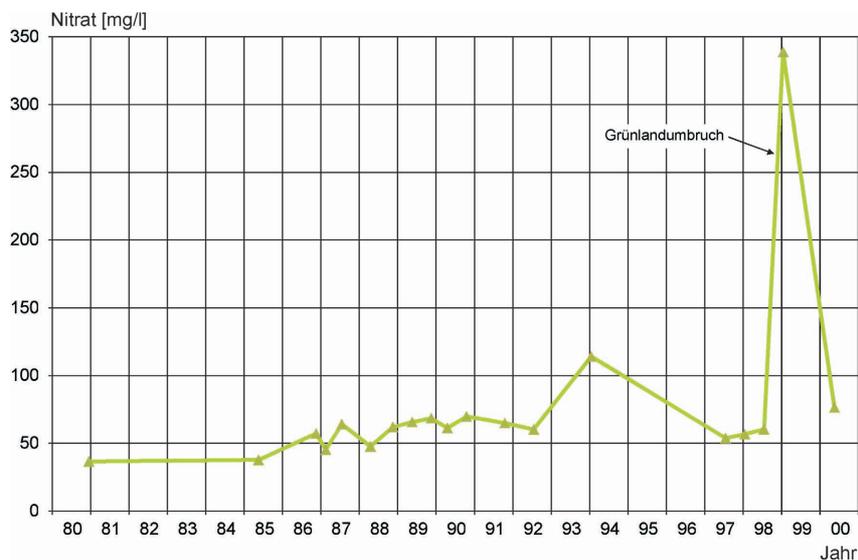


Abb. 17: Nitratentwicklung des Grundwassers am Beobachtungsrohr 2140 Nackenheim

Als Folge erhöhter Nitratgehalte im Grundwasser war ein Entnahmehrungen rückgebaut worden. Die bis dahin begrünte innere Schutzzone wurde der landwirtschaftlichen Bodennutzung zugeführt. Der sprunghafte Nitratanstieg im Grundwasser ist dabei auf die unmittelbare Freisetzung aus dem Stickstoff-Pool des Bodens zurückzuführen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das oberflächennahe Grundwasser unter landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen verbreitet mit Nitrat belastet ist. Durch zwangsweises Ausweichen ist die Trinkwasserversorgung durch die Gewinnung nitratarmen Grundwassers jedoch grundsätzlich noch sichergestellt. In der Vorderpfalz erfolgen die Entnahmen aus tieferen, geschützten Grundwasservorkommen. Dort, wo dies nicht möglich ist – beispielsweise zwischen Bingen und Ingelheim – wird verstärkt durch Uferfiltrat angereichertes nitratarmes Grundwasser gefördert. In anderen Gewinnungsgebieten muss das nitratbelastete Grundwasser mit nitratarmem Grundwasser, welches über Verbundsysteme herbeigeführt wird, verschnitten werden.

Ziel muss es allerdings sein, auch oberflächennahe Grundwasservorkommen wieder für die Trinkwasserversorgung nutzbar zu machen. Das Landesamt für Wasserwirtschaft wird in Kürze die Nitratproblematik im Oberflächen- und Grundwasser in einer gesonderten Studie untersuchen.

Sulfate gehören zu den geogenen Hauptbestandteilen der Wasserinhaltsstoffe im Grundwasser. Sie kommen in mineralischer Form als Gips, Anhydrit, Bittersalz, Schwerspat und Glaubersalz vor allem in Sedimentgesteinen vor und sind wichtige Gesteinsbildner. Ihre gute Wasserlöslichkeit macht sie geochemisch sehr mobil. Üblicherweise treten geogen bedingt Werte von bis zu 50 mg/l auf. Deutlich höhere Konzentrationen finden sich im Muschelkalk und Gipskeuper sowie bei Vorhandensein fossiler Abbauprodukte im Aquifer. Als biophile Verbindung nimmt Sulfat an komplexen Prozessen des biochemischen Stoffkreislaufes teil. Unter mikrobiellem Einfluss kann es sowohl im reduzierenden Milieu zu H₂S umgewandelt, als auch aus Sulfiderzen in der Oxidationszone selbst gebildet werden. Der Einsatz schwefelhaltiger Dünger, Abwässer im urbanen Raum und Sickerwässer von Abfalldeponien, aber auch Einträge über die Niederschläge („Saurer Regen“) sind bedeutende, anthropogene Stoffquellen.

Die niedrigsten Sulfatwerte des Grundwassers finden sich in Rheinland-Pfalz in den Festgesteinsaquifern der Mittelgebirge. Hier liegen die Konzentrationen durchweg unter 25 mg/l, im Bereich der **Devonischen Quarzite** (GWL 13) sogar unter 10 mg/l. An exponierten Oberhangquellen wurden jedoch als Folge atmogener Stoffeinträge Werte bis zu 50 mg/l gemessen. Die höchsten, geogen bedingten Sulfatgehalte des Grundwassers finden sich lokal begrenzt in den **Rotliegend-Sedimenten** (GWL 10) der Wittlicher Senke und des unteren Nahetals sowie im **Muschelkalk und Keuper** des Bitburger Landes. Hier können zum Teil Sulfatwerte von mehreren 100 mg/l auftreten.

Verbreitet wird der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 240 mg/l in den **Quartären Sedimenten** (GWL 1) Rheinhessens sowie der Vorderpfalz überschritten. Neben der anthropogenen Überprägung durch die Düngemittelanwendung kann hier auch die geogene Komponente eine bedeutende Rolle spielen. Mehrere Tiefmessstellen zeigen,

das auch das gespannte, tiefere Grundwasser Sulfatwerte von über 500 mg/l bei gleichzeitig organoleptisch positiven H₂S-Befunden erreichen kann. Im Raum Worms und im Raum Landau treten schwefelhaltige Quellwässer aus. Hier findet, wenn auch in sehr geringem Umfang, Erdöl- und Erdgasförderung statt. Die hohen Sulfatwerte in der Rheinniederung zwischen Mainz und Bingen hingegen lassen sich durch die landwirtschaftliche Bodennutzung, aber auch durch die allgemein hohe anthropogene Überprägung erklären.

Rangstatistik aller Sulfatwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften (GWL); 14.611 Analysen an 2.148 Messstellen

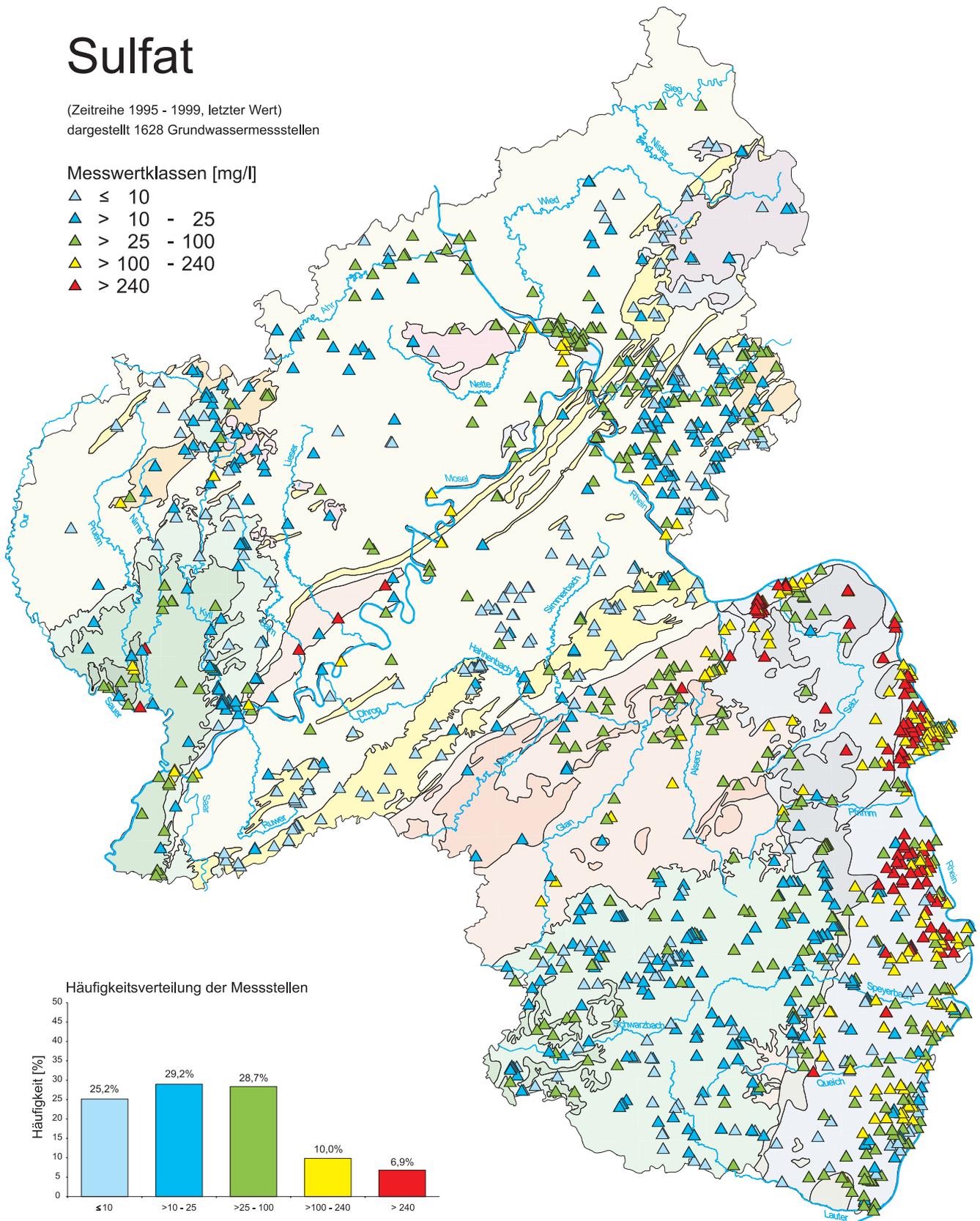
| Grundwasserlandschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 8 | 44 | 111 | 240 | 372 |
| 2 | 10 | 11 | 19 | 57 | 90 |
| 3 | 25 | 31 | 50 | 131 | 244 |
| 4 | 56 | 76 | 172 | 269 | 296 |
| 5 | 13 | 51 | 69 | 92 | 126 |
| 6 | 3 | 5 | 9 | 14 | 23 |
| 7 | 15 | 23 | 29 | 31 | 34 |
| 8 | 15 | 28 | 38 | 80 | 128 |
| 9 | <5 | 7 | 14 | 21 | 34 |
| 10 | 14 | 24 | 55 | 118 | 311 |
| 11 | 12 | 16 | 22 | 50 | 60 |
| 12 | 7 | 17 | 26 | 39 | 56 |
| 13 | <5 | 3 | 10 | 20 | 41 |
| 14 | 3 | 8 | 19 | 37 | 65 |

Sulfat

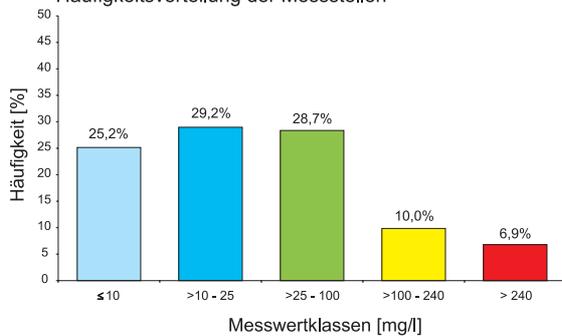
(Zeitreihe 1995 - 1999, letzter Wert)
dargestellt 1628 Grundwassermessstellen

Messwertklassen [mg/l]

- △ ≤ 10
- ▲ > 10 - 25
- ▲ > 25 - 100
- ▲ > 100 - 240
- ▲ > 240



Häufigkeitsverteilung der Messstellen



Chlorid gehört zu den mobilsten Anionen. Es unterliegt weder Umwandlungs- noch Abbauprozessen und eignet sich daher auch als Tracer zum Nachweis von Stoffausbreitungsvorgängen im Grundwasserleiter. Im hydrodynamischen Sinne handelt es sich bei Chlorid um ein konservatives Anion.

Während im Meerwasser im Mittel nahezu 20 g/l Chlorid gelöst sind, finden sich im Grundwasser meist nur Konzentrationen bis zu etwa 25 mg/l, die als geogen bedingt anzusprechen sind. Höhere Werte sind auf Salzlagerstätten oder salinares Tiefenwasser zurückzuführen bzw. zeigen eine anthropogene Überprägung an (chloridhaltige Düngemittel, Streusalz, Abwässer u.a.).

Mehr als 60 % aller in Rheinland-Pfalz untersuchten Messstellen zeigen einen Chloridgehalt des Grundwassers von weniger als 25 mg/l. Diese Messstellen befinden sich in den Mittelgebirgsregionen und zeigen die geogene Grundlast an. Höhere Werte finden sich insbesondere in Rheinhessen, der Vorderpfalz, dem Neuwieder Becken sowie im Taleinschnitt der Mosel. Die betroffenen Grundwasserlandschaften **Quartäre und pliozäne Sedimente** (GWL 1), **Tertiäre Kalksteine** (GWL 3), **Tertiäre Mergel und Tone** (GWL 4), und **Tertiäre Bruchschollen des Oberrheingrabenrandes** (GWL 5) weisen für die Chloridgehalte des Grundwassers Mediane deutlich über 25 mg/l auf. Hierfür lassen sich mehrere Ursachen nennen: Entlang des Rheins kommt es durch den Uferfiltrateinfluss zu einer Erhöhung der Chloridgehalte des ufernahen Grundwassers. Hierbei können Werte bis zu etwa 180 mg/l erreicht werden. Flächenhaft treten im urbanen Raum auf Grund der anthropogenen Überprägung Werte bis zu 150 mg/l auf. Darüber hinaus können sehr vereinzelt Chloridwerte bis zu 300 mg/l gemessen werden, die dann jedoch Punkt- oder

Rangstatistik aller Chloridwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften (GWL); 14.645 Analysen an 2.143 Messstellen

| Grundwasserlandschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 9 | 34 | 75 | 110 | 142 |
| 2 | 5 | 7 | 11 | 16 | 39 |
| 3 | 19 | 34 | 59 | 91 | 120 |
| 4 | 41 | 56 | 111 | 220 | 249 |
| 5 | 6 | 16 | 36 | 62 | 90 |
| 6 | 4 | 5 | 7 | 10 | 15 |
| 7 | 9 | 17 | 22 | 23 | 27 |
| 8 | 9 | 14 | 24 | 34 | 67 |
| 9 | 4 | 5 | 8 | 14 | 24 |
| 10 | 9 | 20 | 41 | 65 | 113 |
| 11 | 6 | 8 | 26 | 41 | 63 |
| 12 | 9 | 12 | 16 | 24 | 41 |
| 13 | 4 | 5 | 8 | 19 | 33 |
| 14 | 6 | 8 | 15 | 32 | 60 |

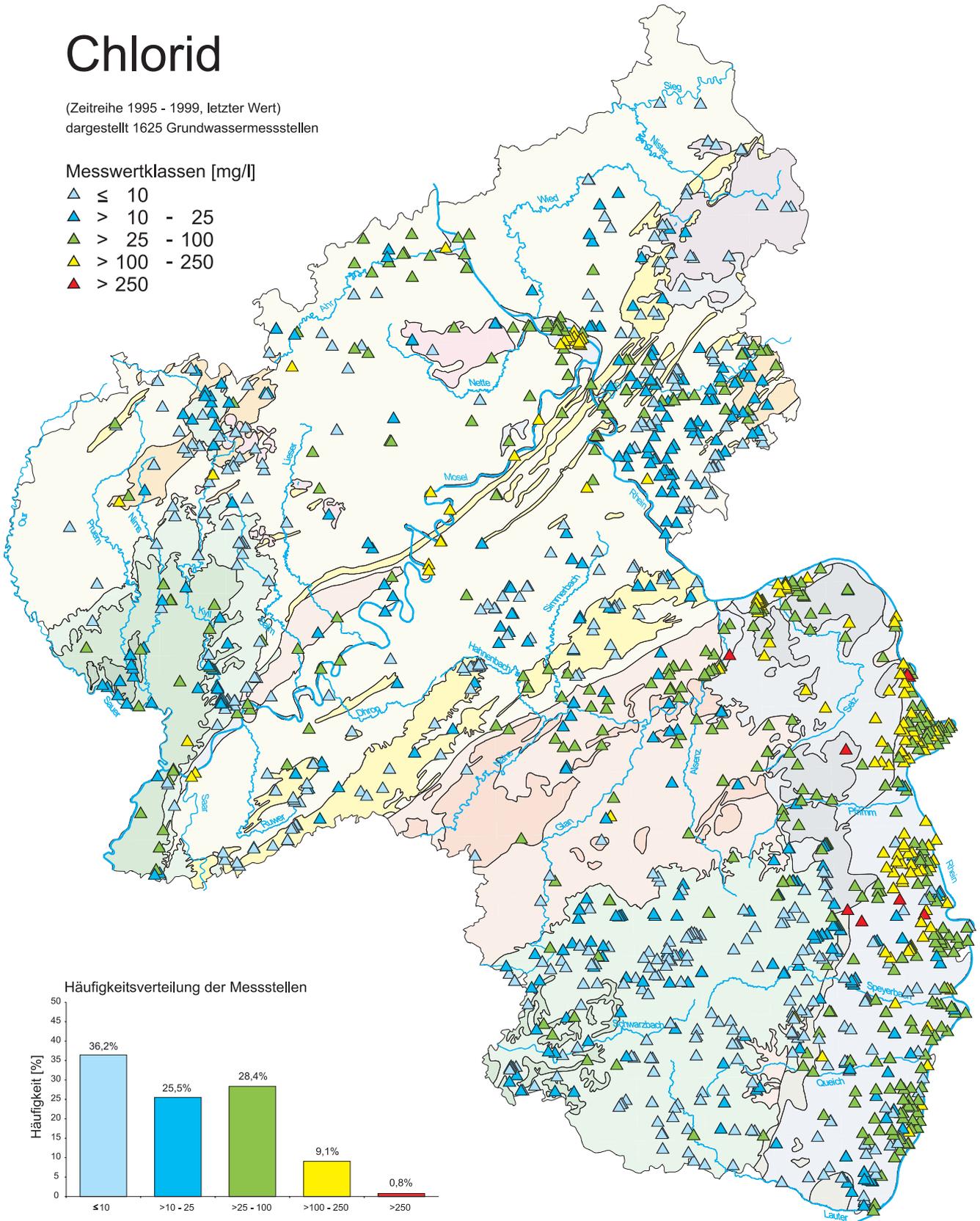
Linienquellen, wie ehemaligen Abfalldeponien oder Verkehrswegen zuzuordnen sind. Tiefere Grundwasserstockwerke in der südlichen Vorderpfalz („Hördter Rheinaue“) zeigen ebenfalls verbreitet höhere Chloridwerte bis zu etwa 350 mg/l, welche auf salinares Tiefenwasser zurückzuführen sind. Auch an einzelnen Messstellen in der Eifel, dem Taunus und dem Saar-Nahe-Bergland sind geogen bedingt höhere Werte anzutreffen. Hier werden in der Spitze Chloridwerte bis zu 1776 mg/l gemessen.

Chlorid

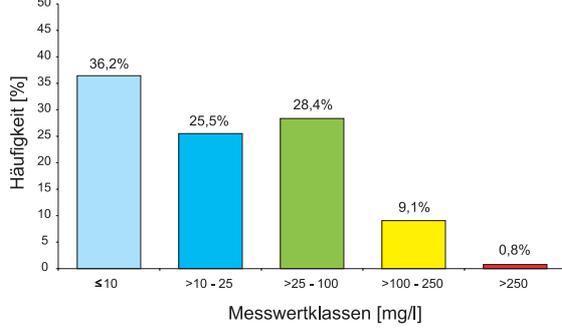
(Zeitreihe 1995 - 1999, letzter Wert)
dargestellt 1625 Grundwassermessstellen

Messwertklassen [mg/l]

- △ ≤ 10
- ▲ > 10 - 25
- ▲ > 25 - 100
- ▲ > 100 - 250
- ▲ > 250



Häufigkeitsverteilung der Messstellen



Hydrogenkarbonat bildet unter den Anionen allgemein den Hauptinhaltsstoff des Grundwassers. Seine Löslichkeit ergibt sich als Funktion der geogenen Verfügbarkeit sowie des CO₂-Partialdrucks der Bodenluft oder aber auch des Auftretens von CO₂ aus vulkanogenen Quellen (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht). In Karbonatgesteinen ist Kohlenstoff nach Calcium, Sauerstoff und gegebenenfalls Magnesium das am häufigsten vorkommende Element. Gegenüber dem Oberflächenwasser besitzt das Grundwasser ein sehr viel höheres Karbonatlösevermögen, da die Bodenluft einen etwa 100-fach höheren CO₂-Partialdruck als die Atmosphäre aufweisen kann. Der geogene Hydrogenkarbonatgehalt im Grundwasser liegt dabei meist unter 400 mg/l, bei Vorliegen karbonatarmer/-freier Gesteine deutlich darunter. Hydrogenkarbonat ist die bedeutendste, pufferwirksame Substanz im Grundwasser und steuert den Säure-Base-Haushalt.

Die niedrigsten Hydrogenkarbonatwerte des Grundwassers werden in Rheinland-Pfalz in den Grundwasserlandschaften **Devonische Quarzite** (GWL 13) und **Buntsandstein** (GWL 9) gemessen. In der Kartendarstellung zeichnen sich deutlich die Quarzitrücken des südlichen Hunsrücks sowie der Buntsandstein am Rand des Bitburger Landes und des Pfälzerwaldes ab. Die Werte des 10%-Perzentils von < 2 bzw. 4 mg/l HCO₃ zeigen, dass der Karbonatpufferbereich im Grundwasser hier als Folge des Eintrages versauernd wirkender Depositionen lokal nicht mehr wirksam ist. Auch in den **Devonischen Schiefen** (GWL 14) des zentralen Westerwaldes sowie im Bereich der Quarzitvorkommen der Montabaurer Höhe liegen die Hydrogenkarbonatwerte außerordentlich niedrig.

Hohe HCO₃-Gehalte des Grundwassers sind als Folge karbonatreicher Böden und Gesteine in **Muschelkalk und Keuper** (GWL 8; Saargau, Bitburger Land, Westricher Hochfläche), in den **Devonischen Kalksteinen** (GWL12; Westeifel, Taunus) sowie in

Rangstatistik aller Hydrogenkarbonatwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften; 14.493 Analysen an 2.383 Messstellen

| Grundwasserlandschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 196 | 268 | 329 | 390 | 451 |
| 2 | 68 | 107 | 159 | 207 | 318 |
| 3 | 231 | 257 | 299 | 349 | 421 |
| 4 | 281 | 299 | 323 | 458 | 488 |
| 5 | 41 | 292 | 342 | 390 | 403 |
| 6 | 24 | 44 | 55 | 74 | 92 |
| 7 | 85 | 109 | 129 | 146 | 201 |
| 8 | 275 | 338 | 379 | 414 | 427 |
| 9 | 4 | 12 | 31 | 92 | 229 |
| 10 | 98 | 218 | 334 | 390 | 567 |
| 11 | 24 | 35 | 159 | 390 | 427 |
| 12 | 166 | 262 | 318 | 362 | 427 |
| 13 | <2 | 6 | 24 | 61 | 150 |
| 14 | 15 | 44 | 122 | 214 | 344 |

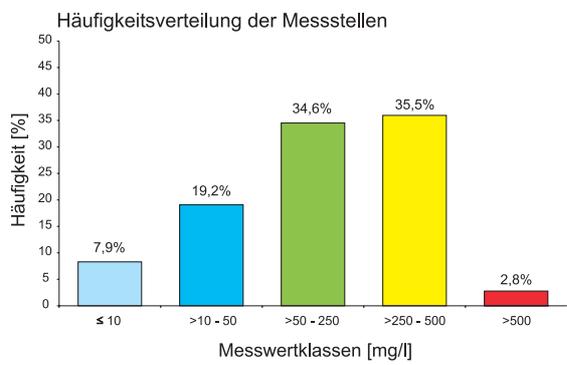
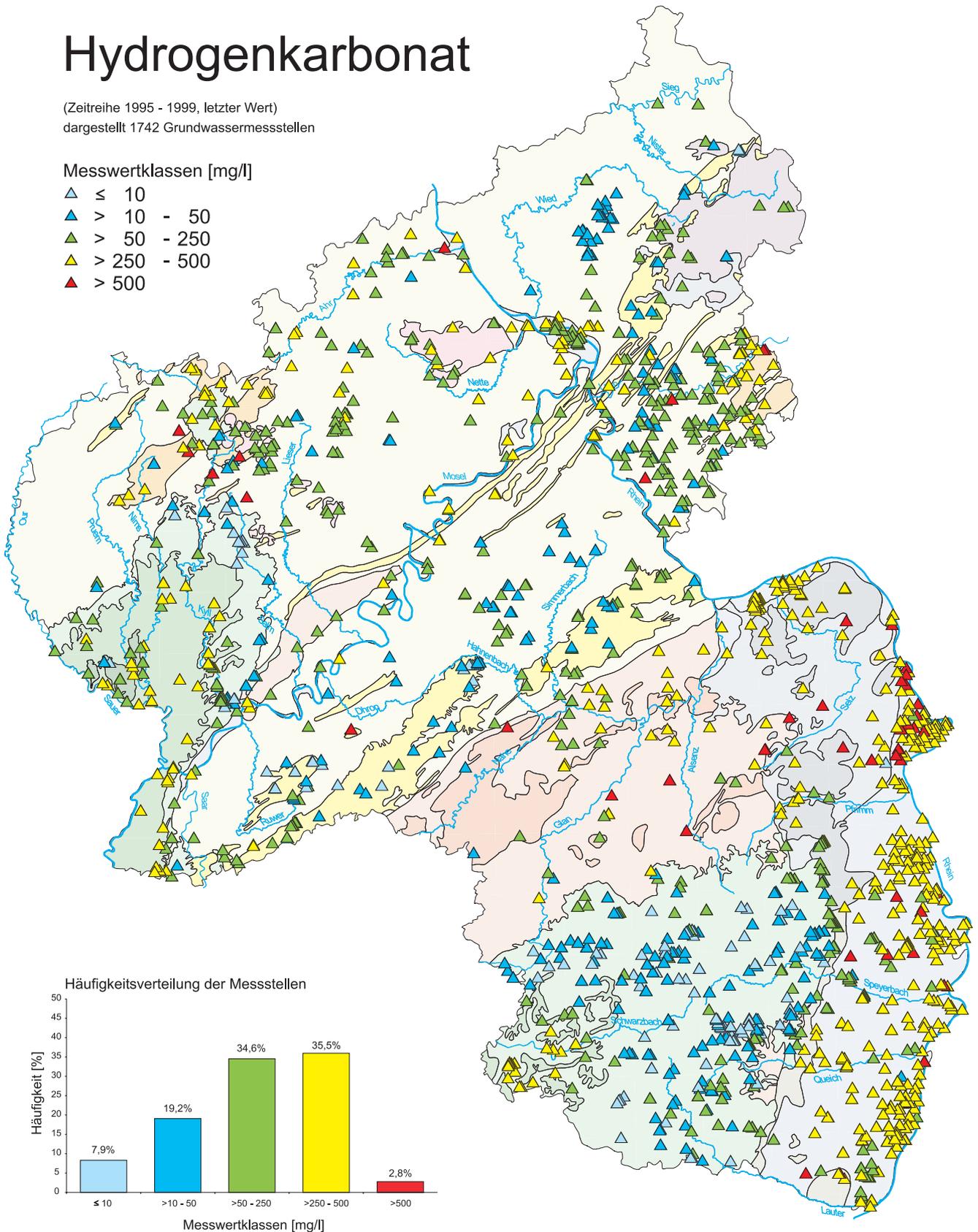
Rheinhessen und der Vorderpfalz anzutreffen. Im Siedlungsbereich sowie bei landwirtschaftlicher Bodennutzung liegt dabei eine zum Teil deutliche anthropogene Überprägung mit Werten von bis zu 550 mg/l vor. Durch die erhöhte biologische Bodenaktivität kann es zu einer mittelbaren Erhöhung der Karbonatlöslichkeit kommen. Konzentrationen über 1000 mg/l sind als Folge vulkanogener CO₂-Quellen in der Eifel (Raum Gerolstein) sowie lokal im Hunsrück, im Taunus als auch im Rotliegenden des Saar-Nahe-Berglandes zu messen.

Hydrogenkarbonat

(Zeitreihe 1995 - 1999, letzter Wert)
dargestellt 1742 Grundwassermessstellen

Messwertklassen [mg/l]

- △ ≤ 10
- ▲ > 10 - 50
- ▲ > 50 - 250
- ▲ > 250 - 500
- ▲ > 500



Calcium ist maßgeblich am Aufbau der Erdkruste, insbesondere der Karbonatgesteine, beteiligt und steht an 5. Stelle der häufigsten Elemente. Es zählt zu den Erdalkalimetallen und wirkt zusammen mit Magnesium, Barium und Strontium härtebildend. Seine Löslichkeit unterliegt dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. In silikatischen Gesteinen zeigt das Grundwasser geringe Calciumwerte bis zu 50 mg/l, während in karbonathaltigen Gesteinen Werte bis etwa 100 mg/l als geogen anzusehen sind. Sehr viel höhere Calciumwerte können in Anwesenheit von Gips und Anhydrit erreicht werden, die in Abhängigkeit des Löslichkeitsgleichgewichtes von Gips bis zu etwa 600 mg/l betragen können.

Die geogenen Calciumgehalte des Grundwassers können auf vielfältige Weise eine anthropogene Überprägung erfahren. Intensive Bodenbearbeitung führt zu einer Erhöhung der reaktiven Oberfläche und damit zu einer mittelbar höheren Calciumlöslichkeit. Auch die Erhöhung des CO₂-Partialdrucks der Bodenluft als Folge gesteigerter biologischer Aktivität durch landwirtschaftliche Bodennutzung führt zur erhöhten Löslichkeit. Daneben wird Calcium auch als Düngemittel sowie zur Verbesserung der Bodenstruktur eingesetzt. Im urbanen Raum können unmittelbare Stoffeinträge (Abfalldeponien, Siedlungsflächen) zu einem erhöhten Calciumeintrag in das Grundwasser führen.

Landesweit zeigen 56% aller untersuchten Messstellen Calciumwerte unter 50 mg/l. Diese niedrigen Konzentrationen sind typisch für die kalkarmen Gesteine der Mittelgebirgsregionen. Ebenfalls geogen bedingt sind die Calciumwerte der Grundwässer in den Landschaften **Devonische Kalksteine** (GWL 12; Kalkmulden von Westeifel und Taunus) sowie **Muschelkalk und Keuper** (GWL 8; Hochflächen des Pfälzer Westrich, Saargau, Bitburger Land). Hier werden überwiegend Calciumkonzentrationen von bis zu

Rangstatistik aller Calciumwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften (GWL); 14.908 Analysen an 2.377 Messstellen

| Grundwasserlandschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 64 | 85 | 126 | 186 | 243 |
| 2 | 18 | 24 | 35 | 49 | 69 |
| 3 | 61 | 77 | 98 | 125 | 176 |
| 4 | 58 | 63 | 108 | 140 | 166 |
| 5 | 15 | 87 | 132 | 160 | 180 |
| 6 | 10 | 12 | 14 | 17 | 19 |
| 7 | 37 | 43 | 46 | 49 | 68 |
| 8 | 56 | 75 | 88 | 102 | 121 |
| 9 | 2 | 6 | 12 | 28 | 52 |
| 10 | 21 | 47 | 76 | 122 | 141 |
| 11 | 9 | 13 | 22 | 90 | 109 |
| 12 | 44 | 66 | 83 | 102 | 127 |
| 13 | 3 | 4 | 9 | 16 | 39 |
| 14 | 9 | 15 | 30 | 50 | 88 |

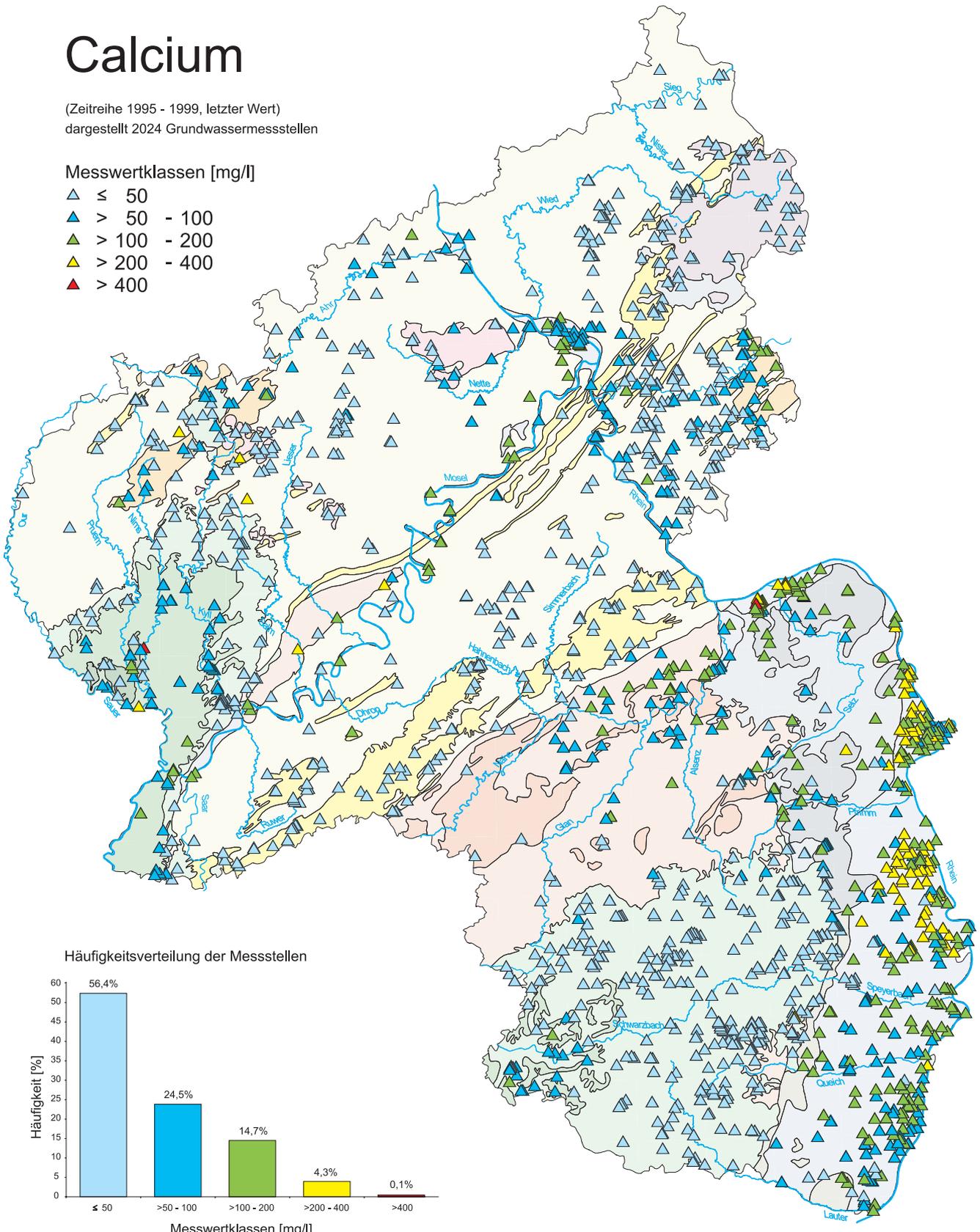
100 mg/l erreicht. Den geogenen Spitzenwert von 610 mg/l zeigt eine Messstelle im Gipskeuper der Westeifel. Daneben liegen lokale Spitzenwerte von bis zu 400 mg/l im Raum Gerolstein (Mineralquellen) vor. Stark anthropogen überprägt sind hingegen die Grundwässer in Rheinhessen, dem Eicher Rheinbogen, der Vorderpfalz, dem unteren Nahetal sowie dem Neuwieder Becken. Demzufolge liegt auch das 90%-Perzentil in den **Quartären und pliozänen Sedimenten** (GWL 1) bei 243 mg/l.

Calcium

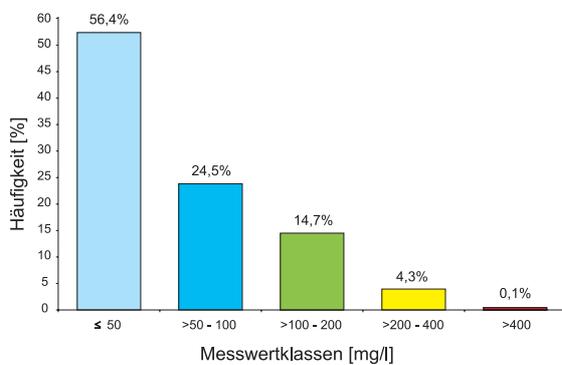
(Zeitreihe 1995 - 1999, letzter Wert)
dargestellt 2024 Grundwassermessstellen

Messwertklassen [mg/l]

- △ ≤ 50
- ▲ > 50 - 100
- ▲ > 100 - 200
- ▲ > 200 - 400
- ▲ > 400



Häufigkeitsverteilung der Messstellen



Magnesium zählt wie Calcium zu den härtebildenden Erdalkalimetallen. Es findet sich vor allem in Silikaten und Carbonaten aber auch als Kationenbelag an Tonmineralen der Sedimentgesteine. Obwohl die Löslichkeit der Magnesiumkarbonate meist die der Calciumkarbonate übersteigt, sind die Magnesiumgehalte des Grundwassers infolge der geringeren geochemischen Verfügbarkeit deutlich kleiner als die des Calciums. Mit geogen bedingten Konzentrationen von bis zu etwa 30 mg/l ist es dennoch nach Calcium das zweithäufigste Kation im Grundwasser. Deutlich höhere Werte können jedoch im Bereich von magnesiumhaltigen Salzlagerstätten sowie bei erhöhtem CO₂-Partialdruck z. B. aus vulkanogenen Quellen erreicht werden. Eine anthropogene Überprägung können die Magnesiumgehalte des Grundwassers durch Sickerwässer aus Hausmüll- und Bau-schuttdeponien, durch diffuse Einträge im urbanen Raum und als Folge der Düngemittel-anwendung in der Landwirtschaft erfahren.

Die niedrigsten Magnesiumgehalte im Grundwasser sind in Rheinland-Pfalz im Bereich der Festgesteinsaquifere festzustellen. In den **Devonischen Quarziten** (GWL 13) und im **Buntsandstein** (GWL 9) liegen die Werte dabei meist unter 5 mg/l. Beide Mediane betragen 3 mg/l.

Nur bei 16 % der im Zeitraum 1995/99 untersuchten Messstellen sind Magnesiumwerte des Grundwassers von über 30 mg/l festzustellen, dies jedoch bei einer deutlich ausgeprägten regionalspezifischen Verteilung. Im **Muschelkalk und Keuper** (GWL 8; Bitburger Land, Saargau, Pfälzer Westrich) liegt bereits das 25%-Perzentil über 30 mg/l. Geogen bedingt können hier Magnesiumwerte von bis zu 230 mg/l erreicht werden (Gipskeuper), die auch noch über dem bei geogenen Ursachen zulässigen Grenzwert der Trinkwasser-verordnung von 120 mg/l liegen (sonst 50 mg/l). Weitere geogen bedingte Spitzenwerte können in der Eifel (Raum Gerolstein) und im Hunsrück bei Mineralquellen gemessen werden. Eine anthropogene Überprägung erfahren die Magnesiumwerte des Grundwas-

sers in Rheinhessen sowie in Teilen der Vorderpfalz. Hier übersteigt das 90%-Perzentil aller Analysen die 50 mg/l – Marke. Während in den **Tertiären Kalksteinen** (GWL 3) noch von einer höheren geogenen Grundlast auszugehen ist, sind die erhöhten Werte in den **Quartären Sedimenten** (GWL 1) als rein anthropogen bedingt anzusehen. Insbesondere im Bereich der landwirtschaftlichen Intensivkulturen der nördlichen Vorderpfalz werden verbreitet höhere Magnesiumwerte im oberflächennahen Grundwasser angetroffen.

Rangstatistik aller Magnesiumwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften (GWL); 14.780 Analysen an 2.380 Messstellen

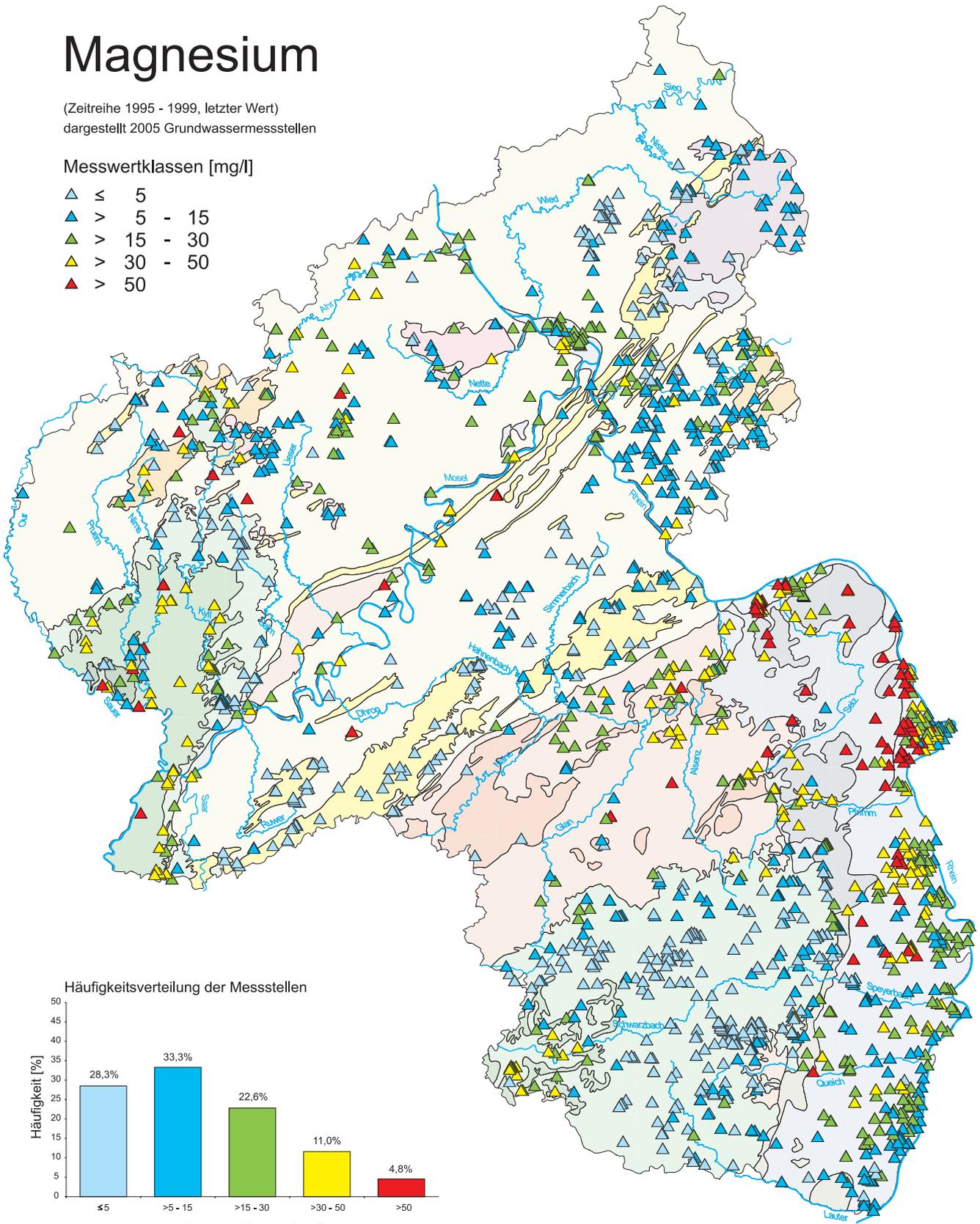
| Grundwasser-landschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|------------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 9 | 14 | 22 | 36 | 58 |
| 2 | 5 | 9 | 11 | 12 | 27 |
| 3 | 17 | 22 | 36 | 54 | 73 |
| 4 | 19 | 21 | 48 | 75 | 80 |
| 5 | 4 | 12 | 21 | 36 | 40 |
| 6 | 2 | 3 | 6 | 8 | 10 |
| 7 | 8 | 10 | 18 | 20 | 22 |
| 8 | 23 | 93 | 46 | 50 | 54 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 7 | 23 |
| 10 | 9 | 14 | 23 | 36 | 50 |
| 11 | 2 | 3 | 6 | 31 | 38 |
| 12 | 8 | 12 | 16 | 28 | 33 |
| 13 | 1 | 2 | 3 | 6 | 12 |
| 14 | 4 | 6 | 10 | 19 | 27 |

Magnesium

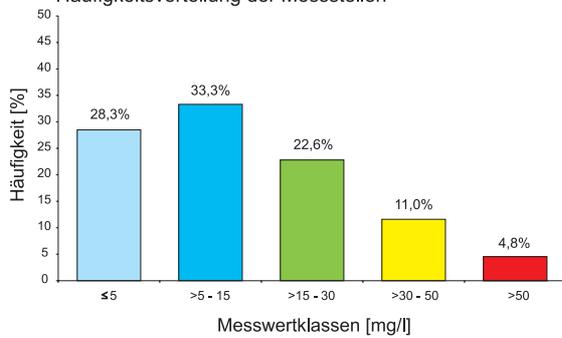
(Zeitreihe 1995 - 1999, letzter Wert)
dargestellt 2005 Grundwassermessstellen

Messwertklassen [mg/l]

- △ ≤ 5
- ▲ > 5 - 15
- ▲ > 15 - 30
- ▲ > 30 - 50
- ▲ > 50



Häufigkeitsverteilung der Messstellen



Natrium zählt zur Gruppe der Alkalimetalle. In der Rangfolge der am Aufbau der Erdkruste beteiligten Elemente steht das Natriumion an 6. Stelle. Es kommt in silikatischer Verbindung in vielen verwitterungsstabilen Feldspäten und Tonmineralen vor und findet sich daher im Grundwasser meist nur in Konzentrationen von bis zu etwa 20 mg/l. Deutlich höhere Konzentrationen können auftreten, wenn es als Salz in Verbindung mit Halogenen (Natriumchlorid) vorliegt. Daneben kann es in Tonmineralen an Ionenaustauschprozessen insbesondere mit Calciumionen beteiligt sein. Der anthropogene Eintrag von Natriumionen in das Grundwasser wird meist auf die Verwendung von Auftausalzen zurückgeführt. Aber auch häusliche und industrielle Abwässer können erhebliche Natriumwerte aufweisen. Auch die landwirtschaftliche Bodennutzung ist als potenzielle Stoffeintragsquelle zu nennen, da Natriumionen in einigen Düngemitteln vorkommen (Chilesalpeter, Kalisalze).

In Rheinland-Pfalz finden sich Natriumionen geogen bedingt im Grundwasser der Festgesteinsaquifere der Mittelgebirge lediglich in Konzentrationen von bis zu 10 mg/l. Höhere Werte sind hier anthropogen bedingt, sehr hohe hingegen auf das Aufsteigen mineralisierter Tiefenwässer zurückzuführen. In der Eifel (Raum Gerolstein) treten Natrium-Hydrogenkarbonat-Wässer mit Natriumwerten von bis zu 800 mg/l auf, während in Rheinhessen (**Rotliegend-Sedimente** (GWL 10)) auch Chloride an der Ionenzusammensetzung maßgeblich beteiligt sein können. Hier sind an zahlreichen Messstellen höhere Natriumwerte (90%-Perzentil: 233 mg/l) festzustellen; die Natriumkonzentrationen erreichen dabei Spitzenwerte von 1700 mg/l. Auch in den **Devonischen Schiefen** von Hunsrück und Taunus kommen an einigen Messstellen lokal erhöhte Natriumwerte von bis zu 500 mg/l als Folge aufsteigender Tiefenwässer vor. In den tieferen Grundwasser-

stockwerken der südlichen Vorderpfalz können geogen bedingt ebenfalls Natriumwerte von mehreren 100 mg/l erreicht werden.

Rangstatistik aller Natriumwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften (GWL); 14.246 Analysen an 2.094 Messstellen

| Grundwasserlandschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 8 | 15 | 34 | 54 | 74 |
| 2 | 4 | 17 | 35 | 42 | 68 |
| 3 | 7 | 9 | 14 | 21 | 31 |
| 4 | 13 | 14 | 17 | 52 | 67 |
| 5 | 2 | 6 | 10 | 13 | 15 |
| 6 | 3 | 4 | 6 | 7 | 7 |
| 7 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 |
| 8 | 4 | 4 | 7 | 14 | 45 |
| 9 | 2 | 3 | 4 | 6 | 11 |
| 10 | 7 | 12 | 19 | 33 | 233 |
| 11 | 7 | 8 | 17 | 25 | 67 |
| 12 | 4 | 7 | 9 | 13 | 27 |
| 13 | 2 | 3 | 5 | 12 | 20 |
| 14 | 5 | 7 | 11 | 23 | 44 |

Eine anthropogene Überprägung erfahren die Natriumwerte insbesondere in Teilgebieten der **Quartären Sedimente** (GWL 1). Entlang des Rheins können im Uferfiltrat Werte von bis zu 100 mg/l gemessen werden. Aber auch die landwirtschaftlich intensiver genutzten und dichter besiedelten Gebiete fallen durch eine Häufung der Konzentrationsklasse 50 – 150 mg/l auf.

Kalium zählt wie Natrium zu den Alkalimetallen. Es kommt hauptsächlich in silikatischer Verbindung in Feldspäten und Glimmern aber auch als Halogenverbindung vor. Seine gegenüber Natrium geringere geochemische Verfügbarkeit beruht darauf, dass es relativ leicht an Tonminerale adsorbiert oder aber auch in die sekundäre Mineralneubildung einbezogen wird. Die Kaliumkonzentrationen im Grundwasser liegen daher in der Regel deutlich unter denen des Natriums und betragen nur wenige Milligramm. Als biophiles Element kann Kalium auch der Mineralisation pflanzlicher Abfälle entstammen, wird jedoch im Stoffkreislauf wieder aufgenommen. Neben Stickstoff und Phosphor gehört es zu den bedeutendsten Pflanzennährstoffen. Anthropogen überprägte Kaliumwerte des Grundwassers sind daher meist auf Düngemittelanwendung aber auch auf Sickerwasserzutritte von Abfalldeponien und diffuse Belastungen im urbanen Raum zurückzuführen.

Bei 60% aller im Zeitraum 1995/1999 untersuchten Grundwassermessstellen beträgt der Kaliumgehalt weniger als 3 mg/l. Die niedrigsten Werte sind dabei in den **Devonischen Quarziten** (GWL 13; Südlicher Hunsrück) anzutreffen. Die Medianwerte der Analysen in den **Quartären Sedimenten** (GWL 1), in den **Quartären Magmatiten** (GWL 2), in den **Sandsteinen des Lias** (GWL 7) sowie in den **Rotliegend-Sedimenten** (GWL 10) liegen über 3 mg/l. In diesen Landschaften sind auch die häufigsten Grenzwertüberschreitungen (12 mg/l, geogen 50 mg/l) festzustellen. In den **Quartären Magmatiten** der Eifel, im Umfeld der Maar-Kessel, werden Kaliumwerte im Grundwasser von bis zu 35 mg/l gemessen, die als geogen bedingt anzusehen sind. Die relativ leicht löslichen Kaliumminerale Leucit und Nephelin treten hier gehäuft auf. Auf Grund des erhöhten CO₂-Partialdrucks (vulkanogene Quellen) treten auch in den Mineralwässern um Gerolstein

höhere Kaliumwerte auf, ebenso vereinzelt im Hunsrück und im Taunus.

Rangstatistik aller Kaliumwerte (mg/l) in den Grundwasserlandschaften (GWL); 14.217 Analysen an 2.084 Messstellen

| Grundwasserlandschaft | 10%-Perzentil | 25%-Perzentil | Median | 75%-Perzentil | 90%-Perzentil |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 1 | 1 | 2 | 4 | 7 | 13 |
| 2 | 4 | 10 | 13 | 24 | 29 |
| 3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 |
| 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 7 | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10 | 2 | 2 | 4 | 5 | 14 |
| 11 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 12 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 14 | 1 | 1 | 2 | 4 | 6 |

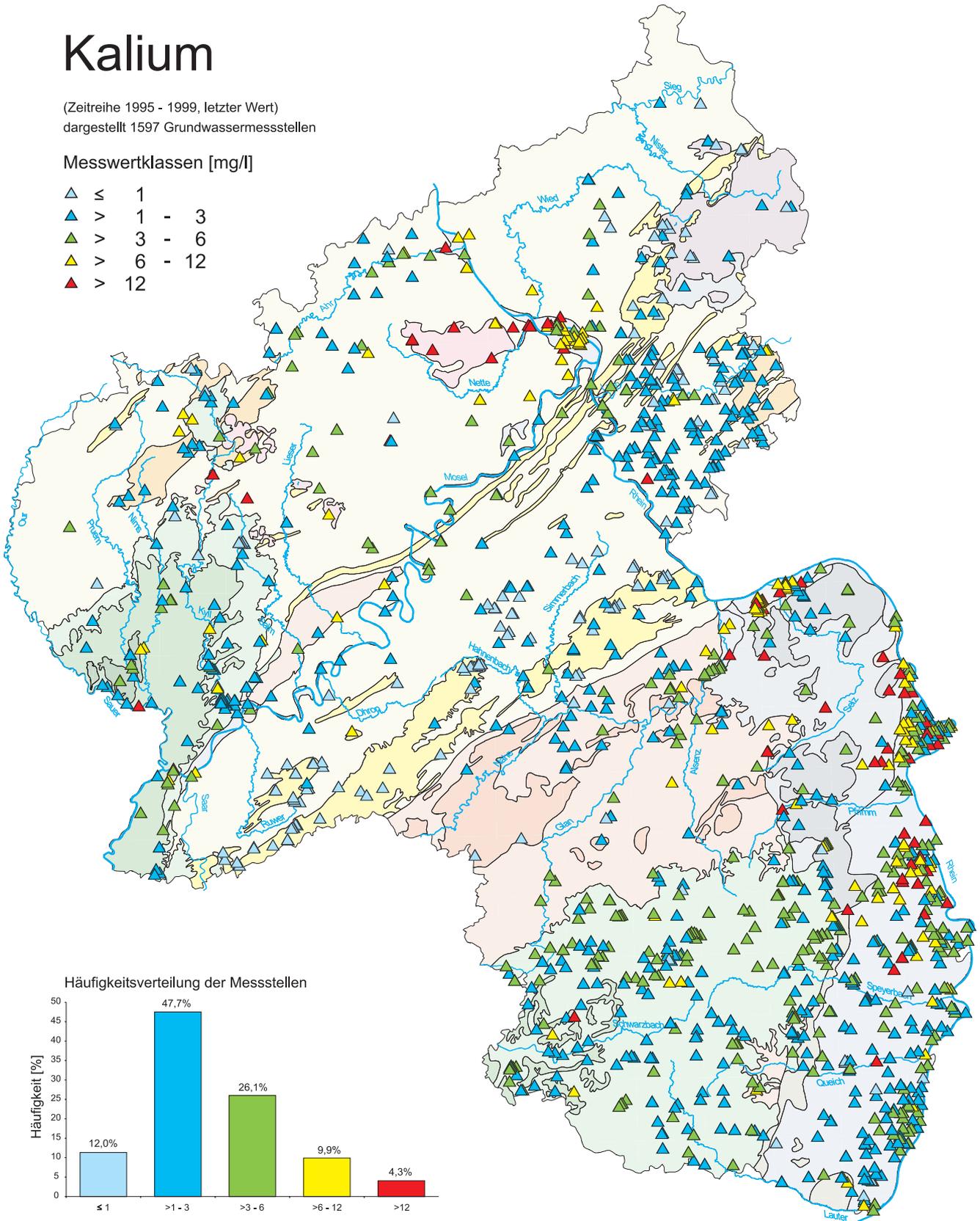
Die erhöhten Kaliumwerte im oberflächennahen Grundwasser der **Quartären Sedimente** (GWL 1) in Rheinhessen sowie der nördlichen Vorderpfalz hingegen sind anthropogen überprägt. Insbesondere in den Gebieten mit Sonderkulturanbau aber auch im Siedlungsbereich treten hier Kaliumwerte auf, bei denen geogene Ursachen auszuschließen sind.

Kalium

(Zeitreihe 1995 - 1999, letzter Wert)
dargestellt 1597 Grundwassermessstellen

Messwertklassen [mg/l]

- △ ≤ 1
- ▲ > 1 - 3
- ▲ > 3 - 6
- ▲ > 6 - 12
- ▲ > 12



Häufigkeitsverteilung der Messstellen

