

- PLOTE, H.: Die Trockenheit im Sahelgürtel. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 6. 10. 1973, Frankfurt.
- TAUBENHEIM, J.: Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. Leipzig 1969.
- THOMPSON, B. W.: The climate of Africa. Nairobi, London, New York 1965.
- WINSTANLEY, D.: Rainfall patterns and General Circulation. Nature, Vol. 245, Sept. 28, 1973, p. 190–194.
- : Voraussage von Regen. Klimaschwankungen in Perioden von Jahrzehnten und Jahrhunderten. VDI-Nachrichten No. 38, vom 20. 9. 1974.
- Daten:
- Hess, P., BREZOWSKY, H.: Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des Deutsch. Wetterdienstes 113, Bd. 15, 1969.
- LINKE, F., BAUR, F.: Meteorologisches Taschenbuch. Bd. I, 2. Aufl., Leipzig 1962.
- U.S. Department of Commerce: World Weather Records. Bd. 5, Africa, Washington, D.C., 1967.
- U.S. Department of Commerce: Monthly climatic Data for the world. WMO, Asheville, N.C., 1960–1973.

## DIE CHLORIDKONZENTRATION IN DEN GEWÄSSERN DER OBERRHEINEBENE UND IHRER RANDGEBIRGE

Mit 1 Abbildung und 1 farbigen Karte (Beilage VIII)

WERNER KRAUSE und ROLAND CARBIENER

*Résumé:* La teneur en chlorures des eaux du fossé rhénan et de ses montagnes bordières. Utilisation comme traceur hydrologique. (Période 1968–72 pour la plaine, 1972–75 pour la montagne.)

Dans le fossé rhénan, l'activité minière du bassin potassique provoque, par des déversements massifs de chlorure de sodium, d'intenses pollutions ponctuelles aboutissant à une considérable sursalure tant d'un certain nombre de cours d'eau (Rhin, Ill . . .) que de secteurs déterminés des nappes phréatiques.

La teneur en chlorures anormale singularise ainsi les eaux en question et permet de les différencier aisément des veines aquatiques ayant d'autres provenances. La pollution chlorurée peut donc être utilisée comme traceur hydrologique à l'instar de la méthode de la chloruration artificielle d'eaux phréatiques utilisée en hydrogéologie. Le dosage des chlorures et l'expression cartographique des résultats obtenus permettent de tirer des conclusions tant sur la circulation des franges supérieures des nappes phréatiques, et d'éventuelles eaux «hypodermiques» cheminant dans les sous-sols, que sur les corrélations entre les eaux de surface d'une part et les eaux de surface et les nappes d'autre part.

Notre étude englobe l'ensemble des eaux directement accessibles de la plaine du Rhin entre Bâle et Karlsruhe: rivières, étangs, sources, puits, gravières. La plaine rhénane post-glaciaire et la basse terrasse furent étudiées entre 1968 et 1972. Entre 1972 et 1975, l'étude fut étendue à l'ensemble des bassins versants, c'est-à-dire les montagnes et leurs piémonts dans le secteur concerné (Bâle-Karlsruhe).

Les résultats obtenus, exposés sommairement lors du Congrès «EUREAU» à Strasbourg en mars 1972, sont visualisés par la cartographie; ils peuvent se résumer comme suit:

L'eau des massifs cristallins (Vosges, Forêt Noire) et de leurs bordures permo-triasiques gréseuses présente des taux de chlorures particulièrement bas, ne dépassant que rarement 15 mg/l (exprimés en Cl' comme tous les autres chiffres cités). Certaines exceptions sont dues soit à des pollutions industrielles, soit à l'apport d'affluents d'origine hydrogéologique différente: la Zinsel du Sud par exemple

roule des eaux anormalement chlorurées, originaires du Muschelkalk lorrain à travers le plateau gréseux des Vosges du Nord (elle est en plus sujette depuis quelques années à de graves pollutions industrielles à la tête de son bassin).

Dans la zone des auréoles et champs de fractures *mésozoïques* formant les collines du piémont des Vosges et de la Forêt-Noire à la charnière du fossé rhénan, la concentration en chlorures des eaux autochtones s'élève. Elle oscille autour de taux moyens de 20 à 40 mg/l.

Les couches *salifères du Keuper* de Lorraine provoquent des bonds localisés de la concentration chlorurée de certains cours d'eau du bassin de la Sarre, dans le Nord Ouest de la région étudiée (exemple: Sarre à partir de la saline de Salzbrunn, près de Sarralbe).

Les ondulations *tertiaires* (oligocène) partiellement salifères de l'ex-bassin pétrolifère de Pechelbronn donnent également naissance à quelques cours d'eaux fortement chlorurés, renforcés par les effluents salés jaillissant de certains forages (Morsbronn). Du côté badois par contre, les sources salifères sont bien plus rares.

La région des collines au pied de la montagne étant très densément peuplée, les cours d'eau y sont généralement pollués, voire fortement pollués. Cette pollution peut se traduire entre autres par une hausse des concentrations salines, faisant apparaître certains fossés, canaux et ruisseaux comme de véritables corps étrangers par rapport à l'environnement hydrogéologique naturel visualisé par la carte.

La répercussion de la *pollution saline due au bassin potassique* au Nord Ouest de Mulhouse a particulièrement retenu les auteurs. Les résultats permettent un complément d'information par rapport aux cartes de la pollution de la nappe phréatique profonde, récemment publiée par les services géologiques d'Alsace (1973).

Les eaux de surface affectées par des déversements directs de saumure sont l'Ill, la vieille Thur et quelques diffluences de cette dernière sur son cône de déjection würmien, enfin et surtout le Rhin à l'aboutissement du «sau-moduc» d'eaux résiduaires au Sud de Fessenheim. A l'aval immédiat des déversements, on constate que la pollution

reste localisée sur quelque distance aux seuls lits des cours d'eaux. Des diffusions de ces derniers peuvent cependant élargir considérablement le champ de pollution d'origine superficielle, comme c'est le cas des multiples bras de l'Ill en amont de Sélestat, distribuant leurs chlorures sur l'ensemble de l'Illwald. Mais la pollution superficielle, dans le bassin de l'Ill, est considérablement renforcée par la pollution de la grande nappe phréatique des gravières rhénans de haute Alsace. La pollution de cette nappe est alimentée par les eaux de lessivage des terrils d'une part, les pertes de l'Ill, qui s'infiltré (en totalité souvent) dans les gravières grossiers du cône würmien rhéman de la Hardt, entre Ensisheim et Colmar d'autre part. Ces pertes de l'Ill apportent de leur côté à la nappe un tonnage de sel non négligeable. Sur notre carte, la pollution des franges superficielles de la nappe supérieure de l'Ill apparaît ainsi par les dosages effectués sur des gravières au Sud de Colmar. Plus au Nord, entre Colmar et Sélestat, les premiers jaillissements artésiens et sources limnocènes de la nappe phréatique annoncent la naissance, en aval du cône würmien rhéman de la Hardt, de la grande dépression marginale rhémane post-glaciaire alsacienne du Grand Ried de l'Ill. Leurs eaux très chlorurées reflètent fidèlement le haut degré de pollution de la nappe phréatique en haute Alsace. Ces sources, par les «Brunnwasser» auxquels elles donnent naissance (Orchbach, Riedbrunnen, Blind, Scheidgraben) transmettent leur pollution salée à l'ensemble du «Ried de la Blind», soit également jusqu'à la hauteur de Sélestat. L'axe du maximum de pollution de la langue salée de la nappe s'étend ainsi sur environ 5 km de part et d'autre de l'Ill.

Le Rhin, quant à lui, distribue d'une part directement ses eaux polluées par le sel à Fessenheim, dans les bras latéraux restés fonctionnels essentiellement sur la rive badoise, à l'aval de Neuf-Brisach. Du côté alsacien, l'achèvement du Canal d'Alsace ayant coupé ou détruit la majorité de ces bras, a tari cette adduction directe par eaux de surface à quelques exceptions près. Mais l'infiltration des eaux rhénanes dans les nappes proches du Rhin, donnée hydrogéologique majeure, explique la chloruration intense de nombre d'eaux de surface actuelles proches du Rhin, même de celles qui, coupées du Rhin du côté alsacien, se sont transformées en «Brunnwasser», exclusivement alimentées par la nappe rhémane (substituées aux «Giessen» de diffusion). Certaines anomalies, entre Brisach et Marckolsheim, semblent dues à des nappes hypodermiques captives au-dessus de la nappe principale.

La partie centrale et septentrionale du Grand Ried de l'Ill, qui s'étend entre Sélestat et Strasbourg, est ainsi cernée par les eaux de surface polluées de l'Ill et du Rhin. Malgré ce fait, les cours d'eau du Ried, qui sont exclusivement ou presque des émissaires de la nappe phréatique circulant dans les gravières würmiens rhénans, montrent aujourd'hui encore des teneurs en chlorures restées normales (la progression irrémédiable du front salé vers le Nord affecte cependant depuis quelques années, c'est-à-dire postérieurement aux données retenues sur la carte, des sources situées entre Sélestat et Benfeld). Le fait, bien visualisé sur la carte, que des eaux non polluées jaillissent dans le Ried, souvent à courte distance de l'Ill (quelques centaines de mètres) tend à prouver que le courant phréatique issu des nappes prévosgiennes passe par-dessous le lit largement imperméabilisé (par des argiles chlorurées!) de cette rivière, donnée corroborant des constats hydrogéologiques antérieurs (l'Ill «draine» sa nappe en toute saison, le Rhin par

contre l'alimenté lors des crues). Du côté badois, où les Ried sont moins étendus et morcelés par les cônes alluvionnaires glaciaires des rivières de Forêt Noire, la carte ne montre pas la même cohérence.

A l'aval du confluent de l'Ill et du Rhin, au Nord de Strasbourg, la largeur des zones affectées par la pollution rhémane se rétrécit considérablement. L'important courant phréatique d'eaux peu minéralisées amenées, sur les deux rives cette fois, très près du Rhin par les nappes des cônes sableux des rivières issues des Vosges et de la Forêt Noire du Nord tendent à concentrer l'axe pollué sur la région immédiatement riveraine du Rhin, voire la contenir dans le fleuve lui-même. Ne font exception que d'anciens méandres du fleuve, à présent isolés mais pouvant, veines de cheminement privilégiés des nappes, amener jusqu'au pied des terrasses, loin du Rhin actuel, leurs eaux chlorurées, ou encore le port de Karlsruhe qui fait pénétrer pour sa part des eaux de surface rhénanes profondément dans la plaine. Cependant, l'infiltration d'eaux rhénanes dans les nappes riveraines continue à se manifester par ailleurs par d'autres manifestations localisées. L'on voit ainsi des gravières situées sur la rive gauche, donc à l'Ouest de la rivière vosgienne Moder, mais non loin du Rhin, révéler des teneurs en chlorures élevées qui n'apparaîtraient guère par interpolation d'un réseau de mesures plus lâche. Ce fait tend lui aussi à démontrer le cheminement d'une nappe par dessous une rivière au lit imperméabilisé, mais en sens inverse de l'exemple précédent cette fois.

ROLAND CARBIENER

#### *Zum Untersuchungsgebiet und zur Darstellung*

Die Kartierung der Chloridkonzentration in den Gewässern der Oberrheinebene war zunächst für eine kurze Strecke der badischen Stromau geplant (KRAUSE 1974). Die Freizügigkeit des Wassers und das einfache Analysenverfahren ermutigten später dazu, die ganze Ebene und die Rheinzuflüsse einzubeziehen. Nach Norden mußte die Arbeit aus Kapazitätsgründen an einer willkürlich gezogenen Grenze haltmachen.

Für die Analysen sowie für die Probenahme auf deutschem Gebiet ist KRAUSE verantwortlich. CARBIENER gab von 1968 bis 1971 eine Einführung in den Landschaftsbau der elsässischen Rheinebene, entwarf das Arbeitsprogramm für dieses Gebiet und beteiligte sich in der genannten Zeit an der Probenahme.

Die gesonderte Darstellung jedes einzelnen, auch des kleinsten Gewässers, die sich in der Rheinaue als notwendig erwiesen hatte, wurde beibehalten. Während aber KRAUSE (1974) die Konzentrationsänderungen innerhalb eines engen Gebietes 12 Jahre lang verfolgte, handelt die folgende Mitteilung von Zuständen, die während einer kurzen Zeitspanne auf großer Fläche annähernd unverändert herrschten. In der Niederterrasse und der Rheinaue wurde von 1968 bis 1972, in der Vorhügelzone und den Gebirgen von 1972 bis 1975 gemessen. In der Ebene, deren Wasser besonders starker Beeinflussung durch den Menschen unterliegt, stieg ab 1972 der Cl'-Gehalt so merklich, daß es geraten erscheint, die neuesten Messungen nicht mit älteren zu vereinigen. Die langsam, aber unver-

kennbar fortschreitende Zunahme, die schon EGGER (1951, S. 199; vgl. auch DUBOIS & DUBOIS 1955, S. 193) beobachtete, bedarf einer eigenen Darstellung. Im Hügel- und Bergland herrschen stabilere Zustände. Ergebnisse aus dem Jahr 1975 dürfen mit älteren zusammengestellt werden.

Ganz überwiegend wurden die Oberflächengewässer untersucht. Doch bieten die Ergebnisse auch Einblick in die Cl'-Konzentration des oberflächennahen Grundwassers. Letzteres wird seit alters her aufgeschlossen durch die aufsteigenden Quellen der Ebene, die als Brunnenwässer, Riedbrunnen, Donnerlöcher, Blaulöcher die Aufmerksamkeit erregen (zuerst DAUBRÉE 1852). Neuerdings kommen die zahllosen, über die ganze Ebene zerstreuten, aus dem Grundwasser gespeisten Baggerseen hinzu. Schließlich bieten die Brunnen, aus denen auf der trockenen Niederterrasse des Oberrheins Wasser für die Feldberegnung gepumpt wird, eine willkommene Ergänzung. Seit neuestem (NAPPE PHRÉATIQUE 1974) liegt für die elsässische Rheinebene eine Karte 1:200 000 des Cl'-Gehaltes im Grundwasser vor, deren Inhalt mit den hier vorgelegten, bezüglich des unterirdischen Wassers beiläufig gewonnenen Ergebnissen weitgehend übereinstimmt. Abweichungen betreffen in erster Linie das Gebiet der Rheinaue. In ihrer Skala ist diese Karte weniger differenziert als unsere.

Um die auftretenden Konzentrationsschwankungen überblicken zu können, wurde besonders zu Beginn der Arbeit die Bestimmung an zahlreichen Meßpunkten mehrfach, oft fünfmal wiederholt. Dabei ergab sich folgende, vielfach bestätigte Gliederung:

1. Von der Wasserführung abhängige Schwankungen. Der Rhein, dessen Salzfracht über längere Zeiträume annähernd gleichbleibt, führt während seiner Sommeranschwellung rd. 95 mg/l, während des Wintertiefstandes rd. 160 mg/l Cl' (Mittel nach KOMMISSION 1968 bis 1972). Werden die nach Sonn- und Feiertagen gewonnenen Meßdaten (s. unten 4) ausgeschieden, ergeben sich höhere Mittelwerte (KRAUSE 1974, Karte 1 u. 2). Bei Niedrigwasser können 300 mg/l Cl' überschritten, bei Hochwasser 40 mg/l unterschritten werden. In der Ill gehen die Konzentrationen weiter auseinander. Oberhalb Illhäusern, wo keine Verdünnung durch Vogesenwasser stattfindet, wurden als Höchstwerte rd. 700 mg/l, als Mindestwerte rd. 150 mg/l Cl' festgestellt. Wasserklemme und Cl'-Maximum fallen bei der Ill in den Sommer, Hochwasser und Aussüßung in den Spätwinter. – In den Vogesen und Schwarzwaldflüssen setzt die Schneeschmelze den Cl'-Gehalt auf < 10 mg/l herab. Selbst Abwässer, die normalerweise merkliche Erhöhung verursachen, werden dann zur Unkenntlichkeit verdünnt.

2. Von Mischungsverhältnissen abhängige Schwankungen. Kunstvoll angelegte Verteilerbauwerke lassen salzführendes Rhein- und salzarmes Gebirgswasser in wechselnden Mengenanteilen zusam-

menfließen. Der Ottenheimer Mühlbach führte bei drängendem Rhein auf ganzer Länge rd. 70 mg/l Cl'. Bei Schneeschmelze im Gebirge sank die Konzentration auf rd. 20 mg/l. – Zwischen Neu-Breisach und Straßburg herrschte im nahezu unbewegten Rhein-Rhône-Kanal, der im Süden aus der Hardtbewässerung, im Norden aus der Ill und dem Rhein gespeist wird, unübersichtliches Nebeneinander ungleicher Konzentrationen.

3. Von der Topographie abhängige Differenzierungen innerhalb kleiner Fließgewässer. Der südlich Molsheim aus den Vogesen in die Ehn fließende Kleinbach „Rosenmeer“ nimmt seinen Ursprung als Mühlgraben, der aus dem Vogesenbach Magel abgezweigt wird. Er führt zunächst Forellenwasser mit rd. 10 mg/l Cl'. Da die ehemals von ihm getriebenen Mühlen stillliegen, wird der an Abhängen entlanggeführte Wasserlauf nicht mehr unterhalten. Er versickert oberhalb der Ortschaft Rosenwiller, erhält dort zwar geringe Mengen stark verschmutzten Abwassers, liegt aber auf 2 km Strecke im wesentlichen trocken. In Rosheim füllen ihn Quellen aus mesozoischem Gestein mit klarem Wasser, dessen Cl'-Gehalt bei 30 mg/l liegt. Unterhalb Rosheim nimmt er schließlich den mechanisch und biologisch, aber nicht chemisch geklärten Abfluß einer großen Kläranlage auf, der einen hocheutrophen, von Brennesseln gesäumten grauen *Sphaerotilus*-Bach aus ihm macht. – Die Scheer, ein wasserarmes Fließchen, das in gewundenem Lauf westlich Erstein eine große Lößebene durchläuft, wird im Frühjahr von chloridarmem Vogesenwasser durchströmt, trocknet aber im Sommer bis auf kurze Tiefstrecken aus, deren Restwasser die erhöhten, für Lößlandschaften kennzeichnenden Cl'-Werte annimmt.

4. Von Wirtschaftseinflüssen abhängige Schwankungen. An Sonn- und Feiertagen sowie zu Zeiten der Arbeitsniederlegung in den elsässischen Kalibergwerken erfolgt keine Salzeinleitung in den Rhein und die Ill (TOLLER & KÖHLE 1950; KRAUSE 1974). Zwischen Breisach und Kehl sinkt am jeweils folgenden, unterhalb Kehl am zweitfolgenden Tag die Konzentration auf 30 bis 50 mg/l Cl'. Auch in der Ill wurde Feiertagsdepression der Cl'-Fracht beobachtet. – Im Süden der Ebene zweigen aus den Flüssen Kanäle und Gräben ab, die der Berieselung von Äckern und Wiesen dienen. Sie liegen monatelang trocken, bilden aber zur Zeit der Füllung wesentliche Glieder des Gewässernetzes. – Verbreitet sind überdies Abwässergräben und -kanäle mit erhöhtem Cl'-Gehalt. Dieser schwankt oft in weiten Grenzen, so daß die angegebenen Konzentrationen nicht immer dem langfristigen Mittel entsprechen. Sie liegen aber stets über den Werten der unverschmutzten Gewässer.

5. Konstante Konzentrationen. Die meisten kleineren, aus der Ebene und den Vorhügeln

gespeisten Fließgewässer sowie die großen Gebirgsbäche und -flüsse schwanken mit ihren Konzentrationen sehr wenig. Am beständigsten sind die Grundwasseraufschlüsse.

Die große Verbreitung nahezu gleichbleibender Konzentrationen gibt der Karte 1:200 000 ihre tragfähige Grundlage. Schwankende Werte wurden nach dem Gesichtspunkt des größten Kontrastes eingefügt. Für den Rhein bringt die Karte die hohen Winterwerte mit Ausschluß der Messungen nach Sonn- und Feiertagen, für die Ill die hohen Sommerwerte. Ausgeschlossen wurden die nivellierenden Ergebnisse aus Hochwasserzeiten. Fließgewässer mit starken Schwankungen der Konzentration erscheinen mit den Mittelwerten, die ihre topographische Mittelstellung zwischen Gebieten hoher und niedriger Salzgehalte zum Ausdruck bringen. Bewässerungsgräben, die lange Zeit trockenliegen, aber regelmäßig benutzt werden, tragen die Signatur, die ihrem Wasser zukommt. Als trocken sind nur diejenigen verzeichnet, die sich durch Bewuchs und Bauzustand als dauernd leer ausweisen. – Alle Meßdaten wurden auf Karten 1:25 000 zusammengestellt, die als Grundlage der Karte 1:200 000 dienen und bei der Staatl. Versuchsanstalt für Grünlandwirtschaft und Futterbau Aulendorf hinterlegt sind.

Ausdehnung und Struktur des Gewässersystems machten eine simultane Aufnahme unmöglich. Erreicht wurde hohe topographische Vollständigkeit mit rd. 15 000, auf alle Jahreszeiten verteilten Proben. Die Textdarstellung orientiert sich am Punkt- und Liniengefüge der Karte 1:200 000, dessen Ausdruckskraft durch flächenhafte Zusammenfassung Einbußen erleiden würde.

#### *Der Cl'-Gehalt in Abhängigkeit vom Gestein\*)*

#### Beziehung zur flächenhaften Verbreitung der Oberflächengesteine

##### a) Gebirge und Vorbergsaum

In den Urgesteins- und Sandsteingebirgen beiderseits der Ebene hält sich die Konzentration fast durchgehend unter 15 mg/l Cl', vielfach unter 10 mg/l. Seltene Ausnahmen, z. B. in der Wehra unterhalb Wehr und der Liepvrette unterhalb Ste. Marie aux Mines werden hauptsächlich durch Fabrikabwässer hervorgerufen. Während der Schneeschmelze fließt auch dort Cl'-armes Wasser ab. Sehr vereinzelt fand sich gesteinsbedingte Konzentrationserhöhung. Ein Bach auf Gemarkung Welschensteinach im Schwarzwald, der weit außerhalb menschlicher Siedlungen läuft, bot mit fünf Messungen zwischen November 1973 und Februar 1975 bei stark unterschiedlicher Wasserführung

52 mg/l Cl' als Mittelwert. Damit lag er rd. 40 mg/l über den Normalkonzentrationen des Schwarzwaldes.

In autochthonen Bächen auf den mesozoischen und tertiären, weithin lößbedeckten Vorhügeln der Randgebirge, auf den Kalken des nördlichen Hochrheins sowie in den kartierten Teilen des Schweizer Jura und des lothringischen Stufenlandes betragen die Cl'-Werte 20 bis 50 mg/l. Doch werden diese Gebiete von Flüssen durchzogen, die niedrige Konzentrationen aus den Gebirgen mitbringen und bis zum Rhein hin bewahren. Zu ihnen gehören in der großen Einbuchtung des Pfälzer Waldes und der Vogesen die Lauter, Sauer, Breusch und der Rhein-Marnekanal. Auf badischer Seite führen Möhlin, Elz-Dreisam, Kinzig, Murg und Alb salzarmes Wasser durch Vorhügel und Ebene. Auffallend unabhängig von seiner Umgebung ist auch der schmale, tief aus dem Schwarzwald kommende Laufbach zwischen Bühl und Baden-Baden. Hingegen gleichen sich Moder und Zorn auf dem Weg durch Mesozoikum und Tertiär den Bächen der Vorhügel an.

Einen Sonderfall bildet die Südliche Zinsel, deren Unterlauf das Bild eines typischen Vogesenflusses bietet, die aber jenseits des Sandsteingebirges im Muschelkalk des lothringischen Stufenlandes ein zunächst tuffgepanzertes Bett durchfließt. Von da aus bewahrt sie erhöhte Cl'-Konzentration bis in den Unterlauf, vor allem aber, was auf der Karte nicht dargestellt ist, eine für Vogesenflüsse ungewöhnlich hohe Karbonathärte.

Die Breusch, die ihren für Vogesenflüsse typischen niedrigen Chloridgehalt bis zur Mündung in die Ill beibehält, wird auf langer Strecke und in nächster Nachbarschaft vom Breuschkanal begleitet, der durchgehend merklich erhöhte Konzentrationen führt. Sein Wasser entstammt weniger der Breusch als deren Nebenfluß Mossig, der im Mesozoikum entspringt und einen Ort Sultz-les-Bains durchfließt. – Von Schlettstatt bis zum Sundgau bleibt der Vorhügelsaum schmal, bewahrt aber komplizierten geologischen Bau, der es schwierig macht, die Einzugsgebiete der Bäche mit salzführendem Gestein in Beziehung zu setzen.

Im Sundgau, der sich im Süden des Kartenausschnittes als flachmodelliertes Hügelland ausbreitet, besteht der Untergrund aus Oligozän in mergeliger, toniger oder sandiger Ausbildung, weithin überdeckt mit pliozänem oder quarternärem Geröll oder mit Löß. Salzvorkommen werden nicht erwähnt. In seiner Osthälfte zeigt sich der Sundgau als niedriges, mit Löß bedecktes und von Tälern durchschnittenes Hügelland. Der Westen bildet eine schwach modellierte Mulde, in deren wenig durchlässiger, geologisch alter Lehmedecke zahllose Fischteiche angelegt sind. Die Zweiteilung der Landschaft (DUBOIS & DUBOIS 1955, S. 28; DELPONT u. a. 1955, S. 23f.) prägt sich auf der Cl'-Karte deutlich aus.

Auf badischer Seite ist die Ebene im Süden bis zum Kaiserstuhl von einem breiten Saum kalkführender lößbedeckter Sedimente eingefaßt. Hier herrschen Konzentrationen zwischen 20 und 50 mg/l Cl', die

\*) Sofern keine speziellen Arbeiten zitiert sind, stützen sich die geologischen Angaben auf DE MARGERIE (1930).

durch wenige Schwarzwaldflüsse unterbrochen werden. – Im Kaiserstuhl treten relativ hohe  $\text{Cl}'$ -Anteile im Lössmantel, niedrige im vulkanischen Zentrum des Bergmassivs auf. Nördlich der Freiburger Bucht, die von den zusammenfließenden Schwemmfächern dreier Schwarzwaldflüsse eingenommen wird, bestehen die Vorhügel überwiegend aus Buntsandstein mit Lößdecke. Auch hier übertreffen die kurzen Vorgebirgsbäche mit ihren Konzentrationen das spärlich durchfließende Schwarzwaldwasser. Unterhalb der Kinzigmündung wächst, durch die Steigungsregen vor dem Maueranstieg der Hornisgrinde gespeist, die Zahl der chloridarmen Bäche stark an. Nördlich der Murg, wo die Niederschläge wieder abnehmen, folgt erneut eine gewässerarme Strecke über Sandstein mit schmalen Lössmantel. – Zuletzt berührt die Karte in ihrem NO-Winkel noch den Muschelkalk der Kraichgausenke, der die geologische Grundlage der ehemaligen Saline Bruchsal bildet (CARLÉ 1963) und die  $\text{Cl}'$ -Konzentration seiner Abflüsse erhöht.

#### b) Schwemmfächer

Der Schwemmfächer aus Vogesensandstein im Norden der Karte, auf dem der Bienwald steht, bietet größtenteils niedrige Konzentrationen. Eine Ausnahme macht der auf Miozän angesiedelte Ort Büchelberg, in dessen Umkreis höhere  $\text{Cl}'$ -Werte des Oberflächenwassers gemessen wurden. Eine Bohrung hatte hier bereits früher hochkonzentriertes  $\text{NaCl}$ -führendes Tiefenwasser aufgeschlossen (HÄBERLE 1912, S. 26). Der vergleichbare Schwemmfächer des Hagenauer Waldes läßt in seiner Osthälfte ebenfalls chloridarmes Wasser ablaufen. Weiter im Westen, wo die geologische Karte Pliozän und Oligozän verzeichnet, treten in abgelegenen Waldgräben erhöhte Konzentrationen auf.

Weiter südlich wird die Vorhügelzone durch die Schwemmfächer der Vogesenbäche Giessen, Fecht und Lauch durchbrochen. Über ihre Ablagerungen laufen künstlich abgezweigte Seitenarme, die überwiegend niedrige Konzentrationen führen. Doch wurde am Südrand des Lauchfächers, wo Wasser aus dem Oligozän zufließt und der Ortsname Sultz erscheint, leicht erhöhter Salzgehalt festgestellt. Diese lokale Konzentrationserhöhung kommt auf einer Grundwasserkarte 1:100 000 (COMITÉ TECHNIQUE 1972) gleichfalls zum Ausdruck. Der südlich folgende mächtige Schwemmfächer der Thur läßt alle kleinen Fließgewässer versinken. Auf der Karte tritt die als Ochsenfeld bekannte öde Fächerwurzel mit einem Netz trockenliegender Gräben hervor. Der Hauptfluß Thur, der die Vogesen mit niedriger Konzentration verläßt, erfährt in der Industriestadt Cernay am Gebirgsrand eine merkliche, mit rd. 80 mg/l  $\text{Cl}'$  gemessene, bei Hochwasser nicht mehr nachweisbare Versalzung.

Auf badischer Seite hat der Neumagen, dessen Wasser niedrige  $\text{Cl}'$ -Konzentration aufweist, im Süden einen modellschönen Schwemmfächer abgelagert, der

auf der Chloridkarte deswegen nicht mit voller Deutlichkeit erscheint, weil in seinen zwei mittleren Strahlen niemals Wasser angetroffen wurde. Das Trockenfallen ansehnlicher Seitenarme, das sich auf allen Schwemmfächern der Oberrheinebene wiederholt, ist zum Teil auf die Entnahme von Trink- und Industrierwasser in der Fächerwurzel, nicht zum wenigsten aber auf das Zurückgehen der Grünlandberieselung zurückzuführen, die ehemals eine gleichmäßige Verteilung des Wassers anstrebte. – Im großen Schwemmfächer der Freiburger Bucht, der aus tiefem Urgesteinsgeröll besteht, würden abgesehen von der nächsten Umgebung kleiner lößbedeckter Mesozoikum-Schollen alle Fließgewässer salzarmes Wasser führen, wenn nicht das allgegenwärtige Abwasser der Stadt Freiburg und der umliegenden Ortschaften die Konzentration erhöhte. Nur die größten Flüsse werden nicht merklich beeinflusst. – Auch die Kinzig gibt unterhalb Offenburg strahlenförmig einige Seitenarme ab, die ihren Schwemmfächer auf der Karte markieren. Dieses Gewässersystem ist neuerdings durch Straßenbauten gestört.

#### c) Niederterrasse

Abgesehen vom durchlaufenden Fremdwasser, das die Flüsse aus den Gebirgen oder den Vorhügeln über die Ebene in den Rhein führen, werden die Gewässer der Niederterrasse aus dem Grundwasser gespeist, das in Baggerseen und aufsteigenden Quellen zutage tritt. Südlich der Linie Neu-Breisach – Colmar, wo das Grundwasser tief steht (vgl. GENDRIN, MILLOT u. SIMLER 1957, Anl. 4), beschränken sich die Aufschlüsse auf wenige tiefe Baggerseen in trockener Umgebung. Im Norden entspringen dagegen natürliche Abflüsse in feuchtem Gelände, z. B. die Zems im Elsaß und die Unditz in Baden. Nord- und Südhälfte der Ebene unterscheiden sich überdies deutlich im  $\text{Cl}'$ -Gehalt ihrer Wässer. Nördlich der genannten Linie führt das Grundwasser, das sich hier in der geologisch sehr jungen „Feuchten Ebene“ des Rheintalschwemmfächers bewegt, überwiegend 20 bis 35 mg/l  $\text{Cl}'$ . Es läuft spitzwinkelig gegen den Rhein und kann beim Durchfließen einer langen Geröllstrecke gelöste Stoffe aufnehmen. Im Süden sind die Konzentrationen zumindest in Rheinnähe niedriger. Das Grundwasser liegt hier unter dem geologisch älteren hochgewölbten Steinfeld des Schwemmfächers, in dem alles Wasser in die Tiefe strebt, so daß Zeit und Anlaß zur weitgehenden Auswaschung des Bodens und der oberen Geröllschichten bestand.

Die niedrigen Konzentrationen herrschen ausschließlich in größerer Entfernung von der Ill. Letztere wird beidseitig von einem Streifen kräftig versalzten Grundwassers begleitet, der auf Bergbauabwässer zurückzuführen ist und an anderer Stelle behandelt werden muß. – Oberflächenwasser empfängt die südliche Niederterrasse ausschließlich über Kanäle, die keiner Versalzung unterliegen. Vom Rhein-Rhône-Kanal

zwischen Mülhausen und Neu-Breisach liegen keine vollständigen Messungen vor, weil die Wasserstraße nicht mehr benutzt wird, und auf langen Strecken trockenliegt. Durch Interpolation zwischen den gefüllt gebliebenen Abschnitten und Berücksichtigung des Gefälles läßt sich darauf schließen, daß der Kanal von Süden her bis Neu-Breisach durchgehend niedrige Konzentration geführt hat.

Niedrige Cl<sup>-</sup>-Werte wurden im Infiltrationsbereich größerer Gebirgsflüsse gefunden. Auf badischer Seite versickert der Neumagen zeitweise vollständig. Sein salzreicher Grundwasserstrom ist in Baggerseen abgeschlossen. Überdies speist er die Grundwasseraustritte am Westrand des Kaiserstuhls, in denen ebenfalls niedrige Konzentrationen auftreten. Rheinabwärts bestehen Ausbreitungsgebiete niedriger Konzentration, wie die Baggerseen erweisen, am Unterlauf der Elz und auf dem Schwemmfächer der Kinzig.

#### Beziehungen zum Tiefenwasser (Salzquellen, erbohrte Solen)

Mit Konzentrationen weit  $> 100$  mg/l Cl<sup>-</sup> macht sich zwischen Pechelbronn und Brumath das Salz bemerkbar, das dem Erdölrevier des Unterelsaß entstammt und geologisch mit der Abteilung Tongrien (Sannoisien) des Oligozän zusammenfällt (DUBOIS & DUBOIS 1955, S. 136; 194f.; SCHNAEBELE 1948, Pl. 1). Die am stärksten konzentrierten Lösungen sind erbohrt (DUBOIS & DUBOIS 1955, S. 195) und dienen der medizinischen Anwendung. In Pechelbronn wächst im wasserarmen Seltzbach der Cl<sup>-</sup>-Gehalt unterhalb der Sanatorien sprunghaft von rd. 25 mg/l auf 300–600 mg/l. Weiter abwärts lassen ihn salzarme Zuflüsse stattdessen anwachsen und seine Konzentration laufend absinken. Unweit Morsbrunn – les-Bains gelangt eine konzentrierte Salzlösung in den wasserreichen Halb-mühlbach, der vom Vogesenfluß Sauer abgezweigt wird und zunächst rd. 15 mg/l Cl<sup>-</sup> führt. Die Sole läßt seine Konzentration auf mindestens 50, zeitweise auf rd. 250 mg/l ansteigen. In diesem geologisch so ausgezeichneten Gebiet tritt auch in menschenleeren Gelände erhöhter Salzgehalt im Oberflächenwasser auf. In den Gemarkungen von acht Ortschaften, in denen das Tiefenwasser nach SCHNAEBELE (1948, S. 150) Chlorid in der Größenordnung 30 000 bis 60 000 mg/l führt, fanden wir in kleinen bis kleinsten Wiesengräben 50 bis 200 mg/l.

Im Norden des Unterelsaß kommen schwach erhöhte Konzentrationen noch unweit der Lauter vor, wo die Ortsnamen Riedseltz und Steinseltz auftreten und wo am Stadtrand von Wissembourg nach HABERLE (1912, S. 26) früher Salzquellen bekannt waren. Vor den südlichen Vogesen bot ein Graben, der aus den Mineralquellen des Carolabades bei Ribeauville abfließt sowie ein Brunnen in Soultzmatt-Westhalten erhöhte, mit großer Sicherheit auf das Hochsteigen salzhaltiger Wässer zurückzuführende Cl<sup>-</sup>-Wer-

te. Durch mehrfach wiederholte Messung ist eine Konzentration um 90 mg/l Cl<sup>-</sup> für den kurzen, am Vogesenrand bei Ingersheim nordwestlich Colmar entspringenden Weidbach nachgewiesen.

Westlich der Vogesen erfährt die Saar unterhalb der alten Saline Salzbronn bei Sarralbe starke Chloridzufuhr, deren Anfänge wohl auf spontan austretende Solquellen zurückgehen. Der Ortsname Saltzbourg erscheint schon auf einer Karte von 1683. Neuerdings erfolgt Einleitung durch eine auf Salzbasis arbeitende chemische Großindustrie.

In den badischen Vorhügeln sind mehrere Natriumchlorid-Quellen bekannt, die in Bädern medizinisch genutzt werden (CARLÉ 1953, a u. b). Die Konzentrationserhöhung in den Bächen, die ihr Wasser abführen, ist weniger stark als im Pechelbronner Revier. Unterhalb des Erlenbades nordöstlich Achern und des Bades Hub südlich Bühl steigt der Cl<sup>-</sup>-Anteil auf 35–40 mg/l. Erwartungsgemäß ändert sich die Konzentration in den ableitenden Bächen um so weniger, je wasserreicher diese sind. Lediglich im Falkensteiner Bach unterhalb des elsässischen Bades Niederbronn wurde eine Zunahme gefunden, die aber nicht mit Sicherheit auf das Wasser der Badquelle zurückgeführt werden kann.

#### Chloridzufuhr durch häusliches oder industrielles Abwasser außer Kalibergbau

Aus mehreren Großstädten und zahlreichen Ortschaften am Gebirgsrand fließt Abwasser durch offene Kanäle und Gräben in den Rhein oder andere Vorfluter. Diese Gerinne geben sich durch ihren Geruch, ihre grautrübe Färbung und den von Brennesseln beherrschten Uferbewuchs deutlicher zu erkennen als durch eine bestimmte Cl<sup>-</sup>-Konzentration. Sie führen stets erhöhten Salzgehalt, der sich aber je nach Herkunft des Wassers ebensogut auf 60 mg/l wie 3000 mg/l Cl<sup>-</sup> belaufen kann. Außerdem schwankt er im gleichen Gewässer in weiten Grenzen. Daher wurde nicht versucht, repräsentative Durchschnittswerte oder Schwankungsbreiten zu ermitteln, zumal die hydrologische Problematik des Haus- und Industrieabwassers am wenigsten aus der Cl<sup>-</sup>-Belastung folgt.

Als Beispiele seien genannt: auf elsässischer Seite der Abwasserkanal der Stadt Mülhausen, ein aus Richtung Wettolsheim gegen die Lauch geführter Graben, ein Industrieabwasser im Straßburger Stadtteil Ostwald. Die Hauptmenge der Straßburger Abwässer, die nach älteren Angaben (LAUTERBORN 1908, S. 69) in die Ill geleitet wird, macht sich am Cl<sup>-</sup>-Gehalt nicht bemerkbar, weil die Ill ohnehin mit Salz belastet ist. In Baden fallen ins Auge: Die Ableiter der Freiburger Rieselfelder im Südwesten der Stadt, ein wasserarmer, zeitweise hochkonzentrierter Graben nördlich des Kaiserstuhls, der Schutter-Entlastungskanal westlich Lahr, der in den Sandbach mündende Ooskanal westlich Baden-Baden sowie die untere Alb in Karlsruhe, die bis weit in die Stadt hinein mit 15 mg/l Cl<sup>-</sup> die niedrige Konzentra-

tion eines Schwarzwaldbachs bewahrt, aber kurz vor ihrer Mündung in den Rhein durch Abwässer auf rd. 160 mg/l gebracht wird. Da gegenwärtig in vielen Ortschaften Kläranlagen gebaut werden, besteht die Wahrscheinlichkeit, daß zur Zeit der Drucklegung dieser Arbeit manche Abwässer niedrigere Konzentrationen führen als hier angegeben ist.

#### Der Chloridgehalt in Abhängigkeit vom Kalibergbau

##### Die Gewässer im Umkreis der Bergwerke

Bäche und Gräben, die mit Chlorid aus den Mülhausener Kalibergwerken beladen sind, fließen am nordöstlichen Saum des Thur-Schwemmfächers ab. Von Südwesten her beginnt die spektakuläre Versalzung mit Höchstwerten um 15 000 mg/l Cl' auf der Ebene südlich Ungersheim, wo sich vor einem Horizont aus Fördertürmen und Halden ein kilometerlanger Salzsumpf ausgebreitet hat. Sein Wasser wird über mehrere Zuleitungen herangeführt, deren Verlauf und Herkunft im einzelnen nicht bekannt sind. Der Abfluß erfolgt mit rd. 1500 mg/l Cl' in die Alte Thur, die das Bergbaugebiet mit stark wechselnden Konzentrationen verläßt. Als niedrigster Wert wurden 80, als höchster 400 mg/l Cl' gemessen. Andere Salzableitungen laufen zwischen Fabriken durch gemauerte Gerinne. Sie führen ihren Unterläufen Konzentrationen um 10 000 mg/l Cl' sowie starke Tontrübung zu. Zuletzt vereinigen sie sich und münden zwischen Ruelisheim und Ensisheim in die Ill, deren Chloridgehalt sie von rd. 20 auf mindestens 300 mg/l steigern.

Grundwasseraufschlüsse standen im Mülhausener Kalirevier nicht zur Verfügung. Doch läßt schon der Augenschein Konzentrationserhöhung erwarten, den NAPPE PHRÉATIQUE mit Werten > 1000 mg/l Cl' zahlenmäßig erfaßt.

Das meiste Salz wird durch eine mächtige Rohrleitung abgeführt, die zur Route EdF nordöstlich Rumersheim läuft, wo sie in einen Graben übergeht, der die gesättigte Lösung von rd. 150 000 mg/l Cl' in das Gelände am Kraftwerk Fessenheim leitet. Dort befinden sich ausgedehnte Absatzbecken, die zeitweise trockenfallen und das Salz an Sommertagen ausblühen lassen. Durch eine Betonrinne gelangt konzentrierte Lösung in den Rheinseitenkanal. – Auf badischer Seite führten bis Anfang 1973 zwei enge Rohrleitungen das Abwasser des Kalibergwerkes Buggingen in den Restrhein. Seine Konzentration lag in der Größenordnung 60 000 mg/l Cl'.

##### Die Weiterleitung des salzführenden Wassers durch Ill und Alte Thur

###### a) Das Versickern des Oberflächenwassers in der südlichen Ebene

Alte Thur und Ill führen ihre Salzfracht zunächst 20 km weit in unverzweigten Betten. Keine sichtbare

Fließbahn gibt einen Hinweis auf seitliche Ausbreitung salzführenden Oberflächenwassers. Bis Colmar bewegt sich die Ill auf den mächtigen Geröllmassen, die unter dem nahezu baumlosen Steinfeld im Süden des Rheintal-Schwemmfächers lagern. Auf dem durchlässigen Untergrund neigt sie seit alters her zum Versickern (GUEBWILLER in GENDRIN u. a. 1957, S. 9). In Trockenzeiten konnte sie ganz versinken und kam erst vor Colmar wieder zutage.

In diesem Versickerungsgebiet fanden sich in sieben Baggerseen und vier Bewässerungsbrunnen beiderseits der Ill Cl'-Konzentrationen zwischen 80 und 390 mg/l, die weit über den Normalwerten der Ebene liegen. Sie verteilen sich auf einen 5–7 km breiten Geländestreifen zwischen Ensisheim und dem Canal de Colmar. Die topographische Situation läßt darauf schließen, daß hier salzführendes Wasser als Uferfiltrat aus der Ill austritt. – Am Oberlauf der Alten Thur macht vergleichbarer Landschaftsbau ebenfalls Infiltration wahrscheinlich, doch liegen keine Messungen vor. Die Alte Thur mündet, nachdem sie durch ein neu angelegtes Gerinne den Vogesenfluß Lauch aufgenommen hat, bei Colmar in die Ill. – Einen Hinweis auf eine von Mülhausen ausstrahlende, bis Colmar reichende Grundwasserversalzung geben schon DUBOIS & DUBOIS (1955, S. 193).

Baggerseen und Brunnen, die weiter als 4–6 km ostwärts der Ill angetroffen wurden, boten niedrige Cl'-Konzentration. Die Abgrenzung gegen das salzführende Grundwasser längs der Ill ist scharf (vgl. auch COMITÉ TECHNIQUE 1972 u. NAPPE PHRÉATIQUE 1974), wiewohl sich ein gradueller Übergang dadurch andeutet, daß im Südwesten, relativ nahe dem Bergbaurevier und der Ill, schwach erhöhte, nahe der nach NO weit abliegenden Stadt Neu-Breisach besonders niedrige Konzentrationen auftreten. – Als unabhängig von seiner Umgebung erweist sich der Vauban-Kanal, der auf langer Strecke neben der Ill verläuft, sich ihr in Ensisheim auf eine Straßenbreite nähert und trotzdem niedrige Konzentration bewahrt. Seine Sohle muß, wenn sein Wasser ohne große Verluste über das Geröllfeld bis nach Neu-Breisach fließen soll, gut abgedichtet sein. Überdies liegt sie höher als der Spiegel der Ill. Andererseits erweisen die Baggerseen östlich des Kanals, daß salzführendes Wasser unter seinem Bett hindurchdringt.

###### b) Das Zutagetreten salzführenden Grundwassers im südlichen elsässischen Ried auf Höhe der Blind

Nördlich des Canal de Colmar erreicht die Ill ein Gelände, in dem Grundwasserspiegel und Landoberfläche einander auf rd. 1 m nahekommen. Hier treten, wie auch in anderen Teilen der Oberrheinebene, aufsteigende Quellen zutage, die stenotherme klare Bäche („Brunnenwasser“ oder „Riedbrunnen“) oder wenigstens dauernd fließende Gräben speisen. Zwischen dem Kanal und dem Schlettstatter Illwald, der das Ried nach Norden begrenzt, lag die Konzentration in acht

Brunnenwässern und einem Baggersee mit 100 bis 150 mg/Cl' weit höher als im normalen Grundwasser der Ebene, wiewohl um einige Zehner niedriger als gleichzeitig in der Ill. Nach Osten gelangen die erhöhten Konzentrationen bis vor die Rigole de Widensohlen, im Unterlauf Blind genannt, die als Fortsetzung des Vauban-Kanals Cl'-armes Wasser weit nach Norden führt. Eine topographische Übersicht gibt CARBIENER (1969, S. 21 „Ried de la Blind“). – Da die Grundwasseraustritte in der Verlängerung der Ill-Versickerungsstrecke liegen, ergibt sich angesichts der allgemeinverbindlichen Dynamik der Wasserbewegung in Schwemmfächern (für die Ill vgl. GENDRIN u. a. 1957, S. 10) die Vorstellung, daß das salzführende Wasser, das bei Mülhausen und nördlich Ensisheim versinkt, in den Riedbrunnen unterhalb Colmar wieder zutage tritt.

An die Wiesenlandschaft des Ried grenzt nach Norden in geradliniger, mit der Departementsgrenze zusammenfallender Front der Schlettstatter Illwald. Ihn durchzieht ein engmaschiges Gewässernetz, das von Westen her aus einem Arm der Ill gespeist wird, der trübes eurythermes Wasser führt. Die Abhängigkeit von der Ill gibt sich auch an den hohen, mit denen des Flusses übereinstimmenden Cl'-Konzentrationen zu erkennen. Abseits der Ill wächst der Anteil des klaren, an Ort und Stelle austretenden Grundwassers an. Der Scheidgraben am Ostrand des Waldes, der im Ried entspringt, erreicht sogar die hohe Transparenz und den stenothermen Temperaturgang der reinen Grundwasserabflüsse. – Unterhalb Schlettstatt ziehen sich die Gewässer des Illwaldes, die zuletzt noch die Blind aufnehmen, zu einem schmalen Netzwerk zusammen, das ebenfalls überwiegend mit Illwasser gefüllt ist. Bei Ebersmünster kehren alle Verzweigungen in das Hauptbett zurück und die Ill läuft in einem geschlossenen, nur durch Gewerbekanäle schwach zerteilten Bett. – Während der Fluß von Ensisheim bis Illhäusern ohne Wassergewinn bleibt, nimmt er weiter abwärts mehrere Vogesenflüsse auf. Seine Cl'-Konzentration, die oberhalb Colmar mit 150 bis 700, in den letzten Jahren mit > 1000 mg/l bestimmt wurde, verringert sich dadurch auf 140 bis 190 mg/l. Ein Frühjahrshochwasser senkte sie auf 78 mg/l.

c) Das Zutagetreten salzarmen Wassers im nördlichen elsässischen Ried auf Höhe der Zembs

Zwischen Illwald und Erstein erstreckt sich ostwärts der Ill der Hauptabschnitt des elsässischen Rieds (CARBIENER 1969, Karte 1, „Ried de la Zembs“). In 24 Grundwasseraustritten lag die Konzentration zwischen 20 und 45 mg/l. Sie entsprach in der Mehrzahl der Fälle dem Normalwert der zentralen, nicht vom besonders Cl'-armen Gebirgswasser durchtränkten Niederterrasse oder überschritt ihn, wie der Vergleich mit der benachbarten Ill unterstreicht, nur geringfügig. Das Bett der Ill muß hier als dicht angesehen, die Speisung des Grundwassers auf einen Zulauf zurückgeführt werden, der von SSW her das Illbett unterfließt. Daß keine nennenswerte Wassermenge aus dem Fluß in das Grundwasser übertritt, erweisen am deutlichsten fünf Baggerseen ostwärts der Ill zwischen Benfeld und Erstein, die nicht weiter als 250 bis 500 m vom Fluß entfernt sind, aber nur 28 bis 45 mg/l Cl' führten, während in der Ill gleichzeitig 138 bis 155 mg/l gemessen wurden. Die niedrigsten Konzentrationen treten in der Nähe der Ill auf; gegen Osten steigen sie leicht an, lassen aber bis in die Nähe des Rheins keine nennenswerte Zumischung salzhaltigen Grundwassers erkennen. Dieses macht sich erst nahe am Strom bemerkbar, wo Quellen mit 132 bis 166 mg/l Cl' zutage treten. Eine Übersicht gibt Abb. 1.

d) Die Ill nördlich des elsässischen Rieds bis zu ihrer Mündung in den Rhein

Unterhalb Erstein gewinnt die Ill durch den Entlastungskanal und den Speisekanal Verbindung zu den vom Rhein abhängigen Gewässern, ohne daß sich ihre Cl'-Konzentration merklich ändert. Im übrigen hält sie sich bis Straßburg in einem nahezu geschlossenen Bett. Ihre Konzentration nimmt durch Verdünnung weiterhin auf Werte zwischen 150 und 90 mg/l Cl' ab. Die Stadt Straßburg durchquert sie, ohne vom nahezu unbewegten Rhein-Marnekanal beeinflusst zu werden, den sie niveaugleich kreuzt. Unterhalb Straßburg nähert sie sich dem Rhein und tritt durch eine Abzweigung mit dessen Altwässern in Verbindung. Sie beeinflusst hier auch das Grundwasser auf ihrem lin-

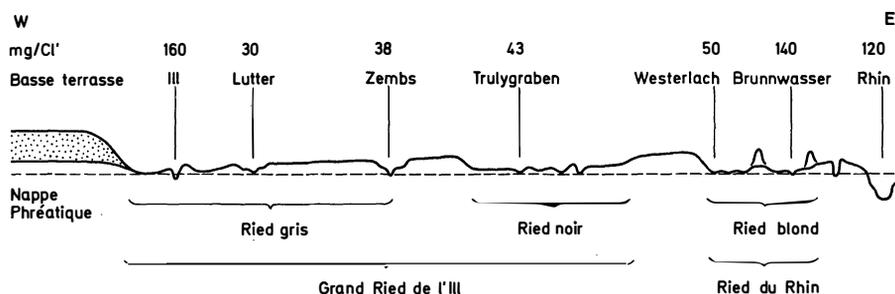


Abb. 1: Die Cl'-Konzentration der Grundwasserabflüsse im elsässischen Ried auf Höhe Benfeld. Messungen Juli–August 1969–1971. Topographische Grundlage nach CARBIENER (1969, Abb. 2)

ken, vom Rhein abgewandten Ufer. Sieben Baggerseen sowie der östlich Kilstett aus dem Grundwasser gespeiste Mühlrhein boten den Mittelwert 77 mg/l Cl'. Auch zwei alte, nahezu trockengefallene Abzweigungen der Ill unterhalb ihrer Mündung in den Rhein führen im Restwasser erhöhte Konzentrationen.

#### Die Weiterleitung salzführenden Wassers durch den Rhein

##### a) Restrhein und Seitenkanal zwischen Fessenheim und Breisach

Die Vermischung der zugeführten Salzlösungen mit dem von Basel zufließenden Rheinwasser, dessen mittlere Konzentration sich für 1968–1971 mit 12 mg/l Cl' berechnet (KOMMISSION 1969–1972), bietet noch ungelöste Fragen; das Oberflächenwasser des Rheinseitenkanals führte unterhalb Fessenheim teils hohe, teils niedrige Werte. Offenbar liegen die schweren Bergwerksabwässer zunächst unvermischt am Grunde, bis sie durch unregelmäßig auftretende Turbulenzen der Schiffschrauben hochgewirbelt werden. Erst die Turbinen des Kraftwerkes Vogelgrün und der Wassersturz des Landeskulturwehres Breisach sichern vollständige Durchmischung. – Zwischen Fessenheim und Vogelgrün bleibt das Wasser in Kanal und Restrhein nahezu von jeder oberirdischen Verbindung mit dem Ufergelände abgeschlossen. Eine Ausnahme macht eine enge und kurze Ableitung aus dem Kanal südlich Geiswasser, die nach kurzer Laufstrecke versickert.

Die Absetzbecken am Kraftwerk Fessenheim müssen als Ausgangspunkt einer kräftigen Grundwasserver-salzung angesehen werden. Durch eigene Feststellung nachgewiesen ist sie an einem Brunnen auf badischer Seite unweit nordöstlich Fessenheim, dessen Wasser rd. 350 mg/l Cl' enthielt. Das salzführende Wasser unterfließt demnach das Rheinbett. Daß im Gerölluntergrund der Rheinaue eine Grundwasserströmung einen Flußlauf unterqueren kann, ohne daß die beiden Wasserkörper sich vermischen, hat KRAUSE (1967, S. 451) gezeigt.

Vermerkt sei hierzu, daß die in Fessenheim versickernden hochkonzentrierten Lösungen sich wahrscheinlich erst in größerer Tiefe voll ausbreiten und mit Proben aus der Grundwasseroberfläche, wie sie für die vorgelegten Untersuchungen benutzt wurden, nicht ausreichend erfaßt werden.

##### b) Die ausgebauten Altrheine des badischen Ufers zwischen Breisach und Kehl

Zwischen Breisach und Kehl führen die Folge-maßnahmen des Kanalbaues (RAABE 1968) das Rheinwasser noch immer in die Breite. Unterhalb Breisach verläßt es den Strom in ansehnlicher Menge durch Entnahmebauwerke. Nördlich des Kaiserstuhls kommt salzführendes Uferfiltrat hinzu, das in natürlichen Grundwasseraustritten und im Dränkanal neben dem hochgestauten Rhein zutagetritt. Ein enges Netz na-

türlicher und neu ausgebaggerter Gerinne leitet dieses Wasser, dessen mittlere Konzentration im Sommer rd. 95, im Winter rd. 160 mg/l Cl' beträgt, weit in die Stromaue. Dort bewahrt es überdurchschnittlich hohen, wiewohl durch seitlichen Zufluß aus der Niederterrasse leicht herabgesetzten Salzgehalt. Ins einzelne gehende Karten für eine rd. 20 km lange Strecke gibt KRAUSE (1974). Sie zeigen u. a., daß in dem Auenstreifen, in dem die Oberflächengewässer hohe Cl'-Konzentrationen führen, das in zahlreichen aufsteigenden Quellen zutagetretende Grundwasser ähnlich hohen Salzgehalt aufweist.

Südlich des Leopoldkanals, wo aus der Niederterrasse kein Wasser zufließt, erreichen die hohen Konzentrationen das Hochgestade. Im Norden drängen Cl'-arme, aus der Niederterrasse gespeiste Grundwasseraustritte und der Schwarzwaldfluß Elz das salzführende Wasser gegen den Rhein. Doch bleibt ein Streifen erhöhter Konzentration in der Nähe des Stromes bis kurz vor Kehl erhalten. Begrenzt wird er durch den aus der unteren Elz abgeleiteten Ottenheimer Mühlbach, in dem ein Gemisch aus Rhein- und Schwarzwaldwasser mit wechselnden, zwischen 20 und 70 mg/l Cl' schwankenden Konzentrationen abfließt. Östlich des Hochgestades, der unteren Elz und des Mühlbachs treten weder in Baggerseen noch in natürlichen Grundwasserabflüssen erhöhte Cl'-Konzentrationen auf.

##### c) Die Auengewässer des elsässischen Ufers

Das elsässische Altrheinsystem, das südlich Neu-Breisach durch Rheinkorrektion und Kanalbau ausgelöscht ist, beginnt unterhalb des Kraftwerkes Vogelgrün mit einer komplizierten Wasserführung, deren Basis der aus dem Rhein und der Ill abgezweigte Canal de Colmar mit Konzentrationen zwischen 100 und 200 mg/l Cl' bildet. In den Kanal wird von Süden der starke Grundwasserabfluß „Biesheimer Gießen“ mit rd. 20 mg/l Cl' aus Rohrdurchlässen eingeführt. Rund 750 Meter nordwestlich leitet ein Wehr den Mühlbach „Biesheimer Rhein“, dessen Konzentrationen zwischen 75 und 90 mg/l Cl' liegen, wieder aus dem Kanal hinaus. Die topographische Situation macht wahrscheinlich, daß das Wasser des Gießen den sonst nahezu unbewegten Kanal ein Stück weit durchfließt und ihn mit einer durch Vermischung erhöhten Konzentration wieder verläßt. Der Biesheimer Rhein läuft als tiefer, schnellfließender Mühlbach am Westrand des Auwaldes nach Norden und mündet gegenüber dem Leopoldkanal in den Drängraben des gestauten Rheins.

Westlich des Mühlbachs und parallel zu ihm fließt die Ischert, die als Brunnenwasser in einem Quellteich entspringt und über Abzweigungen weit nach Norden gelangt. Sie führt eine Cl'-Konzentration von rd. 75 mg/l Cl', die ihrer Lage zwischen Ried und Rheinaue entspricht. Östlich der Ischert steigt die Konzentration in den Altrheinen, die Grundwasser aufnehmen und dadurch hohe Transparenz gewinnen, auf

100 bis 180 mg/l Cl'. Der Platzbedarf des Kanals und weitläufige Geländeplanierung haben die linksrheinischen Altrheine eingeengt. Der größte ist nördlich des Kraftwerkes Marckolsheim erhalten geblieben. Im Dränggraben neben dem Damm des Seitenkanals herrschen nahezu die gleichen Konzentrationen wie im Rhein.

Auf dem elsässischen Ufer trennt ein durchlaufender Damm die Aue vom Strom und vom Seitenkanal. Rechtsrheinisch kann dagegen in den Restrestrecken immer noch Hochwasser über die Ufer treten. Zudem bestand bei der Planung des Kanals offenbar wenig Neigung, den elsässischen Uferbereich durch Entnahmebauwerke mit Oberflächenwasser zu versorgen. Demzufolge wirkt die Salzlast des Rheins auf der elsässischen Seite ausschließlich über das Uferfiltrat in die Aue hinein. Auf einer bei Neu-Breisach beginnenden rd. 30 km langen Strecke tragen hier nur die wenigen aus dem Grundwasser gespeisten Altrheine die gleiche, für hohe Konzentration typische Signatur, die auf dem badischen Ufer durchgehend vorherrscht. Das Kartenbild ist asymmetrisch. – In den Baggerseen nördlich des Kraftwerkes Vogelgrün zwischen Canal de Colmar, Biesheimer Rhein und Rhein häufen sich niedrige Konzentrationen. Bis dahin reichen die Ausläufer des weiter südlich herrschenden salzarmen Grundwassers.

In der Bucht des Rheinbogens nördlich der Mündung des Leopoldkanals dringt Cl'-reiches Wasser in die Breite. Dort füllen starke, aus dem Uferfiltrat des Rheins gespeiste Quellen eines der größten Brunnenwasser des Elsaß, das hohe Transparenz, stenothermen Temperaturgang und oligotraphenten Bewuchs bis heute bewahrt hat. – Zwischen dem Kraftwerk Gerstheim und der Straßburger Stadtgrenze schließt sich ein durch Einlaßbauwerke unter Kontrolle gehaltenes Gewässersystem mit durchgehend hohen Konzentrationen an. Hauptzuflüsse sind der Ill-Entlastungskanal und der Ill-Speisekanal, der neuerdings den wasserreichen Dränggraben der Kanalschlinge Gerstheim aufnimmt. Auch die Unterläufe von Brunnenwässern des Zembrieses treten hinzu. Stromabwärts folgen natürliche Fließgewässer, die in engen Krümmungen („Krummer Rhein“) verlaufen und im Stadtgebiet Straßburg in die Ill und ein Hafenbecken münden. In den letzten Jahren hinzugekommen ist ein gewaltiger, durch Eindeichung entstandener Flachsee, der im Norden mit dem Rhein in Verbindung steht, im Süden vom Ill-Speisekanal durchflossen wird. Zwischen See und Rhein konnte ein natürlicher Außenwald erhalten werden, aus dem mehrere, vom Grundwasser gespeiste Altrheine abfließen. Ihr Wasser gelangt durch einen langen Düker unter dem See hindurch in den Krumpen Rhein. Zwischen den stark versalzten Fließgewässern westlich des Sees bewahren mehrere Baggerseen niedrige Konzentration. Sie bieten eine abgeschwächte Wiederholung der salzarmen Grundwasseraustritte des Zembrieses (vgl. S. 274) zwischen Ill und Rhein.

d) Die Rheinaue unterhalb der Illmündung und unterhalb Kehl

Im Norden des Kartenausschnittes wirkt der Rhein mit seiner Salzfracht nur noch wenig in die Breite. Am weitesten landeinwärts drängt hohe Konzentration in den Buchten alter, durch die Korrektur abgeschnittener Stromschlingen, z. B. vor der Mündung der Sauer. Wo reichlich Gebirgswasser von der Seite anfließt, z. B. im Mündungsgebiet der Lauter, gelangt hohe Cl'-Konzentration nicht über den engsten Uferbereich des Rheines hinaus. – Einen Sonderfall bilden mehrere Baggerseen auf dem rheinabgewandten Ufer der Moder. Sie führen hohe Konzentrationen, obwohl sie durch den großen, wenig mit Salz belasteten Fluß von der Rheinaue getrennt sind. In diesem abgesonderten Gebiet, das auch in der Karte NAPPE PHRÉATIQUE (1974) erscheint, muß kräftige Breitenwirkung des vom Strom gespeisten Uferfiltrates unter dem Bett der Moder hindurch angenommen werden. Die Baggerseen liegen in trockengefallenen, auf der Karte 1:25 000 dargestellten Flußbögen, die sich durch ihren Krümmungsradius als ehemalige Rheinläufe ausweisen. Da Flußgeröll einen bevorzugten Grundwasserleiter bildet, der noch lange nach dem Verschwinden des oberirdischen Wasserlaufs durchflossen wird (GRAHMANN 1925), gewinnt die Annahme an Wahrscheinlichkeit, daß sich im Untergrund der trockengefallenen Rheinbögen noch immer Wasser aus dem Strom in alten Bahnen bewegt. Benachbarte Seen im Mäanderbereich des Vogesenflusses Sauer führen Cl'-armes Wasser. Unterhalb der Modermündung wurden vergleichbare Erscheinungen nicht gefunden.

#### Literatur

- CARBIENER, R.: Le grand Ried d'Alsace. – Bull. Soc. Industr. Mulhouse, Bull. Trimestriel No 1, 1969, S. 15–44.
- CARLÉ, W.: Mineralwässer. – In: Hydrogeologische Übersichtskarte 1:500 000, Bl. Freiburg i. Brsg. u. Karlsruhe, Erläuterungen bearb. v. W. HASEMANN u. D. PFEIFFER. Amt f. Landeskunde Remagen 1953, S. 48–53 u. 66–72, 1953 (= CARLÉ 1953 a u. b).
- : Die ehemalige Saline zu Bruchsal, ihre geologischen Voraussetzungen, Geschichte und technischen Einrichtungen. – Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 53, 63–131, 1963.
- COMITÉ TECHNIQUE: Contrôle de la Qualité des eaux souterraines de la Plaine de Bâle à Neuf-Brisach. Les Chlorures. – Comité Technique de L'Eau – Alsace o. J. (1972).
- DAUBRÉE, M. A.: Description Géologique et Minéralogique du Département du Bas-Rhin. – E. Simon, Strasbourg 1852.
- : Observations sur les alluvions anciennes et modernes d'une partie du bassin du Rhin. – Mém. Soc. Mus. Hist. Nat. Strasbourg 4, 117–143, 1850.
- DELPONT, J., P. J. J. FRANC DE FERRIÈRE u. G. PERRETTE: Notice de La Carte des Régions Naturelles du Haut-Rhin. – Bull. Service Carte Géologique Alsace et Lorraine 8, 2, 20–29, Strasbourg 1955.

- DE MARGERIE, E.: Carte Géologique Murale d'Alsace et de Lorraine 1:200 000. – Service Carte Géologique Alsace et Lorraine 1930.
- DUBOIS, G. u. C. DUBOIS: La Géologie de l'Alsace – Mém. Service Carte Géologique Alsace et Lorraine 13. Strasbourg 1955.
- EGGER, F.: Droht am Ober- und Mittelrhein eine Versalzung des Flußwassers? – GWF – Gas- und Wasserfach 92, 198–199, 1951.
- FESER: Geologischer Aufbau und Grundwasserverhältnisse des Elsaß. – J. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung 56, 663–666, 1913.
- GENDRIN, P., G. MILLOT u. L. SIMLER: Étude de la Nappe Phréatique de la Plaine du Haut-Rhin. – Mém. Service Carte Géologique Alsace et Lorraine 15, Strasbourg 1957.
- GRAHMANN, W.: Die diluvialen Flußläufe Westsachsens und ihre Beziehungen zu den Grundwasserströmen. GWF – Gas- und Wasserfach 68, 755–756, 1925.
- HÄBERLE, D.: Die Mineralquellen der Rheinpfalz. – H. Kayser, Kaiserslautern 1912.
- HASEMANN, W.: Die Bedeutung der Oberrheinischen Tiefebene für die Wasserversorgung. – Abh. Reichsamt Bodenforschung N.F. 209, 67–78, 1944.
- KOMMISSION: Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen des Rheins sowie der Mosel-Koblenz. – Internationale Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung 1968–1972.
- KRAUSE, W.: Zur Hydrographie der Rheinaue im nördlichen Kaiserstuhlvorland. – Arch. Hydrobiol. 63, 433–476, 1967.
- : Veränderungen des Chloridgehaltes der Rheinauengewässer im Zusammenhang mit dem Bau des Rheinseitenkanals. – Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 64, 5–23, 1974.
- LAUTERBORN, R.: Bericht über die Ergebnisse der 3. biologischen Untersuchung des Oberrheins auf der Strecke Basel–Mainz vom 9.–22. August 1906. – Arb. Kaiserl. Gesundheitsamt Berlin 28, 62–91, 1908.
- NAPPE PHRÉATIQUE: Qualité des Eaux souterraines – Pollutions Constatées – État 1973. – Commission interministérielle d' Étude de la Nappe Phréatique de la Plaine d'Alsace. o. J. (1974).
- RAABE, W.: Wasserbau und Landschaftspflege am Oberrhein. – Schriftenreihe Dt. Rat Landschaftspflege 10, 24–31, 1968.
- SCHNABELE, R.: Monographie Géologique du Champ pétrolier de Pechelbronn. – Mém. Service Carte Géol. Alsace et Lorraine 7, 1948.
- TÖLLER, W. u. H. KÖHLE: Über den Gehalt an Cl<sup>-</sup>-Ionen im Rheinwasser. – GWF – Gas- und Wasserfach 91, 305–306, 1950.

## DIE LANDSCHAFT VON MALOJA (OBERENGADIN) IM LUFTBILD

Mit 5 Abbildungen, 2 Photos und 1 Luftbild

FRIEDRICH-KARL HOLTMEIER und INGRID LÜLLAU

*Summary:* The landscape of Maloja (Upper Engadin). An air photo interpretation

The Authors present an interpretation of an air photograph showing the Maloja Pass region. As a result of geological history the Upper Engadine valley terminates at Maloja Pass without a proper head wall and descends steeply to the Bergell. This orographic gap has a pronounced influence on the regional climatic situation. The great difference in elevation causes a distinct vertical zonation of the vegetation, ranging from the subalpine spruce forest to the nival zone. The relief has been glacially moulded. Locally the microrelief conditions conspicuously determine the small scale distribution of the vegetation (e.g. around Maloja village). The uppermost section of the Upper Engadine belongs politically and economically to the Bergell. The small settlements are mostly summer villages of the Bergell communities.

### *I. Lage und topographischer Überblick*

Das Luftbild zeigt den Malojapaß (1815 m) und seine nähere Umgebung (Luftbild, Abb. 1). Von NE steigt das Oberengadiner Haupttal kaum merklich nach SW in Richtung Malojapaß an. Der größte Teil des Oberengadiner Talbodens wird zwischen St. Moritz und Maloja von einer nur an einigen Stellen durch

Schwemmkegel und Schwemmlandebenen unterbrochenen Seen-Kette eingenommen. Im Luftbild ist nur der oberste und größte dieser Seen, der Silser See, zu sehen. In diesen mündet von Westen her der Inn (romanisch En) ein, von dem sich der Name des Oberengadiner Hochtal-systems herleitet. Dieser hier noch sehr kleine Bach – nur mit Mühe ist er im Luftbild auszumachen – entspringt am Piz Lunghin (2780 m, nicht mehr im Bildbereich). Unter hydrographischen Gesichtspunkten handelt es sich bei diesem Quellast um ein relativ bedeutungsloses und erst durch einen jungen Bergsturz dem Engadin zugewendetes Gerinne, das auf die Entwicklung der hydrographischen und morphologischen Situation der Paßlandschaft keinen nennenswerten Einfluß ausübt. Die großen Quellzuflüsse des Inn, die Orlegna (Val Forno, Mitte des oberen Luftbildrandes), die Mera und die Albigna (beide nicht im Bildbereich, s. aber Abb. 2) wurden diesem durch eine Talkappung entzogen (s. S. 281ff.).

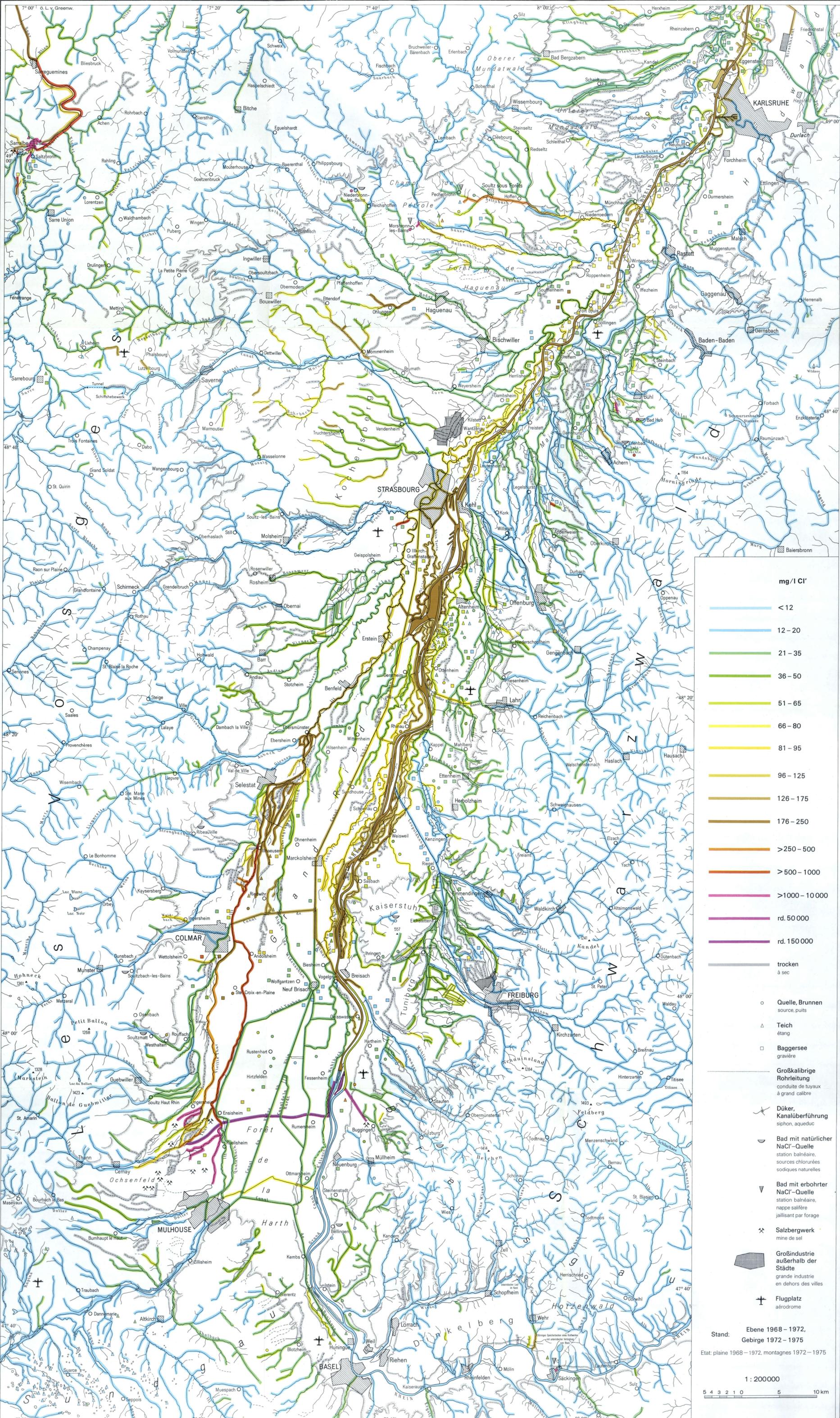
Südlich des Dorfes Maloja bricht der Oberengadiner Hochtalboden plötzlich ab, und ohne jeden Talschluß streicht das Oberengadiner Haupttal nach SW in die Luft aus. Unter einem rund 250 m hohen Steilabfall beginnt unvermittelt das tiefeingeschnittene und durch

# DIE CHLORIDKONZENTRATION IN DEN GEWÄSSERN DER OBERERHEBENE UND IHRER RANDGEBIRGE

La teneur en chlorures des eaux du fossé rhénan et de ses montagnes bordières. Utilisation comme traceur hydrologique.

Entwurf: W. Krause

Beilage VIII zu ERDKUNDE 29.4, Beitrag Krause



	mg / l Cl <sup>-</sup>
	< 12
	12 - 20
	21 - 35
	36 - 50
	51 - 65
	66 - 80
	81 - 95
	96 - 125
	126 - 175
	176 - 250
	> 250 - 500
	> 500 - 1000
	> 1000 - 10 000
	rd. 50 000
	rd. 150 000
	trocken à sec
	Quelle, Brunnen source, puits
	Teich étang
	Baggersee gravière
	Großkalibrige Rohrleitung conduite de tuyaux à grand calibre
	Düker, Kanalüberführung siphon, aqueduc
	Bad mit natürlicher NaCl <sup>-</sup> -Quelle station balnéaire, sources chlorurées sodiques naturelles
	Bad mit erbohrter NaCl <sup>-</sup> -Quelle station balnéaire, nappe salifère jaillissant par forage
	Salzbergwerk mine de sel
	Großindustrie außerhalb der Städte grande industrie en dehors des villes
	Flugplatz aérodrome

Stand: Ebene 1968 - 1972,  
Gebirge 1972 - 1975

Etat: plaine 1968 - 1972, montagnes 1972 - 1975

1 : 200 000

5 4 3 2 1 0 5 10 km

Topographische Grundlage: TK 50, Orohydrographische Ausgabe

Kartographie: Geographische Institute der Universität Bonn, D. Gladenbeck